



Oscillations climatiques à grande échelle ayant une incidence sur le Canada, de 1900 à 2008

B. Bonsal¹ et A. Shabbar²

Biodiversité canadienne : état et tendances des écosystèmes en 2010

Rapport technique thématique n° 4

Publié par les Conseils canadiens des ministres des ressources

¹ Division de la recherche sur l'étude des impacts sur les écosystèmes aquatiques, Direction de la science et de la technologie de l'eau, Environnement Canada

² Division des recherches climatiques, Direction générale des sciences et de la technologie, Environnement Canada

Catalogage avant publication de Bibliothèque et Archives Canada

Oscillations climatiques à grande échelle ayant une incidence sur le Canada, de 1900 à 2008.

Publ. aussi en anglais sous le titre :

Large-scale climate oscillations influencing Canada, 1900-2008.

Monographie électronique en version PDF.

ISBN 978-1-100-97193-3

N° de cat. : En14-43/4-2011F-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 :

Bonsal, B. et Shabbar, A. 2011. Oscillations climatiques à grande échelle ayant une incidence sur le Canada, de 1900 à 2008. Biodiversité canadienne : état et tendances des écosystèmes en 2010, Rapport technique thématique n° 4. Conseils canadiens des ministres des ressources. Ottawa, (Ont.). iii + 15 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, *Oscillations climatiques à grande échelle ayant une incidence sur le Canada, de 1900 à 2008*, 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

Un grand merci à Heather Haywood et Ross Mackay d'Environnement Canada de leur aide avec les figures. Nous tenons aussi à remercier les deux réviseurs qui ont participé au projet : leurs suggestions et commentaires pertinents ont permis d'améliorer le rapport.

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
OSCILLATIONS PRINCIPALES AYANT UNE INCIDENCE SUR LE CANADA	1
El Niño-oscillation australe.....	1
Oscillation décennale du Pacifique	3
Téléconnexion Pacifique-Amérique du Nord	4
Oscillation de l’Atlantique Nord et oscillation de l’Arctique.....	5
Oscillation multidécennale de l’Atlantique.....	6
RÉPERCUSSIONS SUR LE CLIMAT CANADIEN	7
Température pendant la saison froide	7
Précipitations pendant la saison froide	9
Climat estival.....	10
TENDANCES EN MATIÈRE D’OSCILLATIONS À GRANDE ÉCHELLE ET LE CLIMAT CANADIEN	11
RÉFÉRENCES.....	13

Liste des figures

Figure 1. Indice de l’oscillation australe (IOA) pour la période de 1900 à 2008.	2
Figure 2. Indice de l’oscillation décennale du Pacifique (ODP) pour la période de 1900 à 2008.....	3
Figure 3. Indice de la téléconnexion Pacifique-Amérique du Nord (PAN) pour la période de 1950 à 2008.....	4
Figure 4. Indice de l’oscillation de l’Atlantique Nord (OAN) pour la période de 1900 à 2008.	5
Figure 5. Indice de l’oscillation multidécennale de l’Atlantique (OMA) pour la période de 1900 à 2008.....	6
Figure 6. Régions types du Canada qui subissent l’influence des différentes phases de l’ENSO, de l’ODP, de la PAN et de l’OAN au cours de la saison froide : température.....	8
Figure 7. Régions types du Canada qui subissent l’influence des différentes phases de l’ENSO, de l’ODP, de la PAN et de l’OAN au cours de la saison froide : précipitations.	9
Figure 8. Régions types du Canada qui subissent l’influence de l’ENSO et de l’OMA pendant la saison estivale.	11

INTRODUCTION

La variabilité et les tendances observées dans le climat canadien subissent l'influence de ce que l'on appelle des téléconnexions, c'est-à-dire des oscillations océaniques et atmosphériques à grande échelle. Même s'il existe plusieurs régimes de téléconnexion connus dont on se sert pour décrire diverses caractéristiques de la circulation sur la planète, les principales oscillations qui ont une incidence sur le Canada comprennent notamment l'El Niño-oscillation australe (ENSO – El Niño-Southern Oscillation) (Rasmusson et Carpenter, 1982), l'oscillation décennale du Pacifique (ODP) (Mantua *et al.*, 1997), la téléconnexion Pacifique-Amérique du Nord (PAN) (Wallace et Gutzler, 1981), l'oscillation de l'Atlantique Nord (OAN) (p. ex. Hurrell et VanLoon, 1997; Hurrell *et al.*, 2003) étroitement liée à l'oscillation de l'Arctique (OA) (Thompson et Wallace, 1998), et l'oscillation multidécennale de l'Atlantique (OMA) (Mestas-Nuñez et Enfield, 1999). Les rapports entre ces téléconnexions et le climat canadien sont à leur maximum pendant la saison froide (de la fin de l'automne jusqu'au printemps), même si certaines connexions avec les conditions estivales ont été observées. En outre, ces connexions ont des effets plus prononcés et plus constants sur les variables de la température et, dans une moindre mesure, sur les facteurs liés aux précipitations.

OSCILLATIONS PRINCIPALES AYANT UNE INCIDENCE SUR LE CANADA

El Niño-oscillation australe

L'El Niño-oscillation australe (ENSO) représente des oscillations océan-atmosphère à grande échelle dans le Pacifique tropical qui influencent les conditions climatiques partout dans le monde, dont au Canada. Elle comporte deux phases, à savoir les épisodes chauds El Niño et les épisodes froids La Niña qui ont tendance à survenir en moyenne tous les deux à sept ans. On mesure souvent la variabilité de l'ENSO par la différence dans les anomalies de pression de surface entre Tahiti et Darwin (que l'on appelle l'indice d'oscillation australe ou IOA) et les températures de la surface de la mer (SST) dans le Pacifique équatorial. La Figure 1 illustre des séries chronologiques des valeurs saisonnières de l'IOA de 1900 à 2008, les valeurs négatives (positives) étant représentatives de conditions El Niño (La Niña). Le graphique révèle une variabilité considérable au fil du temps. Des événements forts sont survenus au cours des 25 premières années du 20^e siècle, quelques-uns étant dignes de mention jusqu'au milieu des années 1990. Toutefois, on constate un passage évident au milieu des années 1970 vers des épisodes El Niño prolongés et plus intenses (c.-à-d. des valeurs négatives de l'IOA). Cette transition a subi l'influence d'un changement décennal dans les conditions atmosphère-océan au-dessus du Pacifique et de la partie occidentale de l'Amérique du Nord aux environs de 1976 (p. ex. Trenberth et Hurrell, 1994) qui est également évident dans l'ODP (voir la page 3). Les

récents événements El Niño les plus dignes de mention sont survenus au cours des hivers de 1982-1983 et de 1997-1998.

