

Rapport Final: 2003-2006

IMPACT ET ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES POUR LES ACTIVITÉS DE SKI ET DE GOLF ET L'INDUSTRIE TOURISTIQUE : LE CAS DU QUÉBEC

Soumis à:

**Directeur général
Ouranos Inc.
a/s Monsieur Claude Desjarlais
550, rue Sherbrooke, 19e étage
Montréal (Québec) K1A 0E8**

31 mai 2006

Chercheurs principaux/Principal Investigators

1. Bhawan Singh

**Professeur titulaire/ Professor
Département de géographie
Université de Montréal**

2. Christopher Bryant

**Professeur titulaire/ Professor
Département de géographie
Université de Montréal**

Collaborateurs/Collaborators

**Pierre André : Professeur agrégé
Jean-Pierre Thouez : Professeur titulaire
Département de géographie
Université de Montréal**

Assistant(e)s de recherche-étudiant(e)s/Research Assistants-Students

- 1. Marylène Savoie**
- 2. Victor Tapes**
- 3. Denis Granjon**
- 4. Isabelle Pécheux**
- 5. Nicklaus Davey**

Titre du projet :

Impact et adaptation aux changements climatiques pour les activités de ski et de golf et l'industrie touristique : le cas du Québec.

Rapport final 2003-2006**Chercheurs principaux / Principal Investigators :****1. Bhawan Singh**

Professeur titulaire / Professor
Département de géographie
Université de Montréal
Case postale 6128, succ. Centre-Ville
Montréal (Québec) H3C 3J7
Tél. : (514) 343-8040
Fax : (514) 343-8008
Courriel : bhawan.singh@umontreal.ca

2. Christopher Bryant

Professeur titulaire / Professor
Département de géographie
Université de Montréal
Case postale 6128, succ. Centre-Ville
Montréal (Québec) H3C 3J7
Tél. : (514) 343-8061
Fax : (514) 343-8008
Courriel : cr_bryant@stratec.ca

Soumis à:

Monsieur Claude Desjardins
Directeur général
Ouranos Inc.
550, rue Sherbrooke, 19^e étage
Montréal (Québec) K1A 0E8

31 mai 2006

Sommaire exécutif :

Plusieurs études scientifiques démontrent, avec un niveau de certitude assez élevé, que des changements dans l'amplitude et la variabilité du climat vont se manifester dans les prochaines années, dus à des hausses dans les émissions de divers gaz à effet de serre. Ce réchauffement planétaire va prétendument affecter le climat à l'échelle planétaire et les changements climatiques à l'échelle régionale et locale vont être moins prévisibles.

Ces changements climatiques auront des impacts sur divers secteurs économiques, dont le tourisme et la récréation, qui pourraient nécessiter des mesures d'adaptation planifiée. Pour ce faire, la connaissance des changements futurs permet d'en cibler les enjeux et ainsi, ajuster les comportements en conséquence.

Deux des principaux secteurs de l'industrie touristique au Québec sont le ski et le golf qui dépendent des caprices du climat. La saison de ski par exemple pourrait certainement être affectée par les hivers plus doux ayant comme conséquence des pertes économiques importantes. D'autre part, la saison de golf, même si elle pouvait se prolonger, risque de subir des impacts négatifs par exemple d'une hausse de pluviosité et d'une augmentation de la fréquence de journées très chaudes. Ces impacts imputables aux changements climatiques peuvent sérieusement compromettre la rentabilité de ces deux industries touristiques clés du sud du Québec.

Afin d'effectuer les études d'impacts et d'adaptations des industries de ski et de golf dans le sud du Québec, nous avons sélectionné certains sites d'études représentatifs pour les régions suivantes : Montréal et Laurentides, Québec et Charlevoix et les Cantons de l'Est. La sélection s'est effectuée d'abord sur une base de disponibilité des données observées, à partir d'une présélection et de certains critères, tels que l'altitude du site. Pour le secteur de ski, les stations suivantes ont été retenues : pour la région de Montréal et Laurentides, les stations Montréal et La Macaza; pour la région de Québec et Charlevoix, les stations Québec et Grand-Fonds; et pour les Cantons de l'Est, les stations Sherbrooke et Lennoxville. Pour le secteur de golf, les stations suivantes ont été retenues : pour la région de Montréal et Laurentides, les stations Montréal et St-

Hippolyte; pour la région de Québec et Charlevoix, les stations Québec et Grand-Fonds; et pour les Cantons de l'Est, les stations Sherbrooke et Sutton.

Afin d'étudier et d'analyser les impacts des changements climatiques sur le ski et le golf au sud du Québec, nous avons utilisé les sorties diagnostiques de deux modèles couplés de circulation générale atmosphère-océan (MCGA-Os), soit le modèle canadien (CGCM1) et le modèle britannique (HadCM3), pour trois périodes, dont une période de contrôle/observée (1961-1990); une période future à court terme (2010-2039) et une période future à long terme (2040-2069). Parmi les paramètres climatiques journaliers retenus pour nos analyses figurent : les températures maximales et minimales, les précipitations (neige et pluie), l'humidité atmosphérique et la vitesse du vent. De plus, d'autres paramètres et indicateurs climatiques ont été calculés à partir de ces données de base à la fois pour le ski et le golf. Nous avons établis des bases de données quotidiennes complètes pour la période contrôle (1961-1990) pour les stations au Québec, à l'aide des données climatiques d'Environnement Canada. Pour certaines stations (toutes sauf Montréal), des procédures statistiques (régression entre stations) ont été utilisées afin de compléter les données manquantes.

Nous avons ensuite calculé, à l'aide de deux modèles de circulation générale (MCG-AOs), le modèle canadien (CGCM1) et le modèle britannique (HadCM3), les changements climatiques pour les différentes stations météorologiques au Québec, correspondant à des régions d'activités touristiques importantes de la province. La marge d'erreur des modèles globaux est élevée, par la grande superficie des unités calculées. Afin d'améliorer les résultats des données à des échelles locales et régionales, nous avons utilisé une technique de réduction d'échelle (Downscaling) avec de logiciel Statistical DownScaling Model (SDSM). Les données sont calculées à partir des données observées de la période contrôle 1961-1990. Elles servent à dégager un ajustement pour les modèles pour la même période, qui est par la suite extrapolé aux données futures.

Pour le secteur de golf, nous avons aussi calculé certains indices agroclimatiques hors-saison et durant la saison pour les stations à l'étude, pour la période contrôle (1961-1990) et les périodes futures simulées (2010-2039 et 2040-2069). De plus, nous avons, en couplant les sorties à échelle

réduite, des MCG-AOs, calculé les besoins en irrigation pour les trois périodes et les stations se trouvant dans les trois régions.

Afin de développer certains éléments de méthodologie, comme le début et la fin de la saison de ski et de golf, nous avons tenu quatre ateliers impliquant les acteurs des industries de ski et de golf. Ces ateliers nous étaient fort utiles dans l'élaboration des mesures d'adaptation face aux impacts du changement et de la variabilité climatique.

Les résultats de notre recherche prévoient que les changements et la variabilité climatiques vont avoir des impacts importants sur les secteurs du ski et du golf au Québec. Selon les trois scénarios climatiques (CGCM1, HadCM3 A et HadCM3 B), pour les deux périodes futures (2010-2039 et 2040-2069) et pour les trois régions ciblées (Montréal-Laurentides, Québec-Charlevoix et Les Cantons de l'Est), il y aurait des changements importants de certains paramètres climatiques clés, dont la température et la précipitation, ce qui va engendrer des impacts négatifs plus importants pour l'industrie du ski que pour celle du golf.

Pour le secteur du ski, en se basant sur les résultats de nos recherches, nous notons les conclusions suivantes :

- Les impacts sur la durée de la saison et les conditions pendant la saison vont varier selon les régions, les périodes futures et les scénarios climatiques.
- Il y aura une diminution de la saison de ski marquée dans les prochaines années, surtout pour les régions situées plus au sud du Québec: Montréal et les Cantons de l'Est.
- Au Québec, la plupart des stations aujourd'hui fonctionnent avec de la neige fabriquée si bien que l'accumulation de neige naturelle n'est plus un critère déterminant.
- La saison de ski, même en fabricant la neige à -2°C ou à -5°C , risque d'être sérieusement compromise, pour les Cantons de l'Est (Sutton) se limitant à 67 jours (à -5°C) à 90 jours (à -2°C) (2010-2039) et à 36 jours (à -5°C) à 68 jours (à -2°C) (2040-2069).
- Pour le ski, il y a des périodes critiques de gains de revenus, surtout pour les touristes venant de l'extérieur (États-Unis, Ontario, Europe) : la fête de l'Action de Grâce aux États-Unis à la fin de novembre, les vacances de Noël en fin décembre - début janvier, la

relâche scolaire du début de mars et, dans certains cas, les vacances de Pâques au début d'avril. En effet, les stations planifient la rentabilité de leur saison en prévoyant réaliser un tiers de leur chiffre d'affaires à Noël, un tiers en janvier et février, et un tiers en mars pendant les périodes de congé.

