

Tendances climatiques au Canada, de 1950 à 2007

**X. Zhang, R. Brown, L. Vincent, W. Skinner, Y. Feng
et E. Mekis¹**

**Biodiversité canadienne : état et tendances des
écosystèmes en 2010**

Rapport technique thématique n° 5

**Publié par les Conseils canadiens des ministres des
ressources**

¹ Tous les auteurs sont au service de la Division de la recherche climatique,
Environnement Canada

Catalogage avant publication de Bibliothèque et Archives Canada

Tendances climatiques au Canada, de 1950 à 2007.

Publ. aussi en anglais sous le titre :

Canadian climate trends, 1950-2007.

Monographie électronique en version PDF.

ISBN 978-1-100-97385-2

N° de cat. : En14-43/5-2011F-PDF

Le contenu de cette publication ou de ce produit peut être reproduit en tout ou en partie, et par quelque moyen que ce soit, sous réserve que la reproduction soit effectuée uniquement à des fins personnelles ou publiques, mais non commerciales, sans frais ni autre permission, à moins d'avis contraire.

On demande seulement :

- de faire preuve de diligence raisonnable en assurant l'exactitude du matériel reproduit;
- d'indiquer le titre complet du matériel reproduit et l'organisation qui en est l'auteur;
- d'indiquer que la reproduction est une copie d'un document officiel publié par le gouvernement du Canada et que la reproduction n'a pas été faite en association avec le gouvernement du Canada ni avec l'appui de celui-ci.

La reproduction et la distribution à des fins commerciales sont interdites, sauf avec la permission écrite de l'administrateur des droits d'auteur de la Couronne du gouvernement du Canada, Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (TPSGC). Pour de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec TPSGC au 613-996-6886 ou à droitdauteur.copyright@tpsgc-pwgsc.gc.ca.

Ce rapport devrait être cité comme suit :

Zhang, X., Brown, R., Vincent, L., Skinner, W., Feng, Y. et Mekis, E. 2011. Tendances climatiques au Canada, de 1950 à 2007. Biodiversité canadienne : état et tendances des écosystèmes en 2010, Rapport technique thématique n° 5. Conseils canadiens des ministres des ressources. Ottawa, (Ont.). iv + 22 p. <http://www.biodivcanada.ca/default.asp?lang=Fr&n=137E1147-1>

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2011

Also available in English

PRÉFACE

Les Conseils canadiens des ministres des ressources ont élaboré un Cadre axé sur les résultats en matière de biodiversité¹ en 2006 pour mettre l'accent sur les mesures de conservation et de restauration conformément à la *Stratégie canadienne de la biodiversité*². Le rapport *Biodiversité canadienne : état et tendances des écosystèmes en 2010*³ a été le premier rapport rédigé suivant ce cadre. Il permet d'évaluer les progrès réalisés en vue d'atteindre l'objectif du cadre, à savoir des « écosystèmes sains et diversifiés » et obtenir les deux résultats souhaités en matière de conservation : i) des écosystèmes productifs, résilients et diversifiés capables de se rétablir et de s'adapter et ii) la restauration des écosystèmes endommagés.

Les 22 constatations clés récurrentes présentées dans *Biodiversité canadienne : état et tendances des écosystèmes en 2010* sont issues de la synthèse et de l'analyse des rapports techniques préparés dans le cadre du présent projet. Plus de 500 experts ont participé à la rédaction et à l'examen de ces documents de base. Le présent document, *Tendances climatiques au Canada, de 1950 à 2007*, s'inscrit au nombre de plusieurs rapports préparés sur la situation et les tendances de thèmes nationaux intersectoriels. Il a été préparé et révisé par des experts du domaine d'étude et reflète les points de vue des auteurs.

Remerciements

Nous remercions les réviseurs de leurs commentaires pertinents ainsi que les membres de l'équipe du RETE de leur patience au cours du long et parfois pénible processus de production de la version finale des figures.

¹ Environnement Canada. 2006. Un cadre axé sur les résultats en matière de biodiversité pour le Canada. Conseils canadiens des ministres des ressources. Ottawa, ON. 8 p. <http://www.biodivcanada.ca/default.asp?lang=Fr&n=F14D37B9-1>

² Groupe de travail fédéral-provincial-territorial sur la biodiversité. 1995. Stratégie canadienne de la biodiversité : réponse du Canada à la Convention sur la diversité écologique. Environnement Canada, Bureau de la Convention sur la biodiversité. Ottawa, ON. 80 p. <http://www.biodivcanada.ca/default.asp?lang=Fr&n=560ED58E-1>

³ Les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux du Canada. 2010. Biodiversité canadienne : état et tendances des écosystèmes en 2010. Conseils canadiens des ministres des ressources. Ottawa, ON. vi + 148 p. <http://www.biodivcanada.ca/default.asp?lang=Fr&n=83A35E06-1>

Système de classification écologique – écozones⁺

Une version légèrement modifiée des écozones terrestres du Canada, décrite dans le *Cadre écologique national pour le Canada*⁴, a permis de déterminer les zones représentatives d'écosystèmes pour tous les rapports compris dans le présent projet. Les modifications comprennent : un ajustement des limites terrestres pour tenir compte des améliorations résultant des activités de vérification au sol; la fusion des trois écozones de l'Arctique en une seule écozone; l'utilisation de deux écoprovinces, à savoir le bassin intérieur de l'Ouest et la forêt boréale de Terre-Neuve; l'ajout de neuf zones marines représentatives d'écosystèmes; et l'ajout de l'écozone des Grands Lacs. Ce système de classification modifié est appelé « écozones⁺ » dans ces rapports afin d'éviter toute confusion avec les « écozones » mieux connues du cadre initial⁵.



⁴ Groupe de travail sur la stratification écologique. 1995. *Cadre écologique national pour le Canada*. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Direction générale de la recherche, Centre de recherches sur les terres et les ressources biologiques et Environnement Canada, Direction générale de l'état de l'environnement, Direction de l'analyse des écozones. Ottawa/Hull, ON. 144 p. Rapport et carte nationale 1/7 500 000.

⁵ Rankin, R., Austin, M. et Rice, J. 2011. *Système de classification écologique pour le Rapport sur l'état et les tendances des écosystèmes*. Biodiversité canadienne : état et tendances des écosystèmes en 2010, Rapport technique thématique n° 1. Conseils canadiens des ministres des ressources. Ottawa, ON.

<http://www.biodivcanada.ca/default.asp?lang=Fr&n=137E1147-1>

Table des matières

PRÉFACE	I
Remerciements	i
Système de classification écologique – écozones ⁺	ii
LISTE DES FIGURES	III
INTRODUCTION	1
DONNÉES	1
ANALYSE DES TENDANCES	4
Température	5
Précipitations	8
Sécheresse	12
Neige et glace	13
Changements quant au régime hydrologique	17
Changements quant à la saison de croissance	17
RÉSUMÉ	20
RÉFÉRENCES	21

Liste des figures

Figure 1. Variation des températures annuelles moyennes, de 1950 à 2007.	5
Figure 2. Variation des températures moyennes a) au printemps (mars, avril, mai), b) en été (juin, juillet, août), c) en automne (septembre, octobre, novembre) et d) en hiver (décembre, janvier, février), de 1950 à 2007.	7
Figure 3. Variation des quantités de précipitations annuelles, de 1950 à 2007, exprimée en pourcentage de la moyenne de 1961 à 1990.	8
Figure 4. Variation des quantités de précipitations, de 1950 à 2007, a) au printemps (de mars à mai), b) en été (de juin à août), c) en automne (de septembre à novembre) et d) en hiver (de décembre à février), exprimée en pourcentage de la moyenne de 1961 à 1990.	9
Figure 5. Variation du nombre de jours avec précipitations, de 1950 à 2007.	10
Figure 6. Variation relative au nombre de jours avec précipitations, de 1950 à 2007, a) au printemps (de mars à mai), b) en été (de juin à août), c) en automne (de septembre à novembre) et d) en hiver (de décembre à février).	11
Figure 7. Variation relative à l'indice de sévérité de sécheresse de Palmer (ISSP) pour la période estivale (de juin à août), de 1950 à 2007.	12
Figure 8. Variation relative au nombre de jours avec une hauteur de neige sur le sol supérieure ou égale à 2 cm, de 1950 à 2007, a) pendant la première moitié de la saison de neige (d'août à janvier), indiquant des changements dans la date de début de la couverture de neige, et b) pendant la deuxième moitié de la saison de neige (de février à juillet), indiquant des changements dans la date de fin de la couverture de neige.	14

Figure 9. Variation relative à l'épaisseur maximale annuelle de la neige, de 1950 à 2007.	15
Figure 10. Variation absolue liée à la proportion de neige par rapport au total des précipitations au Canada, de 1950 à 2007.....	15
Figure 11. Tendances relatives à la date de dégel des lacs au Canada, de 1950 à 2005.....	16
Figure 12. Variation de la durée de la saison de croissance, de 1950 à 2007.	18
Figure 13. Variation liée à la date de début de la saison de croissance au Canada, de 1950 à 2007.	18
Figure 14. Variation du nombre de degrés-jours de croissance réelle (une mesure de la chaleur accumulée pendant la saison de croissance), de 1950 à 2007.	19

INTRODUCTION

Le climat se définit comme le comportement à long terme des conditions météorologiques. Il comprend non seulement les conditions météorologiques moyennes, mais aussi les variations et les conditions extrêmes. Tout comme les conditions météorologiques qui diffèrent d'un jour à l'autre, le climat fluctue lui aussi d'une période à l'autre. Ainsi, le climat peut changer naturellement, comme c'est le cas lorsque les périodes glaciaires viennent et s'en vont. Au cours des cent dernières années environ, le climat mondial a considérablement changé. Toutefois, contrairement à la variation naturelle du climat, les changements climatiques observés au cours du siècle dernier révèlent une importante composante provoquée par l'homme qui est détectable (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007). De plus, les changements se produisent à un rythme plus rapide que ce que nous avons connu dans le passé, et ils surviennent à un rythme trop rapide pour que certains écosystèmes puissent s'adapter. En fait, les changements généralisés dans les degrés de température et ceux concernant d'autres aspects du système climatique touchent désormais beaucoup de systèmes physiques et biologiques sur tous les continents (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007). Le climat du Canada a également connu des changements rapides relativement aux degrés de température, aux précipitations et aux régimes hydrométéorologiques, ainsi que dans la couverture de neige et de glace au cours des dernières décennies, ce qui a entraîné des conséquences importantes pour les écosystèmes.

