

Cartographie des variations spatiales et futures de la disponibilité des habitats thermiques favorables aux salmonidés dans les lacs du Québec : méthodologie et exemples

Rapport présenté au
Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

par

Claude Bélanger, Yves Gratton, André St-Hilaire et Isabelle Laurion

INRS-Eau, terre et environnement

7 février 2017

Le rapport doit être cité comme suit.

Bélangier, C., Y. Gratton, A. St-Hilaire et I. Laurion. 2016. Cartographie des variations spatiales et futures de la disponibilité des habitats thermiques favorables aux salmonidés dans les lacs du Québec : méthodologie et exemples. Rapport No R1715, INRS-ETE, Québec (Qc), 152 p.

© 2016, Institut national de la recherche scientifique (INRS)
ISBN : 978-2-89146-883-1

Table des matières

1.0	Introduction	4
2.0	Méthodologie	5
3.0	Les cartes produites	9
4.0	Cartes pour le lac Stewart, période 1981-2010	10
5.0	Cartes pour le lac Stewart, période 2041-2070	28
6.0	Cartes pour le lac Stewart, période 2071-2100	46
7.0	Cartes pour le lac Jacques-Cartier, période 1981-2010	63
8.0	Cartes pour le lac Jacques-Cartier, période 2041-2070	78
9.0	Cartes pour le lac Jacques-Cartier, période 2071-2100	93
10.0	Cartes de changement entre le passé et le futur : exemples	108
	Références	117
Annexe 1	Étapes pour simuler les températures climatologiques passées (1981-2010) dans un lac donné à une ou quelques position(s) sur le territoire québécois	118
Annexe 2	Étapes pour la production de cartes 2D basées sur les températures climatologiques simulées passées et futures d'un lac virtuellement placé à un grand nombre de positions	121
Annexe 3	Scripts utilisés pour la production des diverses cartes 2D	128
Annexe 4	Exemples des deltas utilisés pour la simulation des températures futures ..	130
Annexe 5	Rapport de Travis Logan (Ouranos) sur la production des deltas	143

1.0 Introduction

Le présent rapport est destiné au Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec (MFFP) pour qui les habitats thermiques des espèces de salmonidés sont d'un intérêt particulier. Ce rapport constitue le troisième livrable prévu dans le cadre d'un contrat de service avec le MFFP.

Les objectifs de ce rapport sont :

- 1) Présenter les étapes pour la production de diverses cartes illustrant les variations spatiales sur l'ensemble du territoire québécois de quelques variables choisies de manière à informer sur la disponibilité des habitats thermiques favorables aux salmonidés;
- 2) Présenter les cartes produites pour la période 1981-2010 (passé de référence) pour deux lacs de profondeur moyenne différente, la profondeur moyenne ayant un impact sur la température de l'eau (voir le précédent rapport, *Influence de la profondeur moyenne d'un lac sur la température de l'eau et variations latitudinales : une étude de sensibilité menée à l'aide du modèle unidimensionnel MyLake* (Bélanger et al. 2013);
- 3) Présenter les cartes produites pour les mêmes lacs pour les périodes futures 2041-2070 et 2071-2100.

Les lacs considérés sont les lacs Stewart et Jacques-Cartier. Le lac Stewart est situé à 58,2 °N et 68,4 °O et sa profondeur moyenne est de 5,0 m. Le lac Jacques-Cartier est situé à 47,6 °N et 71,2 °O et sa profondeur moyenne est de 22,3 m. À ce stade, les résultats n'ont pas encore été rigoureusement analysés en terme de variations spatiales et de changement à venir et le présent rapport n'inclut aucune interprétation des résultats.

2.0 Méthodologie

Les grandes étapes pour la réalisation des cartes présentées sont : 1) calibration du modèle de lac pour les lacs réels considérés, 2) simulation de l'évolution de la température de l'eau sur toute la colonne d'eau pendant trente ans, pour la période de référence (1981-2010) et les horizons futurs 2041-2070 et 2071-2100, 3) dérivations des cycles annuels moyens de température de l'eau (températures climatologiques) à partir des séries de trente ans, et 4) réalisation de diverses figures basées sur les cycles annuels moyens.

Deux lacs réels ont été utilisés, soient les lacs Jacques-Cartier (JAC) et Stewart (STW). Le lac Jacques-Cartier a une superficie de 12,57 km², une profondeur maximum de 59 m et une profondeur moyenne de 22,3 m. Le lac Stewart a une superficie de 8,52 km², une profondeur maximum de 15 m et une profondeur moyenne de 5,0 m. Les calibrations utilisées sont celles obtenues lors du précédent projet *Impact des changements climatiques sur l'habitat des salmonidés dans les lacs nordiques du Québec* (voir Bélanger et al., 2013).

La température de l'eau a été simulée sur une période de trente ans à l'aide d'un modèle unidimensionnel de lac, soit MyLake version 1.2 (Saloranta et Andersen 2007), forcé par sept séries de données météorologiques. Le modèle a été initialement codé en Matlab et a été utilisé sous cette forme. La résolution verticale (choisie) est de un mètre et le pas de temps est de un jour. Pour le passé de référence (1981-2010), les données météorologiques utilisées pour forcer le modèle ont été obtenues des réanalyses NARR (North American Regional Reanalysis; voir Mesinger et al., 2005). Pour les horizons futurs, les données météorologiques utilisées pour forcer le modèle sont les données pour la période de référence modifiées selon la méthode des deltas (voir Huard et al., 2014). Les deltas sont soit additifs (radiation solaire, couverture nuageuse, température de l'air, pression atmosphérique), soit multiplicatifs (vitesse du vent et précipitations). Pour les résultats présentés, on a utilisé des deltas mensuels calculés à partir d'une seule simulation du Modèle régional canadien du climat (MRCC5) réalisée à Ouranos (simulation bbf/bbg; Logan 2016). Cette simulation est pilotée par le modèle global CanESM2 et utilise le scénario d'émission de gaz à effet de serre RCP 8,5 (IPCC 2014), soit le plus pessimiste des quatre scénarios RCP (*Representative Concentration Pathways*).

Le lac considéré est placé à un grand nombre de positions sur l'ensemble du territoire québécois (résolution de 0,5° en latitude et en longitude, allant de 45,25 à 62,25 °N, et de -79,25 à -56,25 °O). Il y a 1680 positions au total (35x48) mais le modèle n'est utilisé

qu'aux positions « terrestres » (1156 positions) pour sauver du temps de calcul. Pour chaque pixel de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$, la valeur d'une variable météorologique passée au modèle est celle de la moyenne de toutes les valeurs NARR incluses dans le pixel (soient 1, 2 ou 3 valeurs, correspondant respectivement à 36,5%, 52,0% et 11,5% des cas). Les deltas mensuels considérés pour dériver les séries météorologiques futures sont ceux du point de grille du modèle climatique régional le plus près du lac. La distance moyenne entre la position du centre du lac et le point de grille d'où proviennent les deltas est de 9,32 km, avec une distance maximum de 16,86 km.

Le modèle MyLake a besoin de conditions initiales pour la température de l'eau, l'épaisseur de glace et l'épaisseur de neige. Comme ces conditions initiales sont inconnues, on a recours à une stratégie à « deux passes » avec début des simulations au 1^{er} janvier. Pour la première passe, des conditions initiales approximatives mais réalistes sont utilisées. On notera que les variations interannuelles de la température de l'eau au 1^{er} janvier sont faibles (températures généralement basses sur toute la colonne d'eau à ce temps de l'année). Pour la deuxième passe, on utilise comme conditions initiales la moyenne des conditions simulées lors de la première passe au 1^{er} janvier des dix dernières années de la période de trente ans.

L'annexe 1 énumère les étapes pour produire les cycles de températures climatologiques à une ou quelques position(s) sur le territoire québécois. Il s'agit en fait du travail préparatoire avant une extension à tout le territoire québécois mais ces scripts peuvent être utiles si on ne désire des résultats qu'à une ou quelques position(s). Jusqu'à maintenant, ces scripts n'ont été utilisés que pour le passé de référence mais on pourrait les utiliser pour les horizons futurs, les fichiers d'input météo futurs étant aussi disponibles (RCP 8,5, MRCC5 bbf/bbg, 2041-2070 et 2071-2100).

L'annexe 2 présente les étapes pour dériver les cycles de températures climatologiques passés et futurs sur l'ensemble du territoire québécois et en dériver certaines variables d'intérêt. Les scripts Matlab utilisés et la nomenclature des fichiers y sont présentés.

L'annexe 3 décrit les différents scripts utilisés pour produire les diverses cartes 2D. On y mentionne les fichiers d'input nécessaires et les scripts utilisés pour les produire.

3.0 Les cartes produites

Une liste des cartes produites est présentée à la fin de la présente section et l'annexe 2 présente une liste des scripts utilisés pour la production des cartes 2D (avec nomenclature des fichiers d'input et scripts utilisés pour les produire). Les cartes produites ont été conçues en collaboration avec le MFFP de manière à 1) refléter les variations spatiales de l'intensité et la durée du stress thermique en été sur les populations de salmonidés, et 2) illustrer les variations spatiales des conditions thermiques propices à la croissance et à la productivité des salmonidés.

Plumb et Blanchfield (2009) ont présenté une étude sur l'habitat du touladi basée sur le suivi de poissons munis d'un émetteur acoustique dans un petit lac (superficie de 0,27 km²) du nord-ouest de l'Ontario. Cette étude identifie deux seuils de température pour l'habitat thermique du touladi, soient 12 °C et 15 °C. Le seuil de 12 °C peut être considéré comme la limite supérieure de la zone de confort, et le seuil de 15 °C comme la température la plus élevée pouvant être tolérée pour une occupation prolongée. La même étude rapporte que la limite inférieure de la plage de température favorable à la croissance est de 5 °C ou 8 °C selon diverses sources. Les cartes produites portant sur l'habitat thermique des salmonidés utilisent les températures seuils de 5 °C et 15 °C.

Les cartes relatives à l'intensité et la durée du stress thermique pour les salmonidés (i.e. lorsque $T > 15$ °C) sont les cartes 4a, 4b, 4c, 5 et 6. Les cartes relatives à la croissance et à la productivité sont les cartes 7, 8, 9 et 10.

Les cartes 4c, 5 et 6 ne peuvent être produites lorsque la température de l'eau ne dépasse jamais la limite supérieure pour tout le volume du lac (cas d'un lac avec une relativement grande profondeur moyenne).

Pour la carte 2 (température moyenne), la partie de la colonne d'eau et la période de l'année peuvent être spécifiées selon les besoins de l'utilisateur.

Pour la carte 6, le calcul du nombre de degrés-jours est basé sur la différence entre la température moyenne sur toute la colonne d'eau et la limite supérieure.

Pour la carte 8, on peut spécifier un volume seuil (en % du volume du lac). Pour que les degrés-jours d'une journée donnée soient comptés, il faut que le volume du lac avec température entre les limites inférieure et supérieure soit égal ou dépasse le volume seuil.

Pour la carte 9, la partie de la colonne d'eau avec température entre 15 °C et 20 °C contribue aussi au nombre de m³-jours, mais de moins en moins en s'éloignant de 15 °C. Le coefficient variable alors considéré est « $1 - [(T-15) / (20-15)]$ ».

Pour la carte 10, la partie de la colonne d'eau avec température entre 15 °C et 20 °C contribue aussi au nombre de m³-degrés-jours, mais de moins en moins en s'éloignant de 15 °C. Le coefficient variable alors considéré est « $1 - [(T-15) / (20-15)]$ ».

Quelques exemples de carte de deltas sont présentés à l'annexe 4. On y présente les deltas mensuels pour les mois de février et de juillet, deux mois où les deltas mensuels moyens sur l'ensemble du territoire sont soit maximum (ou près du maximum), soit minimum (ou près du minimum).

Le delta moyen de février est le plus grand pour la température de l'air, la couverture nuageuse et les précipitations; il est le plus petit pour la vitesse du vent et le 2^{ème} (2041-2070) ou 4^{ème} (2071-2100) plus petit pour la radiation globale.

Le delta moyen de juillet est le plus grand pour la radiation globale et le plus grand (2041-2070) ou 2^{ème} plus grand (2071-2100) pour la vitesse du vent; il est le plus petit pour la couverture nuageuse, le 3^{ème} ou 2^{ème} plus petit pour les précipitations, et le 5^{ème} plus petit pour la température de l'air.

Liste des cartes produites

- Carte 1a Maximum de contenu en chaleur
- Carte 1b Maximum de contenu en chaleur (normalisé)
- Carte 1c Occurrence du maximum de contenu en chaleur
- Carte 2 Température moyenne pour une partie de la colonne d'eau et une partie du cycle annuel
- Carte 3a Maximum d'épaisseur de glace
- Carte 3b Occurrence du maximum d'épaisseur de glace
- Carte 4a Volume minimum avec température sous la limite supérieure de température (en % du volume total)
- Carte 4b Occurrence du volume minimum sous la limite supérieure pour les cas où le volume minimum n'est ni 0% ni 100%
- Carte 4c* Occurrence de la première journée avec température au-dessus de la limite supérieure pour tout le volume du lac
- Carte 5* Nombre de jours avec température au-dessus de la limite supérieure pour tout le volume du lac
- Carte 6* Nombre de degrés-jours au-dessus de la limite supérieure lorsque la température est au-dessus de la limite supérieure pour tout le volume du lac
- Carte 7 Nombre de jours avec au moins nn% du volume du lac avec température entre les limites inférieure et supérieure
- Carte 8 Nombre de degrés-jours au-dessus de la limite inférieure lorsque la température est entre les limites inférieure et supérieure
- Carte 9 Nombre de m³-jours avec température entre les limites inférieure et supérieure
- Carte 10 Nombre de m³-degrés-jours au-dessus de la limite inférieure lorsque la température est entre les limites inférieure et supérieure

* Ne s'applique pas lorsque la température n'est jamais au-dessus de la limite supérieure pour tout le volume du lac.

4.0 Cartes pour le lac Stewart, période 1981-2010

- Fig. 1 Lac STW, 1981-2010 : maximum de contenu en chaleur (PJ) (Carte 1a)
- Fig. 2 Lac STW, 1981-2010 : maximum de contenu en chaleur (normalisé) (Carte 1b)
- Fig. 3 Lac STW, 1981-2010 : occurrence du maximum de contenu en chaleur (Carte 1c)
- Fig. 4 Lac STW, 1981-2010 : température moyenne de 0 à 5 m pour la période du 01 juin au 31 août (°C) (Carte 2)
- Fig. 5 Lac STW, 1981-2010 : maximum d'épaisseur de glace (m) (Carte 3a)
- Fig. 6 Lac STW, 1981-2010 : occurrence du maximum d'épaisseur de glace (Carte 3b)
- Fig. 7 Lac STW, 1981-2010 : volume minimum avec $T < 15^\circ$ (% du volume total) (Carte 4a)
- Fig. 8 Lac STW, 1981-2010 : occurrence du volume minimum avec $T < 15^\circ\text{C}$ pour les cas où le volume minimum n'est ni 0 % ni 100 % (Carte 4b)
- Fig. 9 Lac STW, 1981-2010 : occurrence de la première journée avec $T > 15^\circ\text{C}$ pour tout le volume du lac (Carte 4c)
- Fig. 10 Lac STW, 1981-2010 : nombre de jours avec $T > 15^\circ\text{C}$ pour tout le volume du lac (Carte 5)
- Fig. 11 Lac STW, 1981-2010 : nombre de degrés-jours au-dessus de 15°C lorsque $T > 15^\circ\text{C}$ pour tout le volume du lac (Carte 6)
- Fig. 12 Lac STW, 1981-2010 : nombre de jours avec au moins 25 % du volume du lac avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (Carte 7a)
- Fig. 13 Lac STW, 1981-2010 : nombre de jours avec au moins 50 % du volume du lac avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (Carte 7b)
- Fig. 14 Lac STW, 1981-2010 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (volume seuil pour être considéré dans le calcul : 20 %) (Carte 8a)
- Fig. 15 Lac STW, 1981-2010 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (volume seuil pour être considéré dans le calcul : 50 %) (Carte 8b)
- Fig. 16 Lac STW, 1981-2010 : nombre de m^3 -jours avec $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre 15 et 20°C) ($\times 10^9$) (Carte 9)
- Fig. 17 Lac STW, 1981-2010 : nombre de m^3 -degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre 15 et 20°C) ($\times 10^{10}$) (Carte 10)

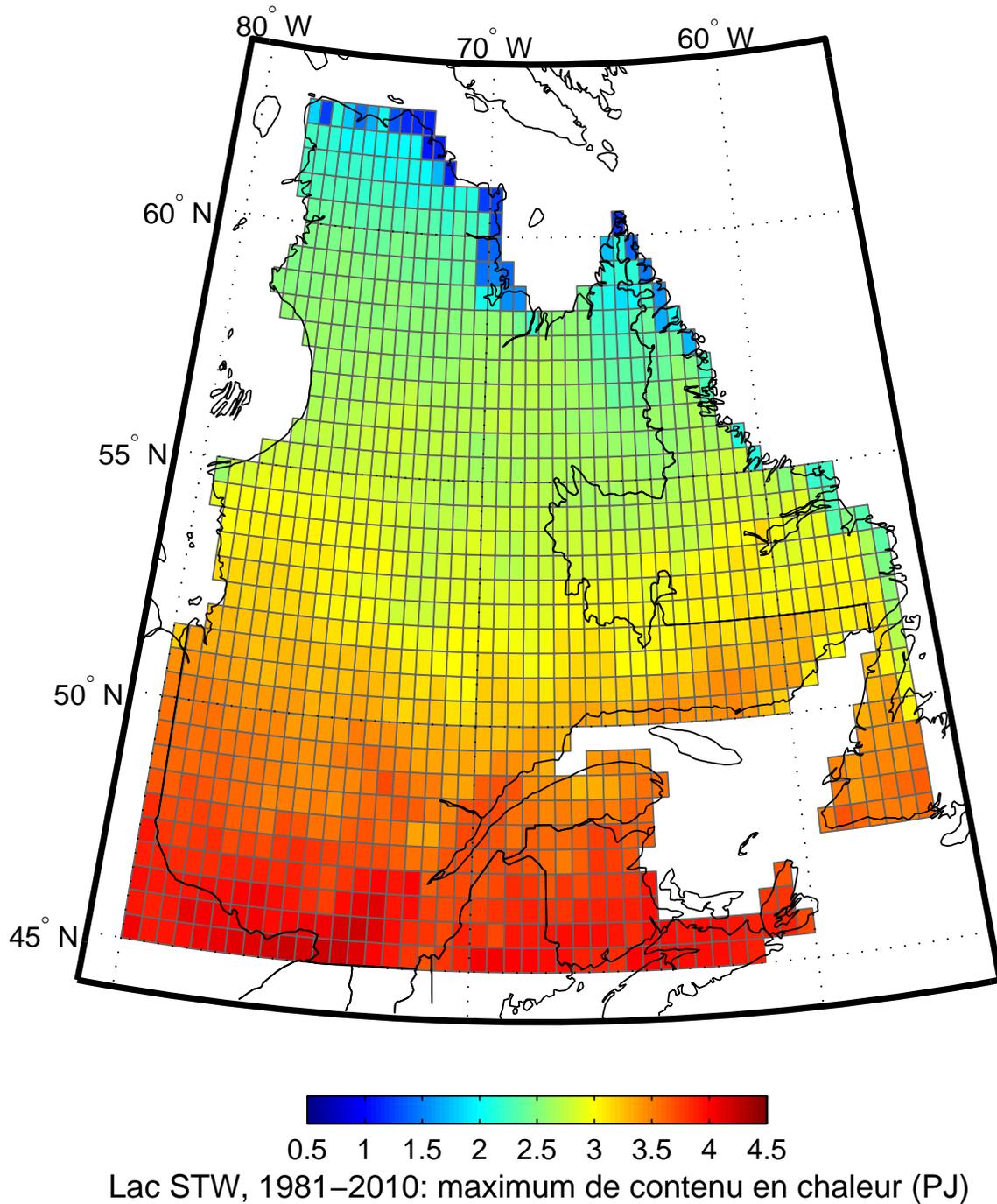
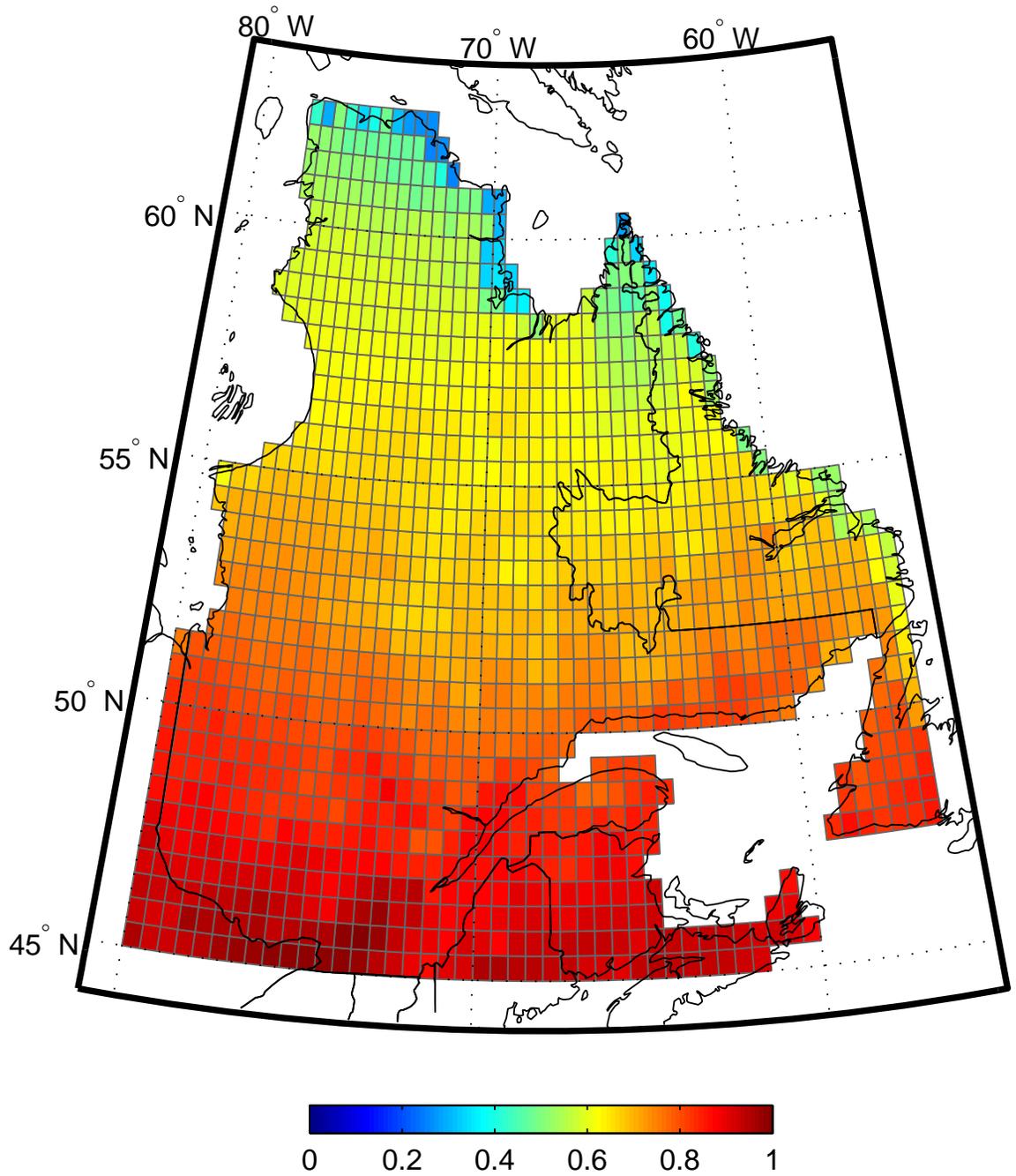
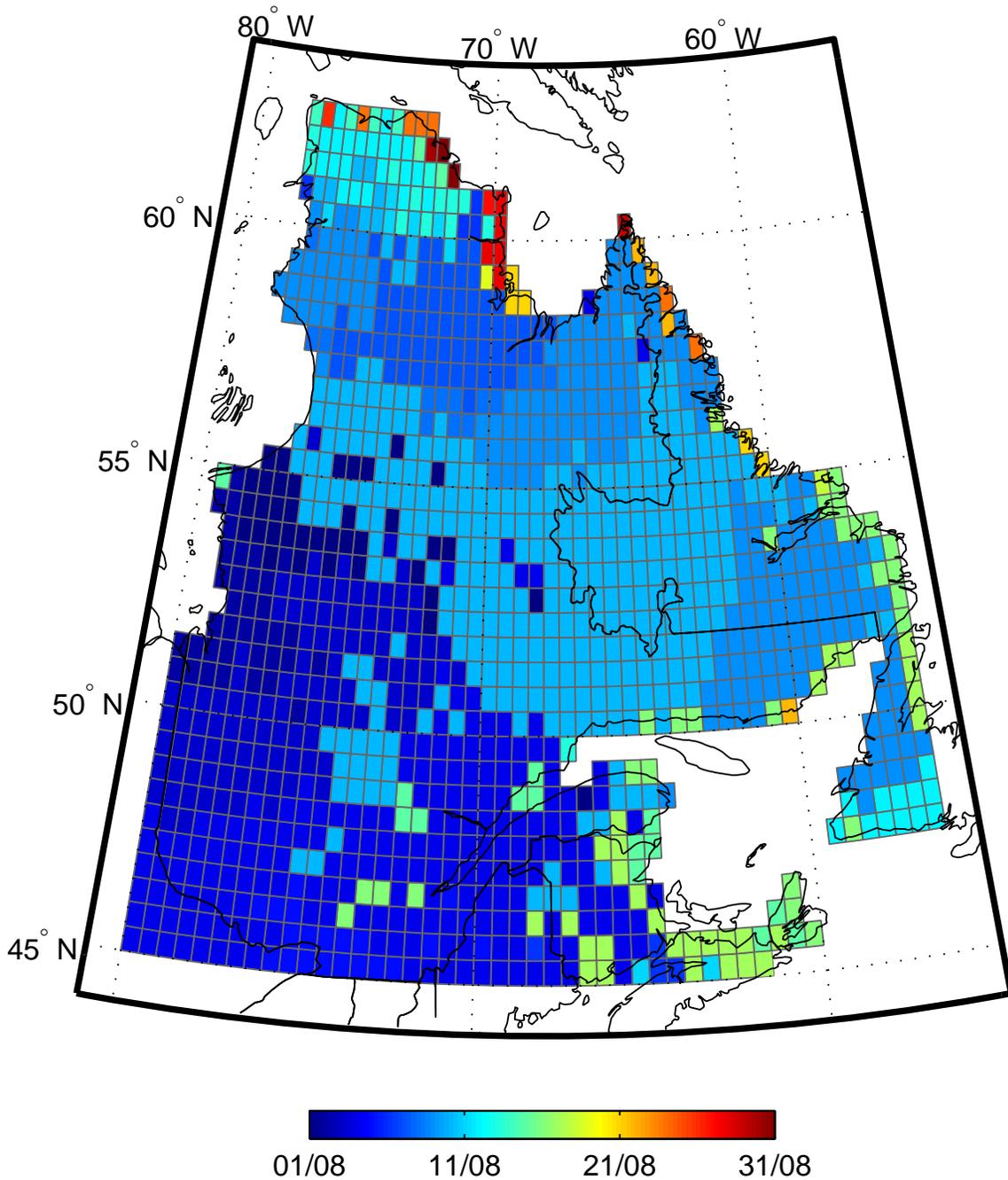


Fig. 1 Lac STW, 1981-2010 : maximum de contenu en chaleur (PJ) (Carte 1a)



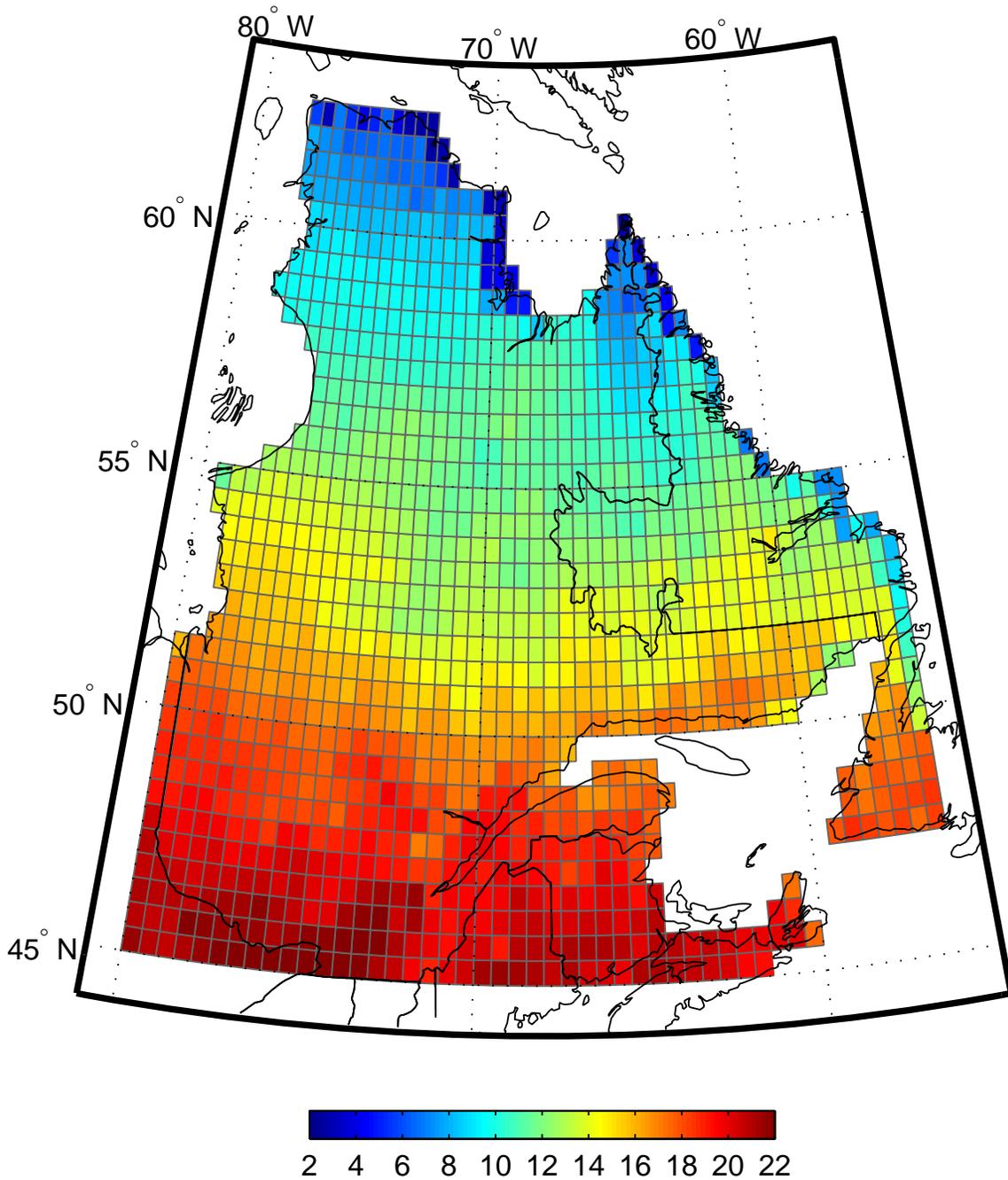
Lac STW, 1981–2010: maximum de contenu en chaleur normalisé

Fig. 2 Lac STW, 1981-2010 : maximum de contenu en chaleur (normalisé) (Carte 1b)



Lac STW, 1981–2010: occurrence du maximum de contenu en chaleur

Fig. 3 Lac STW, 1981-2010 : occurrence du maximum de contenu en chaleur (Carte 1c)



Lac STW, 1981–2010: température moyenne, couche 0–5m, période JJA (°C)

Fig. 4 Lac STW, 1981-2010 : température moyenne de 0 à 5 m pour la période du 01 juin au 31 août (°C) (Carte 2)

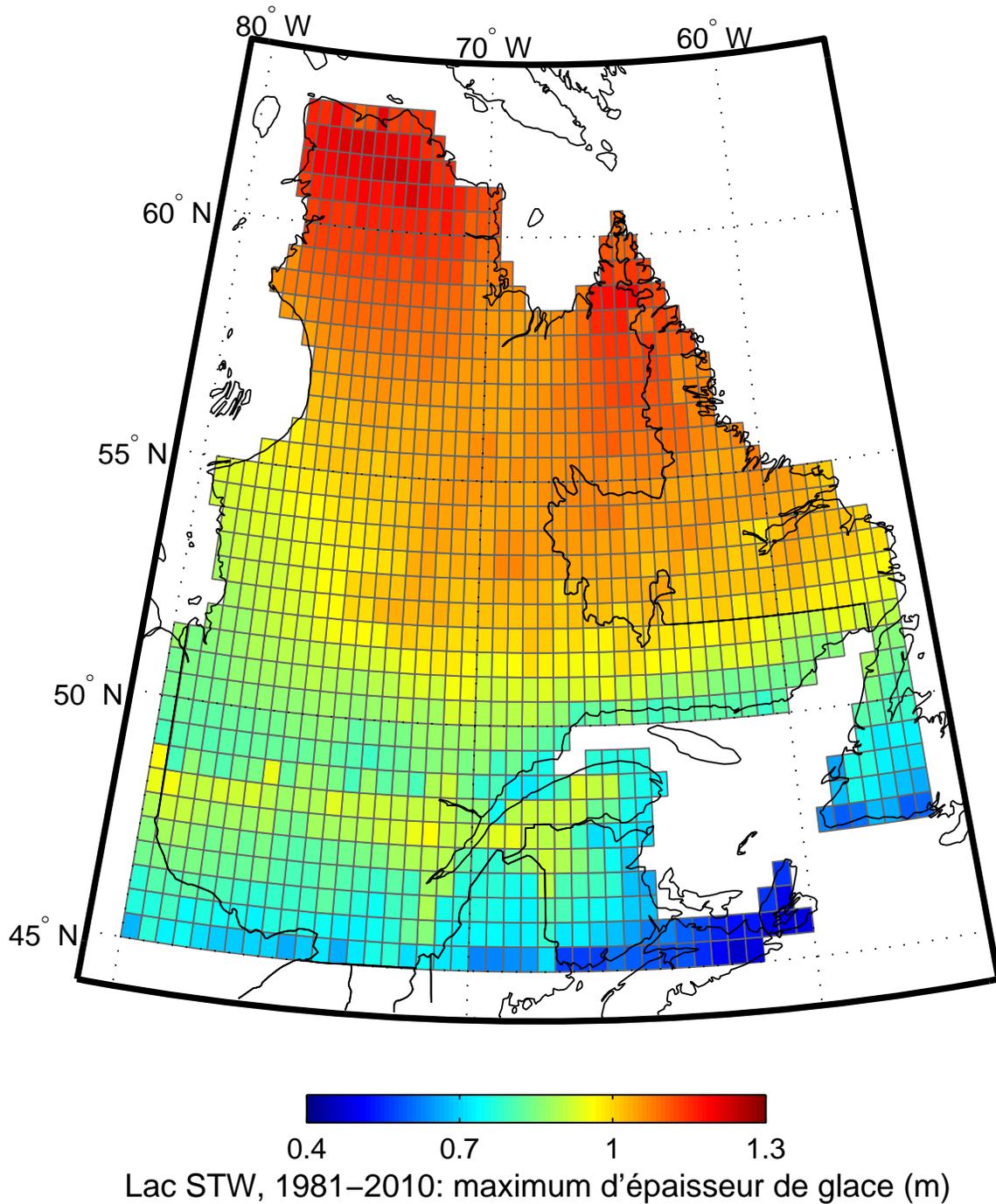
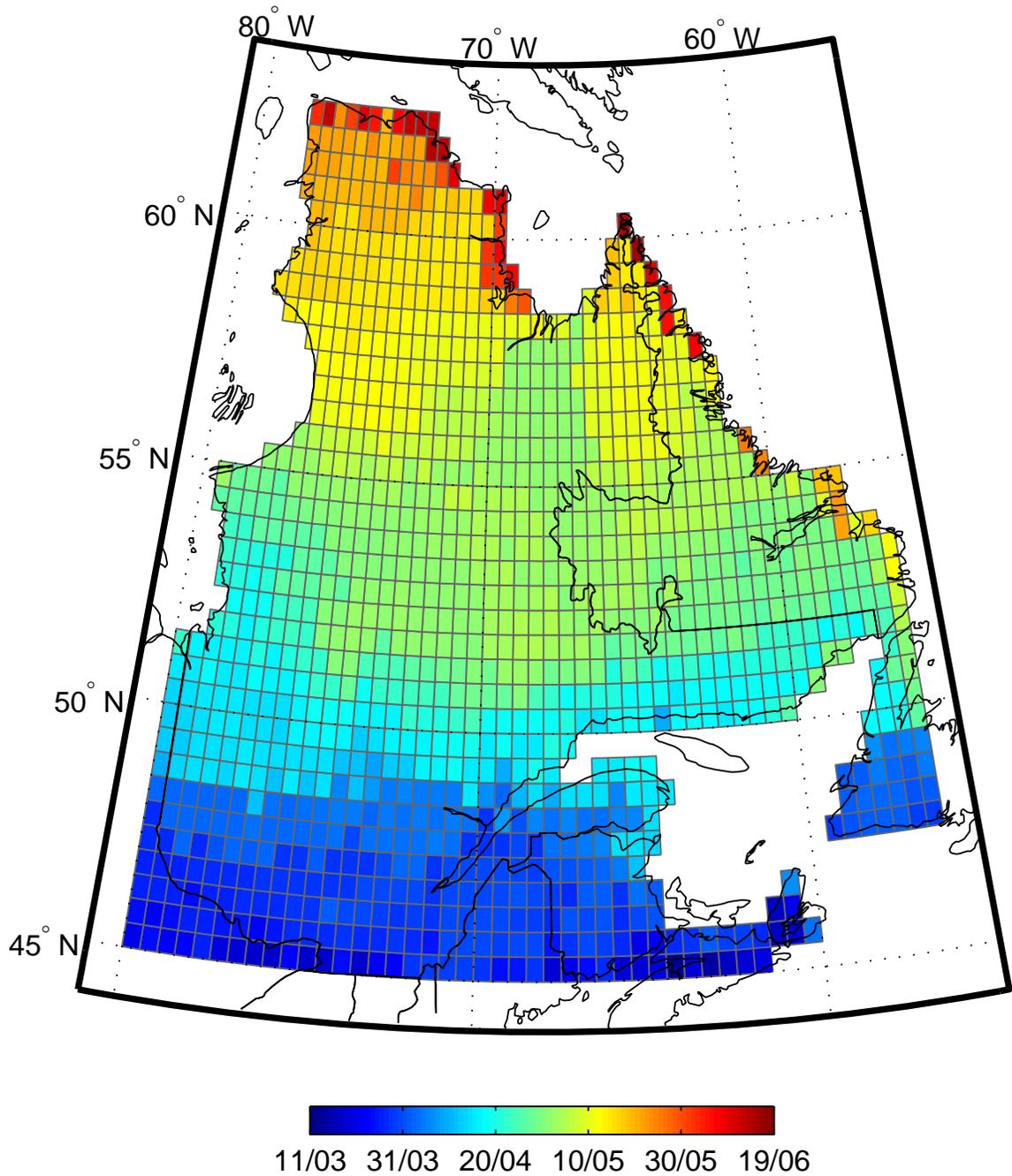


Fig. 5 Lac STW, 1981-2010 : maximum d'épaisseur de glace (m) (Carte 3a)



Lac STW, 1981–2010: occurrence du maximum d'épaisseur de glace

Fig. 6 Lac STW, 1981-2010 : occurrence du maximum d'épaisseur de glace (Carte 3b)

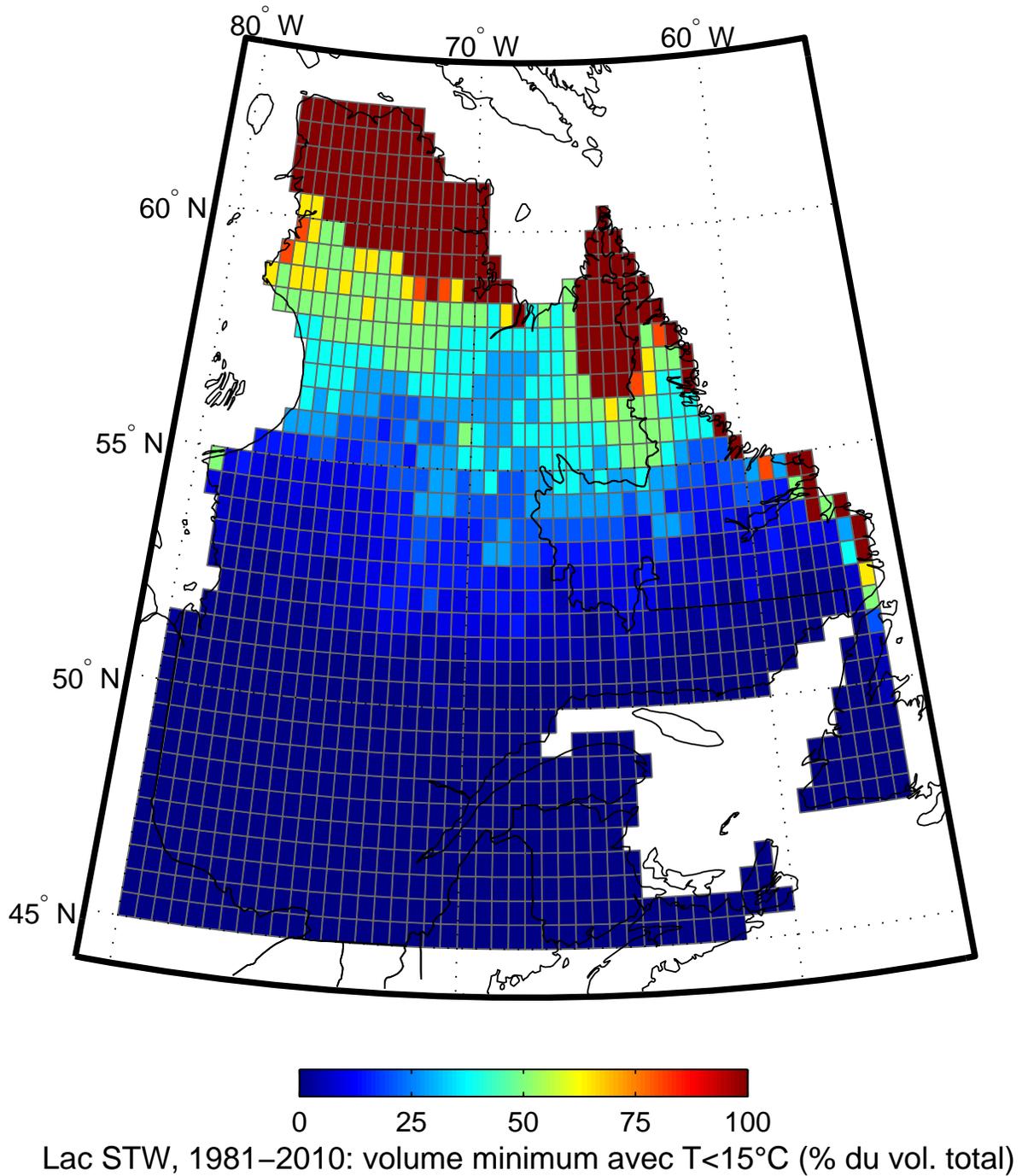
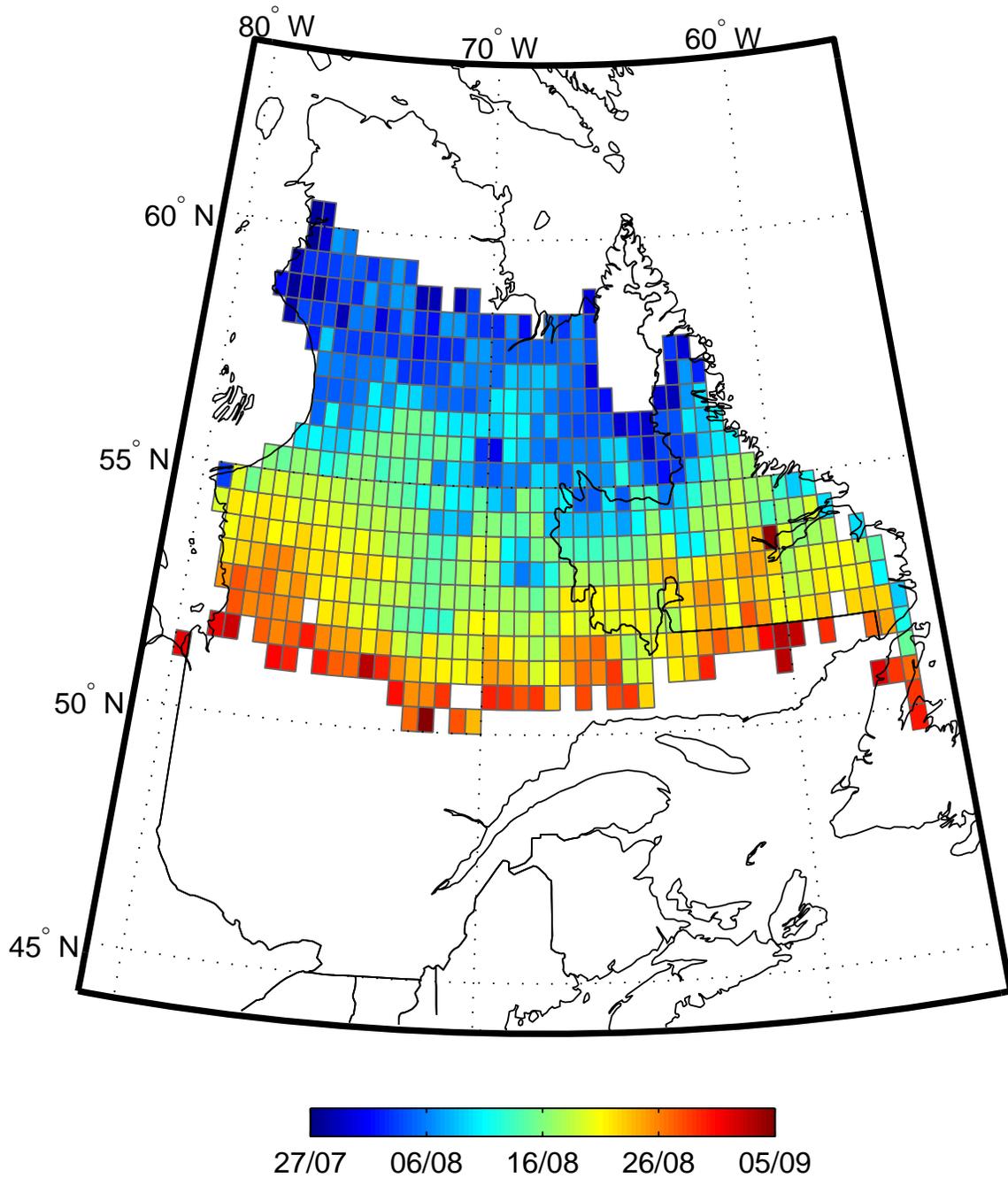


Fig. 7 Lac STW, 1981-2010 : volume minimum avec $T < 15^{\circ}$ (% du volume total)
(Carte 4a)



Lac STW, 1981–2010: occurrence du volume minimum avec $T < 15^\circ\text{C}$ pour les pixels où le volume minimum est entre 0% (sud) et 100% (nord)

Fig. 8 Lac STW, 1981-2010 : occurrence du volume minimum avec $T < 15^\circ\text{C}$ pour les cas où le volume minimum n'est ni 0 % ni 100 % (Carte 4b)

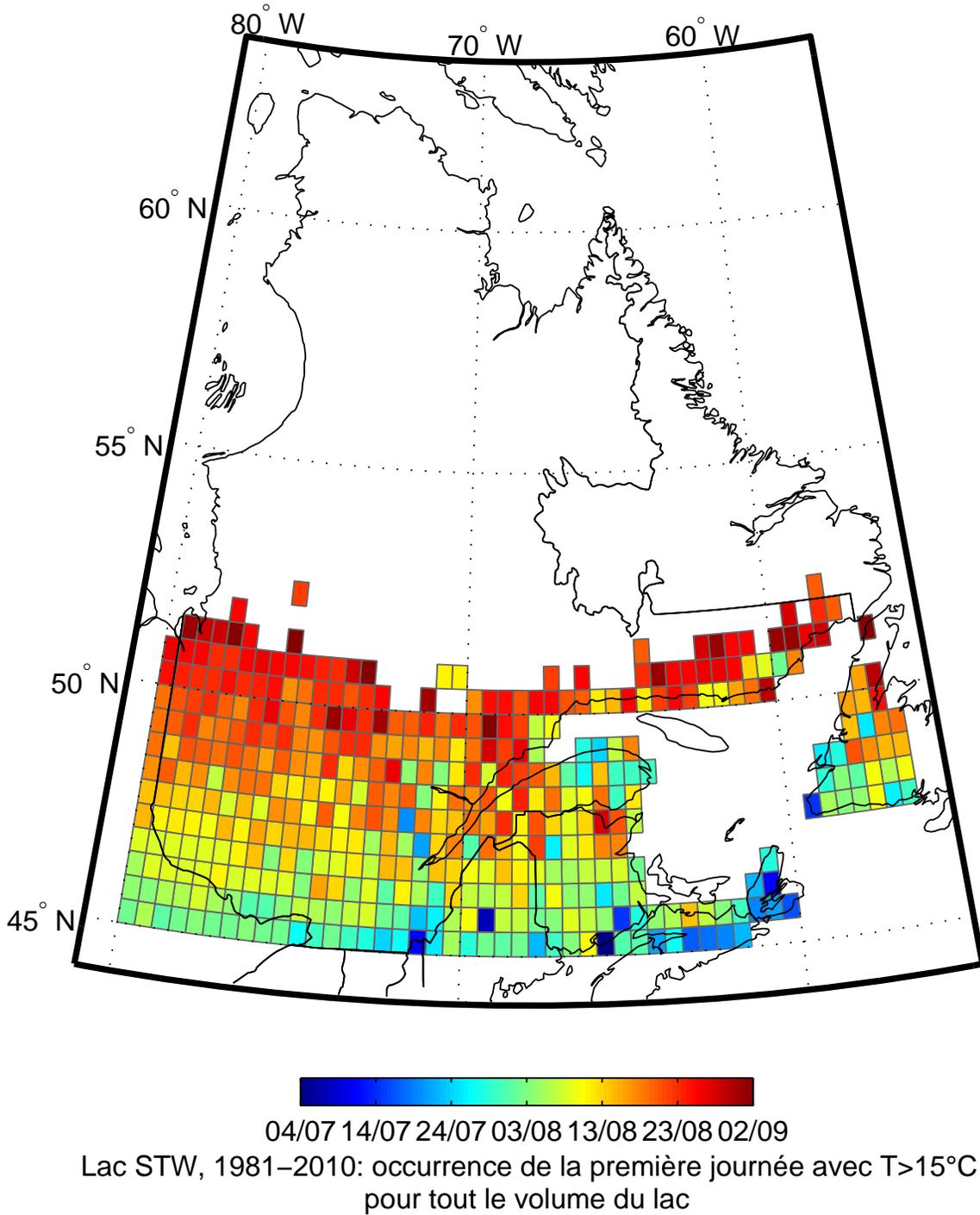
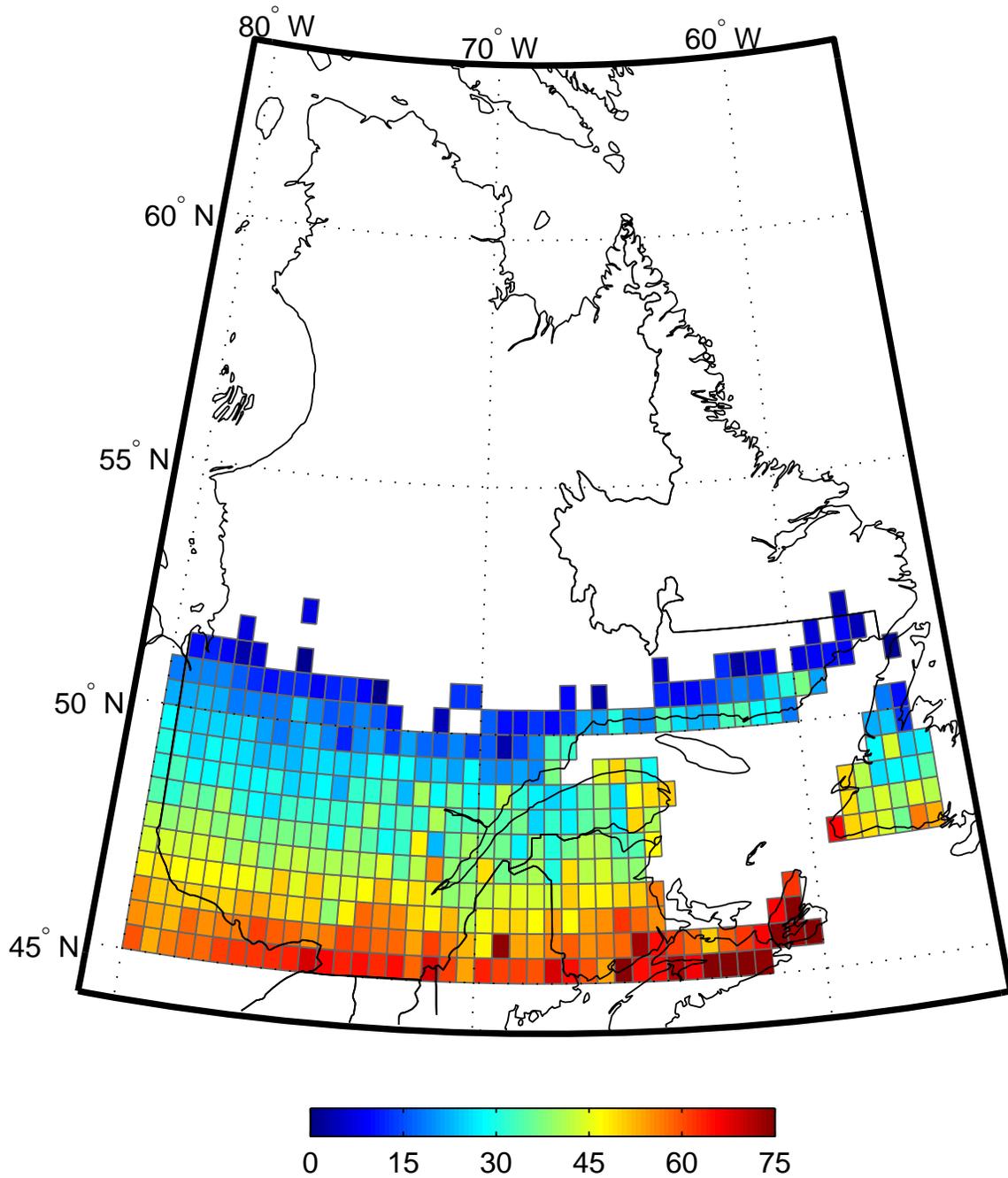


Fig. 9 Lac STW, 1981-2010 : occurrence de la première journée avec $T > 15^\circ\text{C}$ pour tout le volume du lac (Carte 4c)



Lac STW, 1981–2010: nombre de jours avec $T > 15^\circ\text{C}$ pour tout le volume du lac pour les pixels où cette condition survient (sud)

Fig. 10 Lac STW, 1981-2010 : nombre de jours avec $T > 15^\circ\text{C}$ pour tout le volume du lac (Carte 5)

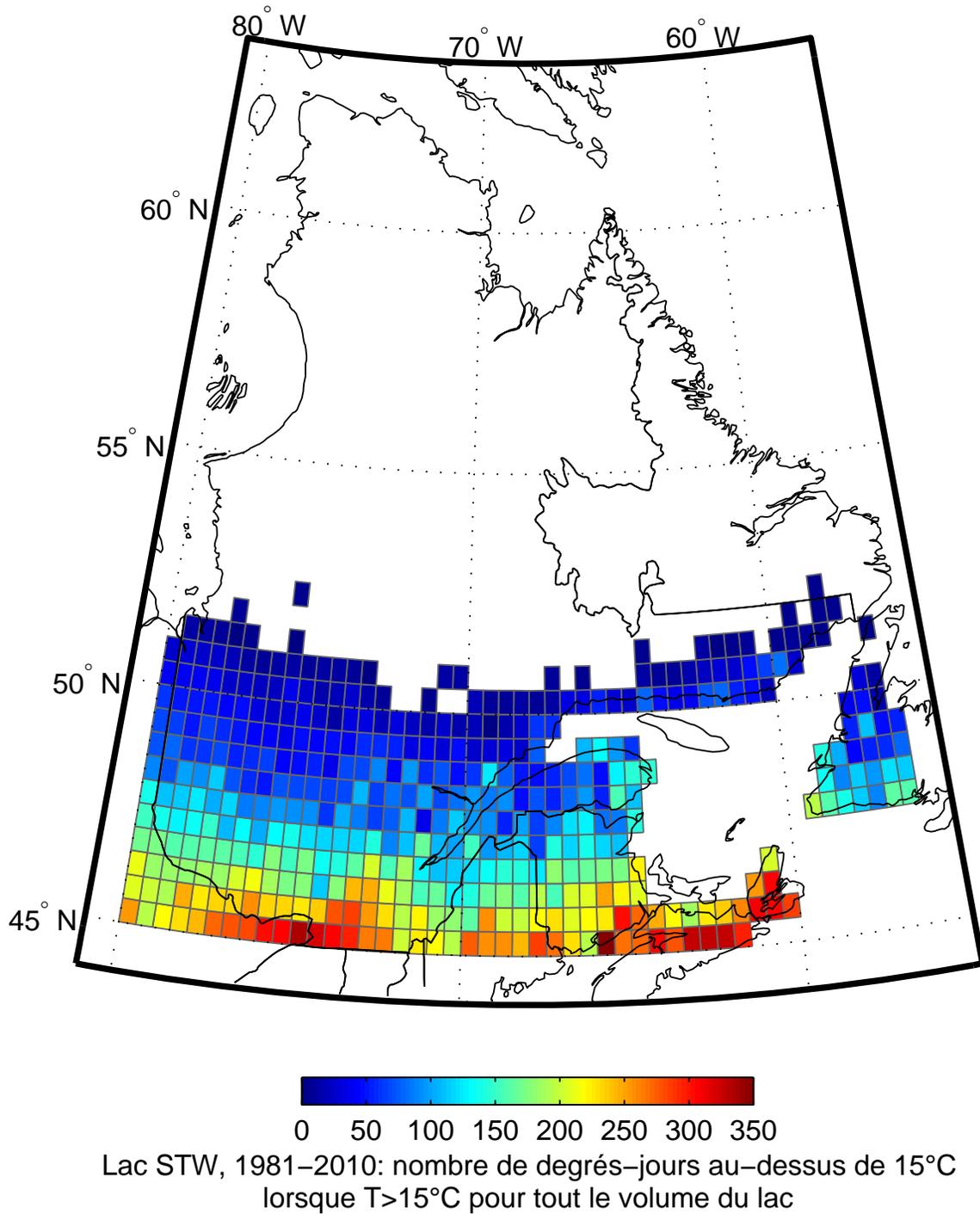
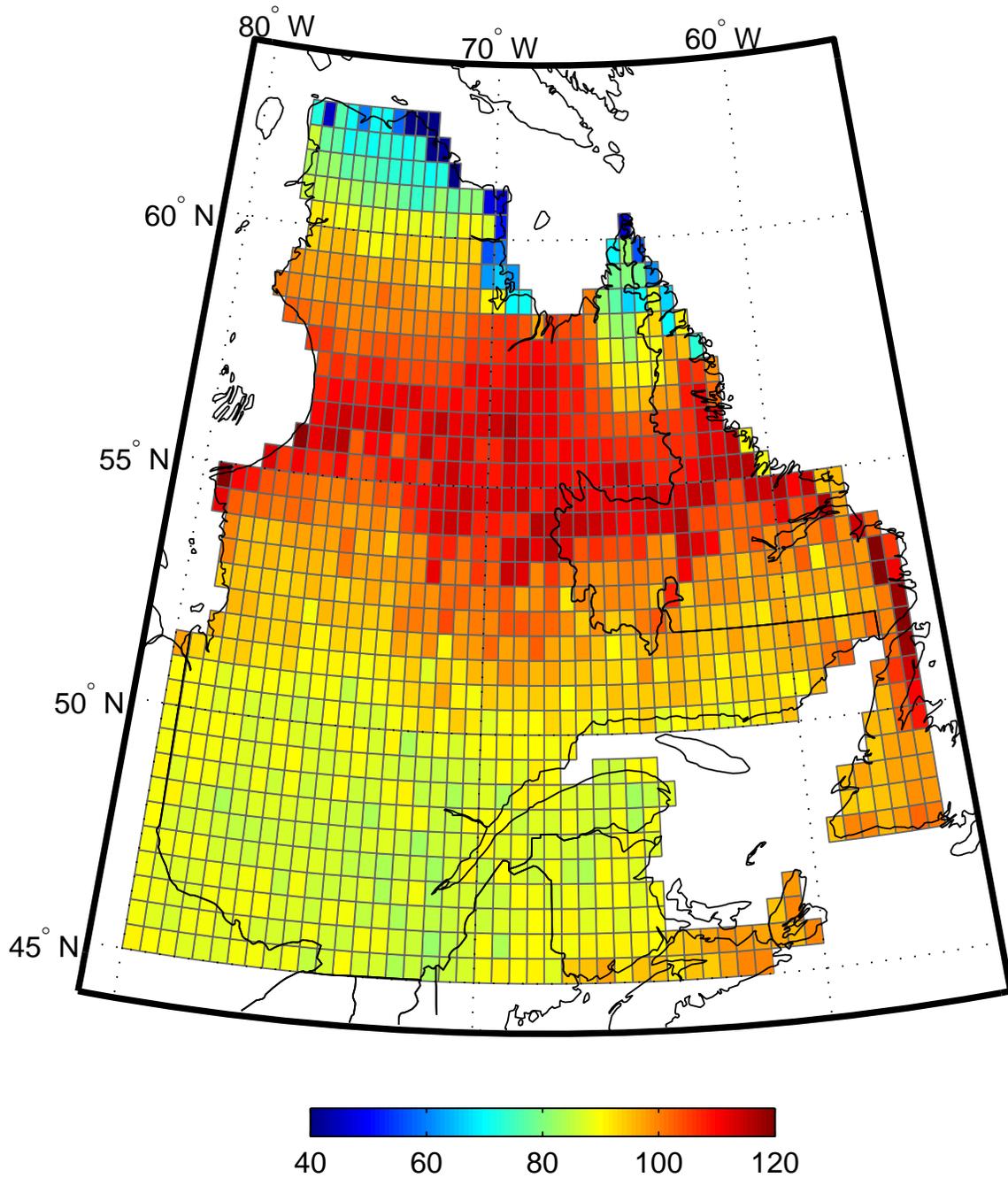
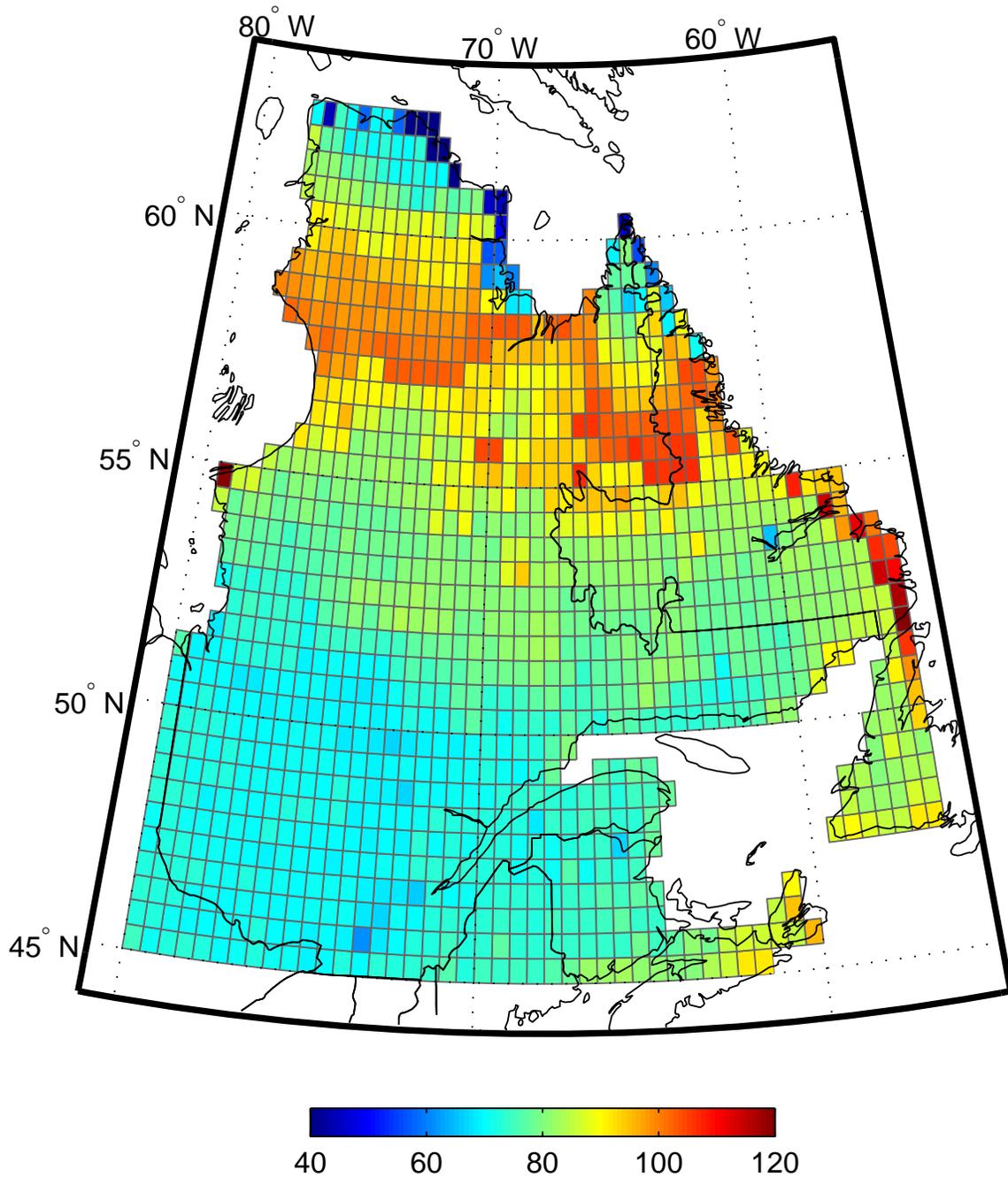