- Dans certains cas, les périodes critiques telles que Noël, la relâche scolaire du début de mars et les vacances de Pâques seront complètement ratées, avec des pertes importantes de revenu.
- La fabrication de neige, si ce n'est pas déjà le cas, pourrait être la seule méthode pour continuer à fonctionner. Mais pour les centres de ski au sud du Québec, comme les Cantons de l'Est, celle-ci sera affectée par la durée de saison raccourcie et les conditions douces et pluviales à l'intérieur de la saison.
- D'autre part, le réchauffement (moins de froid et de vent) pourrait augmenter le nombre de journées skiables.
- La capacité à s'approvisionner en eau pour fabriquer la neige devient un enjeu critique. Cet approvisionnement provient essentiellement du bassin versant et en partie de bassins adjacents. Ces prélèvements doivent être autorisés par le ministère du Développement Durable et de l'Environnement qui exige des débits réservés. D'après plusieurs études, il y aurait une baisse dans les niveaux d'eau dans les cours d'eau (lacs, fleuves, rivières) au sud du Québec dans le futur, ce qui va provoquer une compétition plus accrue pour l'utilisation de l'eau pour fabriquer la neige.
- Au niveau de l'adaptation, les stations de ski reconnaissent l'importance de comprendre et d'anticiper les changements climatiques afin de leur permettre de mieux planifier et de maximiser les rendements sur leurs investissements.
- La capacité d'investissement pour produire suffisamment de neige, la nécessité de diversifier les activités notamment pendant l'été avec le vélo de montagne (mont Ste-Anne) et l'importance de renouveler régulièrement son infrastructure font partie des impératifs primordiaux, en matière d'investissements, auxquels devront faire face les stations de ski dans les prochaines années. Les contraintes : cette capacité doit tenir compte des coûts de production de neige qui sont de plus en plus élevés auxquels il faut ajouter la hausse de la tarification électrique et des taxes foncières, l'amortissement du matériel sur 7 ans qui ne reflète pas la réalité qui est plus près de 25 à 30 ans.

- La compétition pour le bassin de clientèle de skieurs risque aussi de changer dans le futur.
- La situation actuelle : il existe aujourd’hui environ 84 stations de ski au Québec dont 15 stations représentent 70% du marché et une douzaine sont tournées vers l’extérieur du Québec. Ces dernières sont déjà en concurrence avec l’est et l’ouest de l’Amérique du Nord notamment à cause du marché du centre des États-Unis.
- Les conséquences : une hausse trop importante des températures pourrait modifier l’approche marketing des stations au Québec qui pourraient bénéficier ainsi d’une clientèle supplémentaire venant du sud de la province (États-Unis). Par contre, de mauvaises conditions météorologiques pourraient entraîner une baisse immédiate de l’achalandage surtout vers les stations qui drainent une clientèle locale et régionale (rôle important des prévisions diffusées par les médias).
- Dans l’ensemble, bon nombre des stations souhaitent une croissance de leur domaine skiable avec une vision/perception relativement positive du marché. Cette augmentation est liée en grande partie à une amélioration ou à des investissements dans l’équipement pour la fabrication de neige.
- La tendance générale va vers une augmentation de la neige fabriquée, mais certaines stations font ressortir encore l’importance de la neige naturelle qui permet une certaine fidélisation de la clientèle grâce à l’excellente qualité de ski qu’elle procure et qui permet de se démarquer par rapport à la concurrence. Elle est devenue pour certains un outil de marketing alors que d’autres parlent seulement de cette neige naturelle comme étant un élément du décor, mais tout de même très important dans l’imaginaire des gens.
- Les changements climatiques associés à un réchauffement des températures sont davantage perçus comme des opportunités dans une région où il fait très froid l’hiver et où la saison estivale est courte. Il n’existe pas de préoccupation par rapport à l’enneigement, car cette région a toujours eu de la neige.
- Plusieurs facteurs (économiques, culturels, climatiques...) influencent à des degrés différents les stations en lien direct avec leur profil (la taille, la situation géographique, la clientèle ciblée (bassin de population)...). Il semblerait que les préoccupations économiques et sociales priment sur les préoccupations climatiques même si celles-ci ne sont pas complètement écartées.

- Depuis plusieurs années, l'industrie du ski a dû s'adapter à de nouvelles habitudes de consommation axées vers des activités moins coûteuses, à la croissance de la concurrence avec d'autres activités de plein-air due à la multiplicité des activités offertes (au printemps et pendant la saison), à de nouveaux phénomènes de société comme la consommation excessive et rapide d'activités de loisirs due en partie à une modification du contexte familial où les deux parents travaillent et à un accès à l'information de plus en plus facile, vaste et pointu.
- Récemment, il y aurait une légère reprise de l'industrie du ski suite à des efforts consentis pour innover, pour développer de nouveaux créneaux (planche à neige, mini-ski, parc à neige, snow scoot,...) afin non seulement de se démarquer par rapport à la concurrence, mais aussi pour répondre à une clientèle de plus en plus exigeante et de plus en plus sélective.
- Pour rendre cette activité plus abordable et ainsi faciliter son accès à un plus large bassin de population, on voit apparaître de nouvelles campagnes de promotions comme la mise en place par l'ASSQ, du livret Passe Partout ces dernières années.
- Des efforts sont faits pour aller chercher les jeunes afin de renouveler la clientèle : développement de nombreuses écoles de ski offrant des formules de plus en plus variées, un partenariat croissant avec les établissements scolaires, la mise en place de nouvelles activités plus attractives pour les plus jeunes comme les parcs à neige; un effort est fait également pour intégrer cette activité chez les immigrants et leurs enfants.
- Une diversification des produits touristiques offerts est déjà enclenchée, motivée par certains acteurs par une demande de la clientèle et/ou une saison météorologique plus aléatoire.
- La gestion des changements climatiques n'est pas encore à l'ordre du jour au sein des organismes publics. Les préoccupations face à ce phénomène sont peu notables et certains acteurs en soulignent plutôt les opportunités à moyen terme comme des hivers moins froids. Cependant, dans certaines régions comme les Laurentides, des variations climatiques ont été constatées ces dernières années (hivers plus tardifs) et des ajustements ont déjà été amorcés au niveau de l'offre de certains produits touristiques comme la motoneige versus les VTT.

- Enfin, on constate que les changements futurs du climat vont avoir un impact certain sur plusieurs sphères économiques, sans parler de celles écologiques. Il faut rester à l'affût des nouvelles recherches et technologies dans le but de prévenir les impacts néfastes dans la majorité des secteurs de notre société.

Pour le secteur de golf, en se basant sur les résultats de nos recherches, nous notons les conclusions suivantes :

- En général, pour l'ensemble des stations et des régions, la durée de la saison de pratique de golf augmente significativement avec les périodes, allant de deux à trois semaines.
- L'allongement de la saison peut être intéressant ou non en fonction du statut administratif du golf. Il est fonction aussi de l'importance par rapport au coût du personnel en fin de saison (golfs familiaux peuvent se permettre d'ouvrir plus tard). Le devancement de la saison serait plus profitable que son étirement. Le mois de septembre est plus beau, certains en profitent, d'autres ne le trouvent pas forcément plus rentable, une grosse partie des golfeurs n'est plus là. L'allongement de la saison peut être intéressant si les retombées peuvent être perçus par d'autres services comme la restauration et l'hébergement. L'allongement de la saison serait peut-être dû à une volonté humaine avec notamment le déblaiement de la neige au printemps pour accélérer la préparation du terrain.
- L'occurrence de journées défavorables à la pratique du sport devrait augmenter étant donné les pluies plus abondantes et une augmentation des températures durant les mois d'été. L'occurrence de canicules augmente aussi significativement ainsi que les précipitations.
- La prolongation de la saison a peu d'impact sur l'achalandage : 75 % de l'achalandage est de juillet à septembre (avec un maximum pendant les vacances de juillet).
- Les membres représentent 70 à 80 % de la clientèle en semaine et en fin de saison.
- Les golfs qui accueillent des tournois se garantissent un certain revenu.
- La fin de la saison est en général autour du 1^{er} novembre (seuil minimum de 10 °C, durée d'ensoleillement, d'autres intérêts...).
- La discontinuité plus accentuée des précipitations va demander une attention particulière pour l'irrigation pendant les périodes chaudes estivales. Ceci sera attribuable à une précipitation plus ou moins stable ou légèrement plus élevée confrontée par une hausse

d'évapotranspiration plus significative pour l'ensemble des régions. Les gestionnaires des gazons de golf de la région du sud du Québec doivent donc trouver des moyens pour éliminer le déficit potentiel en eau attendu.

- Les nouvelles normes environnementales plus strictes qui s'amorcent vont contraindre les gestionnaires de terrain de golf à utiliser des produits à la fois plus efficaces et naturels. Il apparaît une certaine crainte par rapport à cette nouvelle réglementation, car la plupart des golfs sont dépendants des traitements pour améliorer l'esthétique du terrain (importance de l'image).
- Les surintendants des gazons doivent envisager de substituer les espèces gazonnantes moins résistantes au climat sec par des espèces plus résistantes. Par exemple, de substituer l'agrostis traçante au pâturin annuel.
- On remarque que les pelouses pourraient être plus endommagées pendant la période hivernale. Les périodes de redoux en hiver sont celles qui pourraient causer le plus de dommages dans le futur, entraînant une perte de robustesse et la formation de glace. L'explication possible : l'hiver change plus de caractère que l'automne, qui conserve ses caractéristiques particulières malgré les fluctuations dans sa durée.
- Les pelouses pourraient être plus endommagées pendant la saison estivale. Elles peuvent être atteintes, de plus en plus, par des bactéries affectant les gazons par de fortes chaleurs.
- La santé économique de l'industrie du golf dépend des fluctuations économiques et financières globales.
- Les prévisions météorologiques, lorsqu'elles sont négatives, sont parfois inexactes et ont un impact important sur les réservations.
- Il faudra adapter les investissements liés à la gestion de l'eau en fonction des modifications que pourrait subir le terrain. Il faudra aussi tenir compte de la réglementation par rapport au prélèvement d'eau (nouvelle contrainte potentielle). De nouveaux investissements pour recycler et capter l'eau (importance de la qualité de l'eau : pH...) seront sans doute nécessaires. Il y a un besoin d'une plus grande conscientisation dans l'utilisation des fongicides : sensibilisation à l'environnement, impératif de minimiser les coûts et ils doivent se conformer aux exigences du gouvernement en fournissant un plan de réduction dans l'utilisation des traitements. L'apparence d'un gazon coûte chère à l'environnement.