Les tendances présentées dans le présent rapport ont été préparées en tant que document d'information dans le cadre du premier rapport intitulé *Biodiversité canadienne : état et tendances des écosystèmes en 2010*. De plus, les tendances liées aux variables climatiques à l'échelle régionale ont été préparées pour chaque rapport technique portant sur les écozones* terrestres. Il est important de noter que l'objectif de ce rapport particulier était de fournir des renseignements sur le rythme et le caractère spatial des changements concernant des variables climatiques importantes enregistrées à l'échelle du Canada, plutôt que de fournir une évaluation des répercussions des changements climatiques. Les tendances observables en fait de changements climatiques ont été analysées et les résultats en ont été publiés récemment. Le présent rapport fait référence aux publications pertinentes. Le matériel présenté dans le rapport est préliminaire. Une version plus détaillée de ce document mettant davantage l'accent sur les causes de la variabilité et des tendances climatiques observées est en cours de préparation à des fins de publication.

DONNÉES

Les données climatiques sont des renseignements obtenus sur des conditions météorologiques ayant fait l'objet d'observations. Elles sont relevées à des sites et à des moments précis au moyen d'instruments particuliers, et conformément à des procédures standard. Par conséquent, un ensemble de données reflète non seulement des conditions météorologiques, mais il met également en évidence d'autres facteurs qui ne sont pas nécessairement liés au climat, comme le

lieu des observations et la manière dont ces dernières ont été effectuées. Par exemple, une modification quant aux procédures d'observation ou aux instruments utilisés peut entraîner un changement de nature non climatique dans des séries de données. Afin d'obtenir des évaluations fiables sur les tendances climatiques, ces éléments artificiels intégrés aux données climatiques doivent être éliminés autant que possible en créant des séries de données homogénéisées. Par ailleurs, les tendances présentées dans cette section sont en grande partie basées sur des données homogénéisées.

Les données sur les températures utilisées dans les analyses provenaient de 210 stations réparties de façon relativement égale à travers le pays; elles ont été rigoureusement vérifiées et corrigées lorsque des erreurs systématiques étaient décelées (comme des changements concernant les stations, des modifications quant aux procédures d'observation et l'exclusion de certaines stations en raison des incidences importantes du réchauffement climatique urbain) (Vincent, 1998). Cet ensemble de données a été utilisé dans des études antérieures sur les changements de température au Canada et ses variations extrêmes de température (Zhang *et al.*, 2000; Bonsal *et al.*, 2001; Vincent et Mekis, 2006). Les renseignements liés à la tendance ont été récoltés entre 1950 et 2007 et les températures moyennes quotidiennes ont été calculées à partir de la moyenne entre les températures quotidiennes minimales et maximales.

Les données sur les précipitations qui ont été utilisées comportent des valeurs quotidiennes ajustées de pluie et de neige observées dans 495 stations réparties dans tout le pays (Mekis et Hogg, 1999). Toutes les inhomogénéités connues des données qui ont été occasionnées par des changements liés aux emplacements des stations et aux programmes de mesure des précipitations ont été soigneusement réduites au minimum. Le captage sous-évalué en raison du vent, la perte par infiltration, l'évaporation, les faibles chutes et la densité variable de la neige ont également été pris en compte dans la procédure d'ajustement. Un sous-ensemble issu de cet ensemble de données a été utilisé dans d'autres études afin d'examiner les changements qui surviennent pendant de fortes précipitations au Canada (Zhang *et al.*, 2001b) et les tendances qui correspondent à l'intensité des précipitations au Canada (Vincent et Mekis, 2006). Les variables choisies pour analyser les tendances sont les précipitations annuelles et saisonnières totales, la proportion de précipitations annuelles qui tombe sous forme solide (exprimée en pourcentage) et le nombre de jours avec précipitations mesurables (quantités supérieures aux chutes négligeables).

L'information sur les tendances et la variabilité relatives à la couverture de neige était issue d'observations quotidiennes liées à l'épaisseur de neige effectuées aux stations météorologiques et synoptiques. Des observations relatives à l'épaisseur de la couche de neige mesurées manuellement par règle ont été effectuées à la plupart des stations synoptiques du Canada depuis le milieu des années 50 environ. Le programme d'observation quotidien a été élargi pour s'appliquer aux stations climatologiques (coopérative) au début des années 80, ce qui a eu pour effet de multiplier par quatre environ le nombre de stations du réseau canadien, lequel atteint maintenant approximativement 2 000 stations. Toutefois, seulement 150 stations environ disposent de données plus ou moins complètes depuis 1950 pouvant servir au suivi des changements liés à l'état de la couverture de neige au Canada. Les données de ce rapport sont issues d'une récente mise à jour de données effectuée sur la couverture de neige au Canada

(Service météorologique du Canada, 2000). Elle comporte des anciennes données qui n'ont jamais été numérisées sur l'épaisseur de la neige au Canada, et présente la reconstitution des valeurs manquantes selon Brown et Braaten (1998). Seules les stations disposant de données couvrant 47 années ou plus ont été incluses dans l'analyse, et les tendances ont été réalisées pendant 57 saisons de neige, soit de 1950-1951 à 2006-2007. Il convient de souligner que la plupart des observations quotidiennes d'épaisseur de neige sont effectuées dans des sites ouverts de régions peuplées, ou près de ces dernières. Il se peut donc que ces observations ne soient pas représentatives de la couverture de neige située aux alentours de ces régions, en particulier dans les endroits où les terrains se trouvent en hautes altitudes (p. ex. en Colombie-Britannique et en Alberta) et avec un couvert forestier, puisque la neige sur les terrains dégagés tend à fondre plus rapidement que celle située dans les zones de végétation. De plus, la répartition des stations, fortement détournée vers les latitudes sud, entraîne d'importantes lacunes dans les données pour les zones situées au-dessus du 55^e parallèle nord. Les variables relatives à la couverture de neige indiquées dans le présent rapport correspondent à la durée de la couverture de neige (DCN) définie comme étant le nombre de jours comportant 2 cm ou plus de neige au sol, pendant une année de neige, du mois d'août jusqu'au mois de juillet, et présentant l'épaisseur maximale annuelle de neige. La DCN est calculée durant l'automne (d'août à janvier) et le printemps (de février à juillet), soit durant l'année de neige divisée en deux périodes, ce qui permet de fournir des données correspondant aux changements occasionnés par l'arrivée et la fonte de la couverture de neige. Une évaluation de l'homogénéité des observations quotidiennes portant sur l'épaisseur de la neige a été effectuée par Brown et Braaten (1998) et ils ont détecté peu de valeurs non homogènes.

Le moment auquel surviennent la formation et la fonte des glaces constitue un indicateur important des conditions climatiques. La phénologie des glaces consiste à faire le suivi et à analyser la couverture et le dégagement des glaces. Les données historiques canadiennes sur la phénologie des glaces ont été archivées dans la base de données des glaces de lac du Canada (Canadian Lake Ice Database) élaborée par Lenormand *et al.* (2002), en fonction de programmes d'observation de glaces gérés par le Service météorologique du Canada (SMC) et le Service canadien des glaces (SCG). Certaines données supplémentaires provenant du programme bénévole Veille au gel ont été ajoutées (Attention glace, 2008a). Bien que la base de données renferme un nombre considérable d'observations, les sites qui effectuent des observations en continu sur plusieurs décennies en vue de réaliser une analyse de la tendance sont relativement peu nombreux. De plus, certains programmes d'observation ont pris fin dans beaucoup de sites au cours des années 90. Par conséquent, le présent rapport reposera principalement sur les résultats des analyses publiées sur les tendances qui ont été établies à partir des données canadiennes sur la phénologie des glaces fournies par Zhang *et al.* (2001a) et Duguay *et al.* (2006). Il reposera également sur des résultats plus récents obtenus de l'analyse de Latifovic et Pouliot (2007) qui se sont servis de l'imagerie visible par satellite pour étendre les données sur la phénologie des glaces à environ 40 lacs situés dans tout le Canada.

La disponibilité de l'eau est toujours importante pour les écosystèmes, en particulier dans les régions relativement sèches. Dans le cadre de cette analyse, l'indice de sévérité de sécheresse de Palmer (ISSP) a été utilisé en tant qu'indice de la disponibilité de l'eau et a été mesuré à partir

des données observées sur les températures et les précipitations. L'ISSP reflète les changements à long terme quant à l'humidité, le ruissellement, l'alimentation, la percolation profonde et l'évaporation et il sert à analyser les sécheresses pendant des périodes se prolongeant sur des mois ou des saisons. Une valeur positive indique un temps humide, tandis qu'une valeur négative suggère des conditions de sécheresse. La modélisation de l'ISSP requiert des observations concomitantes effectuées au même endroit portant sur des températures atmosphériques moyennes et sur des précipitations totales. L'ISSP a été calculé à partir d'ensembles de données historiques ajustées relatives aux températures et aux précipitations décrites ci-dessus pour 80 stations disposant de données plus ou moins complètes sur les températures et les précipitations entre 1950 et 2007.

La disponibilité de la chaleur nécessaire à la croissance végétale a été étudiée en calculant le nombre de degrés-jours de croissance pendant la saison de croissance. Le début de la saison de croissance correspond à la date à laquelle les températures moyennes sont supérieures à 5 °C pendant 5 jours consécutifs au printemps et à la fin de la saison de croissance lorsque la situation s'inverse. La température moyenne calculée sur cette période correspond au nombre de degrés-jours de croissance et a été évaluée à toutes les stations mesurant la température.

ANALYSE DES TENDANCES

Afin de comparer de façon systématique les stations à travers différentes régions climatiques, et pour rendre les séries de données climatiques établies à l'échelle régionale moins sensibles aux changements effectués dans la répartition spatiale des stations dans une région donnée au fil du temps, les variables climatiques ont été exprimées en tant qu'anomalies par rapport à une période de référence couvrant 1961 à 1990. Dans le cas des températures, les analyses des tendances ont été menées sur les écarts de températures (ou sur des anomalies) par rapport à la période de référence de 1961 à 1990. En ce qui concerne les précipitations, les analyses de tendances ont été réalisées sur les anomalies exprimées en pourcentage de la moyenne obtenue entre 1961 et 1990. Les variables relatives à la couverture de neige n'ont pas été converties en anomalies puisque les résultats n'ont visiblement pas été influencés par l'utilisation des anomalies ou celle des valeurs brutes.

Les tendances liées aux données climatiques sont évaluées à l'aide de l'estimateur de pentes basé sur le tau de Kendall (Sen, 1968), d'après Zhang *et al.* (2000). Cette méthode est moins touchée par les effets d'érosion que les méthodes conventionnelles des moindres carrés; de plus, elle permet une évaluation plus fiable de l'importance statistique de la tendance. Tout au long du présent document, une tendance est considérée comme importante si elle est statistiquement significative au seuil de 5 % et elle est indiquée par un triangle plein sur les cartes. L'orientation du triangle définit la tendance. Par exemple, des triangles orientés vers le haut indiquent des tendances positives, et inversement. Afin de fournir la meilleure couverture spatiale possible dans tout le pays et durant la plus longue période de couverture de données, les tendances ont été établies pour la période de 1950 à 2007. Peu d'observations ont été réalisées avant 1950 dans le nord du Canada.

