



Modèles du climat à résolution spatiale adaptée

Dan McKenney¹, Pia Papadopol¹, Kevin Lawrence¹, Kathy Campbell¹, Michael Hutchinson²

¹Service canadien des forêts – Sault Ste. Marie (Ontario)

²Centre for Resource and Environmental Studies, Australian National University; Canberra ACT 0200 Australie.

Introduction

L'influence du climat est omniprésente. À une grande échelle, il détermine la répartition, l'abondance et la productivité des plantes et des animaux. Les conditions météorologiques – les épisodes de temps chaud ou froid extrême – peuvent affecter la santé des humains. Les précipitations ont une incidence sur les possibilités de production d'énergie hydroélectrique. Le rayonnement solaire agit sur les plantes et est également de plus en plus utilisé comme source d'énergie grâce aux panneaux solaires photovoltaïques. L'énumération pourrait se poursuivre. Il est donc nécessaire de disposer d'estimations du climat de grande qualité (lire fiables) pour des endroits éloignés des stations météorologiques. Cette information se présente généralement sous deux formes – des estimations ponctuelles à des endroits spécifiques (parcelles expérimentales, fermes, etc.) et des estimations ponctuelles à des points d'une grille régulière pouvant servir à divers types de modèles prédictifs. Les inquiétudes face aux possibles impacts des changements climatiques rapides sont un autre facteur de motivation pour la création de modèle du climat à résolution spatiale explicite.

Pendant les quinze dernières années, le Service canadien des forêts a collaboré avec plusieurs employés du Service météorologique du Canada (SMC), d'Environnement Canada, avec le professeur Michael Hutchinson de l'Australian National University (ANU) et avec d'autres spécialistes afin d'élaborer divers modèles du climat pour le Canada et les États-Unis. On peut voir une partie de ce travail sous forme de cartes interactives à l'adresse suivante : <http://scf.rncan.gc.ca/soussite/cfgl-climat>. Ce court document vise à décrire les modèles disponibles de même que les processus permettant d'obtenir des estimations ponctuelles pour des endroits spécifiques à une résolution adaptée ou des estimations à partir d'une grille régulière précalculée (cartes) qui peuvent être mieux adaptées à des besoins particuliers.

Il est à noter que si vous avez besoin d'estimations pour des endroits très près d'une station météorologique, vous devriez tout

d'abord vérifier si vous pouvez obtenir les données nécessaires directement d'Environnement Canada (par exemple, voir : http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/climateData/canada_f.html).

Le modèle ANUSPLIN

ANUSPLIN est un progiciel d'ajustement de surfaces non paramétrique multivarié permettant d'élaborer des modèles du climat à une échelle spatiale continue, à partir du lissage par fonction spline qui est une véritable généralisation multivariée des splines univariées, comme le décrit Wahba (1990). À ne pas confondre avec les constructions polynômes cubiques simples. Les premières applications ont été décrites par Wahba et Wendelberger (1980), mais la méthodologie a par la suite été affinée et rendue opérationnelle par le professeur Michael Hutchinson de l'ANU qui a créé un outil de cartographie du climat au cours des quelque vingt dernières années (Hutchinson et Bischof 1983; Hutchinson 1995 et 1991; Hutchinson et Gessler 1994). Il existe de nombreux articles publiés dans des revues avec comité de lecture concernant le progiciel *ANUSPLIN* et ses mathématiques sous-jacentes. Une importante contribution à la méthode a été l'ajout systématique de l'altitude comme prédicteur, particulièrement pour les températures et les précipitations. Le modèle a été appliqué dans beaucoup de régions de la planète, sans la participation du créateur du modèle. On peut en apprendre davantage aux adresses suivantes : <http://scf.rncan.gc.ca/soussite/cfgl-climat/anusplin> et <http://cres.anu.edu.au/outputs/anusplin.php> (site Web de l'Australian National University, en anglais seulement). Pour plus de détails sur les diverses applications canadiennes, consultez les ouvrages de Mackey et al. (1996), Price et al. (2000, 2004) et McKenney et al. (2001, 2004, 2006a, b, c.). Ces publications contiennent également des références à d'autres techniques d'interpolation du climat.