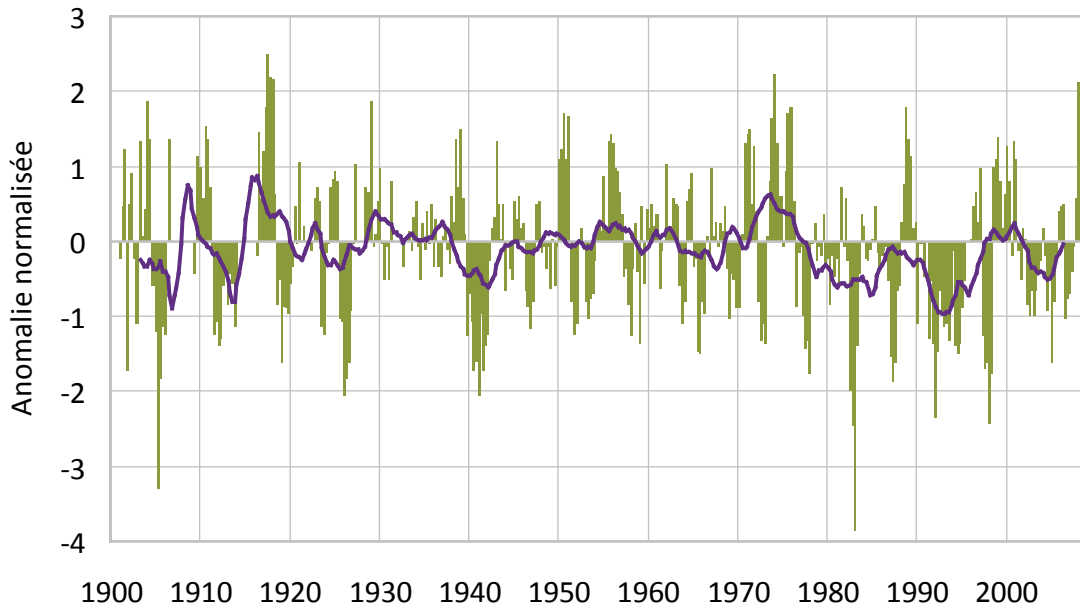


Figure 1. Indice de l'oscillation australe (IOA) pour la période de 1900 à 2008. Les valeurs sont présentées en tant qu'anomalies normalisées, calculées en divisant chaque anomalie (c.-à-d. la différence par rapport à la moyenne à long terme) par l'écart type à long terme. Des moyennes chevauchantes sur cinq années pour chaque série sont également données. Source : Données pour 1901 à 1950 tirées de <ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/wd52dg/data/indices/soi.his>; données pour 1951 à 2008 tirées de <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/soi>. Sites accédés le 9 novembre 2009.

Oscillation décennale du Pacifique

L'oscillation décennale du Pacifique (ODP) est une mesure des SST du Pacifique Nord qui présente une très forte corrélation avec l'intensité de la dépression des Aléoutiennes (Mantua *et al.*, 1997). Les ODP positives sont caractérisées par des SST plus froides que la normale (c.-à-d. moyenne à long terme) dans la partie centre-est du Pacifique Nord et des SST plus chaudes le long de la côte ouest de l'Amérique du Nord, et vice versa. Même si les SST du Pacifique associées à l'ODP et à l'ENSO sont en quelque sorte spatialement semblables (des anomalies extratropicales étant mises en évidence dans l'ODP par rapport à l'ENSO), elles présentent un comportement très différent dans le temps avec les cycles d'ODP qui persistent pendant 20 à 30 ans. C'est d'ailleurs nettement évident dans la Figure 2 qui illustre la nature décennale de l'ODP, des changements survenant aux environs de 1925, 1947 et 1976. Comme il a été indiqué plus tôt, le passage vers une ODP positive à la fin des années 1970 coïncide également avec un changement vers des épisodes d'El Niño plus fréquents (voir la Figure 1).

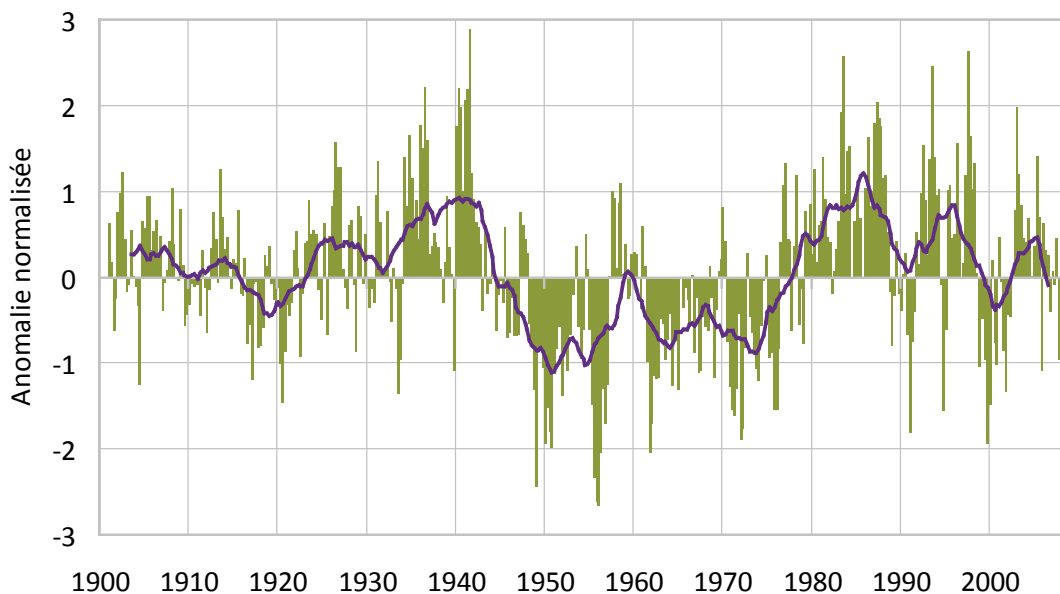


Figure 2. Indice de l'oscillation décennale du Pacifique (ODP) pour la période de 1900 à 2008. Les valeurs sont présentées en tant qu'anomalies normalisées, calculées en divisant chaque anomalie (c.-à-d. la différence par rapport à la moyenne à long terme) par l'écart type à long terme. Des moyennes chevauchantes sur cinq années pour chaque série sont également données. Source : Données tirées de <http://jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest>. Site accédé le 9 novembre 2009.