Il est important de noter que les cartes nationales présentées ici n'indiquent que l'intensité et la direction des *changements moyens* entre 1950 et 2007. Les caractéristiques temporelles de variabilité et les changements quant aux diverses variables pendant cette même période sont présentés et étudiés dans chaque rapport technique sur les écozones⁺ terrestres.

Température

Les tendances relatives aux températures atmosphériques moyennes quotidiennes (Figure 1) sont dominées par d'importantes hausses qui ont pu être observées dans la plupart des régions du Canada. La température annuelle moyenne a augmenté d'environ 1,4 °C dans l'ensemble du pays, bien que le degré du changement de température soit différent selon les écozones⁺ (non indiqué). Le réchauffement le plus important (> 1,5 °C) s'est produit dans l'ouest et le nord-ouest du Canada, tandis que le réchauffement le moins important (< 0,5 °C) a eu lieu dans l'est du Canada. D'une manière générale, d'autres régions du Canada ont subi un réchauffement des températures atmosphériques annuelles moyennes entre 1 et 2 °C.

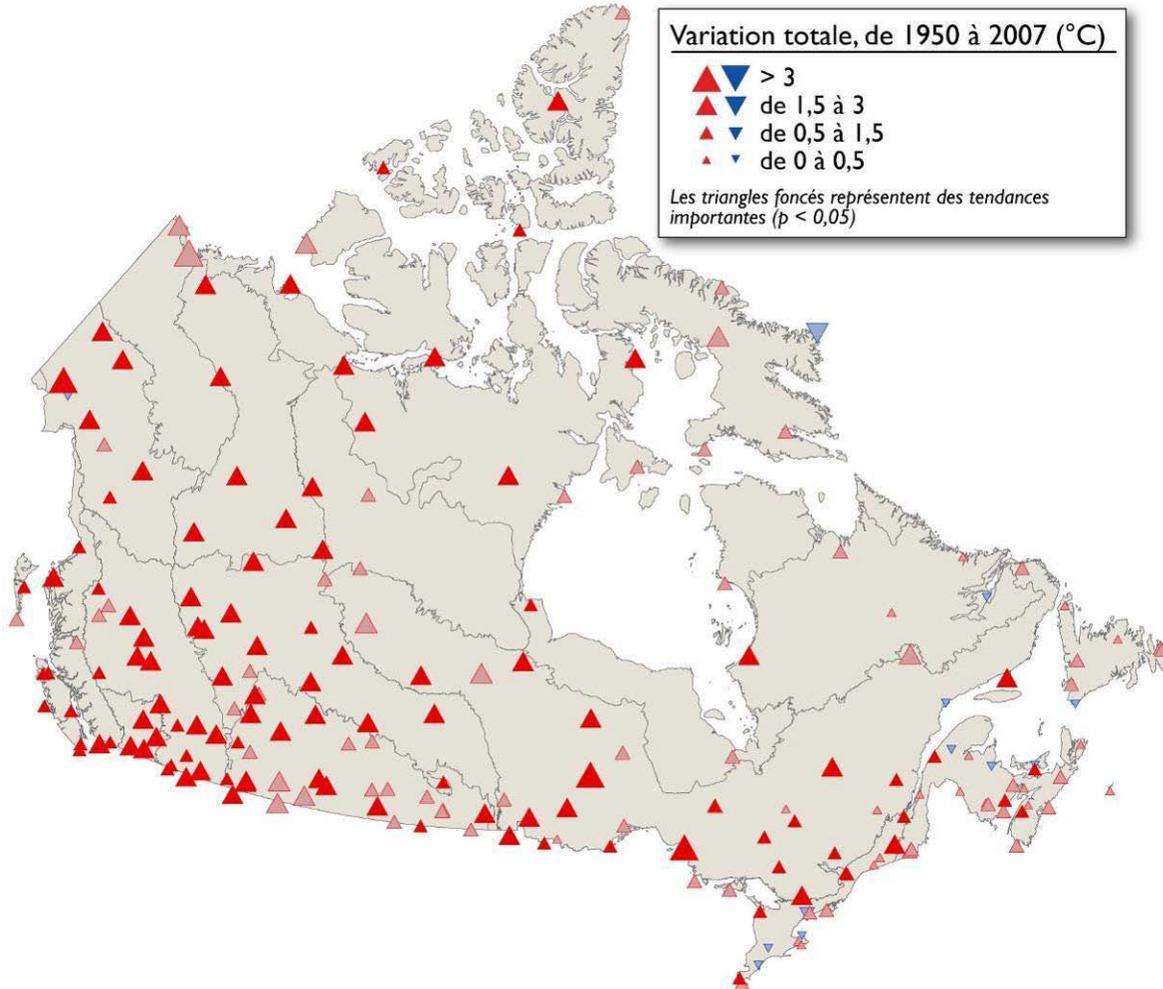


Figure 1. Variation des températures annuelles moyennes, de 1950 à 2007.

Le changement des températures diffère également d'une saison à l'autre (Figure 2). Des tendances de réchauffement significatives sont plus fréquemment observées en hiver et au printemps, avec un réchauffement important concentré dans l'Ouest canadien. Un grand nombre de stations montrent des signes de refroidissement en automne, mais aucun de ces derniers n'est important; les seules stations indiquant des tendances prépondérantes en automne sont celles qui montrent des signes de réchauffement dans le nord du Canada. De même, en été, les seules tendances considérables sont liées au réchauffement et ces stations tendent à être situées dans le sud du Canada. Des analyses de températures quotidiennes extrêmes indiquent des tendances qui correspondent à un réchauffement, comme l'indique la diminution du nombre de nuits et de journées froides ainsi que des jours de gel, et l'augmentation du nombre de nuits et de journées chaudes (Bonsal *et al.*, 2001; Vincent et Mekis, 2006). Zhang *et al.* (2006) ont pu constituer la preuve que l'augmentation des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre occasionnés par l'activité humaine contribuait à la hausse des températures au Canada.

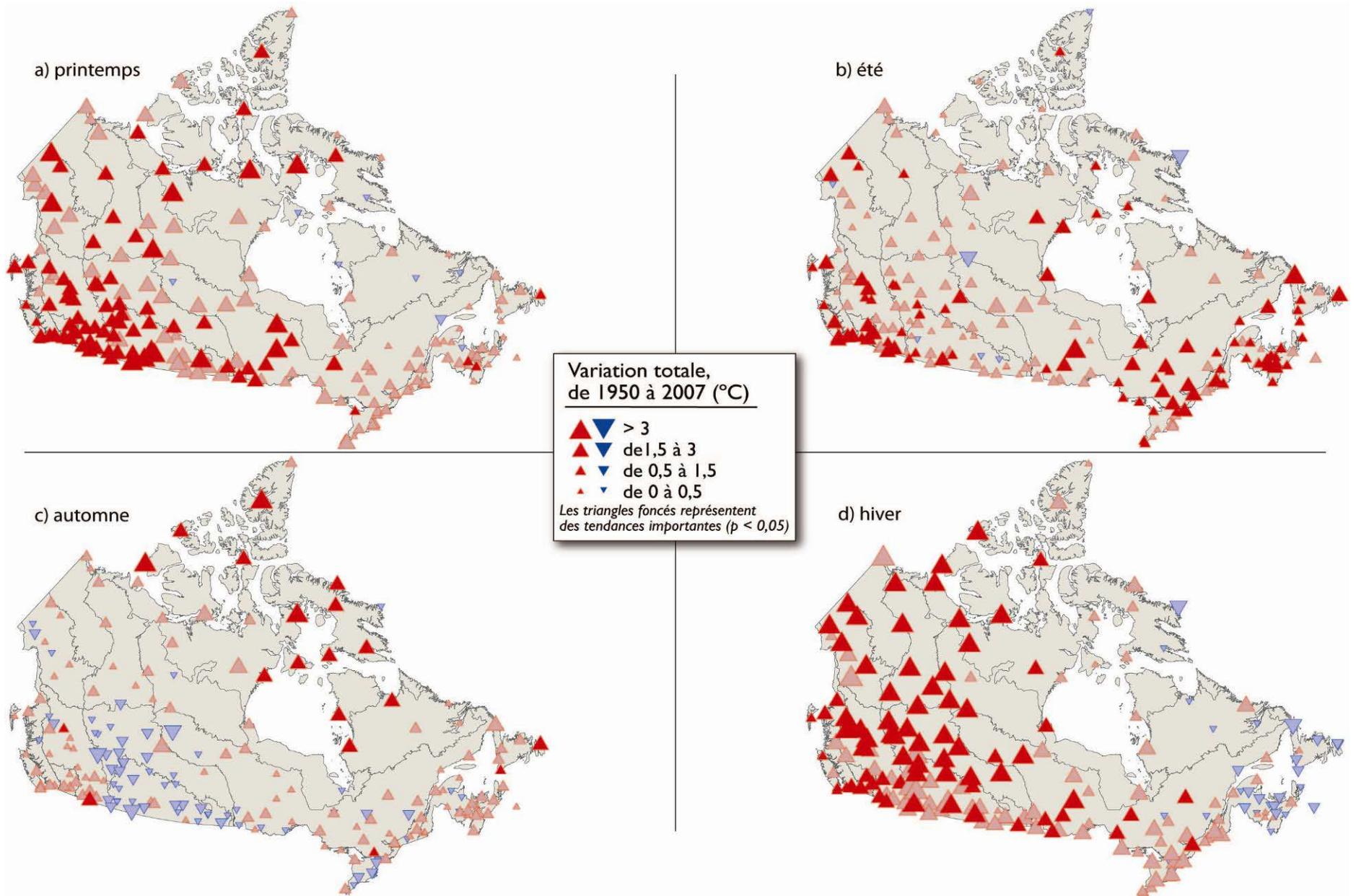


Figure 2. Variation des températures moyennes a) au printemps (mars, avril, mai), b) en été (juin, juillet, août), c) en automne (septembre, octobre, novembre) et d) en hiver (décembre, janvier, février), de 1950 à 2007.