Sensibiliser le public à ces données. La clientèle est de plus en plus exigeante à cause des médias. On veut un gazon parfait!

- Il existe une certaine inquiétude quant à la saturation au niveau du nombre de terrains de golf (la concurrence est plus féroce en région en raison de l'ouverture de nombreux golfs proche de Montréal), le surnombre a entraîné aussi une baisse des prix.
- Il semble nécessaire de redéfinir le produit, car chacun doit trouver sa « niche » (son créneau), la compétition est de plus en plus forte et la clientèle de plus en plus sélective. Certains prévoient une période de turbulence avec des fermetures de terrains dans les prochaines années, ce qui régulera le marché.
- Il semblerait y avoir une augmentation de la clientèle. Pour certains, cette activité est de plus en plus populaire et pour d'autres, l'achalandage n'augmente pas. Elle bénéficie encore pour certains du « phénomène Tiger Woods » qui a créé un engouement pour le golf auprès des jeunes à partir de 1997; pour d'autres, ce phénomène s'est déjà estompé et le marché se stabilise.
- Les terrains de golf cherchent à se démarquer en raison du nombre de terrains avec: des efforts dans des campagnes de promotion, des efforts pour assurer la relève auprès des jeunes (prix attractifs, sport étude golf, contacts avec des écoles), l'ajustement des tarifs en journée pour optimiser les différents moments de la journée et l'offre de forfaits.
- À titre d'adaptation aux changements climatiques, on constate une plus grande vigilance et une plus grande surveillance du terrain tout au long de l'année. Est-ce pour des raisons climatiques ou économiques ou encore pour répondre à une demande de plus en plus exigeante? Cependant, l'entretien du terrain a dû s'adapter davantage aux températures, surtout en début de saison, car la demande est plus forte. Mais il existe tout de même une impression pour certains que l'entretien était plus facile auparavant grâce à une plus grande régularité dans les saisons.
- Si effectivement la saison s'allonge à cause de changements climatiques, cela pourrait être bénéfique pour le golf, mais cette situation reste hypothétique. Le bénéfice est actuellement envisageable uniquement dans le contexte où le terrain de golf arrive à minimiser ses coûts de gestion (main-d'œuvre) en fin de saison.
- Il y a l'impression qu'une médiatisation par rapport au changement climatique peut aussi affecter la perception des gens.

- La recherche avance et il y a eu beaucoup d'amélioration pour avoir de meilleures conditions au printemps. Depuis 15-20 ans, il existe des couverts pour protéger les verts et accélérer la croissance du gazon au printemps.
- En ce qui concerne le gel des terrains, il a toujours existé, et là aussi des recherches s'effectuent pour contrer ce problème.
- La qualité de drainage du terrain va influencer la nature des conséquences sur le terrain de golf. Un terrain bien drainé peut en retirer des avantages (moins d'irrigation nécessaire), un terrain mal drainé entraîne des coûts d'entretien supplémentaires, car plus de produits chimiques doivent être ensuite utilisés pour faire face aux problèmes de l'humidité.
- Les coûts d'entretien du terrain sont essentiellement reliés à la main-d'œuvre et aux produits.
- Les changements sont plus liés à l'avancée de la recherche qu'à d'éventuels changements climatiques.

Finalement, les produits livrables de ce projet de recherche, outre ce rapport, sont : la formation de trois étudiants au niveau de la maîtrise (M. Savoie, V. Tapes et I. Pécheux), un étudiant postdoctoral (D. Granjon) et un mémoire de baccalauréat (N. Davey). De plus, une série d'articles scientifiques découlant de cette recherche sera soumise à diverses revues (Climatic Change, Mitigation and Adaptation Strategies to Global Changes...) dans les prochains mois.

Executive Summary

Several scientific studies, all with varying levels of certainty, show that climate changes and their variability due to the increasing atmospheric concentrations of greenhouse gases will manifest themselves in the future. Such climate changes will, in all likelihood, affect a number of climatic variables at the global scale. However, the magnitude and extent of regional and local climate changes will be more difficult to predict.

These climate changes, including their variability, will most likely have significant impacts on several economic sectors, including those of the tourism and recreation industries. In Southern Québec, Canada, the ski and golf industries, according to most studies, will be affected in some manner by these climate changes. In the context of such climate changes, the different spheres of economic activity, that are likely to be directly or indirectly affected by climate changes, may suffer serious disruptions which would call for the implementation of a variety of adaptation measures. However, these measures would require an understanding of the issues surrounding the likely future impacts of climate change.

The ski and golf operations form two of the major sectors of the tourism industry of Québec. These recreational activities are fragile and very sensitive to the vagaries of climate. For instance, the ski industry can be severely affected by mild winters, which can have major economic impacts. On the other hand, although the golf industry may be favored by slightly longer seasons, it may be negatively impacted by such climate changes as an increase in rainy days and an increase in extremely hot days. These impacts, amongst others, attributable to future climate change and variability can seriously influence the profitability and viability of these two key tourism activities in Southern Québec.

In order to undertake the impacts and adaptation studies on the ski and golf industries in southern Québec, we selected certain representative sites for three key regions, namely: Montréal and the Laurentians, Québec City and Charlevoix and the Eastern Townships. These stations were selected based on certain criteria such as the availability of climate and activity data and elevation. For the ski sector the following stations were retained: Montréal and La Macaza for the Montréal-

Laurentians region; Québec City and Grands Fonds for the Québec City-Charlevoix region and Sherbrooke and Lennoxville for the Eastern Townships region. Similarly, for the golf sector the following stations were retained: Montréal and Saint Hippolyte for the Montréal-Laurentians region; Québec City and Grands Fonds for the Québec City-Charlevoix region and Sherbrooke and Sutton for the Eastern Townships region.

For the detailed studies and analyses on the impacts of climate change on the ski and golf industries in Southern Québec, we used the diagnostic outputs of two coupled atmosphere-ocean general circulation models (AO-GCMs), namely the Canadian (CGCM1) and the British (HadCM3: A and B) models, for three time slices: a control/observed period (1961-1990); a short-term future period (2010-2039) and a long-term future period (2040-2069). The climate variables chosen for the impacts and adaptation studies included: maximum and minimum air temperature, precipitation (snow and rain), atmospheric humidity and wind speeds. Furthermore, other climate parameter and indicators were calculated from these data sets for both the ski and golf sectors. For the control (1961-1990) period, observed data was obtained from Environment Canada. However, for all stations except Montréal, statistical procedures involving mainly regression analyses between neighboring stations were used to fill the gaps for missing data.

We then used the outputs of the two A-O GCMs, namely the CGCM1 and HadCM3 (A and B) to derive the changes in the selected climate variables for the two future time periods (2010-2039 and 2040-2069). Given, the inadequacies of the outputs of the AO-GCMs at the global scale, in order to derive the pertinent climate data at the local and regional scale, we used downscaling procedures using the Statistical Downscaling Model (SDSM). For the control (1961-1990) period observed data is first compared to AO-GCM simulated data. Then, the climate changes for the two future time periods (2010-2039 and 2040-2069) are derived by adjusting the observed (1961-1990) accordingly.

For the golf sector, a further number of agroclimatic indices, in-season and off-season, are calculated for each of the stations within the three study regions, for the observed (1961-1990) and for the two future time periods (2010-2039 and 2040-2069). Furthermore, irrigation requirements

during the golfing season are calculated for each of the stations within the three study regions, for the observed (1961-1990) and for the two future time periods (2010-2039 and 2040-2069).

The results of our research on the impacts of and adaptations to climate change of the ski and golf industries in Southern Québec show that future climate change and variability will have significant impacts on these two key sectors in Southern Québec. According to the three climate scenarios used (CGCM1 and HadCM3 A and B), for the two future time periods (2010-2039 and 2040-2069), for the three study regions, namely, the Montréal-Laurentians region, the Québec City-Charlevoix region and the Eastern Townships region, there will very likely be important changes in variety of key climate variables and parameters, mainly temperature and precipitation, which will cause negative impacts, more so for the ski as opposed to the golf sector.

Based on the results of our study the following conclusions have been arrived at in relation to the impacts of and adaptation to climate change and variability for the ski sector:

- The impacts of climate change on the length of the ski season and on snow conditions during the ski season will vary according to the region in question, the future time period involved and the climate scenario used.
- There will be a drastic reduction in the length of the ski season in the future, more so for the regions situated more to the South, namely, the Montréal and Eastern Townships regions.
- In Southern Québec, as a measure of adaptation already in place, the vast majority of ski stations operate with artificially fabricated snow, so much so that in today's context, the amount of accumulation of natural snow is less of a determining factor insofar as the viability of a ski centre is concerned.
- The ski season, even by making snow at -2°C or at -5°C , faces the risk of being severely compromised, for stations in the Eastern Townships (Sutton), where the season be shortened to periods ranging from 67 days (at -5°C) to 90 days (at -2°C) (2010-2039) and to 36 days (at -5°C) to 68 days (at -2°C) (2040-2069).
- In the ski sector there are a number of windows of opportunity for gaining revenues, more so insofar as tourists coming from outside of Québec (United States, Ontario, Europe) are

concerned. These windows are: thanksgiving weekend at the end of November in the United States, the Xmas break at the end of December-beginning of January, the March break, and for certain more northerly and higher centers, the Easter weekend at the beginning of April. In fact, most ski stations plan their season and their profitability by hoping to achieve at least two-thirds of their revenues during these critical periods.

