
Preface—Modelling Canadian Snow Cover with CLASS

Murray D. MacKay

Climate Research Division, Environment Canada, Toronto ON

Snow has long been known to exert an important influence on terrestrial fluxes of energy, moisture, and carbon, and its significance in the global climate system can hardly be overstated. Land surface schemes which include increasingly complex snow physics modules have been incorporated in climate models in recent years to address this. In Canada, the primary land surface scheme employed in global and regional climate model applications is the Canadian Land Surface Scheme (CLASS), which includes a sophisticated treatment of vegetation and soil processes, and a snow pack representation that could be described as *intermediate* in complexity. CLASS has generally performed well in international intercomparison programmes such as the Project for Intercomparison of Land-Surface Parameterization Schemes (PILPS; Henderson-Sellers et al., 1993) and the Snow Models Intercomparison Project (SnowMIP, Etchevers et al., 2002); though, as pointed out by Verseghy (2000), it is difficult to make significant model improvements based on such experiments because of a general incompleteness of observed data. This is especially true for high latitude experiments (e.g., PILPS 2(d) – Schlosser et al., 2000; PILPS 2(e) – Bowling et al., 2003) where such basic observations as shortwave and longwave radiation are often inadequate or absent, as are measurements of complex parameters (e.g., leaf area index) often required by modern land surface schemes.

Canada has a long history of cold region climate processes research which has, in recent years, benefited greatly from Natural Sciences and Engineering Research Council (NSERC-especially through the Mackenzie Global Energy and Water Cycle Experiment (GEWEX) Study) and Climate Change Action Fund (CCAF) support. These agencies have funded a variety of individual projects aimed at improved field data acquisition and analysis, process understanding, and model development of relevance to the Canadian cryosphere. More recently a project was conceived¹ to consolidate and enhance existing observations and model parametrizations of key cryospheric components in a more coordinated fashion. Within this project, CLASS was enhanced with five recently developed snow process algorithms and carefully evaluated at both vegetated and open sites. In addition, experiments with CLASS coupled with a distributed hydrologic model (WATCLASS), as well as the Canadian Regional Climate Model (CRCM), were performed. Extensive in situ and remotely sensed snow cover data have also been acquired and analysed in support of the modelling research. This special issue of Atmosphere-Ocean reports on the final results of this effort. It contains perhaps the most comprehensive examination of a single aspect of CLASS – in this case the representation of snow – to date. In addition, a range of spatial scales from point to small watershed to regional are investigated. Collectively these studies highlight the improved skill found with the new parametrizations, as well as areas of ongoing concern, regarding the simulation of snow. Some additional highlights include:

- strong evidence for the existence of a climatologically consistent band of enhanced snow water equivalent (SWE) across the northern edge of the boreal forest in western Canada (Derksen and MacKay, this issue);
- a systematic bias between operational automated fixed point snow depth measurements and nearby snow survey transects that can be exploited to obtain landscape dependent scaling equations for regional snow depth (Neumann et al., this issue);
- evidence for significant, but not overwhelming, mid-winter vapour flux from forested and agricultural landscapes at the regional scale (MacKay et al., this issue).

Regarding the performance of CLASS, a number of findings and recommendations can be summarized:

- the new density formulations improved the simulation of snow depth and SWE at both forested (Bartlett et al., this issue) and open (Brown et al., this issue) sites, but there still may be

¹as a component of: Marsh and MacKay, “The physics and scaling of snow cover processes in cold regions: improving our understanding of key climate system processes”: CCAF project S02-13-05.

problems in the Arctic (Gordon et al., this issue) where densification due to wind compaction is not modelled, but may be important;

- the inclusion of mixed phase precipitation between 0°C and 6°C yields important differences in density, SWE, and albedo during transition seasons (Bartlett et al., this issue);
- modelled SWE on the ground is sensitive to canopy structure parameters in simulations at a forested site (Bartlett et al., this issue). In addition, WATCLASS calibration experiments indicate that snow cover area and runoff are also sensitive to the values attributed to a variety of specified parameters (Davison et al., this issue). These parameters are poorly observed in general, and this sensitivity in simulated results is a cause for concern;
- a simulated cold snow temperature bias in a deep mountain snow pack was improved with the addition of an ad hoc adjustment to the turbulent sensible heat flux that has been employed in other stand-alone snow pack models (Brown et al., this issue); however, the inclusion of this “windless exchange” in the fully (atmosphere-land surface) coupled CRCM made little improvement (MacKay et al., this issue);
- the simulation of albedo was problematic for deep, as well as shallow melting snow and would likely benefit from the inclusion of snow grain characteristics in the calculation (Brown et al., this issue).