Précipitations

En général, les précipitations ont augmenté au Canada depuis 1950. La majorité des stations présentent donc des tendances à la hausse qui sont marquées (Figure 3). C'est dans le nord du Canada, où la majorité des stations présentent des hausses considérables, que l'accroissement des tendances est plus constant. En ce qui concerne les précipitations saisonnières, les tendances à l'échelle régionale ne sont pas faciles à interpréter pour les stations présentant des changements importants (Figure 4), à l'exception de celles situées dans le sud-ouest et le sud-est du Canada, dont les baisses importantes semblent se concentrer en hiver. De même, l'augmentation des précipitations dans les régions arctiques semble se produire toutes les saisons, sauf en été. Les précipitations qui tendent à augmenter s'accompagnent d'une hausse des quantités de précipitations extrêmes quotidiennes pendant la saison de croissance (Qian *et al.*, 2010).

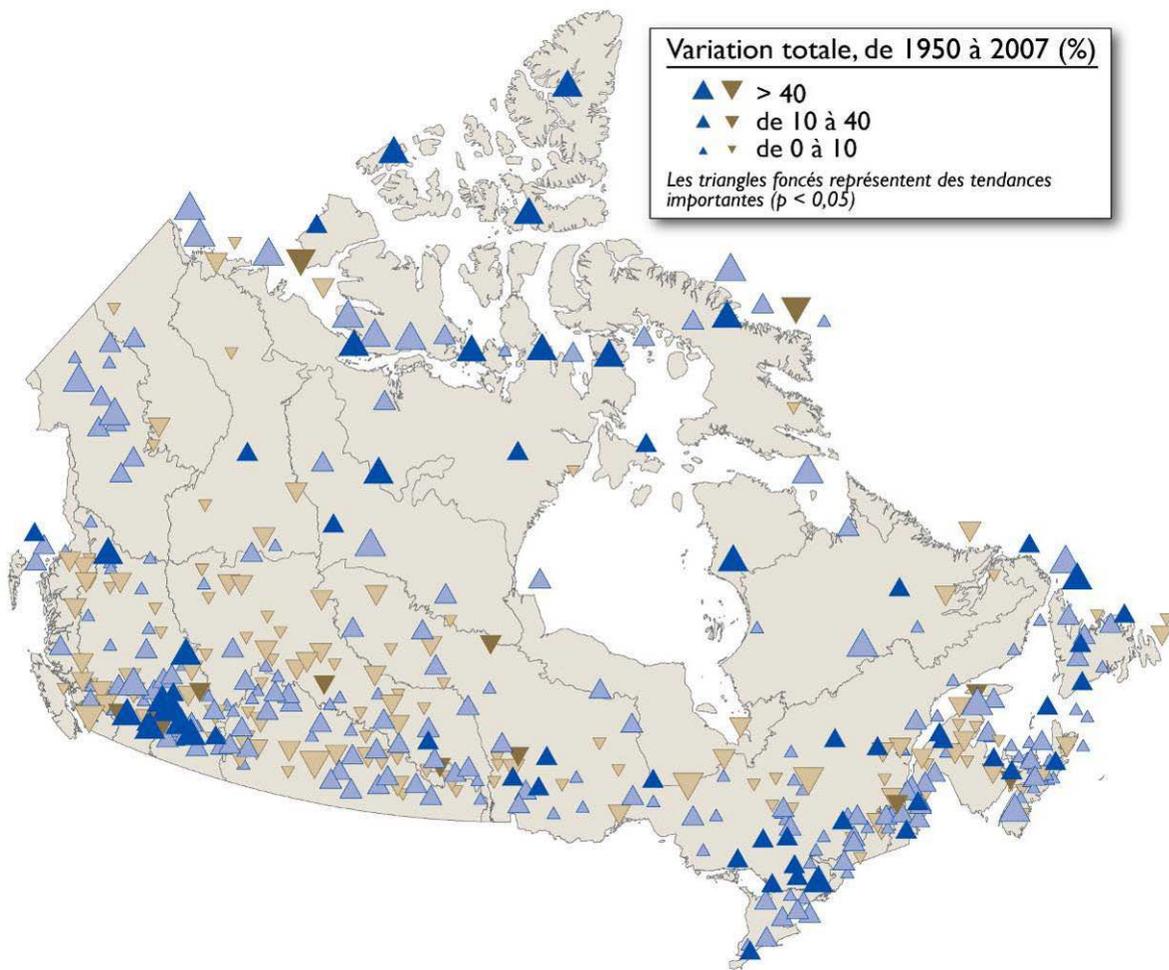


Figure 3. Variation des quantités de précipitations annuelles, de 1950 à 2007, exprimée en pourcentage de la moyenne de 1961 à 1990.

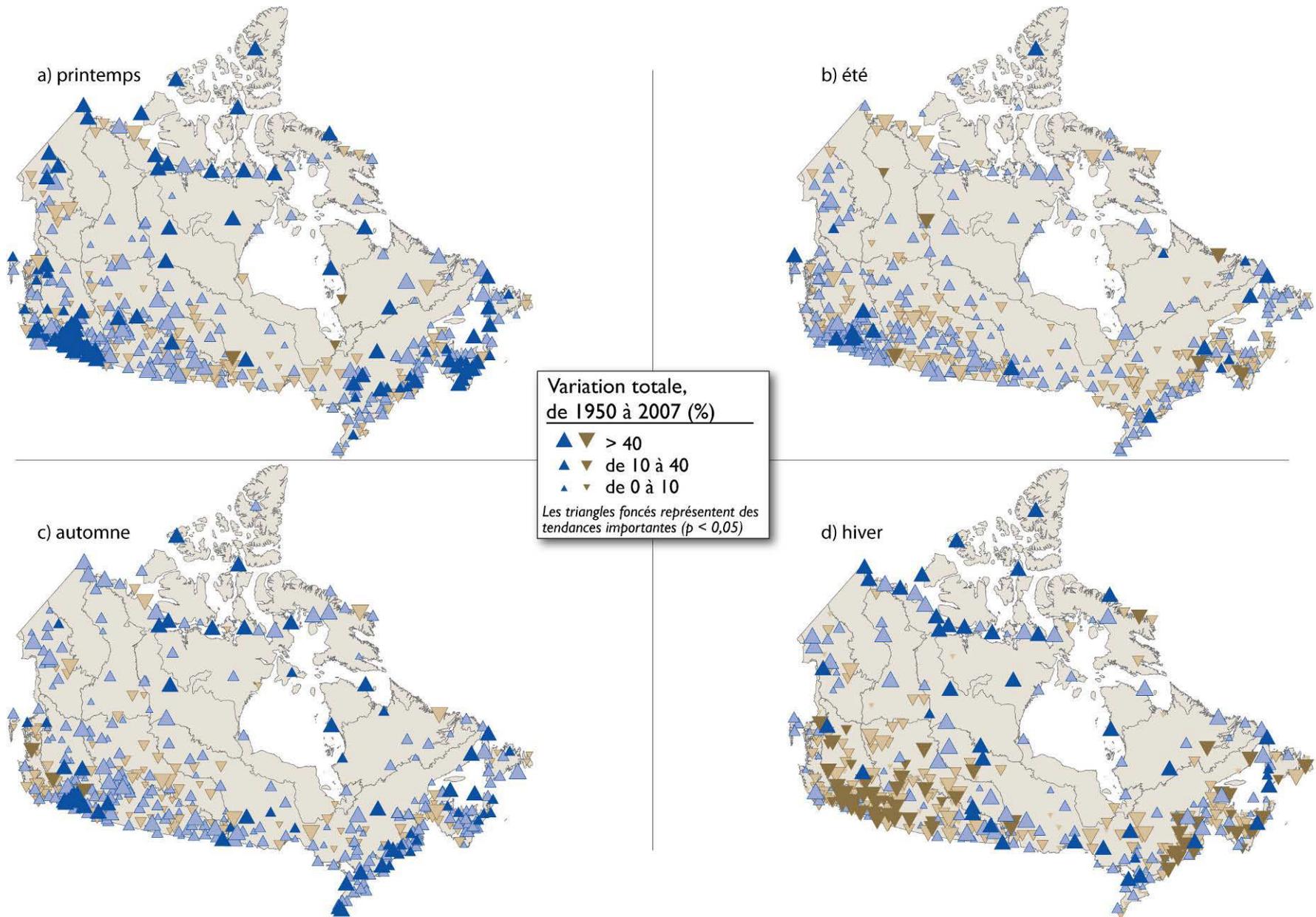


Figure 4. Variation des quantités de précipitations, de 1950 à 2007, a) au printemps (de mars à mai), b) en été (de juin à août), c) en automne (de septembre à novembre) et d) en hiver (de décembre à février), exprimée en pourcentage de la moyenne de 1961 à 1990.

Les tendances relatives au nombre annuel de jours avec précipitations mesurables (Figure 5) suivent le même schéma que les tendances liées aux précipitations annuelles totales, mais avec un plus grand nombre de stations présentant des augmentations et des diminutions importantes. Ces variations sont particulièrement évidentes en été, où l'on peut observer des hausses considérables quant au nombre de jours avec précipitations dans la plupart des régions du Canada (Figure 6).