- For some ski stations in the future, for instance the Easter Townships, certain critical periods, as the Xmas break and the March break and the Easter weekend may be completely lost on account of poor or non-existent snow conditions, with significant losses of revenues.
- Snow-making may be the only possibility for certain ski centers to continue to operate. But for stations in the more Southerly locations of Québec (Montréal, Eastern townships), even this will be limited by the shortened season and mild and rainy conditions.
- On the other hand, climate warming (less intense cold, especially when combined with windiness) may favour the number of skiable days for certain stations.
- The ability to have access to water for snow-making is already a problem in certain cases and this problem will become a more important issue with climate change. Currently water for snow-making is accessed from drainage basins within or adjacent and these water withdrawals must be authorized by the provincial Ministry of The Environment, which exercises restrictions to the amount of water withdrawn for snow-making. Furthermore, several studies point to a reduction in water levels in water courses (streams, rivers and lakes) in southern Québec in the future, which in all likelihood would increase the competition for water for snow-making.
- Insofar as adaptation to climate change is concerned, ski hill operators recognize the importance and the potential impacts of future climate change and they are beginning to anticipate the impacts that these future changes may have on their profits and investments.
- Furthermore, investments in snow-making infrastructure and efforts at diversification by moving to all-season operations (snow-boarding, water parks and mountain-biking in summer), are some of the further adaptation measures being anticipated or already being undertaken by certain ski centers in Southern Québec. However, even these efforts are already being frustrated by increasing costs for snow-making deriving from, increasing amortization costs, energy costs and taxes.

- The competition for ski clientele is already a problem and this situation may worsen in the future.
- Currently, there are approximately 84 ski centers in Southern Québec. Of these 15 stations represent 70 % of the market. About another 12 centers have focussed on clients mainly from outside of Québec, mainly middle USA, but they face stiff competition from ski centers from other ski hill operators both on the East and west coasts of North America.
- Climate warming may however benefit ski hill operators in Southern Québec, since they may be able to draw on clients from the Eastern USA, where climate change may have a more profound impact on the ski sector. Weather forecasts, especially regarding mild or rainy conditions in the home towns/states of these visitors are however perceived as a major constraint.
- In general, a good number of ski hill operators, especially those located in more northerly and higher regions (Grands Fonds, Le Massif, Laurentians) in spite of projected climate changes seem optimistic about the ski industry and this is reflected by major investments in snow-making and ski-lift infrastructure.
- In spite of the increasing tendency towards snow-making, certain ski centers located at more northerly and higher locations (Québec-Charlevoix), that can operate with natural snow use this as a measure of promotion to build a solid client base, and this separates them from other competing centers who do not have this advantage.
- In fact, certain ski centers located at more northerly and higher locations (Québec-Charlevoix), where the winters are currently very cold and where snowfalls are abundant, perceive climate warming as an advantage in that it will create more favourable and comfortable conditions for skiing in the future.
- Apart from climate, several economic and cultural factors influence, to varying degrees, the attraction of certain ski centers to their client base/profile, so much so that economic and social preoccupations take precedent over climatic preoccupations although the latter are not completely ignored.
- For several years now, the ski industry in Southern Québec has had to adapt to changing consumer habits that are becoming more oriented to less costly recreational activities and that have access to other outdoor activities that take up less time (a concern for people with families) such as hiking on snow trails.

- Recently, a number of ski centers in Southern Québec, in order to separate themselves from their competitors and to satisfy a more demanding clientele, have taken steps towards diversification of their operations in an attempt to attract new clientele and increase profits. Amongst these new activities are snowboarding, snow sliding, mini-ski and snow parks.
- In order to make skiing more affordable and attractive to a larger client base, several ski centers, in collaboration with the Association des Stations de Ski du Québec (ASSQ) have turned to a variety of marketing promotional efforts such as pricing incentives (Passe Partout booklets...).
- Looking to the future, several ski centers, in collaboration with the Association des Stations de Ski du Québec (ASSQ) have undertaken efforts aimed at attracting young skiers, including the immigrant population of Québec through school outings and lessons programs, and also by introducing a variety of activities of interest to the younger population such as snow parks and snowboarding.
- In view of the unfavourable weather conditions for skiing in recent years, several ski centers (Laurentians), in collaboration with the Association des Stations de Ski du Québec (ASSQ) have undertaken further diversification efforts of tourist-oriented leisure activities such as snowmobiling and use of all-terrain vehicles.
- Risk management of climate change is not a high priority issue for public institutions. As a matter of fact, certain managers see climate change as an opportunity for conditions more favourable to outdoor skiing in the future.
- Finally, it is recognized that future climate changes may not only impact on certain economic sectors, such as the ski industry, but also on the environment. It is also recognized that the ski industry should be mindful of new research and data and new technologies to deal with climate change.

Based on the results of our study the following conclusions have been arrived at in relation to the impacts of and adaptation to climate change and variability for the golf sector:

- In general, for the selected regions and stations, it would appear that the duration of the golfing season will increase significantly for the future time periods (2010-2039 and 2040-2069), by about 2 to 3 weeks depending upon the climate scenario and the region.

- However, the benefits of a longer golfing season will depend on the type of club membership: clubs with fixed annual memberships and whose main clientele is made up of members will see little benefit of operating longer unless members are willing to absorb the increases costs of maintenance. For most golf courses, members represent 70 to 80 % of the clientele both during the week and weekends.
- Golf courses also try to stabilize their revenue streams by encouraging and promoting company and other tournaments.
- Also, the benefits of a longer golfing season will be more beneficial at the beginning of the season than at the end (November), when people have other preoccupations (children at school, upcoming Xmas holidays...).
- The golf season, for most golf course in Southern Québec ends around November 1 st, on account of limiting daylight, cooler temperatures and time required to winter-proof the greens and fairways.
- As an adaptation measure, some golf clubs in Southern Québec (eg., International 2000), are already using snow blowers to clear the fairways and greens so as to get an earlier start to the season.
- It is very likely that there may a greater loss of golfing days in the future on account of unfavorable weather conditions, mainly raininess and extremely hot days.
- The lengthening of the golf season will have a minimal impact on a good number of golf courses: the busiest period (75 % of the clientele) is from July to September, with a peak in July.
- The greater variability of precipitation in the future may also have a negative impact, especially in regards to irrigation water requirements and use. For southern Québec climate models project more or less stable or a slight increase in precipitation. This combined with much higher evapotranspiration rates will very likely require greater irrigation applications.
- New and changing environmental norms and regulations regarding water use and the use of chemicals (herbicides, pesticides and fertilizers) may also pose challenges and problems for golf course operators in the future. Already the Québec Ministry of The environment has banned the use of certain pesticides and herbicides, although, in the interim, golf courses are exempt.

- Golf course operators may also have to look to substituting currently used grass species (Poa annua and Creeping Bent Grass) by newer varieties that may tolerate rain and thaw and freeze in the winter and drought in the summer.
- Golf course grasses on greens and fairways may very likely be exposed to damaging weather conditions in the future. In the fall, milder temperatures and raininess may cause of loss of cold hardiness and thus an increased susceptibility to cold winter conditions. In the winter milder temperatures, combined with rain and freeze and thaw cycles and a thinner snow pack will very likely lead to damage to the roots and crowns of grasses.
- Similarly in summer, with increasing air temperature and humidity, grasses on golf course greens and fairways may be more susceptible to bacteria and diseases.
- The golf industry is very sensitive to global and national economic cycles.
- Weather forecasts are of crucial importance to golf course operators. An inaccurate forecast, especially with respect to rain, and for a particular locality, can cause significant revenue losses.
- Golfers are generally very demanding and discerning when it comes to the quality of the fairways and greens and already large investments are made to acquire irrigation systems and the use of chemical agents for fertilization and weed control are widespread. Climate change and variability in the future may very likely lead to an increase in these practices. However, government regulations may pose further challenges.
- In Southern Québec, there has been a significant increase in the number of golf courses in recent years. This has lead to increased competition amongst golf courses with the result being lower green fees and profitability.
- Certain golf course operators seem to feel the necessity to redefine their product and find a niche market, since the competition for the clientele is becoming stiffer. Some even foresee the closing of certain golf courses, which may help regularize the market.
- It would seem that in recent years there has been an increase the number of people playing golf and that the sport is becoming increasingly popular. It seems that since 1997, the sport has taken on added interest amongst the younger clientele, a phenomenon very likely due to the impact of Tiger Woods.
- Golf courses must try to strategically place themselves and try to stay ahead of the competition in order to stay in business. They must adjust and adapt to climate and non-

climate stressors by vigorously involving themselves in promotional campaigns, especially amongst the younger clients by encouraging and promoting, golf schools, maintaining contacts with schools and by offering attractive prices and discounts.

- Insofar as adaptation to climate change is concerned, a large number of golf course operators expressed the need to be more vigilant of climate changes and shifting economic conditions both during the golfing season and the off-season. It is also recognized that golfers are becoming more demanding with respect to the condition of the fairways and greens and this requires greater effort especially at the beginning of the season when the demand is great.
- If in truth and in fact the golfing season is getting longer on account of climate change, this is perceived, in general, as beneficial for the golfing industry. But these benefits would have to be weighed against the added costs of management and maintenance, especially towards the end of the season.
- There is also the perception amongst the clientele, driven by the media, that climate change will be very beneficial to golfing and this may be viewed as a positive advantage.
- On account of recent research efforts especially by the Royal Canadian golf Association (RCGA), there are specialized covers to protect the greens and to accelerate grass growth in the spring and this has allowed golf courses to provide good fairways and greens at the beginning of the season.
- Similarly, problems related to frost heaving on the fairways and greens are being addressed by research efforts. But this problem may become more prevalent with climate change.
- Good drainage is another problem that golf course operators must face. For some courses, where soil and topography conditions dictate, added costs of drainage equipment is required, especially at the beginning of the season. However, if climate change were to cause a shallower snow pack in the future this problem may be alleviated.
- The cost of operations of golf courses are largely driven by labor and products used to maintain the greens and fairways in top condition.
- There is the perception that changes may be more related to advances in research than to eventual climate changes.