Lorsque nous publions des articles ou d'autres rapports écrits, nous nous intéressons généralement à la qualité des modèles par l'interprétation des diagnostics des modèles, les essais de données



retenues, les sorties cartographiées et la collaboration avec divers experts. Par exemple, les erreurs moyennes, les erreurs absolues moyennes et les erreurs types telles qu'estimées aux stations retenues à partir de la phase d'élaboration du modèle sont souvent employées comme paramètres pour faciliter les évaluations. Les modèles sont créés par itération, après l'analyse des données et des résultats. Beaucoup de modèles, mais pas tous, donnent lieu à des rapports ou à des articles de revues. Plus important encore, il ne suffit pas de constituer le fichier de commande d'un ordinateur et d'appuyer sur un bouton pour élaborer des modèles. Il y a toujours des enjeux à prendre en considération, comme des compromis à faire entre la configuration d'un modèle, les paramètres et les contraintes des données (par exemple, la rareté et la qualité des données).

Certains usagers peuvent être étonnés de constater que très peu de modèles fournissent une interpolation exacte à partir des valeurs d'une station. Un certain degré de lissage est inhérent aux modèles statistiques. Le degré de lissage est optimisé objectivement en minimisant les erreurs de prévision de la fonction adaptée, telle que mesurée par la validation croisée généralisée. En d'autres mots, le modèle ne tente pas en général d'être un interpolateur exact aux emplacements des stations, mais vise plutôt à minimiser les erreurs globales d'interpolation, à tous les points. Les données météorologiques comportent également des incertitudes liées aux observations. Il y a un problème de compatibilité spatiale des données qui proviennent de divers types de stations (observateurs-navires volontaires, stations météo automatisées et d'aéroports), parfois mesurées avec des instruments différents et entraînant des erreurs de mesure caractéristiques. De plus, la variabilité microclimatique contribue aussi à l'incertitude (par exemple, à cause de la variabilité spatiale des précipitations, deux pluviomètres situés à proximité enregistreront rarement la même hauteur pluviométrique). En principe, le modélisateur et l'utilisateur éventuel connaîtront les erreurs potentielles.

Nous fournissons également des sommaires d'estimations des erreurs qui sont automatiquement produits par le modèle *ANUSPLIN* et, dans la mesure du possible, la référence d'un rapport spécialement préparé pour ces modèles. Nous laissons aux usagers le soin de s'assurer que les erreurs d'estimation globales conviennent à leur application et à leurs besoins. Les modèles de moyennes à plus long terme ont des erreurs d'estimation plus faible que les modèles à pas de temps plus courts, tels que les mensuels historiques ou journaliers (par exemple, plus ou moins 0,5 °C pour la température, 10 à 20 % pour les précipitations et un peu plus pour des pas de temps plus courts).

Modèles et variables disponibles

Au cours des quelque quinze dernières années, bon nombre de modèles *ANUSPLIN* ont été élaborés, de telle sorte qu'il peut être difficile d'être au fait de tous ceux qui existent. De nombreux modèles sont établis selon trois principales variables – la température minimum, la température maximum et les précipitations, car ce sont trois paramètres importants qui sont mesurés par Environnement Canada. Chacun de ces modèles incorpore un lien de dépendance avec l'altitude variable dans l'espace. Nous avons élaboré des modèles pour les paramètres à des pas de temps des moyennes mensuelles pluriannuelles (normales) et des pas de temps mensuels, hebdomadaires et quotidiens. De plus, divers autres modèles, par exemple pour le rayonnement, l'évaporation de lac, la durée d'ensoleillement, les températures minimums extrêmes, etc., ont été

conçus pour des applications spéciales. Le tableau 1 présente une liste de surfaces terminées à ce jour. Il faut toutefois se rappeler que les modèles sont perfectibles. Cependant, les ressources étant limitées, nous devons continuellement évaluer les coûts d'améliorations potentielles par rapport aux bénéfices.

Le tableau 1 ne présente pas tous les éléments. Il est possible de générer des variables d'intérêts additionnelles à partir des trois principales variables identifiées plus haut (température minimum, température maximum et précipitations) à l'aide d'autres procédures de modélisation. Ces variables secondaires revêtent souvent une plus grande valeur pour les clients puisque leur pertinence sur le plan écologique et biologique est plus intuitive (par exemple, durée de la saison de croissance, début et fin de la saison de croissance, etc.). Le tableau 2 présente une liste des variables généralement disponibles, aux pas de temps des moyennes mensuelles pluriannuelles (normale) ou des mensuels historiques.

Cartographeur Internet

De nombreux modèles sont disponibles sur des sites Web interactifs. Comme de nouveaux modèles sont ajoutés régulièrement, il est important de visiter la page d'accueil sur le climat pour voir les mises à jour. On peut aussi utiliser Internet pour visualiser des résultats, diffuser des données et créer des applications de cartographie en ligne.