Fig. 11 Lac STW, 1981-2010 : nombre de degrés-jours au-dessus de 15 °C lorsque $T > 15^\circ\text{C}$ pour tout le volume du lac (Carte 6)



Lac STW, 1981–2010: nombre de jours avec au moins 25% du volume avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$

Fig. 12 Lac STW, 1981-2010 : nombre de jours avec au moins 25 % du volume du lac avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (Carte 7a)



Lac STW, 1981–2010: nombre de jours avec au moins 50% du volume avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$

Fig. 13 Lac STW, 1981-2010 : nombre de jours avec au moins 50 % du volume du lac avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (Carte 7b)

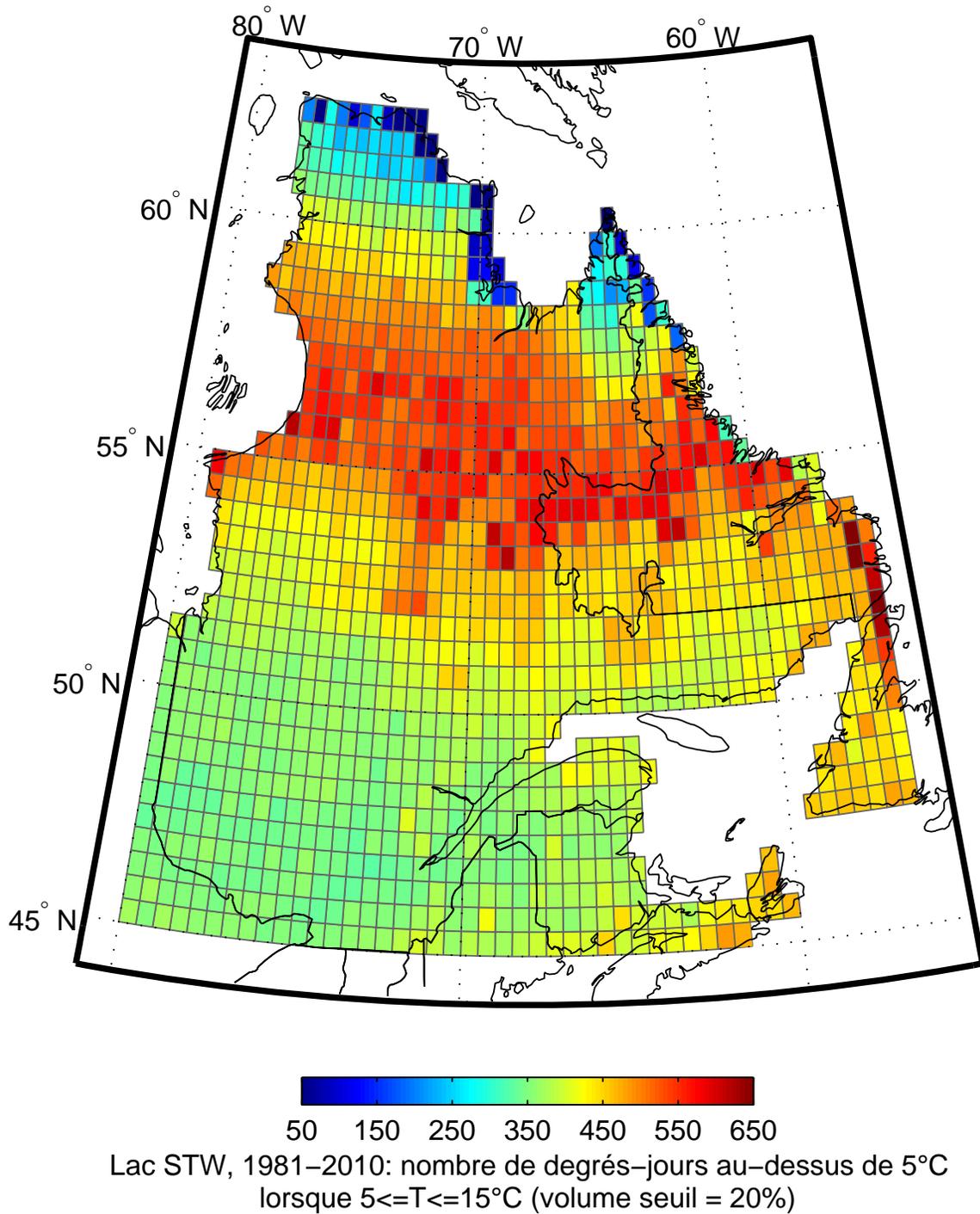


Fig. 14 Lac STW, 1981-2010 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C lorsque $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (volume seuil pour être considéré dans le calcul : 20 %) (Carte 8a)

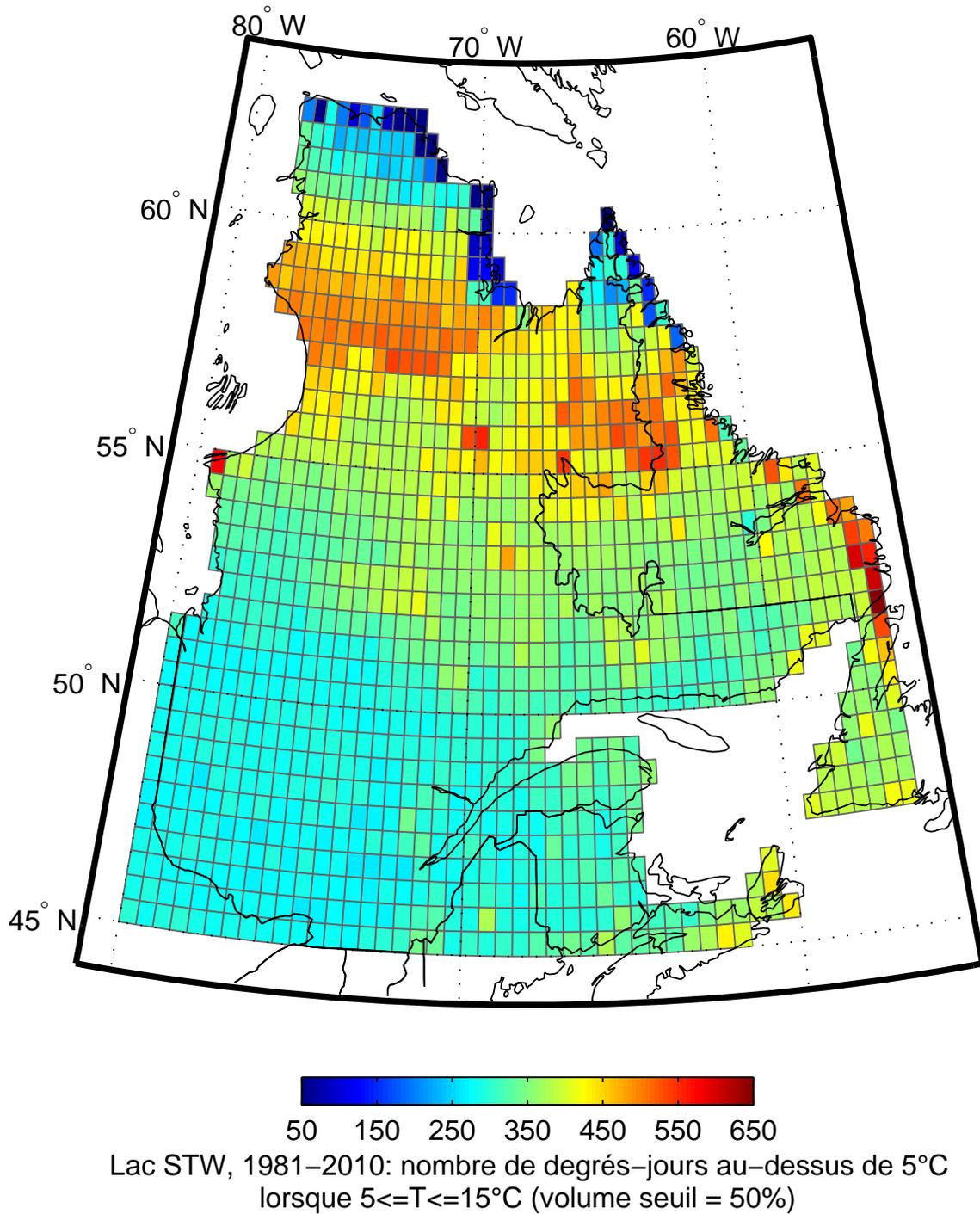
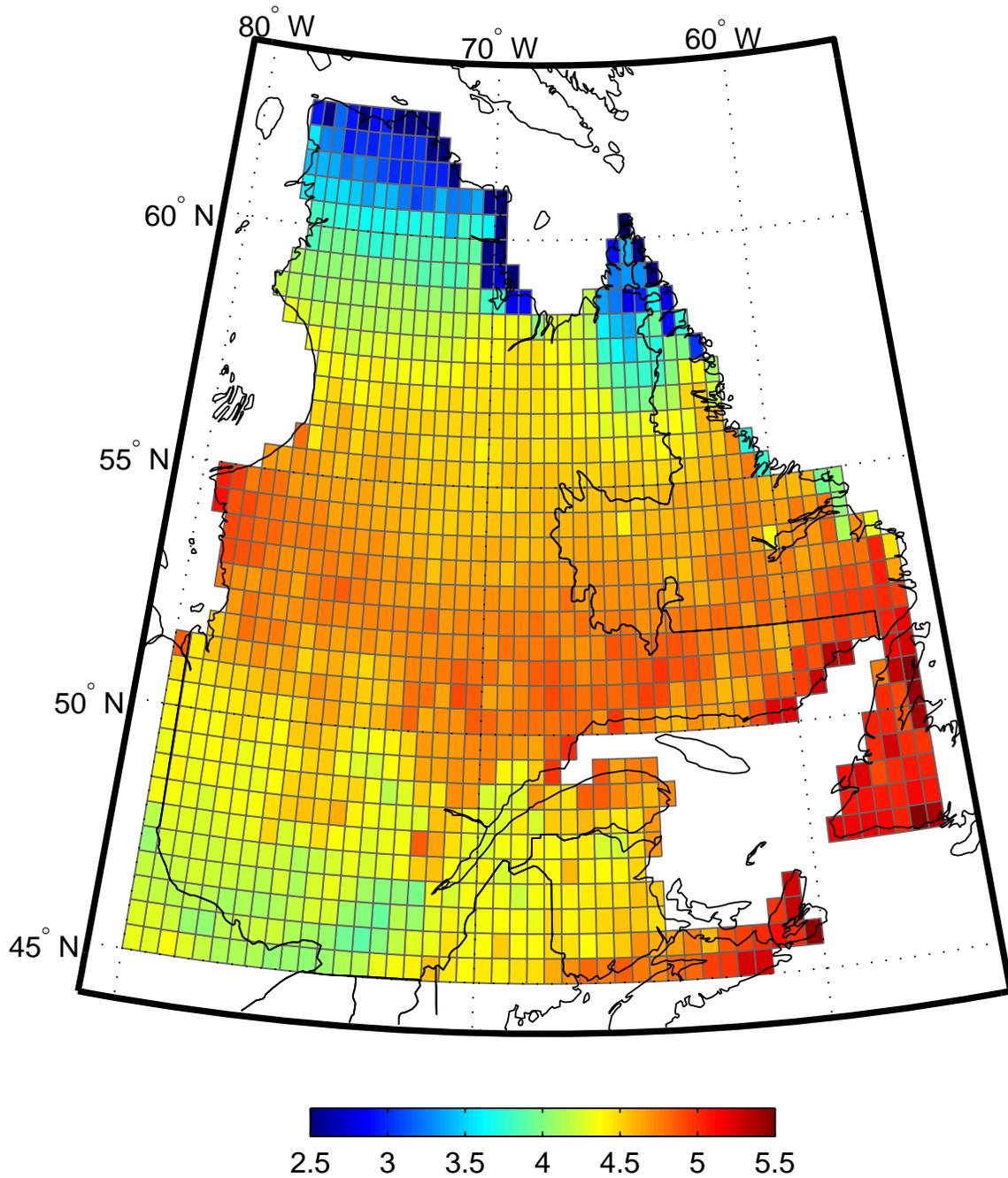
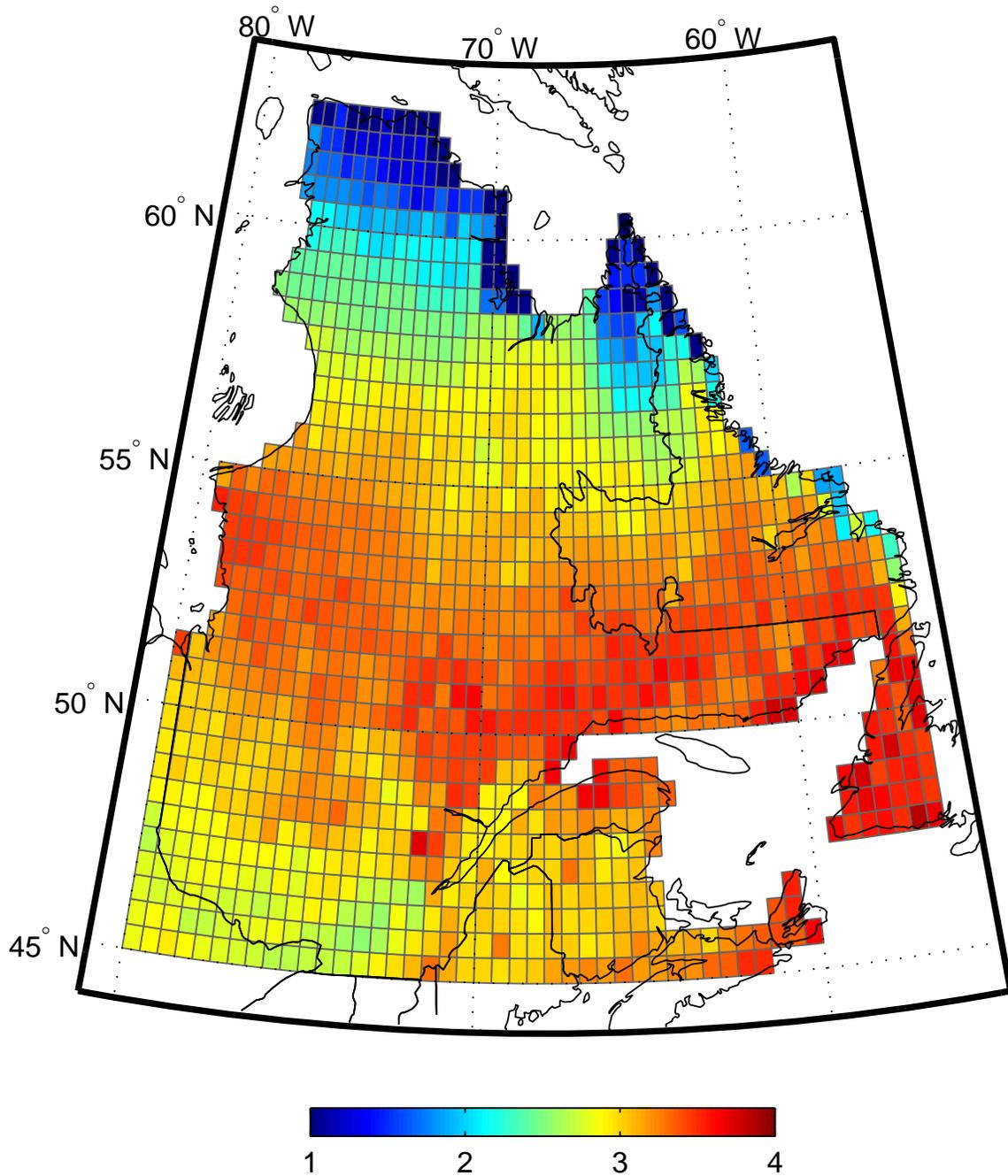


Fig. 15 Lac STW, 1981-2010 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C lorsque $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (volume seuil pour être considéré dans le calcul : 50 %) (Carte 8b)



Lac STW, 1981–2010: nombre de m³-jours avec $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ ($\times 10^9$)
 (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre $T=15^\circ\text{C}$ et $T=20^\circ\text{C}$)

Fig. 16 Lac STW, 1981-2010 : nombre de m³-jours avec $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre 15 et 20 °C) ($\times 10^9$) (Carte 9)



Lac STW, 1981–2010: nombre de m^3 -degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ ($\times 10^{10}$) (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre $T=15^\circ\text{C}$ et $T=20^\circ\text{C}$)

Fig. 17 Lac STW, 1981-2010 : nombre de m^3 -degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre 15 et 20°C) ($\times 10^{10}$) (Carte 10)

5.0 Cartes pour le lac Stewart, période 2041-2070

- Fig. 18 Lac STW, 2041-2070 : maximum de contenu en chaleur (PJ) (Carte 1a)
- Fig. 19 Lac STW, 2041-2070 : maximum de contenu en chaleur (normalisé) (Carte 1b)
- Fig. 20 Lac STW, 2041-2070 : occurrence du maximum de contenu en chaleur (Carte 1c)
- Fig. 21 Lac STW, 2041-2070 : température moyenne de 0 à 5 m pour la période du 01 juin au 31 août (°C) (Carte 2)
- Fig. 22 Lac STW, 2041-2070 : maximum d'épaisseur de glace (m) (Carte 3a)
- Fig. 23 Lac STW, 2041-2070 : occurrence du maximum d'épaisseur de glace (Carte 3b)
- Fig. 24 Lac STW, 2041-2070 : volume minimum avec $T < 15^\circ$ (% du volume total) (Carte 4a)
- Fig. 25 Lac STW, 2041-2070 : occurrence du volume minimum avec $T < 15^\circ\text{C}$ pour les cas où le volume minimum n'est ni 0 % ni 100 % (Carte 4b)
- Fig. 26 Lac STW, 2041-2070 : occurrence de la première journée avec $T > 15^\circ\text{C}$ pour tout le volume du lac (Carte 4c)
- Fig. 27 Lac STW, 2041-2070 : nombre de jours avec $T > 15^\circ\text{C}$ pour tout le volume du lac (Carte 5)
- Fig. 28 Lac STW, 2041-2070 : nombre de degrés-jours au-dessus de 15°C lorsque $T > 15^\circ\text{C}$ pour tout le volume du lac (Carte 6)
- Fig. 29 Lac STW, 2041-2070 : nombre de jours avec au moins 25 % du volume du lac avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (Carte 7a)
- Fig. 30 Lac STW, 2041-2070 : nombre de jours avec au moins 50 % du volume du lac avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (Carte 7b)
- Fig. 31 Lac STW, 2041-2070 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (volume seuil pour être considéré dans le calcul : 20 %) (Carte 8a)
- Fig. 32 Lac STW, 2041-2070 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (volume seuil pour être considéré dans le calcul : 50 %) (Carte 8b)
- Fig. 33 Lac STW, 2041-2070 : nombre de m^3 -jours avec $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre 15 et 20°C) ($\times 10^9$) (Carte 9)
- Fig. 34 Lac STW, 2041-2070 : nombre de m^3 -degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre 15 et 20°C) ($\times 10^{10}$) (Carte 10)

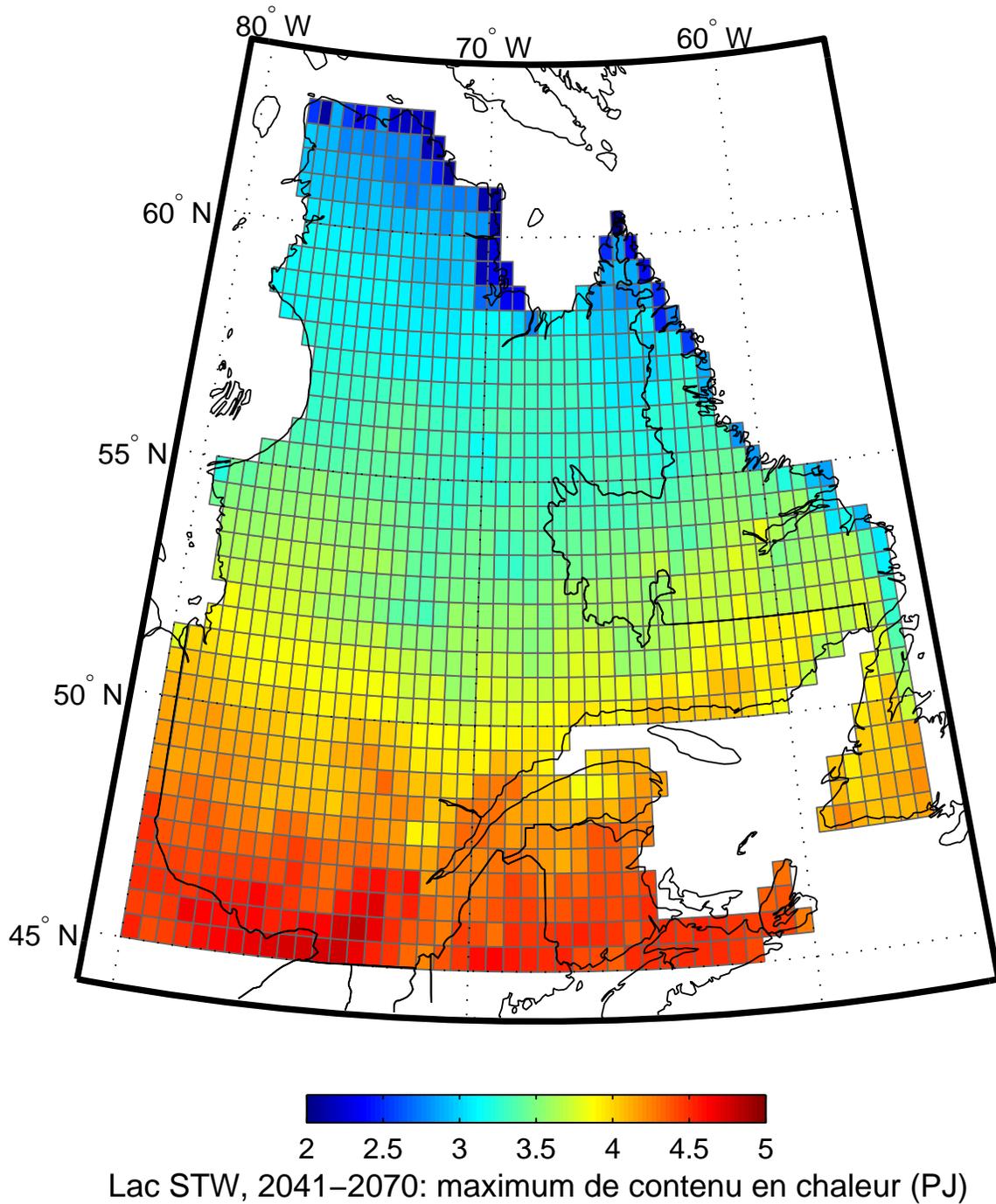
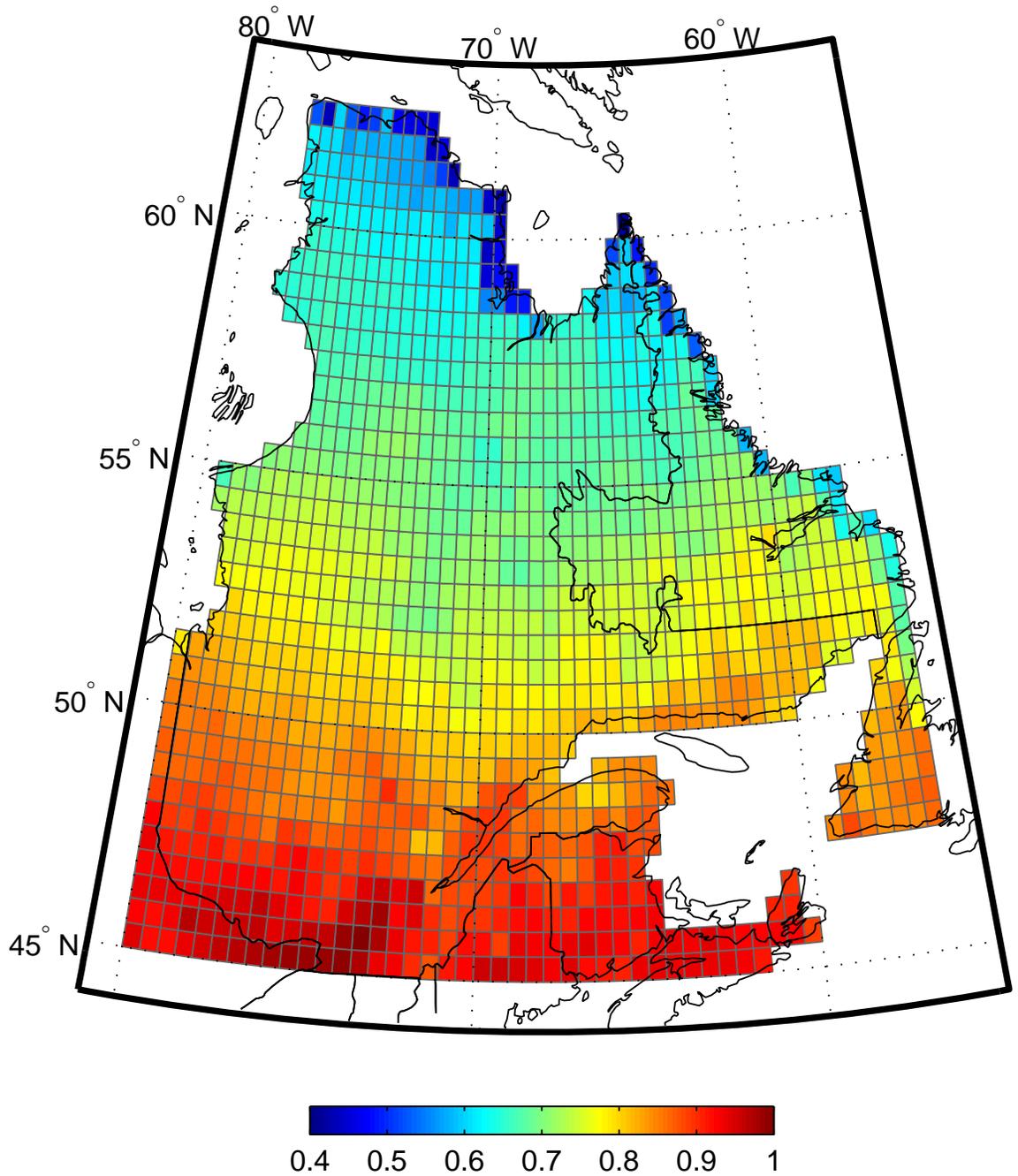
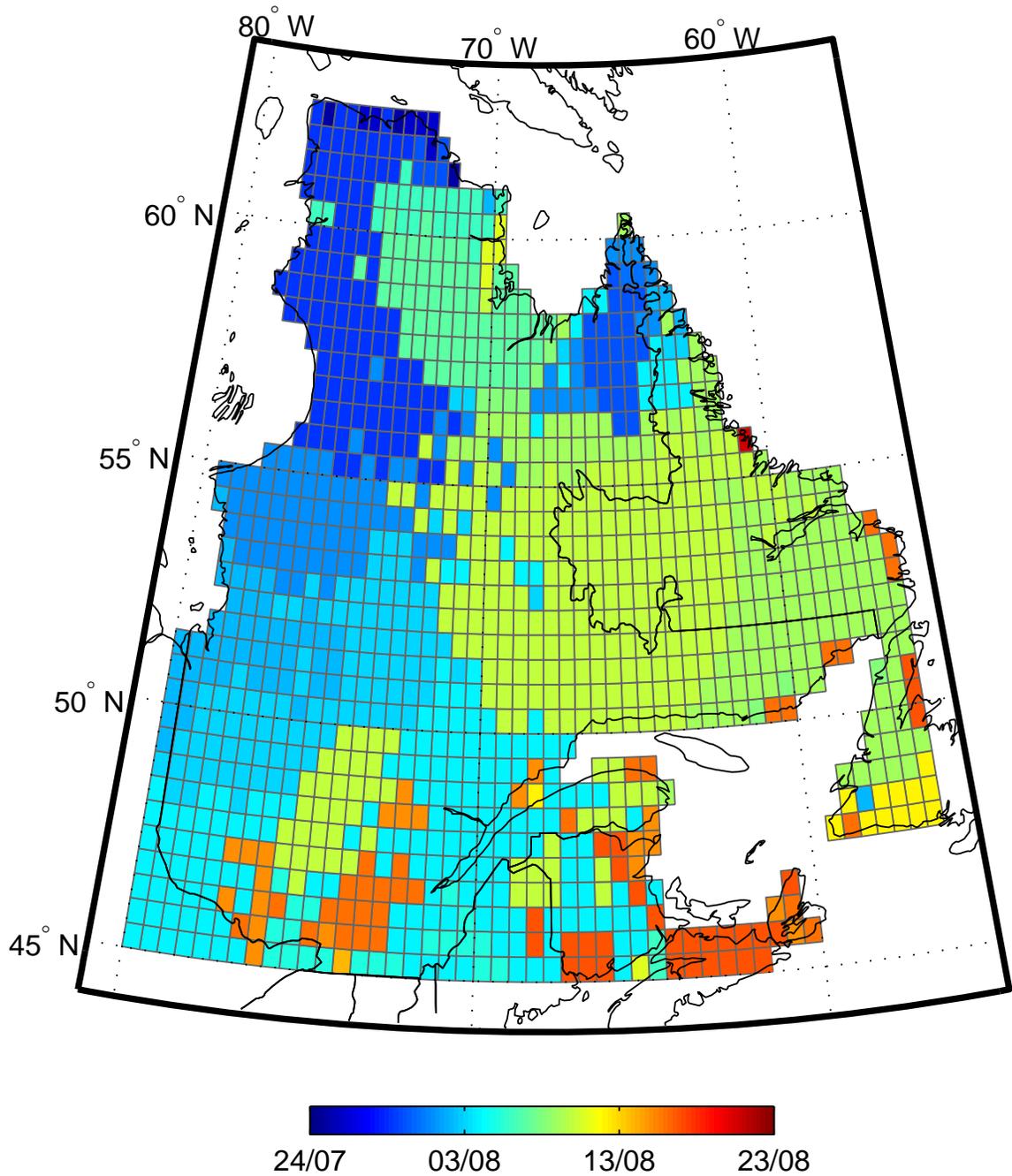


Fig. 18 Lac STW, 2041–2070 : maximum de contenu en chaleur (PJ) (Carte 1a)



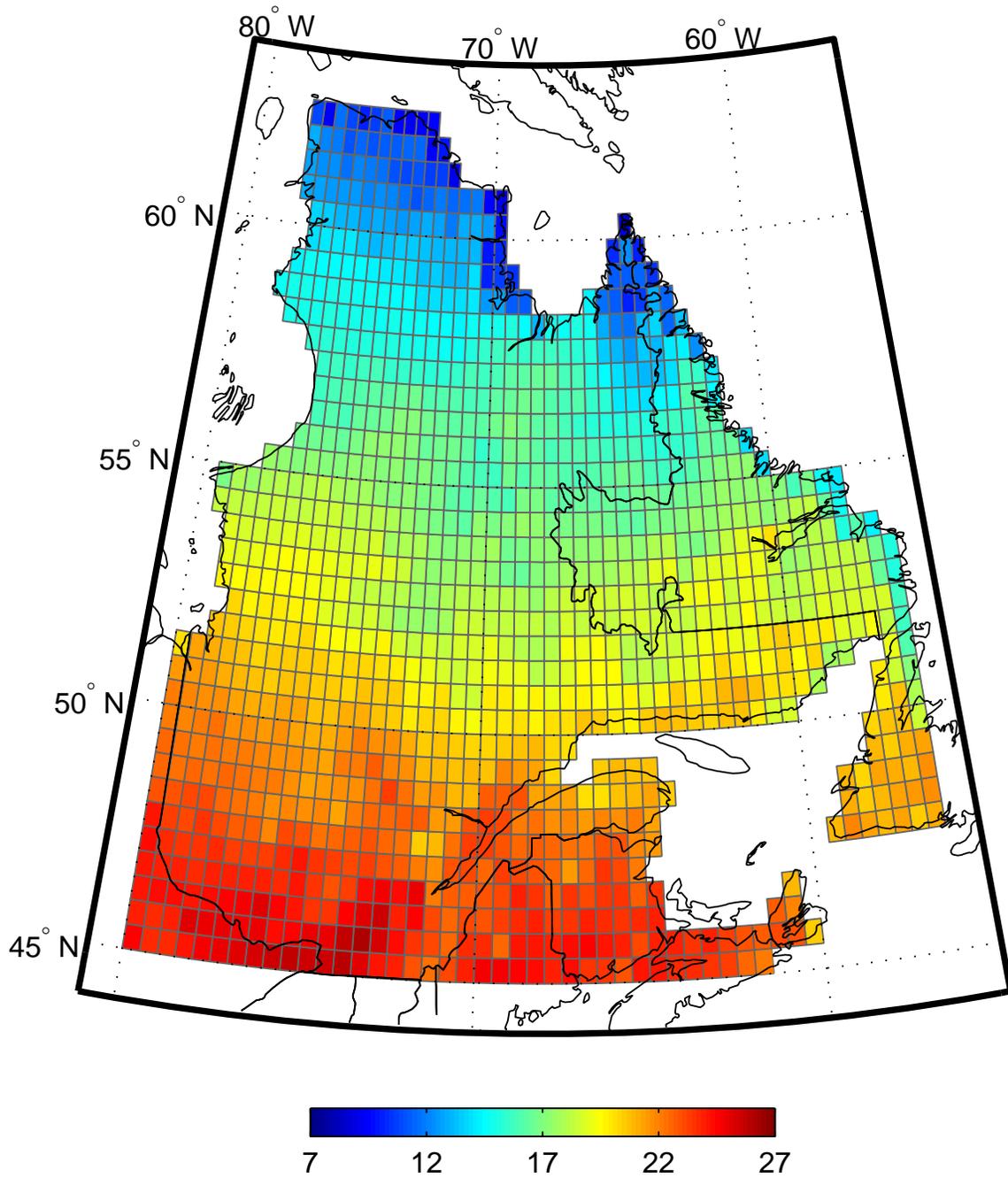
Lac STW, 2041–2070: maximum de contenu en chaleur normalisé

Fig. 19 Lac STW, 2041-2070 : maximum de contenu en chaleur (normalisé) (Carte 1b)



Lac STW, 2041–2070: occurrence du maximum de contenu en chaleur

Fig. 20 Lac STW, 2041-2070 : occurrence du maximum de contenu en chaleur (Carte 1c)



Lac STW, 2041–2070: température moyenne, couche 0–5m, période JJA (°C)

Fig. 21 Lac STW, 2041-2070 : température moyenne de 0 à 5 m pour la période du 01 juin au 31 août (°C) (Carte 2)

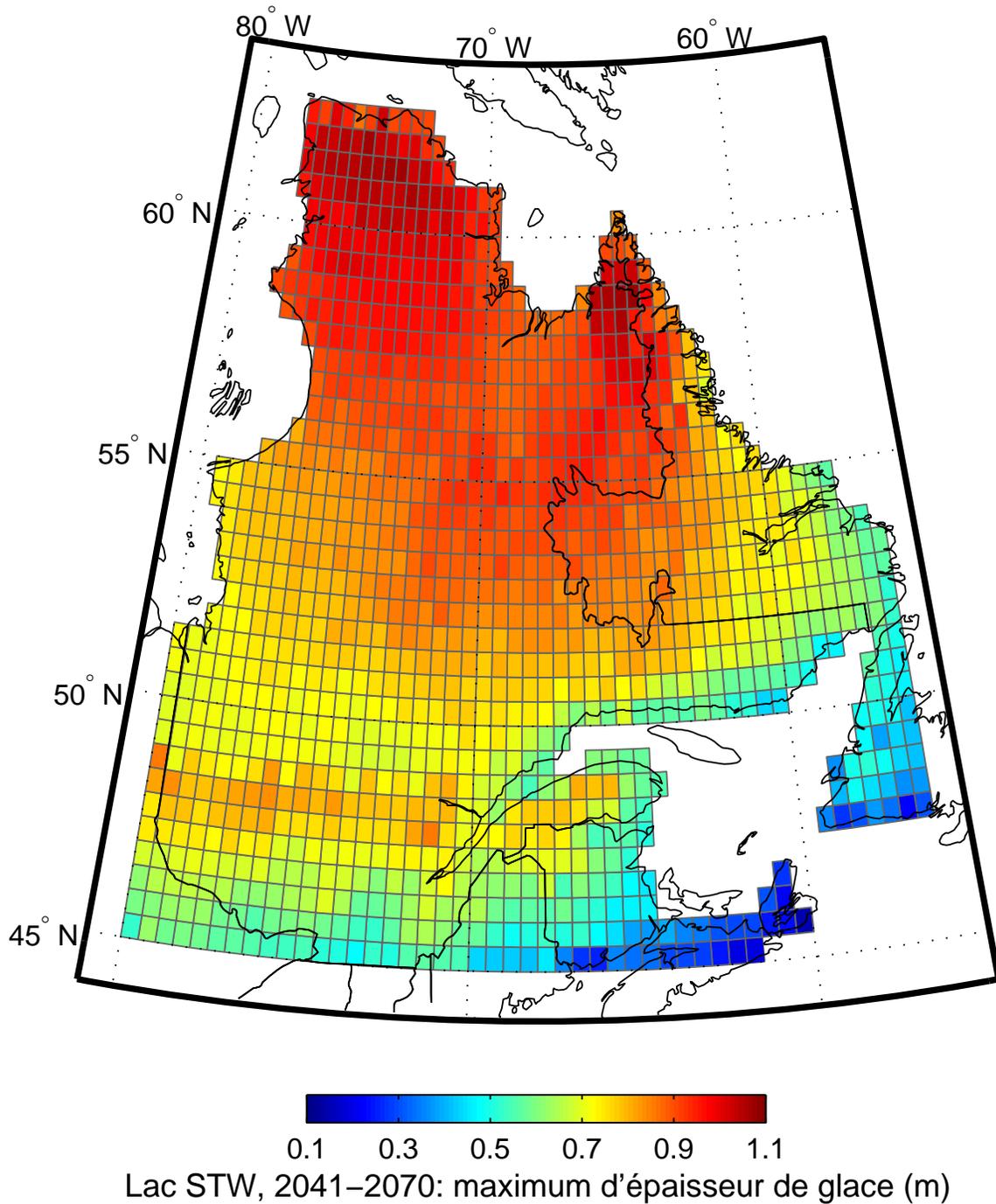
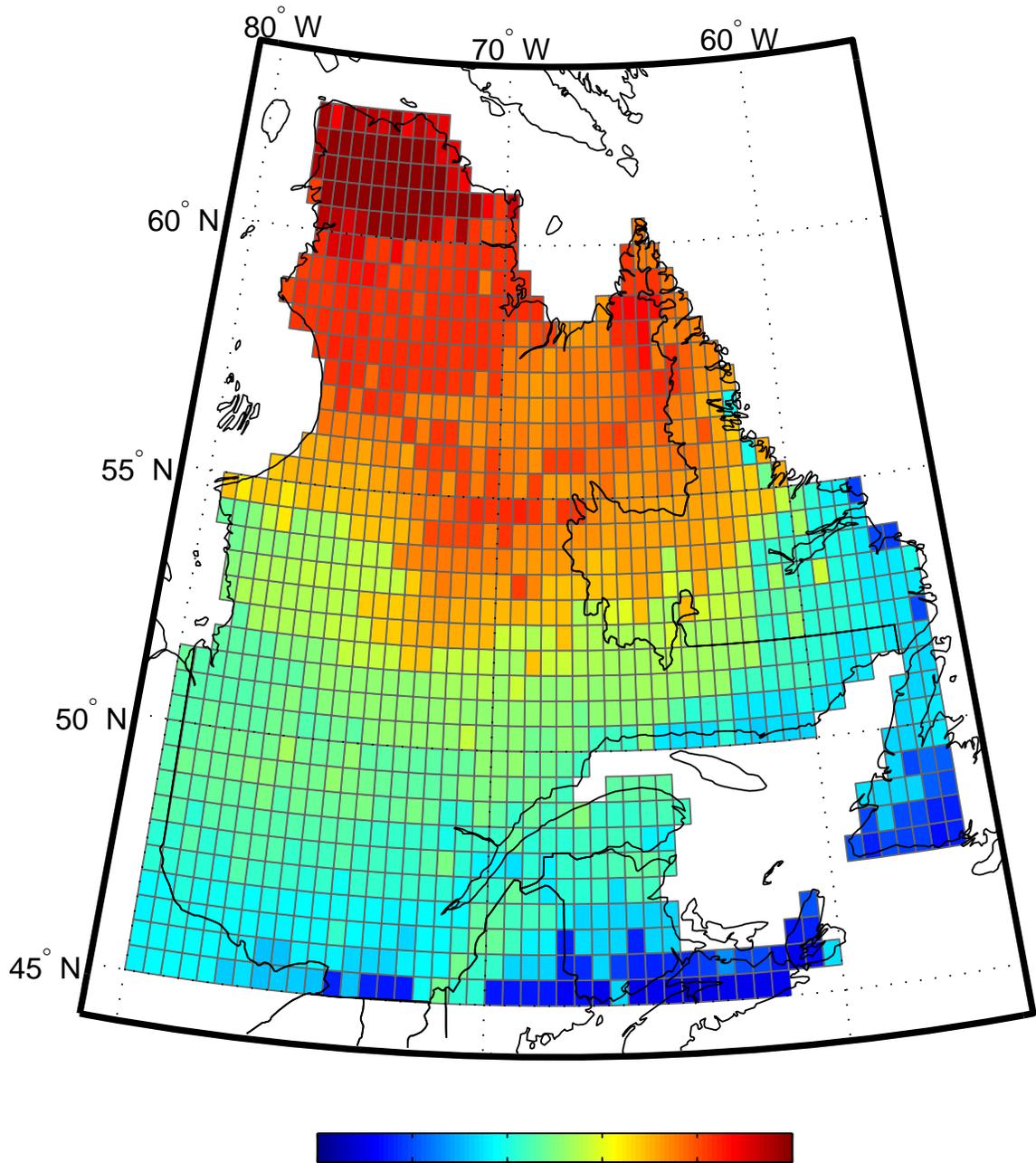


Fig. 22 Lac STW, 2041-2070 : maximum d'épaisseur de glace (m) (Carte 3a)



04/02 24/02 16/03 05/04 25/04 15/05
 Lac STW, 2041–2070: occurrence du maximum d'épaisseur de glace

Fig. 23 Lac STW, 2041-2070 : occurrence du maximum d'épaisseur de glace (Carte 3b)

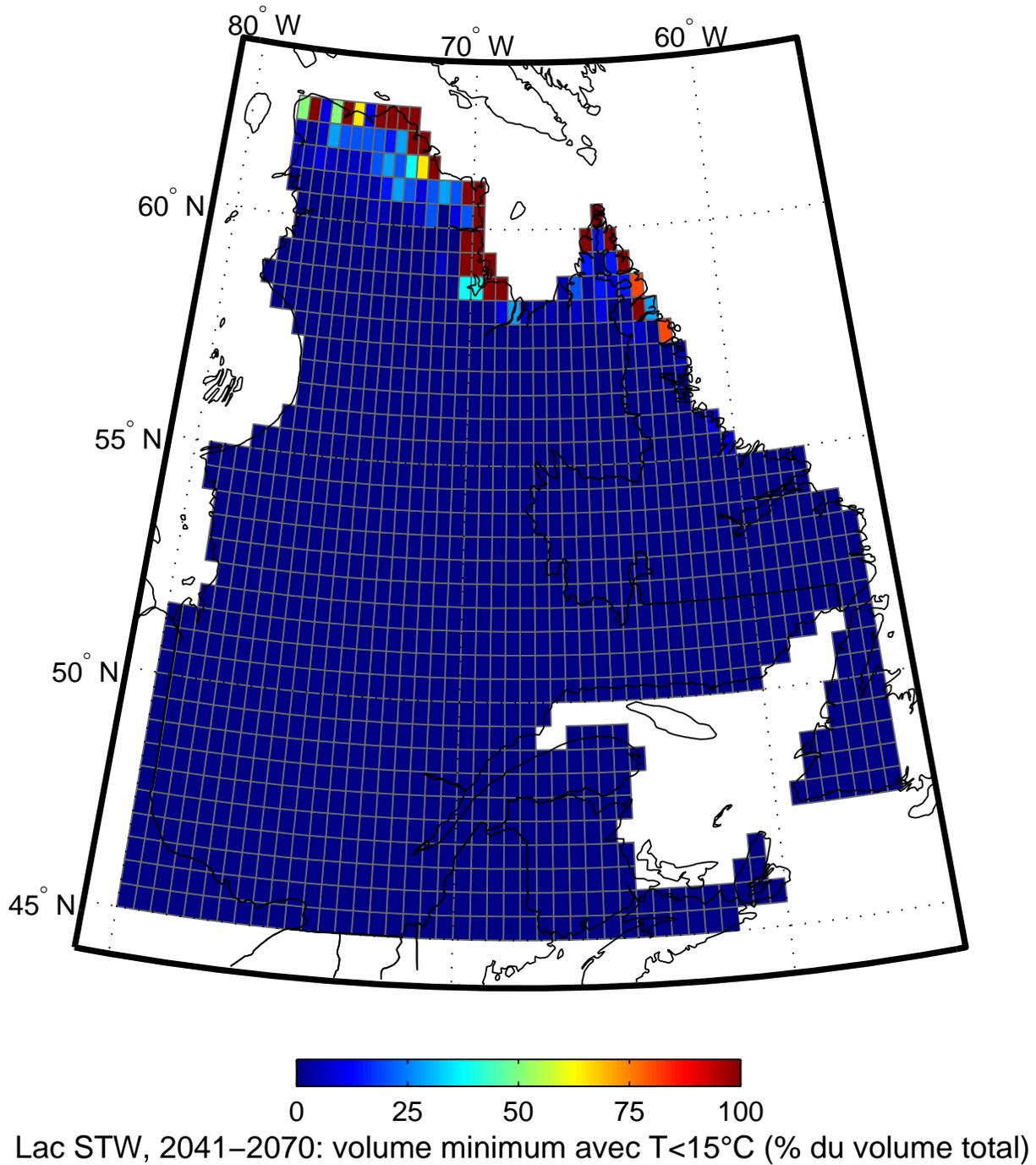
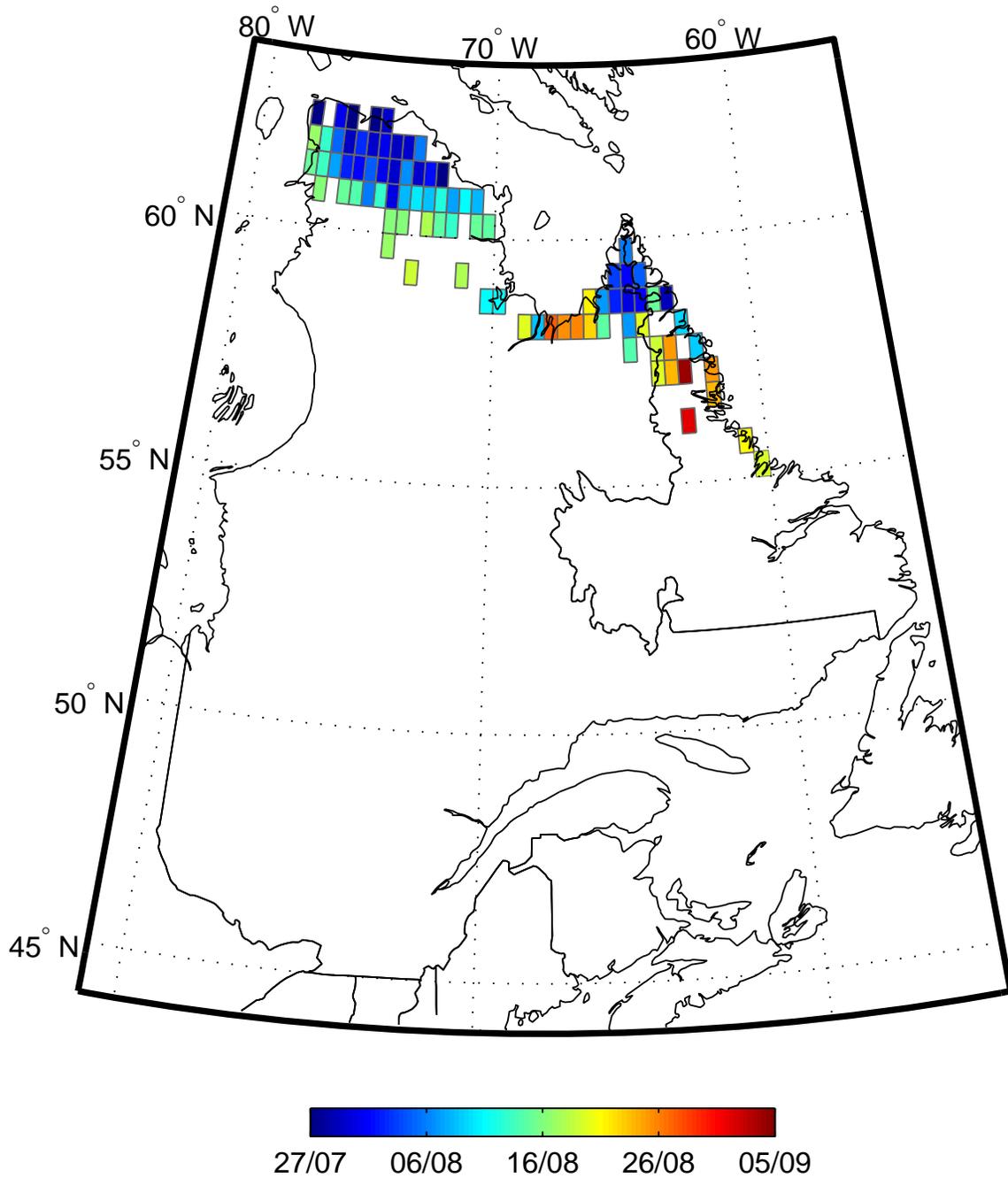
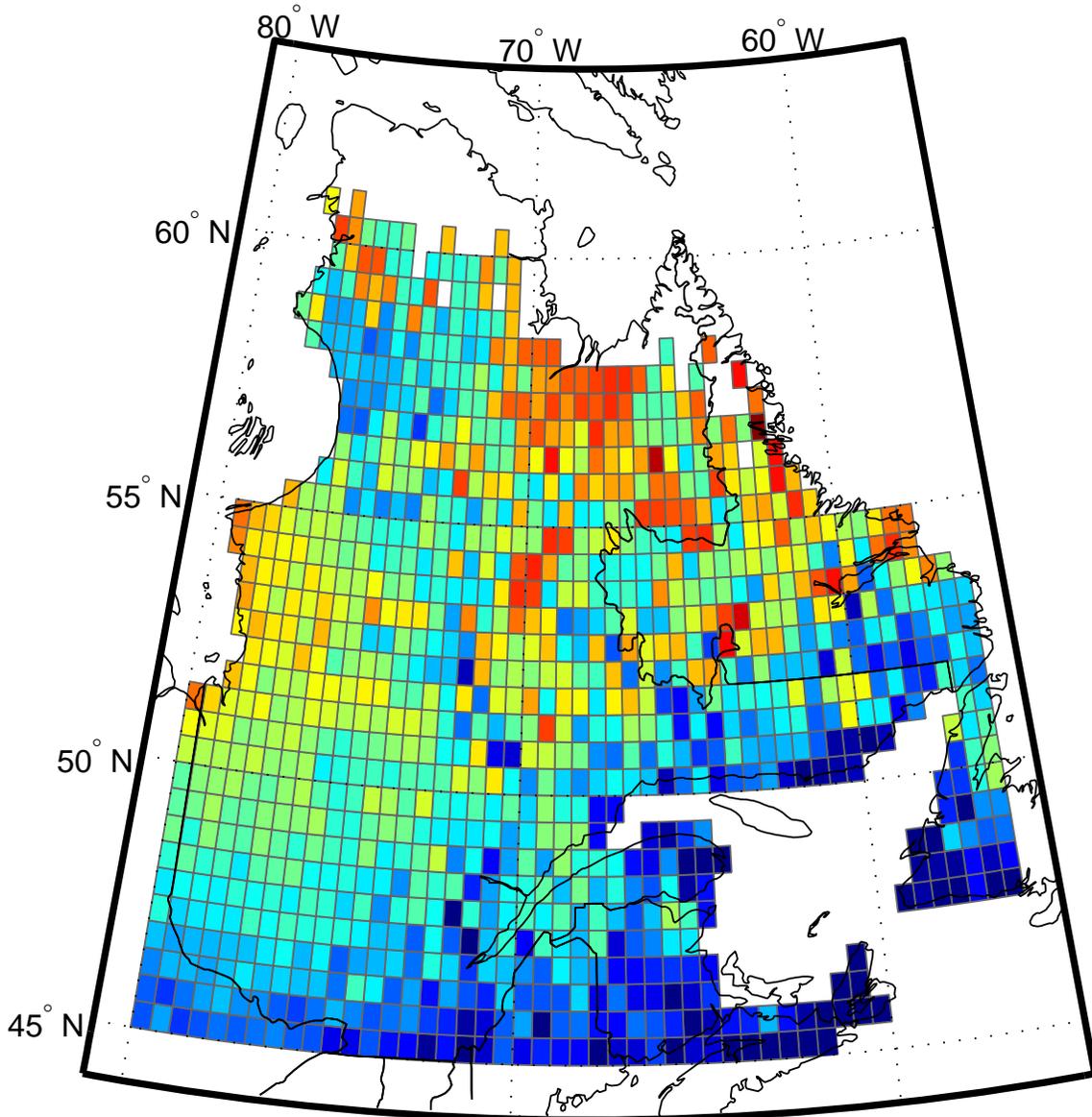


Fig. 24 Lac STW, 2041-2070 : volume minimum avec $T < 15^{\circ}$ (% du volume total)
(Carte 4a)



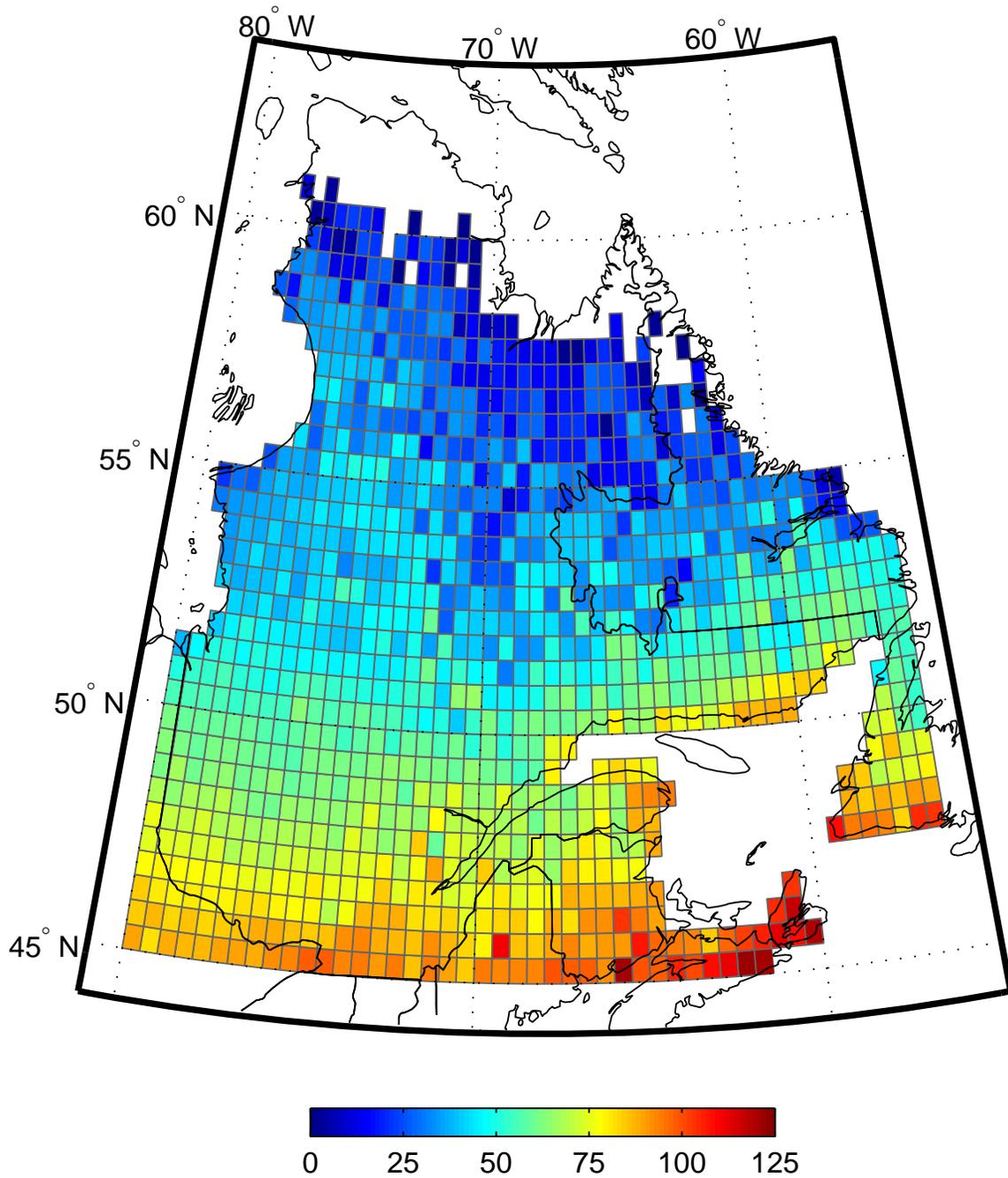
Lac STW, 2041–2070: occurrence du volume minimum avec $T < 15^{\circ}\text{C}$ pour les pixels où le volume minimum est entre 0% (sud) et 100% (nord)

Fig. 25 Lac STW, 2041–2070 : occurrence du volume minimum avec $T < 15^{\circ}\text{C}$ pour les cas où le volume minimum n'est ni 0 % ni 100 % (Carte 4b)



Lac STW, 2041–2070: occurrence de la première journée avec $T > 15^{\circ}\text{C}$ pour tout le volume du lac

Fig. 26 Lac STW, 2041-2070 : occurrence de la première journée avec $T > 15^{\circ}\text{C}$ pour tout le volume du lac (Carte 4c)



Lac STW, 2041–2070: nombre de jours avec $T > 15^{\circ}\text{C}$ pour tout le volume du lac pour les pixels où cette condition survient (sud)

Fig. 27 Lac STW, 2041-2070 : nombre de jours avec $T > 15^{\circ}\text{C}$ pour tout le volume du lac (Carte 5)