Finally, while fairly comprehensive, this examination of snow processes in CLASS is by no means exhaustive. An important area of ongoing debate that has not been directly addressed here is the necessity (or not) of multi-layer snow packs in land surface schemes such as CLASS. CLASS has always maintained a single, bulk snow pack layer of average properties, while emphasis has been placed on developing other aspects of the model such as spatial heterogeneity and vegetation processes. For example, it is well known that snow albedo and fractional snow cover have an enormous influence on surface energy balance, and this special issue highlights the fact that there is room for improvement in the model for both. Both Bartlett et al. (this issue) and Brown et al. (this issue) note (different) problems in the simulation of albedo. Both Brown et al. (this issue) and Davison et al. (this issue) discuss problems in simulated snow-covered area, even though the latter study makes use of landscape dependent snow depletion curves. Albedo and snow-covered area are strongly interrelated and are involved in important feedback mechanisms within the climate system. It seems that improvement in these areas is the logical next step in the development of CLASS for application to the study of the cryosphere in Canada and elsewhere.

Acknowledgements

It is a pleasure to acknowledge our collaboration with Dr. Philip Marsh and the National Water Research Institute over the past few years, and our sincere desire for continued collaboration for many years to come. Funding for the research reported here was provided by the Climate Change Action Fund, Environment Canada, and the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada.

References

- BARTLETT, P. A.; M. D. MACKAY and D. L. VERSEGHY. 2006. Modified snow algorithms in the Canadian land surface scheme: Model runs and sensitivity analysis at three boreal forest stands. *ATMOSPHERE-OCEAN*, **44**: 207–222.
- BOWLING, L.C.; D. P. LETTENMAIER, B. NIJSSEN, L. P. GRAHAM, D. B. CLARK, M. EL MAAYAR, R. ESSERY, S. GOERS, Y. M. GUSEV, F. HABETS, B. VAN DEN HURK, J. JIN, D. KAHAN, D. LOHMANN, X. MA, S. MAHANAMA, D. MOCKO, O. NASONOVA, G.-Y. NIU, P. SAMUELS-SON, A. B. SHMAKIN, K. TAKATA, D. VERSEGHY, P. VITERBO, Y. XIA, Y. XUE and Z.-L. YANG. 2003. Simulation of high-latitude hydrological processes in the Torne – Kalix basin: PILPS phase 2(e) 1: Experiment description and summary intercomparisons, *Glob. Planet. Change*, **38**: 1–30.
- BROWN, R.; P. BARTLETT, M. MACKAY and D. VERSEGHY. 2006. Evaluation of snow cover in CLASS for SnowMIP. *ATMOSPHERE-OCEAN*, **44**: 223–238
- DAVISON, B.; S. POHL, P. DORNES, P. MARSH, A. PIETRONIRO and M. MACKAY. 2006. Characterizing snowmelt variability in a land-surface-hydrologic model. *ATMOSPHERE-OCEAN*, **44**: 271–287.
- DERKSEN, C. and M. MACKAY. 2006. The Canadian boreal snow water equivalent band. *ATMOSPHERE-OCEAN*, **44**: 305–320.
- ETCHEVERS, P.; E. MARTIN, R. BROWN, C. FIERZ, Y. LEJEUNE, E. BAZILE, A. BOONE, Y.-J. DAI, R. ESSERY, A. FERNANDEZ, Y. GUSEV, R. JORDAN, V. KOREN, E. KOWALCZYK, N. O. NASONOVA, R. D. PYLES, A. SCHLOSSER, A. B. SHMAKIN, T. G. SMIRNOVA, U. STRASSER, D. VERSEGHY, T. YAMAZAKI and Z.-L. YANG. 2002. SnowMIP, an intercomparison of snow models: first results. Paper presented at International Snow Science Workshop, Penticton, British Columbia, 29 September - 4 October 2002.
- GORDON, M.; K. SIMON and P. A. TAYLOR. 2006. On snow depth predictions with the Canadian land surface scheme including a parametrization of blowing snow sublimation. *ATMOSPHERE-OCEAN*, **44**: 239–255.