Notre site sur le climat offre les produits suivants :

1. Surfaces et quadrillages moyens (normales) pluriannuels pour le Canada
2. Surfaces et quadrillages moyens (normales) pluriannuels pour l'Amérique du Nord
3. Surfaces et quadrillages mensuels historiques à partir de 1900 pour l'Amérique du Nord
4. Expériences liées au changement climatique
5. Surfaces et quadrillages de scénarios de changement climatique pour le modèle de circulation générale et le modèle du climat régional à l'appui des études d'impacts du changement climatique
6. Surfaces hebdomadaires moyennes (1961-1990) historiques à partir de 1961 (sur demande spéciale)
7. Surfaces quotidiennes pour différentes parties du Canada à partir de 1961 (sur demande spéciale)
8. Autres surfaces (dont la pression de vapeur, le temps d'ensoleillement, le rayonnement global, l'évapotranspiration potentielle et la température minimum extrême). Certains paramètres du climat sont mesurés par des réseaux moins étendus que ceux des précipitations et des températures. La pression de vapeur, par exemple, est dérivée des données provenant de moins de 200 stations réparties dans l'ensemble du Canada.

À ce jour, les surfaces quotidiennes et hebdomadaires ne sont pas disponibles sur Internet à cause du volume ou de la taille considérable de tous les fichiers, mais les utilisateurs intéressés à les consulter peuvent nous en faire la demande. Nous leur prêterons assistance dans la mesure du possible.

Le cartographeur est un outil convivial. Vous n'avez qu'à sélectionner le sujet et cliquer sur les options qui vous intéressent.

À titre d'exemple, le sujet « expériences liées au changement climatique » vous mènera à une page où vous devrez choisir la période ainsi que le scénario du modèle et les variables climatiques qui vous intéressent (voir la figure 1 ci-dessous). Vous n'aurez ensuite qu'à cliquer sur « Regarder » pour accéder au cartographeur. Vous pourrez alors choisir la planche que vous voulez voir et l'agrandir, faire des recherches et enregistrer l'image pour l'utiliser dans votre propre publication. Notre cartographeur n'est pas un système d'information géographique (SIG), mais il présente certaines fonctions propres aux SIG, comme afficher et masquer des planches (par exemple, des villes et des villages).

Vous pouvez explorer le cartographeur plus en détail à l'adresse suivante : <http://scf.rncan.gc.ca/soussite/cfgl-climat> et suivre les liens jusqu'au modèle de votre choix.

Figure 1. Exemple du cartographeur.



Obtenir des estimations pour des endroits spécifiques

Il est possible d'obtenir des estimations pour des endroits spécifiques, ce qui peut être particulièrement utile pour les chercheurs tentant d'établir une relation statistique entre le climat et le phénomène auquel ils s'intéressent. Nous avons offert ce service, par exemple, à des chercheurs en santé voulant examiner les eaux de ruissellement des fermes à partir d'estimations à des emplacements agricoles. Nous avons également fourni des estimations à des écologistes de la faune ainsi qu'à des modélisateurs de la croissance et du rendement des forêts. Pour obtenir nos produits, les chercheurs doivent nous contacter afin de nous indiquer leur intérêt particulier et nous envoyer un fichier en format ASCII contenant des renseignements sur l'endroit qui les intéresse, incluant l'altitude, comme dans l'exemple suivant :

```
Id x y z
1 -64.45 48.65 121.00
2 -64.4667 48.6167 257.00
RED_RD -68.5761 46.3276 3200.00
```

où :

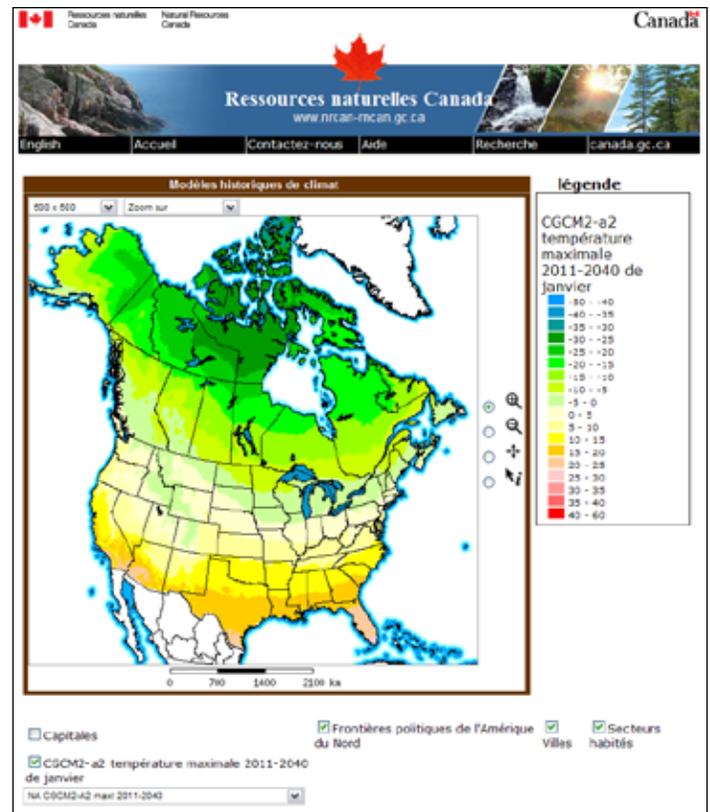
Id – est l'identification de la station, à l'aide de caractères alphanumériques de 0 à 20 sans espaces