Finally, the deliverables of this research project, apart from this report are: the training of three Masters Level students (M. Savoie, V. Tapes and I. Pécheux), one postdoctoral fellow (D. Granjon) and one Bachelor's thesis (N. Davey). Furthermore, a series of articles emanating from this research will be forwarded to scientific journals (Climatic Change, Mitigation and Adaptation Strategies to Global Changes...).

TABLE DES MATIÈRES

Sommaire exécutif	3
Remerciements	23
Introduction	24
Résultats et Discussions-SDSM	42
Secteur de ski	65
Secteur de golf	175
Rencontres-acteurs du secteur publique	381
Conclusions et recommandations	391
Références	399

Remerciements

Nous voulons remercier les agences et les personnes suivantes pour nous avoir aidées à réaliser ce projet de recherche : Ministère des Ressources Naturelles du Canada (C-CAIRN) et le Consortium Ouranos pour leur appui financiers; le Consortium Ouranos pour les arrangements logistiques reliés à quatre ateliers tenus chez eux; l'Association des Stations de Ski du Québec (ASSQ) et ses membres qui ont participé à des ateliers; l'Association des Terrains de Golf du Québec (ATGQ) et ses membres qui ont participé à des ateliers; les Assistants de Recherche, surtout Marylène Savoie (ski et golf) et Victor Tapes (golf) pour leurs contributions au niveau des diverses analyses des données et Denis Granjon et Isabelle Pécheux pour leurs contributions au niveau des rencontres avec les acteurs des industries de ski et de golf.

Acknowledgements

We would like to thank the following agencies and individuals for having contributed to the successful completion of this research project: the Ministry of Natural Resources, Canada (C-CAIRN) and the Ouranos Consortium for their financial contributions; the Ouranos Consortium for the logistic arrangements related to the four workshops held at their offices; l'Association des Stations de Ski du Québec (ASSQ) and its members who participated in the different workshops and focus group meetings; l'Association des Terrains de Golf du Québec (ATGQ) and its members who participated in the different workshops and focus group meetings; the Research Assistants, especially Marylène Savoie (ski and golf) et Victor Tapes (golf) for their contributions in regards to the various data analyses; Denis Granjon and Isabelle Pécheux for their contributions in respect to the interviews and focus group meetings with the key players of the ski and golf industries.

SECTION 1

1.0. INTRODUCTION

Selon plusieurs études scientifiques, il est de plus en plus certain que des changements climatiques dus à des hausses dans les émissions de divers gaz à effet de serre vont se manifester dans un avenir proche (IPCC, 2001a, 2001b). Le réchauffement qui en découle va supposément affecter le climat à l'échelle planétaire, et les changements climatiques à l'échelle régionale et locale vont être moins prévisibles.

Ces changements climatiques y compris les variabilités vont avoir des impacts sur divers secteurs économiques dont le tourisme et la récréation. Dans le sud du Québec au Canada, les industries de ski et de golf, selon toutes évidences, vont être affectées d'une manière à une autre par ces changements climatiques. Dans ce contexte de changement climatique global, les différentes sphères économiques touchant directement ou indirectement le climat peuvent subir des bouleversements, nécessitant des mesures et des politiques d'adaptation planifiée. Pour ce faire, la connaissance des changements futurs permet d'en cibler les enjeux et ainsi, ajuster les comportements en conséquence.

Pour l'industrie touristique au Québec : le ski et le golf jouent un rôle majeur, tous les deux dépendent des caprices du climat. La saison de ski par exemple pourrait certainement être affectée par les hivers plus doux ayant comme conséquences des pertes économiques importantes. D'autre part, la saison de golf vu qu'elle doit se prolonger, risque de subir des impacts négatifs comme une hausse de pluviosité et/ou des journées très chaudes, des effets qui peuvent compromettre la rentabilité de l'industrie.

1.1. OBJECTIFS GÉNÉRAUX

Nous nous sommes fixé comme objectifs d'utiliser les sorties de deux modèles couplés de circulation générale atmosphère-océan (MCG-AOs), soit le modèle canadien (CGCM1) et le modèle britannique (HadCM3), pour trois périodes, dont une période de contrôle/observée (1961-1990); une période future à court terme (2010-2039) et une période future à long terme (2040-2069) afin d'analyser les impacts des changements climatiques sur le ski et le golf au sud du Québec.

Étant donné que nous désirons une analyse portant sur différentes régions du Québec, nous avons sélectionné certains sites d'étude pour certaines régions : Montréal et Laurentides, Québec et Charlevoix et les Cantons de l'Est. La sélection s'effectue d'abord sur une base de disponibilité des données observées pour la période contrôle 1961-1990, à partir d'une présélection et de certains critères, tels que l'altitude du site. Pour le secteur de ski, les stations suivantes ont été sélectionnées: pour la région de Montréal et Laurentides, les stations Montréal et La Macaza; pour la région de Québec et Charlevoix, les stations Québec et Grand Fonds; et pour les Cantons de l'Est, les stations Sherbrooke et Lennoxville. D'autre, pour le secteur de golf, les stations suivantes ont été retenues : pour la région de Montréal et Laurentides, les stations Montréal et St-Hippolyte; pour la région de Québec et Charlevoix, les stations Québec et Grand Fonds; et pour les Cantons de l'Est, les stations Sherbrooke et de Sutton. Le descriptif de ces sites nous est donné au TABLEAU I.

Parmi les paramètres climatiques journaliers retenus pour nos analyses figurent : les températures maximales et minimales, les précipitations (neige et pluie), l'humidité atmosphérique et la vitesse du vent. De plus, d'autres paramètres et indicateurs climatiques ont été calculés à partir de ces données de base à la fois pour le ski et le golf.

Nous avons établis des bases de données quotidiennes complètes pour la période contrôle (1961-1990) pour les stations au Québec, à l'aide des données climatiques d'Environnement Canada. Pour certaines stations (toute sauf Montréal), des procédures statistiques (régressions entre stations) ont été utilisées afin de compléter les données manquantes.

Nous avons ensuite calculé, à l'aide de deux modèles de circulation générale (MCG-AOs), le modèle canadien (CGCM1) et le modèle britannique (HadCM3), les changements climatiques pour les différentes stations météorologiques au Québec, correspondant à des régions d'activités touristiques importantes de la province. La marge d'erreur des modèles globaux est élevée, par la grande superficie des unités calculées. Afin d'améliorer les résultats des données à des échelles locales et régionales, on utilise une technique de réduction d'échelle (Downscaling) avec le logiciel Statistical DownScaling Model (SDSM) (Wilby et Wrigley, 1997; Wilby et Dawson, 2001). Les données sont calculées à partir des données observées de la période contrôle 1961-1990. Elles servent à dégager un ajustement pour les modèles pour la même période, qui est par la suite extrapolé aux données futures.

Nous avons ensuite pu calculer les indices agroclimatiques des stations de golf, pour la période contrôle (1961-1990) et les périodes futures simulées (2010-2039 et 2040-2069) et comparer les résultats de ces indices entre le présent et le futur. Le calcul de la neige au sol pour les données futures a ensuite été effectué.

Calculer la neige au sol pour les données futures et compléter ce paramètre dans le cas de données manquantes observées.

À l'aide des données observées et générées, nous avons calculé différentes caractéristiques de la saison de golf et de ski pour trois périodes (1961-1990, 2010-2039, 2040-2069) et nous les avons comparé dans le temps.

1.3. MÉTHODOLOGIE

Avec le traitement des données observées et de deux modèles couplés de circulation générale (MCG-AOs), modifiés par 'DownScaling', nous simulons le climat futur. Cela nous permet d'identifier les caractéristiques des saisons de ski et de golf dans le temps. Nous identifions aussi les changements quant aux indices agroclimatiques, qui nous permettront d'évaluer les dommages hivernaux causés au gazon, dans le cas du golf.

Nous démontrons d'abord les procédures méthodologiques utilisées pour le traitement des données observées et futures. Les méthodes de 'DownScaling' sont ensuite exposées. Nous énoncerons ensuite les procédés pour calculer les indices agroclimatiques et les caractéristiques de saison. Les résultats, sous forme de comparaison entre les données observées et futures, sont rapportés ensuite pour les données futures après le 'DownScaling', les indices agroclimatiques et les caractéristiques des saisons de ski et de golf.

1.3.1. Traitement des données observées

La première étape d'une simulation est de constituer une base fiable, selon laquelle s'effectuera le traitement de données futures. Étant donné que nous voulons une analyse portant sur différentes régions du Québec, nous devons sélectionner des sites d'étude pour certaines régions : Montréal et Laurentides, Québec et Charlevoix et Sherbrooke et Cantons de l'Est. La sélection s'effectue d'abord sur une base de disponibilité des données observées pour la période contrôle 1961-1990, à partir d'une présélection et de certains critères, tels que l'altitude du site. Les stations suivantes ont été sélectionnées pour le ski et le golf : Montréal, Québec, Grand Fonds, Sherbrooke. Les stations de St-Hippolyte et Sutton sont additionnées pour le golf, tandis qu'il s'agit des stations de La Macaza et de Lennoxville pour le ski. Le descriptif de ces sites nous est donné au Tableau 1.1 et la Figure 1.2.

À partir des données climatologiques d'Environnement Canada, nous avons constitué des bases de données, avec sept (7) paramètres climatiques principaux pour chaque station : la température minimale, maximale, moyenne, les précipitations totales, sous forme de neige et sous forme de pluie et la neige au sol.