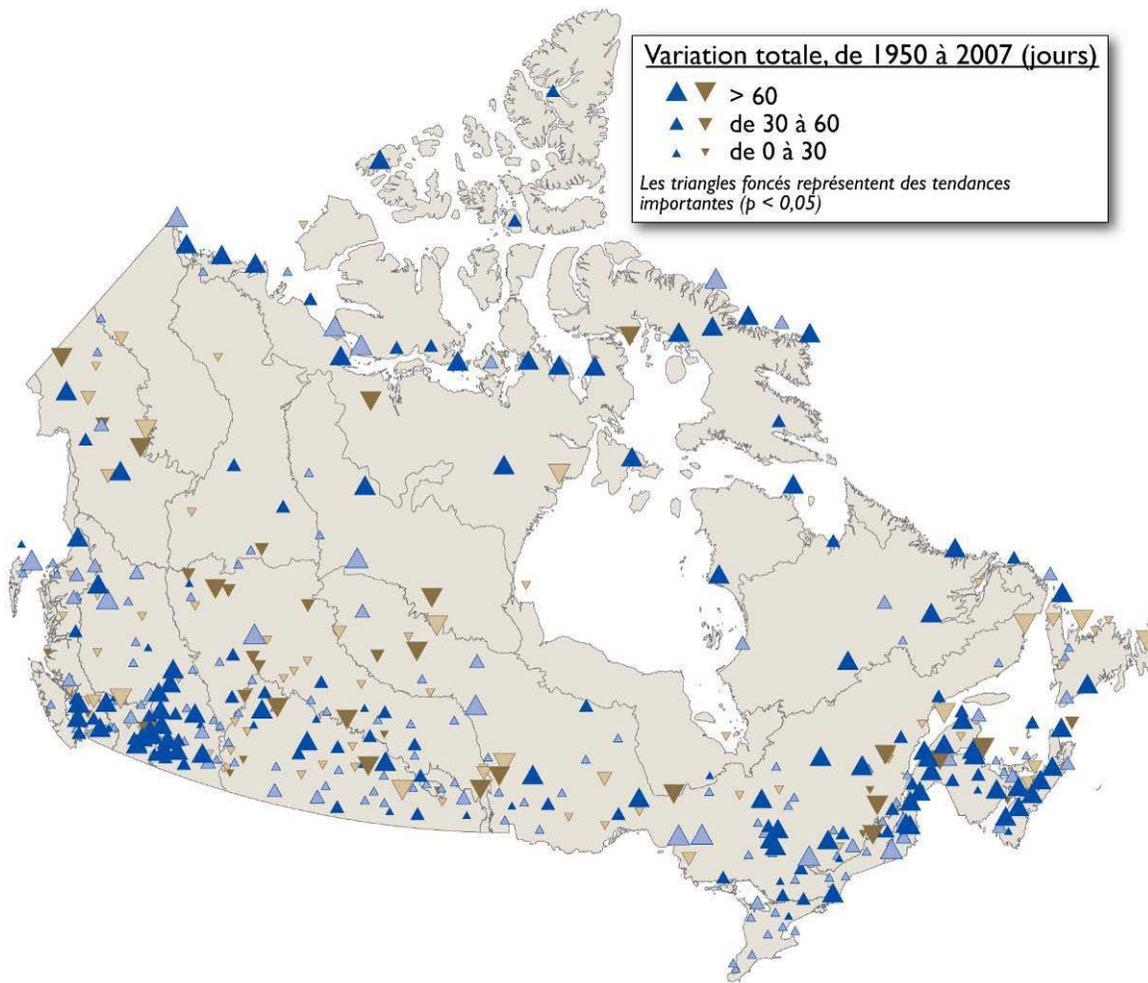


Figure 5. Variation du nombre de jours avec précipitations, de 1950 à 2007.

Il est difficile de généraliser un schéma spatial en ce qui concerne les tendances des précipitations sans tenir compte du fait que les stations présentant de fortes augmentations dans la quantité de précipitations et le nombre de jours avec précipitations ont tendance à être situées dans les régions côtières du sud ainsi que dans celles du nord du Canada. Bien que l'on ne sache pas encore ce qui provoque les changements liés aux précipitations au Canada, une étude récente d'Environnement Canada (Min *et al.*, 2008) a permis de mettre en évidence des influences anthropiques quant aux hausses de précipitation qui ont pu être observées dans les zones terrestres de l'hémisphère Nord, au nord du 55^e parallèle, y compris le Canada. De plus, la tendance relative aux stations des régions arctiques présentant des croissances importantes est conforme aux prévisions modélisées climatiques des changements à venir concernant les précipitations en hautes latitudes.

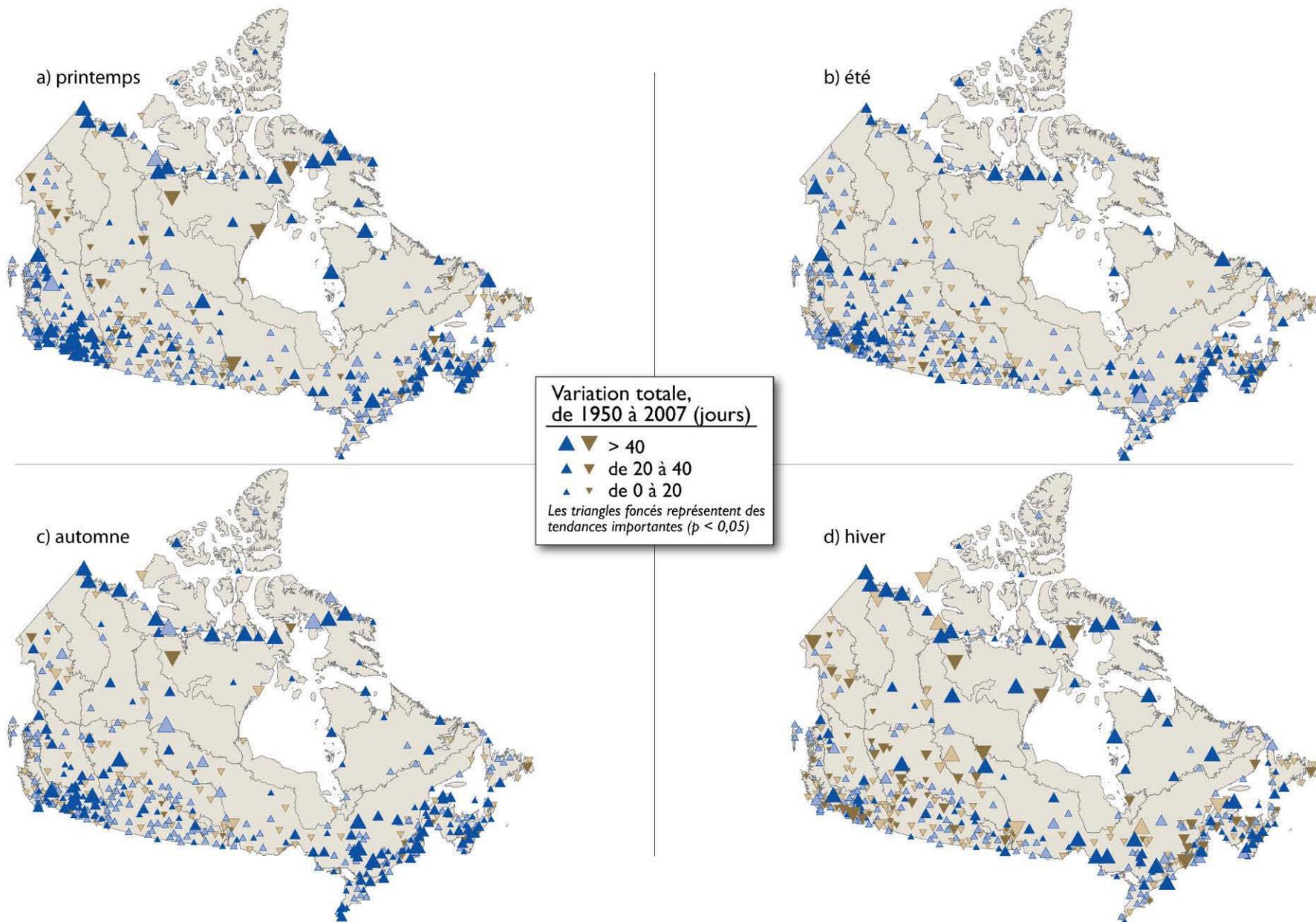


Figure 6. Variation relative au nombre de jours avec précipitations, de 1950 à 2007, a) au printemps (de mars à mai), b) en été (de juin à août), c) en automne (de septembre à novembre) et d) en hiver (de décembre à février).

Sécheresse

Les résultats de la tendance liée à l'indice de sévérité de sécheresse de Palmer (ISSP) pour la saison estivale de 1950 à 2007 (Figure 7) indiquent que les diminutions sont prédominantes et qu'un changement vers des conditions plus sèches a lieu. Cependant, seules 8 des 80 stations analysées ont révélé des changements importants concernant des diminutions se produisant principalement dans l'Ouest canadien et des augmentations dans l'est du Canada. L'ISSP est plus sensible aux températures qu'aux précipitations et les tendances correspondent au réchauffement observé en été, comme l'indique la Figure 2.

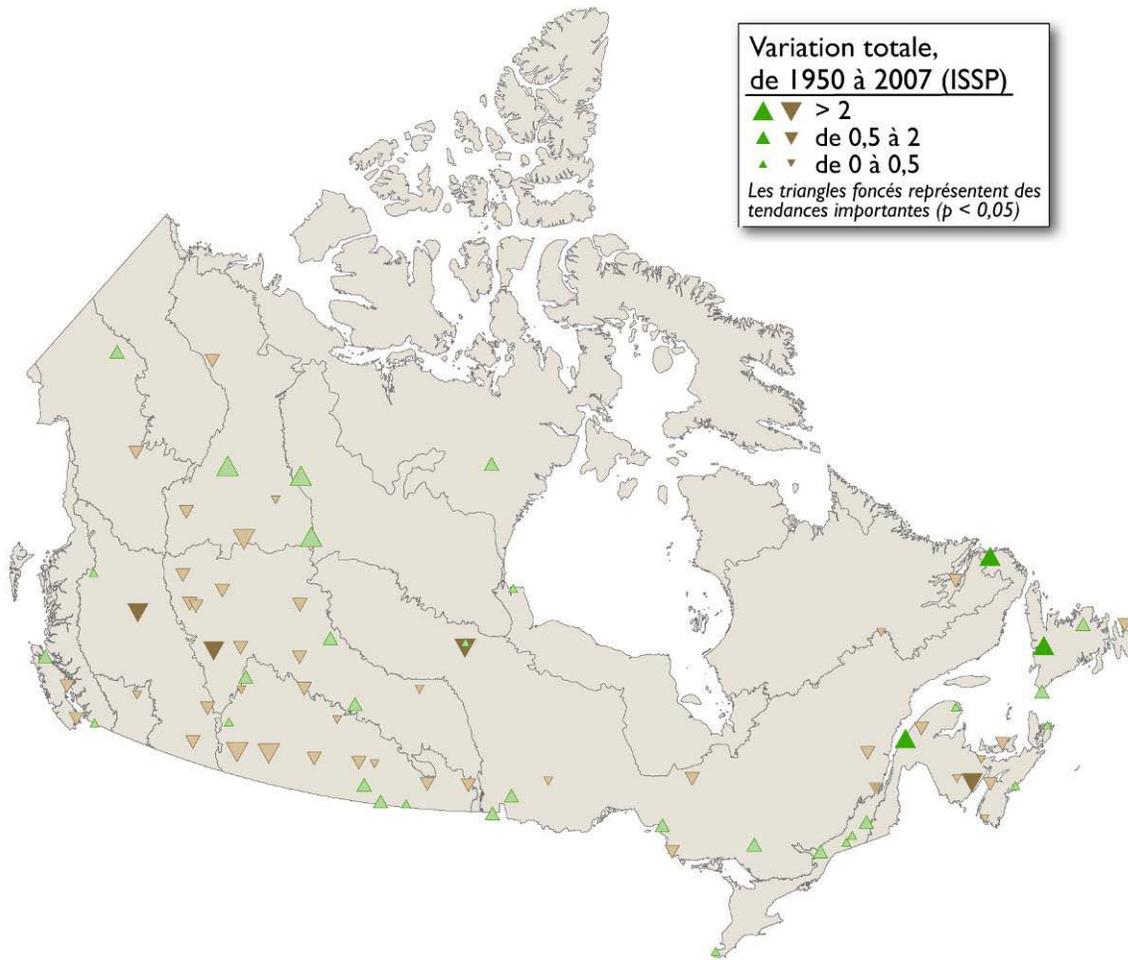
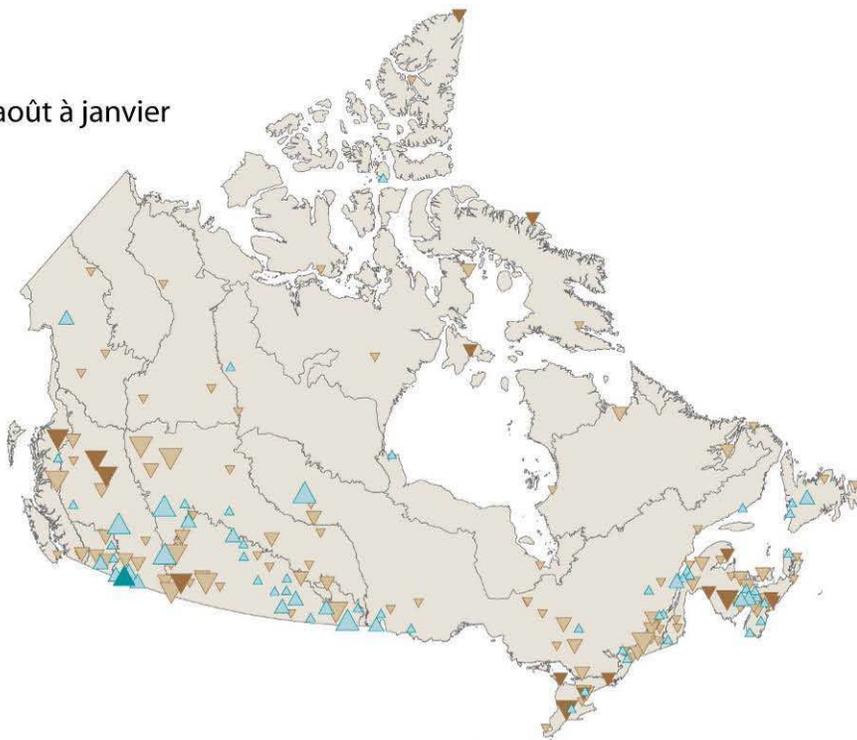