Téléconnexion Pacifique-Amérique du Nord

Le régime de la téléconnexion Pacifique-Amérique du Nord (PAN) représente une structure d'ondes de la haute atmosphère présentant une séquence d'anomalies de haute pression et de basse pression s'étirant de la partie subtropicale du Pacifique Ouest jusqu'à la côte est de l'Amérique du Nord. La phase positive de la PAN présente une haute pression anormale près d'Hawaï et au-dessus de la partie occidentale du Canada, et des pressions inférieures à la moyenne dans les parties du centre et de l'est du Pacifique Nord (c.-à-d. une dépression des Aléoutiennes plus prononcée que la normale) et au-dessus du sud-est des États-Unis. Même si la PAN est un mode de variabilité du climat naturel interne, elle subit également beaucoup l'influence de l'ENSO, avec une PAN positive qui a tendance à survenir lors des hivers associés aux épisodes d'El Niño, et une PAN négative lors des épisodes de La Niña. S'appuyant sur les données de 1950 à 2008, les auteurs ont déterminé qu'environ 51 % des épisodes de la PAN coïncident avec l'ENSO. Les séries chronologiques des valeurs de la PAN de 1950 à 2006 (Figure 3) indiquent une variabilité considérable, même si, comme pour l'ENSO et l'ODP, il existe une tendance à une PAN plus positive depuis le milieu des années 1970, en particulier pendant l'hiver.

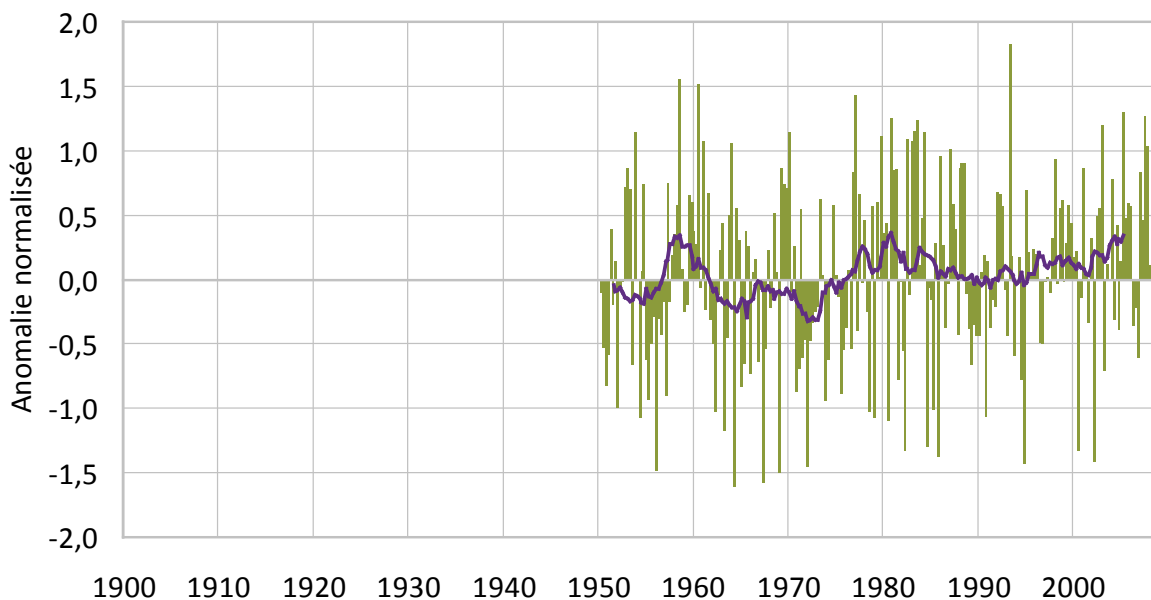


Figure 3. Indice de la téléconnexion Pacifique-Amérique du Nord (PAN) pour la période de 1950 à 2008. Les valeurs sont présentées en tant qu'anomalies normalisées, calculées en divisant chaque anomalie (c.-à-d. la différence par rapport à la moyenne à long terme) par l'écart type à long terme. Des moyennes chevauchantes sur cinq années pour chaque série sont également données.

Source : Données tirées de <http://www.cdc.noaa.gov/correlation/pna.data>. Site accédé le 9 novembre 2009.

Oscillation de l'Atlantique Nord et oscillation de l'Arctique

L'oscillation de l'Atlantique Nord (OAN) représente le mode dominant de variabilité atmosphérique au-dessus de l'Atlantique Nord et est très prononcée pendant la saison froide. L'indice de l'OAN (Figure 4) est une mesure de la différence dans la vigueur de la dépression d'Islande et de l'anticyclone des Açores, et il a été établi qu'il influence le climat de l'Europe et de l'est du Canada. Les OAN positives sont associées à une dépression d'Islande plus prononcée que la normale et à un anticyclone des Açores plus fort, tandis que des valeurs négatives représentent des conditions contraires. Au cours du siècle dernier, l'OAN a présenté des variations considérables d'une année à l'autre et d'une décennie à l'autre, mais peu d'indications d'une tendance à long terme. L'oscillation de l'Arctique (OA) représente une variabilité de la circulation atmosphérique au-dessus de l'hémisphère Nord extratropical, où les pressions au niveau de la mer dans les régions polaires varient à l'opposé de ce que l'on observe au-dessus des latitudes moyennes (environ 45 °N.) (Thompson et Wallace, 1998). C'est ce que l'on a également surnommé le mode annuel de l'hémisphère Nord (MAHN). Prendre note que l'OAN et l'OA présentent une très forte corrélation dans le temps, ce qui laisse croire que l'OAN est simplement une manifestation régionale de l'oscillation à l'échelle de l'hémisphère (OA) (Thompson et Wallace, 1998). En outre, l'incidence des deux oscillations sur la température et les précipitations au Canada est pratiquement la même et, par conséquent, seuls les rapports avec l'OAN sont pris en compte dans la présente étude.