x – est la longitude en degrés décimaux

y – est la latitude en degrés décimaux

z – est l'altitude en mètres

Les données devraient être aussi précises que possible, en écrivant par exemple la longitude et la latitude avec quatre décimales. Si les valeurs d'altitude ne sont pas disponibles, nous sommes capables de les estimer à l'aide d'un modèle altimétrique numérique (K. Lawrence, communication personnelle).



Obtenir des données quadrillées ou cartographiées

Les modèles présentés sur le site du cartographeur tournent, pour la plupart, à une résolution de 300 secondes d'arc (environ 10 km) en utilisant un modèle altimétrique numérique (MAN) à résolution similaire. Un MAN est un modèle informatisé de quadrillage régulier de la topographie d'une région. Afin de faciliter l'élaboration de nos modèles du climat, nous avons mis au point plusieurs MAN au Canada (K. Lawrence, communication personnelle). Les MAN sont en effet un moyen de produire des estimations cartographiques puisqu'ils fournissent les coordonnées de latitude et de longitude ainsi que les valeurs d'altitude dans un quadrillage régulier. Il est possible d'obtenir, pour des applications spécifiques, des résolutions de grille autres que 300 secondes d'arc. Les demandes sont traitées au cas par cas; veuillez contacter les auteurs pour de plus amples détails.