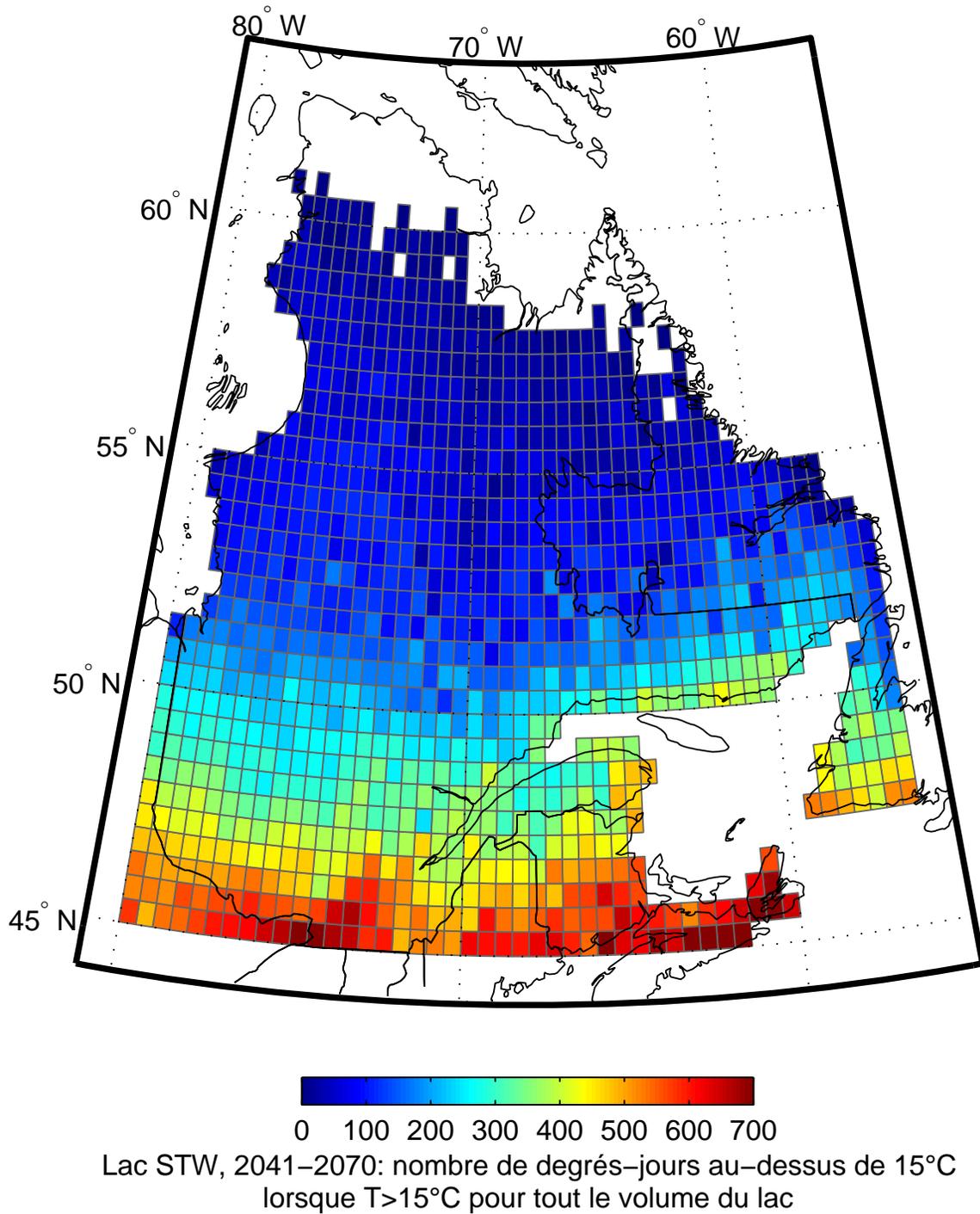
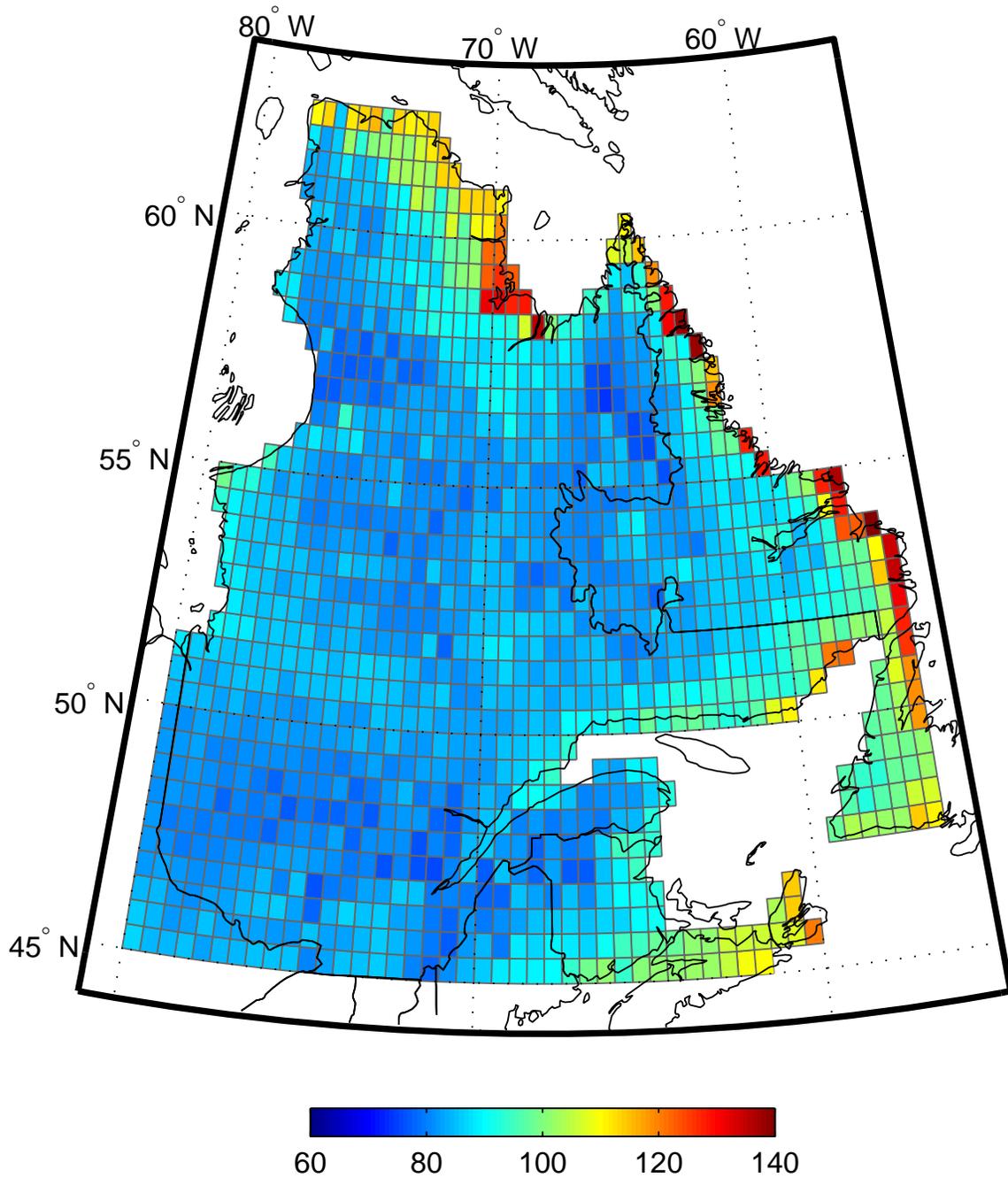
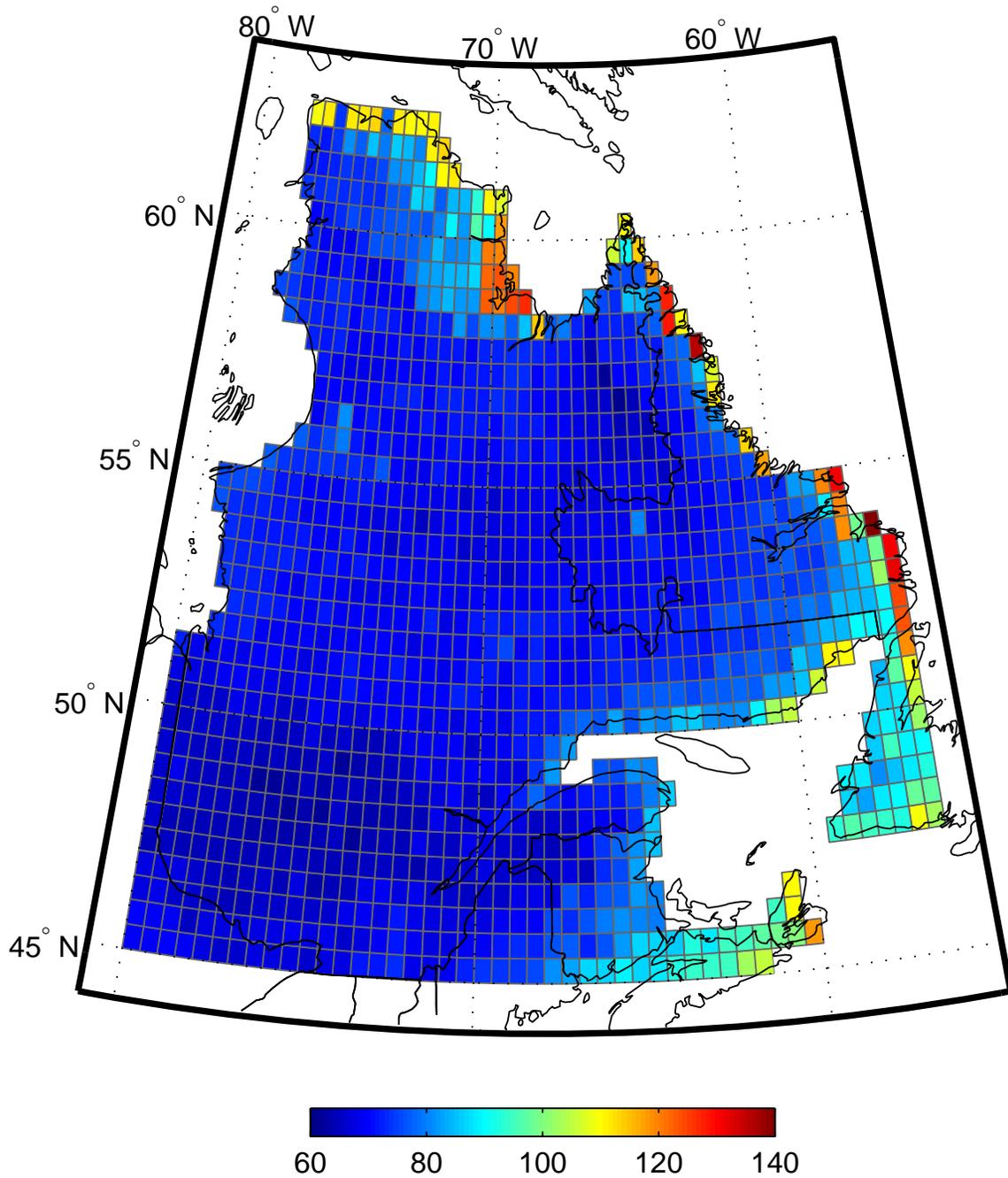


Fig. 28 Lac STW, 2041-2070 : nombre de degrés-jours au-dessus de 15 °C lorsque $T > 15^\circ\text{C}$ pour tout le volume du lac (Carte 6)



Lac STW, 2041–2070: nombre de jours avec au moins 25% du volume avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$

Fig. 29 Lac STW, 2041-2070 : nombre de jours avec au moins 25 % du volume du lac avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (Carte 7a)



Lac STW, 2041–2070: nombre de jours avec au moins 50% du volume avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$

Fig. 30 Lac STW, 2041-2070 : nombre de jours avec au moins 50 % du volume du lac avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (Carte 7b)

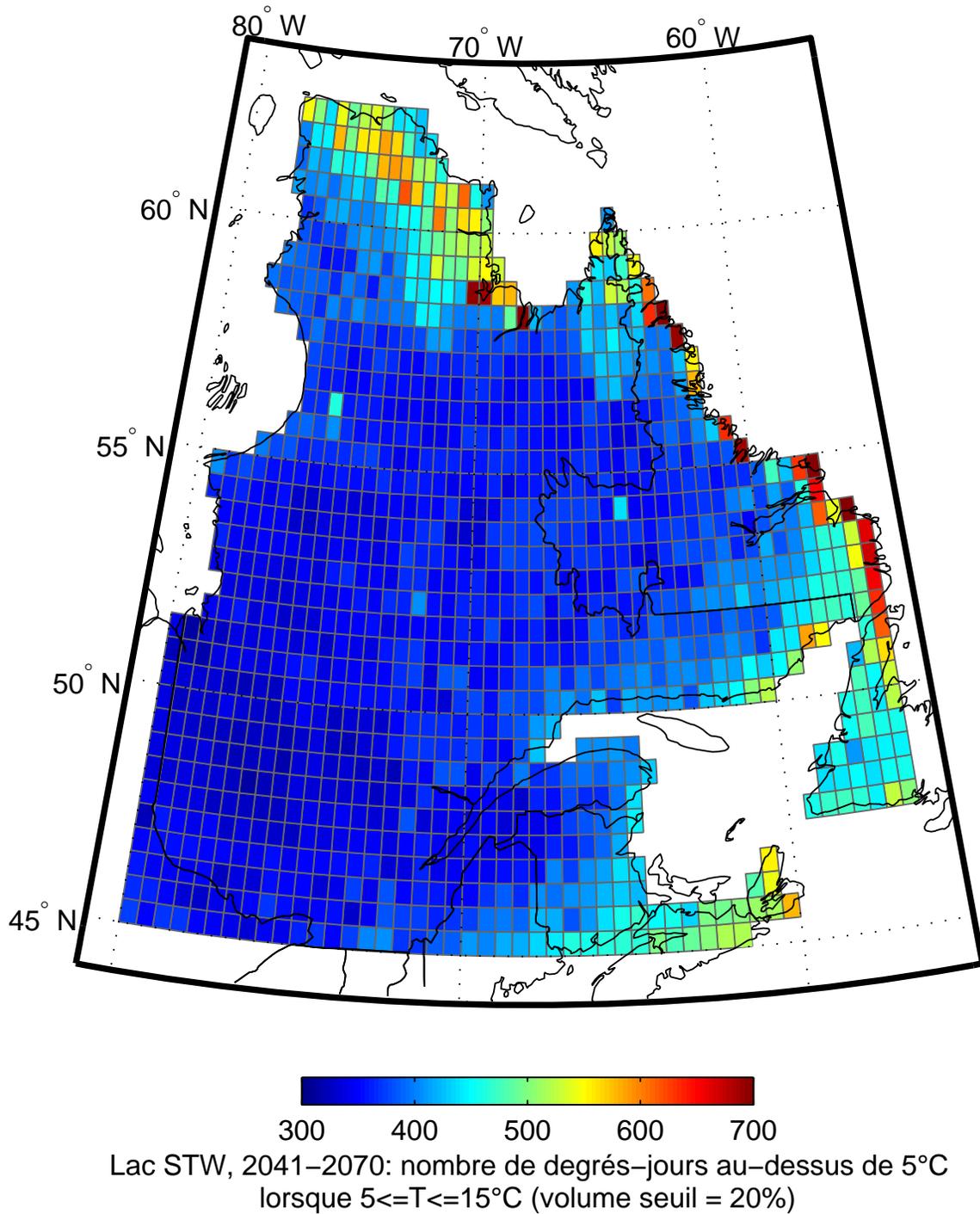


Fig. 31 Lac STW, 2041-2070 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C lorsque $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (volume seuil pour être considéré dans le calcul : 20 %) (Carte 8a)

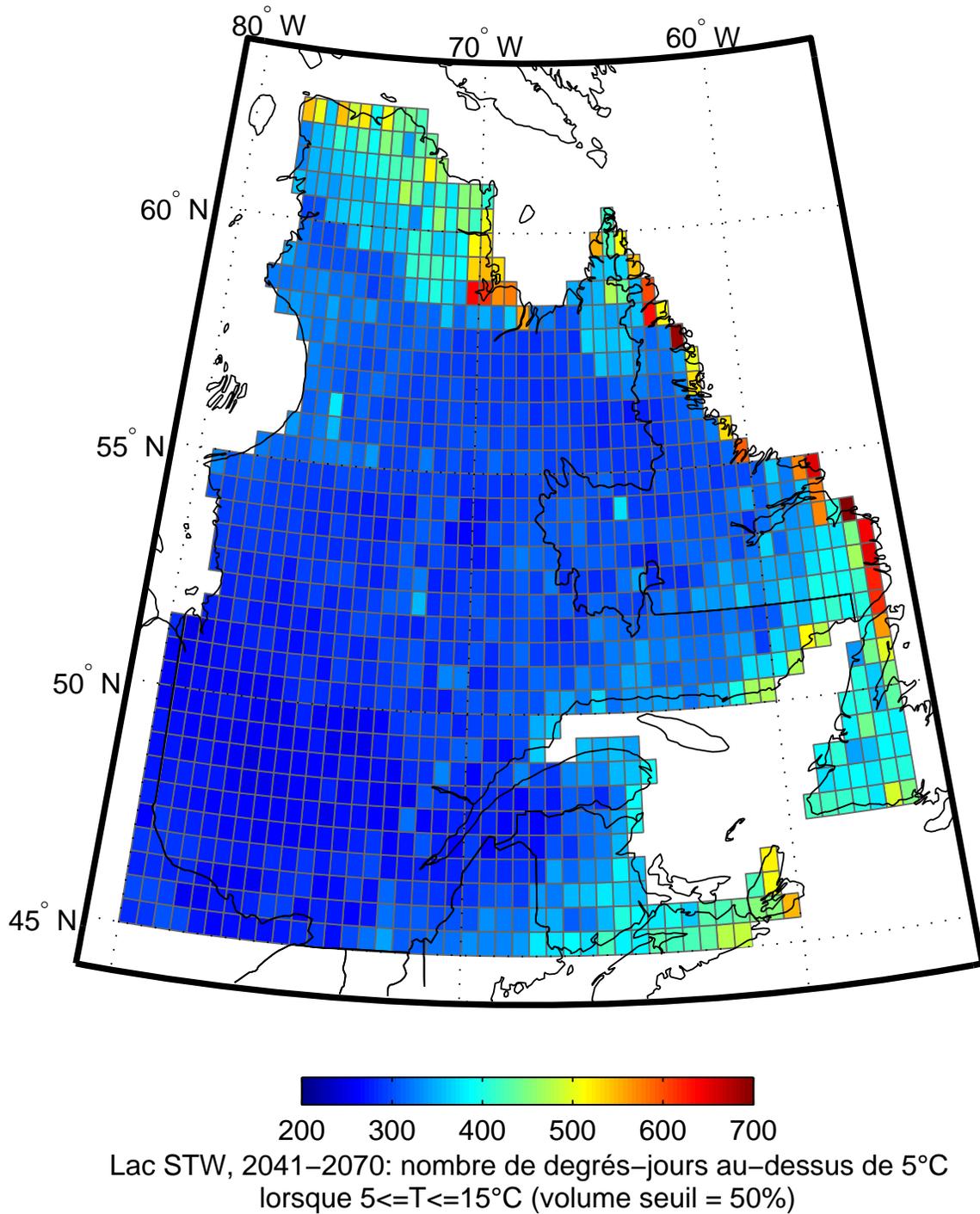
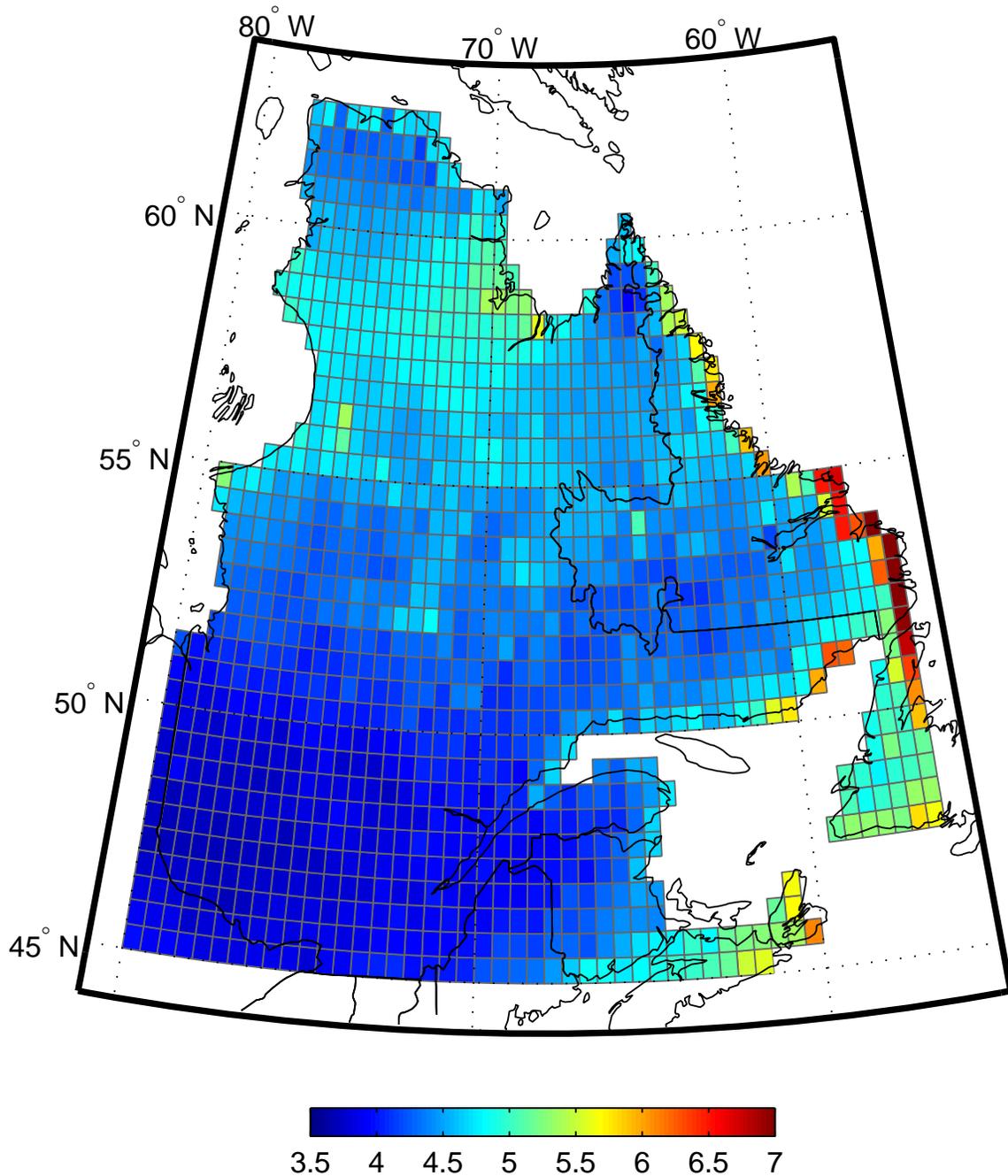
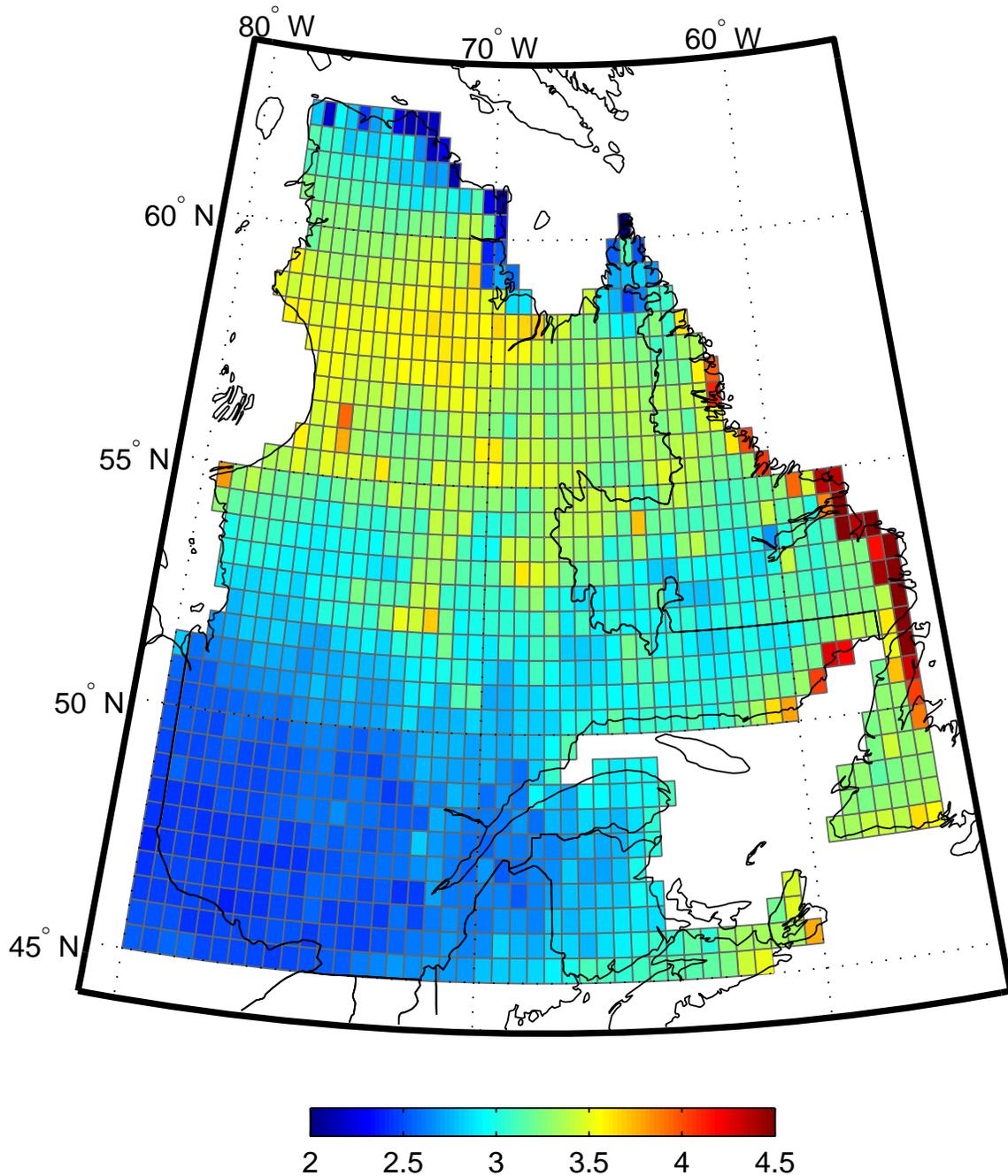


Fig. 32 Lac STW, 2041-2070 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C lorsque $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (volume seuil pour être considéré dans le calcul : 50 %) (Carte 8b)



Lac STW, 2041–2070: nombre de m³-jours avec $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ ($\times 10^9$)
 (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre $T=15^\circ\text{C}$ et $T=20^\circ\text{C}$)

Fig. 33 Lac STW, 2041-2070 : nombre de m³-jours avec $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre 15 et 20 °C) ($\times 10^9$) (Carte 9)



Lac STW, 2041–2070: nombre de m^3 -degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ ($\times 10^{10}$) (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre $T=15^\circ\text{C}$ et $T=20^\circ\text{C}$)

Fig. 34 Lac STW, 2041-2070 : nombre de m^3 -degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre 15 et 20°C) ($\times 10^{10}$) (Carte 10)

6.0 Cartes pour le lac Stewart, période 2071-2100

- Fig. 35 Lac STW, 2071-2100 : maximum de contenu en chaleur (PJ) (Carte 1a)
- Fig. 36 Lac STW, 2071-2100 : maximum de contenu en chaleur (normalisé) (Carte 1b)
- Fig. 37 Lac STW, 2071-2100 : occurrence du maximum de contenu en chaleur (Carte 1c)
- Fig. 38 Lac STW, 2071-2100 : température moyenne de 0 à 5 m pour la période du 01 juin au 31 août (°C) (Carte 2)
- Fig. 39 Lac STW, 2071-2100 : maximum d'épaisseur de glace (m) (Carte 3a)
- Fig. 40 Lac STW, 2071-2100 : occurrence du maximum d'épaisseur de glace (Carte 3b)
- Fig. 41 Lac STW, 2071-2100 : volume minimum avec $T < 15^\circ$ (% du volume total) (Carte 4a)
- Fig. 42 Lac STW, 2071-2100 : occurrence de la première journée avec $T > 15^\circ\text{C}$ pour tout le volume du lac (Carte 4c)
- Fig. 43 Lac STW, 2071-2100 : nombre de jours avec $T > 15^\circ\text{C}$ pour tout le volume du lac (Carte 5)
- Fig. 44 Lac STW, 2071-2100 : nombre de degrés-jours au-dessus de 15°C lorsque $T > 15^\circ\text{C}$ pour tout le volume du lac (Carte 6)
- Fig. 45 Lac STW, 2071-2100 : nombre de jours avec au moins 25 % du volume du lac avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (Carte 7a)
- Fig. 46 Lac STW, 2071-2100 : nombre de jours avec au moins 50 % du volume du lac avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (Carte 7b)
- Fig. 47 Lac STW, 2071-2100 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (volume seuil pour être considéré dans le calcul : 20 %) (Carte 8a)
- Fig. 48 Lac STW, 2071-2100 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (volume seuil pour être considéré dans le calcul : 50 %) (Carte 8b)
- Fig. 49 Lac STW, 2071-2100 : nombre de m^3 -jours avec $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre 15 et 20°C) ($\times 10^9$) (Carte 9)
- Fig. 50 Lac STW, 2071-2100 : nombre de m^3 -degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre 15 et 20°C) ($\times 10^{10}$) (Carte 10)

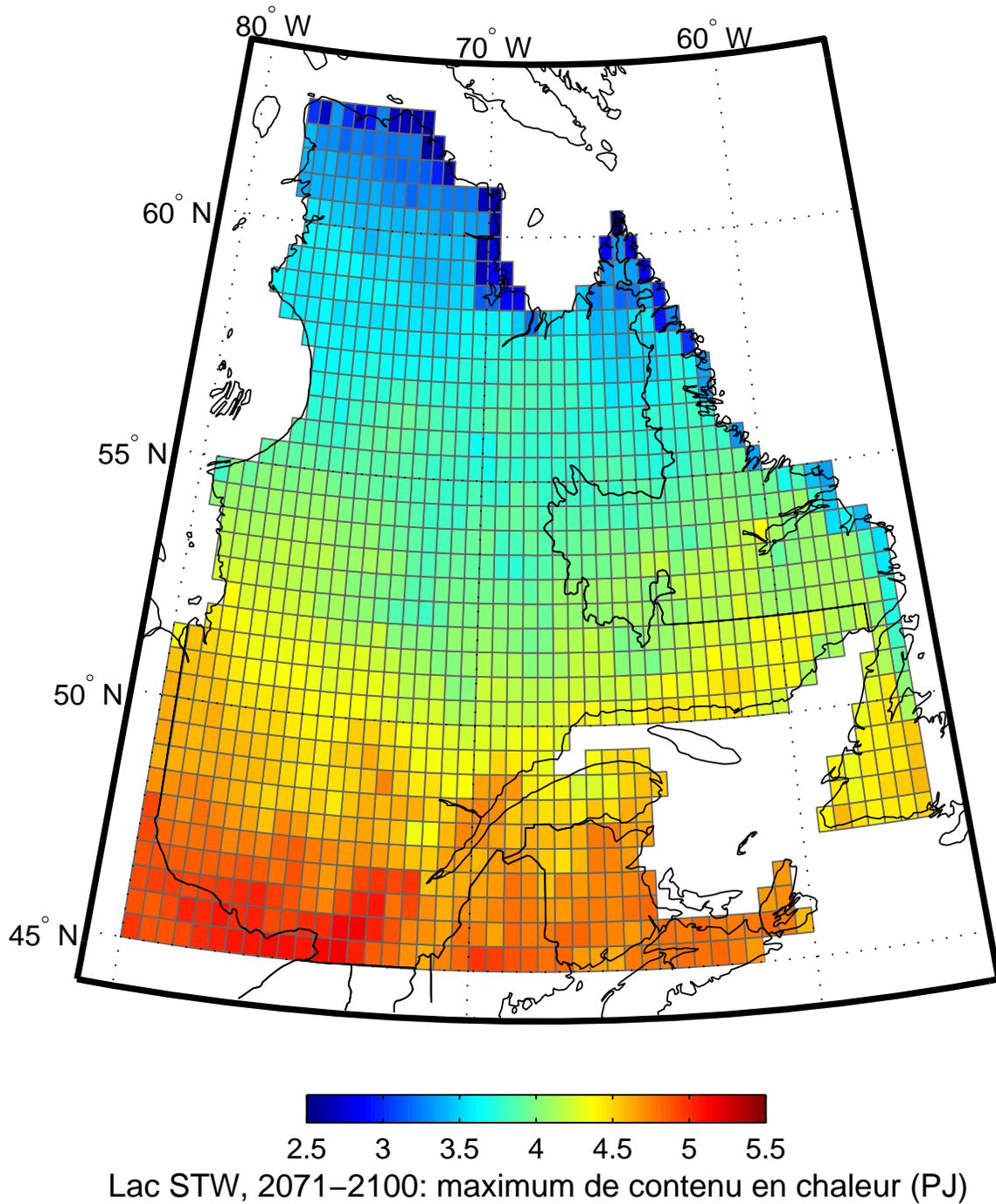
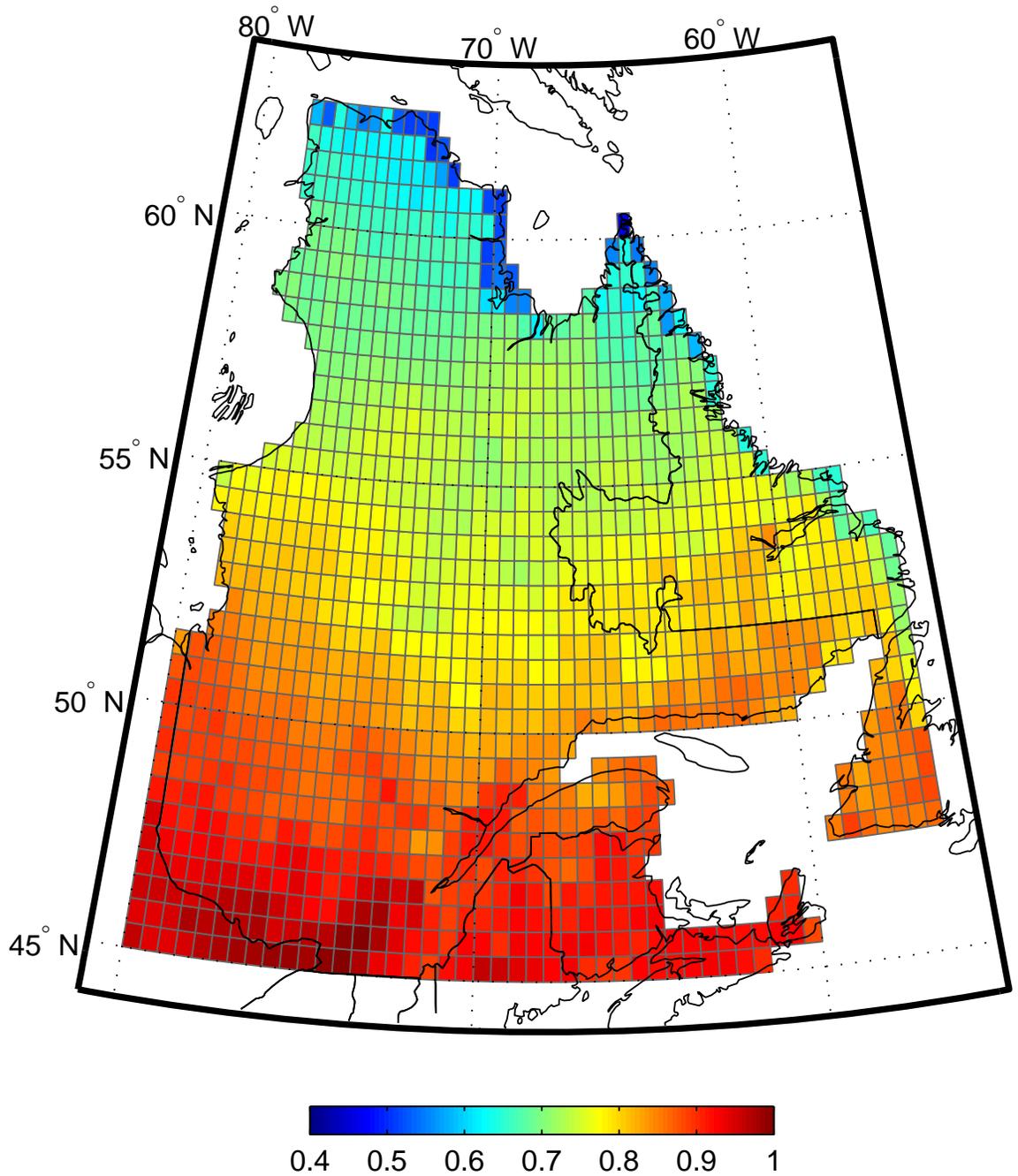
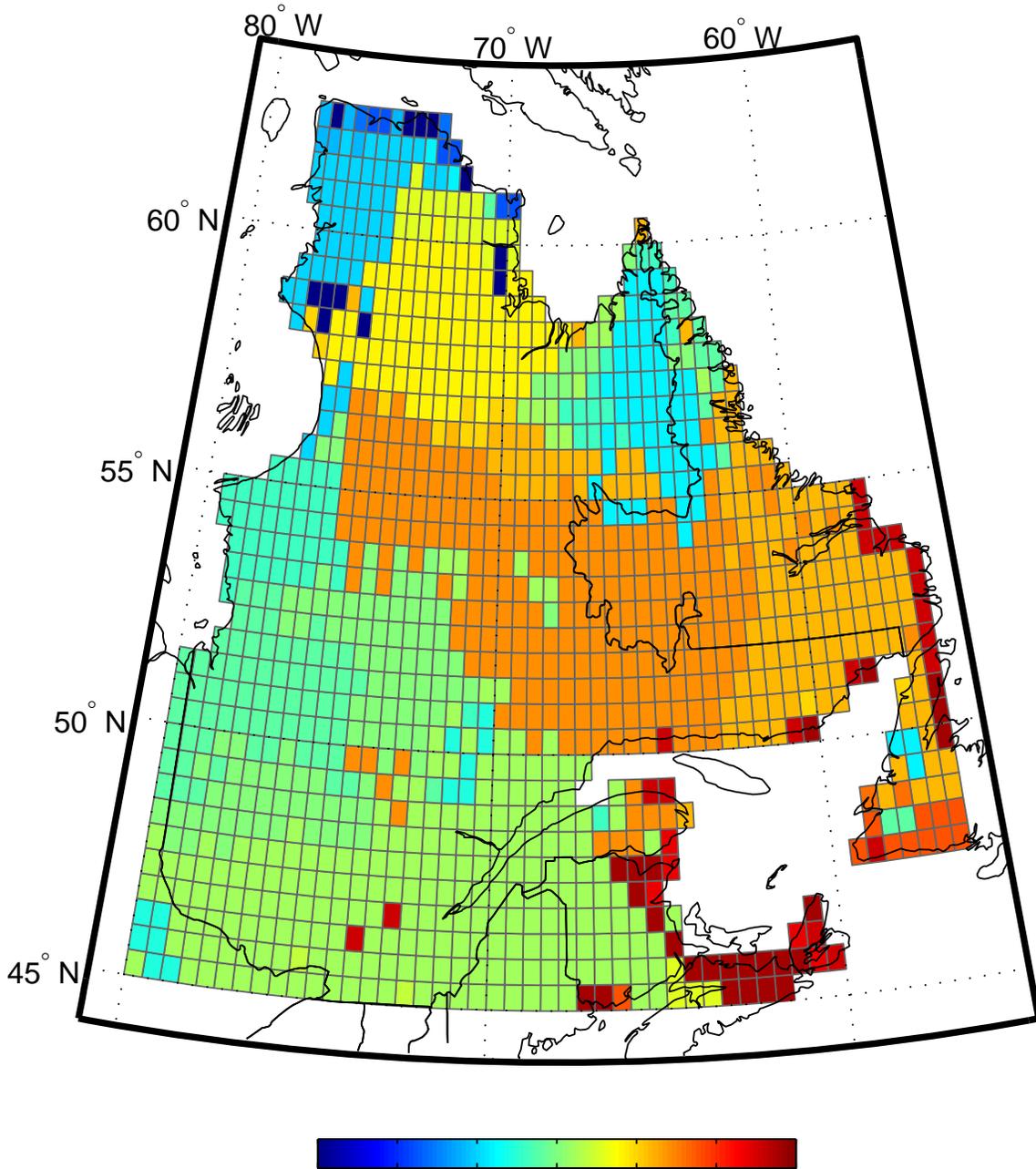


Fig. 35 Lac STW, 2071-2100 : maximum de contenu en chaleur (PJ) (Carte 1a)



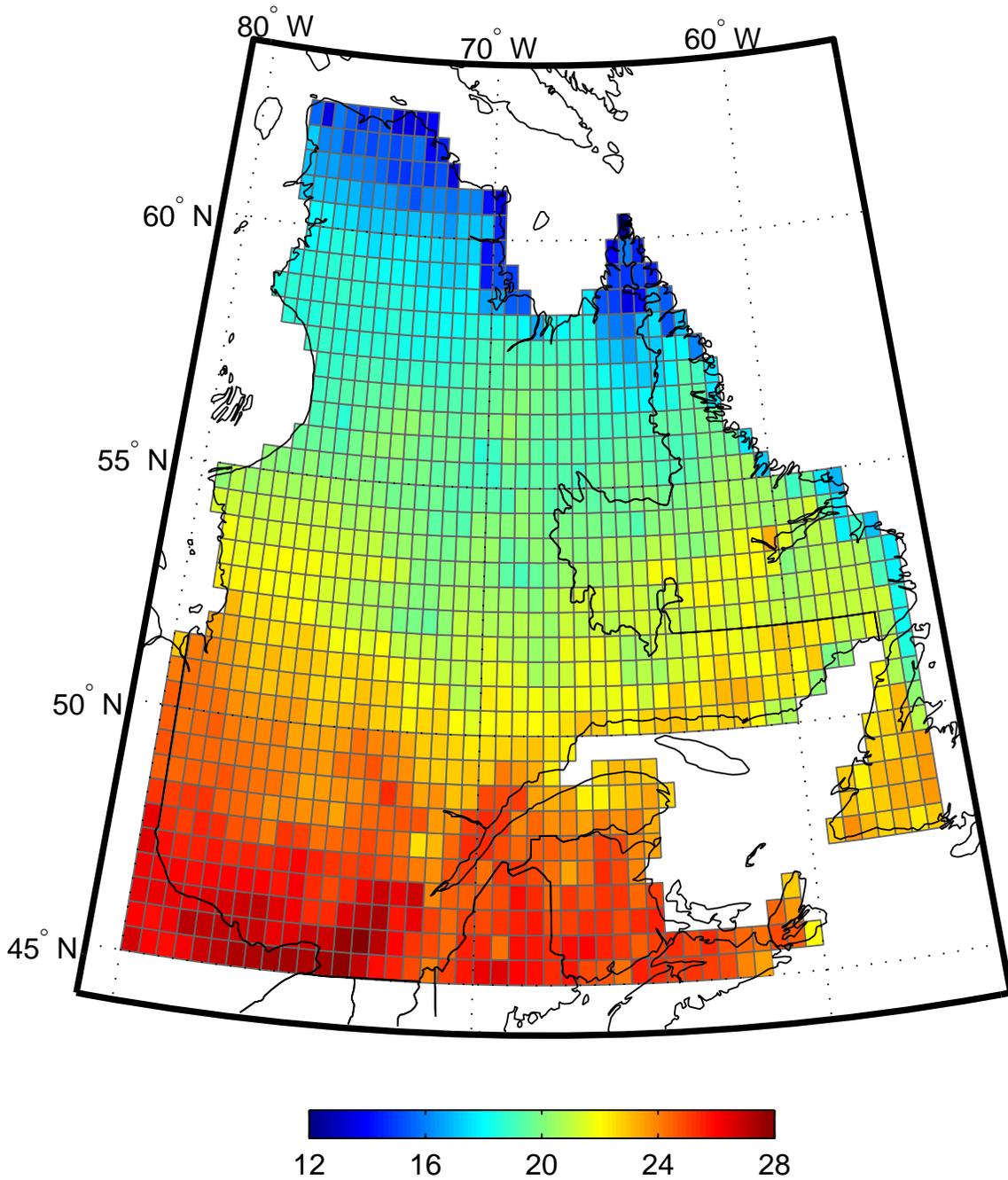
Lac STW, 2071–2100: maximum de contenu en chaleur normalisé

Fig. 36 Lac STW, 2071-2100 : maximum de contenu en chaleur (normalisé) (Carte 1b)



19/07 24/07 29/07 03/08 08/08 13/08 18/08
 Lac STW, 2071–2100: occurrence du maximum de contenu en chaleur

Fig. 37 Lac STW, 2071-2100 : occurrence du maximum de contenu en chaleur (Carte 1c)



Lac STW, 2071–2100: température moyenne, couche 0–5m, période JJA (°C)

Fig. 38 Lac STW, 2071-2100 : température moyenne de 0 à 5 m pour la période du 01 juin au 31 août (°C) (Carte 2)

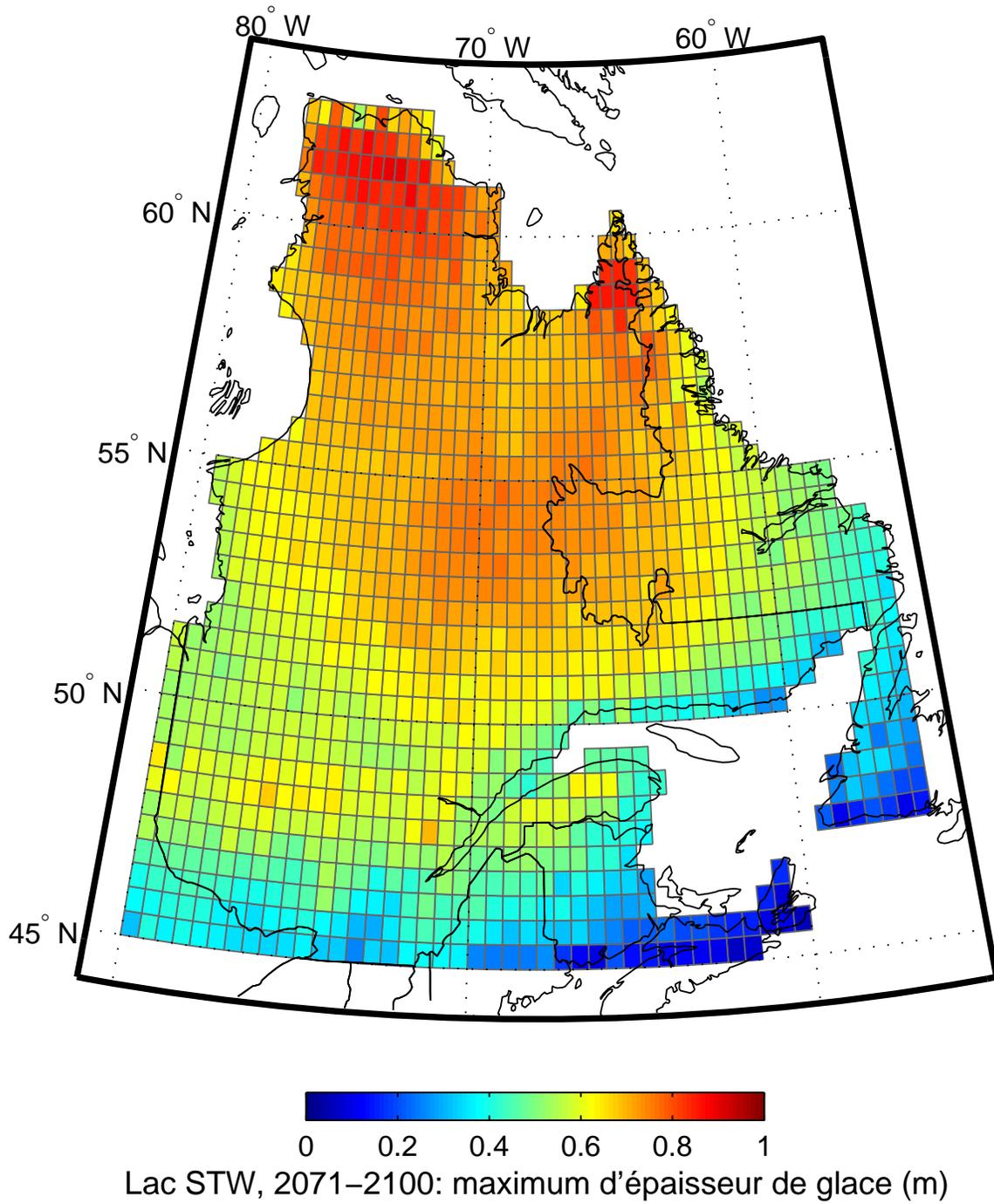
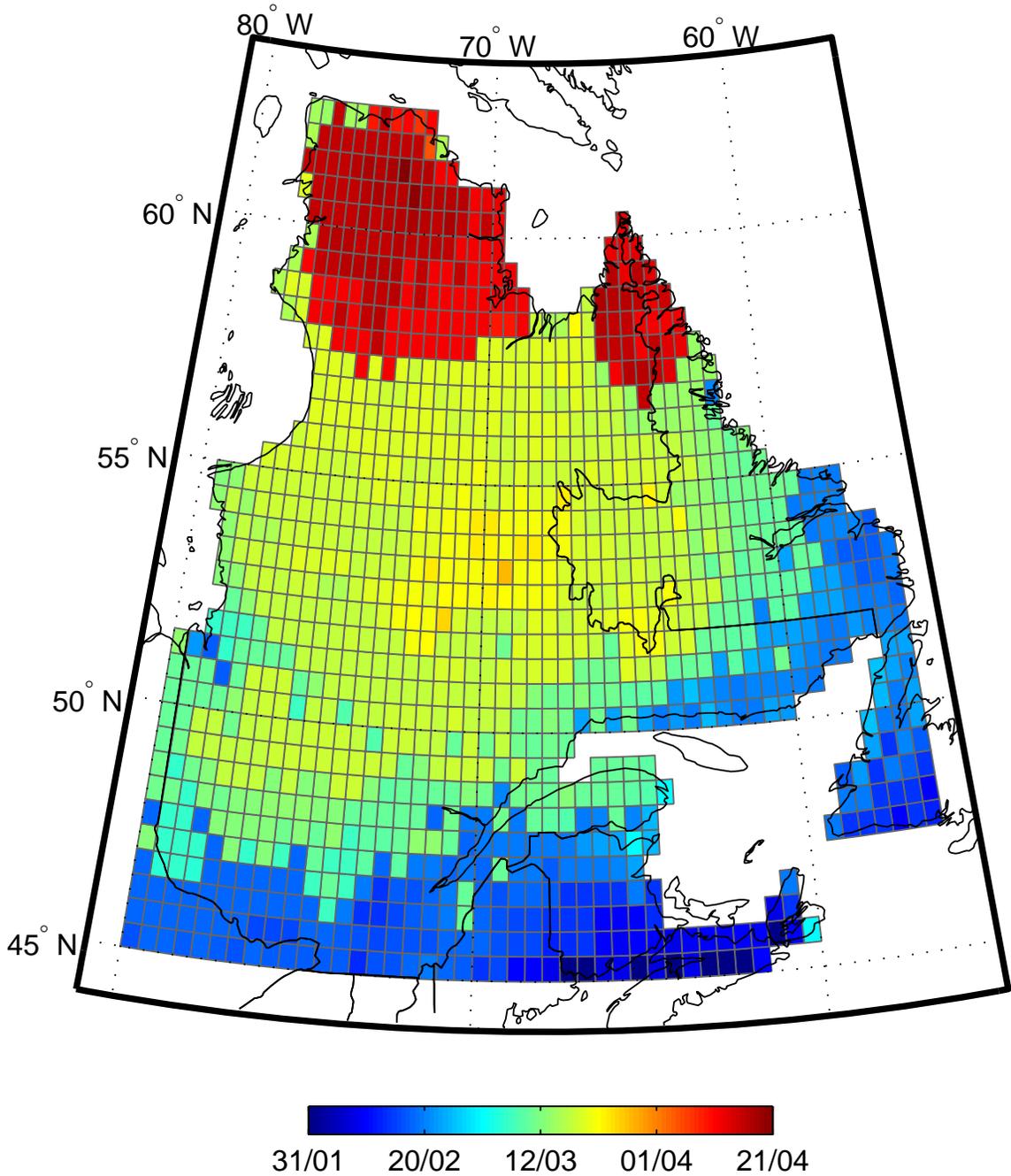


Fig. 39 Lac STW, 2071-2100 : maximum d'épaisseur de glace (m) (Carte 3a)



Lac STW, 2071–2100: occurrence du maximum d'épaisseur de glace

Fig. 40 Lac STW, 2071-2100 : occurrence du maximum d'épaisseur de glace (Carte 3b)

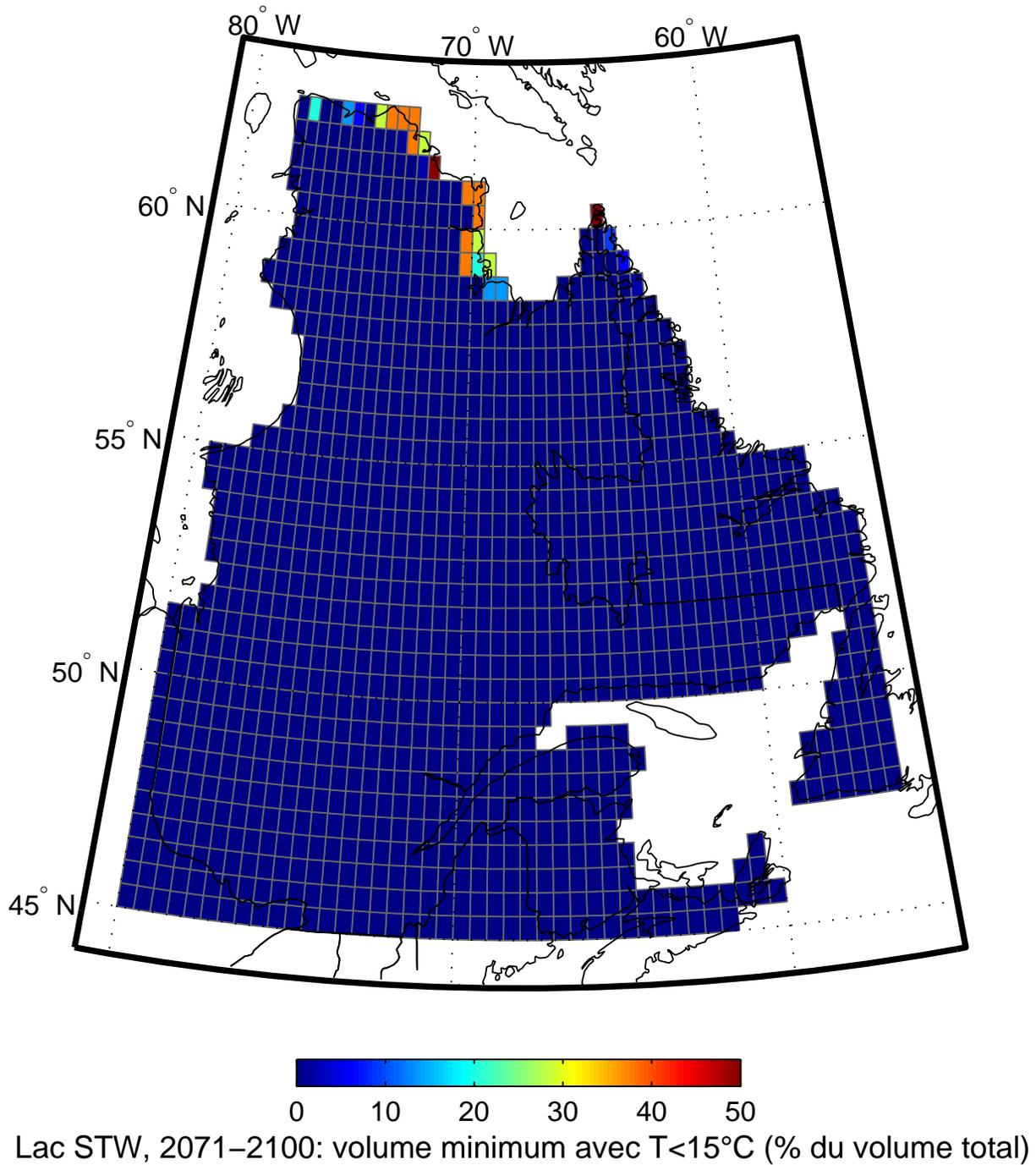


Fig. 41 Lac STW, 2071-2100 : volume minimum avec $T < 15^{\circ}$ (% du volume total)
(Carte 4a)

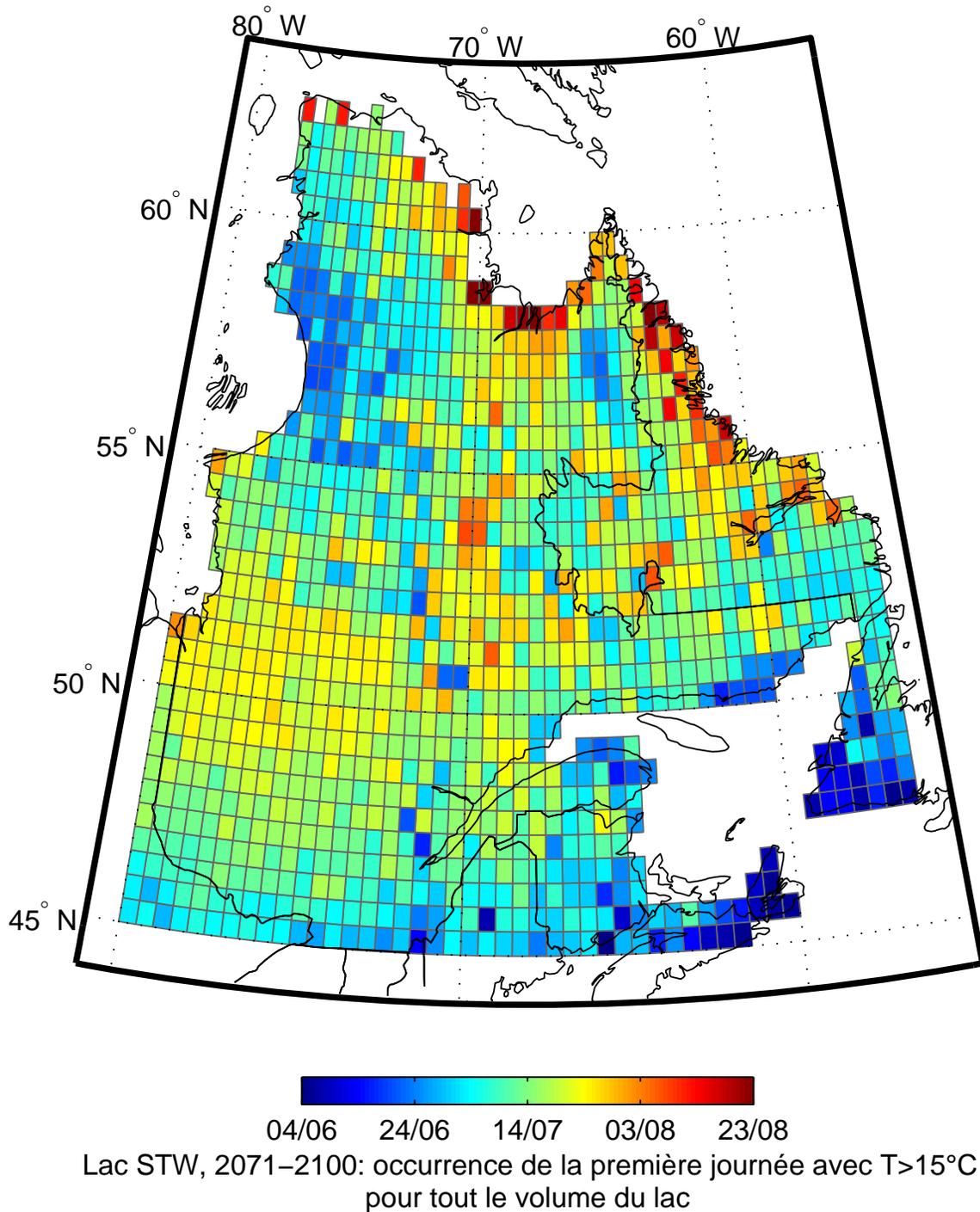
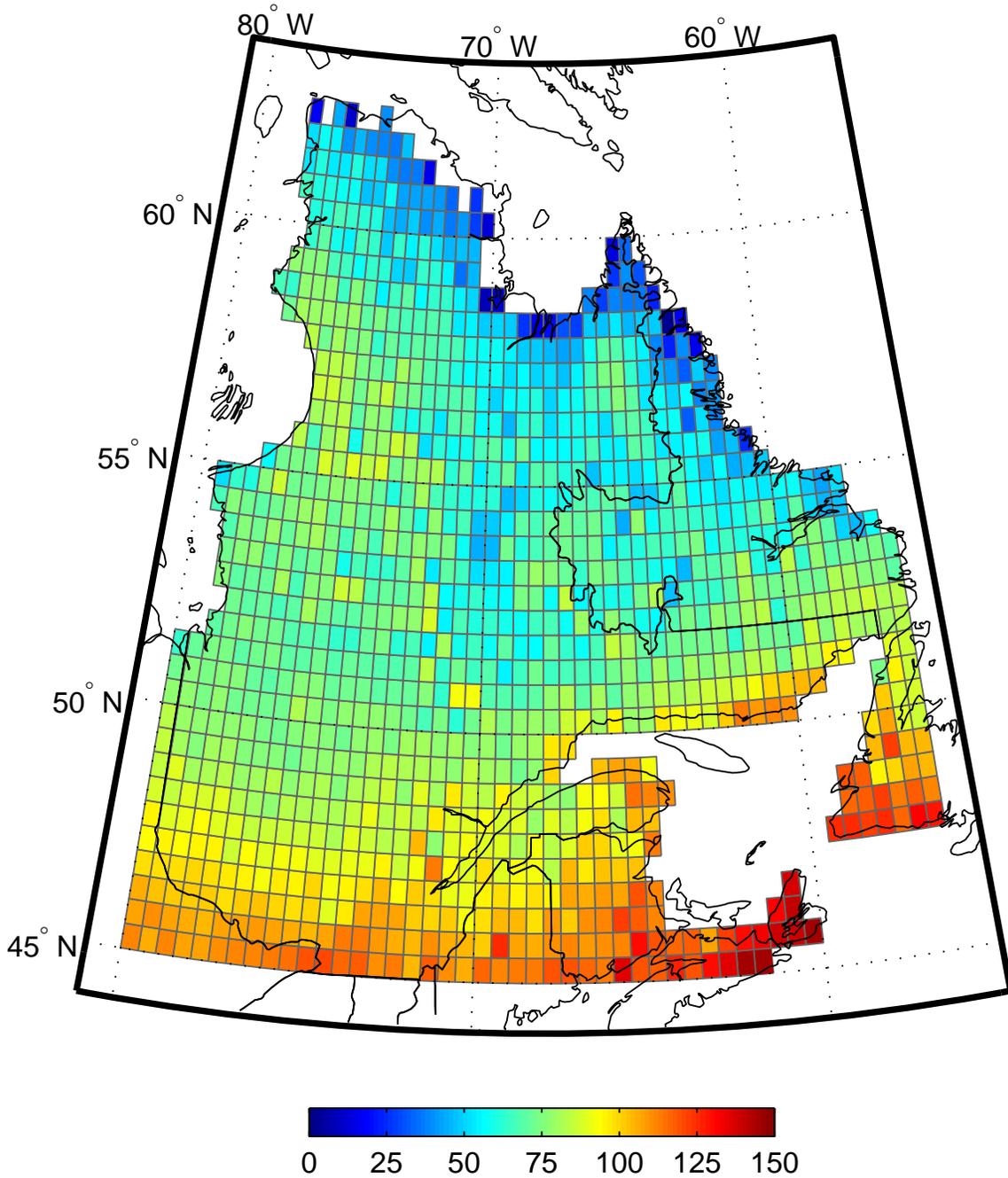


Fig. 42 Lac STW, 2071-2100 : occurrence de la première journée avec $T > 15^{\circ}\text{C}$ pour tout le volume du lac (Carte 4c)



Lac STW, 2071–2100: nombre de jours avec $T > 15^{\circ}\text{C}$ pour tout le volume du lac pour les pixels où cette condition survient (sud)

Fig. 43 Lac STW, 2071-2100 : nombre de jours avec $T > 15^{\circ}\text{C}$ pour tout le volume du lac (Carte 5)