- HENDERSON-SELLERS, A.; Z.L. YANG and R.E. DICKINSON. 1993. The project for intercomparison of land-surface parameterization schemes. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **74**: 1335–1349.
- MACKAY, M. D.; P. A. BARTLETT, E. CHAN, C. DERKSEN, S. GUO and H. LEIGHTON. 2006. On the simulation of regional scale sublimation over boreal and agricultural landscapes in a climate model. *ATMOSPHERE-OCEAN*, **44**: 289–304
- NEUMANN, N. N.; C. DERKSEN, C. SMITH and B. GOODISON. 2006. Characterizing local scale snow cover using point measurements during the winter season. *ATMOSPHERE-OCEAN*, **44**: 257–269
- SCHLOSSER, C.A.; A. G. SLATER, A. J. PITMAN, A. ROBOCK, K. YA. VINNIKOV, A. HENDERSON-SELLERS, N. A. SPERANSKAYA and K. MITCHELL. 2000. Simulations of a boreal grassland hydrology at Valdai, Russia: PILPS phase 2(d), *Mon. Weather Rev.* **128**: 301–321.
- VERSEGHY, D. 2000. The Canadian Land Surface Scheme (CLASS): its history and future. *ATMOSPHERE-OCEAN*, **38**: 1–13.
-

Préface - Modélisation de la couverture de neige au Canada avec le schéma CLASS

Murray D. MacKay
Climate Research Division, Environment Canada, Toronto ON

On sait depuis longtemps que la neige a un effet marqué sur les flux d'énergie, d'humidité et de carbone à la surface de la terre; son rôle dans le système climatique global pourrait difficilement être surestimé. Des schémas de surface du terrain comprenant des modules de physique de la neige de complexité croissante ont été incorporés aux modèles climatiques au cours des dernières années pour en tenir compte. Au Canada, le principal schéma de surface du terrain utilisé dans les applications des modèles climatiques globaux et régionaux est le schéma CLASS (Canadian Land Surface Scheme), qui comporte un traitement détaillé des processus de végétation et de sol ainsi qu'une représentation de la neige au sol que l'on peut considérer de complexité *intermédiaire*. Le schéma CLASS a généralement fait bonne figure dans les programmes de comparaison internationaux, comme le Project for Intercomparison of Land-Surface Parameterization Schemes (PILPS; Henderson-Sellers et coll., 1993) et le Snow Models Intercomparison Project (SnowMIP; Etchevers et coll., 2002). Toutefois, comme l'a signalé Verseghy (2000), de telles expériences peuvent difficilement mener à des améliorations importantes des modèles à cause d'une incomplétude générale des données d'observation. Ceci est particulièrement vrai pour les expériences menées dans les hautes latitudes (p. ex., PILPS 2(d) – Schlosser et coll., 2000; PILPS 2(e) – Bowling et coll., 2003), où des observations aussi fondamentales que le rayonnement de courtes et de grandes longueurs d'onde sont souvent inadéquates ou inexistantes, comme le sont les mesures de paramètres complexes (p. ex., l'indice de surface foliaire) souvent requises dans les schémas modernes de surface du terrain.

Le Canada a une longue histoire de recherche sur les processus climatiques des régions froides qui, ces dernières années, a bénéficié de l'appui du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG — surtout par le biais de l'Expérience mondiale sur les cycles de l'énergie et de l'eau (GEWEX) du Mackenzie) et du Fonds d'action pour le changement climatique (FACC). Ces organismes ont financé une série de projets visant à améliorer l'acquisition et l'analyse des données de terrain, la compréhension des processus et la mise au point de modèles appropriés à la cryosphère canadienne. Plus récemment, on a conçu un projet¹ ayant pour but de consolider et d'augmenter les observations et les paramétrisations existantes des aspects clés de la cryosphère, d'une façon plus coordonnée. Dans la foulée de ce projet, le schéma CLASS a été amélioré par l'addition de cinq algorithmes de processus de neige nouvellement mis au point et a été soigneusement évalué à des sites couverts de végétation et des sites ouverts. On a, de plus, mené des expériences en couplant le schéma CLASS à un modèle hydrologique distribué (WATCLASS) de même qu'au Modèle régional canadien du climat (MRCC). On a également acquis et analysé une grande quantité de données d'enneigement, recueillies sur le terrain ou par télédétection, à l'appui de la recherche en modélisation. Ce numéro spécial d'Atmosphere-Ocean présente les résultats de cet effort. Il renferme l'examen peut-être le plus complet d'un aspect précis du schéma CLASS — en l'occurrence, la représentation de la neige — à ce jour. En outre, on s'intéresse à une variété d'échelles spatiales pouvant aller d'un endroit particulier à un petit bassin hydrologique ou à toute une région. Collectivement, ces études mettent en évidence les nouvelles habiletés des récentes paramétrisations ainsi que les problèmes toujours non résolus en ce qui a trait à la simulation de la neige. Parmi les autres points à souligner, mentionnons :

- une forte indication de l'existence (constance climatologique) d'une bande d'équivalent en eau de la neige (EEN) accru le long de la limite nord de la forêt boréale dans l'ouest du Canada (Derksen et MacKay, dans ce numéro);
- un biais systématique entre les mesures opérationnelles automatisées d'épaisseur de la neige à des points fixes et les circuits nivométriques voisins, biais qui peut être exploité pour obtenir des

¹ en tant que partie de : Marsh et MacKay, « The physics and scaling of snow cover processes in cold regions: improving our understanding of key climate system processes » : Projet du FACC S02-13-05.