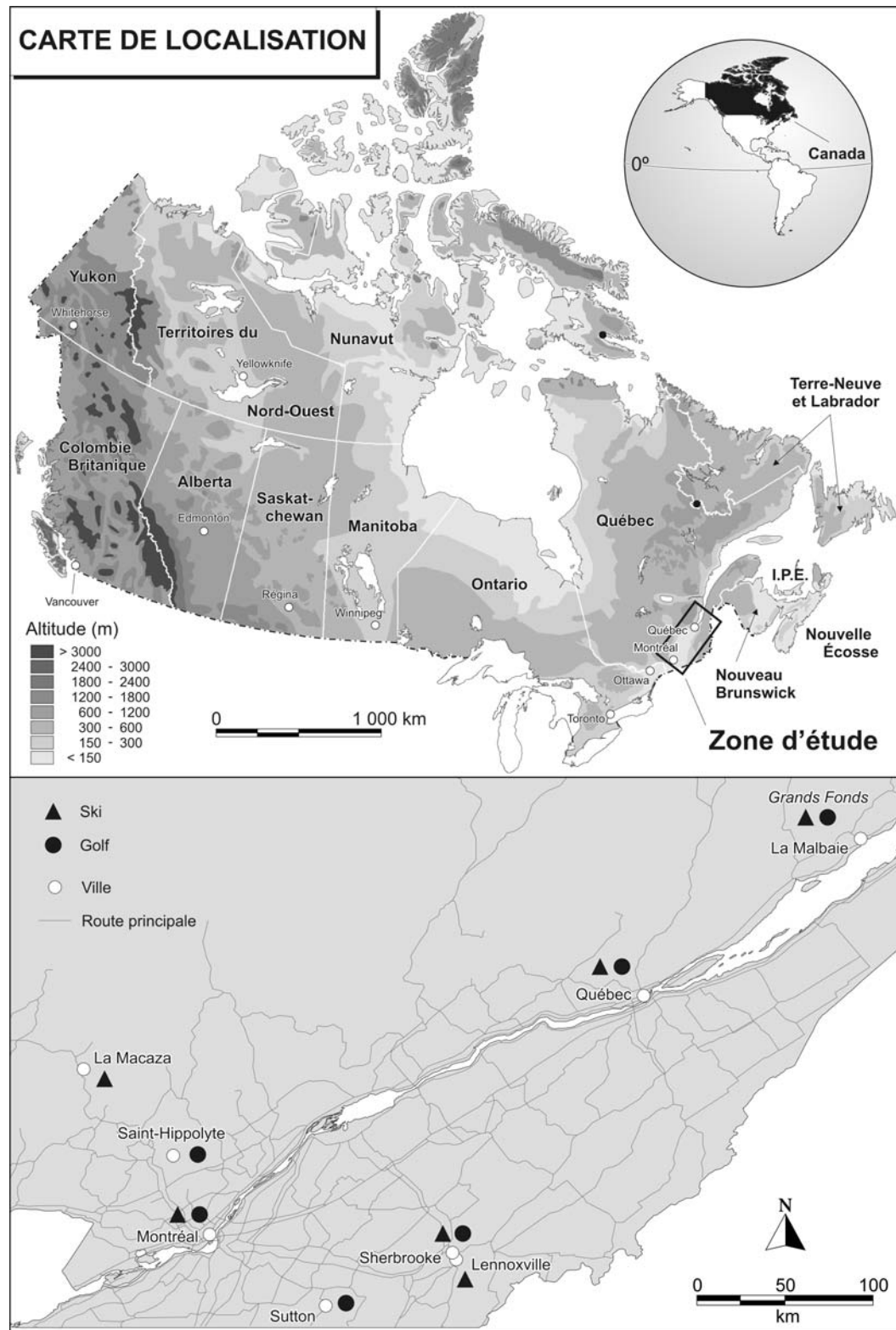
Plusieurs problèmes se posent alors, le manque d'informations est important pour certaines stations. Il s'agit parfois de données manquantes pour de courtes périodes (quotidiennes) ou pour de longues périodes (mensuelles et annuelles).

TABLEAU 1.1. Descriptif des stations météorologiques

Stations ski et golf	Nom	Numéro de station	Coordonnées géographiques	Altitude
Montréal	1961-1990 : Montréal/Dorval INTL A	7025250	45°28'N, 73°45'W	36m
Québec	1961-1990 : Québec/Jean Lesage INTL A	7016294	46°48'N, 71°23'W	74m
Sherbrooke	1961-1962 : Sherbrooke	7028120	45°24'N, 71°54'W	181m
	1963-1990 : Sherbrooke A	7028124	45°25'N, 71°40'W	241m
Grand Fonds	1961-1968 : La Malbaie	7043960	47°40'N, 70°09'W	23m
	1969-1990 : Grand Fonds	7042870	47°45'N, 70°07'W	366m
Stations golf				
St-Hippolyte	1961-1990 : St Hippolyte	7037310	45°58'N, 74°0'W	366m
Sutton	1961-1962 : Sutton	7028290	45°07'N, 72°37'W	180m
	1963-1984 : Sutton jonction	7028295	45°09'N, 72°37'W	213m
	1985-1990 : Sutton	7028292	45°04'N, 72°40'W	244m
Stations ski				
Lennoxville	1961-1990 : Lennoxville	7024280	45°22'N, 71°49'W	181m
La Macaza	1961-1976 : La Macaza A	7033940	45°24'N, 74°46'W	245m
	1976-1990 : La Macaza	7033939	46°22'N, 74°46'W	244m

Pour les stations qui ont subi un léger déplacement (Sherbrooke, Sutton, La Macaza), les données sont prises directement. Dans le cas de Grand Fonds, il a cependant été nécessaire d'effectuer des ajustements statistiques pour pouvoir utiliser les données de La Malbaie, puisque cette dernière se situe à une altitude beaucoup moins élevée. La station de St-Hippolyte comporte aussi des données manquantes (mensuelles de 1961-1963) qui ont été substituées, après régressions, par les données de la station météorologique de St-Jérôme.

Figure 1.1. Carte de localisation des stations retenues pour l'étude : ski et golf.



1.3.2. Données observées manquantes

Températures

Les stations à proximité de la station fournissent des informations pertinentes pour la température, dans la mesure où elles sont situées dans un proche rayon. Il s'agit de cas à cas pour déterminer la meilleure station qui constituera une base pour le calcul des données de température manquantes. Nous avons sélectionné des stations qui, dans un rayon de 25km, ont des données pour la ou les période(s) manquantes de la station principale (Tableau 1.1).

Il s'agit d'effectuer des régressions entre les données disponibles de la station et celles de la station proximale. L'indice de régression est ensuite appliqué aux données de la station proximale, afin de les ajuster à celle de la station choisie. Dans le cas de données manquantes à l'intérieur d'une année, l'équation de régression entre les deux stations pour cette année sera appliquée. Lorsque l'année complète est manquante, c'est l'équation des années suivantes qui est appliquée. Cette procédure s'applique pour les températures moyennes, minimales et maximales.

Exemple de procédure : station de Grand Fonds :

La première étape est de sélectionner la régression la plus appropriée entre les stations. La figure suivante présente les courbes de régressions quadratique et linéaire en fonction des données observées pour les deux stations, qui nous permettent de choisir la régression appropriée : ces tests ont été effectués pour chaque paramètre.

Les deux types de régressions présentent un R carré élevé et correspondent significativement avec les données observées (Figure 1.2; Tableau 1.2). La régression linéaire est choisie puisque, pour les autres régressions (ces tests ont été effectués pour chaque paramètre), il y avait plus d'évidence de bonne correspondance avec une régression linéaire. La régression logistique a aussi été effectuée, mais les résultats obtenus n'étaient pas significatifs.

FIGURE 1.2. Résultats de régressions linéaires et quadratiques pour 1969-1972, variable indépendante La Malbaie et variable dépendante Grands Fonds, température minimale.