Tableau 1. Liste des modèles possiblement disponibles

Paramètres	Unités	Pas de temps	Période	Pays ou région	Surface
Pression de vapeur	kPa	1	1961-1990	CAN	Pression de vapeur
Humidité relative	%	1	1961-1990	CAN/AN	Humidité relative
Vitesse du vent	Km/h	1	1961-1990	CAN/AN	Vitesse du vent
Ensoleillement	heures	1	1961-1990	CAN	Durée totale d'ensoleillement
Ensoleillement	heures	1	1961-1990	CAN	Durée moyenne d'ensoleillement par jour
Rayonnement solaire	MJ/m ²	1	1961-1990	CAN/AN	Rayonnement global
Rayonnement solaire	MJ/m ²	1	1971-2000	CAN	Rayonnement global
Rayonnement solaire	MJ/m ²	1	1974-1993	CAN	Rayonnement global, base de données du CERES pour l'énergie photovoltaïque au Canada
Évapotranspiration potentielle	mm	1	1961-1990	CAN	Évapotranspiration potentielle selon le modèle de Bonan
Évaporation	mm	1	1961-1990	CAN	Bac d'évaporation
Évaporation	mm	1	1961-1990	CAN	Évaporation de lac
Épaisseur de neige	mm	1	1961-1990	CAN	Normales de l'épaisseur de neige sur 30 ans pour les stations qui ont des
Épaisseur de neige	mm	1	1961-1990	CAN	Moyenne de l'épaisseur de neige sur 34 ans pour les stations qui ont plus de 5 ans
Équivalent en eau de la neige observé	mm	1	1961-1990	CAN	Moyenne de l'équivalent en eau de la neige observé sur 30 ans, à partir de la base de données MSC OBS_SWE
Température minimum	°C	1	1930-1960	CAN	Moyenne de la température minimum sur 30 ans
Température maximum	°C	1	1930-1960	CAN	Moyenne de la température maximum sur 30 ans
Précipitation	mm	1	1930-1960	CAN	Moyenne des précipitations sur 30 ans
Température minimum	°C	1	1961-1990, 1971-2000	CAN/AN	Normales de la température minimum sur 30 ans, pour tous les mois et par mois
Température minimum	°C	1	1961-1990, 1971-2000	CAN/AN	Normales de la température minimum sur 30 ans, pour les cartes d'erreurs types
Température maximum	°C	1	1961-1990, 1971-2000	CAN/AN	Normales de la température maximum sur 30 ans, pour tous les mois et par mois
Température maximum	°C	1	1961-1990, 1971-2000	CAN/AN	Normales de la température maximum sur 30 ans, pour les cartes d'erreurs types
Précipitation	mm	1	1961-1990, 1971-2000	CAN/AN	Normales des précipitations sur 30 ans, pour tous les mois et par mois
Précipitation	mm	1	1961-1990, 1971-2000	CAN/AN	Normales des précipitations sur 30 ans, pour les cartes d'erreurs types
Température minimum extrême	°C	1	1961-1990	AN	Moyennes de la température maximum extrême quotidienne sur 30 ans
Température minimum extrême	°C	1	1974-1986	AN	Moyennes de la température minimum extrême quotidienne sur 12 ans
Température minimum extrême	°C	1	1971-2000	AN	Moyennes de la température minimum extrême sur 30 ans
					Moyennes pour 30 ans du MCG, résumé des prévisions futures
Température maximum	°C	1	2011-2040, 2041-2070, 2071-2100	AN	Moyennes sur 30 ans, CGCM2, CSIRO, scénarios A2/B2 sur la température maximum
Température maximum	°C	1	2011-2040, 2041-2070, 2071-2100	AN	Moyennes sur 30 ans, CGCM2, CSIRO, scénarios A2/B2 sur la température minimum
Précipitation	mm	1	2011-2040, 2041-2070, 2071-2100	AN	Moyennes sur 30 ans, CGCM2, CSIRO, scénarios A2/B2 sur les précipitations
Température maximum	°C	1	2011-2040, 2041-2070, 2071-2099	AN	Moyennes sur 30 ans, HadCM3, NCARPCM, scénarios A2/B2 sur la température maximum
Température minimum	°C	1	2011-2040, 2041-2070, 2071-2099	AN	Moyennes sur 30 ans, HadCM3, NCARPCM, scénarios A2/B2 sur la température minimum
Précipitation	mm	1	2011-2040, 2041-2070, 2071-2099	AN	Moyennes sur 30 ans, HadCM3, NCARPCM, scénarios A2/B2 sur les précipitations
Accumulation de neige maximum probable pour le Québec et EEN	mm	1	1900-2000	QUÉ	Moyenne sur 100 ans de l'accumulation annuelle de neige modélisé pour 365 stations et de l'équivalent en eau de la neige pour 261 stations
Évapotranspiration potentielle	mm	2	1958-1993	CAN	Évapotranspiration potentielle historique selon le modèle de Bonan
Épaisseur de neige	mm	2	1961-1994	CAN	Épaisseur historique de la neige