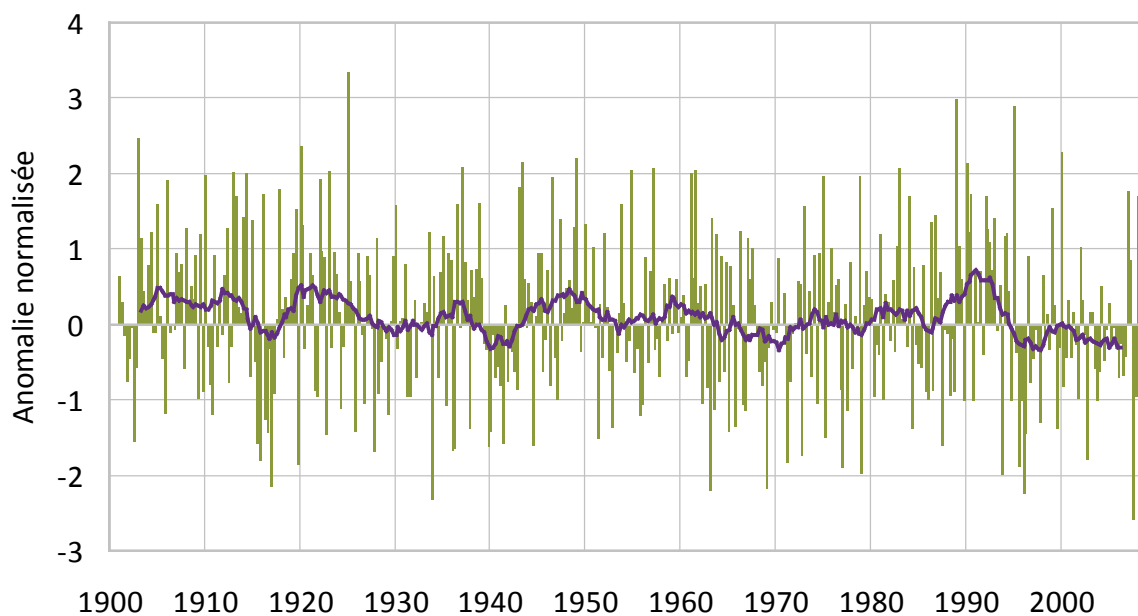


Figure 4. Indice de l'oscillation de l'Atlantique Nord (OAN) pour la période de 1900 à 2008. Les valeurs sont présentées en tant qu'anomalies normalisées, calculées en divisant chaque anomalie (c.-à-d. la différence par rapport à la moyenne à long terme) par l'écart type à long terme. Des moyennes chevauchantes sur cinq années pour chaque série sont également données. Source : Données tirées de http://www.cru.uea.ac.uk/~timo/projpages/nao_update.htm. Site accédé le 9 novembre 2009.

Oscillation multidécennale de l'Atlantique

L'oscillation multidécennale de l'Atlantique (OMA) est un mode de variabilité naturelle représentant des changements multidécennaux dans les SST de l'Atlantique Nord, avec des périodes froides et chaudes qui durent de 20 à 40 ans sur une plage approximative de plus ou moins 0,4 °C. On la définit comme étant la première fonction orthogonale empirique permutee de SST globales dont on a éliminé les tendances locales et l'ENSO d'une saison à l'autre (Mestas-Nuñez et Enfield, 1999). D'après les auteurs, aucun rapport dynamique n'a été établi entre l'OAN atmosphérique et l'OMA océanique. Alors que l'OMA a une polarité uniforme de SST dans tout l'Atlantique Nord et évolue selon une échelle multidécennale, l'OAN présente une variabilité atmosphérique avec un régime dipôle dans l'Atlantique Nord et varie principalement selon une échelle temporelle quasi décennale (Arguez *et al.*, 2009). La série de l'OMA présente des phases froides durant les périodes de 1905 à 1925 et de 1970 à 1990, et des phases chaudes, une première de 1930 à 1960 et une autre qui a commencé au milieu des années 1990 et qui se poursuit à ce jour (Figure 5).

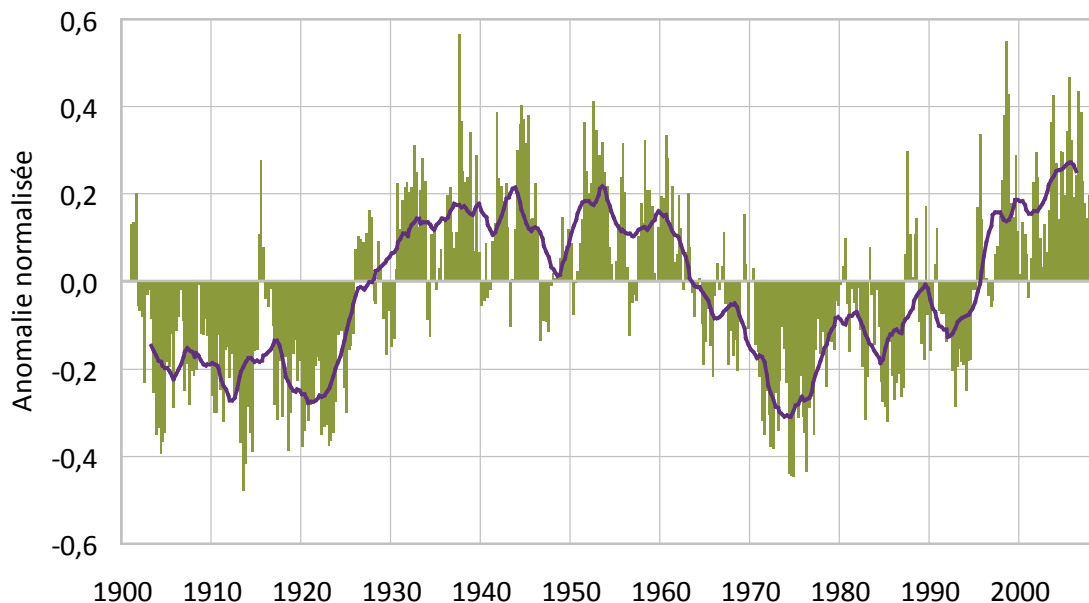


Figure 5. Indice de l'oscillation multidécennale de l'Atlantique (OMA) pour la période de 1900 à 2008. Les valeurs sont présentées en tant qu'anomalies normalisées, calculées en divisant chaque anomalie (c.-à-d. la différence par rapport à la moyenne à long terme) par l'écart type à long terme. Des moyennes chevauchantes sur cinq années pour chaque série sont également données. Source : Données tirées de <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/amon.us.long.data>. Site accédé le 9 novembre 2009.

