

Investigation de l'hydrologie simulée par le modèle régional canadien du climat sur le Québec et le Labrador.

Anne Frigon¹, Michel Slivitzky² et Daniel Caya¹

¹UQÀM (Université du Québec à Montréal), Montréal (Québec), Canada

²INRS-Eau (Institut national de recherche scientifique), Québec (Québec), Canada

Le modèle régional canadien du climat (MRCC) est un modèle à domaine limité développé à l'Université du Québec à Montréal (UQÀM). Nous projetons de coupler le MRCC à un modèle hydrologique en utilisant une approche physique afin de ne pas en limiter l'application à des régions ou à des périodes spécifiques. Un tel couplage doit cependant être fait avec un modèle régional dont le bilan hydrologique est satisfaisant. Nous examinerons donc l'hydrologie de surface du MRCC sur le vaste territoire du Québec/Labrador avec une approche par bassins versants. Les résultats de cette validation sont présentés plus en détail dans Frigon et al. (2002).

Une description détaillée du modèle régional canadien du climat (MRCC) se trouve dans Caya et Laprise (1999). Le noyau dynamique du MRCC résout les équations d'Euler non-hydrostatiques et entièrement élastiques avec un algorithme numérique semi-implicite et semi-lagrangien efficace. Cette formulation numérique permet au modèle d'utiliser des pas de temps plus grands qu'avec les méthodes eulériennes conventionnelles en plus de rendre le modèle adéquat pour toutes les échelles spatiales. Les variables atmosphériques du MRCC sont discrétisées sur une grille entrelacée de type C d'Arakawa en projection stéréographique polaire à l'horizontale, et en coordonnées verticales de Gal-Chen suivant le terrain.

La paramétrisation physique du MRCC provient du MCG (modèle de circulation générale) de deuxième génération du Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique (MCGii-CCmaC; McFarlane et al. 1992). Pour certains processus de sous-échelles, la paramétrisation physique a été reformulée afin de mieux représenter les nouvelles échelles résolues par le MRCC. Nous avons notamment implanté le schéma de convection de Bechtold-Kain-Fritsch (Bechtold et al. 2001) et avons adapté le processus de condensation de grande échelle pour la formation de précipitation stratiforme. La fonction des seuils qui produisent les nuages, déclenchés par l'humidité relative selon la hauteur, a aussi été adaptée à la fine résolution du MRCC.

L'équation du budget d'énergie en surface tient compte de l'accumulation de chaleur dans le sol, du flux solaire net absorbé par le sol, du flux terrestre net au sol, du flux terrestre émis par le sol, des flux de chaleur sensible et latente, ainsi que de la chaleur latente associée à la fonte (ou le gel) de l'eau gelée (ou liquide) dans le sol et de la neige. Le schéma de surface à une couche est constitué des équations prognostiques pour le contenu en eau liquide et solide, pour la température de surface et pour le couvert de neige. L'humidité du sol de la couche unique est représentée par la capacité de rétention d'eau qui varie à chaque point de grille selon les caractéristiques de la végétation et du type de sol. En surface, le sol acquiert de l'eau par collection de pluie et par la fonte du couvert de neige,

et perd de l'eau seulement par évaporation; le drainage profond est inexistant. Finalement, l'écoulement est généré instantanément, lorsque l'humidité du sol dépasse la capacité de rétention d'eau, en retournant le surplus d'eau à l'océan sans routage.

Les conditions latérales du MRCC sont fournies par une méthode d'emboîtement de type Davies (1976), raffinée par Yakimiw et Robert (1990). Le transfert d'information du pilote vers le MRCC se fait donc graduellement à l'intérieur d'une zone éponge dont la largeur est généralement de 9 points de grille à partir du pourtour du domaine. De cette façon, le MRCC reçoit de l'information des données atmosphériques qui le pilotent (vents, température de l'air, humidité et pression) mais il n'a aucune influence sur ces données en retour.

Dans l'expérience présentée, le MRCC a été utilisé avec un espacement horizontal des points de grille de 30 km sur un domaine de 100X100 points de grille pour couvrir principalement la province de Québec et le territoire du Labrador; le modèle a été configuré avec 18 niveaux verticaux allant de la surface jusqu'au toit à 29 km. Cette simulation a été effectuée avec un pas de temps de 10 minutes partant du 1er mars 1992 et se terminant le 31 mai 1995. Les trois premiers mois ont servi au démarrage du modèle pour lui permettre de s'ajuster et n'ont pas été retenus pour analyse. Ceci représente une courte simulation du point de vue climatologique mais suffisamment longue pour évaluer l'habileté du MRCC à simuler l'information hydrologique de surface.