Paramètres	Unités	Pas de temps	Période	Pays ou région	Surface
Équivalent en eau de la neige observé	mm	2	1961-1990	CAN	Équivalent historique en eau de la neige observé, à partir de la base de données MSC OBS_SWE
Température maximum	°C	2	1961-2000	AN	Température minimum extrême quotidienne historique
Température maximum	°C	2	1901-2003	AN	Température maximum historique, pour tous les mois et par mois
Température minimum	°C	2	1901-2003	AN	Température minimum historique, pour tous les mois et par mois
Précipitation	mm	2	1901-2003	AN	Précipitations historiques, pour tous les mois et par mois
Température maximum	°C	2	1900-2100	AN	CGCM2, scénarios A2/B2 pour les changements annuels de température maximum de 1961 à 1990
Température minimum	°C	2	1900-2100	AN	CGCM2, scénarios A2/B2 pour les changements annuels de température minimum de 1961 à 1990
Précipitation	mm/jour	2	1900-2100	AN	CGCM2, scénarios A2/B2 pour les changements annuels de précipitations de 1961 à 1990
Rayonnement solaire	W/m ²	2	1900-2100	AN	CGCM2, scénarios A2/B2 pour les changements annuels du rayonnement solaire de 1961 à 1990
Vitesse du vent	m/s	2	1900-2100	AN	CGCM2, scénarios A2/B2 pour les changements annuels de la vitesse du vent de 1961 à 1990
Pression de vapeur	kPa	2	1900-2100	AN	CGCM2, scénarios A2/B2 pour les changements annuels de la pression de vapeur de 1961 à 1990
Température maximum	°C	2	1961-2100	AN	CSIRO, scénarios A2/B2 pour les changements annuels de la température maximum de 1961 à 1990
Température minimum	°C	2	1961-2100	AN	CSIRO, scénarios A2/B2 pour les changements annuels de la température minimum de 1961 à 1990
Précipitation	mm/jour	2	1961-2100	AN	CSIRO, scénarios A2/B2 pour les changements annuels des précipitations de 1961 à 1990
Vitesse du vent	m/s	2	1961-2100	AN	CSIRO, scénarios A2/B2 pour les changements annuels de la vitesse du vent de 1961 à 1990
Pression de vapeur	kPa	2	1961-2100	AN	CSIRO, scénarios A2/B2 pour les changements annuels de la pression de vapeur de 1961 à 1990
Rayonnement solaire	W/m ²	2	1961-2100	AN	CSIRO, scénarios A2/B2 pour les changements annuels dans le rayonnement solaire de 1961 à 1990
Température maximum	°C	2	1950-2099	AN	HadCM3, scénarios A2/B2 pour les changements annuels de la température maximum de 1961 à 1990
Température minimum	°C	2	1950-2099	AN	HadCM3, scénarios A2/B2 pour les changements annuels de la température minimum de 1961 à 1990
Précipitation	mm/jour	2	1950-2099	AN	HadCM3, scénarios A2/B2 pour les changements annuels des précipitations de 1961 à 1990
Vitesse du vent	m/s	2	1950-2099	AN	HadCM3, scénarios A2/B2 pour les changements annuels de la vitesse du vent de 1961 à 1990
Pression de vapeur	kPa	2	1950-2099	AN	HadCM3, scénarios A2/B2 pour les changements annuels de la pression de vapeur de 1961 à 1990
Rayonnement solaire	W/m ²	2	1950-2099	AN	HadCM3, scénarios A2/B2 pour les changements annuels du rayonnement solaire de 1961 à 1990
Rayonnement solaire	W/m ²	2	1961-2099	AN	NCARPCM, scénarios A2/B2 pour les changements annuels du rayonnement solaire de 1961 à 1990
Température maximum	°C	2	1961-2099	AN	NCARPCM, scénarios A2/B2 pour les changements annuels de la température maximum de 1961 à 1990
Température minimum	°C	2	1961-2099	AN	NCARPCM, scénarios A2/B2 pour les changements annuels de la température minimum de 1961 à 1990
Précipitation	mm/jour	2	1961-2099	AN	NCARPCM, scénarios A2/B2 pour les changements annuels des précipitations de 1961 à 1990
Vitesse du vent	m/s	2	1961-2099	AN	NCARPCM, scénarios A2/B2 pour les changements annuels de la vitesse du vent de 1961 à 1990
Pression de vapeur	kPa	2	1961-2099	AN	NCARPCM, scénarios A2/B2 pour les changements annuels de la pression de vapeur de 1961 à 1990
Température maximum	°C	2	2011-2100	CAN	Valeurs annuelles, CGCM2, scénarios A2/B2 pour la température maximum
Température minimum	°C	2	2011-2100	CAN	Valeurs annuelles, CGCM2, scénarios A2/B2 pour la température minimum
Épaisseur de neige	mm	3	1961-1990	CAN	Moyenne de l'épaisseur de neige quotidienne sur 30 ans, pour 244 jours juliens de la période hivernale
Équivalent en eau de la neige observé	mm	3	1961-1995	CAN	Équivalent historique en eau de la neige quotidien (estimations aux stations) pour les 1er, 15e et 29e jours de janvier à mai et de octobre à décembre
Équivalent en eau de la neige observé	mm	3	1961-1990	CAN	Équivalent historique en eau de la neige quotidien les 1er, 15e et 29e jours de janvier à juin, novembre et décembre
Température minimum	°C	3	1961-2003	CAN	Température minimum quotidienne historique

Paramètres	Unités	Pas de temps	Période	Pays ou région	Surface
Température maximum	°C	3	1961-2003	CAN	Température maximum quotidienne historique
Précipitation	mm	3	1961-2003	CAN	Précipitations totales quotidiennes historiques
Rayonnement global	MJ/m ²	4	1956-2003	CAN	Rayonnement global hebdomadaire historique
Évaporation	mm	4	1961-2000	CAN	Évaporation hebdomadaire du bac A
Température minimum	°C	4	1961-2003	CAN	Moyenne hebdomadaire historique de la température minimum
Température maximum	°C	4	1961-2003	CAN	Moyenne hebdomadaire historique de la température maximum
Précipitation	°C	4	1961-2003	CAN	Précipitations totales historiques hebdomadaires
Équivalent en eau de la neige observé	mm	4	1961-1990	CAN	Moyenne sur 30 ans de l'équivalent en eau de la neige pour les 1re et 4e semaines de janvier à juin et de novembre et décembre