Figure 7. Variation relative à l'indice de sévérité de sécheresse de Palmer (ISSP) pour la période estivale (de juin à août), de 1950 à 2007.

Neige et glace

La variabilité et les tendances interannuelles quant à la durée de la couverture de neige et de glace sont étroitement liées aux températures atmosphériques pendant les périodes automnales et printanières. Les analyses des tendances portant sur la durée de la couverture de neige dans la première et la deuxième moitié de l'année de neige (définie du mois d'août au mois de juillet) (Figure 8) correspondent aux tendances de températures en automne et au printemps indiquées à la Figure 2. On peut y observer peu de changements de la couverture de neige pendant l'automne, mais en raison des températures plus chaudes au printemps des diminutions généralisées (39 % des stations) de celle-ci sont observées au printemps dans l'ouest et le nord du Canada. La tendance significative relative à la fonte précoce de la neige a déjà été documentée par Brown et Braaten (1998) et elle dénote une tendance de fonte précoce de la neige et de glace à l'échelle de l'hémisphère (Lemke *et al.*, 2007). L'épaisseur maximale de la couverture de neige indique également que, d'une manière générale, les valeurs ont tendance à être plus petites (Figure 9), mais moins considérables (19 % des stations) et elles sont moins cohérentes sur le plan spatial que les valeurs notées pour la durée de la couverture de neige au printemps. Dans le sud du Canada, la diminution des profondeurs maximales de la neige est due aux précipitations hivernales moins importantes (Figure 4d) et à la plus faible proportion de précipitations qui tombent sous forme de neige en raison du réchauffement durant l'hiver (Figure 2d et Figure 10). Les diminutions de l'épaisseur maximale relevées à certaines stations des régions arctiques sont difficiles à expliquer étant donné que ces régions ont subi, entre 1950 et 2007, une augmentation des précipitations ainsi qu'une plus forte proportion de précipitations tombant sous forme de neige, ce qui est également documenté dans Vincent et Mekis (2006); de plus, les modèles climatiques laissent entendre que l'accumulation maximale de la neige augmentera dans les hautes latitudes du Nord en raison du réchauffement planétaire (Brown et Mote, 2009).

d'août à janvier



Variation totale, de 1950 à 2007 (jours)

- ▲ ▼ > 20
- ▲ ▼ de 10 à 20
- ▲ ▼ de 0 à 10

Les triangles fencés représentent des tendances importantes ($p < 0,05$)

de février à juillet

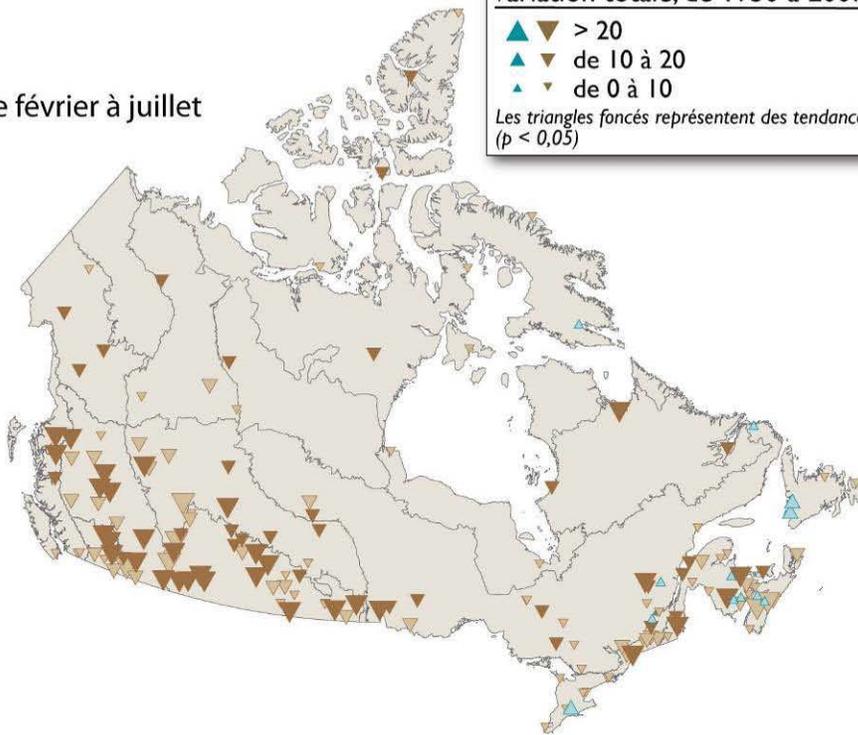


Figure 8. Variation relative au nombre de jours avec une hauteur de neige sur le sol supérieure ou égale à 2 cm, de 1950 à 2007, a) pendant la première moitié de la saison de neige (d'août à janvier), indiquant des changements dans la date de début de la couverture de neige, et b) pendant la deuxième moitié de la saison de neige (de février à juillet), indiquant des changements dans la date de fin de la couverture de neige.

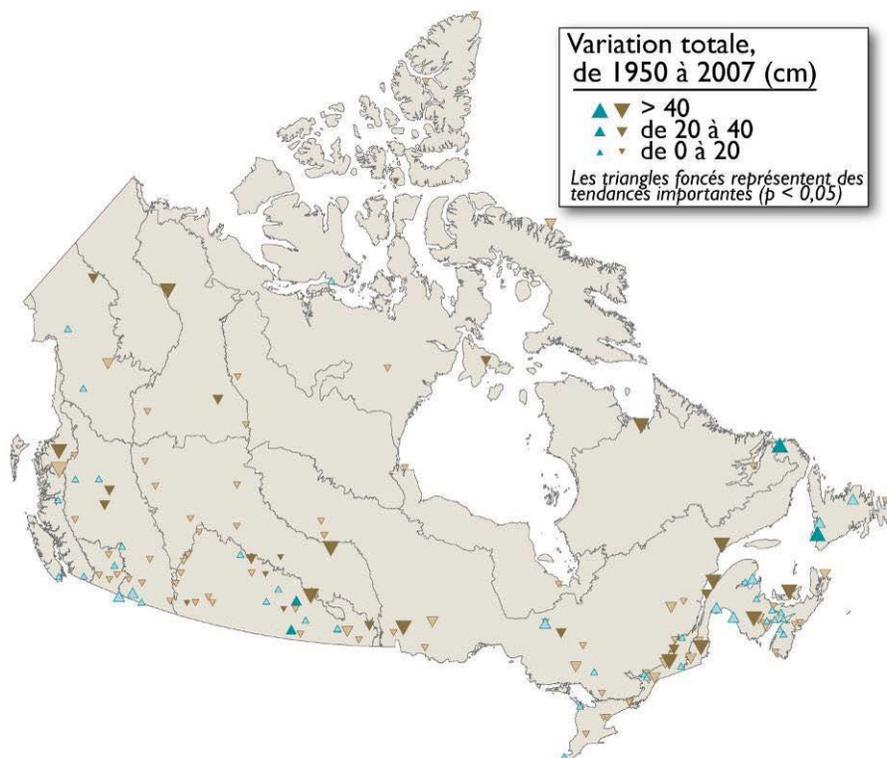


Figure 9. Variation relative à l'épaisseur maximale annuelle de la neige, de 1950 à 2007.

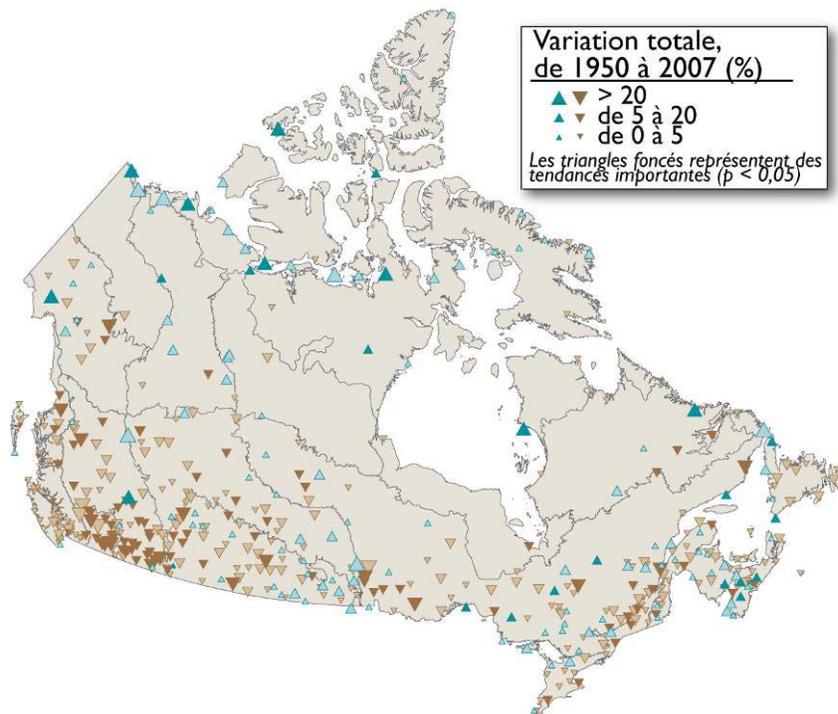


Figure 10. Variation absolue liée à la proportion de neige par rapport au total des précipitations au Canada, de 1950 à 2007.