RÉPERCUSSIONS SUR LE CLIMAT CANADIEN

Température pendant la saison froide

Les plus forts liens entre les téléconnexions à grande échelle et le climat canadien surviennent avec la température durant la saison froide. La plus forte variation interannuelle dans la température hivernale est, dans une grande mesure, contrôlée par l'ENSO. Plus particulièrement, le réchauffement anormal du Pacifique tropical oriental associé à l'El Niño déclenche des ondes dans la haute atmosphère qui donnent lieu à une téléconnexion de type PAN positive au-dessus de l'Amérique du Nord (Wallace et Gutzler, 1981). Le début de ce régime entraîne des températures plus chaudes que la normale qui s'étendent vers l'est depuis la côte ouest du Canada jusqu'au centre du pays, de la fin de l'automne au début du printemps suivant le début d'épisodes El Niño (Shabbar et Khandekar, 1996) (voir la Figure 6). En outre, la fréquence et la durée des vagues de chaleur en hiver sont nettement accrues, et les vagues de froid sont nettement moins fortes pendant des hivers El Niño (Shabbar et Bonsal, 2004). Dans l'ensemble, les réactions de la température aux épisodes de La Niña sont à l'opposé, avec des hivers plus froids que la normale (y compris une fréquence plus élevée de vagues de froid) dans l'ouest et le centre du Canada. Toutefois, les répercussions de La Niña sont souvent plus concentrées dans l'Ouest par rapport à celles qui sont associées à El Niño (Hoerling *et al.*, 1997; Hsieh *et al.*, 2009). Il faut également souligner que les réactions de la température à chaque épisode de l'ENSO varient considérablement, tant sur le plan temporel que sur le plan spatial. Comme il a été mentionné plus tôt, la PAN survient également en l'absence d'épisodes ENSO de grande amplitude. En moyenne, la phase positive de la téléconnexion PAN est associée à des températures supérieures à la moyenne dans l'ouest du Canada, dans une région semblable à celle pour l'El Niño, mais s'étirant plus loin dans le nord du Canada et se limitant aux quatre provinces de l'Ouest (Figure 6). Les hivers de PAN négative sont associés à des températures plus froides dans cette région (voir Climate Prediction Center Internet Team, 2005b).

Sur des échelles de temps plus longues, les variations de la température pendant la saison froide au Canada ont été associées à la variabilité atmosphère-océan du Pacifique Nord, mesurée par l'ODP. Bonsal *et al.* (2001) ont déterminé que des périodes d'ODP positive étaient significativement reliées à des températures plus chaudes que la normale en hiver dans les régions de l'ouest et du centre du pays, tant à l'échelle interannuelle qu'à l'échelle interdécennale (et vice versa) (Figure 6). Ils ont également constaté que les réactions de la température liées à l'El Niño (La Niña) étaient plus fortes et plus constantes pendant des phases positives (négatives) de l'ODP (pour de plus amples détails, voir les Figures 4 et 5 dans Bonsal *et al.*, 2001).

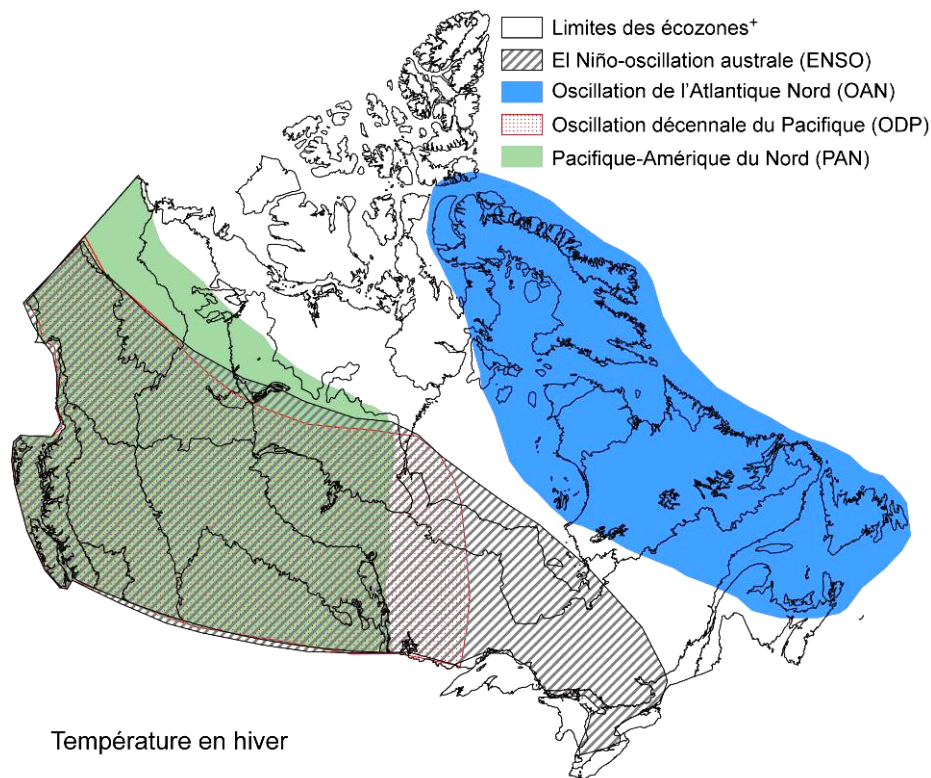


Figure 6. Régions types du Canada qui subissent l'influence des différentes phases de l'ENSO, de l'ODP, de la PAN et de l'OAN au cours de la saison froide : température. Des températures plus chaudes (plus froides) que la normale dans les régions désignées pendant les épisodes d'El Niño (La Niña), d'ODP positive (négative), de PAN positive (négative) et d'OAN négative (positive).

De façon générale, les rapports des téléconnexions dans l'est du Canada ne sont pas aussi forts, comparativement à l'Ouest. Dans cette région, le principal facteur climatique est l'OAN qui, pendant la saison froide, a une incidence sur les températures des régions nord-est du pays (Figure 6). Cela comprend des hivers plus froids que la normale associés à une OAN positive et vice versa (Bonsal *et al.*, 2001). Les températures plus froides sont reliées à une dépression d'Islande intensifiée qui donne lieu à une augmentation de la fréquence d'un courant du nord dans le nord-est du Canada. En raison de la forte association entre l'OAN et l'OA, des températures anormalement froides sont également observées dans cette région du Canada pendant les phases positives de l'OA.

Il faut savoir que les associations susmentionnées entre ces oscillations à grande échelle et les températures de la saison froide dans diverses régions du Canada ont également donné lieu à d'importantes relations entre ces régimes de téléconnexion et plusieurs variables liées aux écosystèmes du pays. Ces variables incluent notamment la durée de la présence de glace sur les lacs et les cours d'eau (Bonsal *et al.*, 2006), le moment de la fonte des neiges et le débit maximal des cours d'eau au printemps (Stewart *et al.*, 2005; Burn, 2008), le début du printemps (Bonsal et Prowse, 2003; Schwartz *et al.*, 2006), et même la survenue et la mortalité du dendroctone du pin Ponderosa dans l'Ouest canadien (Stahl *et al.*, 2006a).