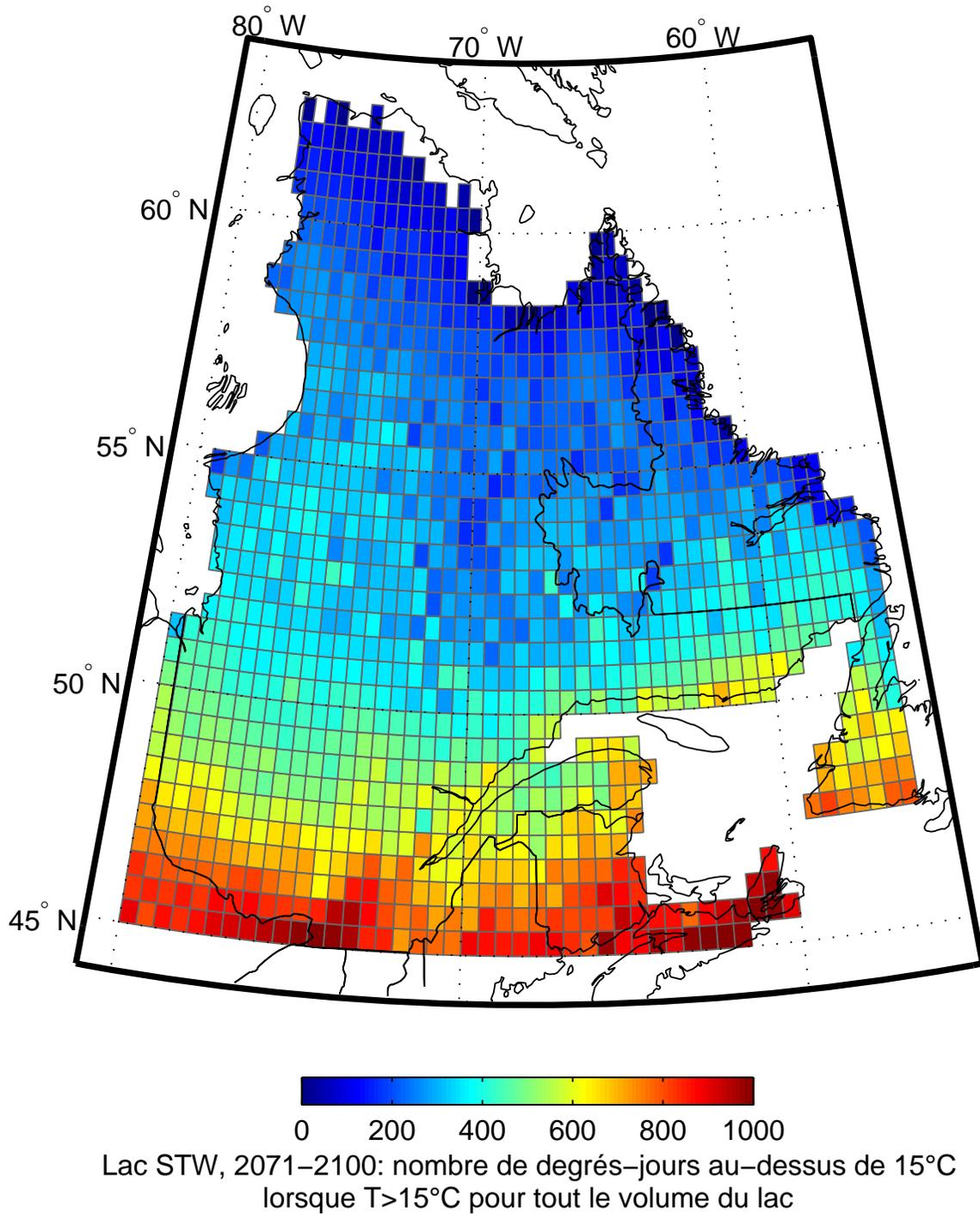
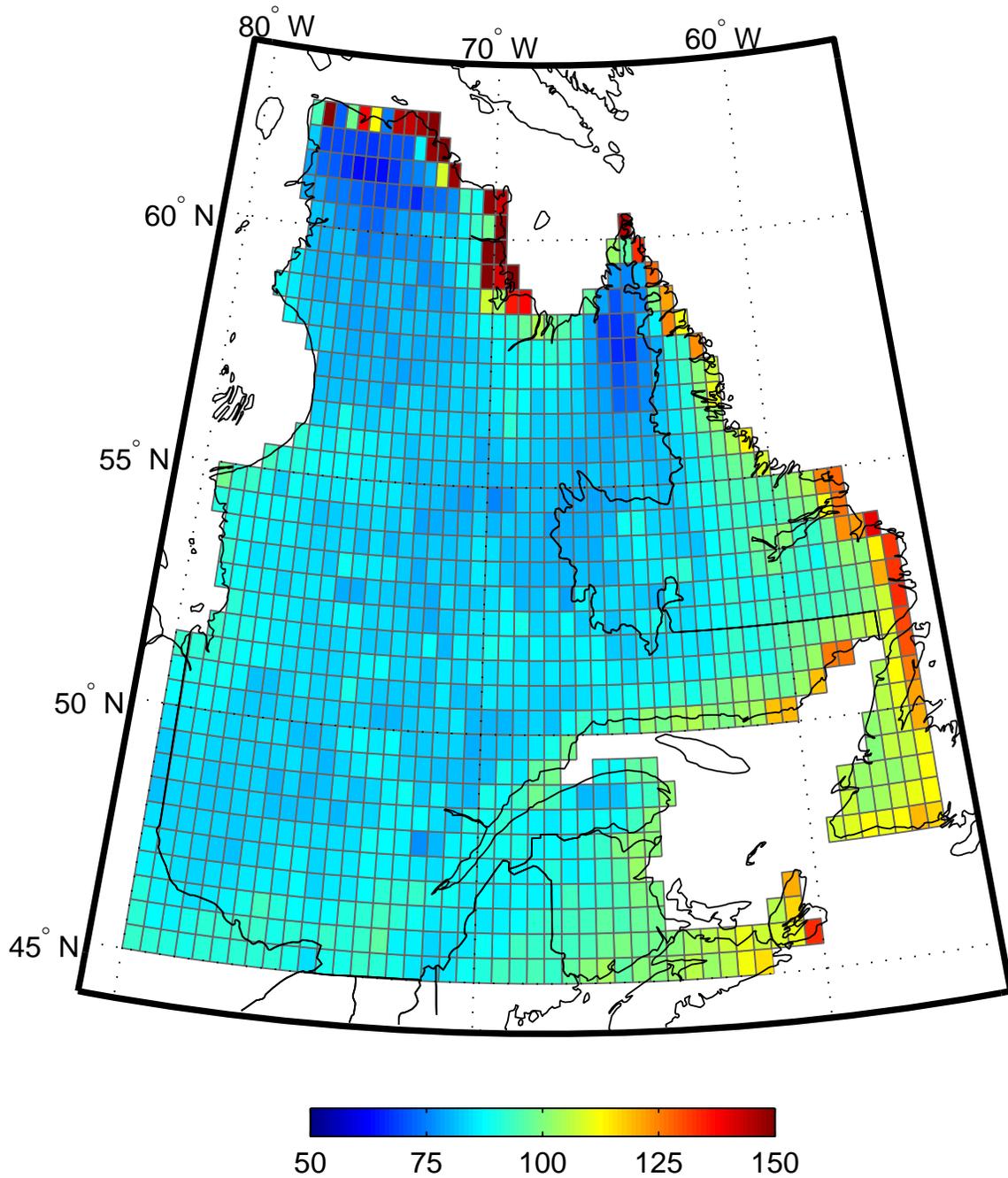
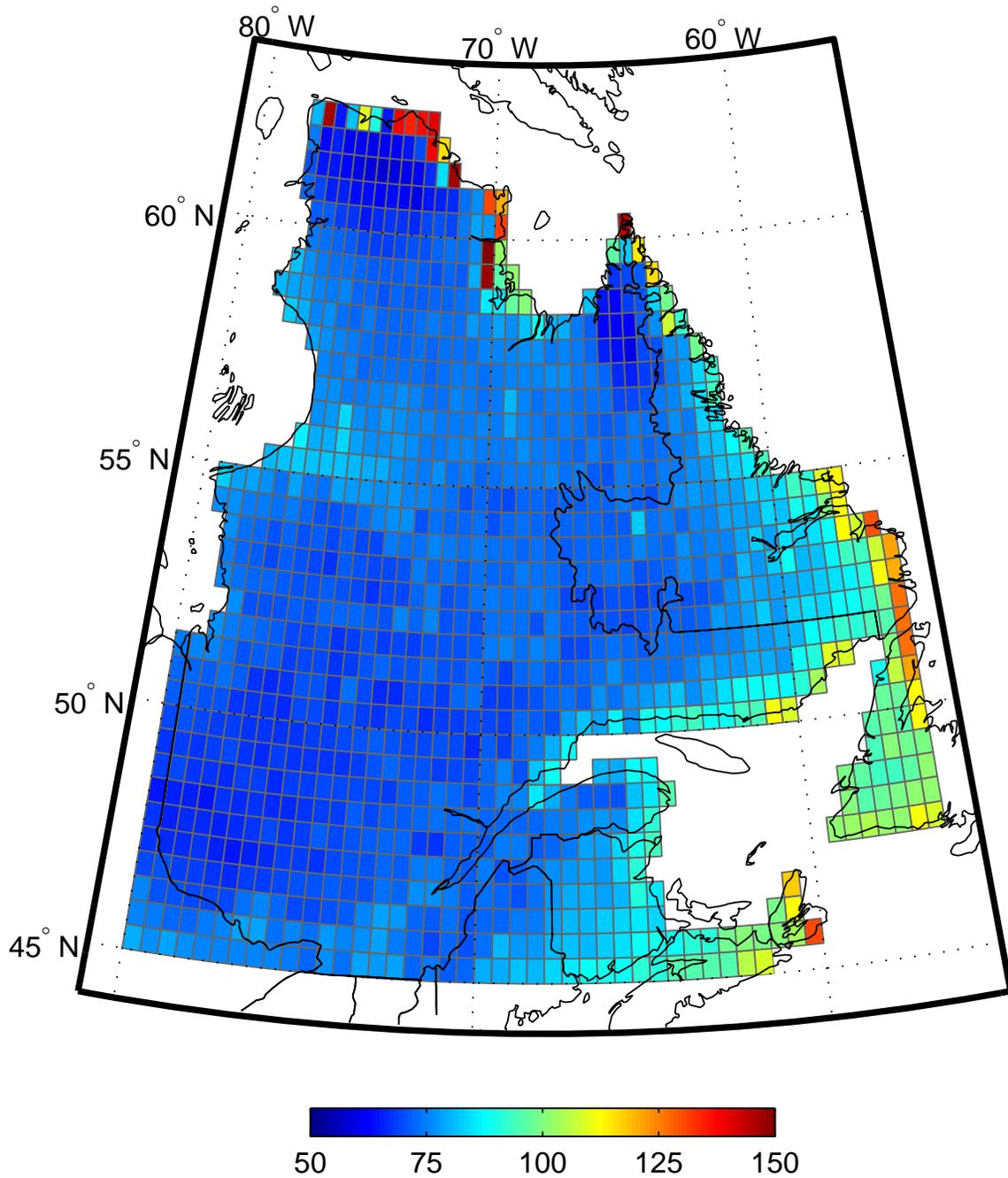


Fig. 44 Lac STW, 2071-2100 : nombre de degrés-jours au-dessus de 15 °C lorsque $T > 15^{\circ}\text{C}$ pour tout le volume du lac (Carte 6)



Lac STW, 2071–2100: nombre de jours avec au moins 25% du volume avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$

Fig. 45 Lac STW, 2071-2100 : nombre de jours avec au moins 25 % du volume du lac avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (Carte 7a)



Lac STW, 2071–2100: nombre de jours avec au moins 50% du volume avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$

Fig. 46 Lac STW, 2071-2100 : nombre de jours avec au moins 50 % du volume du lac avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (Carte 7b)

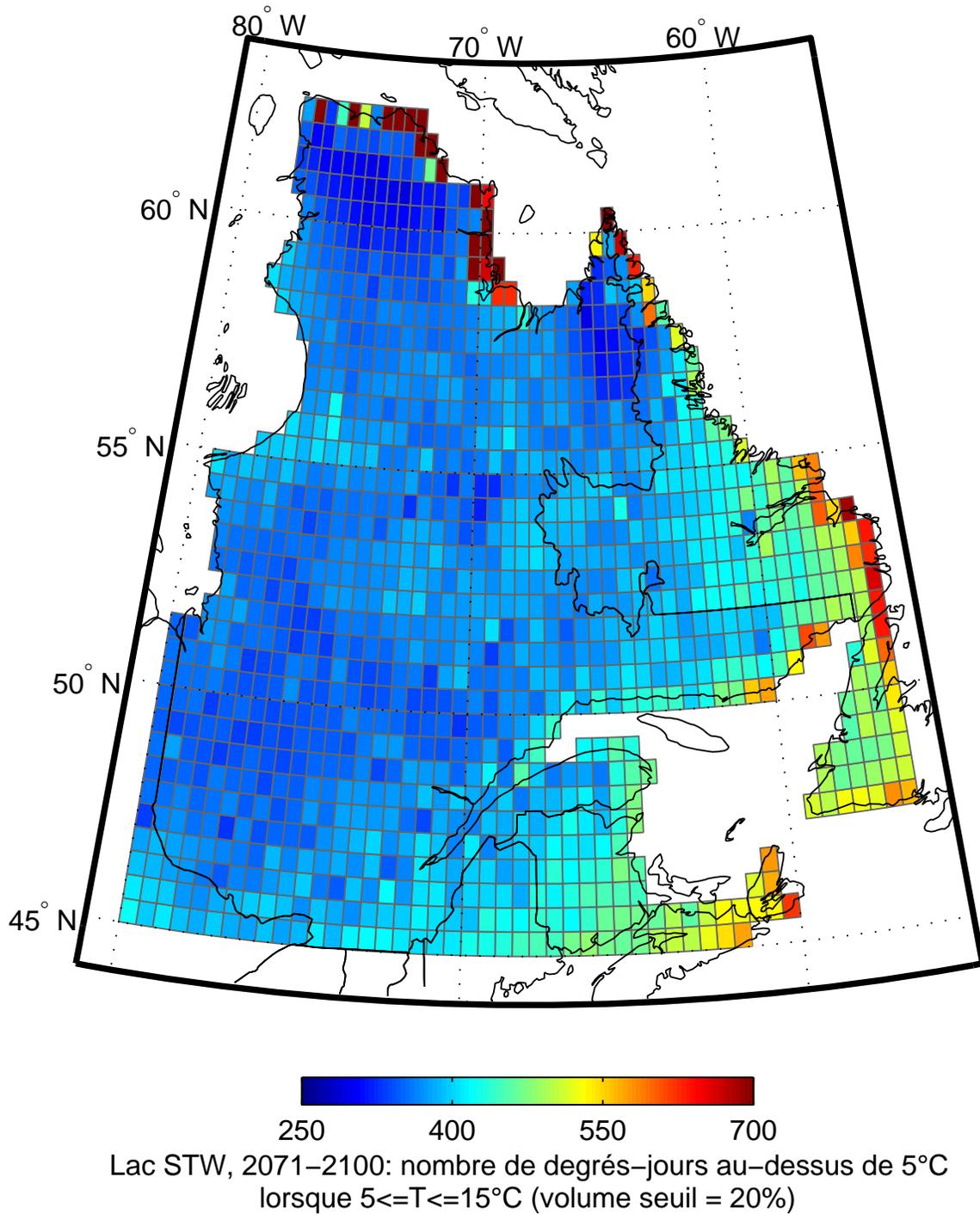


Fig. 47 Lac STW, 2071-2100 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C lorsque $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (volume seuil pour être considéré dans le calcul : 20 %) (Carte 8a)

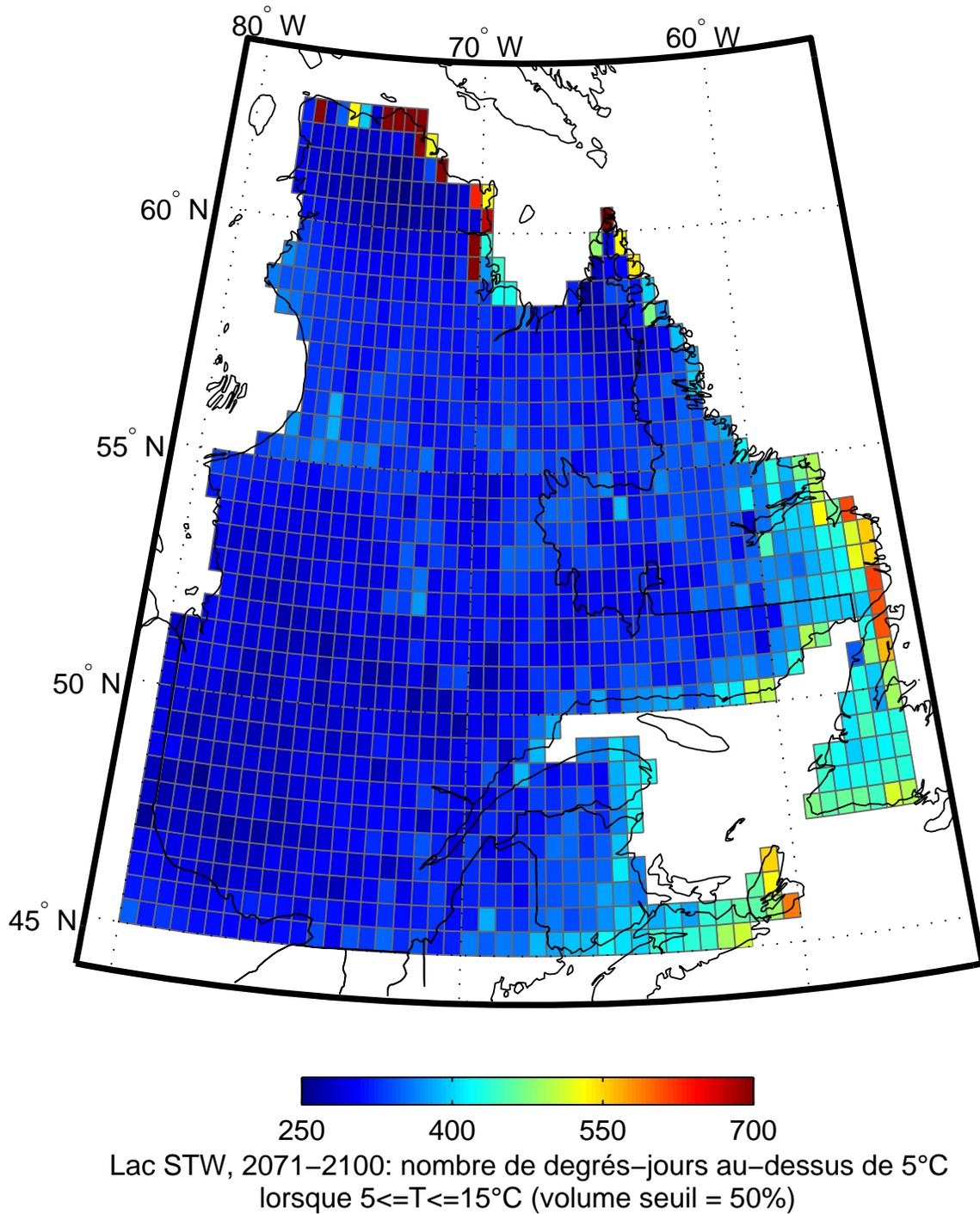
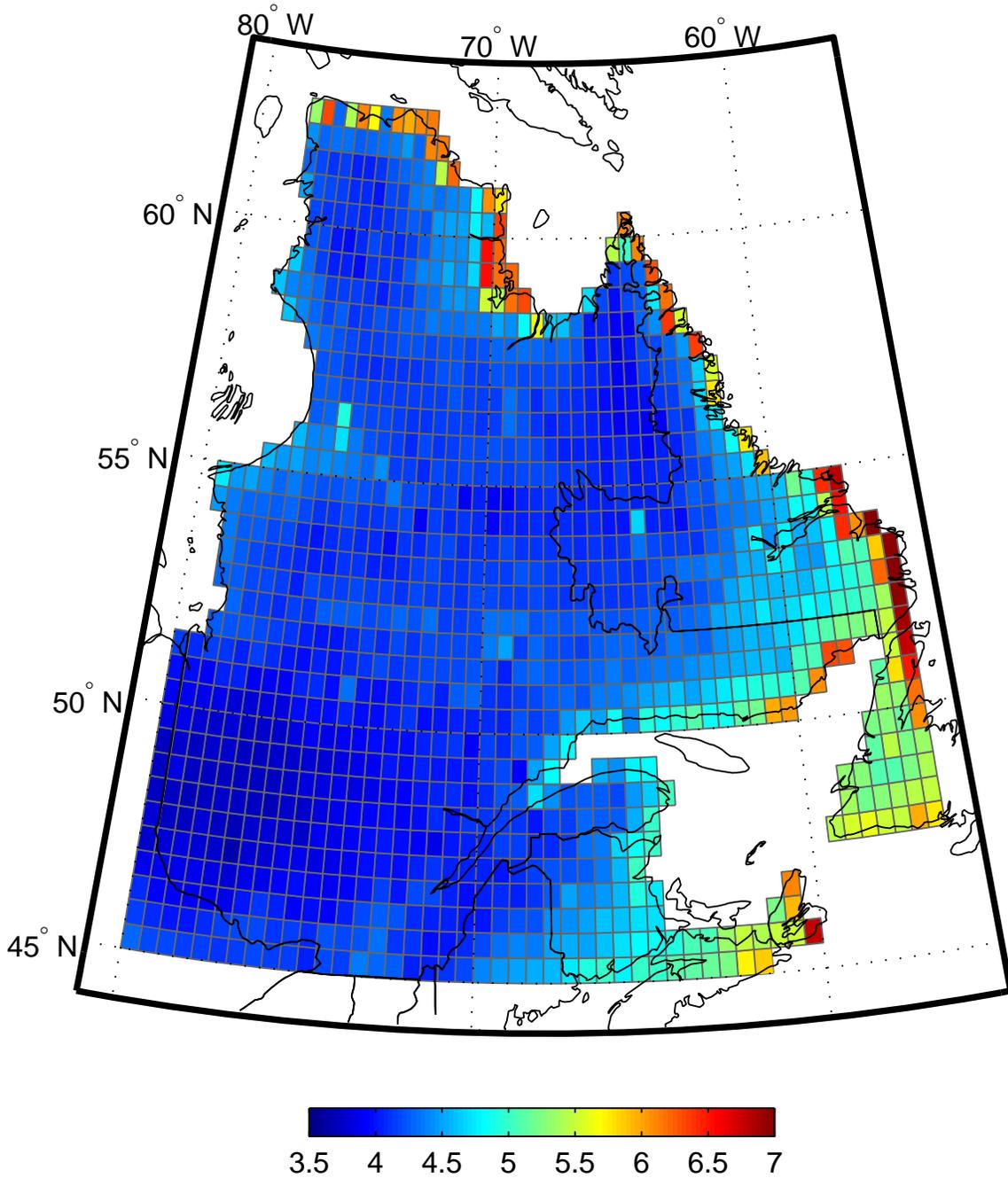
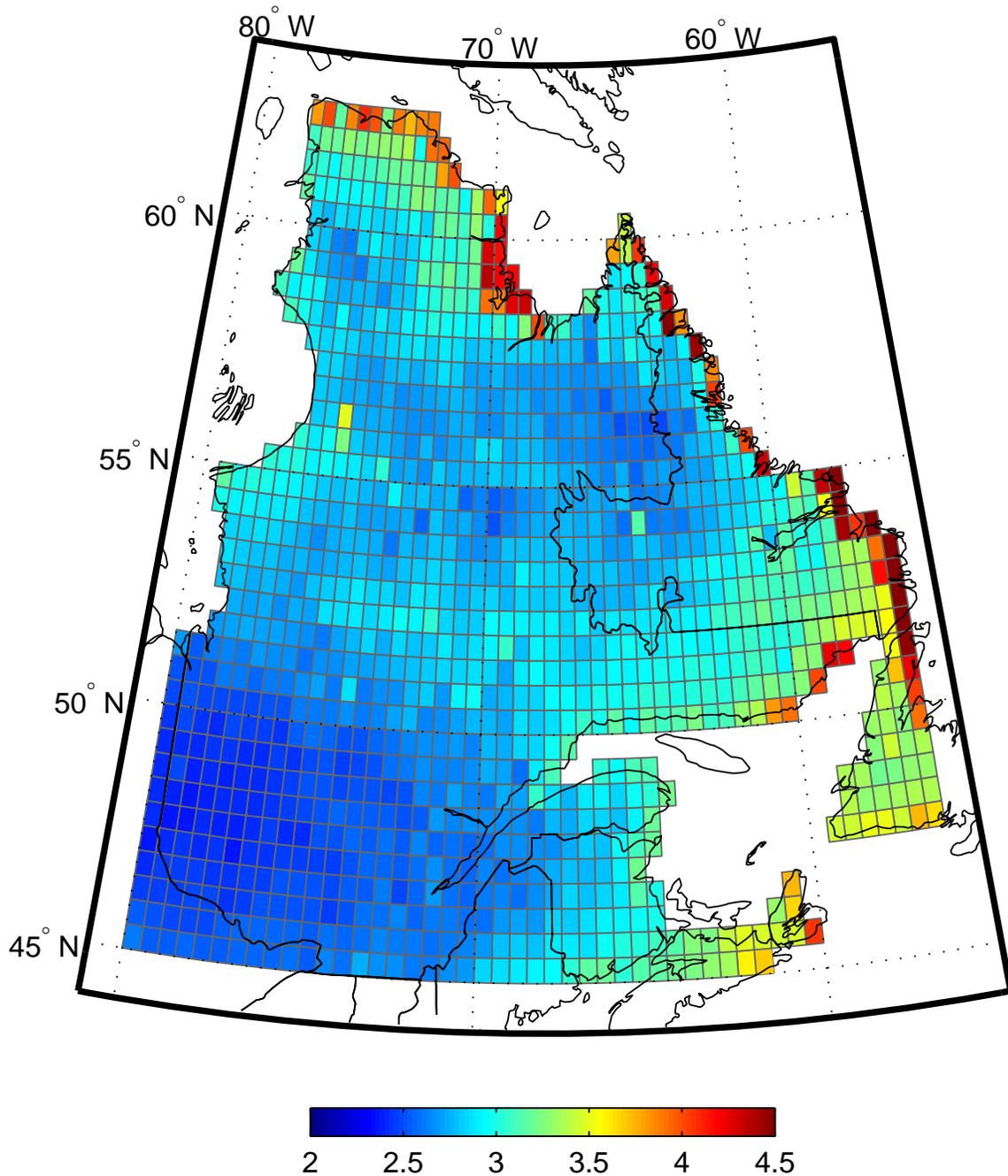


Fig. 48 Lac STW, 2071-2100 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C lorsque $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (volume seuil pour être considéré dans le calcul : 50 %) (Carte 8b)



Lac STW, 2071–2100: nombre de m^3 -jours avec $5 \leq T \leq 20^\circ C$ ($\times 10^9$)
 (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre $T=15^\circ C$ et $T=20^\circ C$)

Fig. 49 Lac STW, 2071-2100 : nombre de m^3 -jours avec $5 \leq T \leq 20^\circ C$ (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre 15 et $20^\circ C$) ($\times 10^9$) (Carte 9)



Lac STW, 2071–2100: nombre de m^3 -degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ ($\times 10^{10}$) (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre $T=15^\circ\text{C}$ et $T=20^\circ\text{C}$)

Fig. 50 Lac STW, 2071-2100 : nombre de m^3 -degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre 15 et 20°C) ($\times 10^{10}$) (Carte 10)

7.0 Cartes pour le lac Jacques-Cartier, période 1981-2010

- Fig. 51 Lac JAC , 1981-2010 : maximum de contenu en chaleur (PJ) (Carte 1a)
- Fig. 52 Lac JAC , 1981-2010 : maximum de contenu en chaleur (normalisé) (Carte 1b)
- Fig. 53 Lac JAC , 1981-2010 : occurrence du maximum de contenu en chaleur (Carte 1c)
- Fig. 54 Lac JAC , 1981-2010 : température moyenne de 0 à 5 m pour la période du 01 juin au 31 août (°C) (Carte 2)
- Fig. 55 Lac JAC , 1981-2010 : maximum d'épaisseur de glace (m) (Carte 3a)
- Fig. 56 Lac JAC , 1981-2010 : occurrence du maximum d'épaisseur de glace (Carte 3b)
- Fig. 57 Lac JAC , 1981-2010 : volume minimum avec $T < 15^\circ$ (% du volume total) (Carte 4a)
- Fig. 58 Lac JAC , 1981-2010 : occurrence du volume minimum avec $T < 15^\circ\text{C}$ pour les cas où le volume minimum n'est ni 0 % ni 100 % (Carte 4b)
- Fig. 59 Lac JAC , 1981-2010 : nombre de jours avec au moins 25 % du volume du lac avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (Carte 7a)
- Fig. 60 Lac JAC , 1981-2010 : nombre de jours avec au moins 50 % du volume du lac avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (Carte 7b)
- Fig. 61 Lac JAC , 1981-2010 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (volume seuil pour être considéré dans le calcul : 20 %) (Carte 8a)
- Fig. 62 Lac JAC , 1981-2010 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (volume seuil pour être considéré dans le calcul : 50 %) (Carte 8b)
- Fig. 63 Lac JAC , 1981-2010 : nombre de m^3 -jours avec $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre 15 et 20°C) ($\times 10^9$) (Carte 9)
- Fig. 64 Lac JAC , 1981-2010 : nombre de m^3 -degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre 15 et 20°C) ($\times 10^{10}$) (Carte 10)

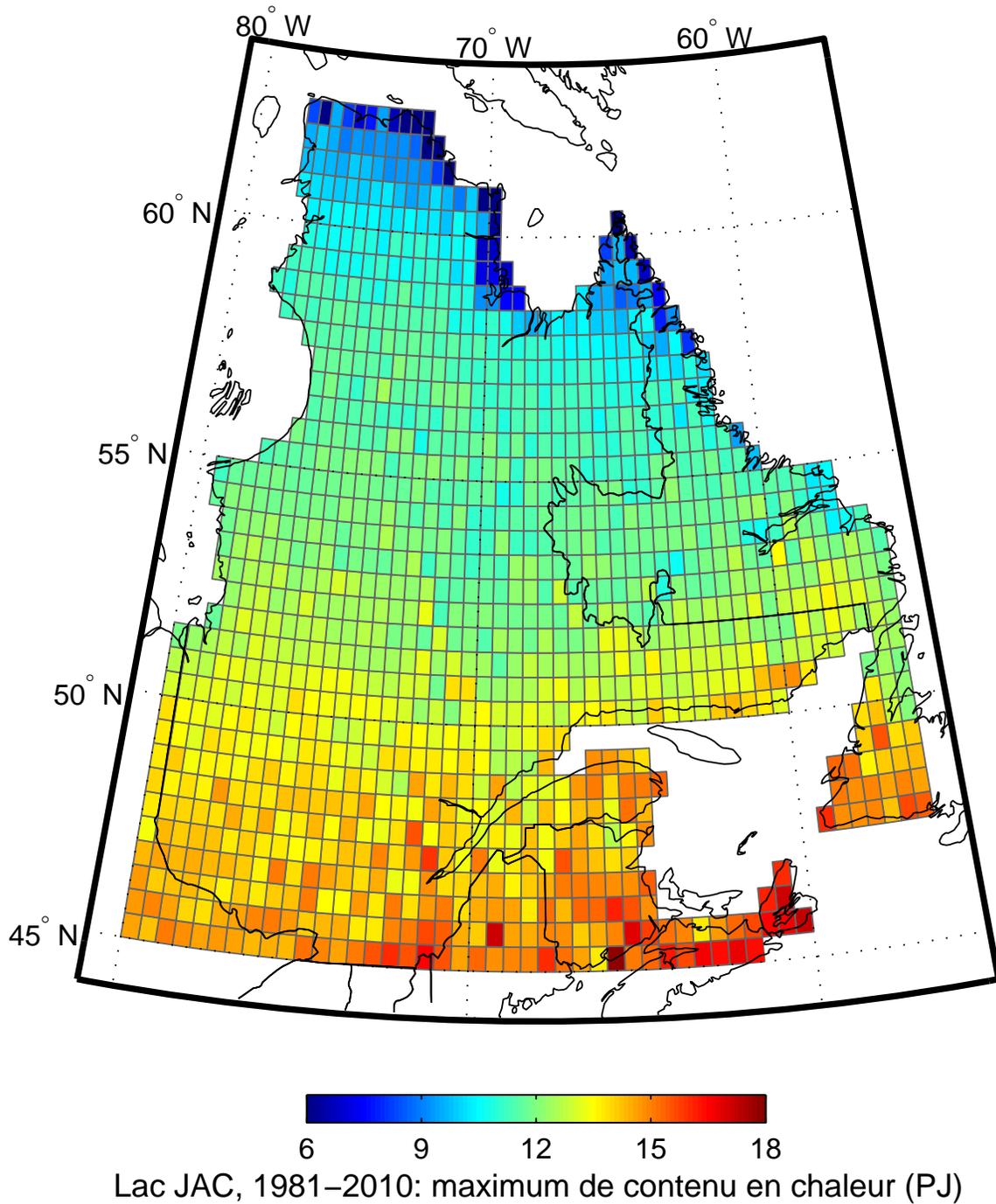


Fig. 51 Lac JAC , 1981-2010 : maximum de contenu en chaleur (PJ) (Carte 1a)

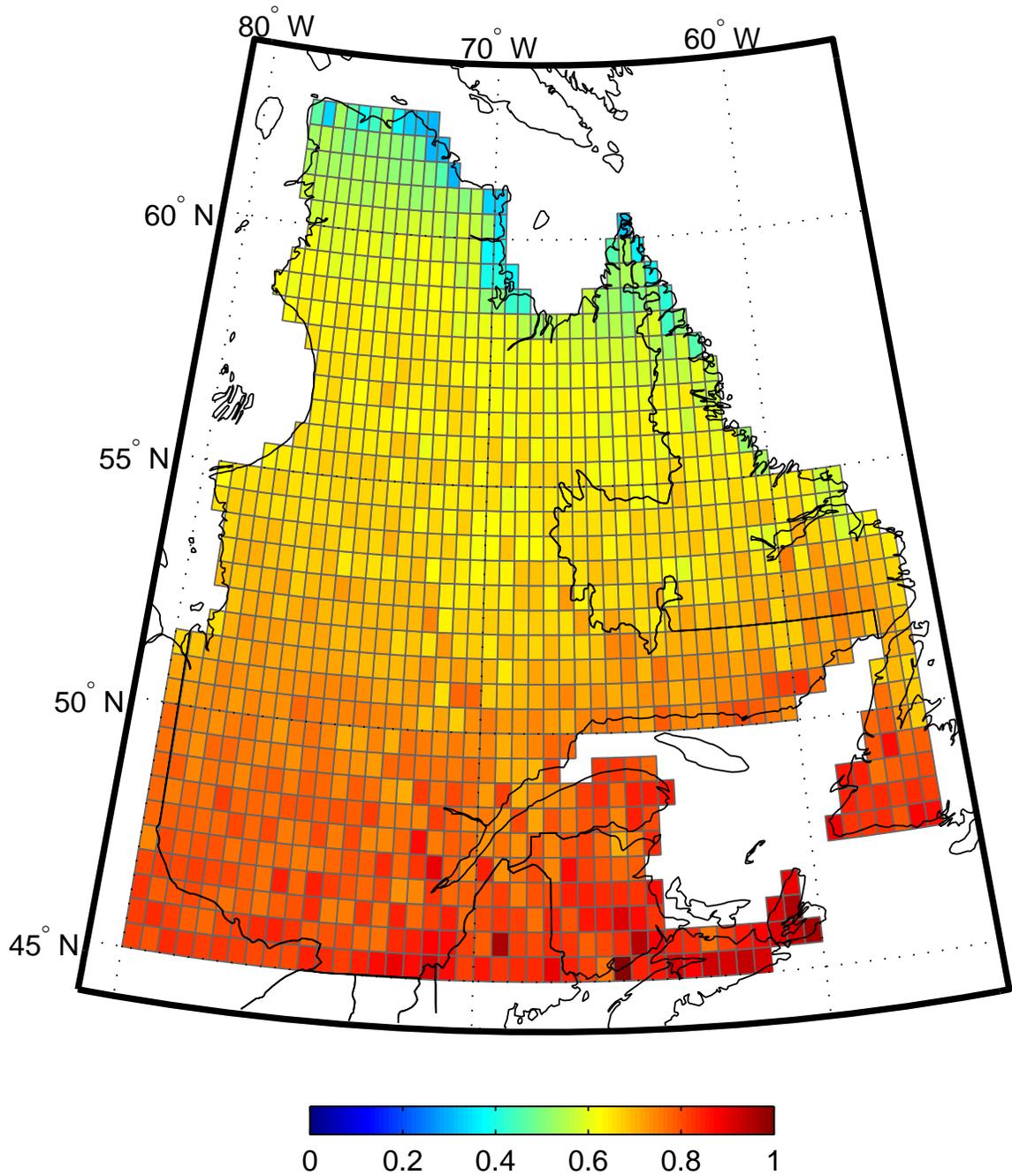
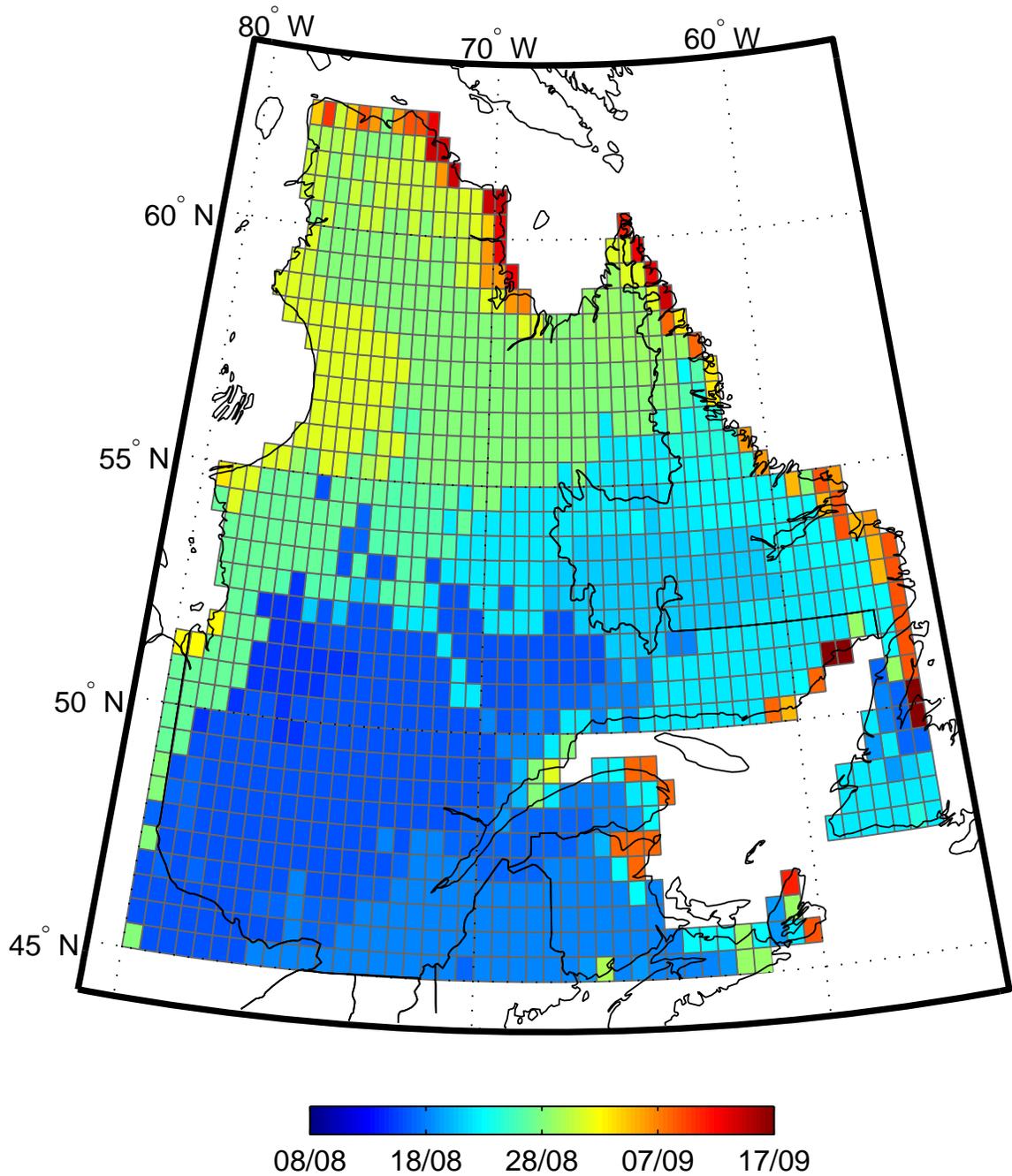
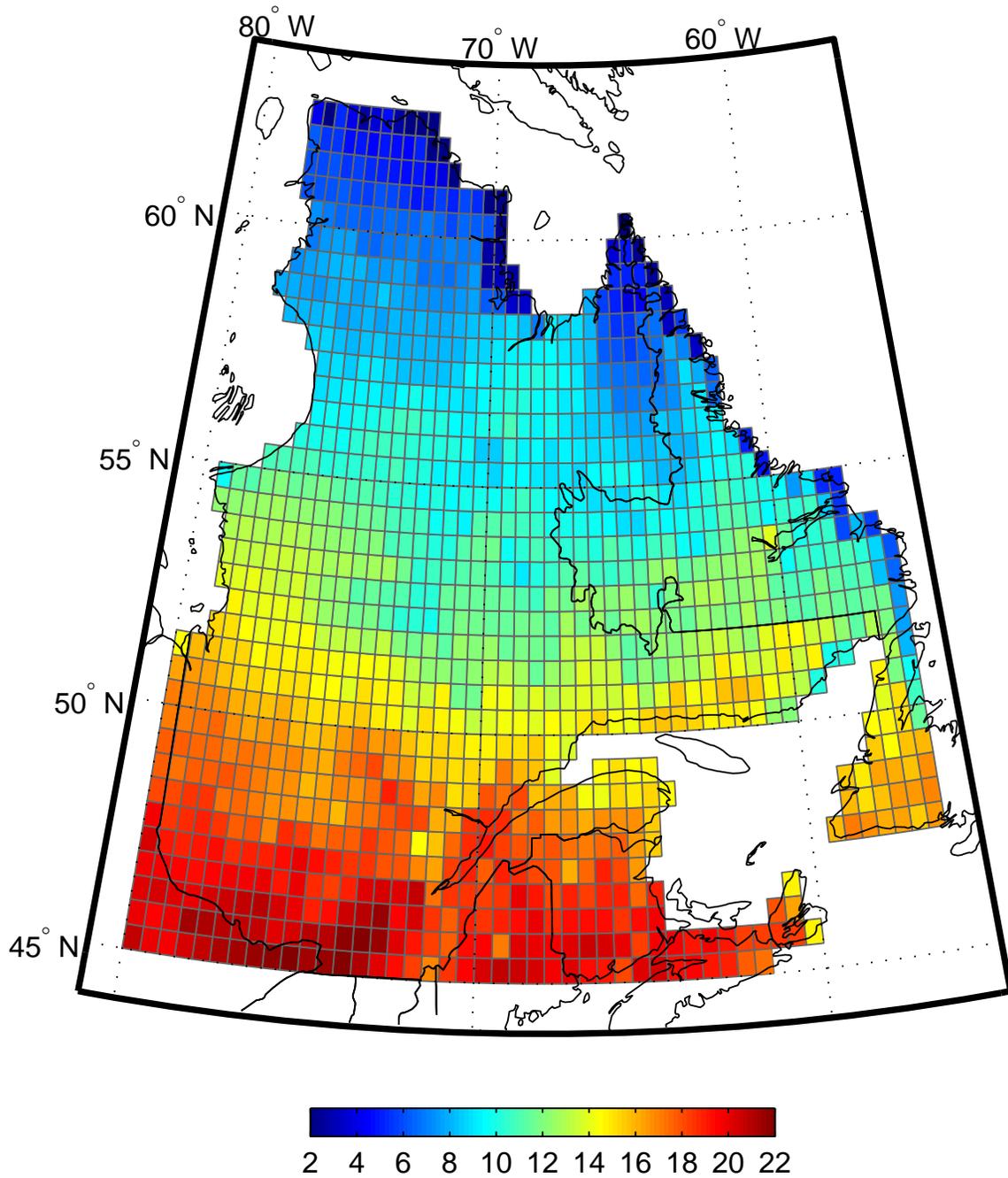


Fig. 52 Lac JAC , 1981-2010 : maximum de contenu en chaleur (normalisé) (Carte 1b)



Lac STW, 1981–2010: occurrence du maximum de contenu en chaleur

Fig. 53 Lac JAC , 1981-2010 : occurrence du maximum de contenu en chaleur (Carte 1c)



Lac JAC, 1981–2010: température moyenne, couche 0–5m, période JJA (°C)

Fig. 54 Lac JAC , 1981-2010 : température moyenne de 0 à 5 m pour la période du 01 juin au 31 août (°C) (Carte 2)

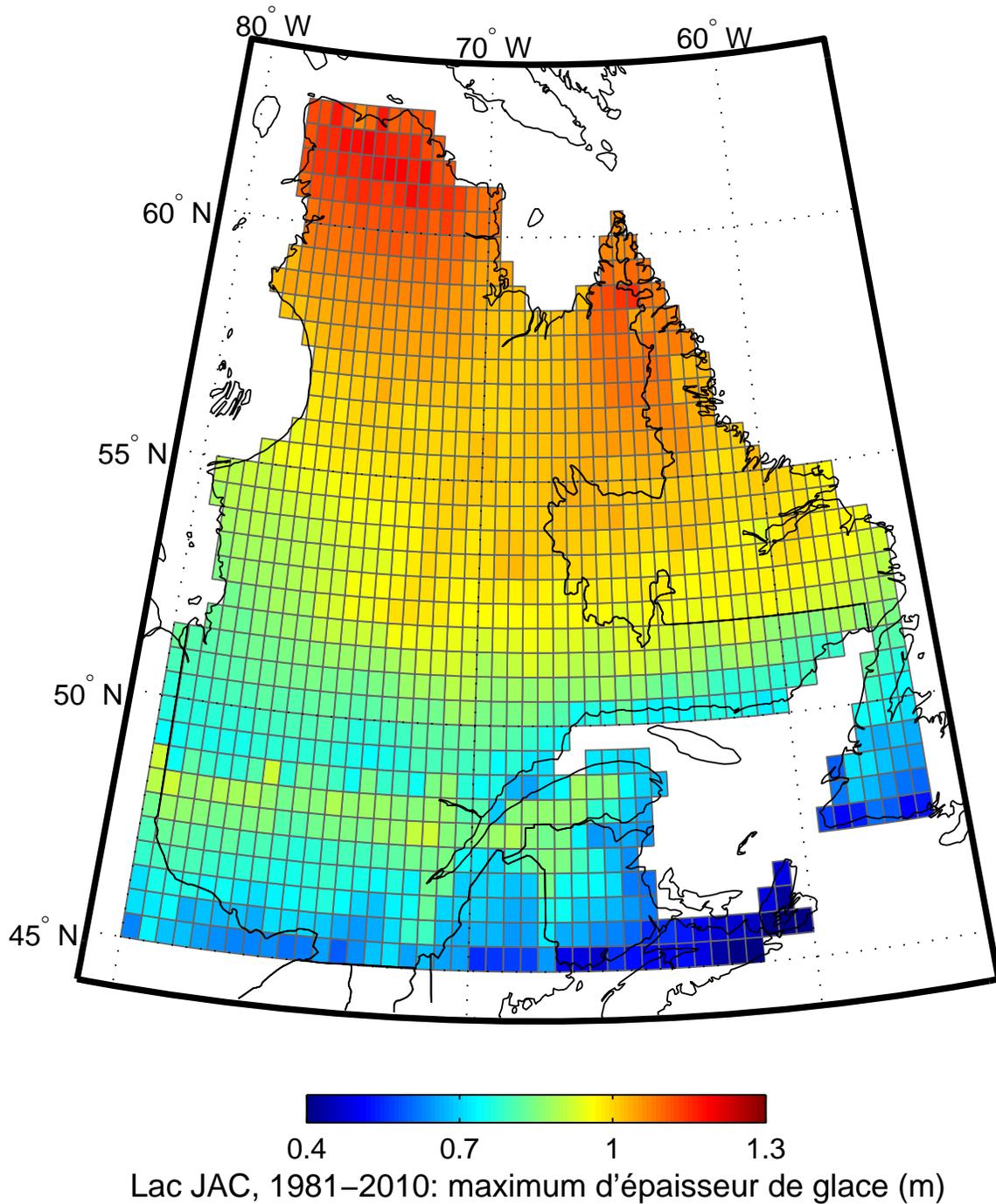
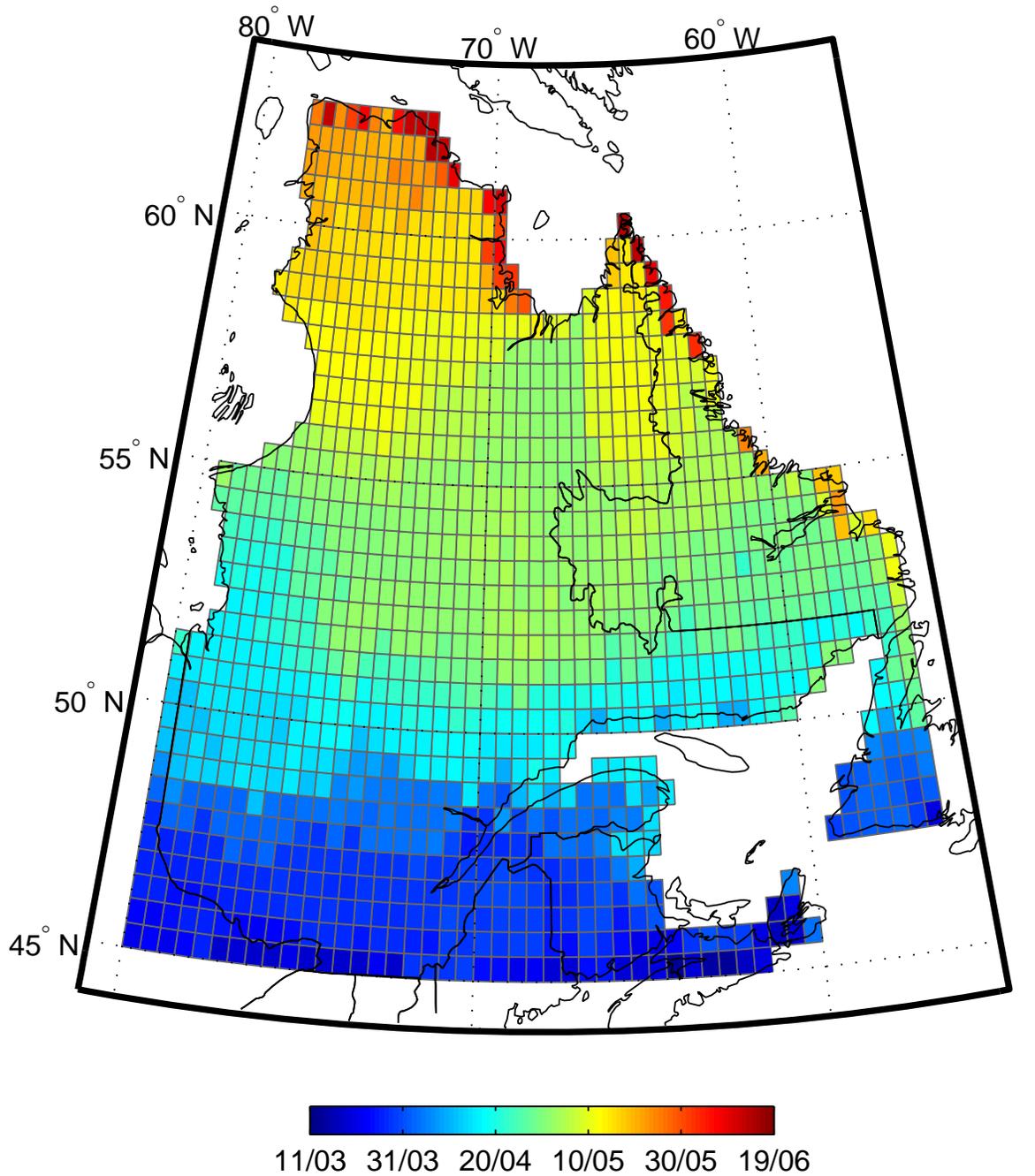


Fig. 55 Lac JAC , 1981-2010 : maximum d'épaisseur de glace (m) (Carte 3a)



Lac JAC, 1981–2010: occurrence du maximum d'épaisseur de glace

Fig. 56 Lac JAC , 1981-2010 : occurrence du maximum d'épaisseur de glace (Carte 3b)

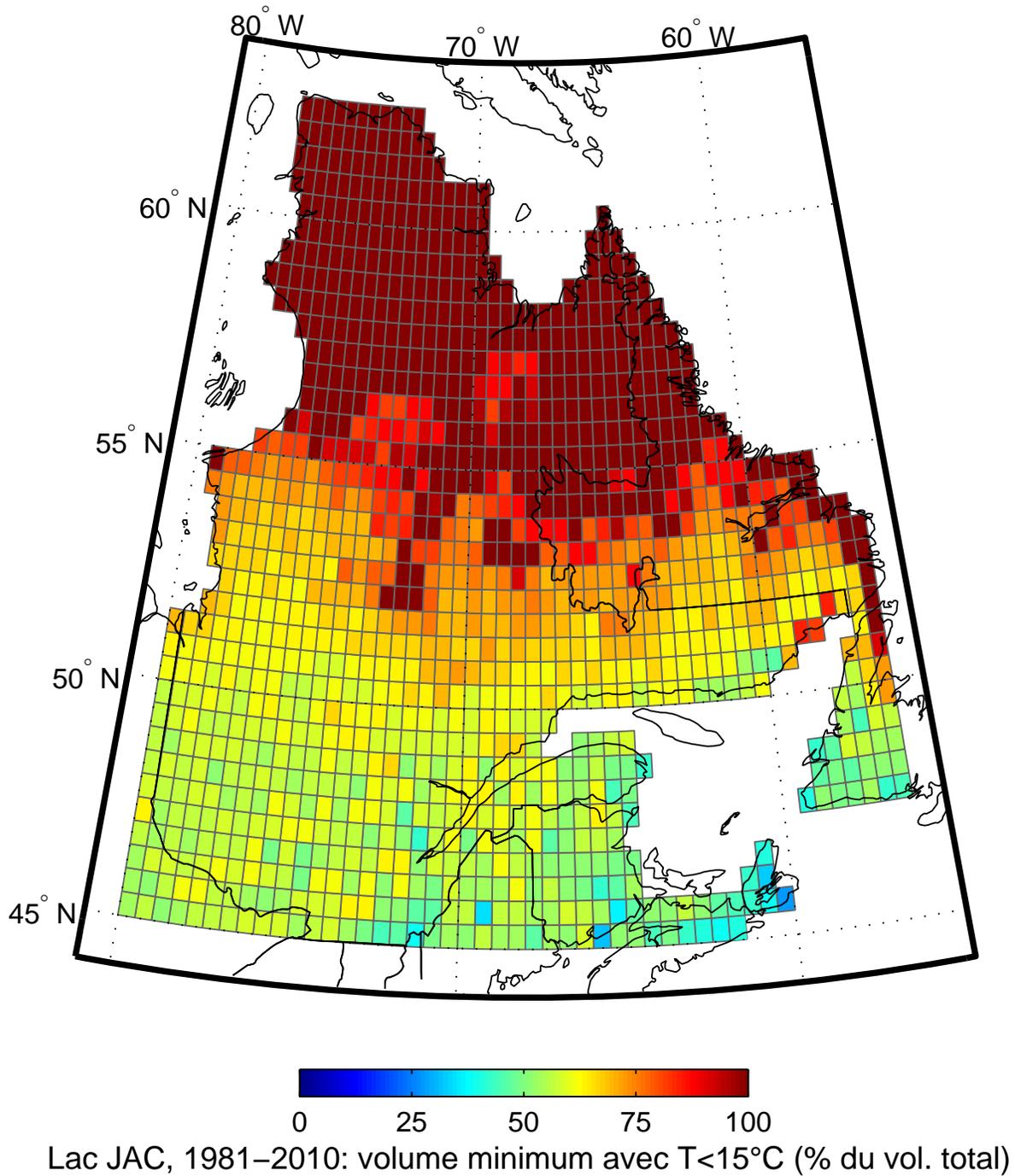
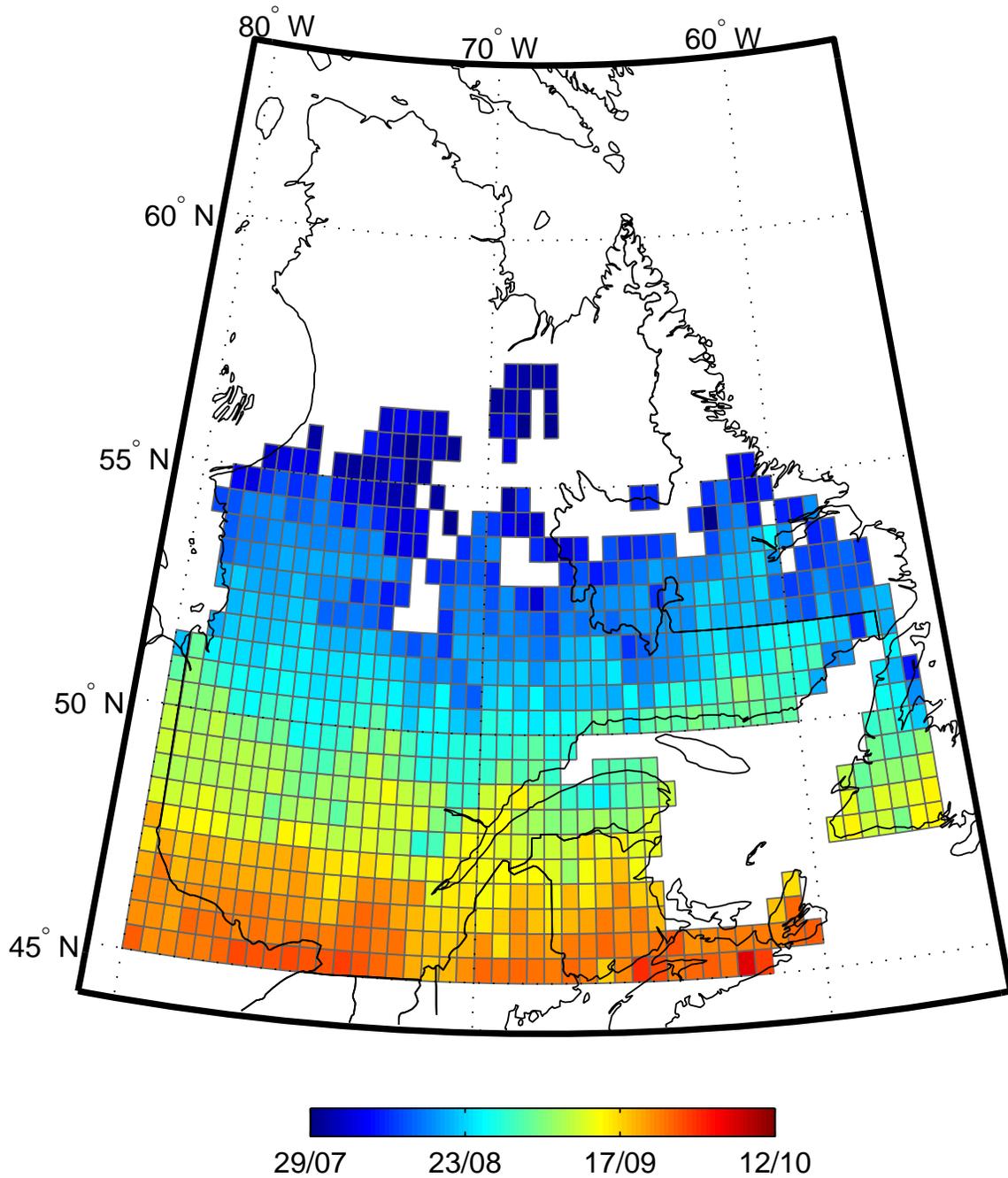
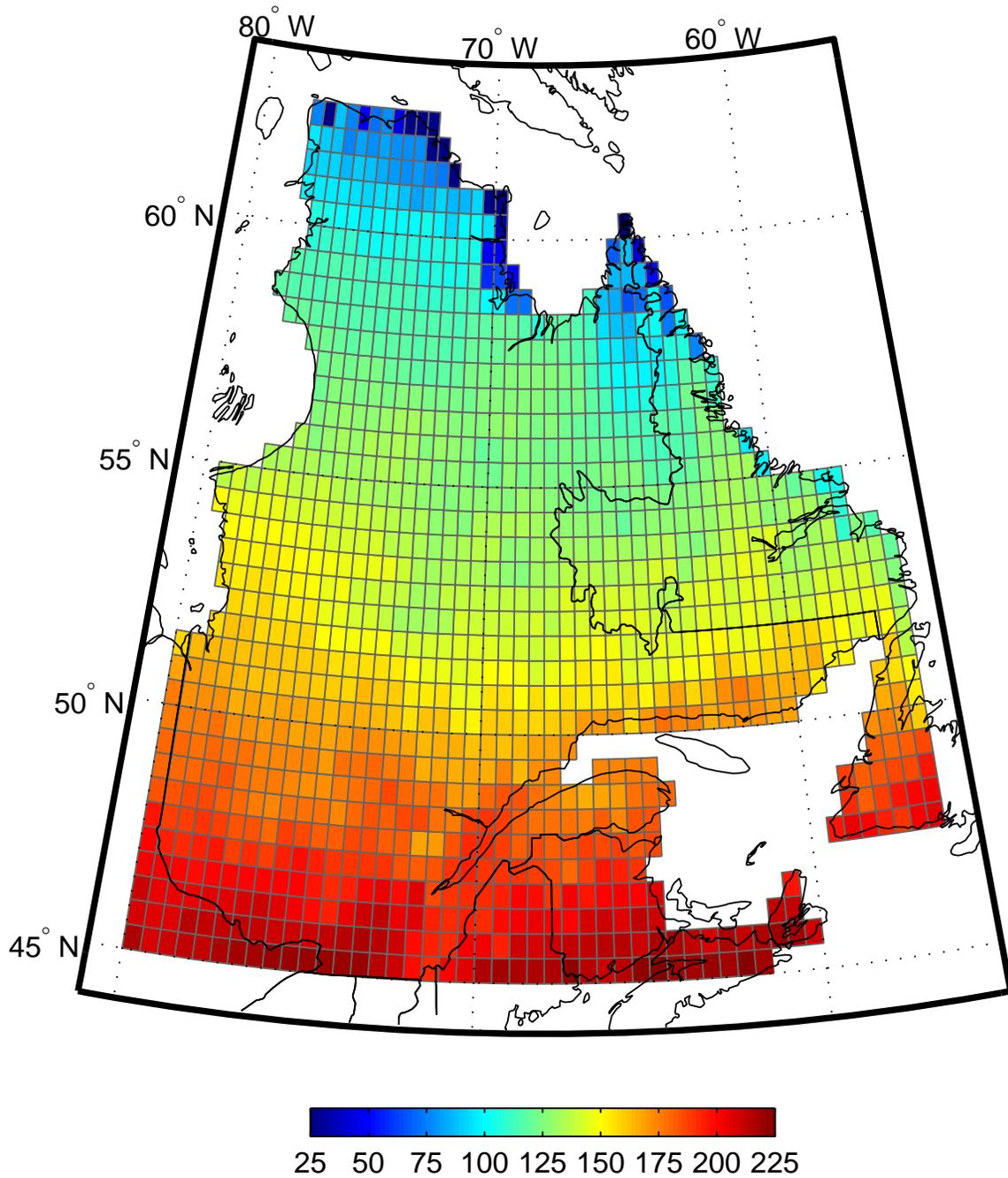


Fig. 57 Lac JAC , 1981-2010 : volume minimum avec $T < 15^{\circ}$ (% du volume total)
(Carte 4a)



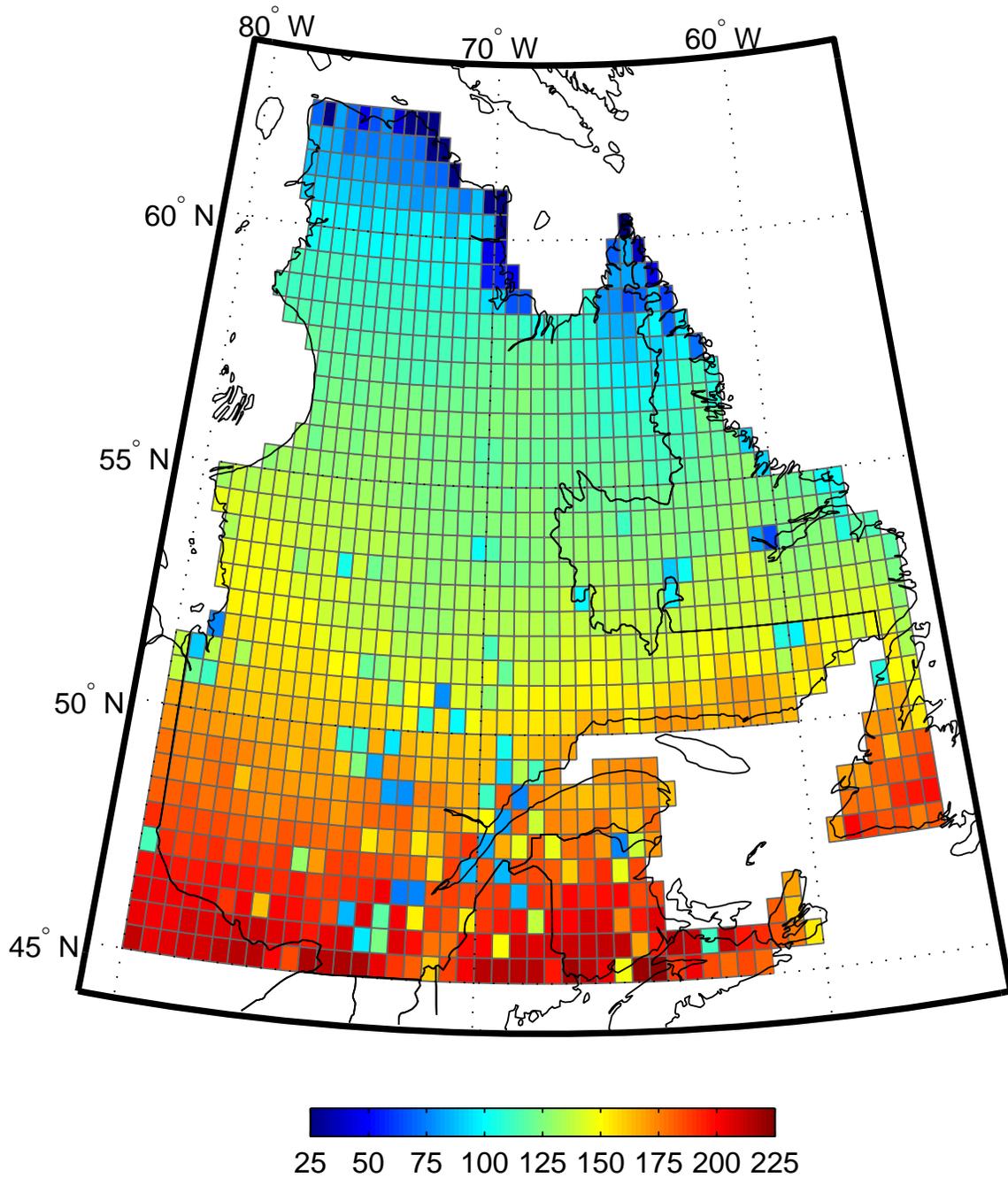
Lac JAC, 1981–2010: occurrence du volume minimum avec $T < 15^\circ\text{C}$ pour les pixels où le volume minimum est inférieur à 100%