Le MRCC a été piloté aux frontières par les analyses atmosphériques objectives de NCEP (National Center for Environmental Protection), lesquelles sont disponibles aux 12 heures, avec un espacement horizontal de grille initial de $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$ (environ 275 km, filtrées à T32) et 12 niveaux verticaux. Ces analyses ont été interpolées sur la grille et sur les niveaux du MRCC et ont été linéairement interpolées dans le temps aux pas de temps du MRCC. Pour les points de mer, nous avons utilisé des valeurs climatologiques mensuelles des températures de surface de la mer et de la glace de mer. Les champs géophysiques tels que le contenu en eau dans le sol et le couvert de neige ont été initialisés en utilisant la climatologie du MCG canadien.

Dans un premier temps, la précipitation du MRCC a été comparée aux observations. Nous avons choisi le bassin de Churchill Falls, d'une superficie de 69 300 km², car on y retrouve un réseau spécial de 17 stations mensuelles, ce qui est exceptionnel à ces latitudes. Paradoxalement, on ne retrouve qu'une station météorologique de surface sur ce bassin. On note qu'en hiver, le modèle génère une précipitation semblable aux observations mais qu'il en produit trop d'avril à octobre. Nous implantons présentement un nouveau schéma de précipitation stratiforme (Lohmann et Roeckner 1996) dans le MRCC et les résultats préliminaires sont très prometteurs. Par la suite, nous avons examiné le régime thermique du modèle (au niveau de l'abri). Avec plusieurs stations météorologiques dans les environs des bassins de Bell et Waswanipi, nous constatons que le MRCC reproduit bien les températures moyennes d'hiver mais reste un peu chaud en été. C'est généralement la température minimale qui est trop chaude et ce comportement semble relié à une couverture nuageuse trop importante dans le modèle; nous tentons d'en faire la vérification. De plus, avec son modèle de surface à une seule couche, le MRCC est généralement trop chaud à l'automne et trop

froid au printemps. Ceci s'explique car à l'automne, toute la couche de sol doit geler complètement avant que la température de surface puisse descendre sous 0°C; l'inverse se produit au printemps.

Si la température du MRCC était moins chaude en octobre et novembre (moment où le sol commence à geler dans le MRCC), le modèle produirait de la neige au lieu de la pluie, réduisant son écoulement et contribuant à produire un couvert de neige plus important. Nous avons donc examiné la quantité combinée du couvert de neige et de l'écoulement du MRCC à partir du mois d'octobre sur le bassin de Churchill Falls. On remarque qu'à la fin de l'hiver, cette quantité combinée s'approche des observations et ce, pour les trois hivers simulés par le MRCC. Ainsi, s'il était moins chaud à l'automne, le MRCC pourrait produire un bon couvert de neige. Mentionnons que pour des fins hydrologiques, le couvert de neige de fin d'hiver doit être bien simulé car il représente près de 50% de l'écoulement annuel (volume) dans cette région du globe.

Finalement, nous constatons qu'à l'échelle annuelle, et ce, globalement sur une dizaine de bassins versants du territoire, le MRCC reproduit bien les écoulements observés (voir Tableau 1, dernière ligne). L'année hydrologique se termine en mars, au moment où les réserves profondes et les lacs atteignent leur niveau minimum, soit juste avant le début de la fonte printanière de la neige. Par contre, ce tableau montre que la différence de l'écoulement MRCC avec les observations est très variable d'un bassin à l'autre et d'une année à l'autre. Il est toutefois difficile d'interpréter ces résultats avec seulement deux années de simulation. En fait, nous savons depuis peu que les modèles régionaux de climat (MRC) peuvent développer des processus à fine échelle qui ne sont pas déterminés par les données qui les pilotent (Denis et al. 2001a, 2001b). Ce phénomène, qu'on appelle «variabilité interne», fait qu'il y a plusieurs états ou solutions possibles à petite échelle pour les mêmes données pilotes. Ces solutions peuvent placer les systèmes météorologiques à des endroits légèrement différents et ce, même avec des données pilotes et un modèle presque parfaits. Cette variabilité interne est plus importante en été à nos latitudes à cause de la nature convective des précipitations (Christensen et al. 2001, Giorgi et Bi 2000) et son effet diminue à mesure que la période considérée pour le climat s'allonge (i.e. mensuel ou saisonnier ou annuel) car un nombre grandissant d'événements météorologiques ont traversé le domaine du MRC. Toute analyse climatique doit donc tenir compte de la variabilité interne d'un MRC, ce qui explique que nous planifions une simulation MRCC d'une dizaine d'années afin d'évaluer le climat du modèle en le comparant au climat observé.