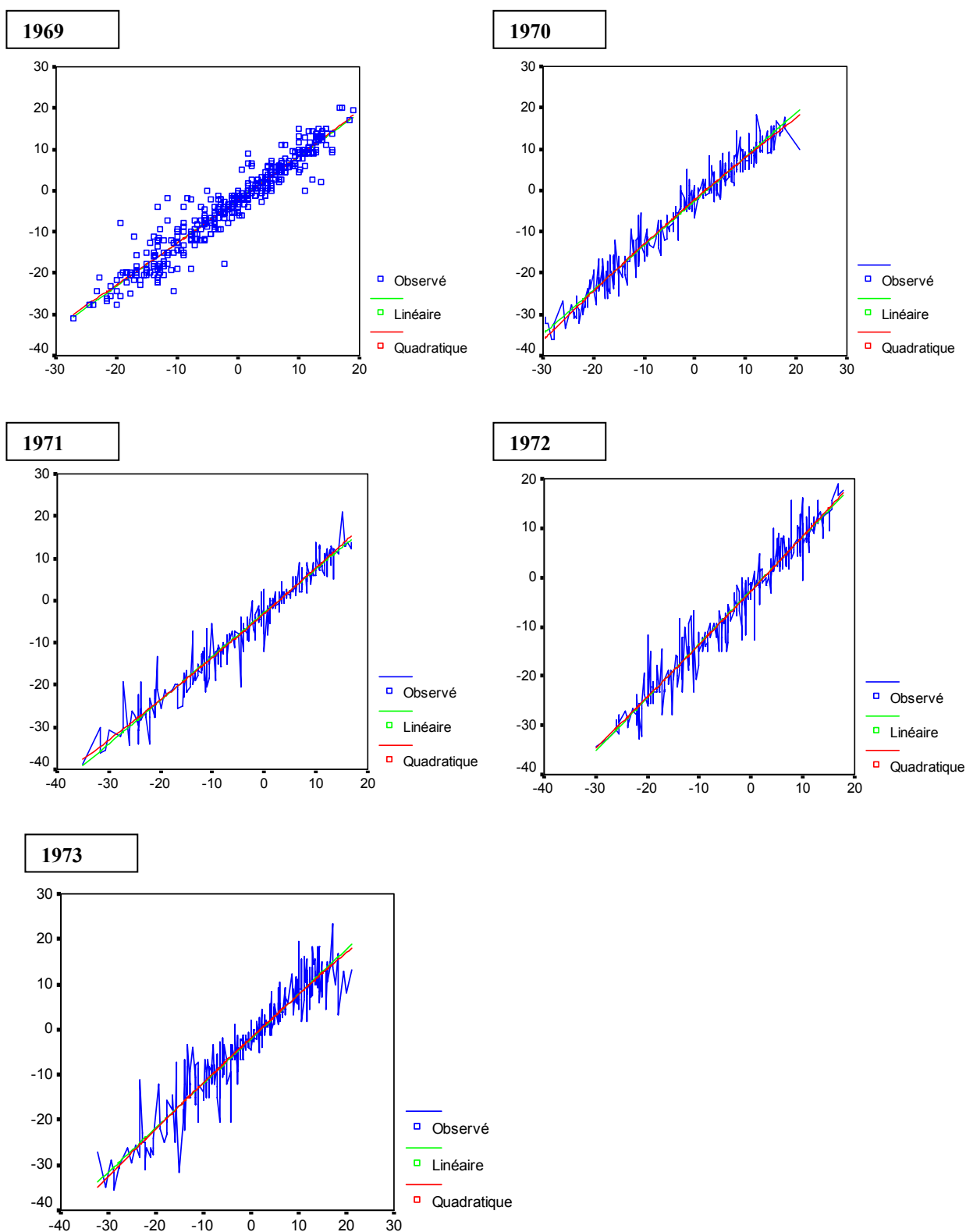


TABLEAU 1.2. Résultats de régressions linéaires et quadratiques pour 1969-1972, variable indépendante La Malbaie et variable dépendante Grands Fonds : température minimale

	Régression	Rsq	df	F	b0	b1	b2
1969	LIN	,916	370	4036,40	-2,1857	1,0488	
	QUA	,916	369	2018,11	-2,3237	1,0565	,0015
1970	LIN	,954	370	7677,93	-2,5510	1,0739	
	QUA	,955	369	3923,02	-2,1672	1,0483	-,0030
1971	LIN	,943	308 307	5119,73	2,8754	1,0353	
	QUA	,944		2581,96	3,0872	1,0610	,0021
1972	LIN	,942	339	5492,62	-2,6069	1,0874	
	QUA	,942	338	2746,57	-2,7496	1,0993	,0013
1973	LIN	,902	368	3368,73	-2,0183	,9863	
	QUA	,902	367	1687,51	-1,8315	,9762	-,0015

La station de La Malbaie présente quelques mois manquants. Avant de commencer les régressions avec Grand Fonds, nous devons remplacer ces données. Pour les mois manquants de 63, 64 et 65, on fait donc une régression à l'aide d'une station autre que Grand Fonds étant donné que les données pour cette dernière débutent en 1969. La station choisie pour faire la régression est La Pocatière, soit la station la plus proche ayant des données pour les années désirées. Ces mois manquants doivent aussi être ajustés selon la régression avec Grands Fonds, puisque c'est finalement cette station qui nous intéresse.

Une fois le type de régression trouvé et les données de La Malbaie complétées, nous traitons les données selon les indices dégagés. Pour cet exemple, la moyenne des 5 années est pour $B_0 = -2.4475$ et B_1 (pente) = 1.0463 (TABLEAU 1.2). Cette équation est appliquée aux données de La Malbaie de 1961-1968, pour qu'elles correspondent aux données de Grand Fonds qui sont manquantes pour cette période.

Pour remplacer les mois manquants de 1969 à 1990, une régression entre La Malbaie et Grand Fonds est effectuée pour chaque année de cette période. Les données de la Malbaie manquantes pour cette période (données quotidiennes dispersées) sont remplacées par interpolation linéaire.

Lorsqu'il s'agit d'années manquantes, nous appliquons l'équation de régression correspondant aux cinq (5) années suivantes. Voici un exemple pour la température maximale entre Grand Fonds et La Malbaie (Tableau 1.3).

TABLEAU 1.3. Indice de régression linéaire de Grand Fonds (dépendante) par rapport à La Malbaie (indépendante) pour la température maximale quotidienne 1969-1990

Année:	Rsq	d.f.	F	b0	b1
1969	,938	370	5619,46	1,8077	1,0036
1970	,963	370	9526,63	1,6827	,9963
1971	,939	308	4755,54	1,1411	,9522
1972	,931	339	4539,44	2,1845	1,0335
1973	,919	370	4184,07	1,7393	1,0000
1974	,906	370	3550,59	1,5186	,9709
1975	,893	370	3075,55	,4781	,9878
1976	,869	308	2036,78	2,6468	1,0634
1977	,919	370	4181,28	2,2844	1,0423
1978	,956	370	7951,05	1,4403	1,0142
1979	,936	370	5401,22	1,3460	1,0009
1980	,938	370	5606,35	1,9037	1,0303
1981	,896	370	3178,03	1,1348	,9984
1982	,919	370	4208,68	1,5639	1,0300
1983	,914	370	3913,92	1,9554	1,0421
1984	,902	370	3407,55	1,5612	1,0121
1985	,921	370	4286,88	1,7605	,9832
1986	,865	339	2178,86	1,4836	,9854
1987	,915	370	4004,00	-1,6026	1,0081
1988	,909	339	3372,90	-2,0474	1,0066
1989	,914	339	3587,93	-1,8658	1,0236

Procédure:

1. Diviser les observations par années.
2. Estimer les courbes pour chacune des années et en dégager l'indice de régression ($y = mx + b$).
3. Appliquer l'équation pour x =données observées pour trouver les valeurs manquantes.
4. Pour les mois, choisir l'équation pour l'année donnée
5. Pour 1961-1968, nous prenons la moyenne des indices de régression pour les 5 années suivantes, période assez grande pour être fiable est assez près pour être semblable :

$$Y = 0.99712 (b1) x - 1.71106 (b0).$$

Pour la température moyenne de Grand Fonds et les températures de St-Hippolyte, les mêmes opérations sont effectuées.

Température moyenne Grand Fonds : La moyenne de 1969-1973 est appliquée aux données de La Malbaie pour 1961-1968 soit l'équation suivante : $1.0395x - 2.2556$.

Température maximale St-Hippolyte : Les données manquantes sont en 1961, 1962 et 1963 seulement, et, étant donné le manque important pendant ces années, la comparaison est effectuée à partir de la moyenne des régressions des cinq (5) années suivantes soit, 1964-1968. La station de comparaison choisie est St Jérôme, étant donné sa proximité ainsi que la disponibilité de données. L'équation appliquée est : $0.9438x - 0.5082$.

Température minimale St-Hippolyte : l'équation est : $1.0083x - 0.5576$

Température moyenne : l'équation est : $0.9893x - 0.8244$

Précipitations

La procédure est différente dans le cas des précipitations puisqu'il s'agit de données discontinues. Il faut donc appliquer les différences entre les précipitations mensuelles de la station et de la station proximale, seulement pour les journées qui avaient déjà des précipitations. Les régressions ne sont pas significatives (R^2 : non significatif), puisque les précipitations ont une plus grande variabilité dans l'espace et à cause de leur nature discrète. C'est donc à l'aide des moyennes mensuelles que les ajustements sont effectués.

Exemple pour les précipitations à Grand Fonds :

Le calcul de moyennes mensuelles pour les mois des années suivantes est effectué dans le but de trouver le taux d'erreur moyen entre les deux stations. Pour Grand Fonds, les données de précipitations seront compilées en moyennes mensuelles, qui sont ajoutées ou déduites à celles de La Malbaie, selon les fréquences de précipitations mensuelles (TABLEAU 1.4). La même opération est effectuée avec La Pocatière pour les données manquantes de 1961-1967.

TABLEAU 1.4. Statistiques mensuelles des précipitations de Grand Fonds et de La Malbaie 1968-1990

Mois	Moyenne Grand-Fonds	Écart-type Grand-fonds	Moyenne La Malbaie	Écart-type La Malbaie	Différences quotidiennes	Différences mensuelles
Avril	2.6669	7.19642	1.8535	5.69166	0.8134	25.22
Aout	3.1513	6.65137	2.6049	6.03253	0.5464	16.94
Décembre	3.2238	7.83202	1.8243	5.30070	1.3995	43.38
Février	2.0919	6.62787	1.1742	3.79280	0.9177	28.45
Janvier	2.4309	6.86726	1.3130	3.91018	1.1179	34.65
Juillet	2.8378	7.91322	2.2790	5.50235	0.5588	17.32
Juin	2.9345	7.20217	2.4869	5.79788	0.4476	13.88
Mars	2.9934	7.82605	1.5745	5.55895	1.4189	43.99
Mai	2.9258	6.97787	2.4241	5.43404	0.5017	15.55
Novembre	2.5774	6.68768	1.9251	5.41834	0.6623	20.53
Octobre	2.7043	7.56123	2.0779	5.54401	0.6264	19.42
Septembre	2.8455	7.36404	2.5031	6.28222	0.3424	10.61

Précipitations sous forme de pluie et de neige

La même procédure est appliquée aux précipitations sous forme de pluie qu'aux précipitations totales, à Grand Fonds et à St-Hippolyte.