Fig. 58 Lac JAC , 1981-2010 : occurrence du volume minimum avec $T < 15^\circ\text{C}$ pour les cas où le volume minimum n'est ni 0 % ni 100 % (Carte 4b)



Lac JAC, 1981–2010: nombre de jours avec au moins 25% du volume avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$

Fig. 59 Lac JAC , 1981-2010 : nombre de jours avec au moins 25 % du volume du lac avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (Carte 7a)



Lac JAC, 1981–2010: nombre de jours avec au moins 50% du volume avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$

Fig. 60 Lac JAC , 1981-2010 : nombre de jours avec au moins 50 % du volume du lac avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (Carte 7b)

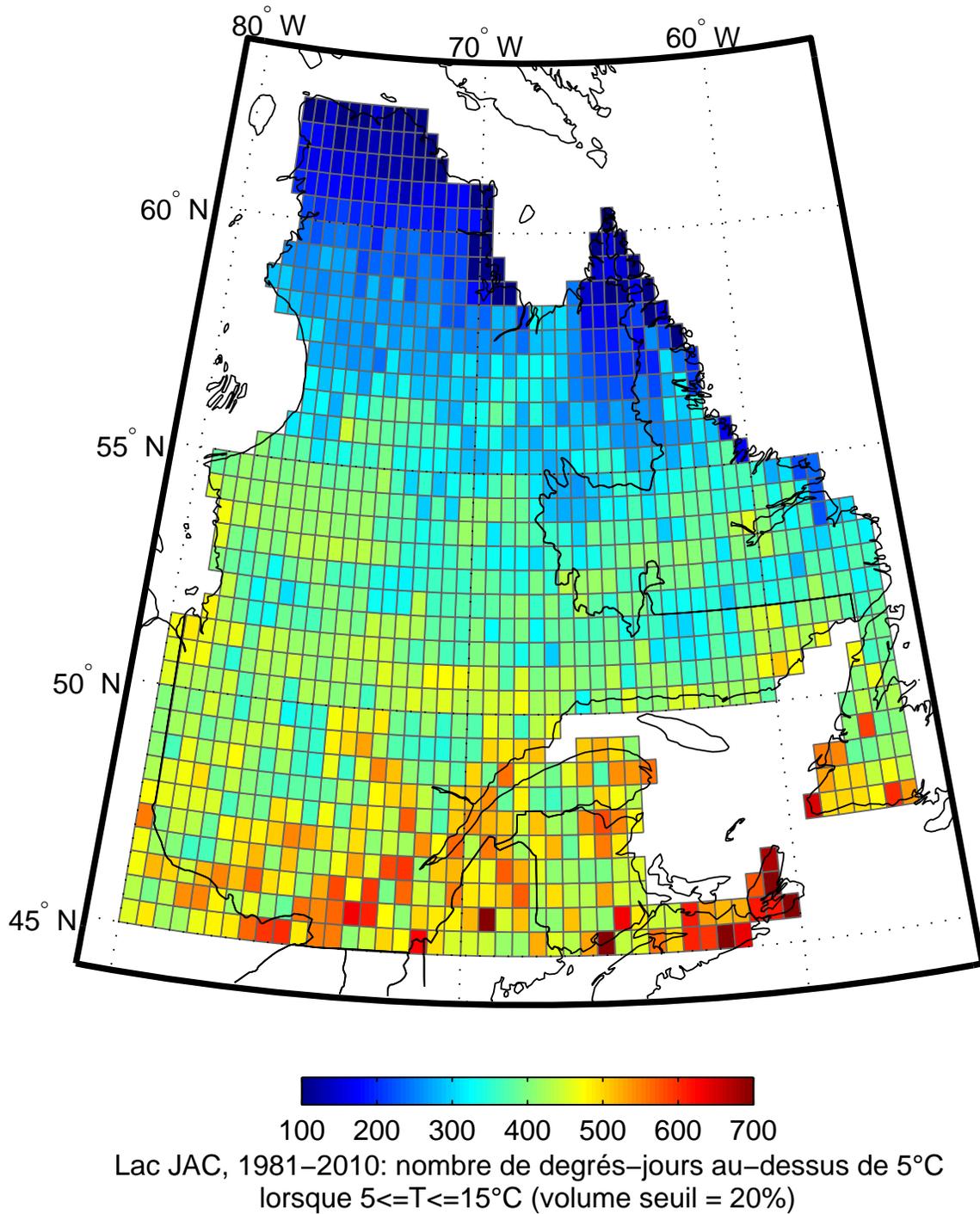


Fig. 61 Lac JAC , 1981-2010 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C lorsque $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (volume seuil pour être considéré dans le calcul : 20 %) (Carte 8a)

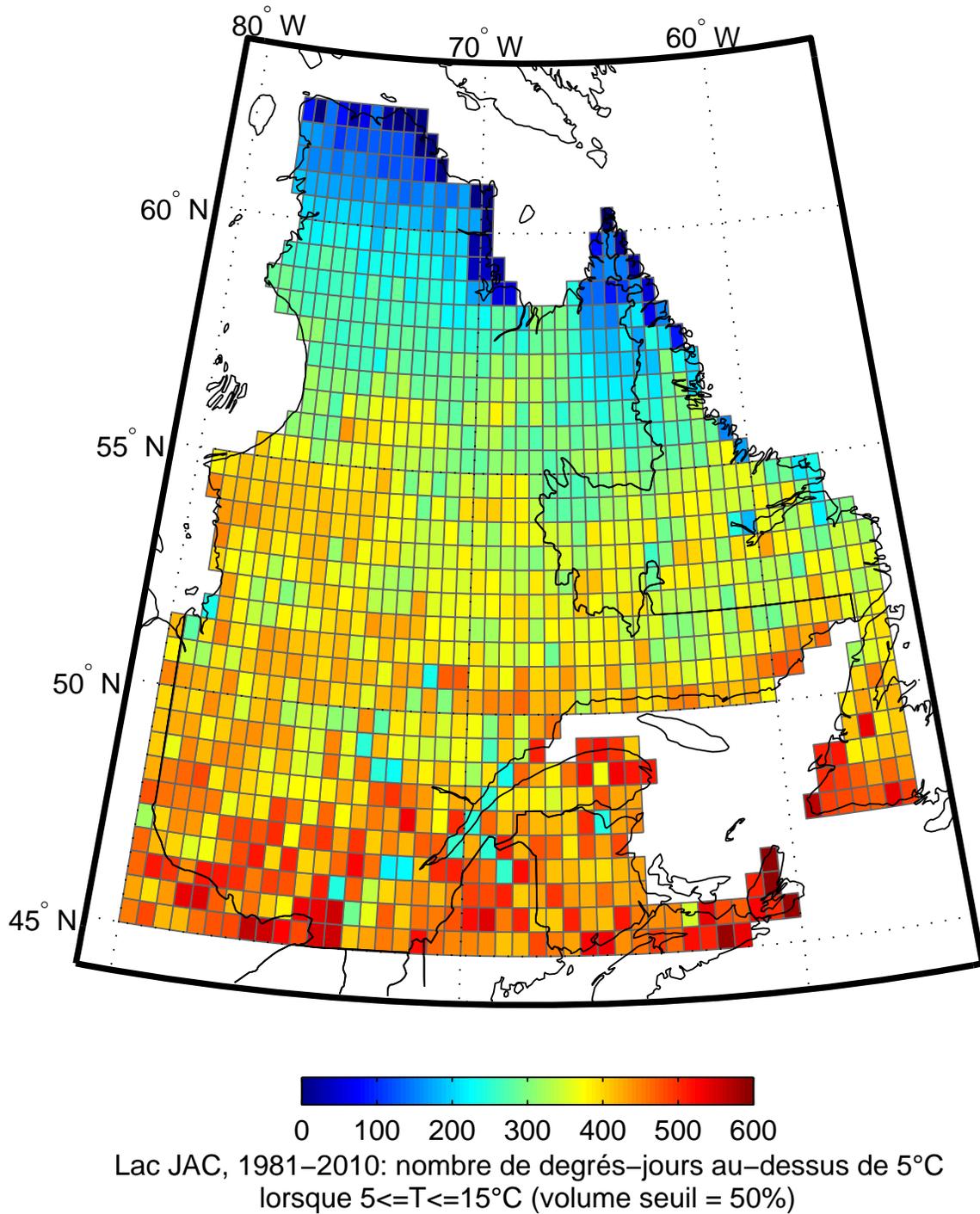
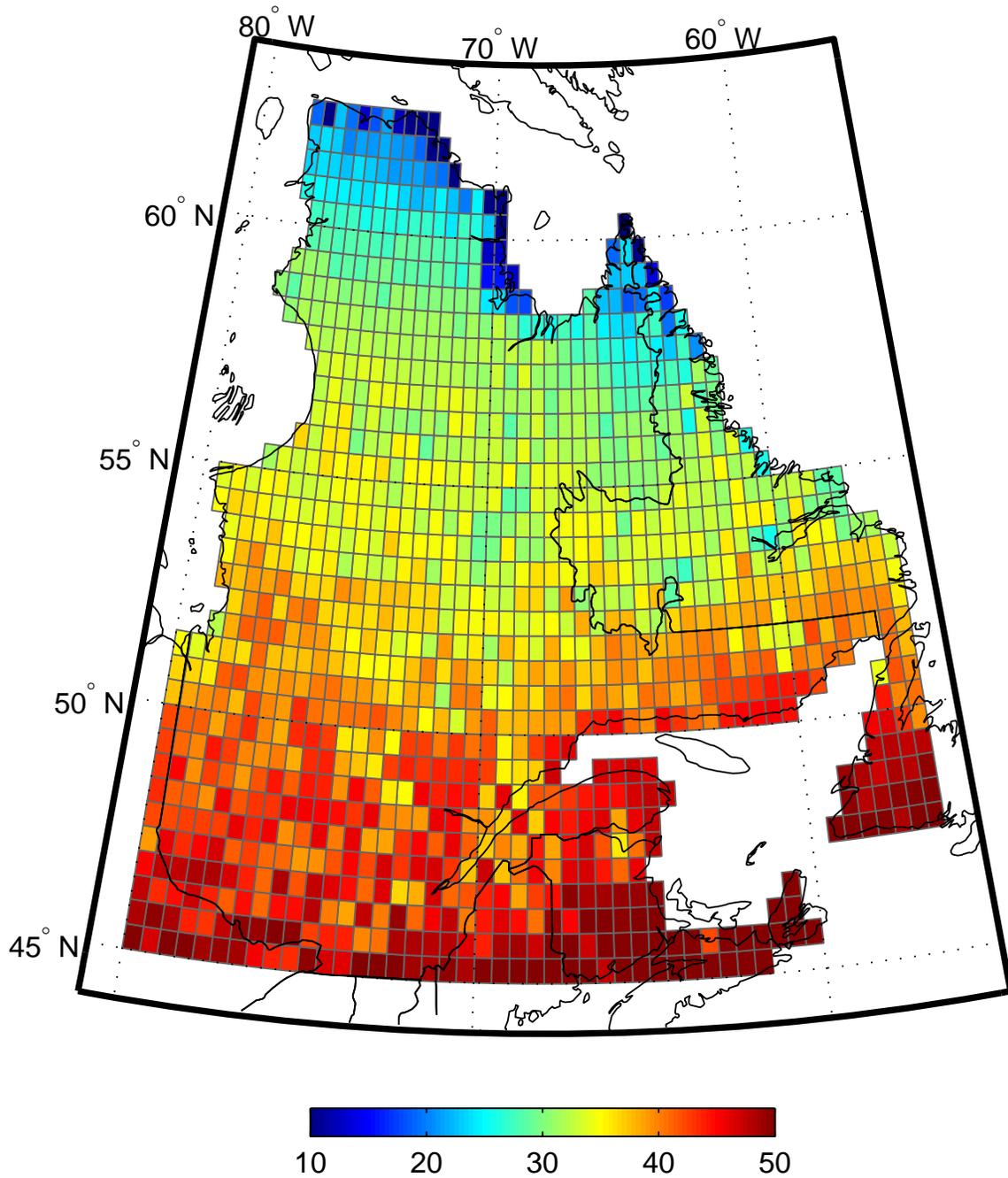
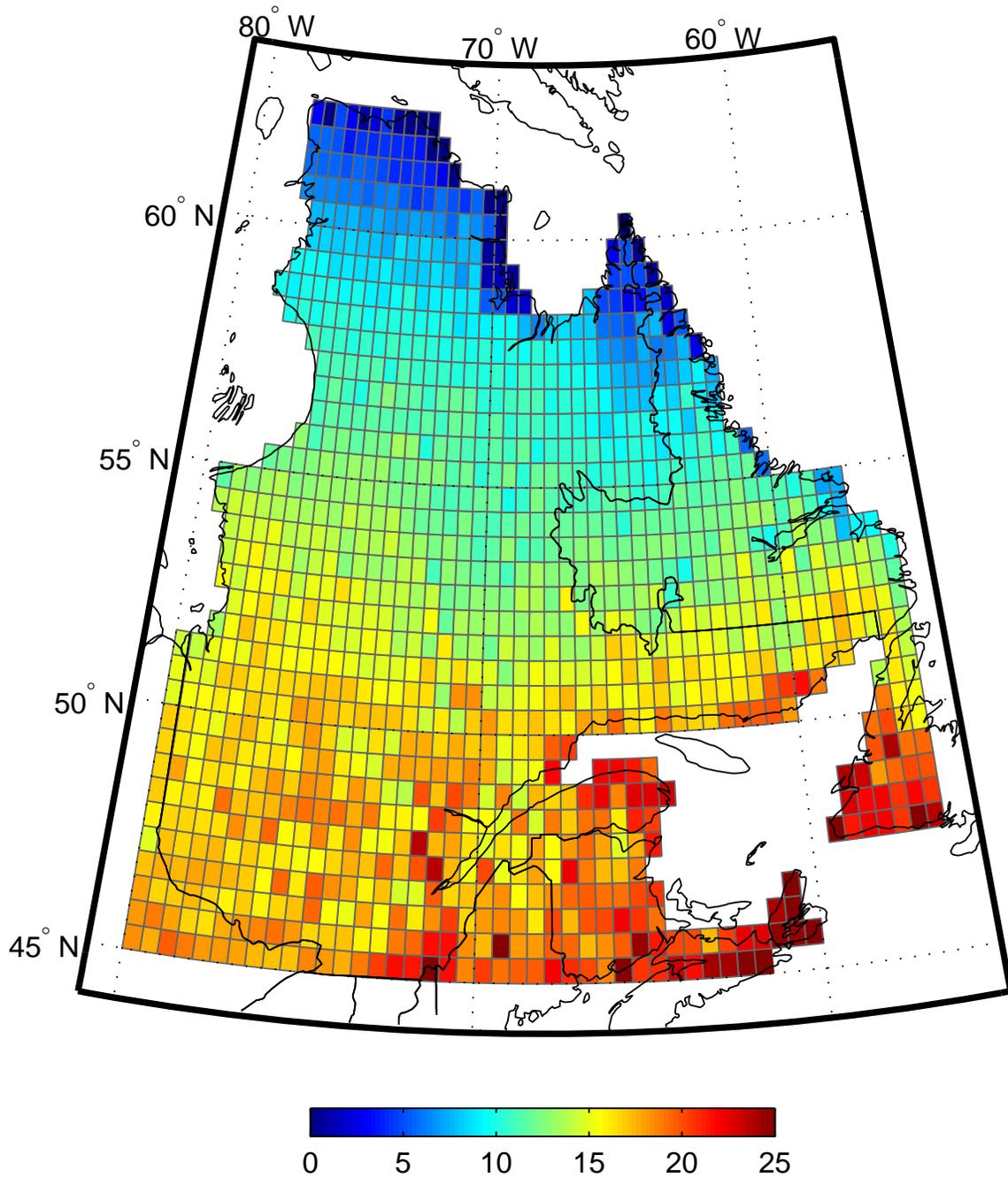


Fig. 62 Lac JAC , 1981-2010 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C lorsque $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (volume seuil pour être considéré dans le calcul : 50 %) (Carte 8b)



Lac JAC, 1981–2010: nombre de m³-jours avec $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ ($\times 10^9$)
 (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre $T=15^\circ\text{C}$ et $T=20^\circ\text{C}$)

Fig. 63 Lac JAC , 1981-2010 : nombre de m³-jours avec $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre 15 et 20 °C) ($\times 10^9$) (Carte 9)



Lac JAC, 1981–2010: nombre de m^3 -degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ ($\times 10^{10}$) (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre $T=15^\circ\text{C}$ et $T=20^\circ\text{C}$)

Fig. 64 Lac JAC , 1981-2010 : nombre de m^3 -degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre 15 et 20°C) ($\times 10^{10}$) (Carte 10)

8.0 Cartes pour le lac Jacques-Cartier, période 2041-2070

- Fig. 65 Lac JAC , 2041-2070 : maximum de contenu en chaleur (PJ) (Carte 1a)
- Fig. 66 Lac JAC , 2041-2070 : maximum de contenu en chaleur (normalisé) (Carte 1b)
- Fig. 67 Lac JAC , 2041-2070 : occurrence du maximum de contenu en chaleur (Carte 1c)
- Fig. 68 Lac JAC , 2041-2070 : température moyenne de 0 à 5 m pour la période du 01 juin au 31 août (°C) (Carte 2)
- Fig. 69 Lac JAC , 2041-2070 : maximum d'épaisseur de glace (m) (Carte 3a)
- Fig. 70 Lac JAC , 2041-2070 : occurrence du maximum d'épaisseur de glace (Carte 3b)
- Fig. 71 Lac JAC , 2041-2070 : volume minimum avec $T < 15^\circ$ (% du volume total) (Carte 4a)
- Fig. 72 Lac JAC , 2041-2070 : occurrence du volume minimum avec $T < 15^\circ\text{C}$ pour les cas où le volume minimum n'est ni 0 % ni 100 % (Carte 4b)
- Fig. 73 Lac JAC , 2041-2070 : nombre de jours avec au moins 25 % du volume du lac avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (Carte 7a)
- Fig. 74 Lac JAC , 2041-2070 : nombre de jours avec au moins 50 % du volume du lac avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (Carte 7b)
- Fig. 75 Lac JAC , 2041-2070 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (volume seuil pour être considéré dans le calcul : 20 %) (Carte 8a)
- Fig. 76 Lac JAC , 2041-2070 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (volume seuil pour être considéré dans le calcul : 50 %) (Carte 8b)
- Fig. 77 Lac JAC , 2041-2070 : nombre de m^3 -jours avec $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre 15 et 20°C) ($\times 10^9$) (Carte 9)
- Fig. 78 Lac JAC , 2041-2070 : nombre de m^3 -degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre 15 et 20°C) ($\times 10^{10}$) (Carte 10)

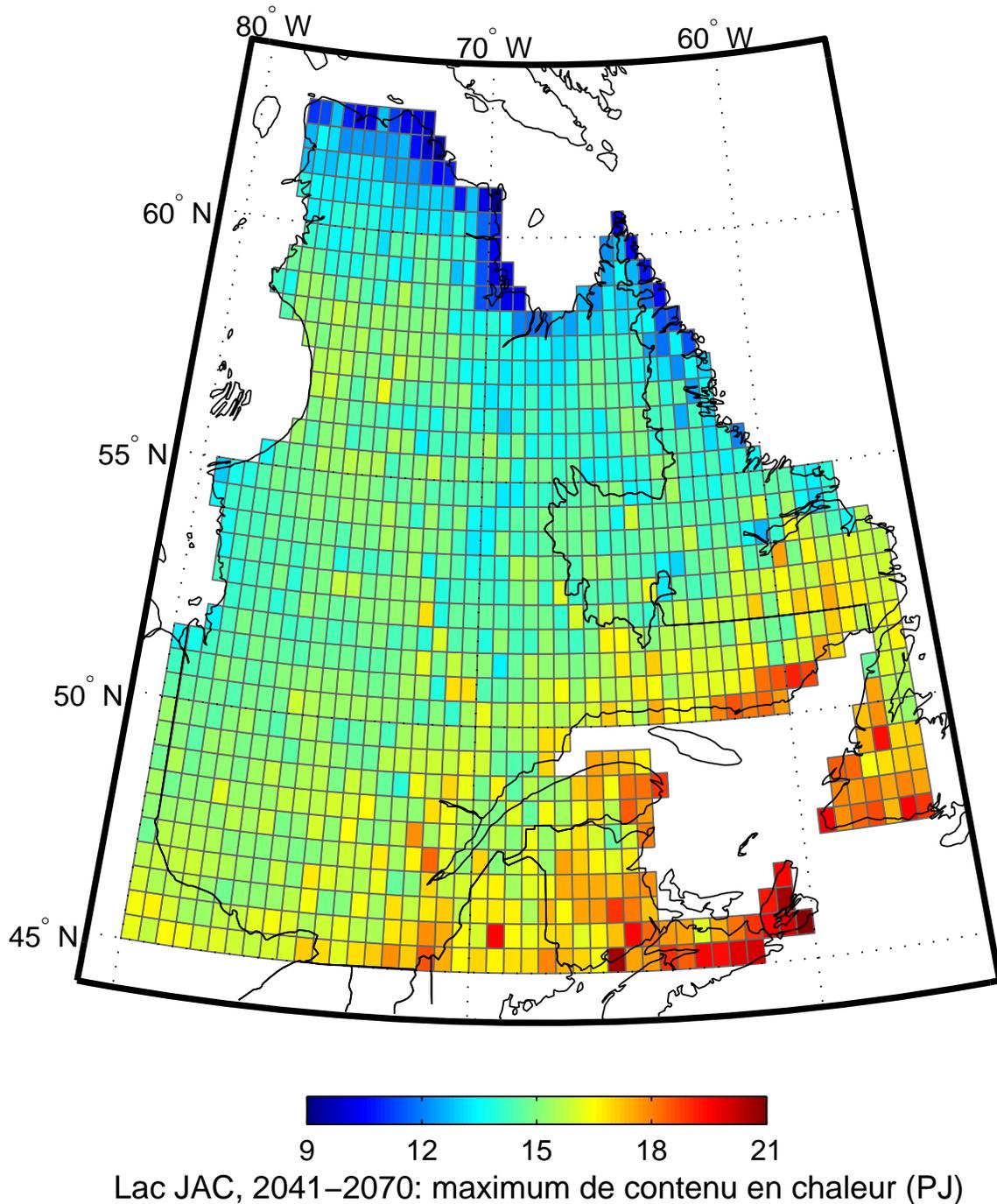
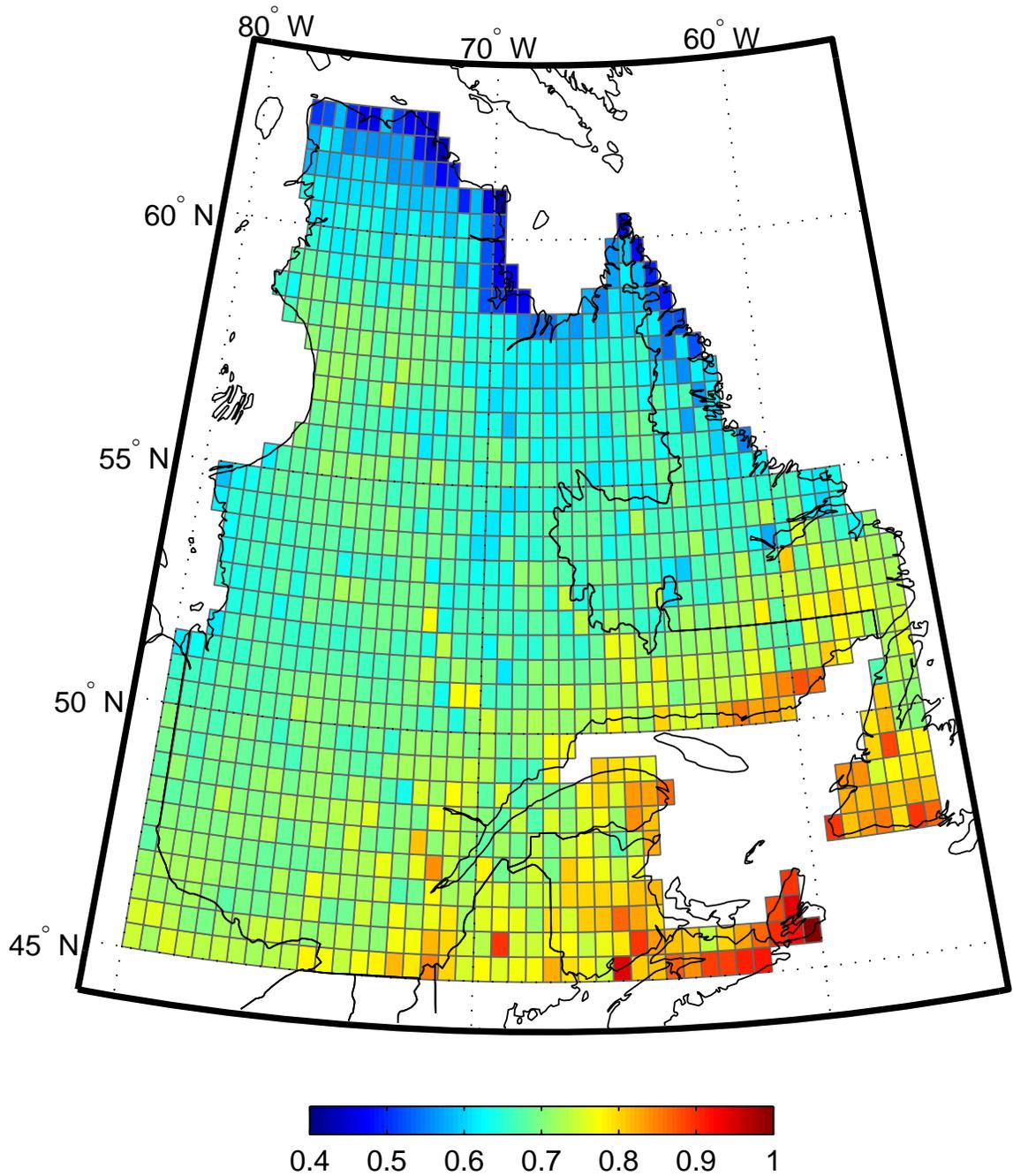
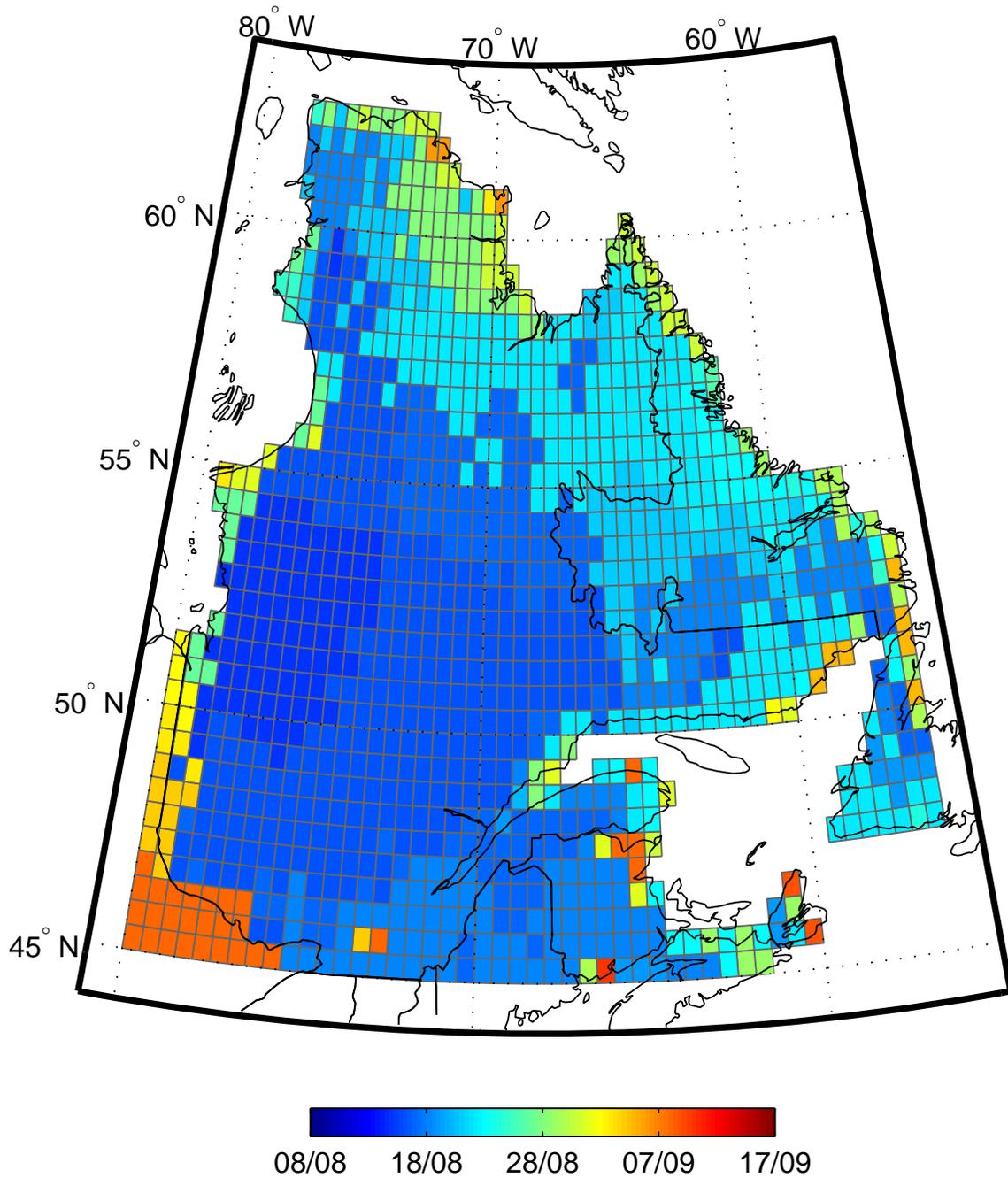


Fig. 65 Lac JAC , 2041-2070 : maximum de contenu en chaleur (PJ) (Carte 1a)



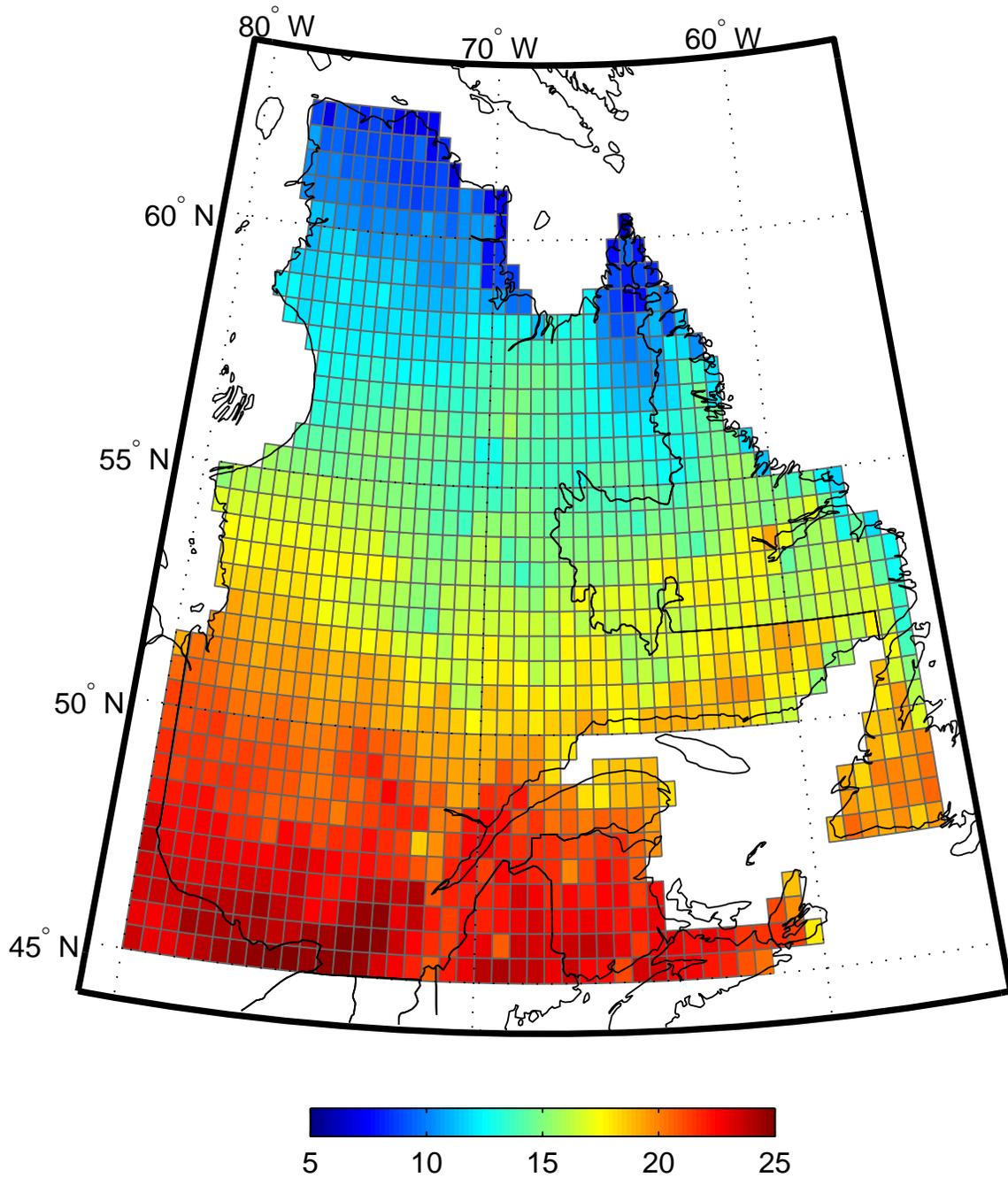
Lac JAC, 2041–2070: maximum de contenu en chaleur normalisé

Fig. 66 Lac JAC , 2041-2070 : maximum de contenu en chaleur (normalisé) (Carte 1b)



Lac JAC, 2041–2070: occurrence du maximum de contenu en chaleur

Fig. 67 Lac JAC , 2041-2070 : occurrence du maximum de contenu en chaleur (Carte 1c)



Lac JAC, 2041–2070: température moyenne, couche 0–5m, période JJA (°C)

Fig. 68 Lac JAC , 2041-2070 : température moyenne de 0 à 5 m pour la période du 01 juin au 31 août (°C) (Carte 2)

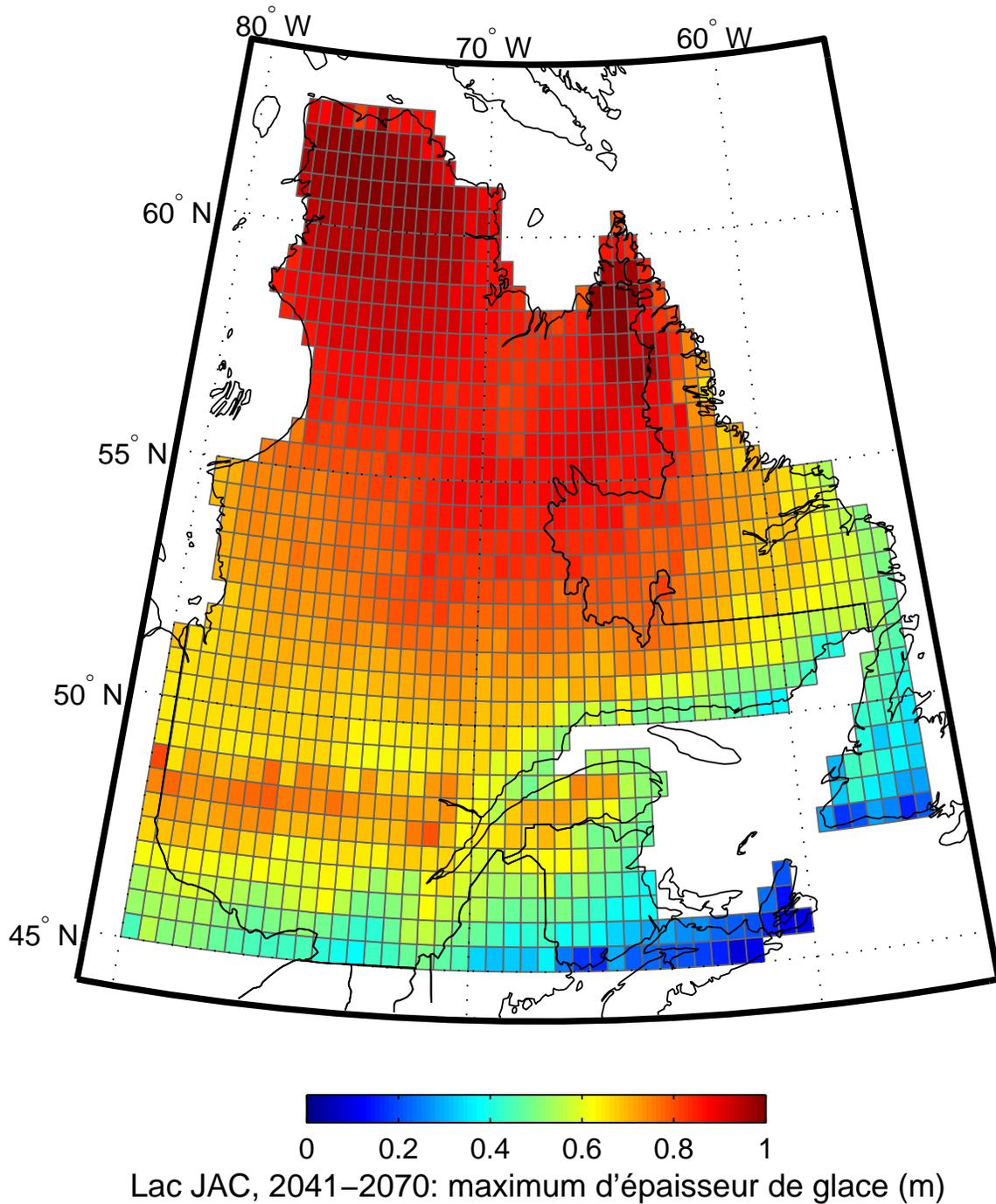


Fig. 69 Lac JAC , 2041-2070 : maximum d'épaisseur de glace (m) (Carte 3a)

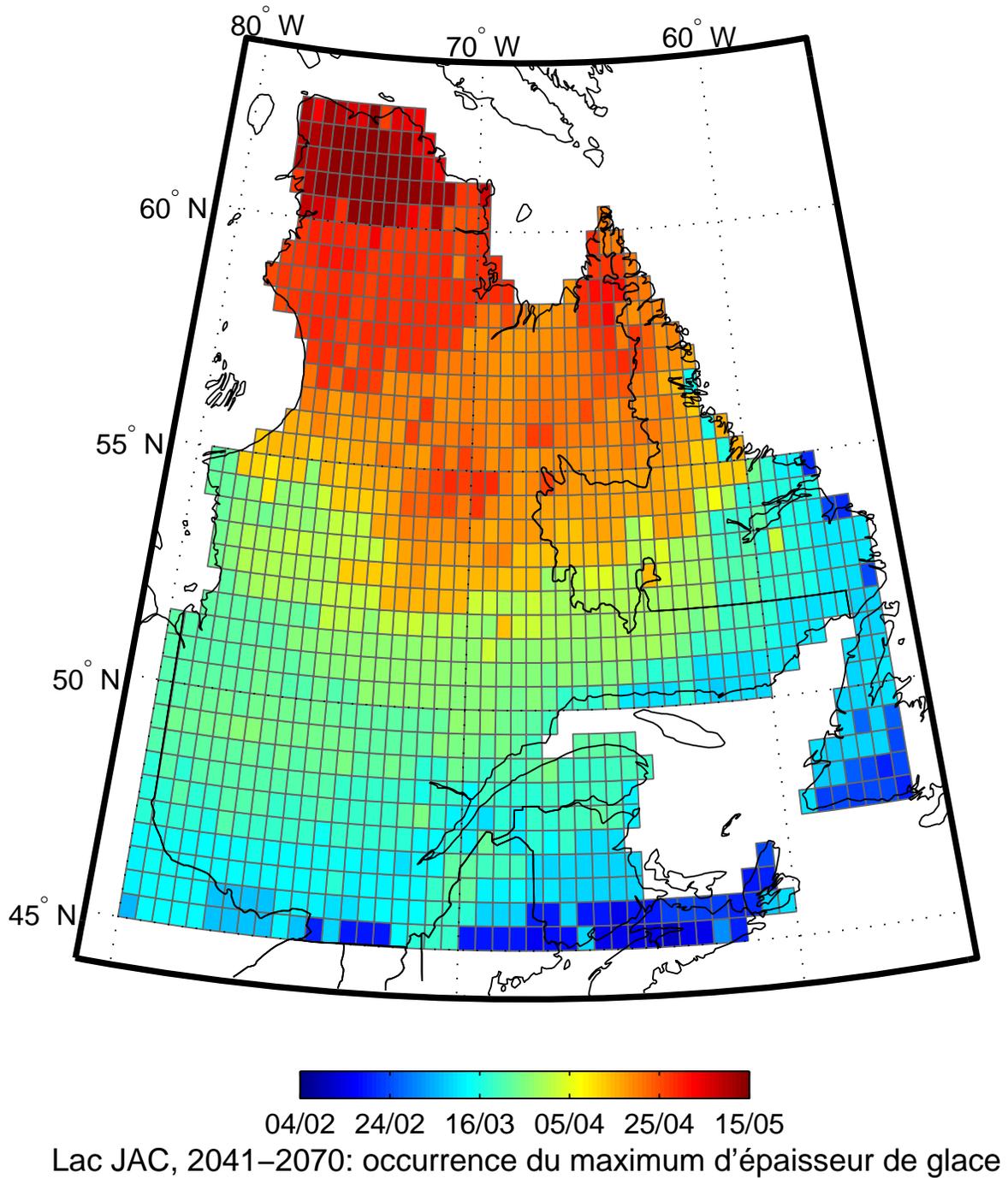


Fig. 70 Lac JAC , 2041-2070 : occurrence du maximum d'épaisseur de glace (Carte 3b)

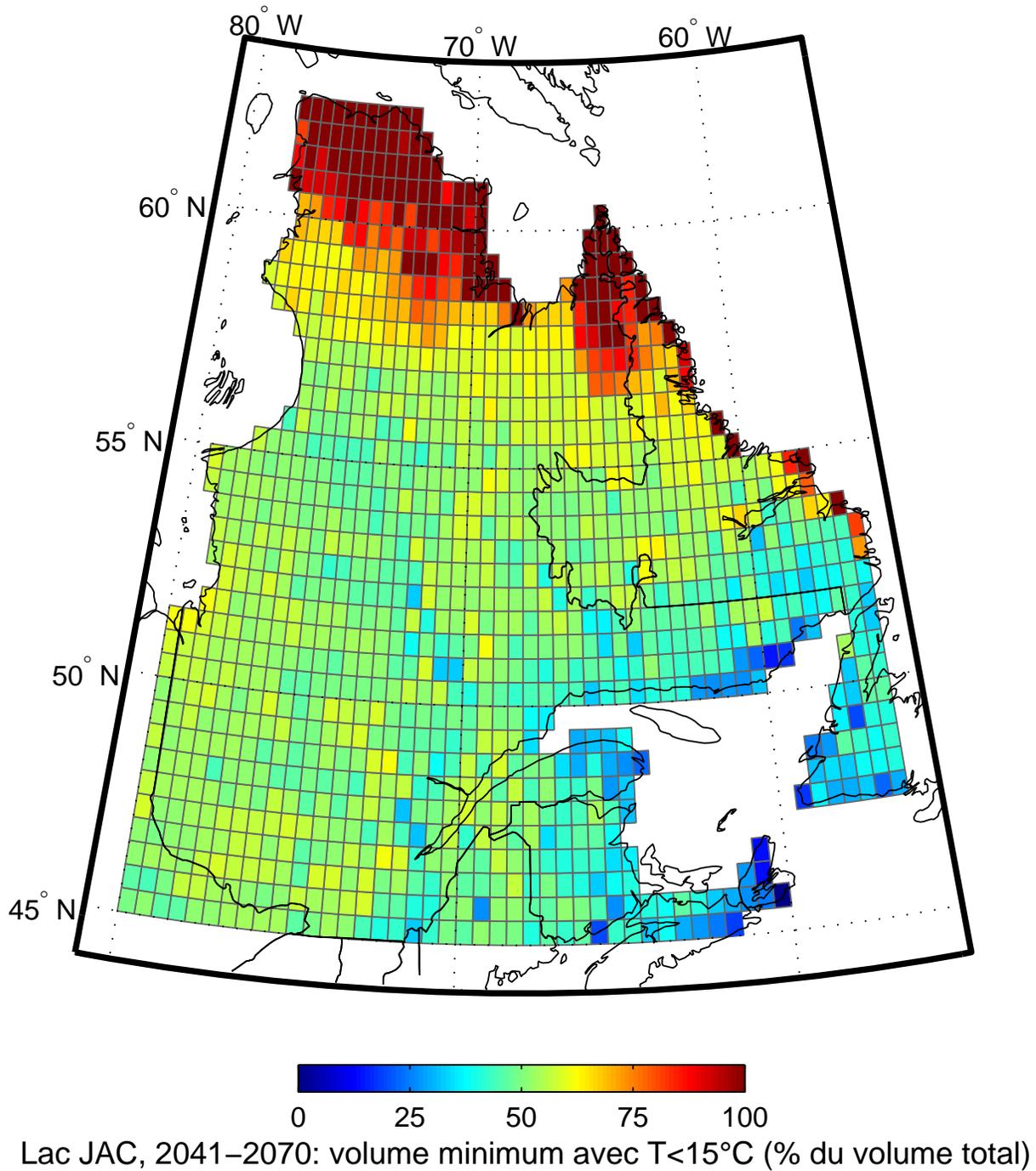
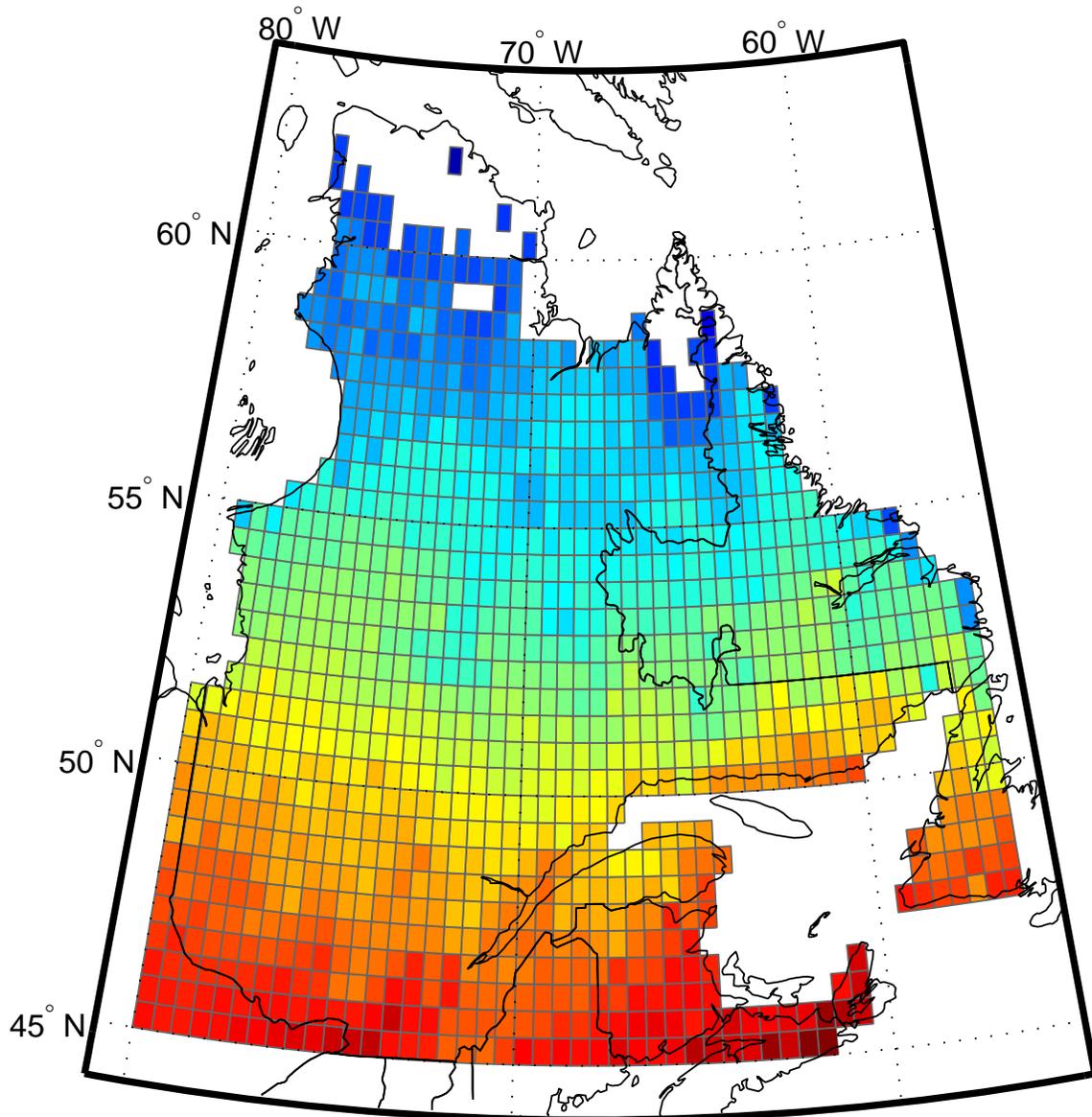


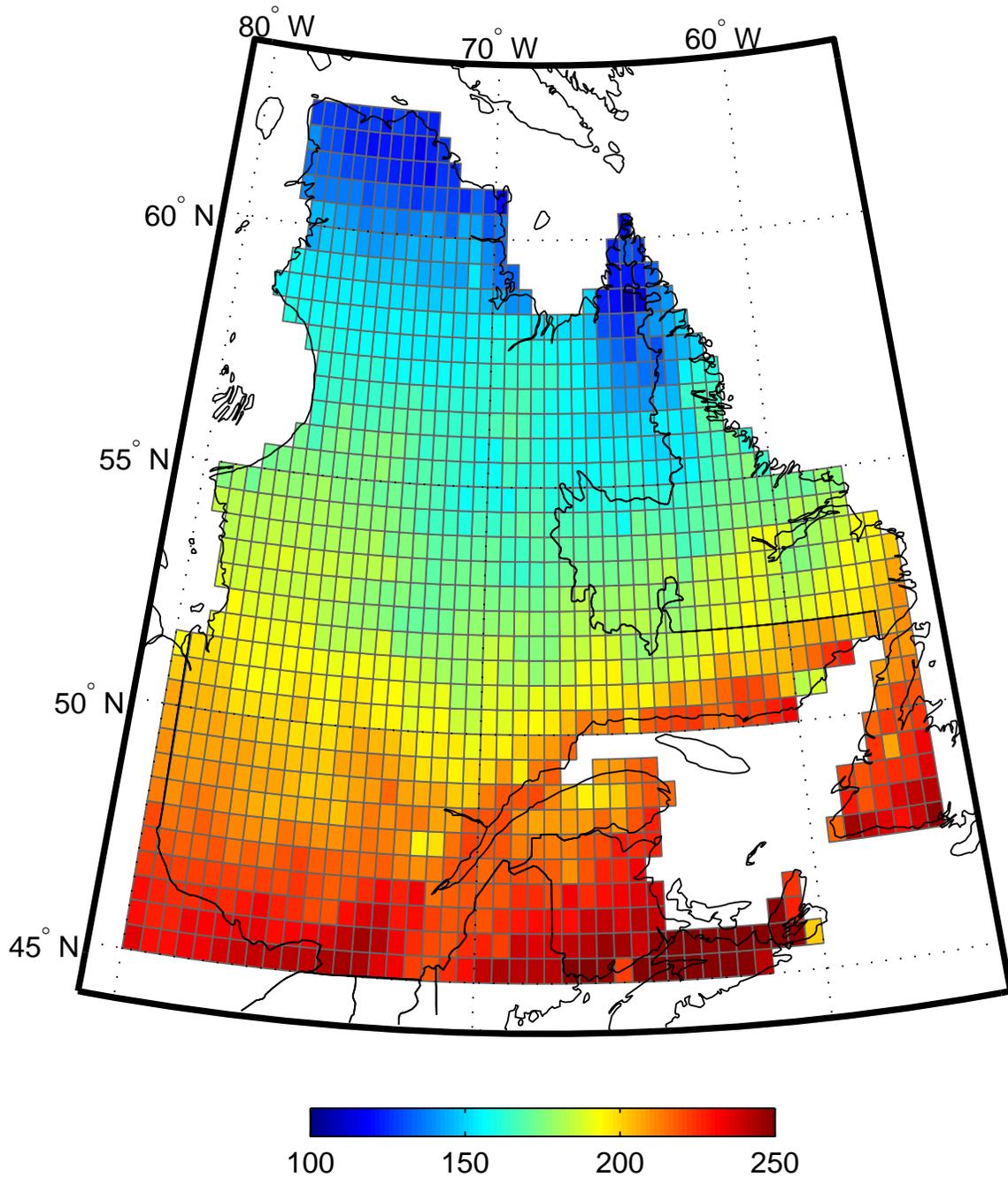
Fig. 71 Lac JAC , 2041-2070 : volume minimum avec $T < 15^{\circ}$ (% du volume total)
(Carte 4a)



24/07 08/08 23/08 07/09 22/09 07/10 22/10

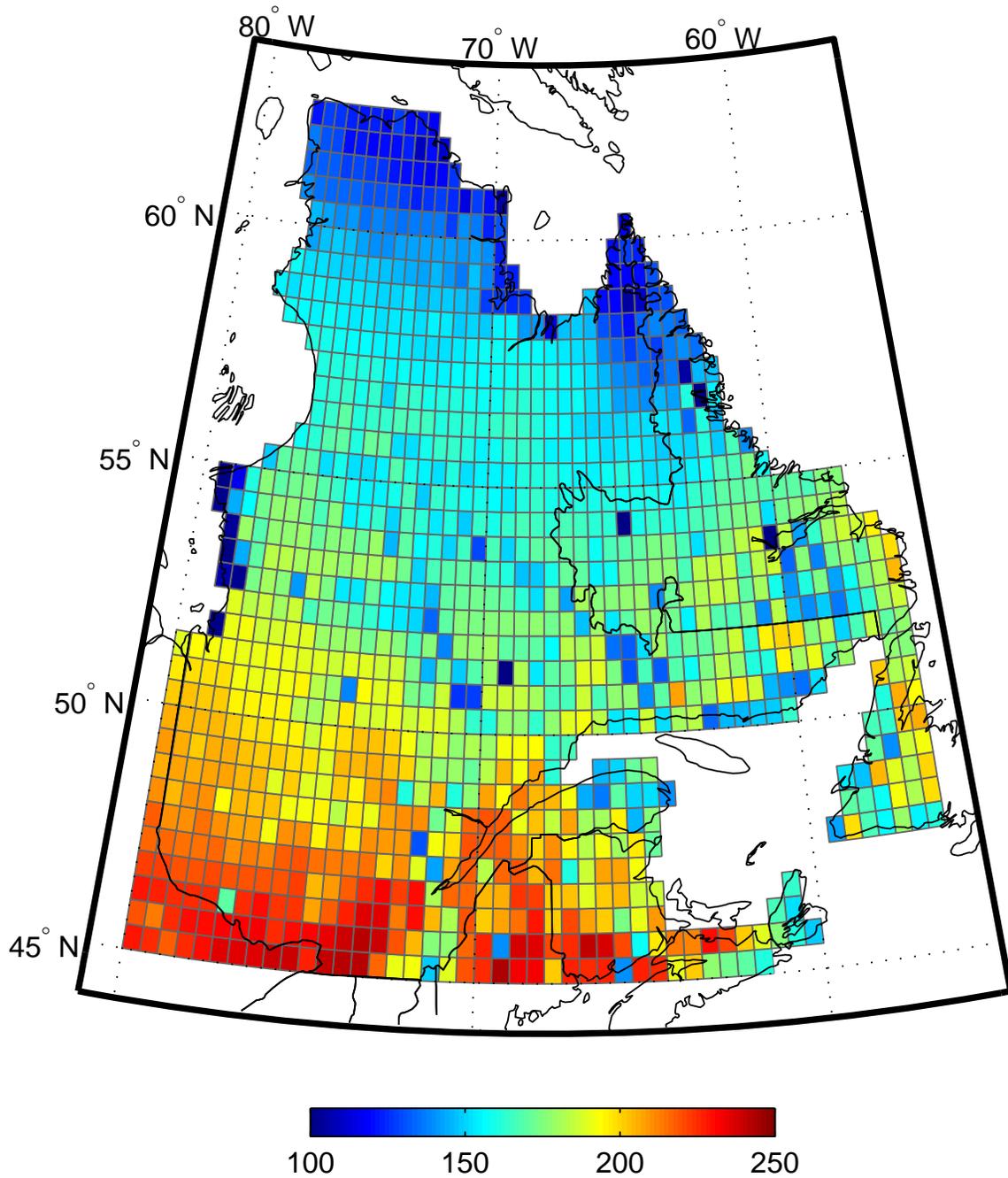
Lac JAC, 2041–2070: occurrence du volume minimum avec $T < 15^\circ\text{C}$
pour les pixels où le volume minimum est inférieur à 100%

Fig. 72 Lac JAC , 2041-2070 : occurrence du volume minimum avec $T < 15^\circ\text{C}$ pour les cas où le volume minimum n'est ni 0 % ni 100 % (Carte 4b)



Lac JAC, 2041–2070: nombre de jours avec au moins 25% du volume avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$

Fig. 73 Lac JAC , 2041-2070 : nombre de jours avec au moins 25 % du volume du lac avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (Carte 7a)



Lac JAC, 2041–2070: nombre de jours avec au moins 50% du volume avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$

Fig. 74 Lac JAC , 2041-2070 : nombre de jours avec au moins 50 % du volume du lac avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (Carte 7b)

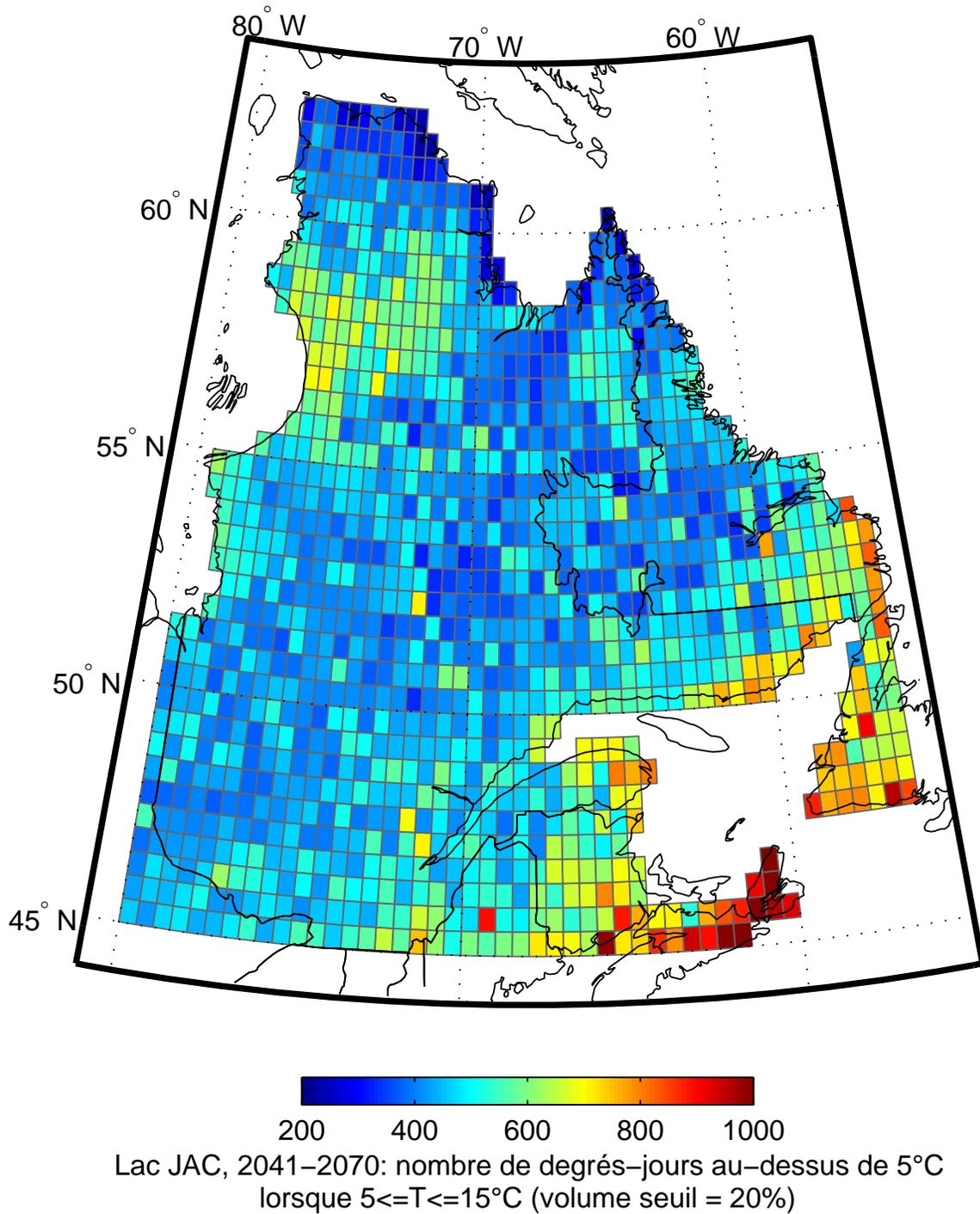


Fig. 75 Lac JAC , 2041-2070 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C lorsque $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (volume seuil pour être considéré dans le calcul : 20 %) (Carte 8a)