équations d'ajustement appropriées au paysage pour les épaisseurs de neige à l'échelle régionale (Neumann et coll., dans ce numéro);

- l'indication d'un flux de vapeur, important mais non massif, au milieu de l'hiver à partir des paysages forestiers et agricoles à l'échelle régionale (MacKay et coll., dans ce numéro).

En ce qui concerne la performance du schéma CLASS, on peut résumer un certain nombre de constats et de recommandations :

- les nouvelles formulations de densité ont amélioré la simulation de l'épaisseur de la neige et de l'EEN, tant aux sites boisés (Bartlett et coll., dans ce numéro) qu'aux sites ouverts (Brown et coll., dans ce numéro), mais il peut encore y avoir des problèmes dans l'Arctique (Gordon et coll., dans ce numéro) où la densification due à la compaction par le vent n'est pas modélisée mais peut être importante;
- l'inclusion de précipitations en phase mixte entre 0 et 6 °C mène à des différences importantes dans la densité, l'EEN et l'albédo durant les saisons de transition (Bartlett et coll., dans ce numéro);
- l'équivalent en eau de la neige au sol modélisée est sensible aux paramètres de la structure de la voûte forestière dans les simulations à un site boisé (Bartlett et coll., dans ce numéro). De plus, les expériences d'étalonnage du schéma WATCLASS indiquent que l'étendue de la couverture de neige et du ruissellement sont aussi sensibles aux valeurs attribuées à des paramètres spécifiques (Davison et coll., dans ce numéro). Ces paramètres sont mal observés en général et cette sensibilité des résultats simulés est une source de préoccupation;
- un biais froid dans la température simulée de la neige dans une épaisse accumulation de neige en montagne a été amélioré par l'addition d'un ajustement spécial au flux turbulent de chaleur sensible employé dans d'autres modèles d'accumulation de neige indépendants (Brown et coll., dans ce numéro); cependant, l'inclusion de cet « échange en l'absence de vent » dans le CRCM entièrement (atmosphère – surface du terrain) couplé a produit très peu d'amélioration (MacKay et coll., dans ce numéro);
- la simulation de l'albédo posait problème pour les couches de neige fondante, minces ou épaisses, et bénéficierait probablement de l'inclusion des caractéristiques particulières de la neige dans le calcul (Brown et coll., dans ce numéro).

Finalement, bien qu'assez ample, ce coup d'œil sur les processus de neige dans le schéma CLASS est loin d'être exhaustif. Un thème important faisant l'objet d'une discussion constante et qui n'a pas été directement abordé ici est la nécessité (ou la non-nécessité) d'inclure des accumulations de neige multicouche dans les schémas de surface du terrain, comme le schéma CLASS. Le schéma CLASS a toujours décrit l'accumulation de neige au moyen d'une seule couche de propriétés moyennes mais, en même temps, on a mis l'accent sur le développement d'autres aspects du modèle, comme l'hétérogénéité spatiale et les processus de végétation. Par exemple, il est bien connu que l'albédo de la neige et la couverture partielle de neige ont une énorme influence sur le bilan énergétique de surface, et ce numéro spécial fait bien voir qu'il y a place à amélioration dans le modèle en ce qui a trait à ces deux paramètres. Bartlett et coll. (dans ce numéro) et Brown et coll. (dans ce numéro) relèvent des problèmes (différents) dans la simulation de l'albédo. Brown et coll. (dans ce numéro) et Davison et coll. (dans ce numéro) discutent de problèmes de simulation des régions couvertes de neige, même si la dernière étude emploie des courbes de diminution de la neige appropriées au paysage. L'albédo et les régions couvertes de neige sont étroitement liés et ont un rôle à jouer dans d'importants mécanismes de rétroaction à l'intérieur du système climatique. Il semble qu'une amélioration à cet égard soit logiquement la prochaine étape du développement du schéma CLASS pour son application à l'étude de la cryosphère, au Canada et ailleurs.