Précipitations pendant la saison froide

Même s'ils ne sont pas aussi étroits que pour la température, il existe des liens importants entre les téléconnexions à grande échelle et les précipitations pendant la saison froide au Canada (Figure 7). Plus particulièrement, les hivers suivant le début d'un épisode El Niño sont en général associés à un régime distinct de précipitations sous la normale, s'étirant du sud de la Colombie-Britannique, traversant les Prairies et aboutissant dans la région des Grands Lacs. Les épisodes La Niña entraînent une réaction opposée (Shabbar *et al.*, 1997). Les liens entre l'ODP et les précipitations hivernales sont également évidents, mais ces répercussions se limitent à l'Ouest canadien (le sud du Yukon, la Colombie-Britannique et l'Alberta et la partie sud de la Saskatchewan et du Manitoba) où les ODP positives sont associées à des précipitations inférieures à la normale et vice versa (voir la Figure 7) (Bonsal *et al.*, 2001).

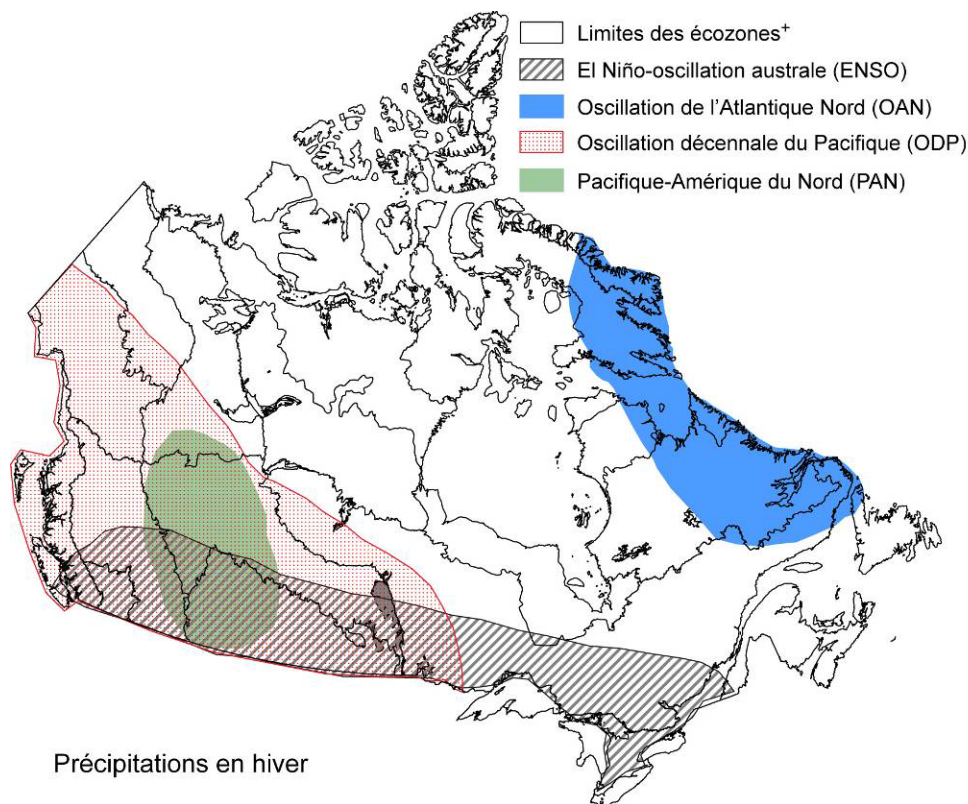


Figure 7. Régions types du Canada qui subissent l'influence des différentes phases de l'ENSO, de l'ODP, de la PAN et de l'OAN au cours de la saison froide : précipitations.

Des précipitations inférieures (supérieures) à la moyenne associées aux épisodes d'El Niño (La Niña), d'ODP positive (négative), de PAN positive (négative) et d'OAN positive (négative).

Comme dans le cas de la température, les réactions des précipitations pendant un épisode El Niño (La Niña) dans l'ouest du pays ont tendance à être amplifiées lors de phases d'ODP positives (négatives) (p. ex. Kiffney *et al.*, 2002; Stahl *et al.*, 2006b). La réaction des précipitations pendant un hiver PAN a tendance à se limiter à l'ensemble de l'Alberta (Figure 7) (voir Climate Prediction Center Internet Team, 2005a) où une PAN positive est associée à des valeurs inférieures à la moyenne et vice versa. Certaines études ont également permis de constater qu'il

y avait une corrélation significative entre des périodes de PAN positives et un enneigement réduit dans l'Ouest canadien pendant toutes les saisons (Brown et Goodison, 1996). Au Canada, l'incidence de l'OAN sur les précipitations est modeste et se limite en général aux régions du Nord-Est, où des valeurs positives sont associées à des précipitations inférieures à la normale en hiver (Figure 7). L'OAN positive permet de plus fréquentes vagues d'air arctique froid et sec, ce qui donne lieu à moins d'humidité précipitable.

Il faut savoir que ces rapports entre les téléconnexions et les précipitations se sont également reflétés dans les caractéristiques du débit des cours d'eau dans diverses régions du pays. Plus particulièrement, dans l'Ouest canadien, on remarque une fréquence plus élevée d'événements de faible débit des cours d'eau associés à des conditions plus sèches pendant des épisodes El Niño et des phases positives de l'ODP et le régime de la PAN (et vice versa). Dans les régions du nord-est du pays, une réduction du débit des cours d'eau survient lors de phases positives de l'OAN et de l'OA (voir Bonsal et Shabbar, 2008 et les documents qui y sont cités pour un résumé détaillé des rapports entre les oscillations à grande échelle et le débit des cours d'eau au Canada).

Climat estival

Au Canada, les rapports entre les téléconnexions et le climat estival ne sont pas aussi forts ni aussi constants si on les compare à ceux de la saison hivernale. Néanmoins, certaines études ont recensé diverses associations avec des conditions de sécheresse pendant l'été. Bonsal et Lawford (1999) ont indiqué que pendant la majorité des épisodes El Niño, la persistance d'un régime de SST du Pacifique Nord, consistant en une eau anormalement froide dans l'est et le centre du Pacifique Nord et une eau anormalement chaude le long de la côte ouest de l'Amérique du Nord, a donné lieu à des périodes sèches plus longues en été dans les Prairies canadiennes. En outre, Shabbar et Skinner (2004) ont constaté qu'en été, les épisodes El Niño ont entraîné un déficit en eau dans l'ouest du Canada, tandis que les épisodes La Niña ont produit une abondance d'humidité, principalement dans l'extrême ouest du Canada. Ils ont également déterminé qu'en hiver, la phase positive de l'OMA a tendance à être associée à des conditions estivales sèches dans les régions centrales et nordiques des Prairies canadiennes, les Grands Lacs inférieurs et la vallée du Saint Laurent et des portions de la côte ouest du Canada (voir la Figure 8). D'autres études relatives à l'écosystème ont révélé que les épisodes El Niño et la phase positive de l'ODP entraînent des conditions plus sèches et des incendies de forêts plus graves dans l'ouest, le nord-ouest et des parties du nord-est du Canada. À l'opposé, les épisodes La Niña et les phases négatives de l'ODP entraînent un surcroît d'humidité en été et des incendies de faible gravité dans les régions occidentales du pays (Skinner *et al.*, 2006). En outre, une analyse de la fréquence des tornades et d'ENSO laisse entendre que les épisodes La Niña ont tendance à supprimer les tornades dans l'ouest du Canada, tandis que les épisodes El Niño ont tendance à en faire augmenter le nombre (Etkin *et al.*, 2001).