L'analyse de l'hydrologie du MRCC a permis d'en constater le potentiel, malgré certaines faiblesses, surtout attribuées à la simplicité des processus de surface paramétrisés par le schéma de surface à une couche. Nous envisageons de produire une simulation du MRCC d'une dizaine d'années en pilotant cette fois le modèle non seulement avec des analyses atmosphériques d'observations mais également avec les observations des températures de surface de la mer et de la glace de mer. Ceci produirait un portrait plus réaliste du climat du Québec qui, nous le savons, est influencé par les grandes masses d'eau de l'Atlantique et de la Baie d'Hudson.

Tableau 1 : Comparaison des écoulements annuels du MRCC avec les observations pour les deux années hydrologiques indiquées (i.e. Différence=(MRCC-OBS)/OBS).

Bassin	Superficie (km ²)	Avril 1993 - Mars 1994				Avril 1994 - Mars 1995			
		MRCC (mm)	OBS (mm)	Diff. (mm)	Diff. (%)	MRCC (mm)	OBS (mm)	Diff. (mm)	Diff. (%)
Churchill	69 300	545	477	68	14,2%	629	594	35	6,0%
A la Baleine	29 800	343	393	-50	-12,7%	563	476	87	18,3%
George	24 200	384	455	-71	-15,6%	513	546	-33	-6,0%
Romaine	13 000	617	585	32	5,6%	596	786	-190	-24,2%
Natashquan	15 600	587	637	-50	-7,8%	479	761	-282	-37,1%
Rupert	40 900	582	672	-89	-13,3%	636	608	28	4,7%
Waswanipi	31 900	416	600	-184	-30,7%	460	635	-175	-27,6%
Bell	22 200	367	530	-163	-30,8%	279	591	-312	-52,8%
Caniapiscau	37 870	587	484	104	21,5%	661	616	45	7,3%
Manic5	29 240	737	625	112	17,9%	684	705	-20	-2,9%
Total	314 010	521	536	-15	-2,9%	573	614	-41	-6,7%

RÉFÉRENCES

- Bechtold, P., E. Bazile, F. Guichard, P. Mascart and E. Richard, 2001 : A Mass Flux Convection Scheme for Regional and Global Models. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, **127**, 869-886.
- Caya, D., and R. Laprise, 1999: A Semi-Implicit Semi-Lagrangian Regional Climate Model: The Canadian RCM. *Mon. Wea. Rev.*, **127**, 341-362.
- Christensen, O.B., M.A. Gaertner, J.A. Prego, and J. Polcher, 2001: Internal variability of regional climate models. *Clim. Dyn.*, **17**, 875-887.
- Davies, H.C., 1976: A lateral boundary formulation for multi-level prediction models. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, **102**, 405-418.
- Denis, B., R. Laprise, D. Caya, and J. Côté, 2001a: Downscaling Ability of One-way Nested Regional Climate Models: The Big-Brother Experiment. *Clim. Dyn.*, manuscript accepted.
- Denis, B., R. Laprise, and D. Caya, 2001b: Sensitivity of a Regional Climate Model to the Spatial Resolution and Temporal Updating Frequency of the Lateral Boundary Conditions. *Clim. Dyn.*, manuscript submitted.
- Frigon, A., D. Caya, M. Slivitzky, and D. Tremblay, 2002: Investigation of the hydrologic cycle simulated by the Canadian Regional Climate Model over the Québec/Labrador territory. *Advances in Global Change Research*, Kluwer Academic, in press.
- Giorgi, F. and X. Bi, 2000: A study of internal variability of a regional climate model. *J. Geophys. Res.*, **105**(D24), 29503-29521.
- Lohmann, U., and E. Roeckner, 1996: Design and performance of a new cloud microphysics scheme developed for the ECHAM general circulation model. *Clim. Dyn.*, **12**, 557-572.
- McFarlane, N.A., G.J. Boer, J.-P. Blanchet, and M. Lazare, 1992: The Canadian Climate Centre second generation general circulation model and its equilibrium climate. *J. Clim.*, **5**, 1013-1044.
- Yakimiw, E., and A. Robert, 1990: Validation experiments for a nested grid-point regional forecast model. *Atmos.-Ocean*, **28**, 466-472.