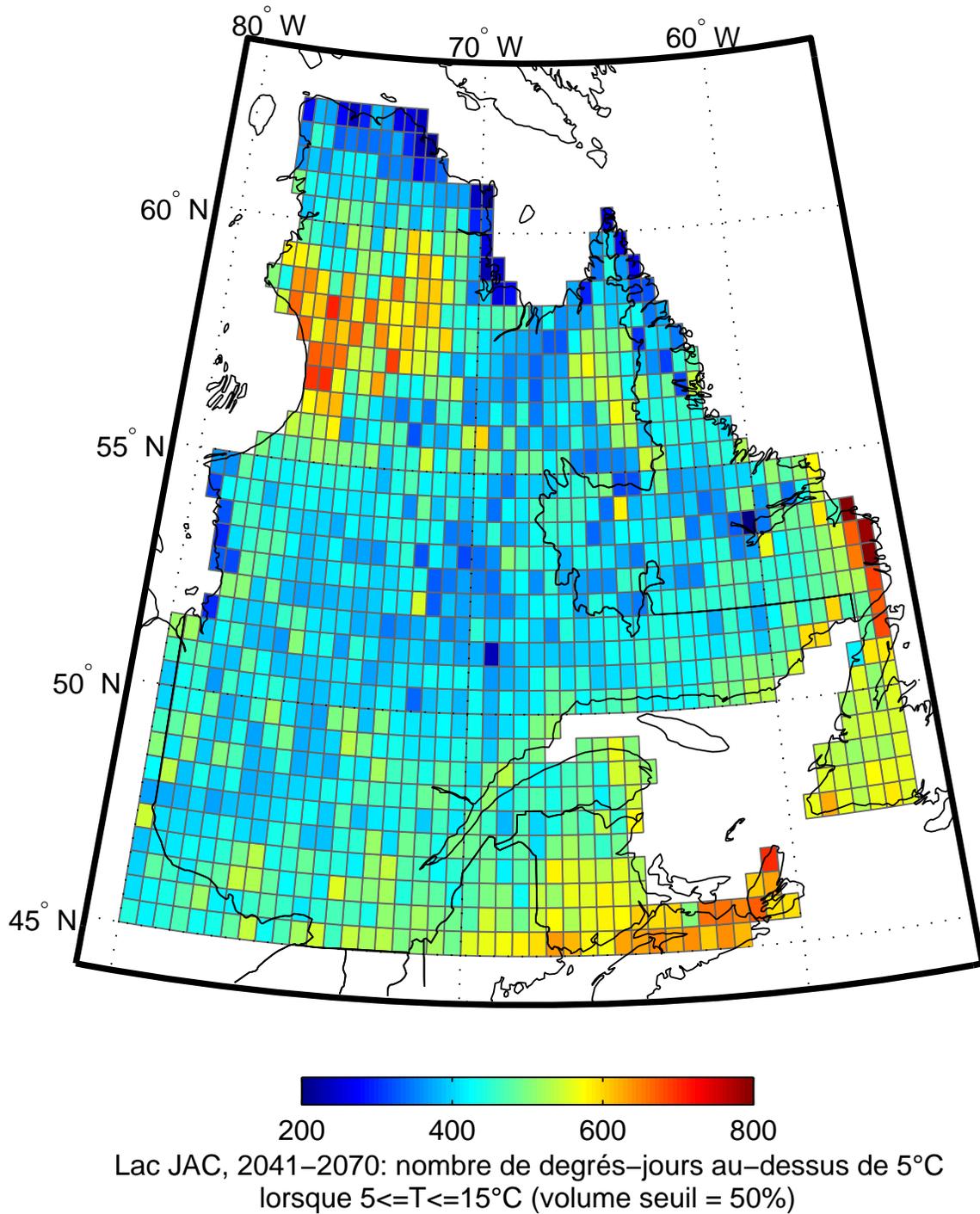
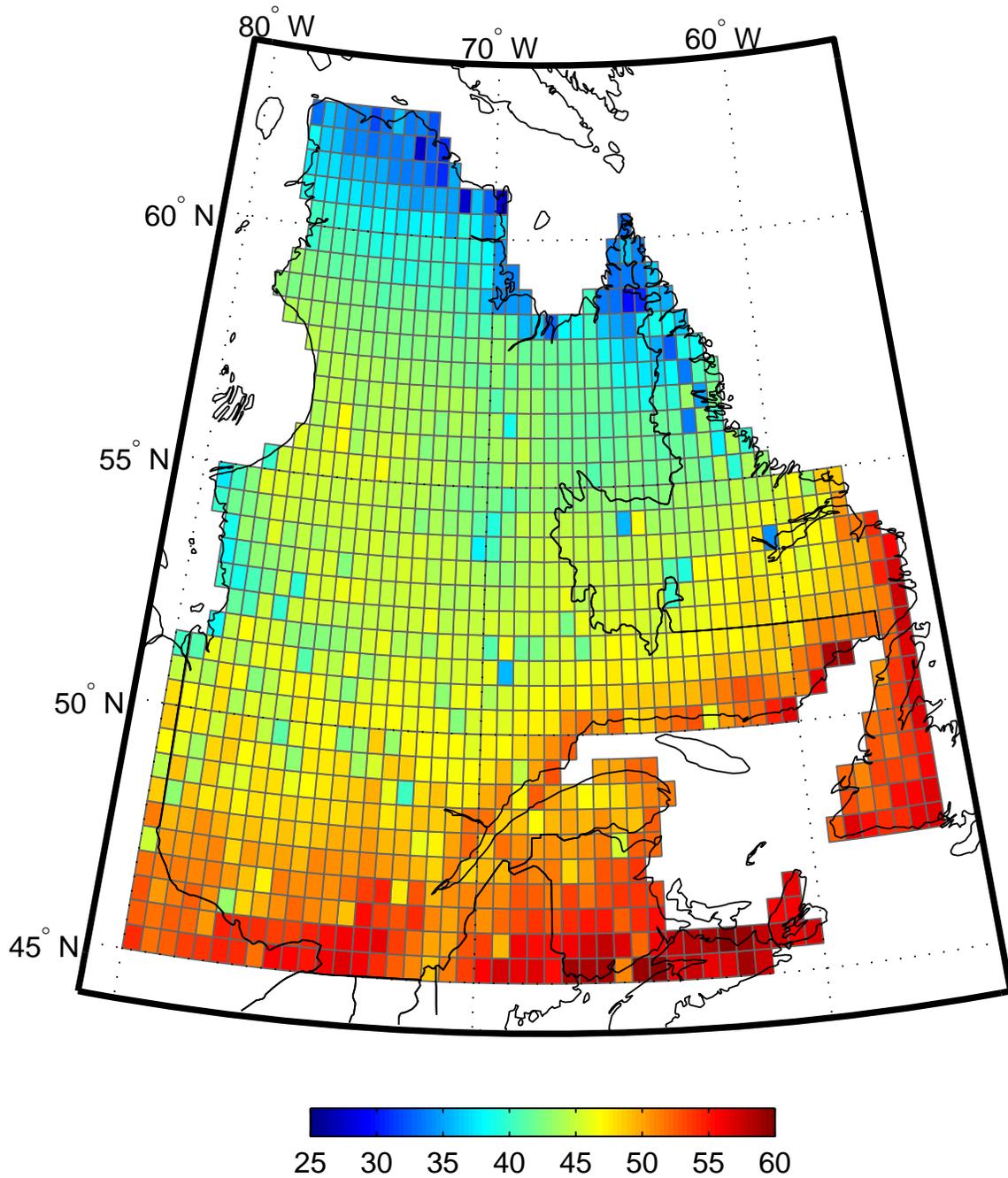
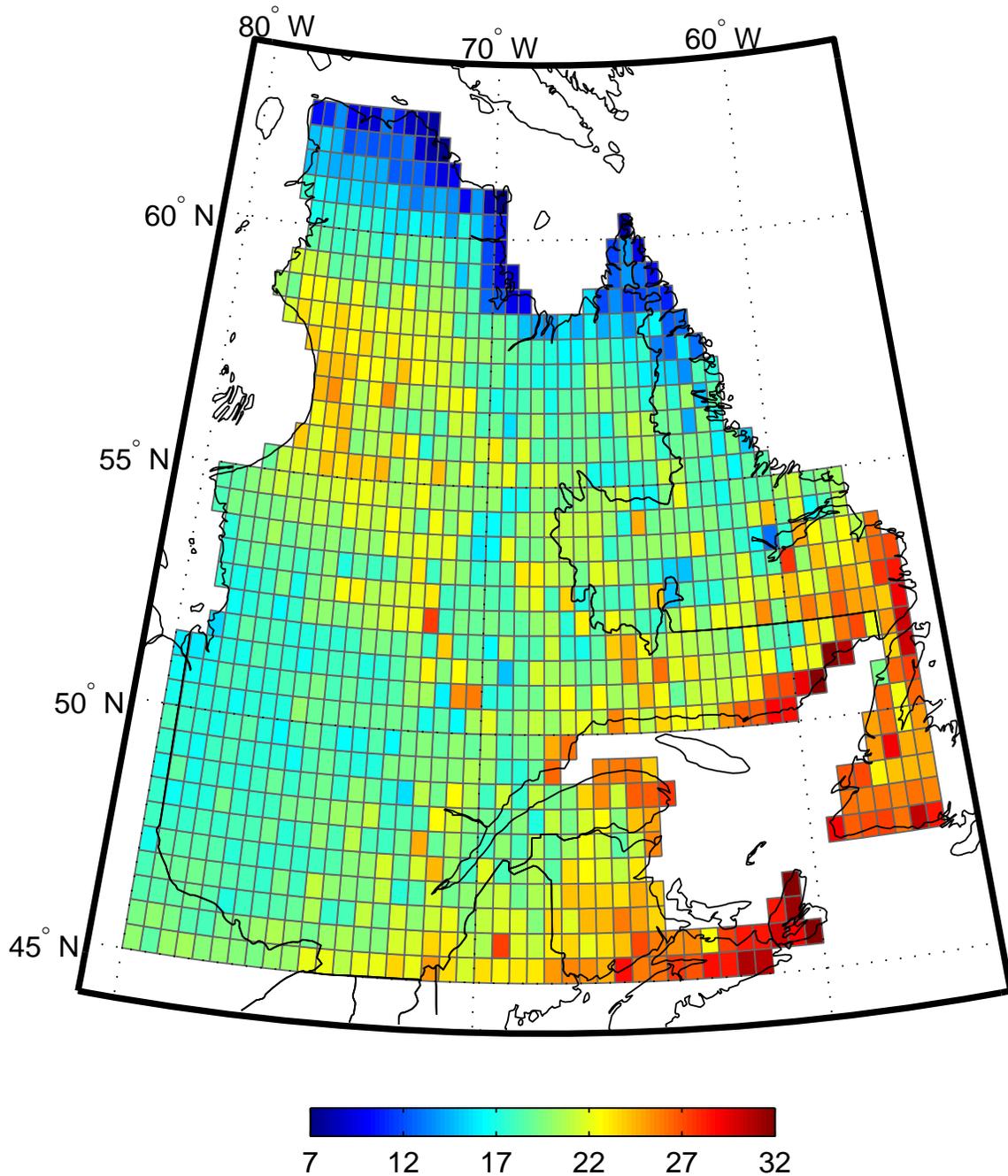


Fig. 76 Lac JAC , 2041-2070 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C lorsque $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (volume seuil pour être considéré dans le calcul : 50 %) (Carte 8b)



Lac JAC, 2041–2070: nombre de m^3 -jours avec $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ ($\times 10^9$)
 (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre $T=15^\circ\text{C}$ et $T=20^\circ\text{C}$)

Fig. 77 Lac JAC , 2041-2070 : nombre de m^3 -jours avec $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre 15 et 20°C) ($\times 10^9$) (Carte 9)



Lac JAC, 2041–2070: nombre de m³-degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque 5 ≤ T ≤ 20°C (x10¹⁰) (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre T=15°C et T=20°C)

Fig. 78 Lac JAC , 2041-2070 : nombre de m³-degrés-jours au-dessus de 5 °C lorsque 5 ≤ T ≤ 20 °C (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre 15 et 20 °C) (x10¹⁰) (Carte 10)

9.0 Cartes pour le lac Jacques-Cartier, période 2071-2100

- Fig. 79 Lac JAC , 2071-2100 : maximum de contenu en chaleur (PJ) (Carte 1a)
- Fig. 80 Lac JAC , 2071-2100 : maximum de contenu en chaleur (normalisé) (Carte 1b)
- Fig. 81 Lac JAC , 2071-2100 : occurrence du maximum de contenu en chaleur (Carte 1c)
- Fig. 82 Lac JAC , 2071-2100 : température moyenne de 0 à 5 m pour la période du 01 juin au 31 août (°C) (Carte 2)
- Fig. 83 Lac JAC , 2071-2100 : maximum d'épaisseur de glace (m) (Carte 3a)
- Fig. 84 Lac JAC , 2071-2100 : occurrence du maximum d'épaisseur de glace (Carte 3b)
- Fig. 85 Lac JAC , 2071-2100 : volume minimum avec $T < 15^\circ$ (% du volume total) (Carte 4a)
- Fig. 86 Lac JAC , 2071-2100 : occurrence du volume minimum avec $T < 15^\circ\text{C}$ pour les cas où le volume minimum n'est ni 0 % ni 100 % (Carte 4b)
- Fig. 87 Lac JAC , 2071-2100 : nombre de jours avec au moins 25 % du volume du lac avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (Carte 7a)
- Fig. 88 Lac JAC , 2071-2100 : nombre de jours avec au moins 50 % du volume du lac avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (Carte 7b)
- Fig. 89 Lac JAC , 2071-2100 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (volume seuil pour être considéré dans le calcul : 20 %) (Carte 8a)
- Fig. 90 Lac JAC , 2071-2100 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (volume seuil pour être considéré dans le calcul : 50 %) (Carte 8b)
- Fig. 91 Lac JAC , 2071-2100 : nombre de m^3 -jours avec $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre 15 et 20°C) ($\times 10^9$) (Carte 9)
- Fig. 92 Lac JAC , 2071-2100 : nombre de m^3 -degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre 15 et 20°C) ($\times 10^{10}$) (Carte 10)

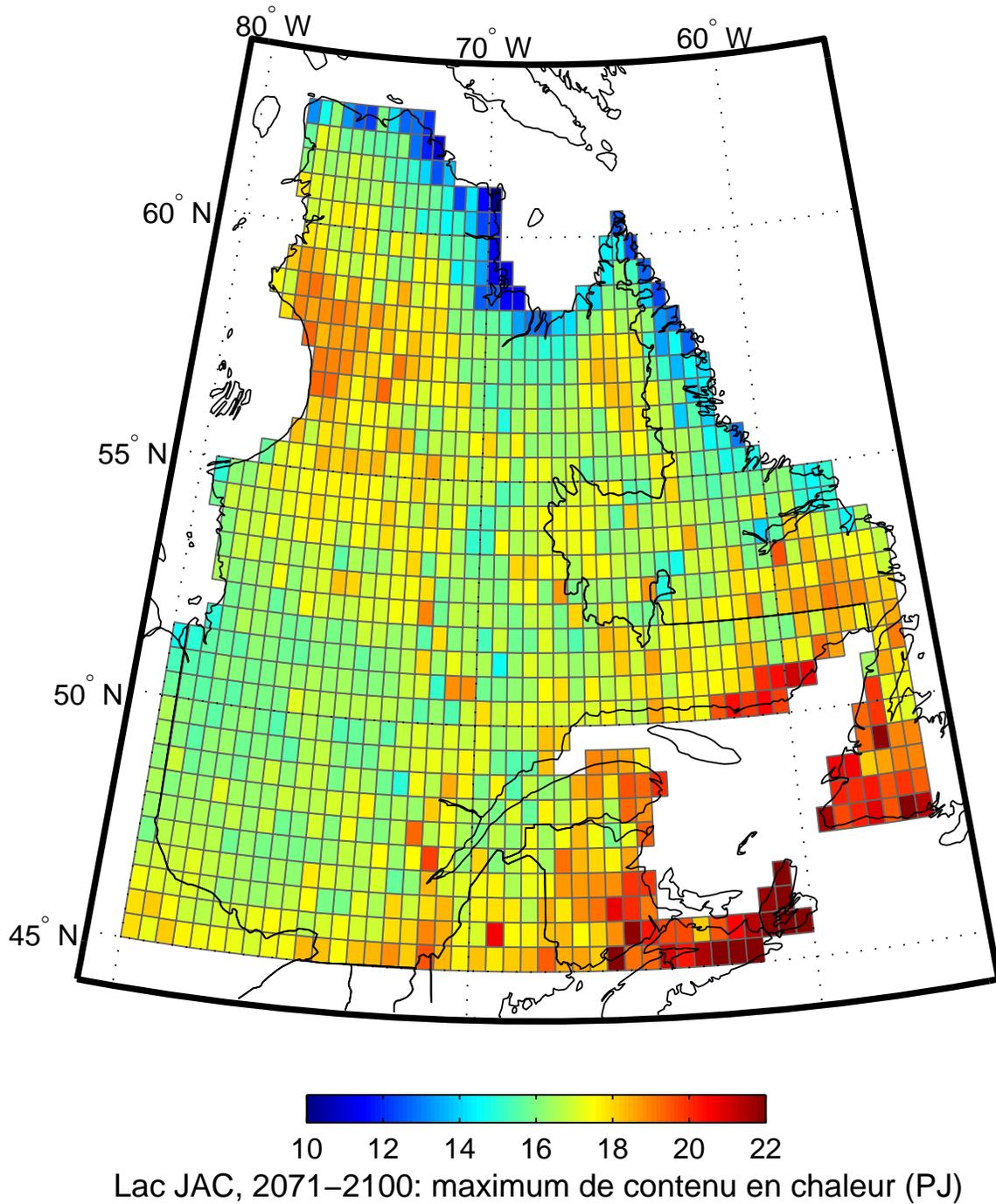
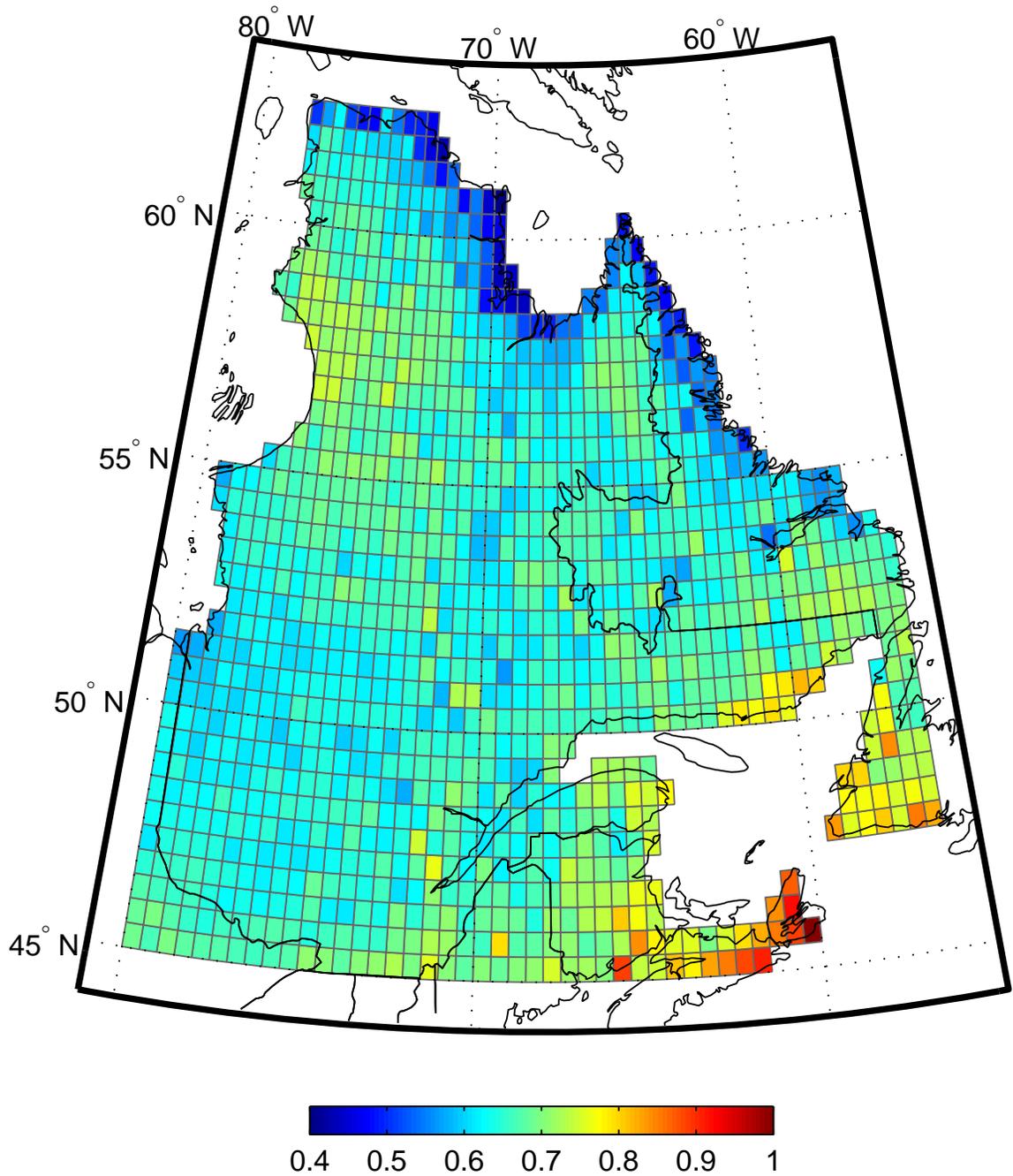
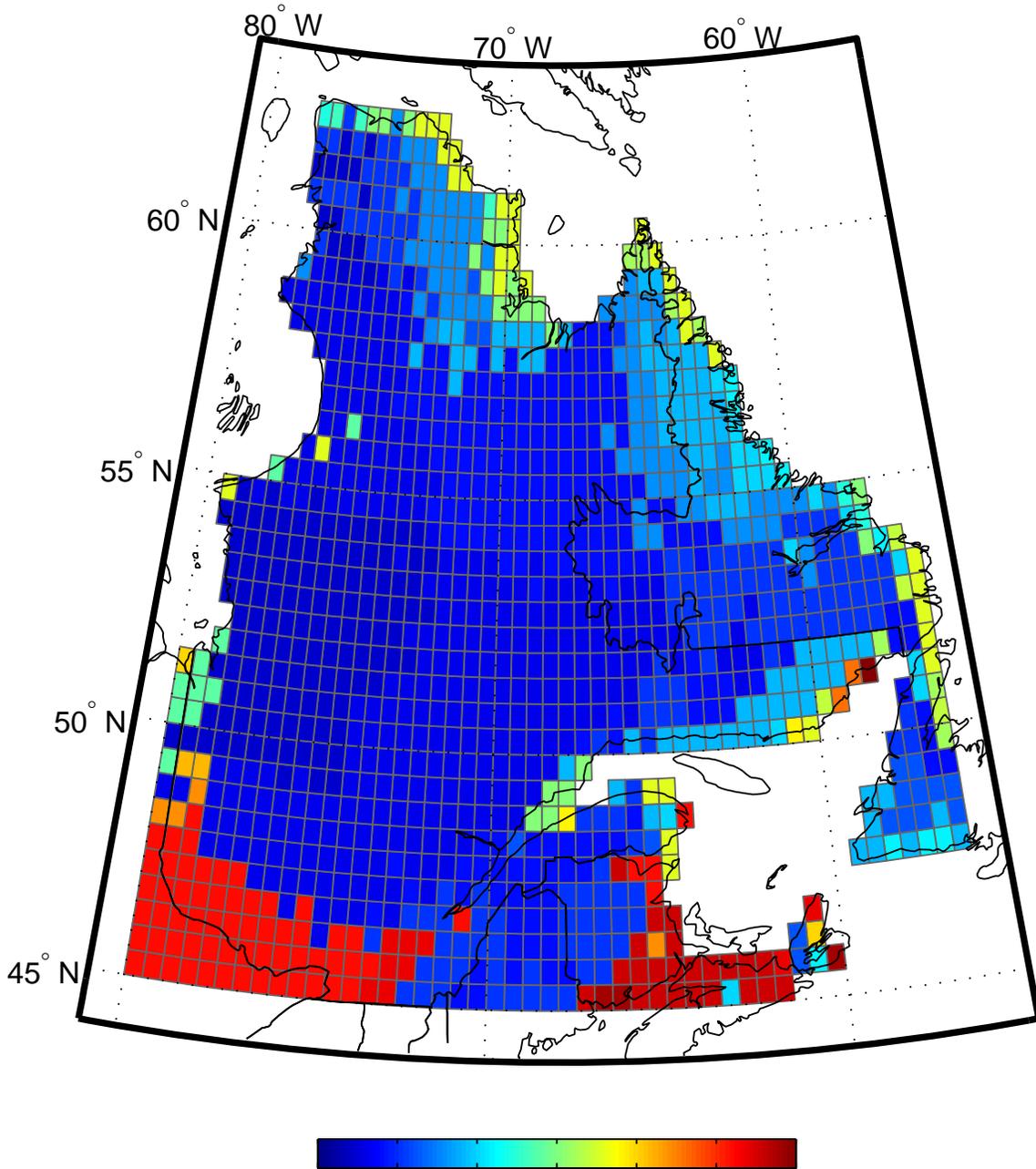


Fig. 79 Lac JAC , 2071-2100 : maximum de contenu en chaleur (PJ) (Carte 1a)



Lac JAC, 2071–2100: maximum de contenu en chaleur normalisé

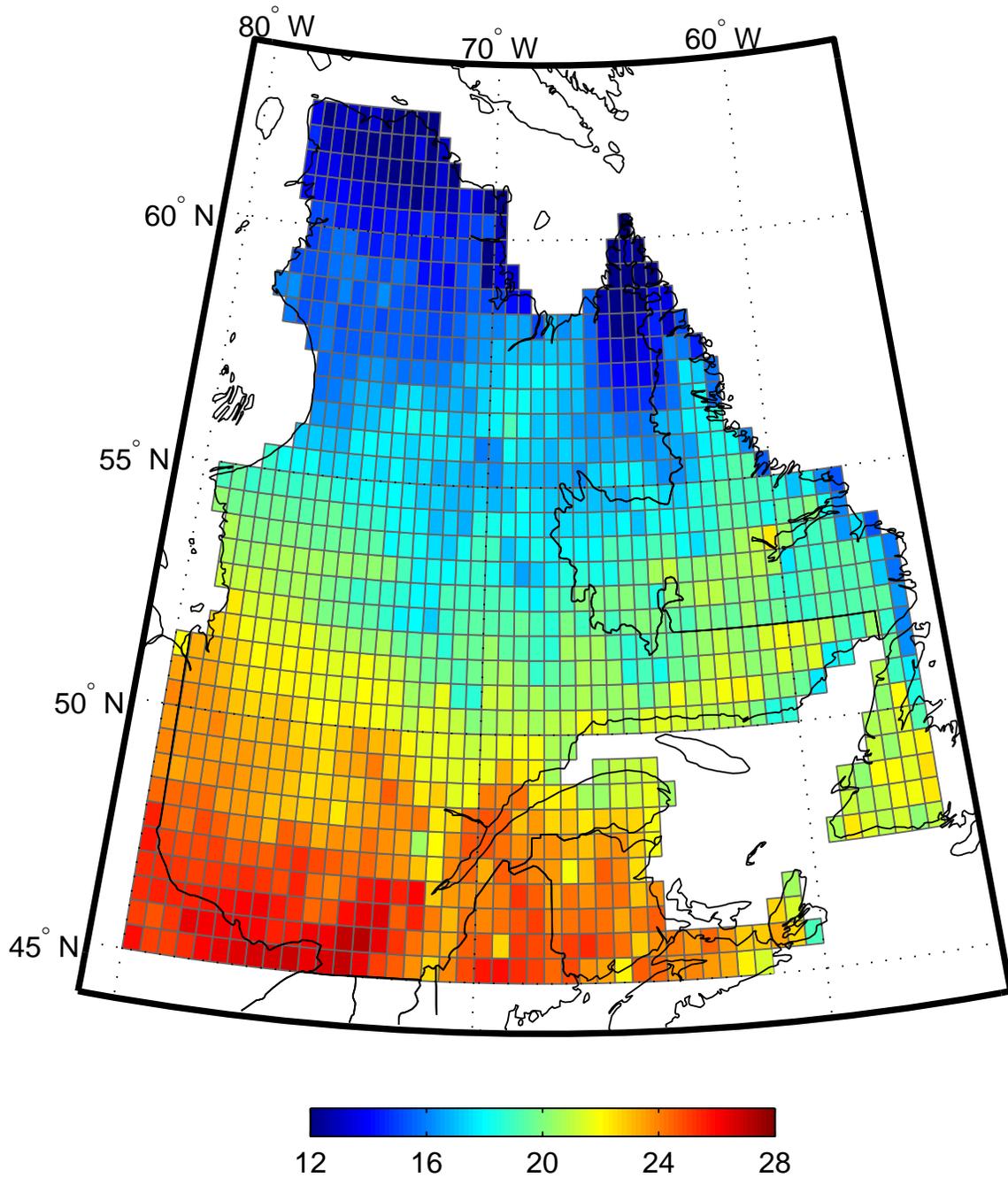
Fig. 80 Lac JAC , 2071-2100 : maximum de contenu en chaleur (normalisé) (Carte 1b)



13/08 18/08 23/08 28/08 02/09 07/09 12/09

Lac JAC, 2071–2100: occurrence du maximum de contenu en chaleur

Fig. 81 Lac JAC , 2071-2100 : occurrence du maximum de contenu en chaleur (Carte 1c)



Lac JAC, 2071–2100: température moyenne, couche 0–5m, période JJA (°C)

Fig. 82 Lac JAC , 2071-2100 : température moyenne de 0 à 5 m pour la période du 01 juin au 31 août (°C) (Carte 2)

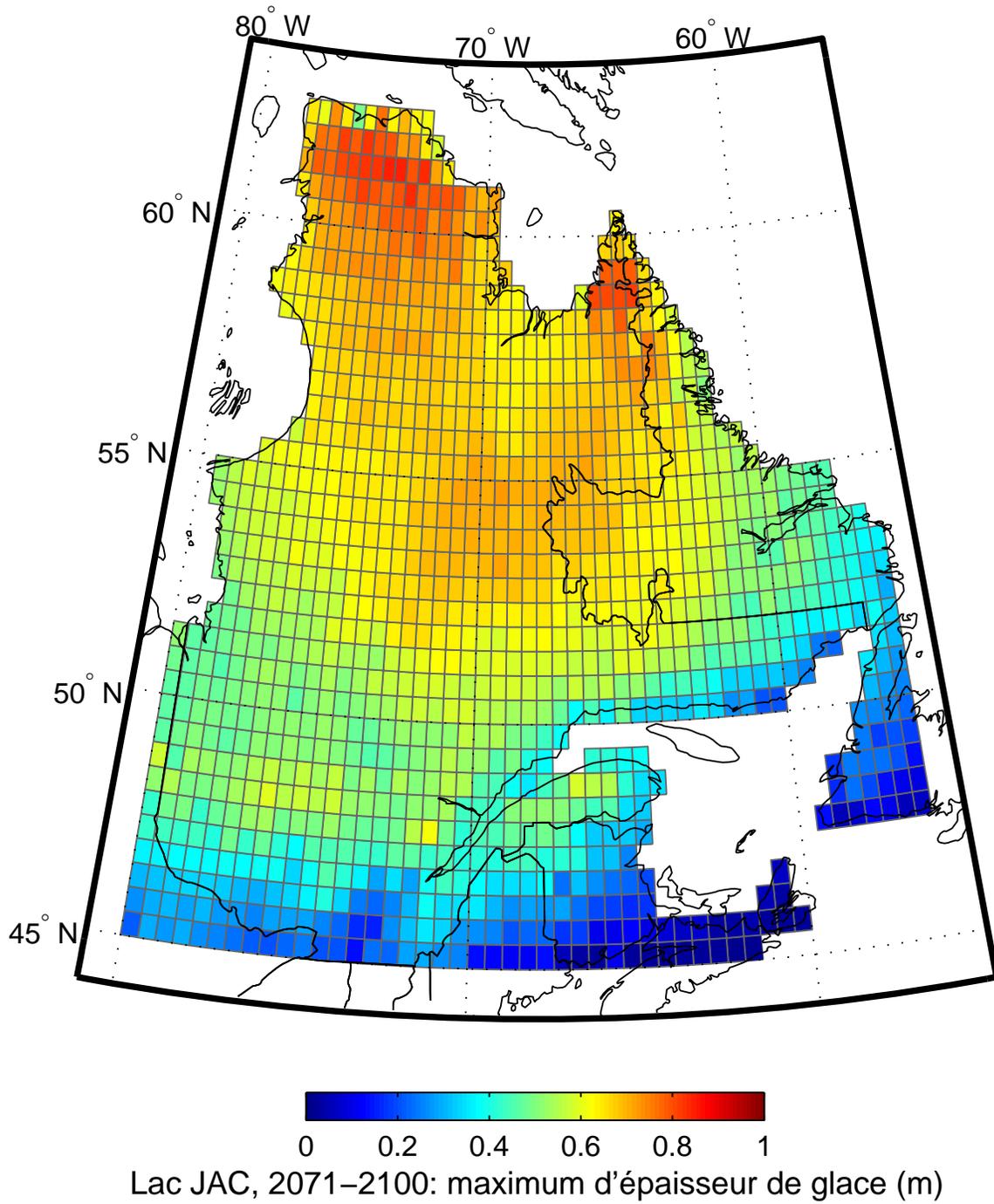


Fig. 83 Lac JAC , 2071-2100 : maximum d'épaisseur de glace (m) (Carte 3a)

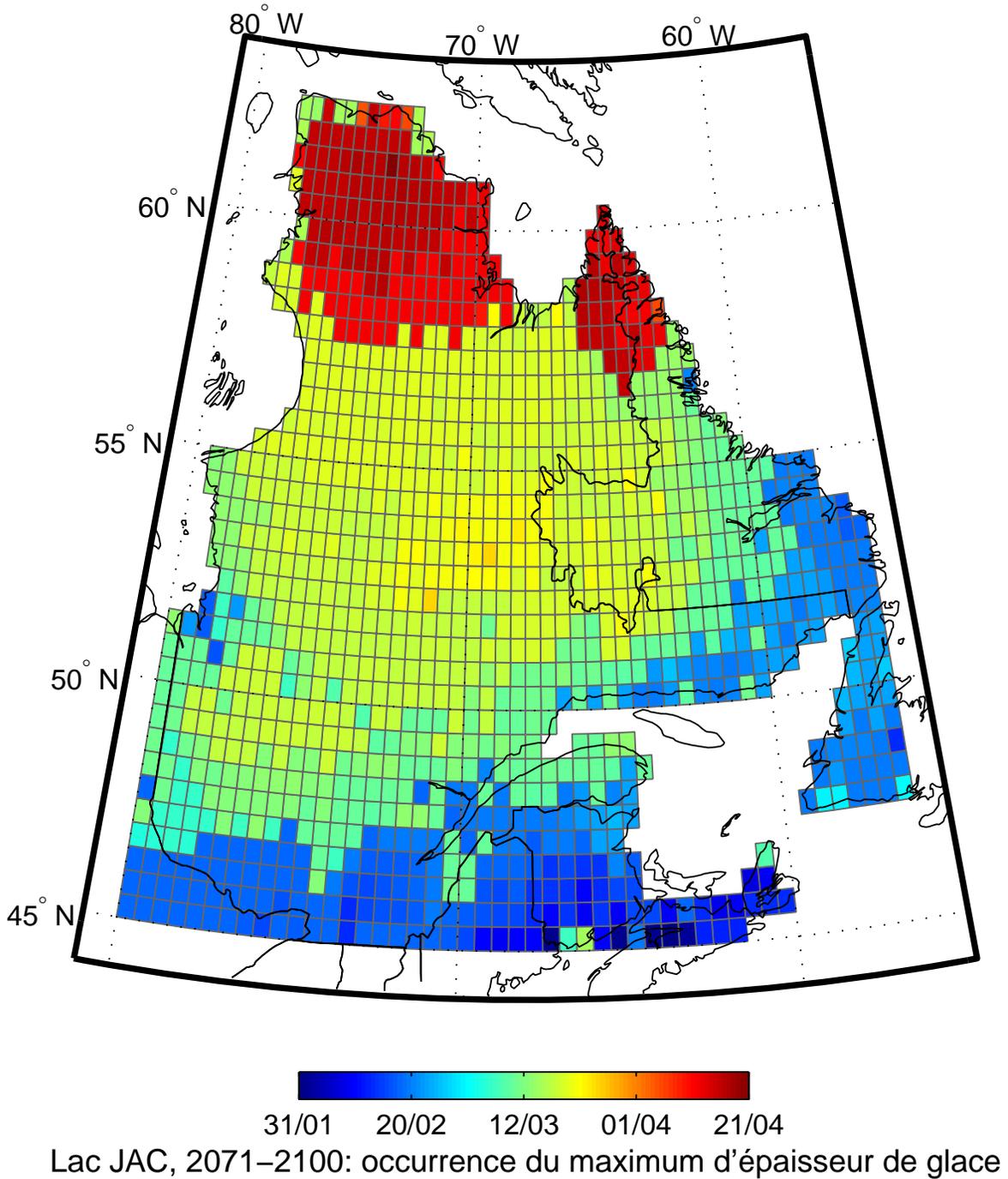


Fig. 84 Lac JAC , 2071-2100 : occurrence du maximum d'épaisseur de glace (Carte 3b)

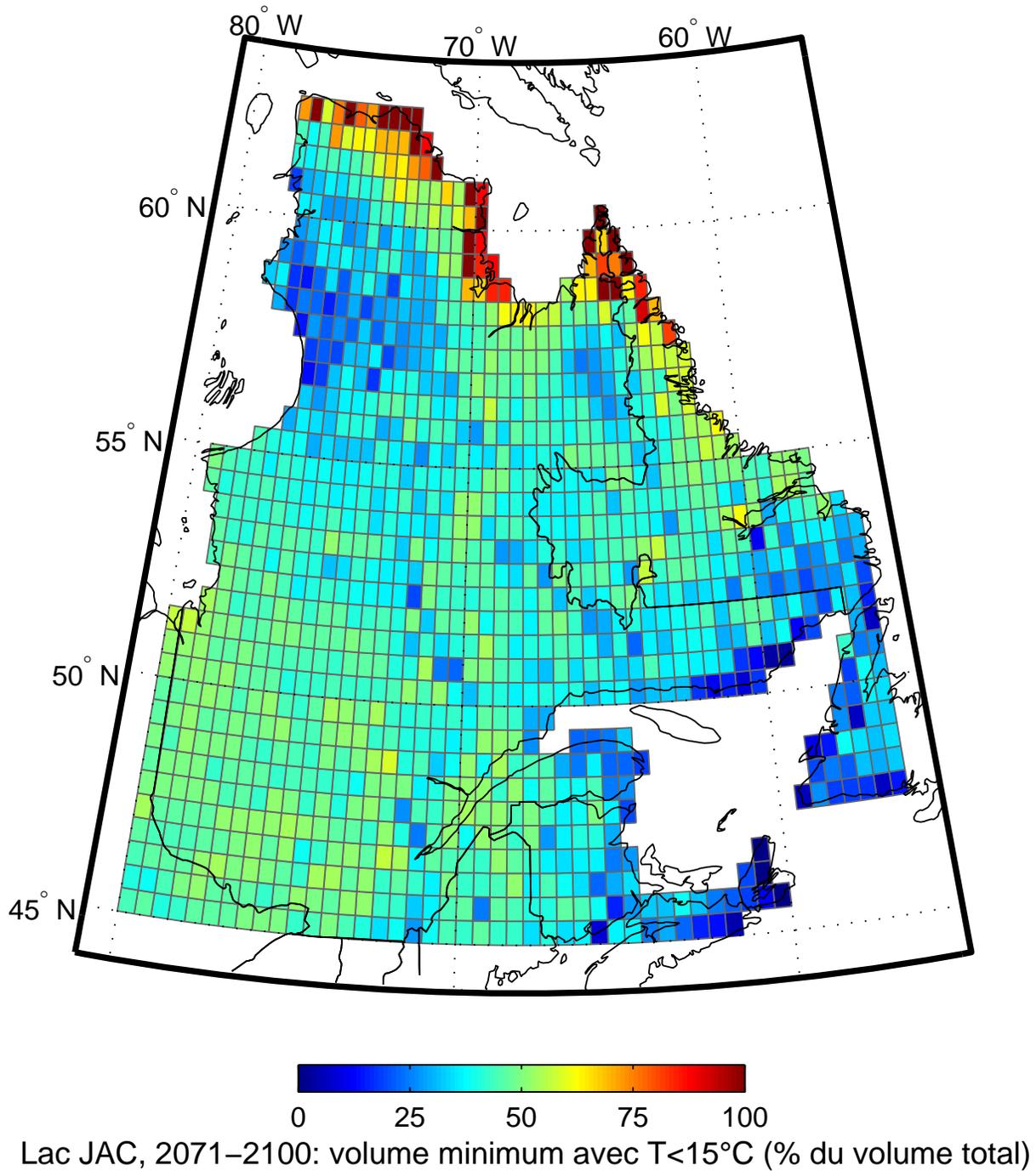
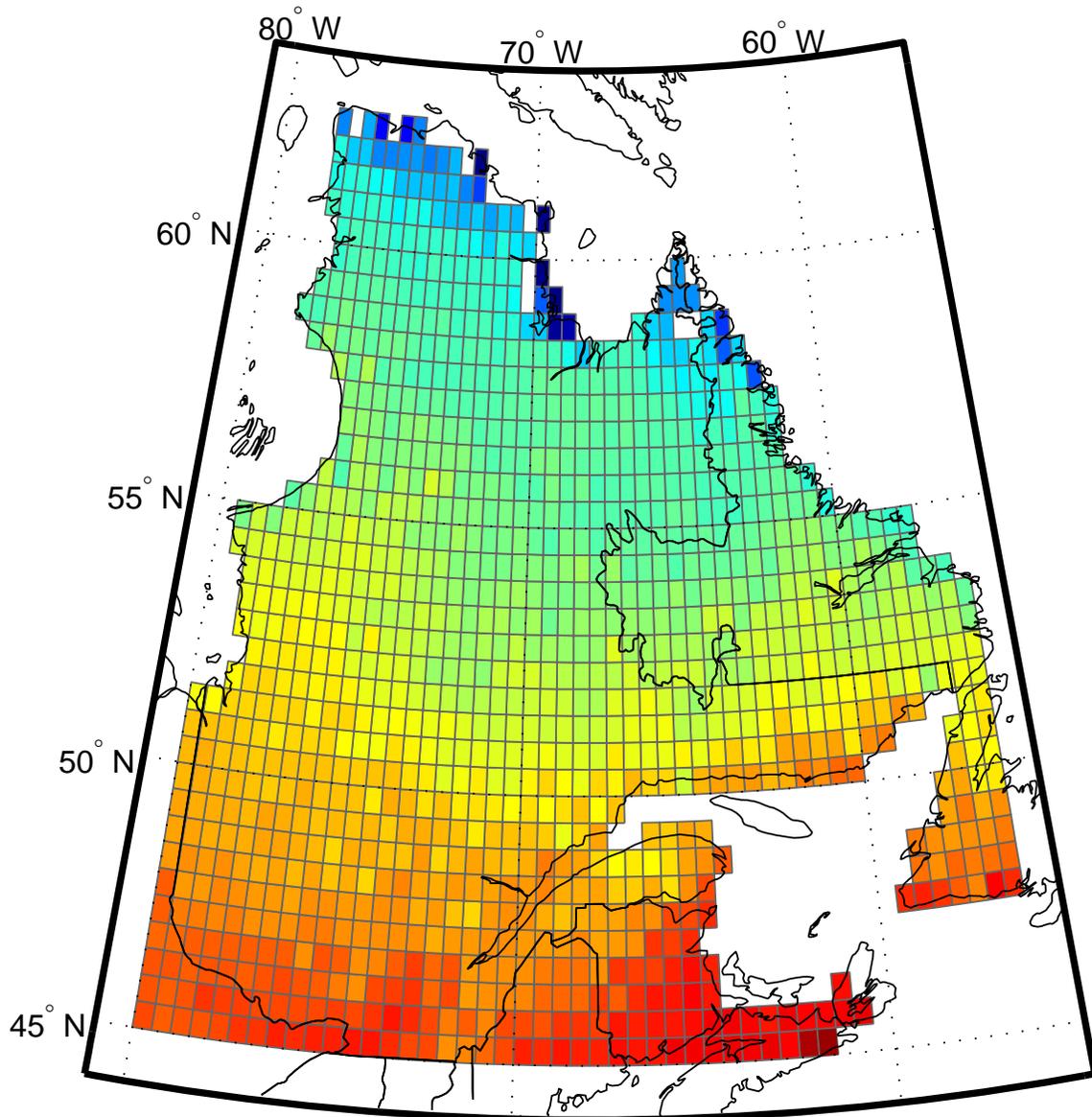


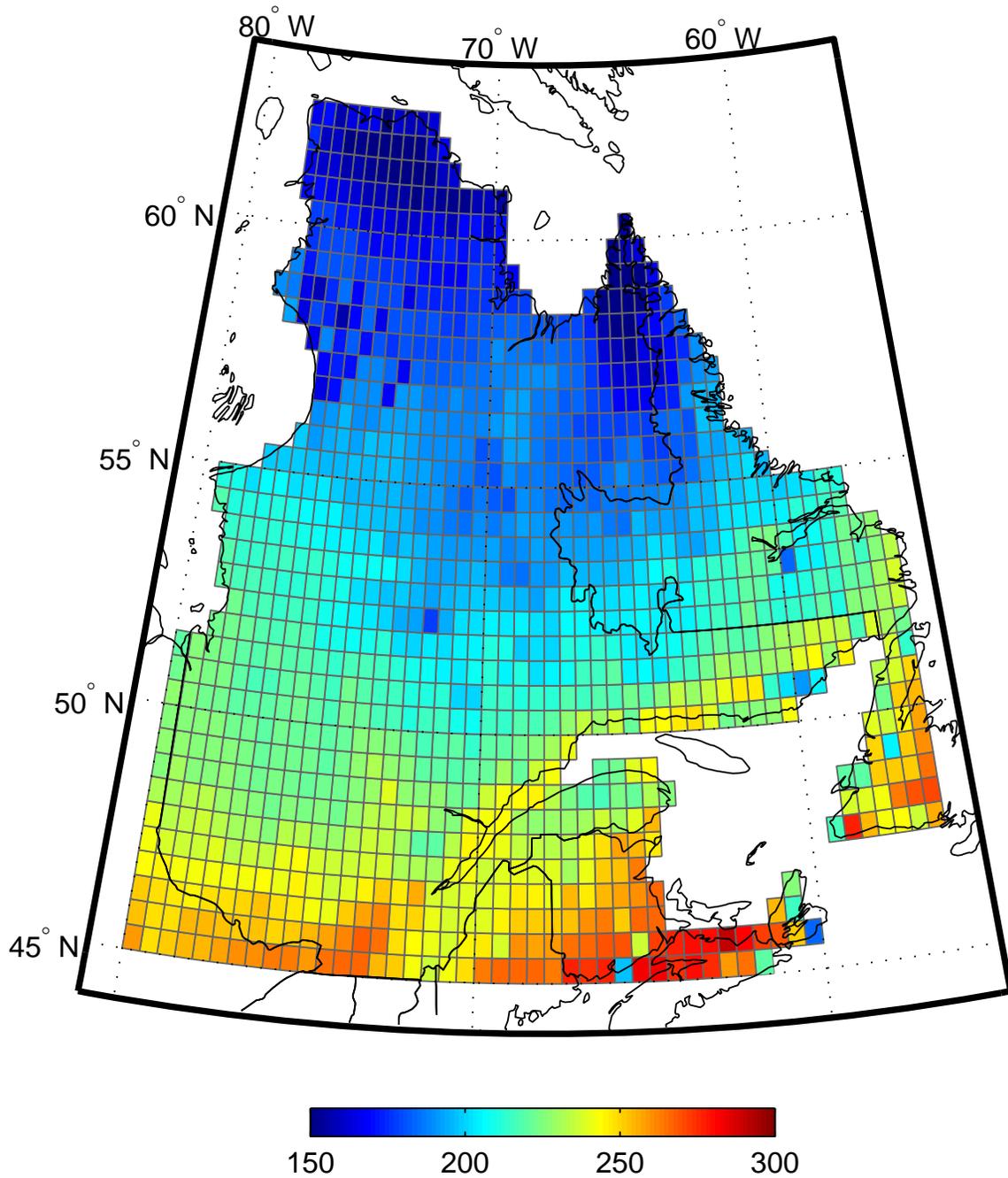
Fig. 85 Lac JAC, 2071-2100 : volume minimum avec $T < 15^{\circ}$ (% du volume total)
(Carte 4a)



14/07 03/08 23/08 12/09 02/10 22/10 11/11

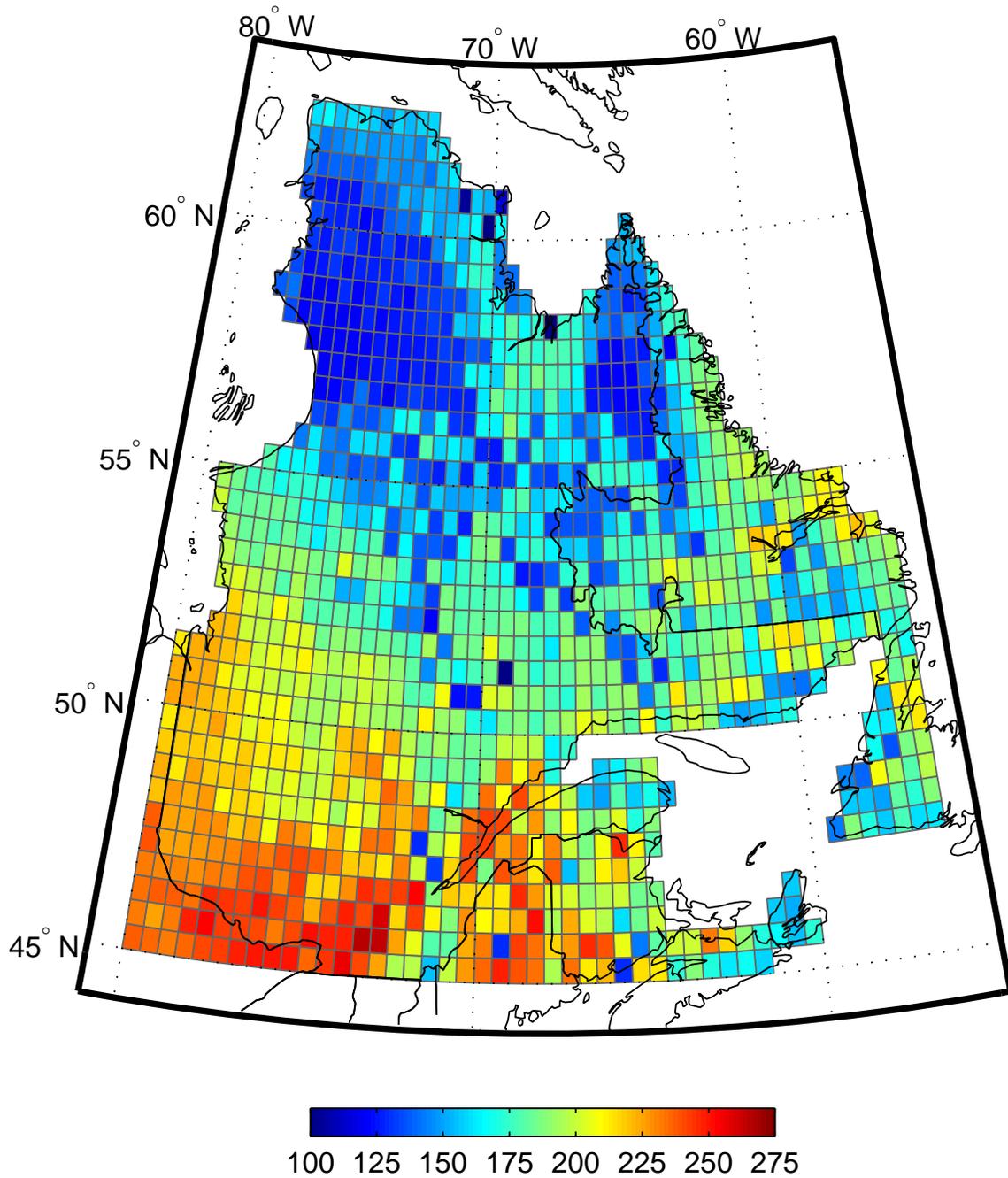
Lac JAC, 2071–2100: occurrence du volume minimum avec $T < 15^\circ\text{C}$
pour les pixels où le volume minimum est inférieur à 100%

Fig. 86 Lac JAC , 2071-2100 : occurrence du volume minimum avec $T < 15^\circ\text{C}$ pour les cas où le volume minimum n'est ni 0 % ni 100 % (Carte 4b)



Lac JAC, 2071–2100: nombre de jours avec au moins 25% du volume avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$

Fig. 87 Lac JAC , 2071-2100 : nombre de jours avec au moins 25 % du volume du lac avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (Carte 7a)



Lac JAC, 2071–2100: nombre de jours avec au moins 50% du volume avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$

Fig. 88 Lac JAC , 2071-2100 : nombre de jours avec au moins 50 % du volume du lac avec $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (Carte 7b)

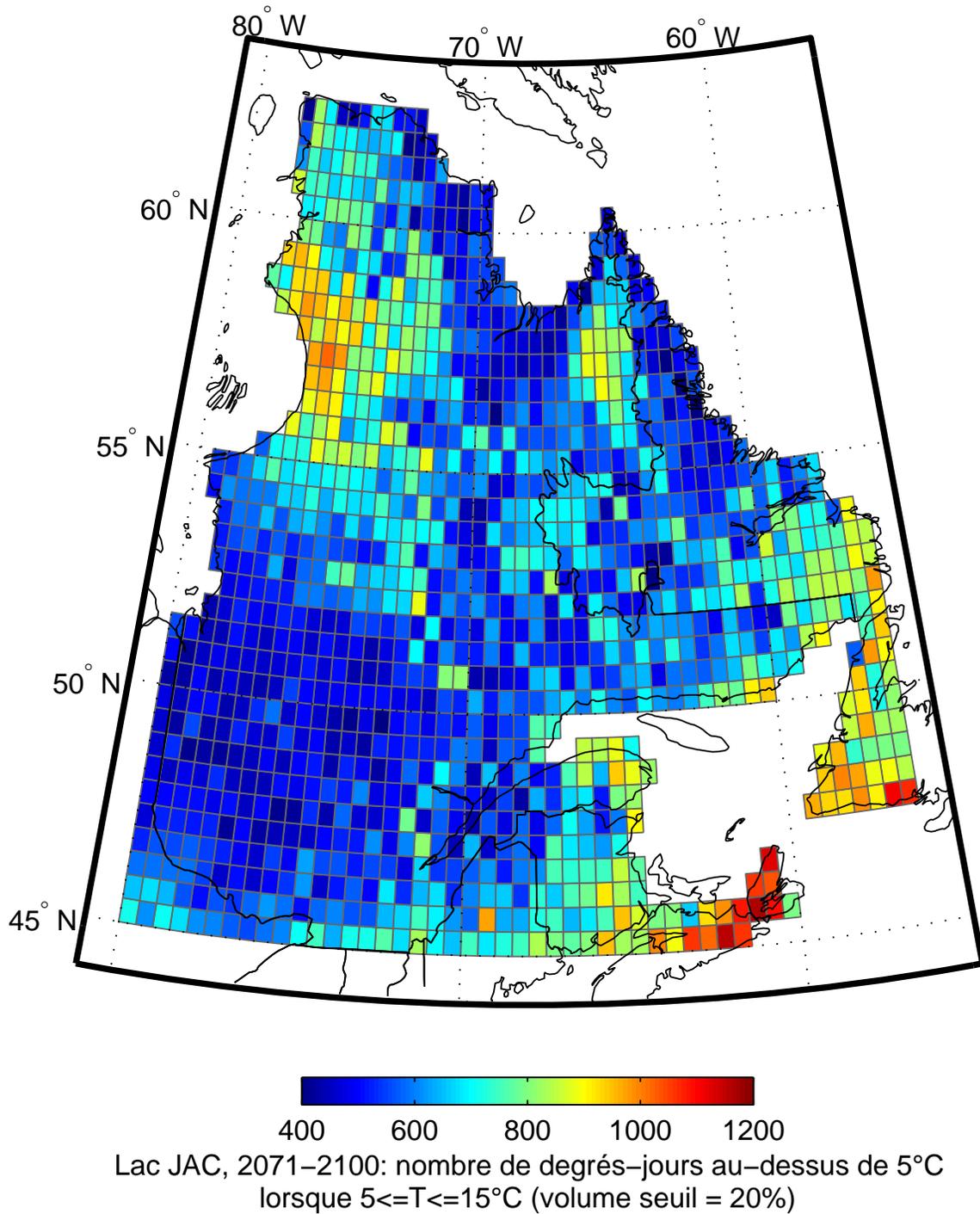


Fig. 89 Lac JAC , 2071-2100 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C lorsque $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (volume seuil pour être considéré dans le calcul : 20 %) (Carte 8a)

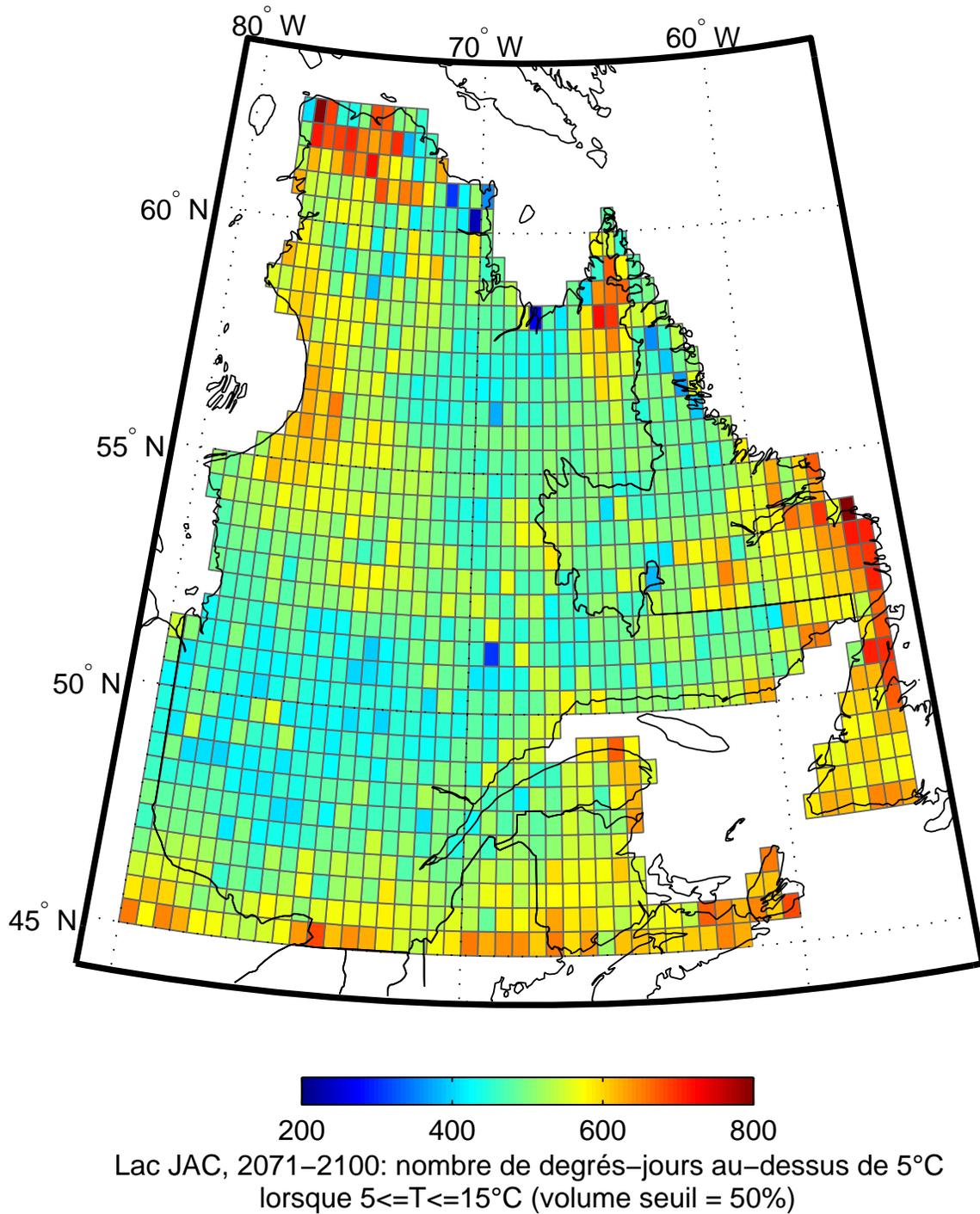
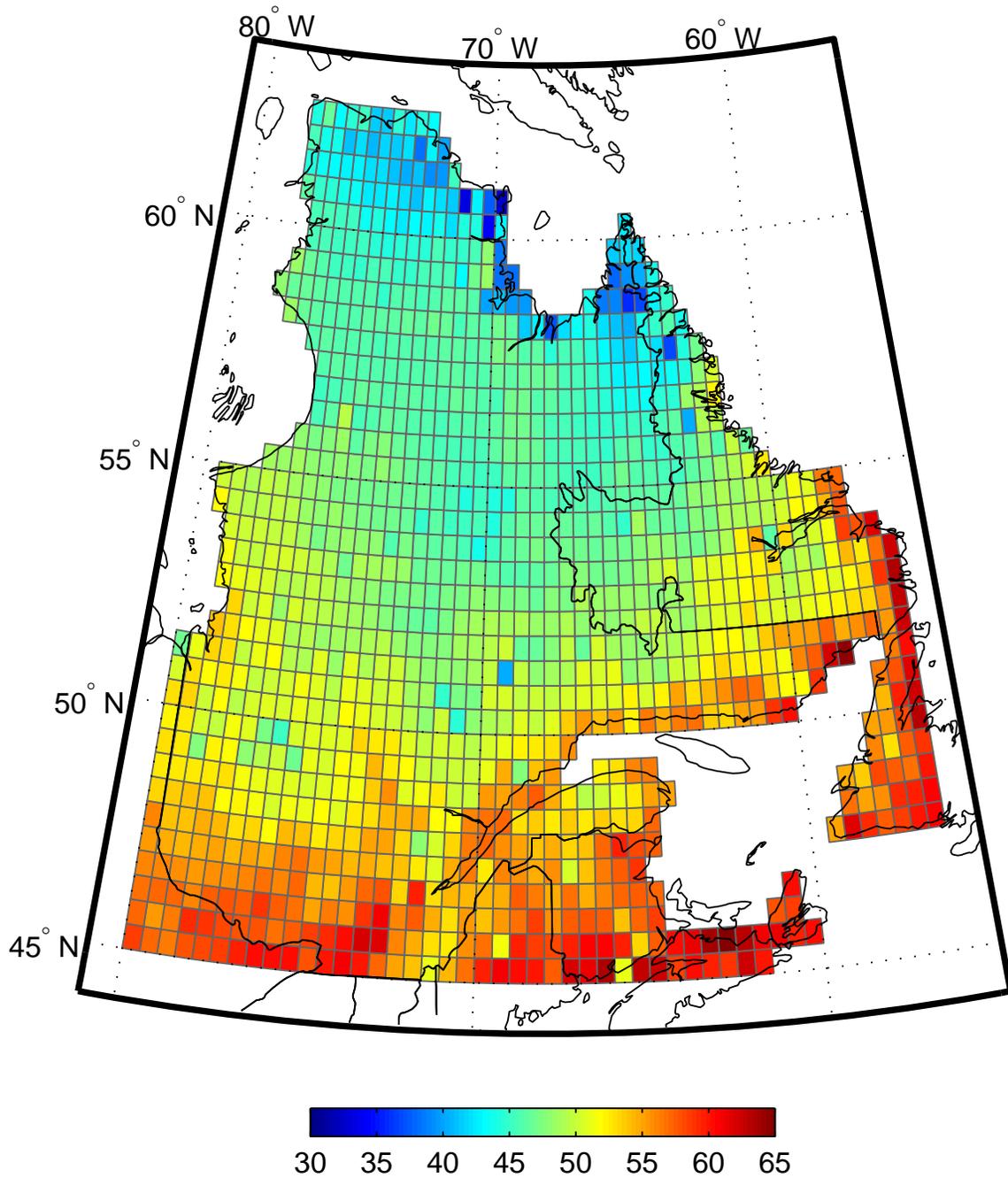
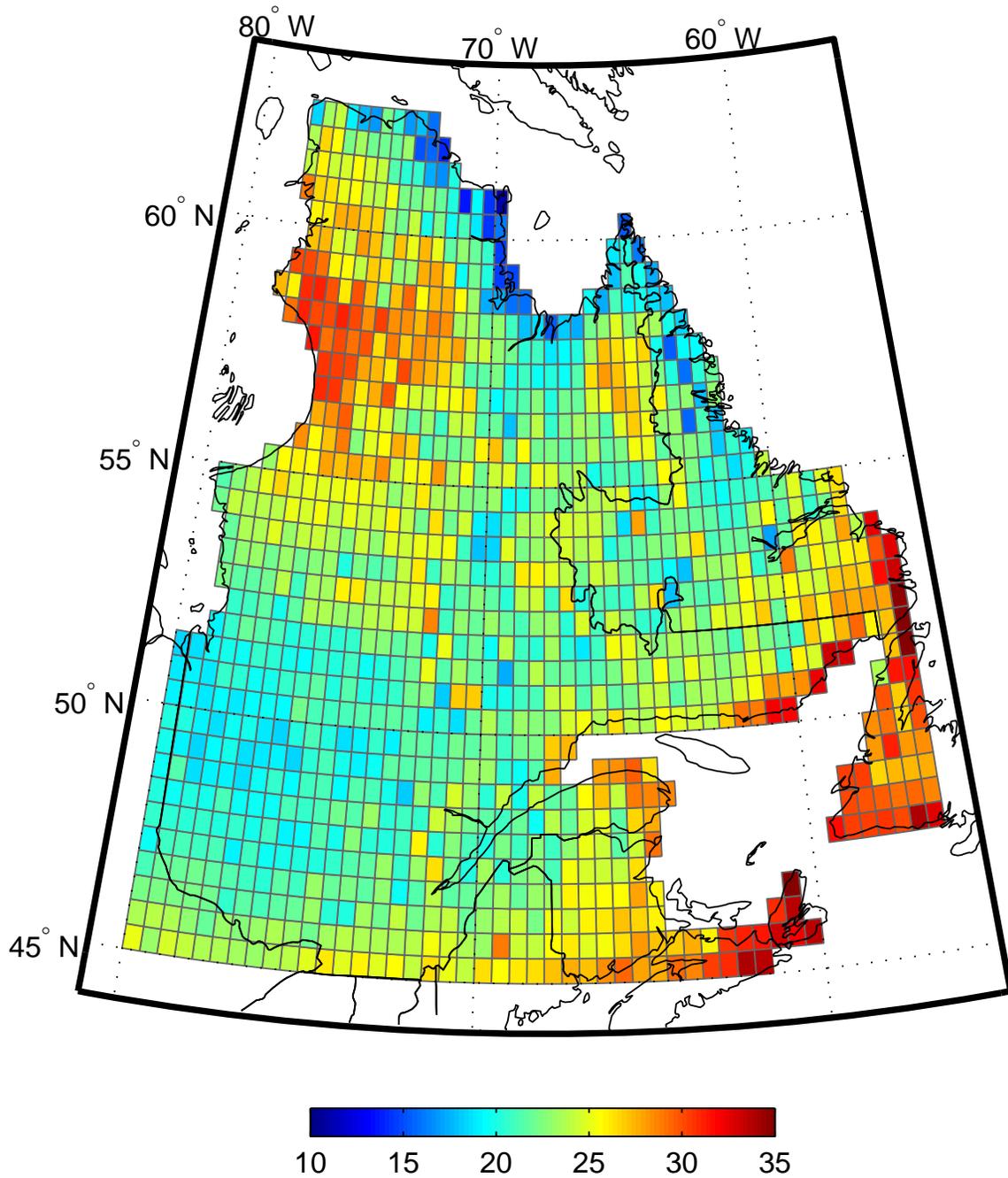