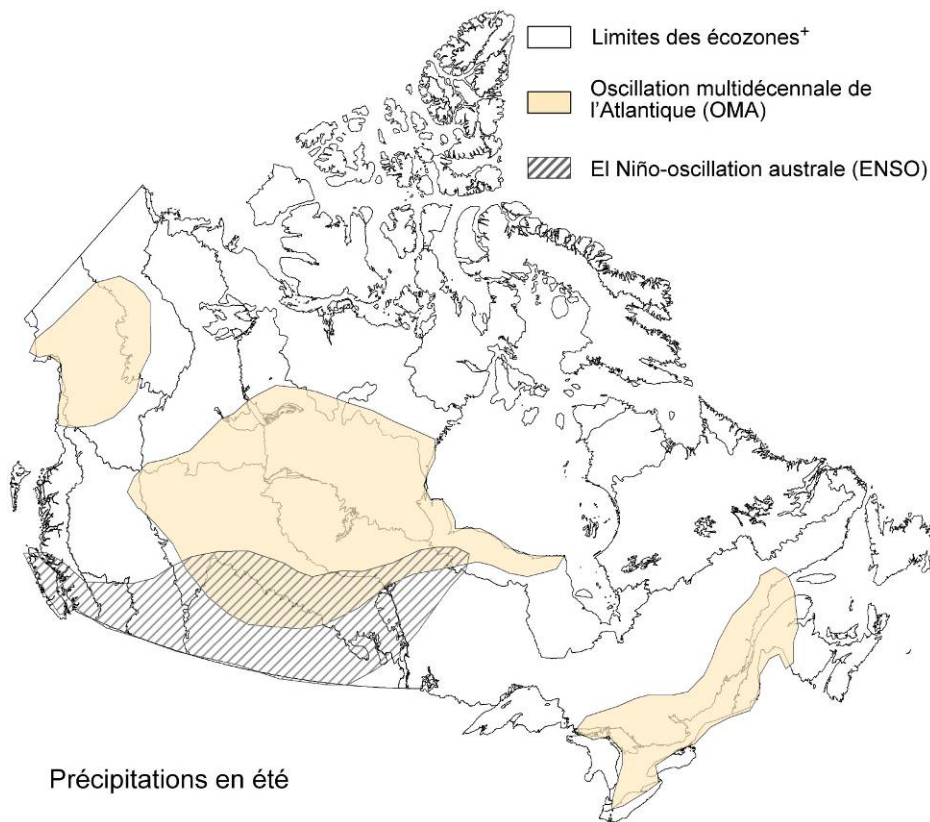


Figure 8. Régions types du Canada qui subissent l'influence de l'ENSO et de l'OMA pendant la saison estivale.
Des conditions plus sèches (plus humides) que la normale sont enregistrées dans les régions désignées pendant les épisodes El Niño (La Niña) et les phases positives (négatives) de l'OMA.

TENDANCES EN MATIÈRE D'OSCILLATIONS À GRANDE ÉCHELLE ET LE CLIMAT CANADIEN

Il a été établi que les différentes phases dans les téléconnexions à grande échelle ont servi à amplifier (ou dans certains cas à atténuer) les tendances climatiques observées dans diverses régions de l'Amérique du Nord, y compris le Canada. Par conséquent, plusieurs des changements climatiques observés au 20^e siècle peuvent être attribués, du moins en partie, aux changements survenus dans ces divers régimes de téléconnexion (Solomon *et al.*, 2007). Par exemple, Hurrell (1996) a constaté que l'OAN, l'ENSO et les variations dans la circulation du Pacifique Nord expliquaient collectivement une portion importante de la variabilité des températures hivernales dans l'hémisphère Nord au cours du 20^e siècle. Plus précisément pour l'Amérique du Nord, le passage du climat du milieu des années 1970 à des ODP positives et un plus grand nombre d'épisodes El Niño semblent avoir entraîné des changements opposés d'un bout à l'autre du continent, puisque l'Ouest s'est réchauffé davantage que l'Est (Trenberth *et al.*, 2007). Par conséquent, cette transition a également été associée à la tendance à des températures

plus chaudes en hiver et au printemps dans l'ouest du Canada. Toutefois, à l'heure actuelle, il n'y a pas de consensus sur la mesure dans laquelle l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre a influé sur la survenue de ces oscillations climatiques à grande échelle. En outre, les répercussions des changements climatiques futurs projetés sur les principaux régimes de téléconnexion qui touchent le Canada demeurent incertaines, étant donné que les divers modèles climatiques ne s'entendent pas sur le nombre et la structure à venir de modes océaniques et atmosphériques à grande échelle. En ce qui concerne l'ENSO, par exemple, la capacité des modèles climatiques globaux (MCG) actuels de simuler les épisodes El Niño et La Niña observés diffère considérablement d'un modèle à l'autre; toutefois, ces épisodes sont beaucoup mieux simulés à l'aide d'un ensemble de modèles. À l'heure actuelle, la majorité des MCG n'indiquent pas de changements perceptibles dans l'amplitude ou la fréquence prévues de l'ENSO au 21^e siècle (Meehl *et al.*, 2007). En résumé, il faut d'autres percées dans les MCG pour déceler des changements à venir dans les téléconnexions à grande échelle et leurs effets sur le climat canadien.