Code des pas de temps	Pays ou région	Surface
1 – Moyenne mensuelle	CAN – Canada	MCG – modèle de circulation générale
2 – Projections historiques ou mensuelles	NA – Amérique du Nord	CGCM2 – Deuxième génération du modèle canadien de circulation générale
3 – Quotidienne	QUÉ – Québec	CSIROMk2 – Deuxième génération du modèle du Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization
4 – Hebdomadaire		HadCM3 – Troisième génération du modèle couplé du Hadley Centre NCAR PCM–National Centre of Atmospheric Research Parallel Climate Model

Tableau 2. Variables bioclimatiques standard issues des surfaces canadiennes et nord-américaines aux pas de temps des moyennes mensuelles et des mensuels historiques (voir <http://cres.anu.edu.au/outputs/anuclim.php> pour de l'information sur ANUCLIM).

VARIABLES ANUCLIM	Other selected bioclimatic variables
01 Température moyenne annuelle	Choix d'autres variables bioclimatiques
02 Amplitude quotidienne moyenne [moyenne (max – min de la période)]	01 Numéro du jour julien du début de la saison de croissance
03 Isothermalité (paramètre 2/paramètre 7)	02 Numéro du jour julien de la fin de la saison de croissance
04 Saisonnalité de la température (c.v.)	03 Durée en jours de la saison de croissance
05 Température maximale de la période la plus chaude	04 Précipitations totales pour la période 1
06 Température minimale de la période la plus froide	05 Précipitations totales pour la période 2
07 Amplitude annuelle de la température (paramètre 5 - paramètre 6)	06 Précipitations totales pour la période 3
08 Température moyenne du trimestre le plus humide	07 Précipitations totales pour la période 4
09 Température moyenne du trimestre le plus sec	08 DJC au-dessus de la température de référence pour la période 1
10 Température moyenne du trimestre le plus chaud	09 DJC au-dessus de la température de référence pour la période 2
11 Température moyenne du trimestre le plus froid	10 DJC au-dessus de la température de référence pour la période 3
12 Précipitations annuelles	11 DJC au-dessus de la température de référence pour la période 4
13 Précipitations de la période la plus humide	12 Température moyenne annuelle
14 Précipitations de la période la plus sèche	13 Température minimale annuelle
15 Saisonnalité des précipitations (c.v.)	14 Température maximale annuelle
16 Précipitations du trimestre le plus humide	15 Température moyenne de la période 3
17 Précipitations du trimestre le plus sec	16 Amplitude de la température pour la période 3
18 Précipitations du trimestre le plus chaud	
19 Précipitations du trimestre le plus froid	

Remarque : La saison de croissance varie d'une espèce végétale à l'autre. Elle a été ici déterminée selon des critères de température : nous avons considéré qu'elle commençait quand la température moyenne quotidienne était supérieure ou égale à 5 °C sur cinq jours consécutifs après le 1er mars, et qu'elle se terminait quand le minimum moyen était inférieur à -2 °C après le 1er août. Comme ils correspondent plutôt à la période sans gel, ces critères de définition de la saison de croissance visent davantage les arbres que les cultures agricoles. D'autres critères peuvent être appliqués et seront fournis sur demande.

Période 1 – les trois mois précédant le début de la saison de croissance;

Période 2 – les six premières semaines de la saison de croissance;

Période 3 – la saison de croissance entière;

Période 4 – la différence entre la période 3 et la période 2.

Conclusion

On assiste à un accroissement de la demande pour des modèles du climat fiables à différentes échelles spatiales et à diverses résolutions temporelles et spatiales pour des applications environnementales sans cesse croissantes. Le présent document a décrit la façon d'obtenir des estimations ponctuelles ou des estimations à des points de quadrillage pour nos modèles. En outre, les modèles ont une plus grande valeur lorsqu'ils sont utilisés; c'est pourquoi nous espérons encourager leur utilisation en rendant notre travail accessible. Les auteurs pourront fournir sur demande des renseignements supplémentaires.

Remerciements

Nous voulons remercier plusieurs employés d'Environnement Canada qui ont soutenu et encouragé notre travail, dont Bill Hogg, Anna Deptuch-Staph, Ewa Milewska, Ron Hopkinson, Robert Vet et Robert Morris. Nous voulons également remercier Tim Owen, du National Climate Data Center des États-Unis, pour son aide et son appui.