Fig. 90 Lac JAC , 2071-2100 : nombre de degrés-jours au-dessus de 5 °C lorsque $5 \leq T \leq 15^\circ\text{C}$ (volume seuil pour être considéré dans le calcul : 50 %) (Carte 8b)



Lac JAC, 2071–2100: nombre de m^3 -jours avec $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ ($\times 10^9$)
 (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre $T=15^\circ\text{C}$ et $T=20^\circ\text{C}$)

Fig. 91 Lac JAC , 2071-2100 : nombre de m^3 -jours avec $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre 15 et 20°C) ($\times 10^9$) (Carte 9)



Lac JAC, 2071–2100: nombre de m³-degrés-jours au-dessus de 5°C lorsque $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ ($\times 10^{10}$) (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre $T=15^\circ\text{C}$ et $T=20^\circ\text{C}$)

Fig. 92 Lac JAC , 2071-2100 : nombre de m³-degrés-jours au-dessus de 5 °C lorsque $5 \leq T \leq 20^\circ\text{C}$ (avec coefficient décroissant de 1 à 0 entre 15 et 20 °C) ($\times 10^{10}$) (Carte 10)

10.0 Cartes de changement entre le passé et le futur : exemples

Fig. 93 Lac STW : augmentation du contenu en chaleur maximum entre 1981-2010 et 2041-2070 (%)

Fig. 94 Lac STW : augmentation du contenu en chaleur maximum entre 1981-2010 et 2071-2100 (%)

Fig. 95 Lac JAC : augmentation du contenu en chaleur maximum entre 1981-2010 et 2041-2070 (%)

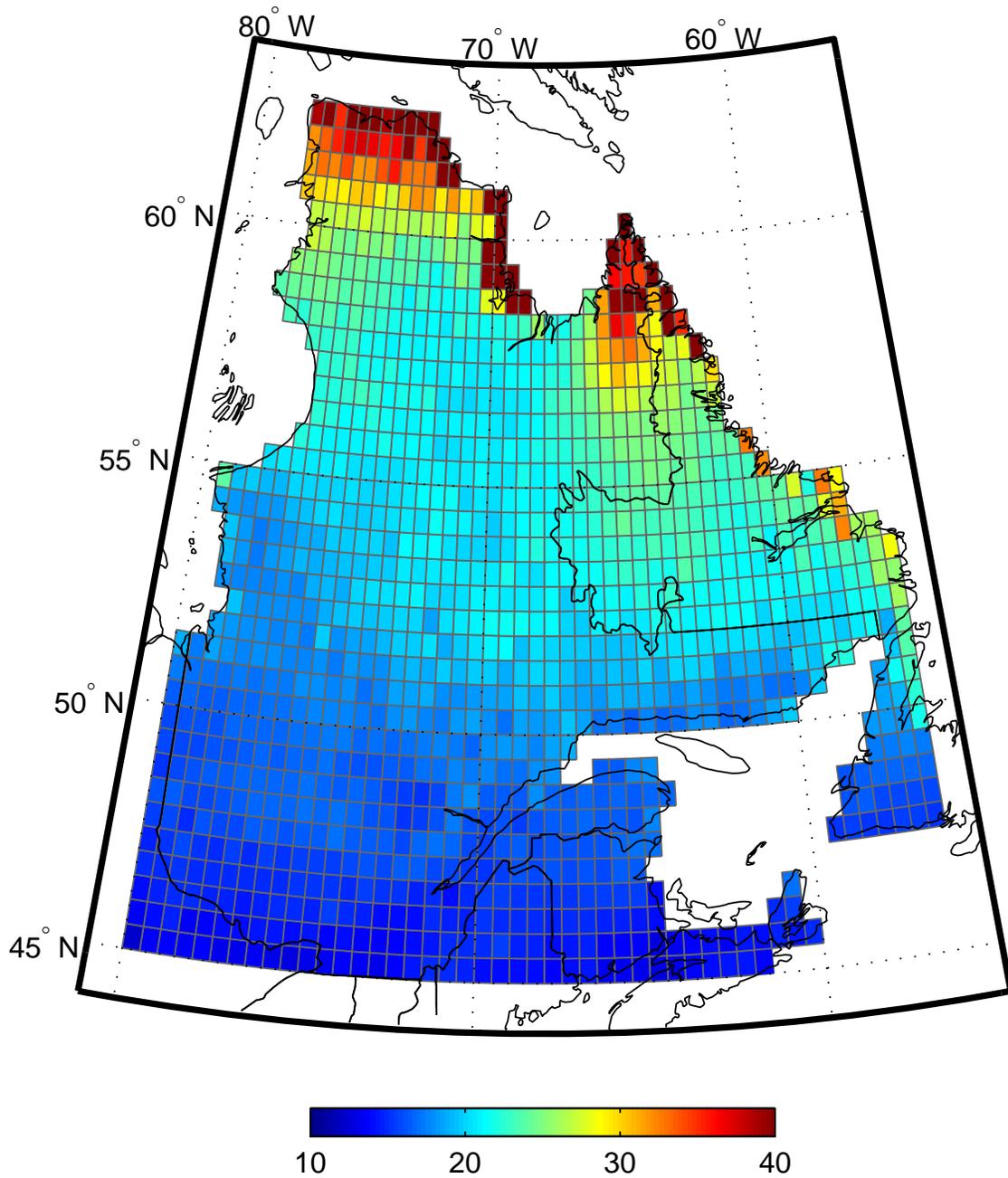
Fig. 96 Lac JAC : augmentation du contenu en chaleur maximum entre 1981-2010 et 2071-2100 (%)

Fig. 97 Lac STW : augmentation de la température moyenne de 0 à 5 m pour la période du 01 juin au 31 août entre 1981-2010 et 2041-2070 (°C)

Fig. 98 Lac STW : augmentation de la température moyenne de 0 à 5 m pour la période du 01 juin au 31 août entre 1981-2010 et 2071-2100 (°C)

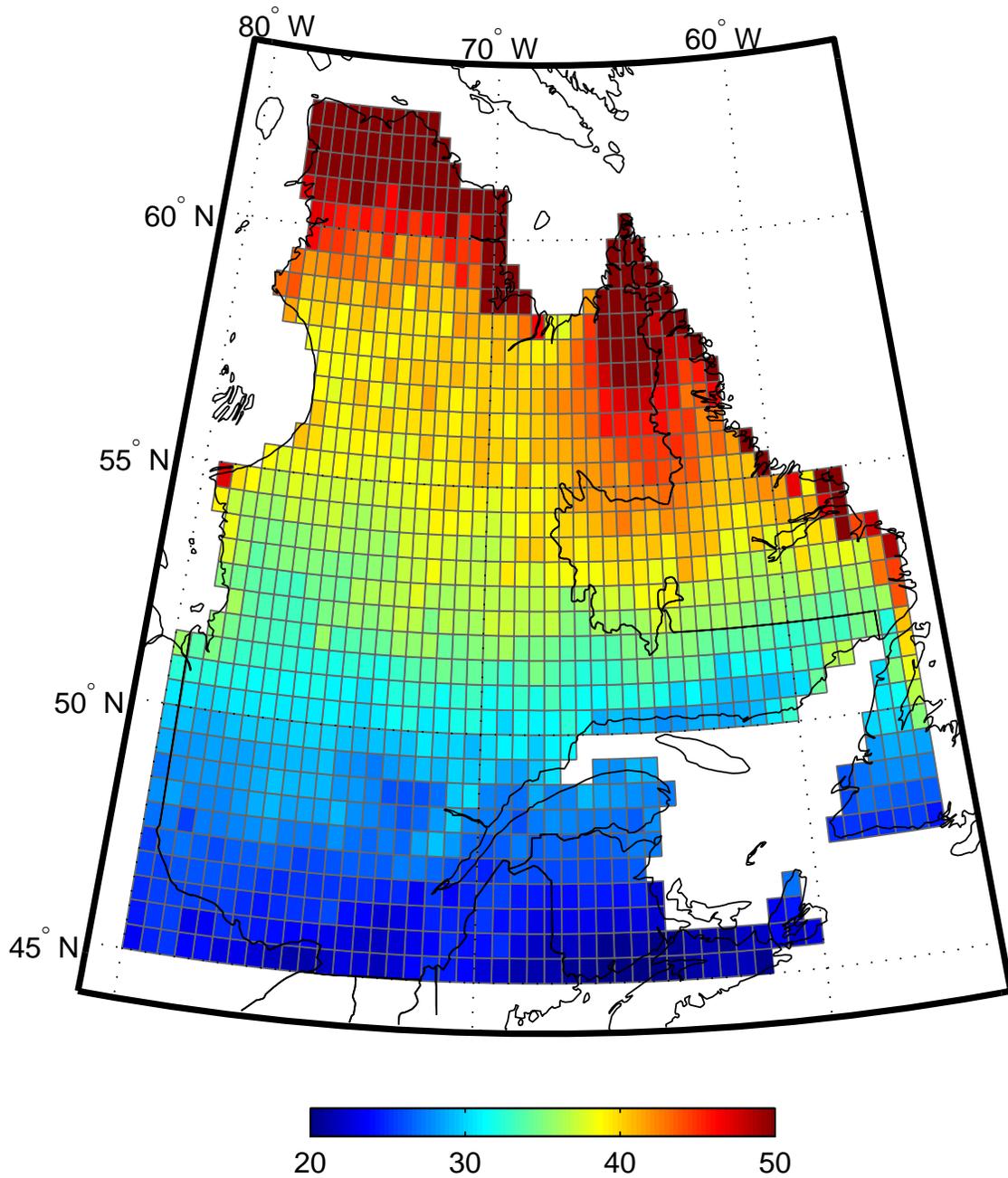
Fig. 99 Lac JAC : augmentation de la température moyenne de 0 à 5 m pour la période du 01 juin au 31 août entre 1981-2010 et 2041-2070 (°C)

Fig. 100 Lac JAC : augmentation de la température moyenne de 0 à 5 m pour la période du 01 juin au 31 août entre 1981-2010 et 2071-2100 (°C)



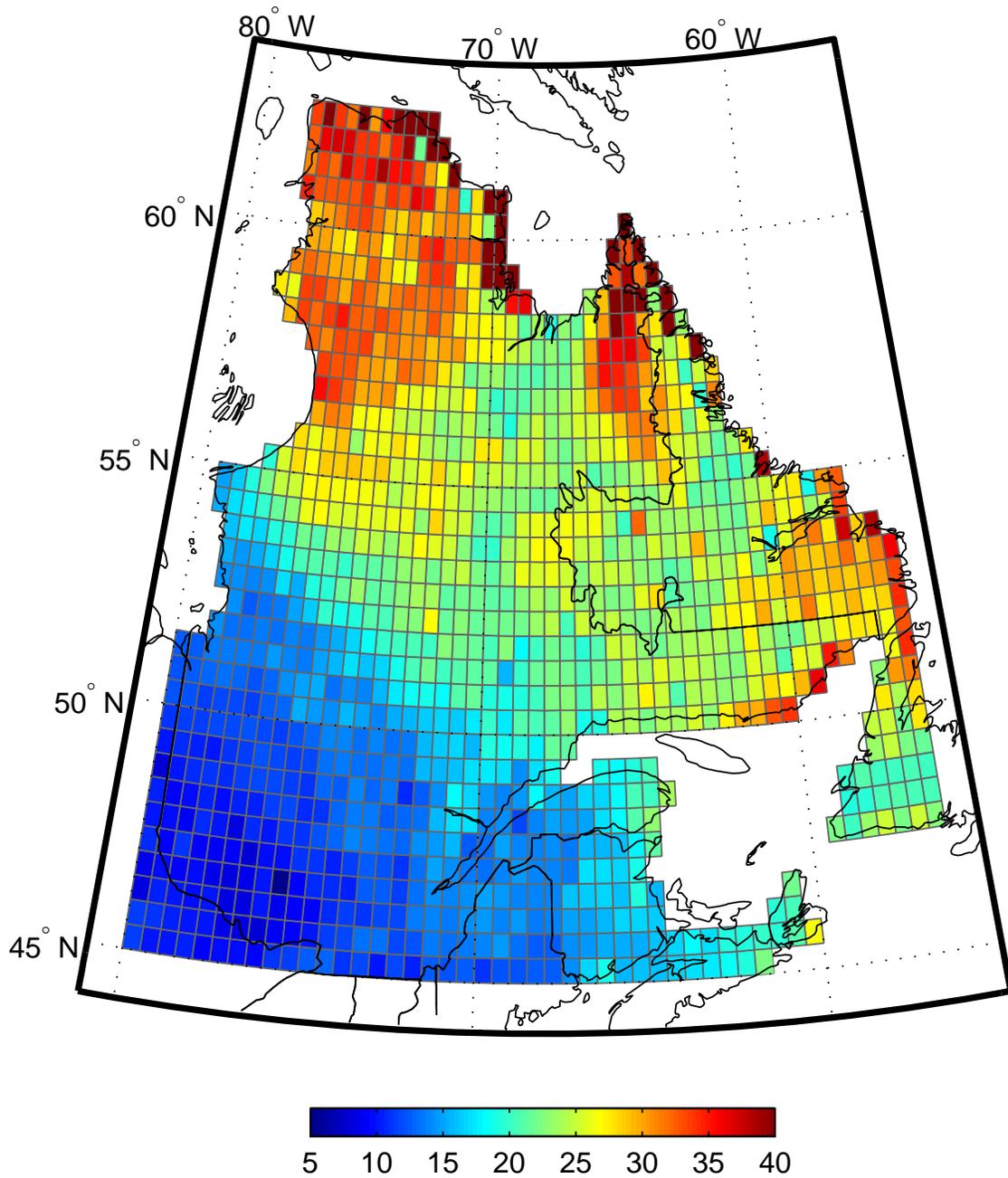
Lac STW, aug. du contenu en chaleur maximum entre 1981–2010 et 2041–2070 (%)

Fig. 93 Lac STW : augmentation du contenu en chaleur maximum entre 1981-2010 et 2041-2070 (%)



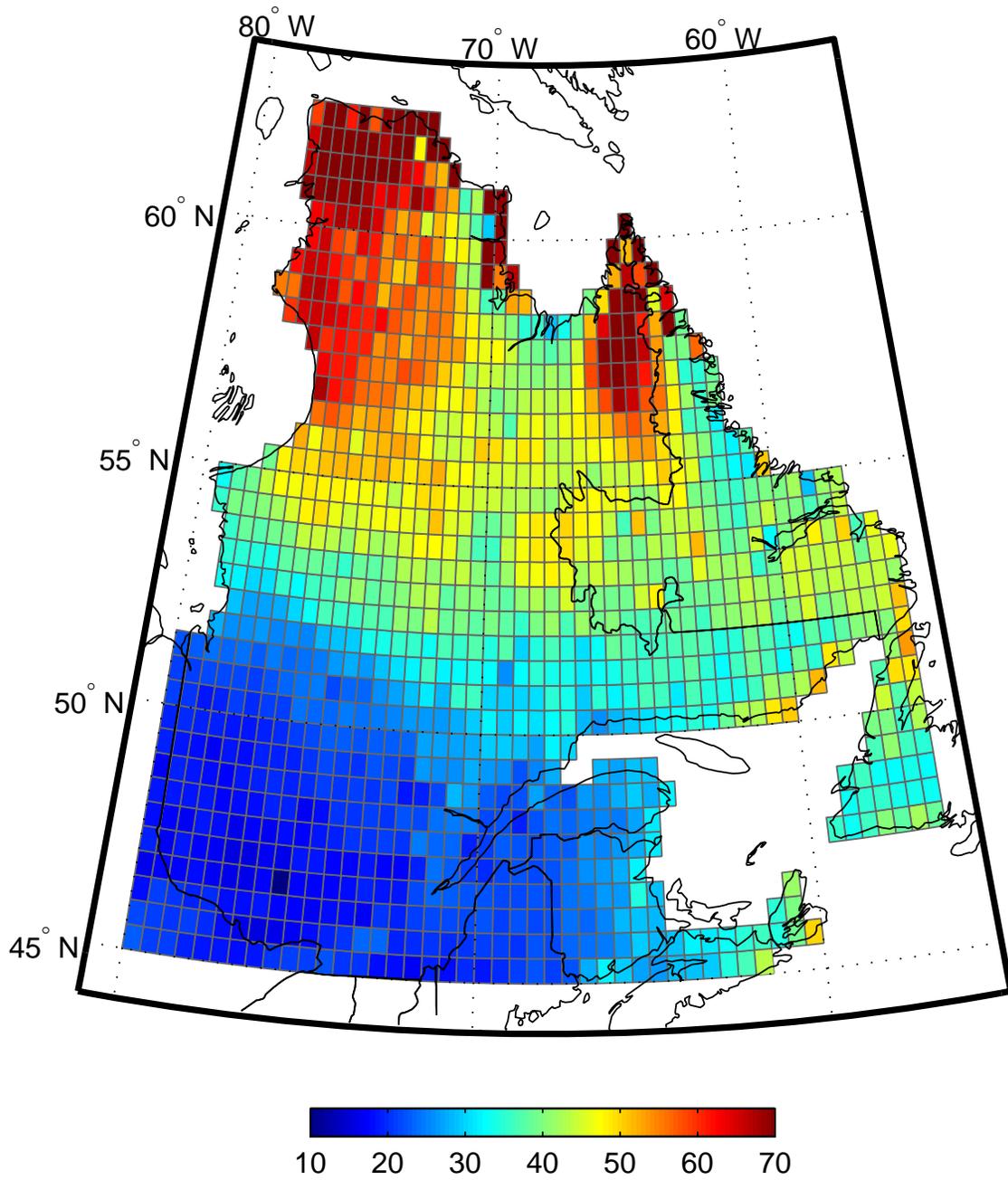
Lac STW, aug. du contenu en chaleur maximum entre 1981–2010 et 2071–2100 (%)

Fig. 94 Lac STW : augmentation du contenu en chaleur maximum entre 1981-2010 et 2071-2100 (%)



Lac JAC, aug. du contenu en chaleur maximum entre 1981–2010 et 2041–2070 (%)

Fig. 95 Lac JAC : augmentation du contenu en chaleur maximum entre 1981-2010 et 2041-2070 (%)



Lac JAC, aug. du contenu en chaleur maximum entre 1981-2010 et 2071-2100 (%)

Fig. 96 Lac JAC : augmentation du contenu en chaleur maximum entre 1981-2010 et 2071-2100 (%)

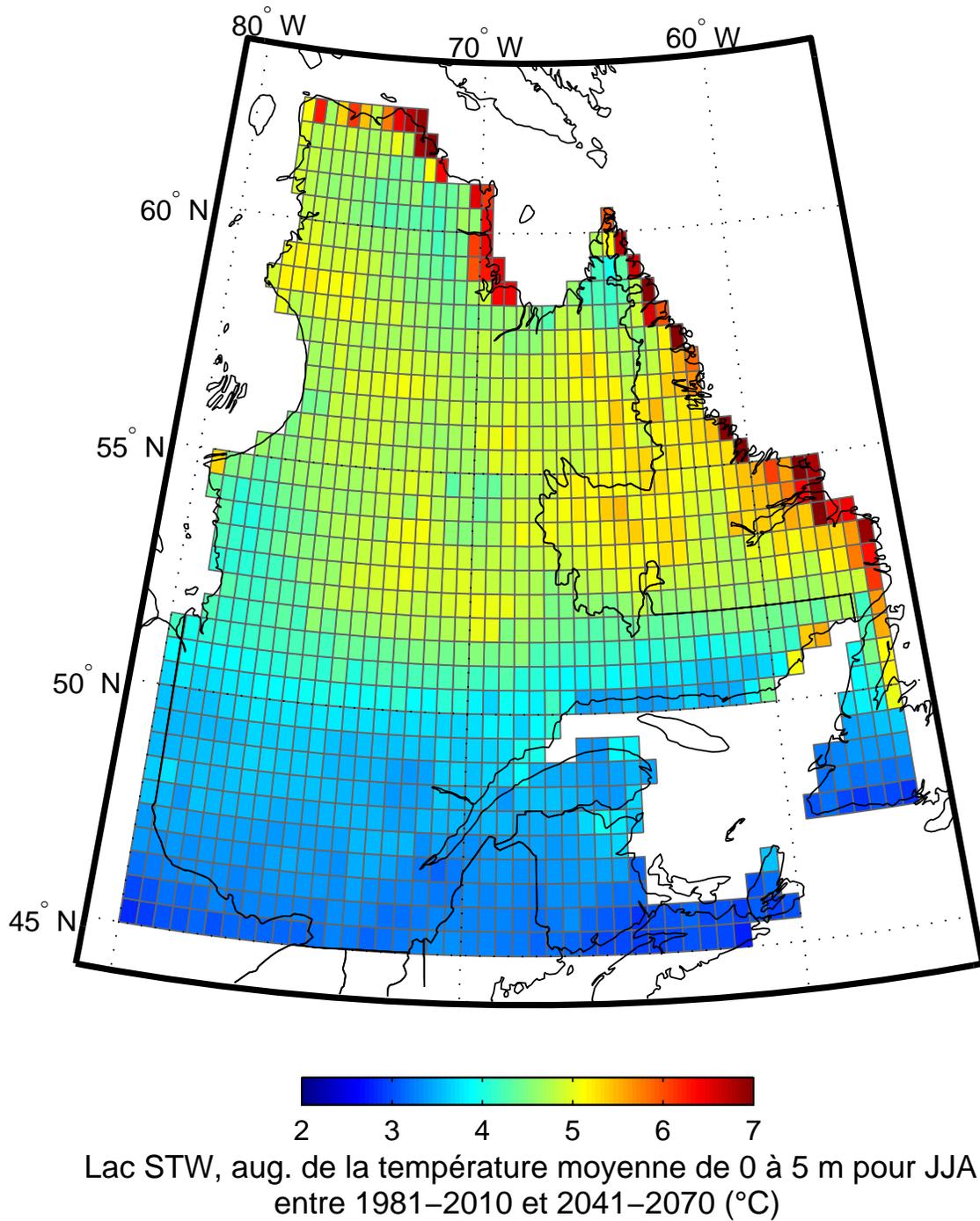


Fig. 97 Lac STW : augmentation de la température moyenne de 0 à 5 m pour la période du 01 juin au 31 août entre 1981-2010 et 2041-2070 (°C)

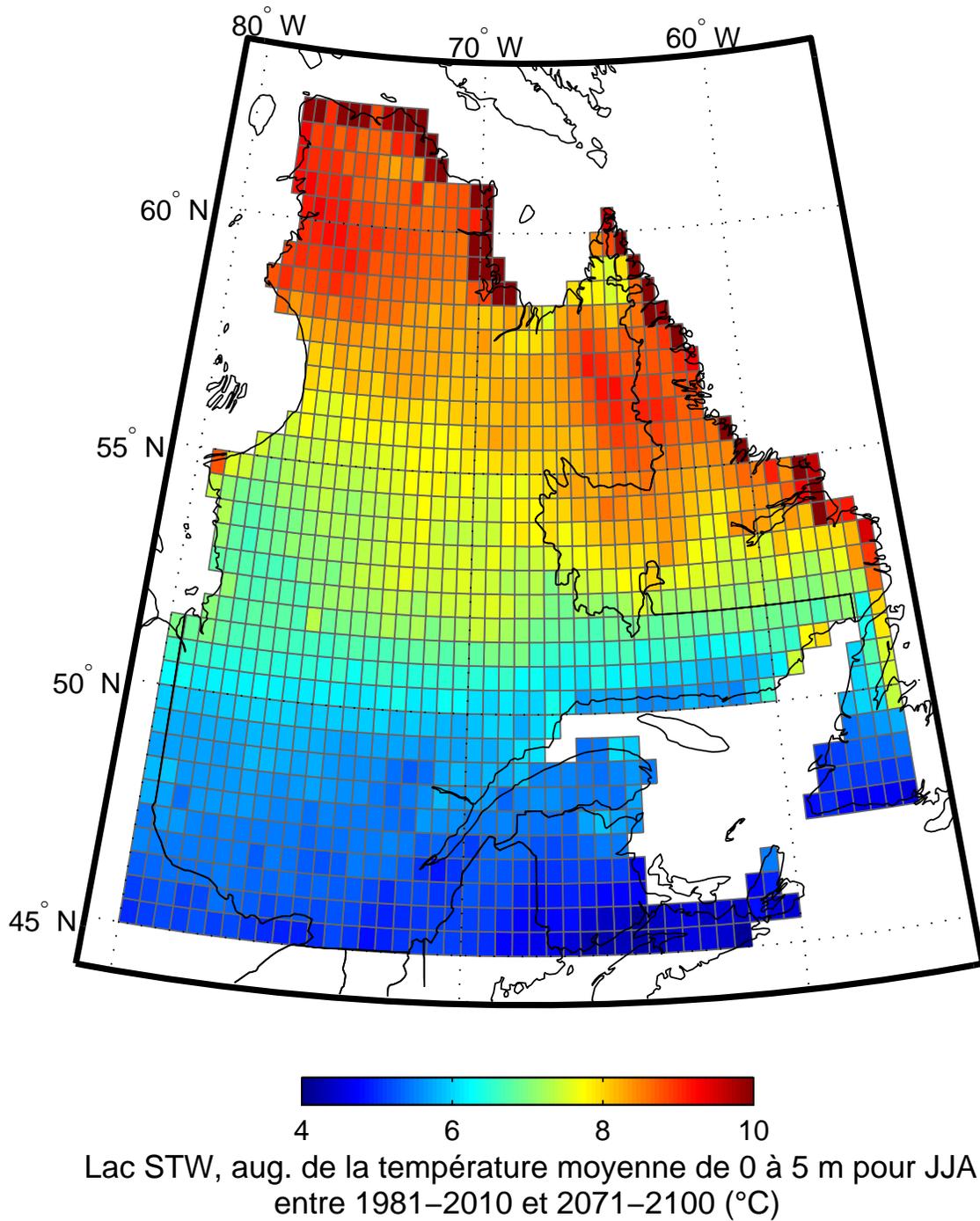


Fig. 98 Lac STW : augmentation de la température moyenne de 0 à 5 m pour la période du 01 juin au 31 août entre 1981-2010 et 2071-2100 (°C)

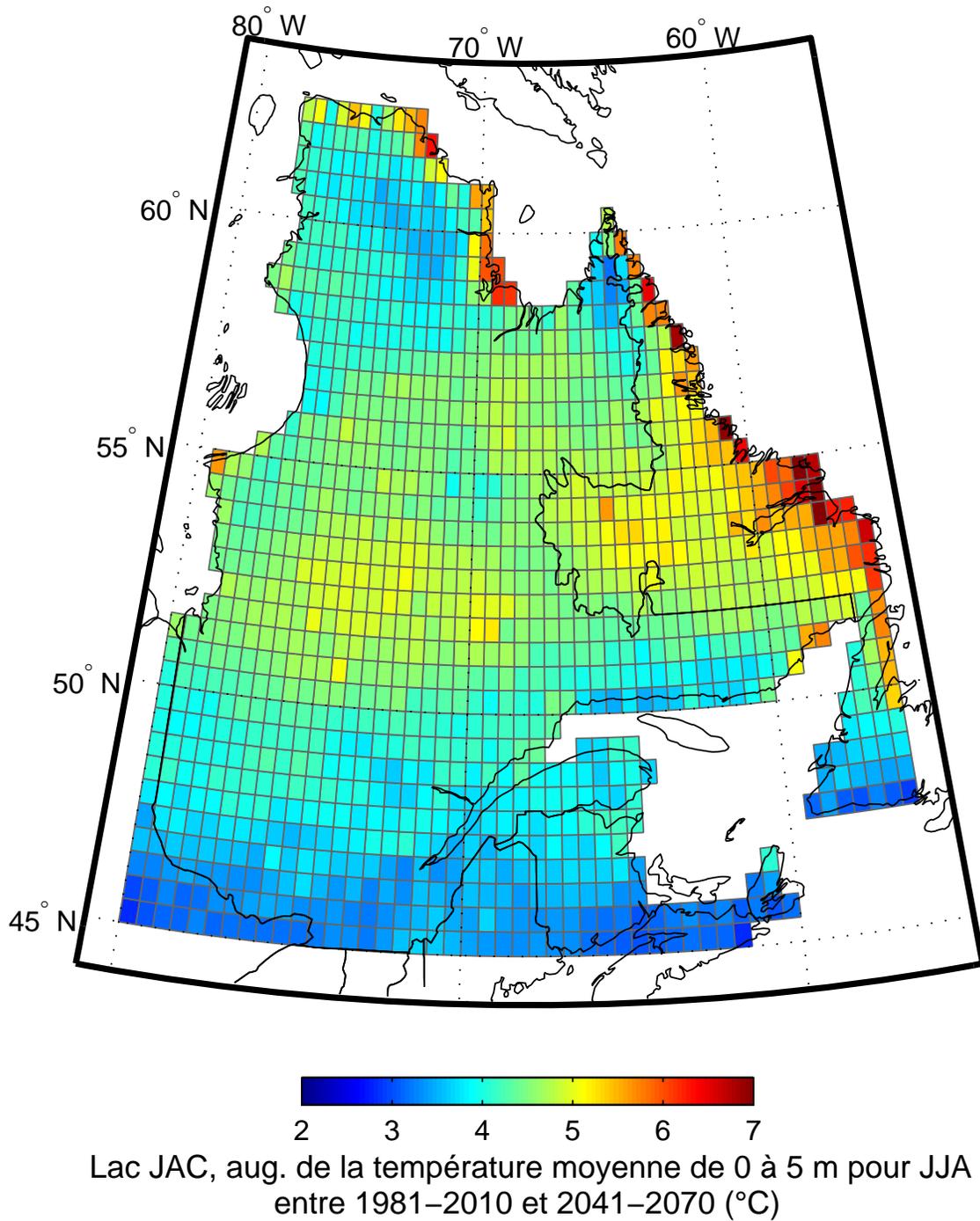


Fig. 99 Lac JAC : augmentation de la température moyenne de 0 à 5 m pour la période du 01 juin au 31 août entre 1981-2010 et 2041-2070 (°C)

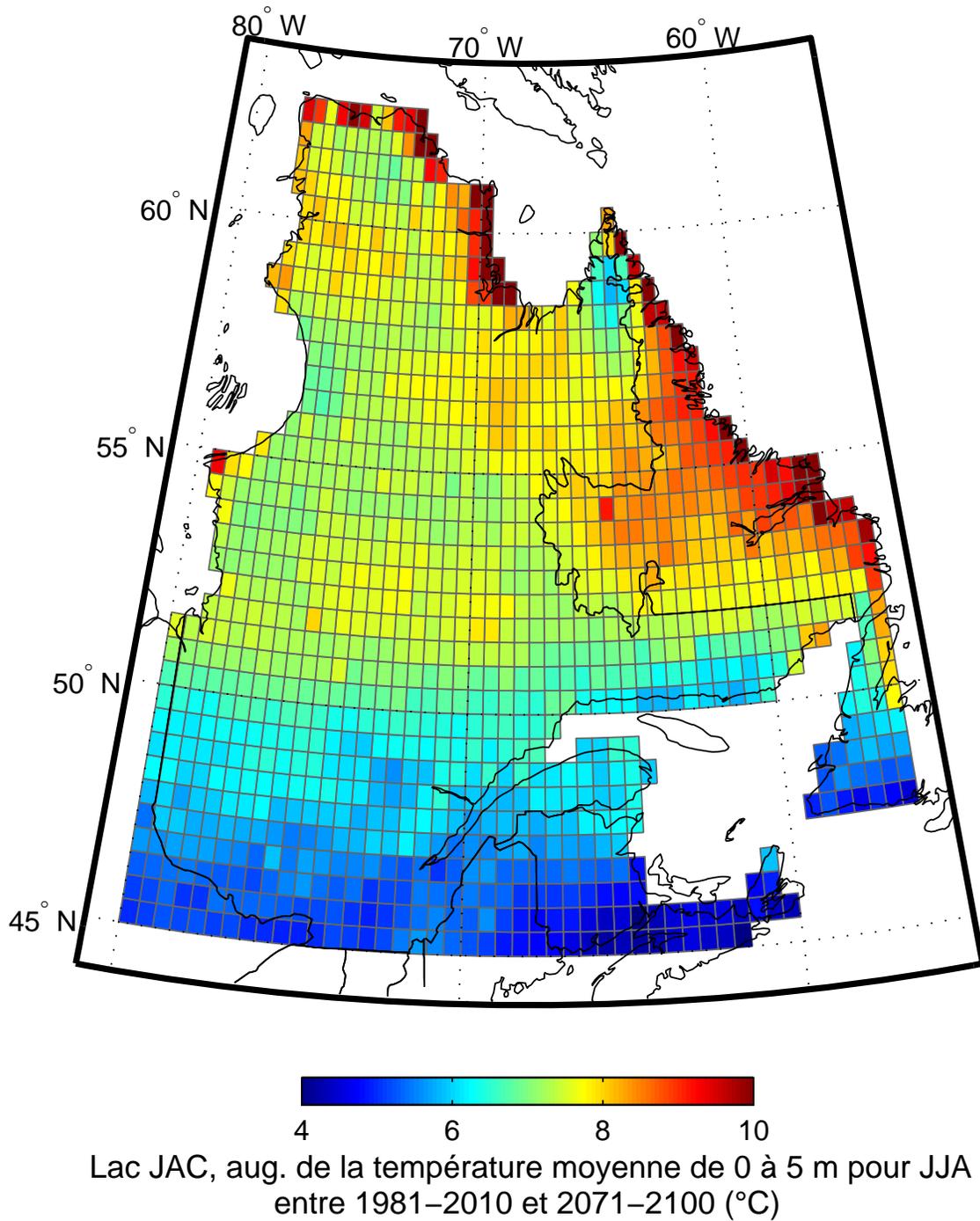


Fig. 100 Lac JAC : augmentation de la température moyenne de 0 à 5 m pour la période du 01 juin au 31 août entre 1981-2010 et 2071-2100 (°C)

Références

- Bélanger C., Huard D., Gratton Y., Jeong D.I., St-Hilaire A., Auclair J.-C., Laurion I. (2013). Impact des changements climatiques sur l'habitat des salmonidés dans les lacs nordiques du Québec. Rapport INRS-ETE, Québec, 167 pp.
http://www.ouranos.ca/media/publication/206_RapportBelangeretal2013.pdf
- Mesinger F., DiMego G., Kalnay E., Mitchell K., Shafran P.C., Ebisuzaki W., Jović D., Woollen J., Rogers E., Berbery E.H., Ek M.B., Fan Y., Grumbine R., Higgins W., Li H., Lin Y., Manikin G., Parrish D., Shi W. (2006). North American Regional Reanalysis. *B. Am. Meteorol. Soc.*, DOI:10.1175/BAMS-87-3-343.
- Huard D., Chaumont D., Logan T., Sottile M.-F., Brown R.D., Gauvin St-Denis B., Grenier P., Braun M. (2014). A decade of climate scenarios – The Ouranos Consortium modus operandi. *B. Am. Meteorol. Soc.*, I:10.1175/BAMS-D-12-00163.1.
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Logan, T. (2016). Fourniture de données – Projet Habitats des salmonidés. Ouranos, 9pp.
- Plumb J.M. and Blanchfield P.J. (2009). Performance of temperature and dissolved oxygen criteria to predict habitat use by lake trout (*Salvelinus namaycush*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 66: 2011-2023.
- Saloranta T.M. and Andersen T. (2004). MyLake (v.1.1): Technical model documentation and user's guide for version 1.1. NIVA, report SNO 4838.
- Saloranta, T.M. and Andersen T. (2005). MyLake (v.1.2): Technical model documentation and user's guide for version 1.2. NIVA, unpublished report.
- Saloranta T.M. and Andersen T. (2007). MyLake – a multi-year lake simulation model suitable for uncertainty and sensitivity analysis simulations. *Ecol. Model.* 207: 45-60.

Annexe 1

Étapes pour simuler les températures climatologiques passées (1981-2010) dans un lac donné à une ou quelques position(s) sur le territoire québécois

A1-1) Choix du lac et des positions où il sera placé

Sélectionner le lac et les positions désirées.

Obtenir le fichier de paramètres (.xls) pour le lac choisi, et un fichier de conditions initiales (.prn : fichier texte, séparateur : espace).

A1-2) Simulations des températures de l'eau et épaisseurs de glace et de neige à l'aide de MyLake

Utilise `run_MyLake_ntimes.m`.

Le script `run_MyLake_ntimes.m` appelle `solve_model_v12_2016.m` qui appelle (entre autres) `modelinputs_v12_2016.m`.

Il faut fournir les informations nécessaires au début du script (nom des fichiers, nombre de simulations et positions désirées).

Notez que, dans ce contexte, la latitude doit être comprise entre 45,25 et 62,25 °N et la longitude entre -79,75 et -56,25 °O. Latitude et longitude spécifiées doivent être aux quarts ou trois-quarts de degré (i.e. nn.25 ou nn.75).

Les séries météorologiques utilisées pour forcer le modèle ont été obtenues des données de réanalyse NARR moyennées sur des pixels de dimension 0,5° × 0,5°.

A1-3) Dérivation de nouvelles conditions initiales à partir des résultats d'une première simulation

Utilise `run_make_new_initfile_ntimes.m`.

Le script `run_make_new_initfile_ntimes.m` appelle `make_new_initfile_v2.m`, et a besoin du fichier de conditions initiales original (par exemple, `STW_init_19812010_1strun.prn`), du fichier produit à l'étape précédente (par exemple, `STW_19812010_1strun_45.25_-`

79.75.mat), ainsi que d'un fichier contenant les indices des « 1 janvier » sur la période considérée (par exemple, dates01jan_19812010.mat).

Le script **make_new_initfile_v1.m** calcule la température moyenne, l'épaisseur de glace moyenne et l'épaisseur de neige moyenne au 1^{er} janvier pour les n dernières années de la période de simulation; n est spécifié dans **run_make_new_initfile_ntimes.m**.

A1-4) Simulations des températures de l'eau et épaisseurs de glace et de neige à l'aide de MyLake – deuxième passe utilisant des conditions initiales améliorées

Spécifier dans **run_MyLake_ntimes.m** qu'il s'agit d'une deuxième passe (type_init=2). À cette étape, contrairement à la première passe, il y a un fichier de conditions initiales pour chacune des positions désirées.

A1-5) Dérivation des cycles climatologiques (moyenne sur 30 ans)

A1-5a) Température

Utilise **run_average_temp_ntimes.m**.

Le script **run_average_temp_ntimes.m** appelle **avg_temperature_v3.m**. Le script **avg_temperature_v3.m** a besoin d'un fichier contenant les indices des « 29 février » sur la période considérée (par exemple, dates29feb_19812010.mat).

Il faut fournir les informations nécessaires au début du script : nom des fichiers, nombre de fichiers à moyenner, positions désirées (utilisées pour les noms de fichiers), nombre de profondeurs et nombre d'années.

A1-5b) Épaisseur de glace et de neige

Utilise **run_average_hice_ntimes.m**.

Le script **run_average_hice_ntimes.m** appelle **avg_hice_hsnow_v3.m**. Le script **avg_hice_hsnow_v3.m** a besoin d'un fichier contenant les indices des « 29 février » sur la période considérée (par exemple, dates29feb_19812010.mat).

Il faut fournir les informations nécessaires au début du script : nom des fichiers, nombre de fichiers à moyenner, positions désirées (utilisées pour les noms de fichiers), et nombre d'années.

A1-6) Exemple de calcul utilisant le cycle annuel climatologique : calcul du contenu en chaleur

Utilise `run_heat_content_ntimes.m`.

Le script `run_heat_content_ntimes.m` appelle `compute_heat_content_v1.m`, et a besoin d'un fichier contenant l'aire à chaque profondeur (par exemple, `STW_Az_v2.txt`).

Il faut fournir les informations nécessaires au début du script : première partie des noms de fichiers, nom du fichier contenant l'aire à chaque profondeur, et positions désirées (utilisées pour les noms de fichiers).

Nomenclature des fichiers (exemples)

Fichier de paramètres : `STW_para_19812010_v1.xls`

Fichiers de conditions initiales : `STW_init_19812010_1strun.prn`
`STW_init_19812010_2ndrun_45.25_-79.75.txt`

Fichiers d'input météo `input_meteo_19812010_past_pixel_1_1.txt`

Fichiers d'output MyLake `STW_19812010_1strun_45.25_-79.75.mat`
`STW_19812010_2ndrun_45.25_-79.75.mat`

Fichiers « cycle annuel » `STW_19812010_2ndrun_avgtemp_45.25_-79.75.mat`
`STW_19812010_2ndrun_avghice_45.25_-79.75.mat`

Fichiers « contenu en chaleur » `STW_19812010_2ndrun_heatc_45.25_-79.75.mat`

Annexe 2

Étapes pour la production de cartes 2D basées sur les températures climatologiques simulées passées et futures d'un lac virtuellement placé à un grand nombre de positions

A2-1) Téléchargement des données météorologiques journalières NARR

Données de 1979 à 2015 (37 ans), 10 variables téléchargées (370 fichiers en format NetCDF)

Exemple de nom de fichier : air.2m.1979.nc

Répertoire : NARR_dailies

A2-2) Conversion des données NARR en format Matlab

(pour les données entre 45 et 75 °N, et -96 et -56 °O)

Scripts **nc2mat_v4_varname.m**, où *varname* est le nom de la variable considérée

Un script par variable (10 variables : airtmp, apcp, dlwrf, dswrf, pressfc, rhum, shum, tcdc, uwnd et vwnd)

370 fichiers produits (37 ans x 10 variables)

Exemple de nom de fichier : narr_quebec_airtemperature_1979.mat

Répertoire : NARR_1_subset_mat

A2-3) Détermination de la valeur des variables météorologiques pour chacun des pixels de la grille considérée

(pour la carte du Québec, de 45,25 à 62,25 °N, et de -79,25 à -56,25 °O)

La valeur assignée à chaque pixel de 0,5° x 0,5° correspond à la moyenne des valeurs NARR incluses dans le pixel (soient 1, 2 ou 3 valeurs, correspondant respectivement à 36,5 %, 52,0 % et 11,5 % des cas).

Scripts **variable_at_grid_points_varname.m**, où *varname* est le nom de la variable considérée

Un script par variable (7 variables : airtmp, apcp, dswrf, pressfc, rhum, tcdc, et wind) (le script *wind* utilisant uwnd et vwnd)

7 fichiers produits (contenant les valeurs journalières pendant 30 ans à tous les pixels)

Exemple de nom de fichier : variable_airtmp_at_pixels_19812010.mat

Répertoire : fichiers produits placés dans NARR_2_grid_quebec

A2-4a) Production des fichiers d'input météo pour MyLake : passé de référence

Un fichier produit par pixel

Script **make_meteo_files.m**

Utilise les sept fichiers produits à l'étape précédente pour produire les fichiers d'input (il y a conversion d'unité au besoin); les valeurs de débit entrant et de température de l'eau entrant sont aussi fournis à cette étape.

Pour la carte du Québec, 1680 fichiers produits (35 x 48 pixels)

Exemple de nom de fichier : input_meteo_19802010_pixel_past_1_1.txt

Répertoire : fichiers produits placés dans NARR_2_grid_quebec

A2-4b) Production des fichiers d'input météo pour MyLake : futur

Un fichier produit par pixel

1^{ère} étape : script **select_deltas_for_QC_grid_v1.m**

Pour chaque variable, sélectionne les deltas de la grille du modèle climatique (sous-ensemble de 94 x 83) le plus près du centre des pixels de la grille du Québec (35 x 48).

Exemple de nom de fichier produit : deltas_QC_20412070_rcp85_sim4_v1.mat

2^{ème} étape : script **patch_deltas_QC_grid_v1.m**

Le masque terrestre utilisé par Ouranos diffère légèrement du masque utilisé pour produire les cartes 2D. Les deltas superflus sont enlevés et les deltas manquants sont dérivés par interpolation des deltas aux pixels voisins (interpolation spécifique à chaque cas).

Exemple de nom de fichier produit : deltas_QC_20412070_rcp85_sim4_v2.mat

3^{ème} étape : script **polish_deltas_QC_grid_v1.m**

Si désiré, corrige (par interpolation) certains deltas jugés trop différents par rapport aux pixels voisins.

Exemple de nom de fichier produit : deltas_QC_20412070_rcp85_sim4_v3.mat

4^{ème} étape : script **add_deltas_v2.m**

Modifie chacun des fichiers d'input de la période de référence à l'aide des deltas mensuels à chacun des pixels.

Cette version (v2) lit les deltas corrigés pour pixels superflus et manquants (étape 2).

Exemple de nom de fichier produit : `input_meteo_20412070_rcp85_sim4_pixel_1_1.txt`, où rcp85 est le scénario d'émission (i.e. RCP 8,5) et sim4 est la simulation climatique utilisée pour dériver les deltas (i.e. MRCC5, bbf/bbg)

A2-5) Simulations de la température de l'eau et des épaisseurs de glace et de neige à l'aide du modèle MyLake : première passe (conditions initiales approximées)

Scripts **run_MyLake_over_QC_nomask_v2.m** ou **run_MyLake_over_QC_withmask_v2.m**

Utiliser sans masque (nomask) si on veut utiliser MyLake à toutes les pixels, et avec masque (withmask) si on veut utiliser MyLake seulement aux pixels pouvant contenir un lac.

Les scripts **run_MyLake_over_QC_nomask_v2.m** et **run_MyLake_over_QC_withmask_v2.m** appellent **solve_model_v12_2016.m** qui appelle (entre autres) **modelinputs_v12_2016.m**. Ces nouvelles versions permettent de lire les fichiers de conditions initiales et de d'input météo en format ascii. Latitude et longitude sont maintenant lues dans le fichier d'input météo.

Les scripts **run_MyLake_over_QC_nomask_v2.m** et **run_MyLake_over_QC_withmask_v2.m** produisent un seul fichier contenant les valeurs de température, d'épaisseur de glace et d'épaisseur de neige à chaque jour de la période considérée (30 ans) à chaque pixel.

La version « withmask » utilise un masque (décisions logiques) pour éviter de faire tourner MyLake aux pixels ne pouvant contenir de lacs (Golfe St-Laurent, Baie d'Ungava, etc.). Pour la carte du Québec, 31,2 % des 1680 pixels ne peuvent contenir de lacs.

A2-6) Dérivation de nouvelles conditions initiales à partir des résultats d'une première simulation

Utilise **run_make_new_initfiles_QC.m**.

Le script **run_make_new_initfiles_QC.m** appelle **make_new_initfile_v2.m**, et a besoin du fichier de conditions initiales original (par exemple, `STW_init_19812010_1strun.prn`), du fichier d'output produit à l'étape précédente (par exemple, `STW_19812010_QC_out_1strun.mat`), ainsi que d'un fichier contenant les indices des « 1 janvier » sur la période considérée (par exemple, `dates01jan_19812010.mat`).

Le script **make_new_initfile_v2.m** calcule la température moyenne, l'épaisseur de glace moyenne et l'épaisseur de neige moyenne au 1^{er} janvier pour les n dernières années de la période de simulation; « n » est spécifié dans **run_make_new_initfiles_QC.m**.

Le script **run_make_new_initfiles_QC.m** produit un nouveau fichier de conditions initiales par pixel. Le script peut être utilisée avec ou sans masque. Lorsqu'un masque est utilisé, un nouveau fichier de conditions initiales est produit seulement pour les pixels sélectionnés.

A2-7) Simulations de la température de l'eau et des épaisseurs de glace et de neige à l'aide du modèle MyLake : deuxième passe (conditions initiales améliorées)

Scripts **run_MyLake_over_QC_nomask_v2.m** ou **run_MyLake_over_QC_withmask_v2.m**, comme à l'étape 5.

Il faut spécifier au début du script qu'il s'agit d'une deuxième passe (`type_init=2`). À cette étape, contrairement à la première passe, il y a un fichier de conditions initiales pour chacun des pixels considérés.

A2-8) Dérivation des cycles climatologiques (moyenne sur trente ans)

Script **run_averages_QC_v1.m** pour moyenner la température de l'eau et les épaisseurs de glace et de neige (ou **run_average_temp_QC_v1.m** pour moyenner la température seulement).

La Script **run_averages_QC_v1.m** appelle les fonctions **avg_temperature_v4.m** et **avg_hice_hsnow_v4.m**, et a besoin du fichier d'output produit aux étapes 5 ou 7 (par exemple, `STW_19812010_QC_out_2ndrun.mat`), ainsi que d'un fichier contenant les indices des « 29 février » sur la période considérée (par exemple, `dates29feb_19812010.mat`).

La Script **run_averages_QC_v1.m** utilise un masque pour ne calculer qu'aux pixels choisis. Des valeurs de remplissage (99.9) sont assignées aux autres pixels.

A2-9) Exemple de calcul utilisant le cycle annuel climatologique : calcul du contenu en chaleur

Le script **run_heat_content_QC.m** calcule le contenu en chaleur à partir de la température climatologique calculée à l'étape précédente. Le script **run_heat_content_QC.m** appelle **compute_heat_content_v2.m** et a besoin d'un fichier contenant l'aire à chaque profondeur (par exemple, `STW_Az_v2.txt`).

Il faut fournir les informations nécessaires au début du script, dont les noms des fichiers d'input et d'output, et le nom du fichier contenant l'aire à chaque profondeur.

Le script **run_heat_content_QC.m** utilise un masque pour ne calculer qu'aux pixels choisis. Des valeurs de remplissage (99.9) sont assignées aux autres pixels.

A2-10) Exemple de calcul utilisant le cycle annuel climatologique : calcul de la température moyenne pour une partie de la colonne d'eau et une partie du cycle annuel

Le script **run_avgtemp_binrange_period_QC.m** calcule la température moyenne pour une gamme de profondeurs et une période choisies. La température moyenne est calculée à partir de la moyenne de contenu en chaleur pour la partie de la colonne d'eau considérée.

Le script **run_avgtemp_binrange_period_QC.m** appelle **compute_avgtemp_from_heatc_v1.m** et a besoin d'un fichier contenant l'aire à chaque profondeur (par exemple, STW_Az_v2.txt).

Il faut fournir les informations nécessaires au début du script, dont les noms des fichiers d'input et d'output, le nom du fichier contenant l'aire à chaque profondeur, la partie de la colonne d'eau à considérer, et la partie du cycle annuel à considérer.

Le script **run_avgtemp_binrange_period_QC.m** utilise un masque pour ne calculer qu'aux pixels choisis. Des valeurs de remplissage (99.9) sont assignées aux autres pixels.

A2-11) Calcul du volume d'eau avec température inférieure à une température seuil spécifiée

Le script **run_vol_with_temp_below_silltemp_QC.m** calcule le volume avec $T \leq T_{\text{seuil}}$ (situation défavorable pour les salmonidés lorsque ce volume devient petit ou nul).

Le script **run_vol_with_temp_below_silltemp_QC.m** appelle **compute_vol_below_silltemp_v1.m** et a besoin d'un fichier contenant l'aire à chaque profondeur (par exemple, STW_Az_v2.txt).

Il faut fournir les informations nécessaires au début du script, dont les noms des fichiers d'input et d'output, le nom du fichier contenant l'aire à chaque profondeur, et la température seuil à considérer.

Le script **run_vol_with_temp_below_silltemp_QC.m** utilise un masque pour ne calculer qu'aux pixels choisis. Des valeurs de remplissage (99.9) sont assignées aux autres pixels.

(Annexe 2, suite)

Nom des variables contenant les résultats :

volbst : volume avec $T \leq T_{\text{seuil}}$ pour chaque jour de l'année (un vecteur 1x365 pour chaque pixel)

volbstpc : fraction du volume du lac (%) avec $T \leq T_{\text{seuil}}$ pour chaque jour de l'année (un vecteur 1x365 pour chaque pixel)

volminbst : minimum de volume avec $T \leq T_{\text{seuil}}$ sur un cycle annuel (un scalaire pour chaque pixel)

volminbstpc : minimum de la fraction du volume du lac (%) avec $T \leq T_{\text{seuil}}$ sur un cycle annuel (un scalaire pour chaque pixel)

ndayspc0 : nombre de jours pour lesquels 0 % du volume du lac a une température inférieure à T_{seuil} (un scalaire pour chaque pixel)

Nomenclature des fichiers (exemples)

Données de réanalyse NARR en format Matlab :

narr_quebec_airtemperature_1979.mat

Données de réanalyse NARR (moyenne) à chaque pixel :

variable_airtmp_at_pixels_19812010.mat

Fichiers d'input météo (période de référence) :

input_meteo_19812010_past_pixel_1_1.txt

Fichiers d'input météo (période future) :

input_meteo_20412070_rcp85_sim4_pixel_1_1.txt

Fichier de paramètres : STW_para_19812010_v1.xls

Fichiers de conditions initiales : STW_init_19812010_1strun.prn

STW_init_19812010_2ndrun_45.25_-79.75.txt

Fichiers d'input météo : input_meteo_19812010_past_pixel_1_1.txt

Fichiers d'output MyLake produits par **run_MyLake_over_QC_nomask_v2.m** et **run_MyLake_over_QC_nomask_v2.m** :

STW_19812010_QC_wm_out_1strun.mat

STW_19812010_QC_wm_out_2ndrun.mat

STW_20412070_rcp85_sim4_QC_wm_out_1strun.mat

STW_20412070_rcp85_sim4_QC_wm_out_2ndrun.mat

Fichiers « cycle annuel » produits par **run_averages_QC_v1.m** :

STW_19812010_QC_2ndrun_averages.mat

STW_20412070_rcp85_sim4_QC_2ndrun_averages.mat

Fichiers « contenu en chaleur » produits par **run_heat_content_QC.m** :

STW_19812010_QC_2ndrun_heatc.mat

STW_20412070_rcp85_sim4_QC_2ndrun_heatc.mat

Fichiers « température moyenne pour une couche donnée et une période de l'année donnée » produits par **run_avgtemp_binrange_period_QC.m** :

STW_19812010_QC_2ndrun_avgtemp_0-5m_JJA.mat

STW_20412070_rcp85_sim4_QC_2ndrun_avgtemp_0-5m_JJA.mat

Annexe 3

Scripts pour la production des cartes 2D

1a **Maximum de contenu en chaleur** : mapping_maxheatc_v1.m

Utilise un fichier produit par run_heat_content_QC.m et compute_heat_content_v2.m
(e.g. STW_19812010_QC_2ndrun_heatc.mat)

1b **Maximum de contenu en chaleur (normalisé)** : mapping_maxheatc_v2.m

Utilise un fichier produit par run_heat_content_QC.m et compute_heat_content_v2.m
(e.g. STW_19812010_QC_2ndrun_heatc.mat)

1c **Occurrence du maximum de contenu en chaleur** : mapping_maxheatc_timing_v1.m

Utilise un fichier produit par run_heat_content_QC.m et compute_heat_content_v2.m
(e.g. STW_19812010_QC_2ndrun_heatc.mat)

2 **Température moyenne pour une partie de la colonne d'eau et une partie du cycle annuel** : mapping_avgt_v1.m

Utilise un fichier produit par run_avgtemp_binrange_period_QC.m et compute_avgtemp_from_heatc_v1.m
(e.g. STW_19812010_QC_2ndrun_avgtemp_0-5m_JJA.mat)

3a **Maximum d'épaisseur de glace** : mapping_maxhice_v1.m

Utilise un fichier « cycle annuel » produit par run_averages_QC_v1.m et avg_temperature_v4.m
(e.g. STW_19812010_QC_2ndrun_averages.mat)

3b **Occurrence du maximum d'épaisseur de glace** : mapping_maxhice_timing.v1.m

Utilise un fichier « cycle annuel » produit par run_averages_QC_v1.m et avg_temperature_v4.m
(e.g. STW_19812010_QC_2ndrun_averages.mat)

4a **Volume minimum avec température sous la limite supérieure** : mapping_volminbstpc_v1.m

Utilise un fichier produit par run_vol_with_temp_below_silltemp_QC.m et compute_vol_below_silltemp_v2.m
(e.g. STW_19812010_QC_2ndrun_vol_below_15C.mat)

4b **Occurrence du volume minimum sous la limite supérieure pour les cas où le volume minimum n'est ni 0% ni 100%** : mapping_volminbst_timing_v1.m

Utilise un fichier produit par run_vol_with_temp_below_silltemp_QC.m et compute_vol_below_silltemp_v2.m
(e.g. STW_19812010_QC_2ndrun_vol_below_15C.mat)

4c **Occurrence de la première journée avec température au-dessus de la limite supérieure pour tout le volume du lac** : mapping_firstday_volminbst_is_zero_v1.m

Utilise un fichier produit par run_vol_with_temp_below_silltemp_QC.m et compute_vol_below_silltemp_v2.m
(e.g. STW_19812010_QC_2ndrun_vol_below_15C.mat)

5 Nombre de jours lorsque la température est au-dessus de la limite supérieure pour tout le volume du lac : mapping_ndayspc0_v1.m

Utilise un fichier produit par `run_vol_with_temp_below_silltemp_QC.m` et `compute_vol_below_silltemp_v2.m`
(e.g. STW_19812010_QC_2ndrun_vol_below_15C.mat)

6 Nombre de degrés-jours au-dessus de la limite supérieure lorsque la température est au-dessus de la limite supérieure pour tout le volume du lac : mapping_cumdegabovesill_v1.m

Utilise un fichier produit par `run_vol_with_temp_below_silltemp_QC.m` et `compute_vol_below_silltemp_v2.m`
(e.g. STW_19812010_QC_2ndrun_vol_below_15C.mat)

7 Nombre de jours avec au moins nn% du volume du lac avec température entre les limites inférieure et supérieure : mapping_ndays_with_min_nn_pc_of_vol_between_limits_v1.m

Utilise un fichier produit par `run_vol_with_temp_between_lolim_and_uplim_QC.m` et `compute_vol_between_limits_v1.m`
(e.g. STW_19812010_QC_2ndrun_vol_between_05_and_15C.mat)

8 Nombre de degrés-jours au-dessus de la limite inférieure lorsque la température est entre les limites inférieure et supérieure : mapping_degday_above_lolim_v1.m

Utilise un fichier produit par `run_degday_above_lolim_for_water_between_limits_QC.m` et `compute_degday_above_lolim_v2.m`. On peut spécifier un volume seuil au-dessus duquel les degrés-jours d'une journée donnée sont considérés. Il y a un fichier d'input pour chaque volume seuil considéré.
(e.g. STW_19812010_QC_2ndrun_degday_above05_when_between_05-15C_minvol20pc.mat)

9 Nombre de m³-jours avec température entre les limites inférieure et supérieure :

mapping_m3day_betweenlimits_v1.m

Utilise un fichier produit par `run_m3day_between_limits_QC.m` et `compute_m3day_v2.m`
(e.g. STW_19812010_QC_2ndrun_m3day_05-15C.mat)

10 Nombre de m³-degrés-jours au-dessus de la limite inférieure lorsque la température est entre les limites inférieure et supérieure : mapping_m3degday_betweenlimits_v1.m

Utilise un fichier produit par `run_m3degday_between_limits_QC.m` et `compute_m3degday_v2.m`
(e.g. STW_19812010_QC_2ndrun_m3degday_05-15C.mat)

Annexe 4

Exemples des deltas utilisés pour la simulation des températures futures

Tous les deltas mensuels présentés sont pour le scénario d'émission RCP 8,5 et la simulation 4 (i.e. MRCC5, bbf/bbg; Logan 2016).