Remerciements

C'est avec plaisir que nous mentionnons notre collaboration avec M. Philip Marsh, D. Ph., et l'Institut national de la recherche sur les eaux au cours des dernières années et notre désir sincère d'entretenir

une collaboration continue pendant les années à venir. Le financement pour les recherches mentionnées ici a été fourni par le Fonds d'action pour le changement climatique, d'Environnement Canada, et le Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada.

Références

- BARTLETT, P. A.; M. D. MACKAY et D. L. VERSEGHY. 2006. Modified snow algorithms in the Canadian land surface scheme: Model runs and sensitivity analysis at three boreal forest stands. *ATMOSPHERE-OCEAN*, **44**: 207–222.
- BOWLING, L.C.; D. P. LETTENMAIER, B. NIJSSEN, L. P. GRAHAM, D. B. CLARK, M. EL MAAYAR, R. ESSERY, S. GOERS, Y. M. GUSEV, F. HABETS, B. VAN DEN HURK, J. JIN, D. KAHAN, D. LOHMANN, X. MA, S. MAHANAMA, D. MOCKO, O. NASONOVA, G.-Y. NIU, P. SAMUELSSON, A. B. SHMAKIN, K. TAKATA, D. VERSEGHY, P. VITERBO, Y. XIA, Y. XUE et Z.-L. YANG. 2003. Simulation of high-latitude hydrological processes in the Torne – Kalix basin: PILPS phase 2(e) 1: Experiment description and summary inter-comparisons, *Glob. Planet. Change*, **38**: 1–30.
- BROWN, R.; P. BARTLETT, M. MACKAY et D. VERSEGHY. 2006. Evaluation of snow cover in CLASS for SnowMIP. *ATMOSPHERE-OCEAN*, **44**: 223–238.
- DAVISON, B.; S. POHL, P. DORNES, P. MARSH, A. PIETRONIRO et M. MACKAY. 2006. Characterizing snowmelt variability in a land-surface-hydrologic model. *ATMOSPHERE-OCEAN*, **44**: 271–287.
- DERKSEN, C. et M. MACKAY. 2006. The Canadian boreal snow water equivalent band. *ATMOSPHERE-OCEAN*, **44**: 305–320.
- ETCHEVERS, P.; E. MARTIN, R. BROWN, C. FIERZ, Y. LEJEUNE, E. BAZILE, A. BOONE, Y.-J. DAI, R. ESSERY, A. FERNANDEZ, Y. GUSEV, R. JORDAN, V. KOREN, E. KOWALCZYK, N. O. NASONOVA, R. D. PYLES, A. SCHLOSSER, A. B. SHMAKIN, T. G. SMIRNOVA, U. STRASSER, D. VERSEGHY, T. YAMAZAKI et Z.-L. YANG. 2002. SnowMIP, an intercomparison of snow models: first results. Paper presented at International Snow Science Workshop, Penticton, British Columbia, 29 septembre - 4 octobre 2002.
- GORDON, M.; K. SIMON et P. A. TAYLOR. 2006. On snow depth predictions with the Canadian land surface scheme including a parametrization of blowing snow sublimation. *ATMOSPHERE-OCEAN*, **44**: 239–255.
- HENDERSON-SELLERS, A.; Z.L. YANG et R.E. DICKINSON. 1993. The project for intercomparison of land-surface parameterization schemes. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **74**: 1335–1349.
- MACKAY, M. D.; P. A. BARTLETT, E. CHAN, C. DERKSEN, S. GUO et H. LEIGHTON. 2006. On the simulation of regional scale sublimation over boreal and agricultural landscapes in a climate model. *ATMOSPHERE-OCEAN*, **44**: 289–304.
- NEUMANN, N. N.; C. DERKSEN, C. SMITH et B. GOODISON. 2006. Characterizing local scale snow cover using point measurements during the winter season. *ATMOSPHERE-OCEAN*, **44**: 257–269.
- SCHLOSSER, C.A.; A. G. SLATER, A. J. PITMAN, A. ROBOCK, K. YA. VINNIKOV, A. HENDERSON-SELLERS, N. A. SPERANSKAYA et K. MITCHELL. 2000. Simulations of a boreal grassland hydrology at Valdai, Russia: PILPS phase 2(d), *Mon. Weather Rev.* **128**: 301–321.
- VERSEGHY, D. 2000. The Canadian Land Surface Scheme (CLASS): its history and future. *ATMOSPHERE-OCEAN*, **38**: 1–13.
-