Références

- Arguez, A., O'Brien, J.J. et Smith, S.R. 2009. Air temperature impacts over eastern North America and Europe associated with low-frequency North Atlantic SST variability. *International Journal of Climatology* 29:1-10.
- Bonsal, B.R. et Lawford, R.G. 1999. Teleconnections between El Niño and La Niña events and summer extended dry spells on the Canadian prairies. *International Journal of Climatology* 19:1445-1458.
- Bonsal, B.R. et Prowse, T.D. 2003. Trends and variability in spring and autumn 0 °C-isotherm dates over Canada. *Climatic Change* 57:341-358.
- Bonsal, B.R., Prowse, T.D., Duguay, C.R. et Lacroix, M.P. 2006. Impacts of large-scale teleconnections on freshwater-ice break/freeze-up dates over Canada. *Journal of Hydrology* 330:340-353.
- Bonsal, B.R. et Shabbar, A. 2008. Impacts of large-scale circulation variability on low streamflows over Canada: a review. *Revue canadienne des ressources hydriques* 33:137-154.
- Bonsal, B.R., Shabbar, A. et Higuchi, K. 2001. Impacts of low frequency variability modes on Canadian winter temperature. *International Journal of Climatology* 21:95-108.
- Brown, R.D. et Goodison, B.E. 1996. Interannual variability in reconstructed Canadian snow cover, 1915-1992. *Journal of Climate* 9:1299-1318.
- Burn, D.H. 2008. Climatic influences on streamflow timing in the headwaters of the Mackenzie River Basin. *Journal of Hydrology* 352:225-238.
- Climate Prediction Center Internet Team. 2005a. Associated precipitation patterns - Pacific/North American (PNA) [en ligne]. NOAA/National Weather Service, National Centers for Environmental Prediction, Climate Prediction Center. http://www.cpc.noaa.gov/data/teledoc/pna_pmap.shtml (consulté le 20 novembre 2009).
- Climate Prediction Center Internet Team. 2005b. Associated temperature patterns - Pacific/North American (PNA) [en ligne]. NOAA/National Weather Service, National Centers for Environmental Prediction, Climate Prediction Center. http://www.cpc.noaa.gov/data/teledoc/pna_tmap.shtml (consulté le 20 novembre 2009).
- Etkin, D., Brun, S.E., Shabbar, A. et Joe, P. 2001. Tornado climatology of Canada revisited: tornado activity during different phases of ENSO. *International Journal of Climatology* 21:915-938.
- Hoerling, M.P., Kumar, A. et Zhang, M. 1997. El Niño, La Niña, and the nonlinearity of their teleconnections. *Journal of Climate* 10:1769-1786.
- Hsieh, W.W., Wu, A. et Shabbar, A. 2009. Non-linear atmospheric teleconnections. *Geophysical Research Letters* 33, L07714:4. doi:doi:10.1029/2005GL025471.

- Hurrell, J.W. 1996. Influence of variations in extratropical wintertime teleconnections on Northern Hemisphere temperature. *Geophysical Research Letters* 23:665-668.
- Hurrell, J.W., Kushnir, Y., Ottersen, G. et Visbek, M. 2003. The North Atlantic Oscillation: climatic significance and environmental impact. *Geophysical Monograph Series* n° 134. American Geophysical Union. Washington, DC. 279 p.
- Hurrell, J.W. et VanLoon, H. 1997. Decadal variations in climate associated with the North Atlantic Oscillation. *Climatic Change* 36:301-326.
- Kiffney, P.M., Bull, J.P. et Feller, M.C. 2002. Climatic and hydrologic variability in a coastal watershed of southwestern British Columbia. *Journal of the American Water Resources Association* 38:1437-1451.
- Mantua, N.J., Hare, S.R., Zhang, Y., Wallace, J.M. et Francis, R.C. 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin of the American Meteorological Society* 78:1069-1079.
- 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.
- Mestas-Nuñez, A.M. et Enfield, D.B. 1999. Rotated global modes of non-ENSO sea surface temperature variability. *Journal of Climate* 12:2734-2746.
- Rasmusson, E.M. et Carpenter, T.H. 1982. Variations in tropical sea-surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation El-Niño. *Monthly Weather Review* 110:354-384.
- Schwartz, M.D., Ahas, R. et Aasa, A. 2006. Onset of spring starting earlier across the Northern Hemisphere. *Global Change Biology* 12:343-351.
- Shabbar, A. et Bonsal, B. 2004. Associations between low frequency variability modes and winter temperature extremes in Canada. *Atmosphere-Ocean* 42:127-140.
- Shabbar, A., Bonsal, B. et Khandekar, M. 1997. Canadian precipitation patterns associated with the Southern Oscillation. *Journal of Climate* 10:3016-3027.
- Shabbar, A. et Khandekar, M. 1996. The impact of El Niño-Southern Oscillation on the temperature field over Canada. *Atmosphere-Ocean* 34:401-416.
- Shabbar, A. et Skinner, W. 2004. Summer drought patterns in Canada and the relationship to global sea surface temperatures. *Journal of Climate* 17:2866-2880.

- Skinner, W.R., Shabbar, A., Flannigan, M.D. et Logan, K. 2006. Large forest fires in Canada and the relationship to global sea surface temperatures. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* 111.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Alley, R.B., Bernsten, T., Bindoff, N.L., Chen, Z., Chidthaisong, A., Gregory, J.M., Hergerl, G.C., Heimann, M., Hewitson, B., Hoskins, B.J., Joos, F., Jouzel, J., Kattsov, V., Lohmann, U., Matsuno, T., Molina, M., Nicholls, N., Overpeck, J., Raga, G., Ramaswamy, V., Ren, J., Rusticucci, M., Somerville, R., Stocker, T.F., Whetton, P., Wood, R.A. et Wratt, D. 2007. Résumé technique. *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.
- Stahl, K., Moore, R.D. et McKendry, I.G. 2006a. Climatology of winter cold spells in relation to mountain pine beetle mortality in British Columbia, Canada. *Climate Research* 32:13-23.
- Stahl, K., Moore, R.D. et McKendry, I.G. 2006b. The role of synoptic-scale circulation in the linkage between large-scale ocean-atmosphere indices and winter surface climate in British Columbia, Canada. *International Journal of Climatology* 26:541-560.
- Stewart, I.T., Cayan, D.R. et Dettinger, M.D. 2005. Changes toward earlier streamflow timing across western North America. *Journal of Climate* 18:1136-1155.
- Thompson, D.W.J. et Wallace, J.M. 1998. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophysical Research Letters* 25:1297-1300.
- Trenberth, K.E. et Hurrell, J.W. 1994. Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific. *Climate Dynamics* 9:303-319.
- Trenberth, K.E., Jones, P.D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Klein Tank, A., Parker, D., Rahimzadeh, F., Renwick, J.A., Rusticucci, M., Soden, B. et Zhai, P. 2007. Observations: surface and atmospheric climate change. *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.
- Wallace, J.M. et Gutzler, D.S. 1981. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Monthly Weather Review* 109:784-812.