Références

Hutchinson, M.F., R.J. Bichof. 1983. A new method for estimating the spatial distribution of mean seasonal and annual rainfall applied to the Hunter Valley, New South Wales. *Australian Meteorological Magazine* 31: 179-184.

Hutchinson, M.F. 1991. The application of thin plate smoothing splines to continent-wide data assimilation. In : J.D.Jasper (dir), *BMRC Research Report No.27, Data Assimilation Systems*, Bureau of Meteorology, Melbourne, pp. 104-113.

Hutchinson, M.F.; Gessler, P.E. 1994. Splines—more than just a smooth interpolator. *Geoderma* 62: 45-67.

Hutchinson, M.F. 1995. Interpolation of mean rainfall using thin plate smoothing splines. *International Journal of Geographic Information Systems* 9: 385-403.

Mackey, B.G., D.W. McKenney, Y-Q Yang, J.P. McMahon, M.F. Hutchinson. 1996. Site regions revisited: a climatic analysis of Hills' site regions for the Province of Ontario using a parametric method. *Revue canadienne de recherche forestière* 26: 333-354.

McKenney, D.W.; M.F. Hutchinson, J.L. Kesteven, L.A. Venier. 2001. Canada's plant hardiness zones revisited using modern climate interpolation techniques. *Revue canadienne de phytotechnie* 81 (1): 129-143.

McKenney, D.W., M.F. Hutchinson, P. Papadopol, D. Price. 2004. Evaluation of alternative spatial models of vapour pressure in Canada. Présenté à l'American Meteorological Society Annual Meetings, Vancouver, août 2004.

McKenney, D.W., P. Papadopol, K. Campbell, K. Lawrence, M. Hutchinson. 2006a Modèles spatiaux des températures minimales et maximales, des précipitations totales et de paramètres bioclimatiques dérivés pour le Canada et l'Amérique du Nord, pour la période 1971-2000. *Frontline Notes techniques* 106, Centre de foresterie des Grands Lacs, Sault Ste. Marie, Ontario. 9 p.

McKenney, D.W., D. Price, P. Papadopol, M. Siltanen, K. Lawrence. 2006b. Scénarios de changement climatique haute résolution pour l'Amérique du Nord. *Frontline Notes techniques* 107. Centre de foresterie des Grands Lacs, Sault Ste. Marie, Ontario. 5 p.

McKenney, D.W., J.H. Pedlar, P. Papadopol, M.F. Hutchinson. 2006c. The development of 1901-2000 historical monthly climate models for Canada and the United States. *Agricultural and Forest Meteorology*. Vol. 138. 69-81.

Price, D.T., D.W. McKenney, I.A. Nalder, M.F. Hutchinson, J.L. Kesteven. 2000. A comparison of statistical and thin-plate spline methods for spatial interpolation of Canadian monthly climate data. *Agricultural and Forest Meteorology* 101:81-94.

Price, D., D.W. McKenney, P. Papadopol, T. Logan, M.F. Hutchinson. 2004. High resolution future scenario climate data for North America. Présenté à l'American Meteorological Society Annual Meetings, Vancouver, août 2004.

Wahba, G. 1990. *Spline Models for Observational Data*. CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphie, Pennsylvanie, 169pp.

Wahba, G. et J. Wendelberger. 1980. Some new mathematical methods for variational objective analysis using SPLINs and cross validation, *Monthly Weather Review* 108: 1122-1143.

Contact

Dan McKenney

Groupe de surveillance de la santé des forêts Service canadien des forêts,
Centre de foresterie des Grands Lacs
dan.mckenney@nrcan.gc.ca

Pia Papadopol

Analyse du paysage et applications
Centre de foresterie des Grands Lacs
pia.papadopol@nrcan.gc.ca

Kathy Campbell

Analyse du paysage et applications
Centre de foresterie des Grands Lacs
kathy.campbell@nrcan.gc.ca

Kevin Lawrence

Analyse du paysage et applications
Centre de foresterie des Grands Lacs
kevin.lawrence@nrcan.gc.ca

Michael Hutchinson

Centre for Resource and Environmental Studies, The Australian
National University;
Canberra ACT 0200 Australia
hutch@cres.anu.edu.au

Service canadien des forêts - Centre de foresterie des Grands Lacs
1219 rue Queen Est
Sault Ste. Marie (Ontario) P6A 2E5
705-949-9461

©Sa Majesté la Reine du Chef du Canada 2007
Catalogue No. Fo123-1/108F-PDF
ISBN 978-0-662-09699-3
ISSN 1717-7006