Fig. A4-1 2041-2070, température pour février (°C)

Fig. A4-2 2041-2070, température pour juillet (°C)

Fig. A4-3 2041-2070, radiation globale pour février (MJ/m²)

Fig. A4-4 2041-2070, radiation globale pour juillet (MJ/m²)

Fig. A4-5 2041-2070, vitesse du vent pour février (coefficient)

Fig. A4-6 2041-2070, vitesse du vent pour juillet (coefficient)

Fig. A4-7 2071-2100, température pour février (°C)

Fig. A4-8 2071-2100, température pour juillet (°C)

Fig. A4-9 2071-2100, radiation globale pour février (MJ/m²)

Fig. A4-10 2071-2100, radiation globale pour juillet (MJ/m²)

Fig. A4-11 2071-2100, vitesse du vent pour février (coefficient)

Fig. A4-12 2071-2100, vitesse du vent pour juillet (coefficient)

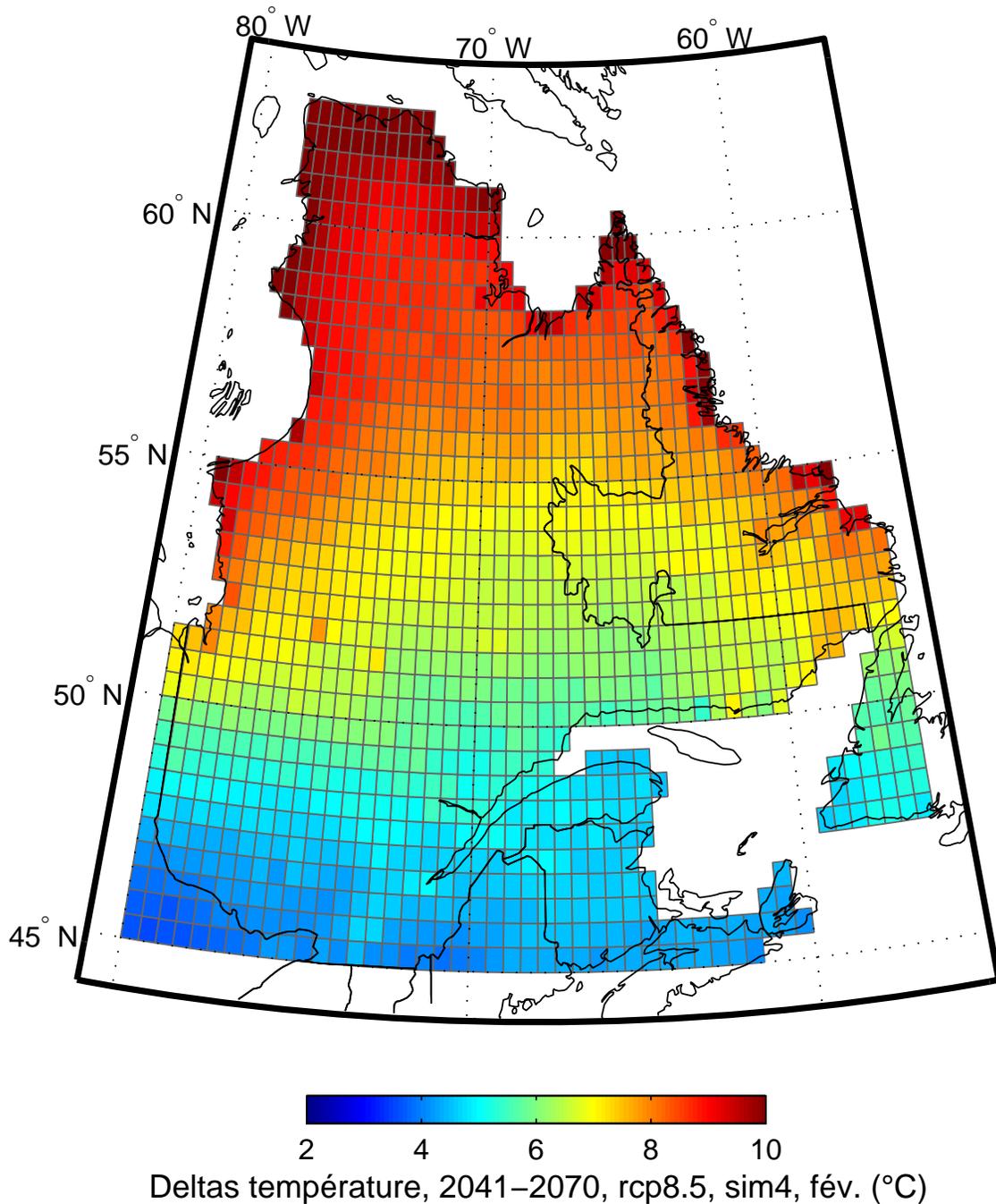


Fig. A4-1 Deltas mensuels entre périodes 1981-2010 et 2041-2070 pour le scénario d'émission RCP 8,5 et la simulation 4 (bbf/bbg) : changement prévu de température de l'air pour le mois de février (°C)

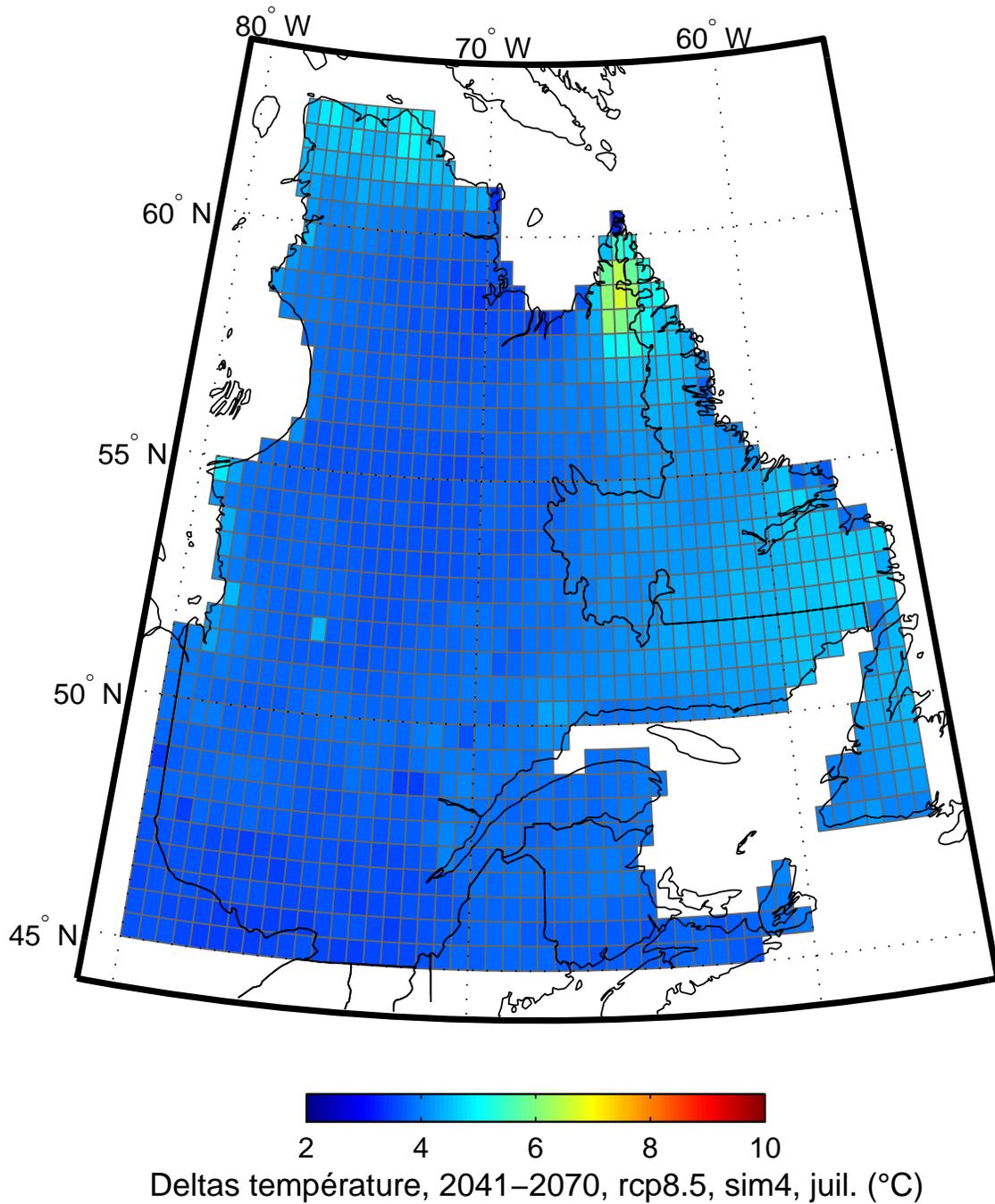
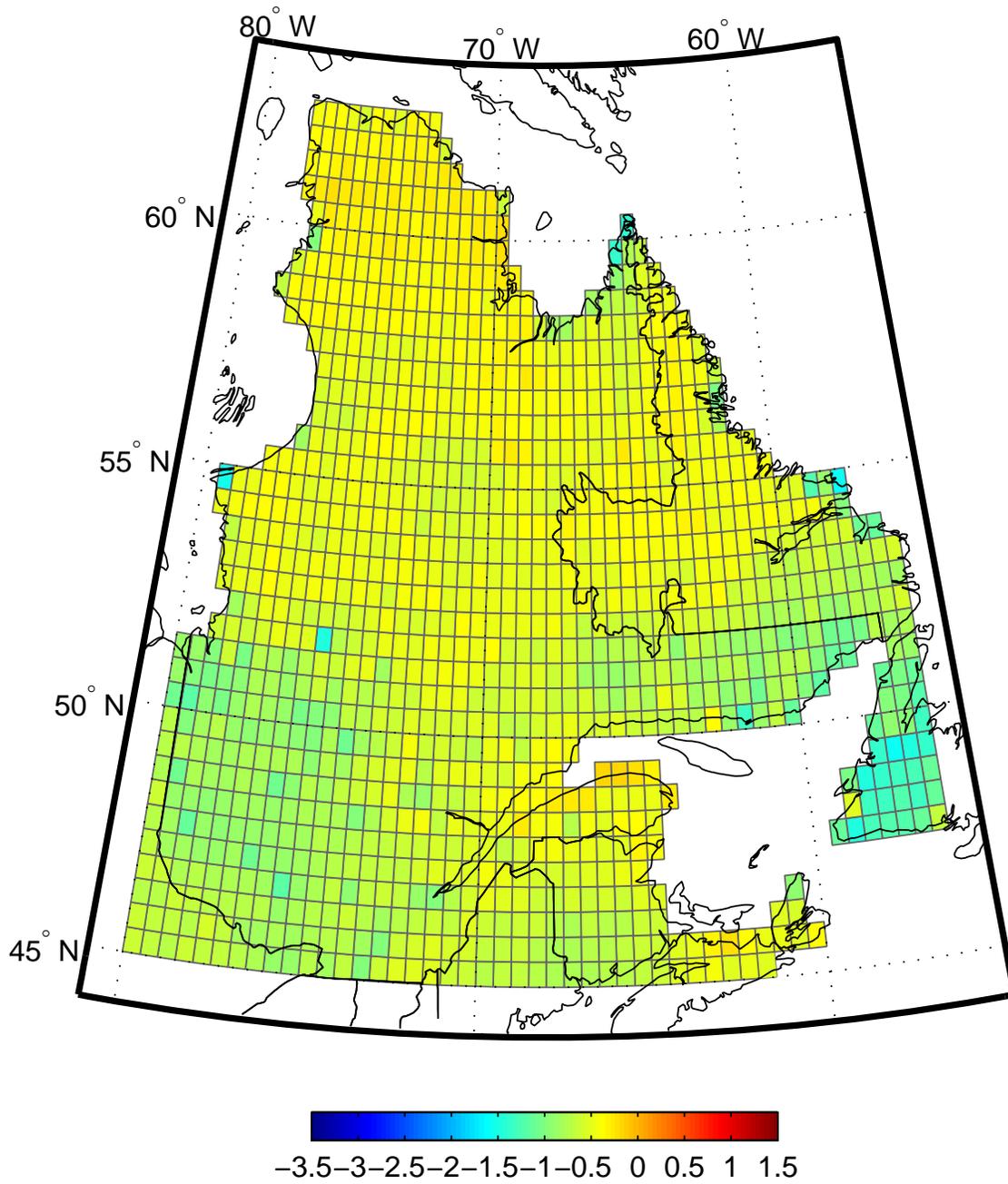


Fig. A4-2 Deltas mensuels entre périodes 1981-2010 et 2041-2070 pour le scénario d'émission RCP 8,5 et la simulation 4 (bbf/bbg) : changement prévu de température de l'air pour le mois de juillet (°C)



Deltas radiation, 2041–2070, rcp8.5, sim4, fév. (MJ/m^2)

Fig. A4-3 Deltas mensuels entre périodes 1981-2010 et 2041-2070 pour le scénario d'émission RCP 8,5 et la simulation 4 (bbf/bbg) : changement prévu de radiation globale pour le mois de février (MJ/m^2)

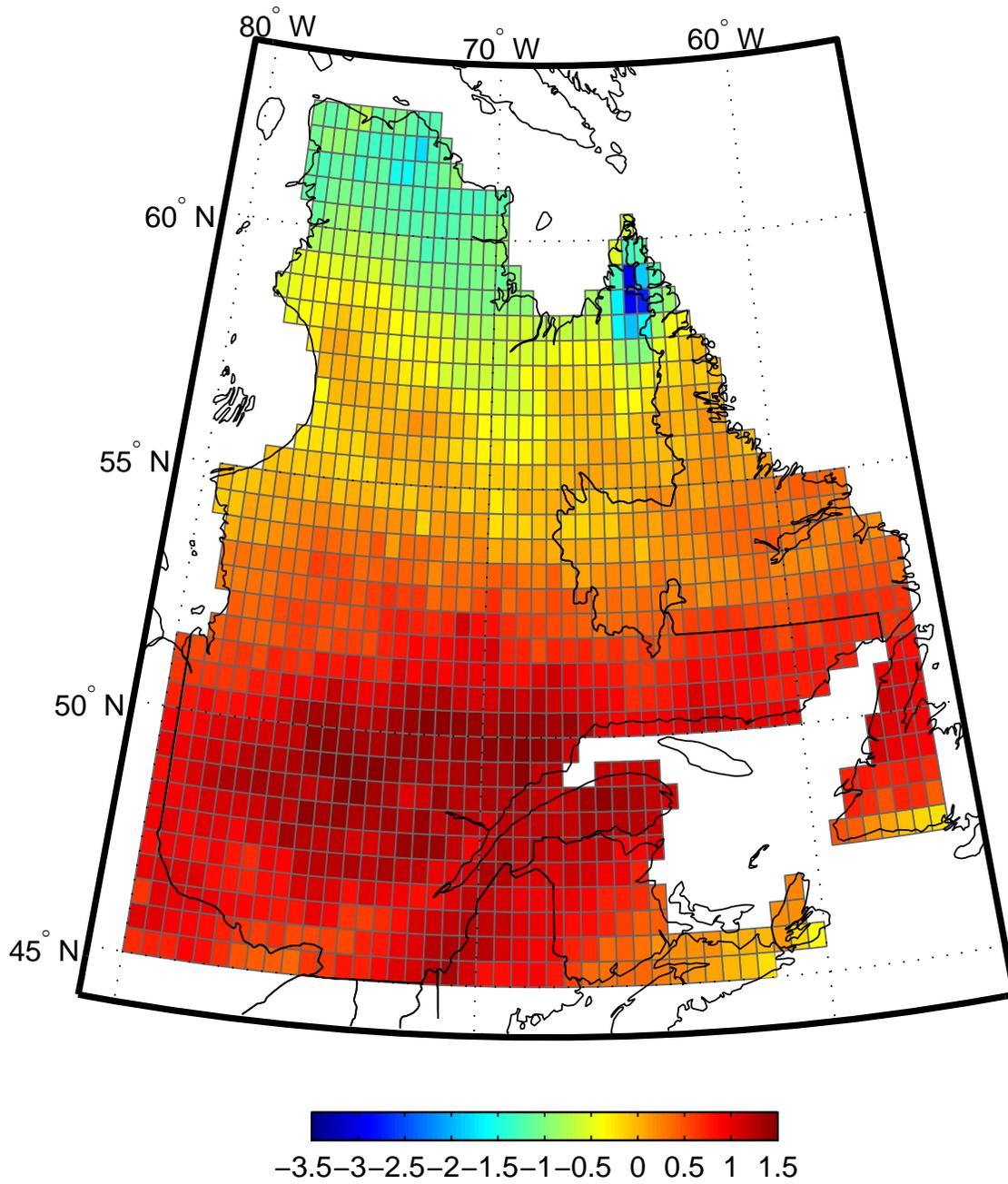


Fig. A4-4 Deltas mensuels entre périodes 1981-2010 et 2041-2070 pour le scénario d'émission RCP 8,5 et la simulation 4 (bbf/bbg) : changement prévu de radiation globale pour le mois de juillet (MJ/m²)

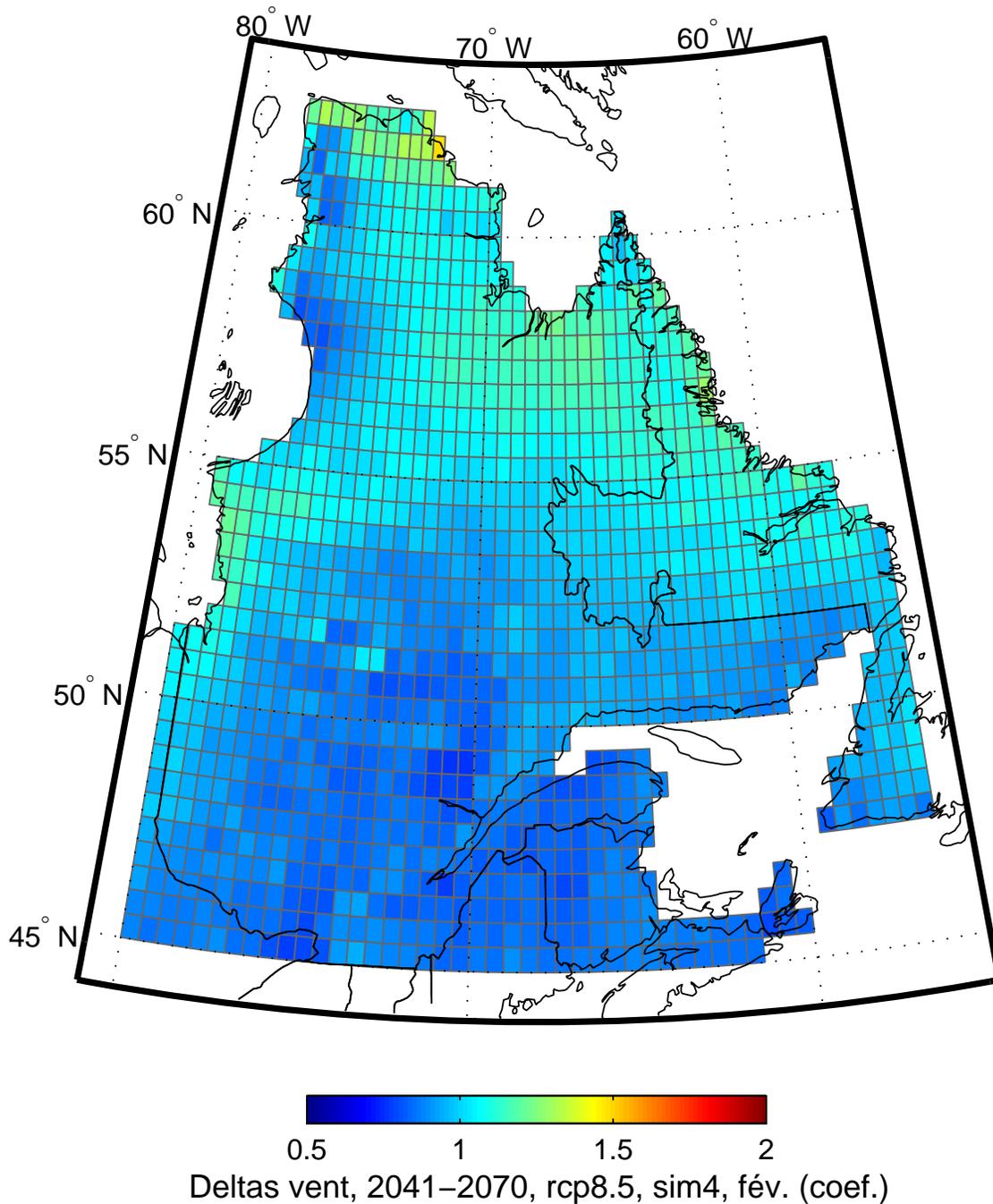


Fig. A4-5 Deltas mensuels entre périodes 1981-2010 et 2041-2070 pour le scénario d'émission RCP 8,5 et la simulation 4 (bbf/bbg) : changement prévu de vitesse du vent pour le mois de février (coefficient)

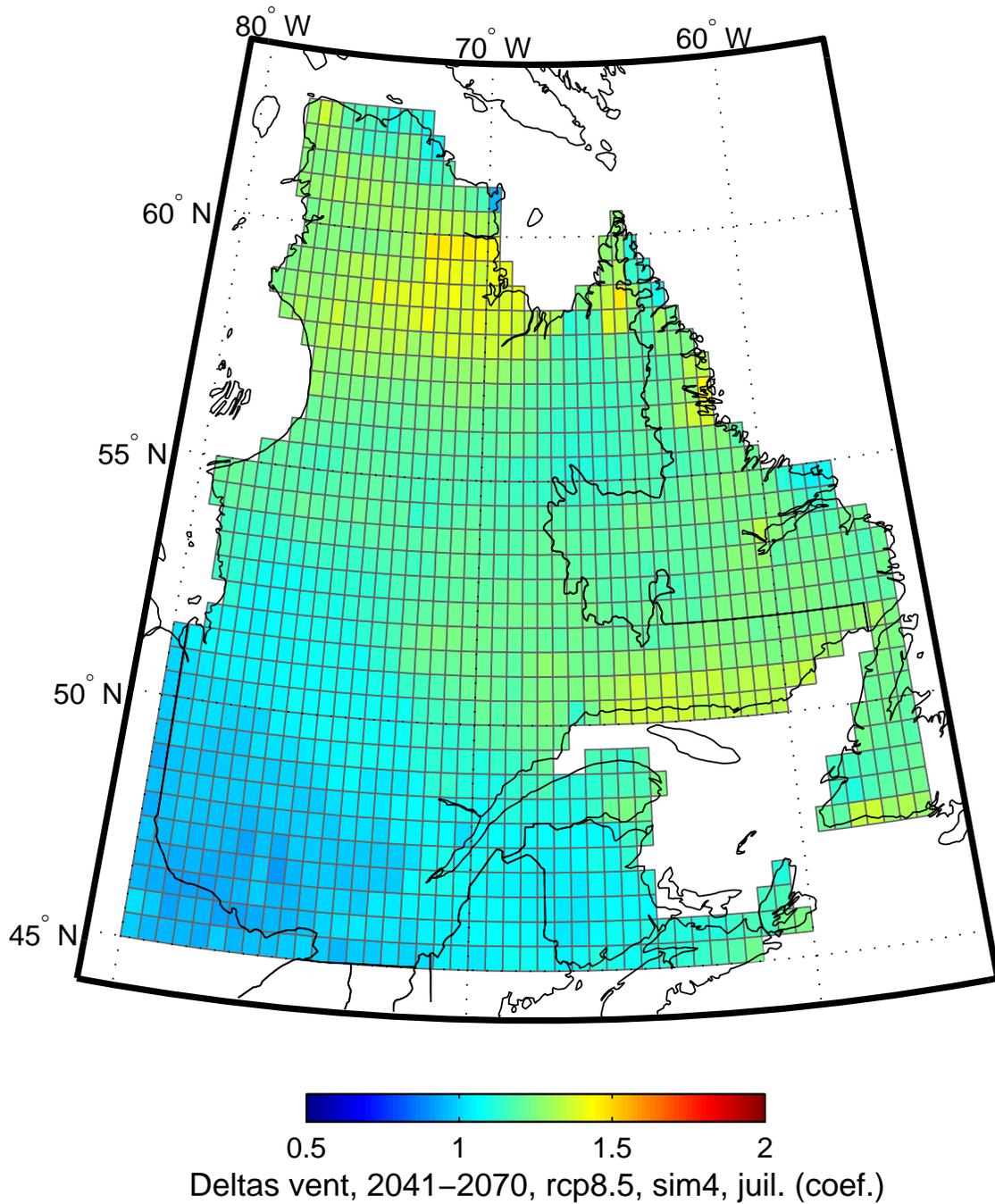


Fig. A4-6 Deltas mensuels entre périodes 1981-2010 et 2041-2070 pour le scénario d'émission RCP 8,5 et la simulation 4 (bbf/bbg) : changement prévu de vitesse du vent pour le mois de juillet (coefficient)

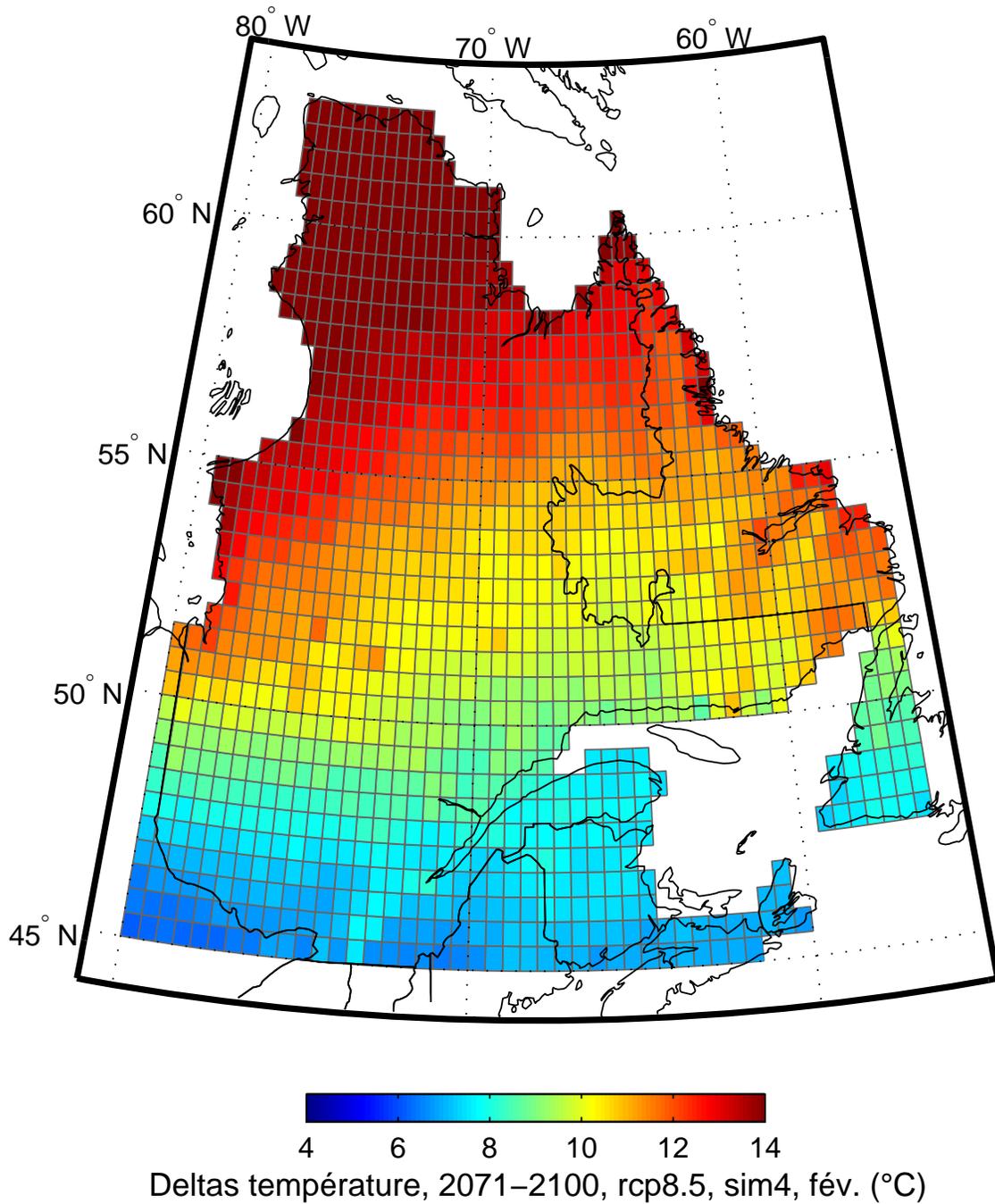


Fig. A4-7 Deltas mensuels entre périodes 1981-2010 et 2071-2100 pour le scénario d'émission RCP 8,5 et la simulation 4 (bbf/bbg) : changement prévu de température de l'air pour le mois de février (°C)

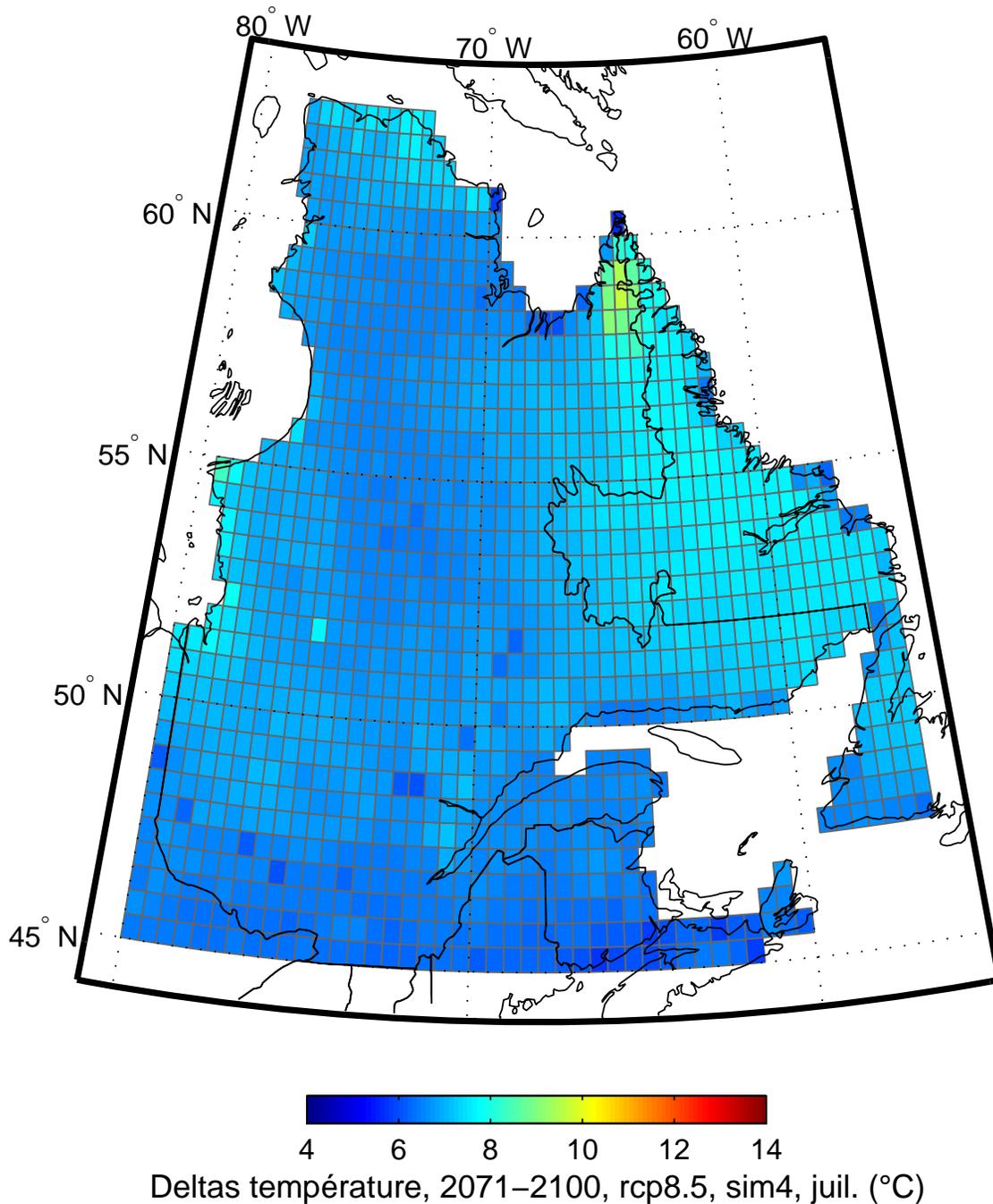
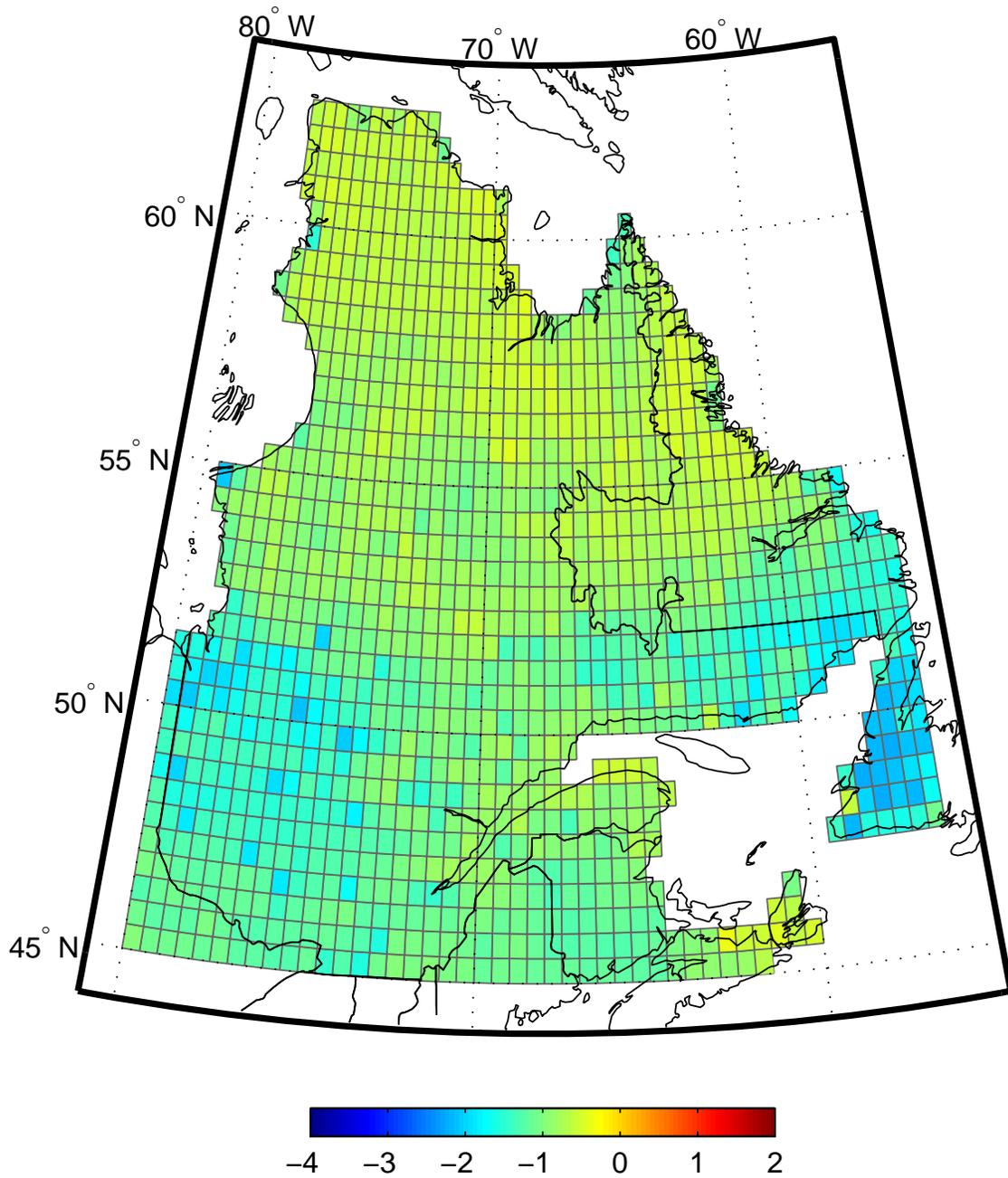
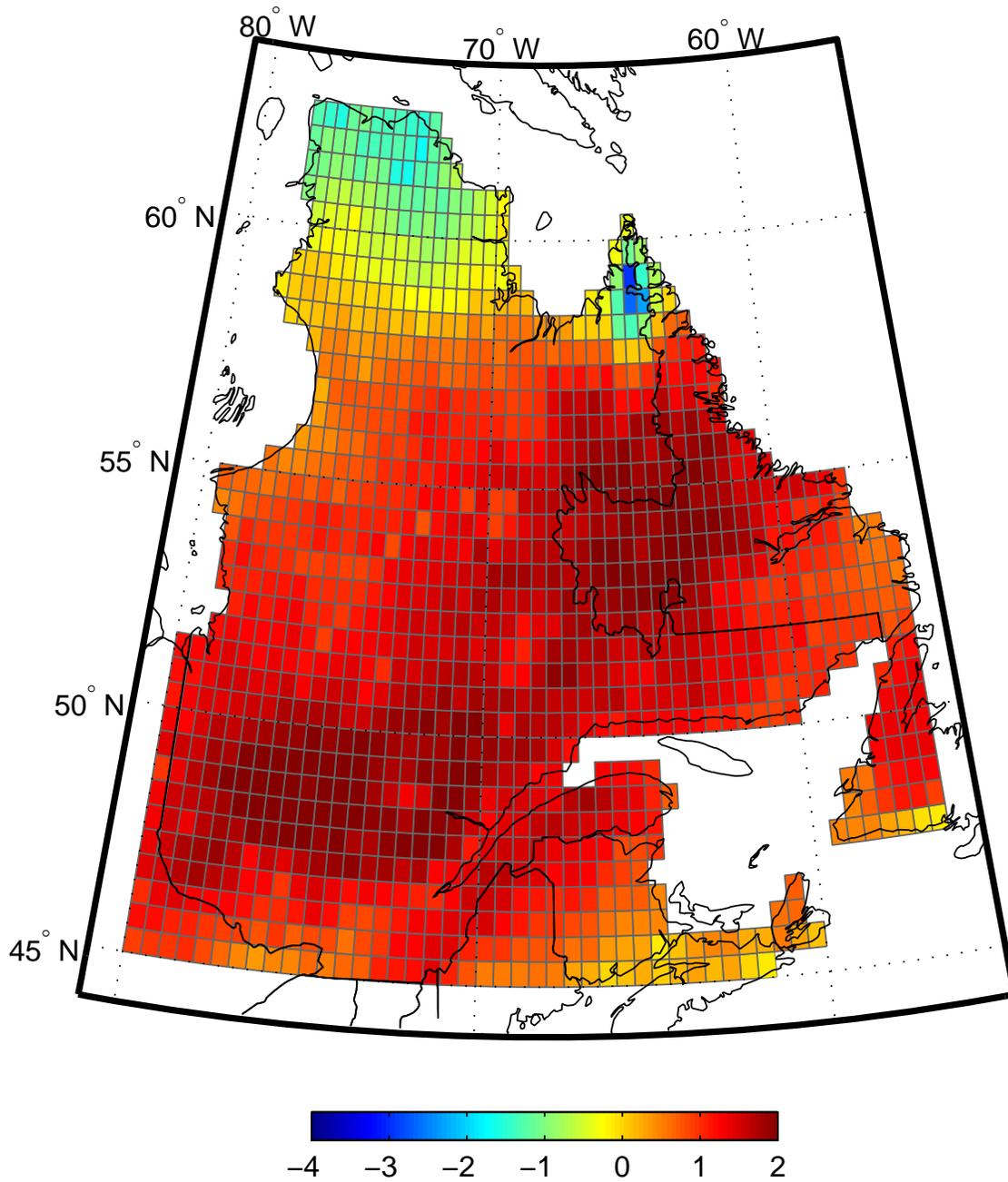


Fig. A4-8 Deltas mensuels entre périodes 1981-2010 et 2071-2100 pour le scénario d'émission RCP 8,5 et la simulation 4 (bbf/bbg) : changement prévu de température de l'air pour le mois de juillet (°C)



Deltas radiation, 2071–2100, rcp8.5, sim4, fév. (MJ/m²)

Fig. A4-9 Deltas mensuels entre périodes 1981-2010 et 2071-2100 pour le scénario d'émission RCP 8,5 et la simulation 4 (bbf/bbg) : changement prévu de radiation globale pour le mois de février (MJ/m²)



Deltas radiation, 2071–2100, rcp8.5, sim4, juil. (MJ/m²)

Fig. A4-10 Deltas mensuels entre périodes 1981-2010 et 2071-2100 pour le scénario d'émission RCP 8,5 et la simulation 4 (bbf/bbg) : changement prévu de radiation globale pour le mois de juillet (MJ/m²)

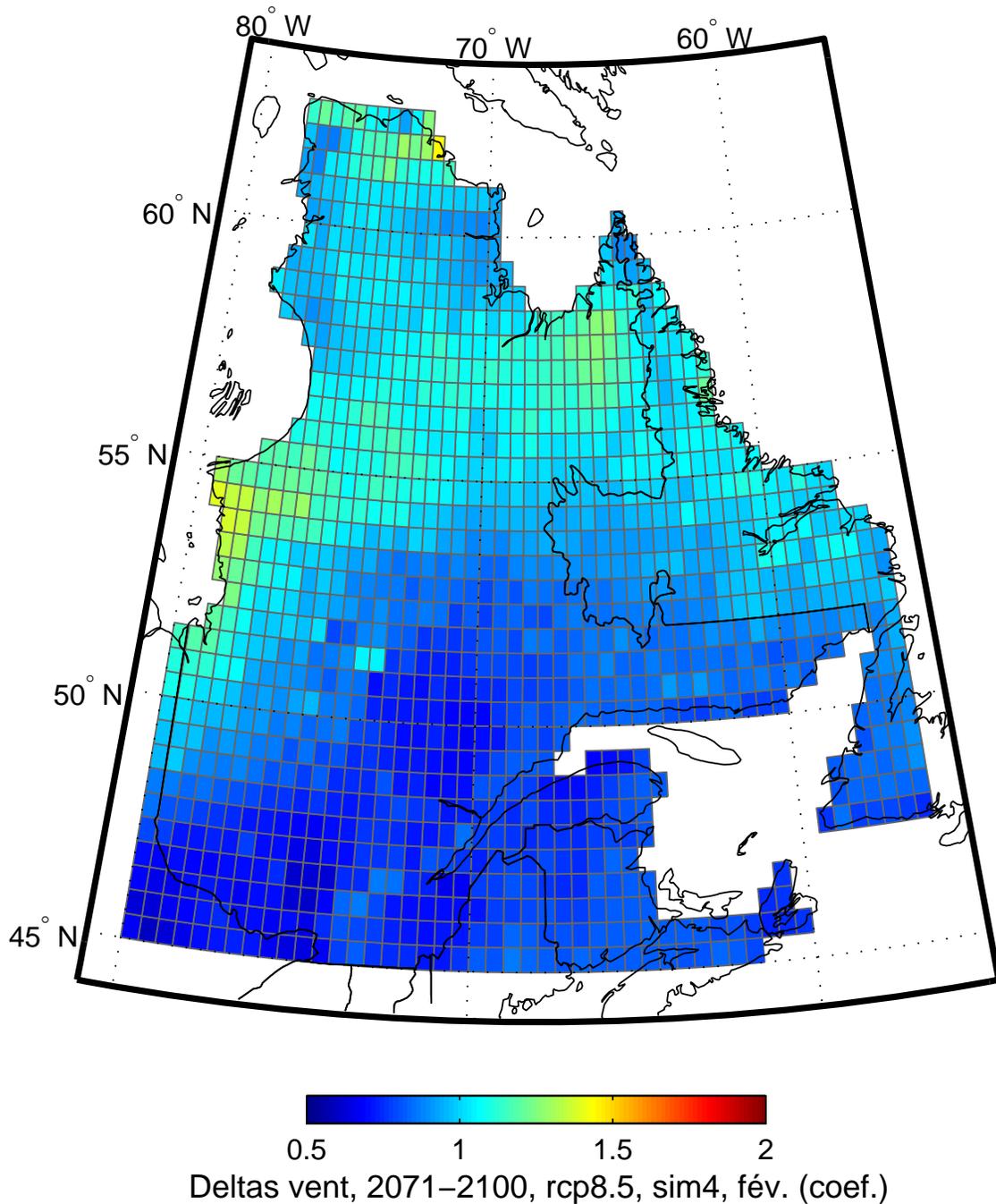


Fig. A4-11 Deltas mensuels entre périodes 1981-2010 et 2071-2100 pour le scénario d'émission RCP 8,5 et la simulation 4 (bbf/bbg) : changement prévu de vitesse du vent pour le mois de février (coefficient)

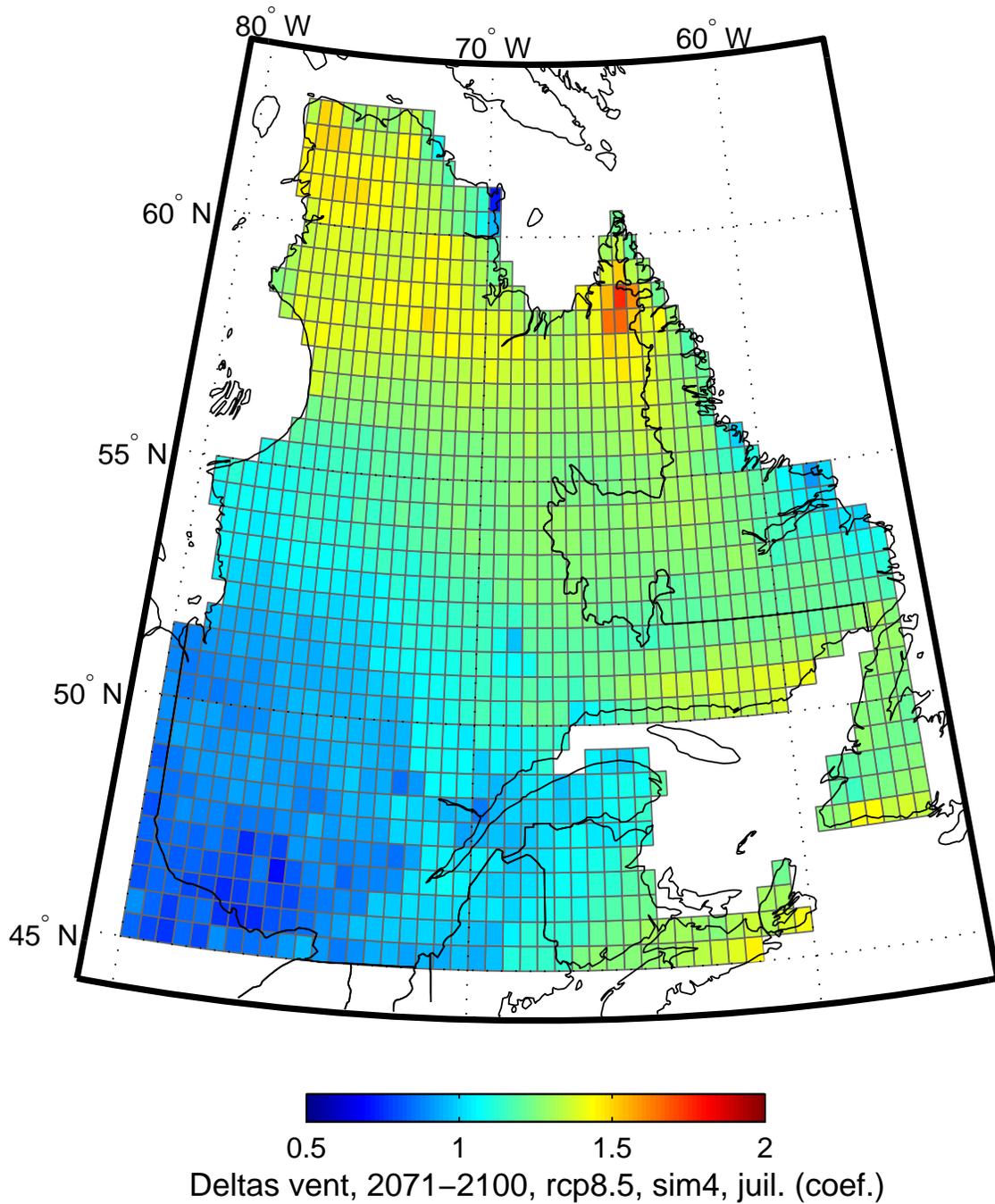


Fig. A4-12 Deltas mensuels entre périodes 1981-2010 et 2071-2100 pour le scénario d'émission RCP 8,5 et la simulation 4 (bbf/bbg) : changement prévu de vitesse du vent pour le mois de juillet (coefficient)



Fourniture de données
Projet : Habitats des salmonidés

Scénarios climatiques
Sept 2016



Auteurs :

Travis Logan, Ouranos

Titre de projet : Habitats des salmonidés

Numéro du projet : 520016

Date de soumission : Sept, 2016



INTRODUCTION

Dans le cadre du projet 'Habitats des salmonidés' supportée par la programmation Ouranos en Écosystèmes et Biodiversité, Ouranos a été sollicité pour fournir des scénarios de changements climatiques qui serviront à étudier l'évolution des conditions bio-climatiques des lacs du Québec.

À ce fin, des changements mensuels futurs projetés pour les variables de pilotage du modèle de lac MyLake (radiation solaire, température de surface, humidité spécifique, pression à la surface, vitesse du vent à 10 m, précipitation et couverture nuageuse) ont été calculés à partir d'un ensemble de simulations régionales du climat pour une zone couvrant le Québec en entier ainsi qu'une zone agrandie couvrant l'est du Canada (Figure 1).

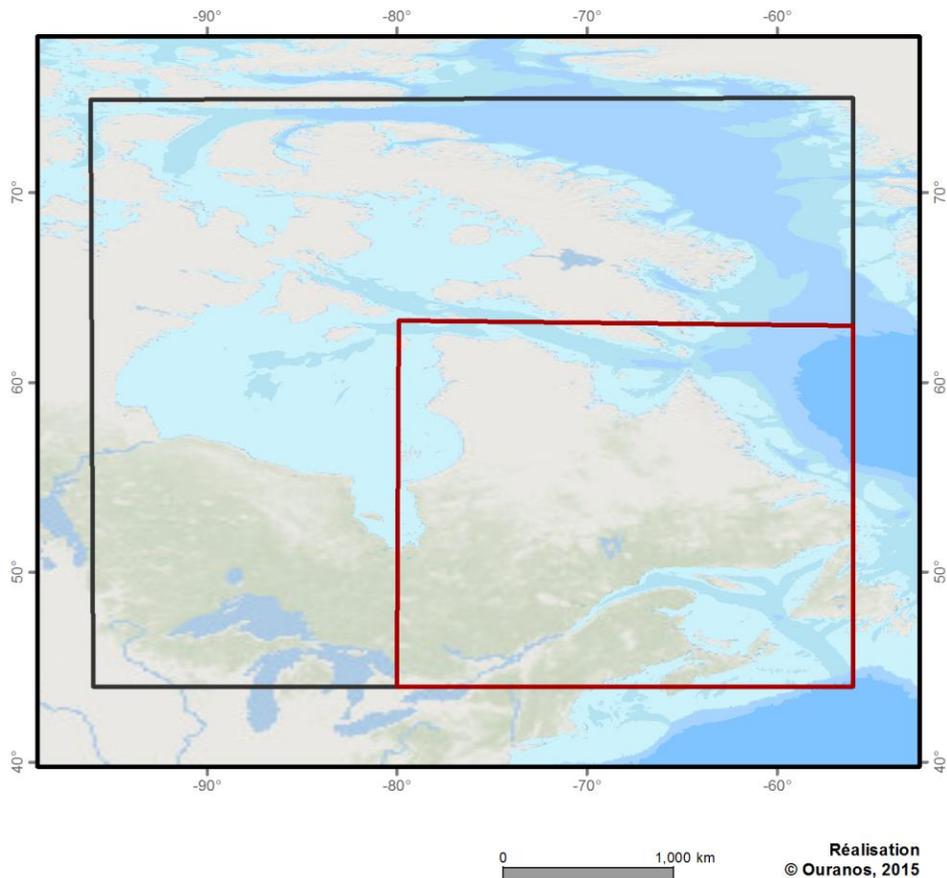


Figure 1. Figure 1. Zones d'étude (contours noir et rouge) du projet sur les habitats des salmonidés



SIMULATIONS RÉGIONALES DU CLIMAT

Toutes les simulations régionales disponibles sur le Québec et pour lesquelles les variables de pilotages étaient disponibles ont été considérées dans l'étape de sélection. Les simulations régionales ont été préférées aux simulations globales afin d'obtenir un portrait plus détaillé des changements projetés. Les données de modèles régionales de climat (MRC) pour les variables désirées sont disponibles à partir de plusieurs sources incluant des simulations de la 5^{ième} version du Modèle Régional Canadien du Climat (MRCC5; Martynov et al. 2013, Separovic et al. 2013) produit chez Ouranos, ainsi que plusieurs simulations régionales disponible à partir du programme CORDEX Amérique du Nord (Giorgi et al. 2009). MRCC5 a été développé au centre ESCER de UQAM avec la collaboration d'Environnement et Changement climatique Canada. Le programme CORDEX œuvre pour l'avancement et la coordination de la science et application de la modélisation régionale du climat à-travers des partenariats globaux. Un but spécifique du programme est la production d'ensembles coordonnés de projections climatiques régionales produits à partir d'une multitude de centres de modélisation.

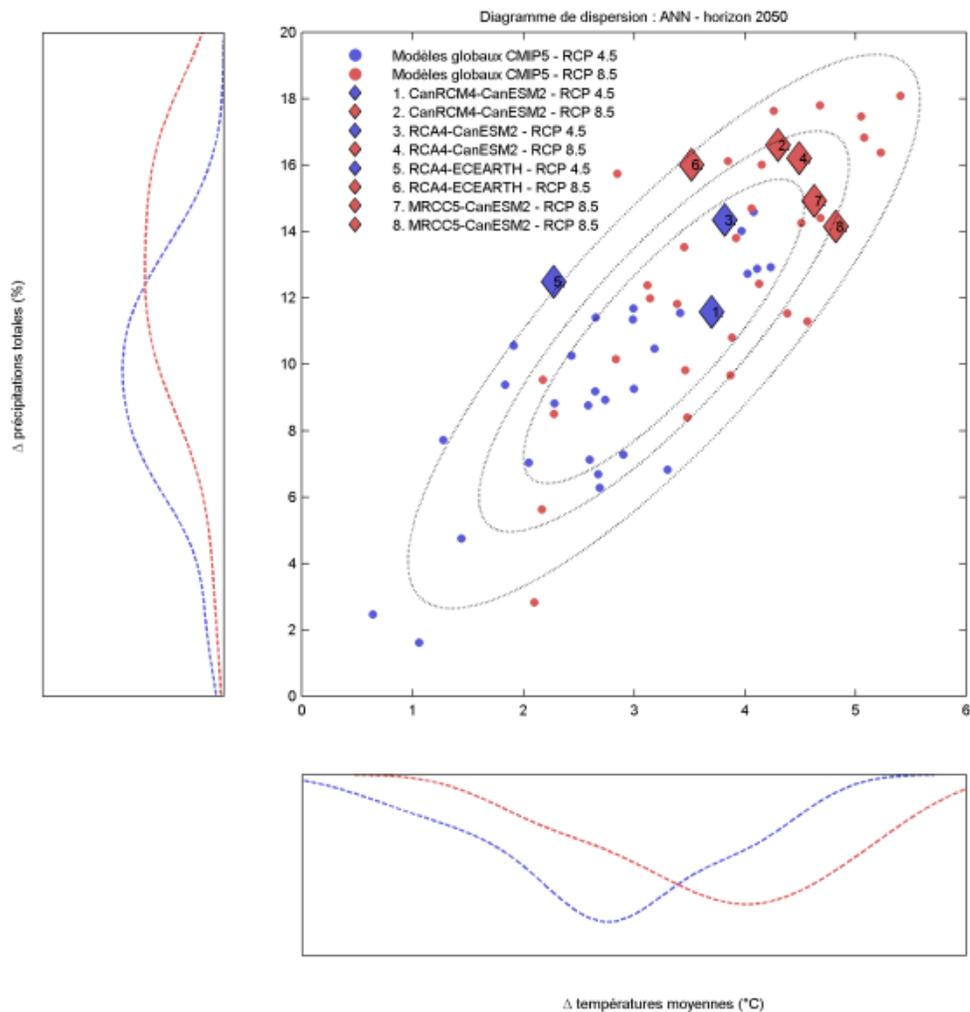
Tableau 1. Simulations régionales du climat sélectionnées et leurs informations associées de pilotage et de scénarios de gaz à effet de serre (RCP).

Modèle régional					Informations de pilotage		
MRC	centre	source	Id internes	Résolution native (°)	Modèle global	RCP	run
CANRCM4	CCCMA	CORDEX	-	0.44	CANESM2	RCP 4.5	r1i1p1
CANRCM4	CCCMA	CORDEX	-	0.44	CANESM2	RCP 8.5	r1i1p1
RCA4	SMHI	CORDEX	-	0.44	CANESM2	RCP 4.5	r1i1p1
RCA4	SMHI	CORDEX	-	0.44	CANESM2	RCP 8.5	r1i1p1
RCA4	SMHI	CORDEX	-	0.44	EC-EARTH	RCP 4.5	r1i1p1
RCA4	SMHI	CORDEX	-	0.44	EC-EARTH	RCP 8.5	r1i1p1
MRCC5	Ouranos	Ouranos	bbf/bbg	0.22	CANESM2	RCP 8.5	r1i1p1
MRCC5	Ouranos	Ouranos	bbh/bbi	0.22	CANESM2	RCP 8.5	r2i1p1



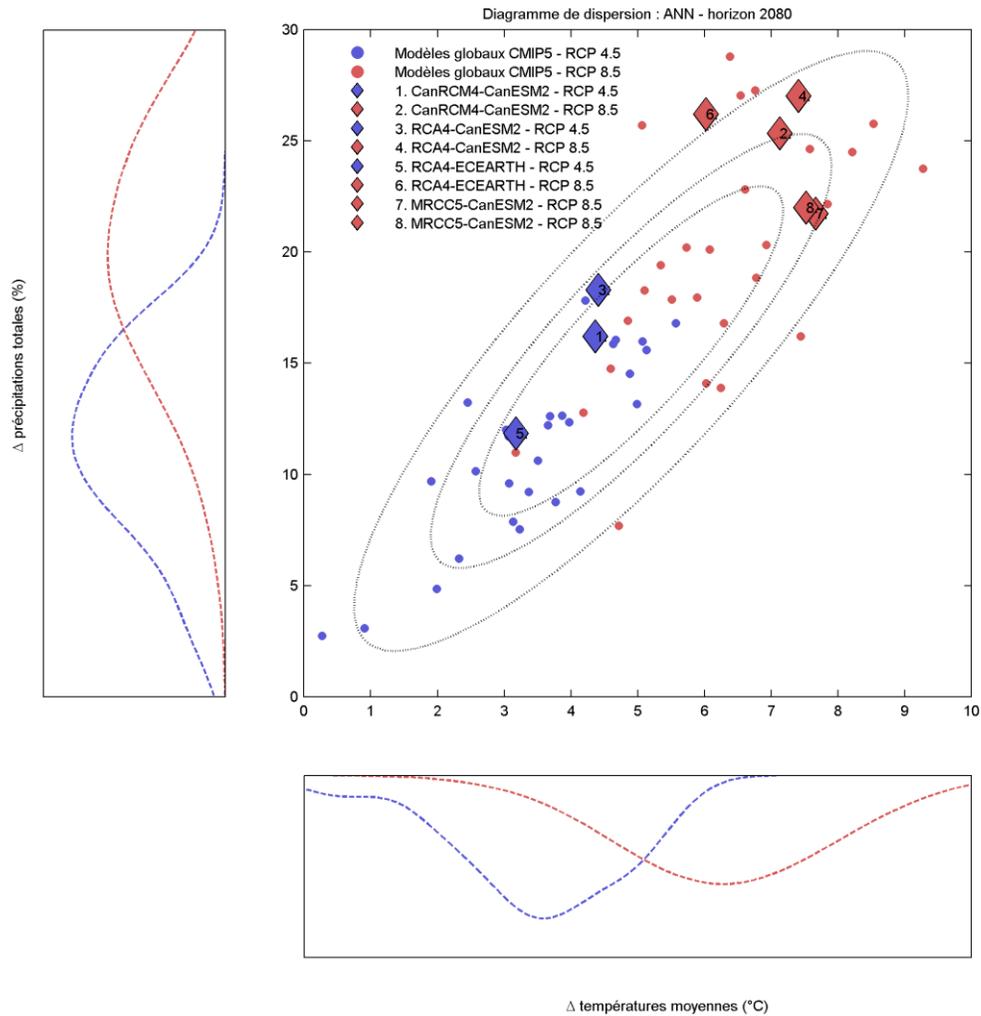
Couverture des incertitudes

Malgré l'inclusion de plusieurs simulations régionales pour le projet (Tableau 1), il est important de rappeler que l'ensemble de simulations régionales ne couvre qu'une partie des réponses climatiques plausibles couvertes par un plus grand ensemble modèles globaux tel que l'ensemble du Coupled Model Intercomparison Project – Phase 5 (CMIP5; Taylor, Stouffer, & Meehl, 2012). Cette couverture est illustrée à la Figure 2 pour les changements (Δ) de température et de précipitation à l'échelle annuelle.



a)





b)

Figure 2. Changements projetés de la température moyenne annuelle (°C) et des précipitations totales annuelles (%) pour la province du Québec. Les changements sont illustrés pour l'ensemble de simulations climatiques régionales sélectionné pour le projet (losanges), ainsi que pour l'ensemble de simulations globales CMIP5 (points), selon RCP4.5 et RCP8.5. Les distributions associées à l'ensemble CMIP5 sont montrées dans les illustrations à gauche et en bas. a) Δs horizon 2041-2070 par rapport à 1981-2005 b) Δs horizon 2071-2100 par rapport à 1981-2005.



MÉTHODOLOGIE

Une étape de post-traitement est habituellement requise afin de transformer des sorties brutes de simulations climatiques en information climatique utilisable (Charron, 2014). Il est important de noter que même si les modèles climatiques sont des représentations mathématiques du monde réel, ils produisent souvent un biais par rapport aux observations dans leur estimation des variables climatiques. De nombreuses techniques de post-traitement existent et leur description détaillée dépasse l'objectif de ce rapport. Par contre, une des méthodes les plus simples s'agit de la méthode des « deltas ». Cette méthode utilise une perturbation des données climatiques observées selon le changement relatif entre la période de référence simulée et la période future simulée d'une simulation donnée. Les changements relatifs, soit la différence ou le ratio, par rapport à la moyenne 1981-2005 sont d'abord calculés entre les conditions moyennes des périodes actuelles et futures. Ces changements sont ensuite appliqués aux séries temporelles observées pour créer des valeurs de scénarios climatiques futures.

Calcul des deltas

Pour chaque point de grille des simulations régionales, les deltas mensuelles sont calculés sur trois horizons futures, soit **2011-2040, 2041-2070 et 2071-2099**, par rapport à la période de référence **1981-2005**. Les deltas sont additifs ou multiplicatifs selon la variable tel qu'indiqué au Tableau 2. Tableau 2.

Tableau 2. Variables climatiques et leur type de delta : additif (+) ou multiplicatif (x)

	Radiation Solaire (W/m ²)	Température (°C)	Humidité spécifique (unitless)	Pression (Pa)	Vitesse du vent (ratio)	Précipitation (ratio)	Couverture nuageuse (%)
Type de Δ	+	+	+	+	x	x	+



Format des données

Les données sont sauvegardées en structure matlab, un format pratique pour grouper les données, permettant la présence de plusieurs champs ou variables dans un seul fichier (voir <http://www.mathworks.com/help/matlab/structures.html>).

Une description abrégée de la structure est présentée ci-dessous où les indentations indiquent le nom des champs et des sous-champs de la variable 'DeltasLacs'.

DeltasLacs [1x5 structures] : (5 structures contenant les deltas pour chaque MRC du tableau 1)

- **QC** (Δs pour la zone d'étude couvrant l'est du Canada – courbe noire Figure 1)
- **rcp45**: [1x1 struct] (parfois absent voir tableau 1)
 - **h2011_2040** (Δs horizon 2011-2040)
 - **tas**: (température moyenne)
 - data: [12x71x59 single] : Valeurs de Δs
 - longname: Description
 - units: unités des Δs
 - dimensions: {'month' 'I' 'J'} : Dimensions des champs 'data'
 - **pr**: (précipitations totales)
 - **sfcWind**: (vitesse du vent)
 - **clt**: (couverture nuageuse)
 - **huss**: (humidité spécifique)
 - **ps**: (pression)
 - **rsds**: (radiation solaire)
 - **h2041_2070** (Δs horizon 2041-2070)
 - Champs / structure comme 'h2011_2040'
 - **h2071_2099** (Δs horizon 2071-2099)
 - Champs / structure comme 'h2011_2040'
- **rcp85**: [1x1 struct] (parfois absent voir tableau 1)
 - Champs / structure comme 'rcp45'
- **run**: Description de la simulation (MRC et information du pilot global)
- **lon**:
 - data (valeurs longitudes : matrice 2-d)
- **lat**:
 - data (valeurs latitudes : matrice 2-d)
- **QCsmall** (Δs pour la zone d'étude couvrant seulement le Québec – courbe rouge Figure 1)
 - Champs / structure comme 'QC'

//////

Exemple d'application en Matlab

Le fichier « MappingExampleFuture_Deltas.m » contient un script où les deltas de températures sont appliqués aux observations mensuelles (une seule année dans ce cas) pour créer une année de scénario futur.

Le script pourrait ensuite être modifié pour calculer des valeurs pour plusieurs variables et années.

REFERENCES

Giorgi, F., C. Jones and G.R. Asrar, 2009: Addressing climate information needs at the region level: the CORDEX framework. WMO bulletin 58(3)175-183.
wcrpcordex.ipsl.jussieu.fr/images/pdf/cordex_giorgi_wmo.pdf

Martynov A, R Laprise, L Sushama, K Winger, L Separovic, B Dugas. 2013. Reanalysis-driven climate simulation over CORDEX North America domain using the Canadian Regional Climate Model, version 5: model performance evaluation. *Clim Dyn* 41:2973-3005. DOI 10.1007/s00382-013-1778-9.

Charron, I. (2014). *A guidebook on climate scenarios: using climate information to guide adaptation research and decisions*. Ouranos. https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/GuideCharron2014_EN.pdf

Taylor, K. E., Stouffer, R. J., & Meehl, G. a. (2012). An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4), 485–498. <http://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>