Les tendances décroissantes indiquent une diminution de la proportion des précipitations tombant sous forme de neige.

Les analyses des tendances liées à l'englacement et à la débâcle des lacs et rivières du milieu des années 60 jusqu'au milieu des années 90 révèlent des réactions saisonnières opposées avec peu de changement dans l'englacement (quelques signes indiquent une formation de glace précoce sur les rivières dans l'est du Canada), mais des tendances généralisées indiquant une débâcle bien plus précoce au printemps (Zhang *et al.*, 2001a; Duguay *et al.*, 2006). Ces résultats cadrent avec les tendances relatives aux températures automnales et printanières, comme l'indique la Figure 2. Une analyse plus récente, menée de 1970 à 2004 sur les tendances d'englacement et de débâcle d'environ 40 lacs situés dans tout le Canada et effectuée à l'aide d'observations *in situ* et par satellite (Latifovic et Pouliot, 2007), a permis de constater que l'englacement d'un certain nombre de lacs se produisait bien plus tardivement. Le profil spatial des tendances concernant les dates de dégel entre 1950 et 2005 (Figure 11) montre que les sites dont les dates de débâcle sont précoces se situent davantage dans l'ouest du Canada, conformément au profil spatial des stations climatiques indiquant un réchauffement important au printemps (Figure 2a).

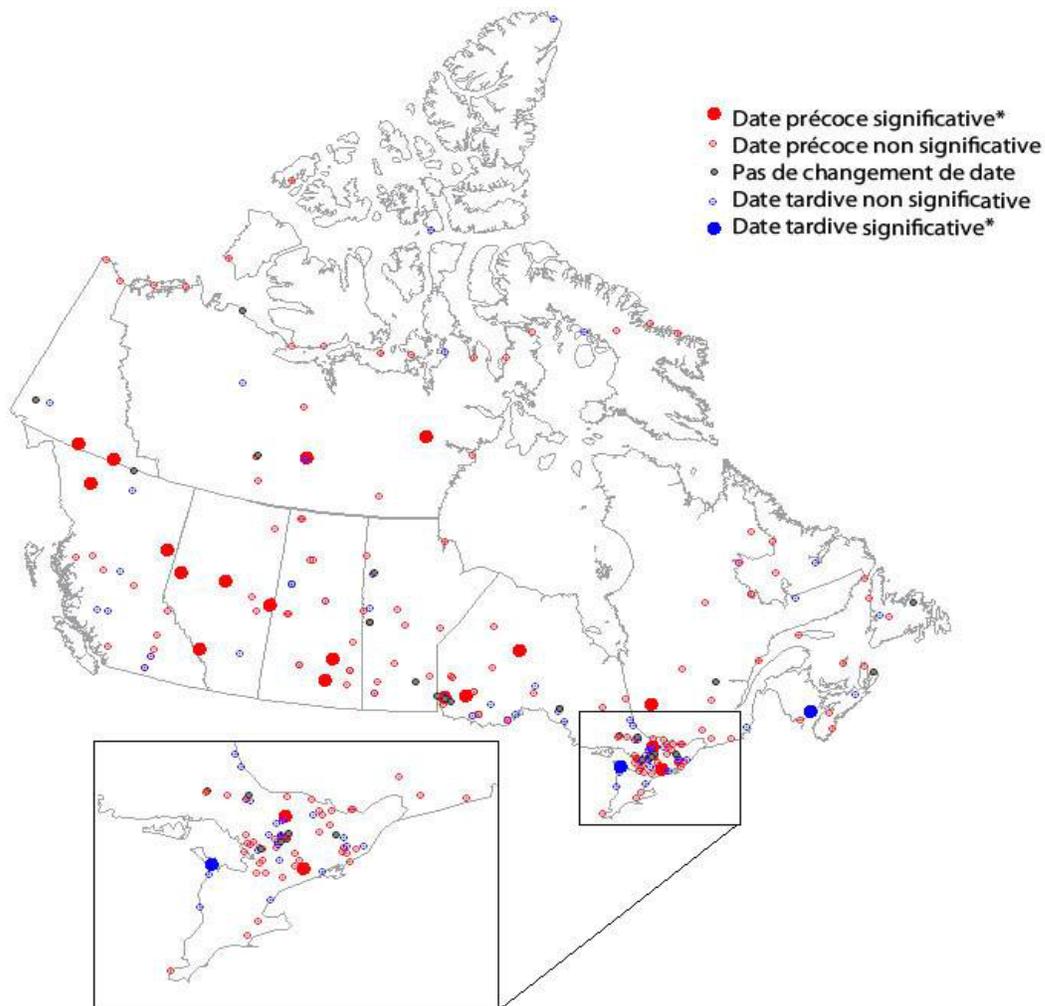


Figure 11. Tendances relatives à la date de dégel des lacs au Canada, de 1950 à 2005.
Source : Attention glace (2008b)

Changements quant au régime hydrologique

L'analyse des tendances liées au débit de cours d'eau pendant la deuxième moitié du XX^e siècle (Zhang *et al.*, 2001a) affiche une diminution généralisée du débit de cours d'eau moyen annuel pendant cette période, avec des hausses importantes repérées dans la partie sud du pays. Le débit de cours d'eau moyen mensuel pendant la plupart des mois a également diminué et c'est en août et en septembre que les diminutions les plus importantes ont eu lieu. Les mois de mars et avril constituent des exceptions, puisque des hausses importantes dans le débit de cours d'eau ont pu être observées. Des augmentations importantes ont pu être constatées pour des centiles inférieurs de la distribution de fréquence quotidienne concernant les débits de cours d'eau dans le nord de la Colombie-Britannique et dans les territoires du Yukon. Dans le sud du Canada, des diminutions importantes ont été observées pour tous les centiles de la distribution quotidienne des débits de cours d'eau. La débâcle de la glace des rivières et la crue printanière qui s'ensuit se produisent bien plus tôt, particulièrement en Colombie-Britannique, conformément aux tendances de réchauffement printanier illustrées à la Figure 2a.

Changements quant à la saison de croissance

Des augmentations, significatives d'un point de vue statistique, liées à la durée de la saison de croissance, ont été observées dans beaucoup d'endroits au Canada, surtout dans le sud-ouest (Figure 12). Quelques diminutions quant à la durée de la saison de croissance ont été constatées dans les Prairies, mais en général elles sont de moindre importance. L'augmentation de la durée de la saison de croissance est en grande partie due au début plus précoce de cette saison, qui résulte du réchauffement de la saison printanière (Figure 13). Dans la plupart des régions du Canada, la saison de croissance a commencé plus tôt et de nombreuses stations indiquent des débuts précoces considérables. Par ailleurs, une plus longue saison de croissance associée à des températures plus chaudes entraîne une augmentation importante du nombre de degrés-jours de croissance (Figure 14). Il existe également des éléments probants au sujet d'une réduction de la fréquence des jours de gel et des jours de gelée meurtrière pendant la saison de croissance (Qian *et al.*, 2010).

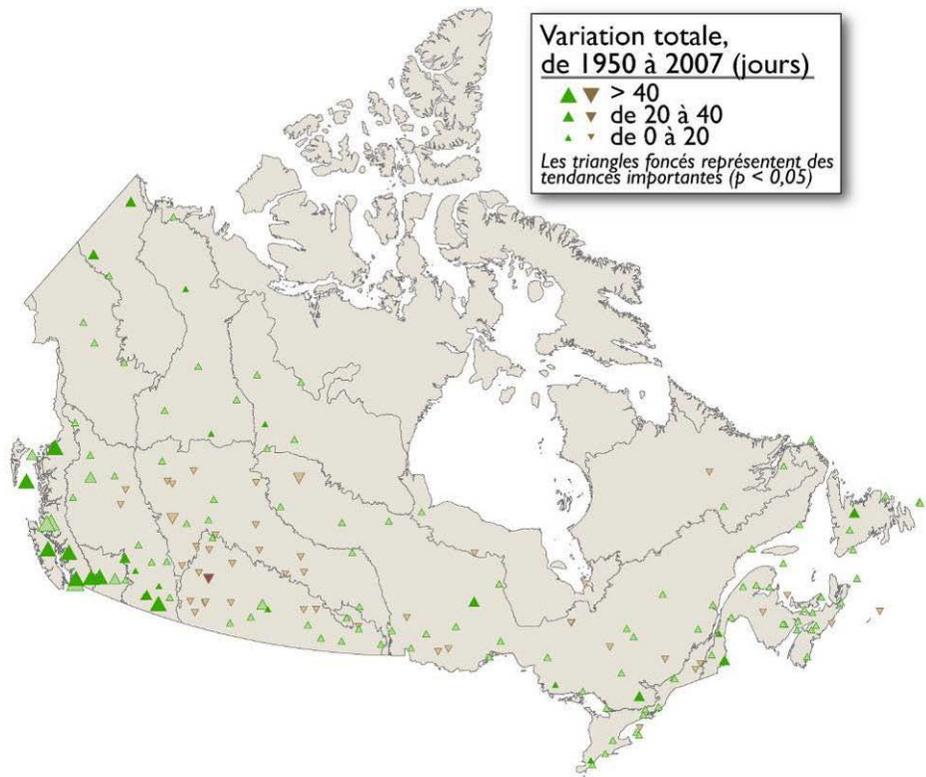


Figure 12. Variation de la durée de la saison de croissance, de 1950 à 2007.

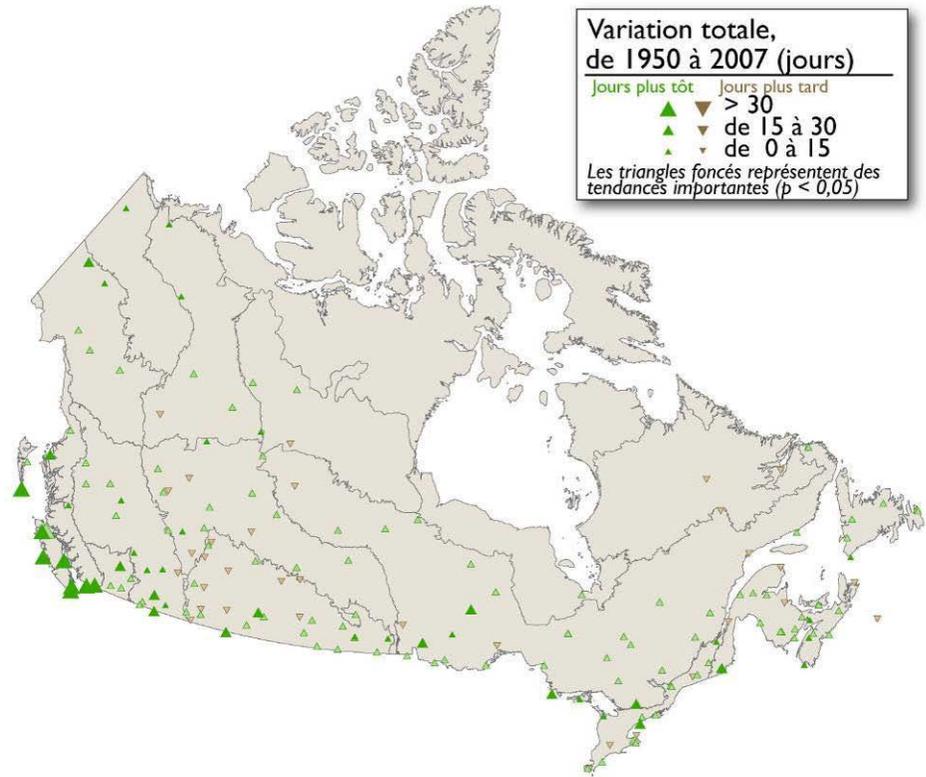


Figure 13. Variation liée à la date de début de la saison de croissance au Canada, de 1950 à 2007.

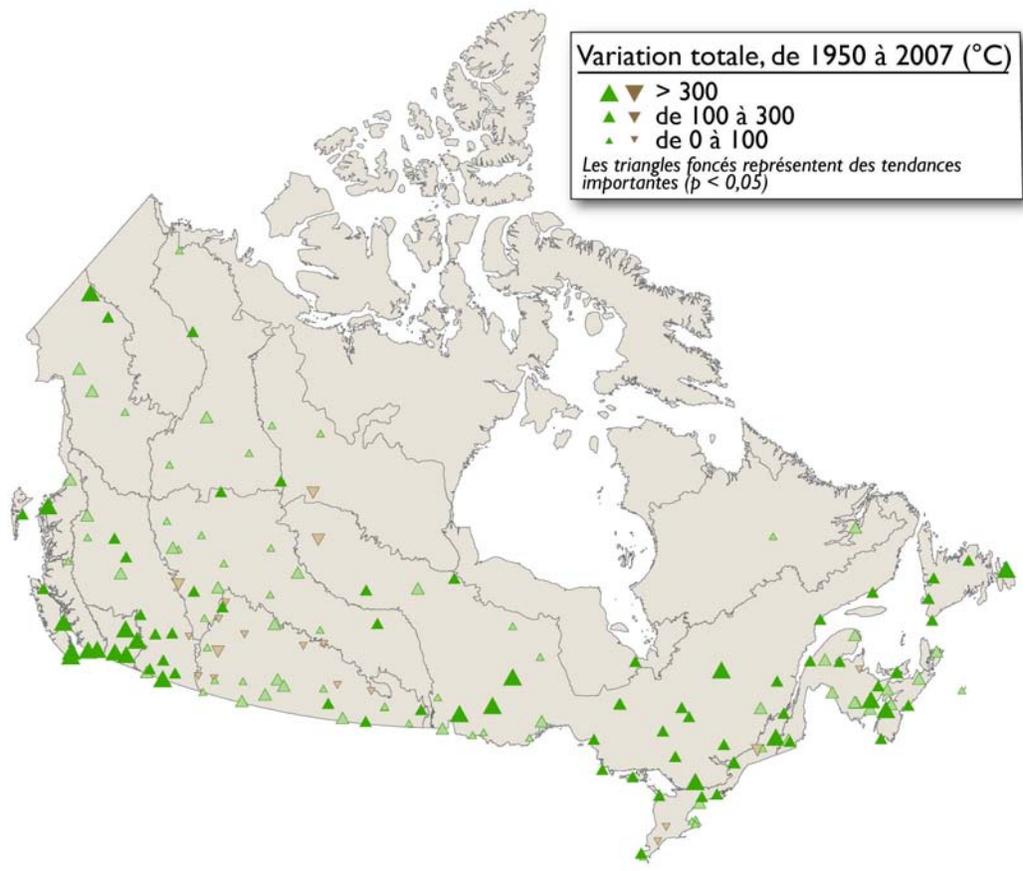


Figure 14. Variation du nombre de degrés-jours de croissance réelle (une mesure de la chaleur accumulée pendant la saison de croissance), de 1950 à 2007.

RÉSUMÉ

Le climat du Canada a considérablement changé depuis 1950. Les températures ont augmenté dans une grande partie du pays, tout comme les précipitations, en particulier dans le nord du Canada. Ces tendances se confirment dans d'autres variables climatiques qui sont importantes pour les écosystèmes; par exemple, une saison de couverture de neige plus courte, une plus faible accumulation de neige en hiver, une fonte plus précoce de la neige et de la glace au printemps, une saison de croissance qui débute plus tôt et qui dure plus longtemps accompagnée d'un moins grand nombre de jours de gel, ce qui entraîne une diminution des ressources disponibles en eaux. Ces modifications sont également associées à des changements fondamentaux concernant les régimes hydrologiques, comme une diminution de la proportion des précipitations qui tombent sous forme de neige dans le sud du Canada et un ruissellement printanier plus précoce. Certaines études laissent entendre que la tendance de réchauffement observée relativement aux températures canadiennes et peut-être aussi l'augmentation des précipitations dans le nord du Canada peuvent être attribuées aux émissions de gaz à effet de serre provoquées par les activités humaines (Lemke *et al.*, 2007; Min *et al.*, 2008). Ces tendances correspondent aussi aux prévisions modélisées climatiques pour l'Amérique du Nord (Meehl *et al.*, 2007) qui indiquent un climat plus chaud et plus humide pour beaucoup de régions canadiennes dans le futur. Les répercussions de ces changements sur les écosystèmes du Canada sont abordées dans les divers rapports techniques portant sur les écozones⁺.

Références

- Attention glace. 2008a. Attention glace [en ligne]. <http://www.naturewatch.ca/francais/icewatch/> (consulté le 1 Dec. 2008a).
- Attention glace. 2008b. Les changements dans la glace des lacs annoncent des changements climatiques. Environnement Canada. Ottawa, ON. 8 p.
- Bonsal, B.R., Zhang, X., Vincent, L.A. et Hogg, W.D. 2001. Characteristics of daily and extreme temperatures over Canada. *Journal of Climate* 14:1959-1976.
- Brown, R.D. et Braaten, R.O. 1998. Spatial and temporal variability of Canadian monthly snow depths, 1946-1995. *Atmosphere-Ocean* 36:37-45.
- Brown, R.D. et Mote, P.W. 2009. The response of Northern Hemisphere snow cover to a changing climate. *Journal of Climate* 22:2124-2145.
- Duguay, C.R., Prowse, T.D., Bonsal, B.R., Brown, R.D., Lacroix, M.P. et Ménard, P. 2006. Recent trends in Canadian lake ice cover. *Hydrological Processes* 20:781-801.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. 2007. Bilan 2007 des changements climatiques : conséquences, adaptation et vulnérabilité. Contribution du Groupe de travail II au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. et Hanson, C.E. (éd.). GIEC. Genève, Suisse. 976 p.
- Latifovic, R. et Pouliot, D. 2007. Analysis of climate change impacts on lake ice phenology in Canada using the historical satellite data record. *Remote Sensing of Environment* 106:492-507.
- Lemke, P., Ren, J., Alley, R.B., Allison, I., Carrasco, J., Flato, G., Fujii, Y., Kaser, G., Mote, P., Thomas, R.H. et Zhang, T. 2007. Observations: changes in snow, ice and frozen ground. *Dans* Changements climatiques 2007 : les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. et Miller, H.L. (éd.). Cambridge University Press. Cambridge, Royaume-Uni et New York, NY.
- Lenormand, F., Duguay, C.R. et Gauthier, R. 2002. Development of a historical ice database for the study of climate change in Canada. *Hydrological Processes* 16:3707-3722.
- Meehl, G.A., Stocker, T.F., Collins, W.D., Friedlingstein, P., Gaye, A.T., Gregory, J.M., Kitoh, A., Knutti, R., Murphy, J.M., Noda, A., Raper, S.C.B., Watterson, I.G., Weaver, A.J. et Zhao, Z.C. 2007. Global climate projections. *Dans* Changements climatiques 2007 : les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. et Miller, H.L. (éd.). Cambridge University Press. Cambridge, Royaume-Uni et New York, NY. Chapitre 10.

- Mekis, E. et Hogg, W.D. 1999. Rehabilitation and analysis of Canadian daily precipitation time series. *Atmosphere-Ocean* 37:53-85.
- Min, S.K., Zhang, X.B. et Zwiers, F. 2008. Human-induced Arctic moistening. *Science* 320:518-520.
- Qian, B., Zhang, X., Chen, K., Feng, Y. et O'Brien, T. 2010. Observed long-term trends for agroclimatic conditions in Canada. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 49:604-618. doi:10.1175/2009JAMC2275.1.
- Sen, P.K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association* 63:1379-1389.
- Service météorologique du Canada. 2000. Canadian snow data [CD-ROM]. Projet CRYSYS. Division des processus climatiques et des observations terrestres, Service météorologique du Canada, Environnement Canada. Downsview, ON.
- Vincent, L.A. 1998. A technique for the identification of inhomogeneities in Canadian temperature series. *Journal of Climate* 11:1094-1104.
- Vincent, L.A. et Mekis, E. 2006. Changes in daily and extreme temperature and precipitation indices for Canada over the twentieth century. *Atmosphere-Ocean* 44:177-193.
- Zhang, X.B., Harvey, K.D., Hogg, W.D. et Yuzyk, T.R. 2001a. Trends in Canadian streamflow. *Water Resources Research* 37:987-998.
- Zhang, X.B., Hogg, W.D. et Mekis, E. 2001b. Spatial and temporal characteristics of heavy precipitation events over Canada. *Journal of Climate* 14:1923-1936.
- Zhang, X.B., Vincent, L.A., Hogg, W.D. et Niitsoo, A. 2000. Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century. *Atmosphere-Ocean* 38:395-429.
- Zhang, X.B., Zwiers, F.W. et Stott, P.A. 2006. Multimodel multisignal climate change detection at regional scale. *Journal of Climate* 19:4294-4307.