Pour trouver les précipitations sous forme de neige, on soustrait la pluie aux précipitations totales. Une vérification des données est ensuite faite à l'aide de la température minimale des journées pour vérifier l'exactitude du procédé. À part quelques ajustements mineurs (de moins de 1mm) il n'y a aucune erreur importante à ajuster, nous informant d'une coordination adéquate pour les différents paramètres des stations.

Neige au sol

Le manque de données pour la neige au sol cause un problème important puisque les régressions effectuées avec les stations proximales ne donnent pas des résultats significatifs. Le couvert de neige dépend de plusieurs paramètres locaux, outre la neige tombée, la pluie et la température (contrôlant la fonte). La formule suivante est appliquée pour calculer la neige au sol (cette variable est calculée à l'intérieur d'un programme calculant les caractéristiques de saisons (en

annexe), intégralement, à des fins de comparaison, ou pour remplacer les valeurs manquantes – voir sections caractéristiques de saisons) :

Couvert de neige (cm) = (précipitations sous forme de neige (cm) * d) - m

Où d = densité, la valeur attribuée est de 0,3

m (mm) = fonte ('snowmelt') qui est calculé selon une équation, tirée de : Scott & al. 2001, Brown & Braaten, 1999 et US Army Corps of Engineers, 1956:

$$m \text{ (mm)} = k * (1.88 + (0.007 * \text{précipitations sous forme de pluie (mm)}) * t_{\text{moyenne}} + 1.27)$$

Où k est une constante équivalente à 1

Traces

Le format numérique, avec lequel il est nécessaire de travailler à des fins statistiques, ne permet pas de données en format texte, il convient donc de leur attribuer une valeur. Après communication avec Environnement Canada, nous avons pu substituer trace par 0.1cm, puisqu'il correspond à moins de 2mm.

Nombre de jours par mois

Le nombre de jours sera toujours à vérifier, puisqu'avec le modèle de CGCM1, il n'y a pas d'années bissextiles. Avec HadCM3, tous les mois ont 30 jours. La durée des mois des données observées est donc modifiée, selon les besoins, pour assurer une bonne correspondance.

1.4. Réduction d'Échelle (DownScaling)

Le traitement des données pour le DownScaling s'effectue avec le logiciel Statistical DownScaling Model (SDSM). Nous employons ce type de traitement statistique pour avoir des résultats qui prennent en compte les particularités du milieu (par exemple la topographie), et la variabilité climatique régionale. En effet, les 'Global Circulation Models' (GCMs) ont une résolution assez grossière. Elle est satisfaisante pour une étude à l'échelle planétaire, mais peu précise si nous voulons étudier un petit secteur, comme le sud du Québec. Il s'agit de faire une remise à l'échelle statistique.

SDSM permet, à l'échelle journalière, de générer des données futures de températures (minimale, maximale et moyenne quotidienne) et de précipitation totale grâce à des variables synoptiques ('predictors'), de haute atmosphère, traitées par régressions multiples pour la période de contrôle (1961-1990) afin d'obtenir les valeurs locales ('predictands'). Cela permet une génération de valeurs stochastiques sur une base quotidienne mais selon les valeurs déterminées par le modèle.

Le logiciel de SDSM permet présentement le traitement de deux (2) modèles couplés de circulation générale MCG-AO) soit CGCM1, forcé par le scénario IS92a (modèle couplé de circulation générale canadien, première génération) et deux scénarios du modèle britannique HadCM3 (SRES forçages : A2a et B2a). Les données sont donc générées selon ces deux modèles, permettant une vue sur trois scénarios possibles.

Les modèles de circulation générale (MCG-AO) nous donnent des résultats en grille. Les stations présentées dans ce rapport font partie de deux (2) points de grilles pour le modèle CGCM1 et de trois (3) points de grilles pour le modèle HadCM3.

La première étape a pour but de sélectionner les 'predictors' (recueillis sur le site Internet de SDSM -UKSDSM data archive) ayant une correspondance significative avec les predictands générés (différents pour températures et précipitations). Ensuite, un calibrage du modèle est effectué avec les predictands sélectionnés. On utilise ce calibrage dans le générateur stochastique ('Weather Generator'), pour simuler trois (3) périodes différentes : 1961-1990, 2010-2039, 2040-

2069. La calibration peut être modifiée par le biais de l'inflation de la variance ou de 'bias correction'. Selon les analyses de comparaison entre les données simulées et observées de 1961-1990, les modifications requises sont ajoutées pour une plus grande ressemblance. La simulation est créée en vingt (20) séries (partageant les mêmes caractéristiques statistiques mais selon une distribution différente), qui permettent une sélection plus juste par l'analyse de chacune des séries de données avec les données observées (tests de corrélations).

Les tableaux suivantes présentent les variables synoptiques 'predictors' (Tableaux 1.5 et 1.7) ainsi que les degrés de corrélations entre les 'predictors' synoptiques et les variables au niveau de chaque station (Tableau 1.6 et 1.8) selon les modèles CGCM1 et HadCM3 A et B.

Tableau 1.5. Variables ('predictors') pour le modèle CGCM1.

No.	Variable	No.	Variable
1	Mean sea level pressure	14	500 hPa divergence
2	Surface airflow strength	15	850 hPa airflow strength
3	Surface zonal velocity	16	850 hPa zonal velocity
4	Surface meridional velocity	17	850 hPa meridional velocity
5	Surface vorticity	18	850 hPa vorticity
6	Surface wind direction	19	850 hPa geopotential height
7	Surface divergence	20	850 hPa wind direction
8	500 hPa airflow strength	21	850 hPa divergence
9	500 hPa zonal velocity	22	Near surface relative humidity
10	500 hPa meridional velocity	23	Relative humidity at 500 hPa
11	500 hPa vorticity	24	Relative humidity at 850 hPa
12	500 hPa geopotential height	25	Surface specific humidity
13	500 hPa wind direction	26	Mean temperature at 2m

Tableau 1.6. Corrélations entre les ‘predictors’ et les paramètres climatiques : CGCM1.

Stations	Température moyenne		Température minimum		Température maximum		Précipitations	
	Variables	R ²	Variables	R ²	Variables	R ²	Variables	R ²
Montréal	12, 24, 25,26	0.83	24, 25,26	0.75	12, 24, 25,26	0.77	1,5,18	0.22
Québec	12, 24, 25,26	0.79	24, 25,26	0.72	12, 24, 25,26	0.69	4,17,23,24	0.28
Grand Fonds	12, 25,26	0.65	24, 25,26	0.66	12,24,25,26	0.68	4,17,23,24	0.17
Sutton	12, 24, 25,26	0.67	24, 25,26	0.75	12, 24, 25,26	0.70	4,17,23	0.20
St-Hippolyte	24, 25,26	0.69	24, 25,26	0.66	12, 24, 25,26	0.68	4,17,23	0.23
Sherbrooke	12, 24, 25,26	0.83	12, 24, 25,26	0.70	12, 24, 25,26	0.95	1,5,18,23	0.22
La Macaza	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Lennoxville	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

Tableau 1.7. Variables (‘predictors’) pour le modèle HadCM3.

No.	Variable	No.	Variable
1	Mean sea level pressure	14	500 hPa divergence
2	Surface airflow strength	15	850 hPa airflow strength
3	Surface zonal velocity	16	850 hPa zonal velocity
4	Surface meridional velocity	17	850 hPa meridional velocity
5	Surface vorticity	18	850 hPa vorticity
6	Surface wind direction	19	850 hPa geopotential height
7	Surface divergence	20	850 hPa wind direction
8	500 hPa airflow strength	21	850 hPa divergence
9	500 hPa zonal velocity	22	Relative humidity at 500 hPa
10	500 hPa meridional velocity	23	Relative humidity at 850 hPa
11	500 hPa vorticity	24	Near surface relative humidity
12	500 hPa geopotential height	25	Surface specific humidity
13	500 hPa wind direction	26	Mean temperature at 2m

Tableau 1.8. Corrélations entre les ‘predictors’ et les paramètres climatiques : HadCM3

Stations	Température moyenne		Température minimum		Température maximum		Précipitations	
	Variables	R ²	Variables	R ²	Variables	R ²	Variables	R ²
Montréal	12, 25,26	0.72	12, 25,26	0.72	12, 25,26	0.78	1,4,22,23	0.36
Québec	12, 25,26	0.78	12, 25,26	0.73	12, 25,26	0.65	4,7,17,22	0.36
Grand Fonds	12, 25,26	0.66	25,26	0.65	12, 25,26	0.68	4,7,17,22	0.17
Sutton	12, 25,26	0.67	25,26	0.76	12, 25,26	0.67	4,17,22,25	0.22
St-Hippolyte	25,26	0.65	12, 25,26	0.63	12, 25,26	0.61	4,17,22,24,25	0.26
Sherbrooke	12, 25,26	0.82	12, 25,26	0.69	12, 25,26	0.74	22,23,24	0.21
La Macaza	12, 25,26	0.72	12, 25,26	0.62	12, 25,26	0.61	4,17,22	0.18
Lennoxville	25,26	0.83	25,26	0.69	12, 25,26	0.69	4,17,22	0.20

SECTION 2

2.0 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

D'abord, nous présentons dans cette section les résultats concernant l'utilisation de la méthode de mise en échelle SDSM (Statistical DownScaling Method).

2.1 SDSM

Les figures suivantes (Figures 2.1 à 2.16) nous montrent les changements de la température moyenne pour les périodes futures comparativement à la moyenne de la température moyenne simulée de 1961-1990, pour chaque modèle.

En général, nous pouvons constater que l'augmentation moyenne de la température est supérieure pour le modèle HadCM3 que pour le modèle de CGCM1. Selon les stations, les variations sont de 4°C à 10°C pour le scénario A de HadCM3 tandis qu'elles sont de 1 °C à 5 °C pour le scénario B et de 2°C à 4°C pour le modèle CGCM1. D'ailleurs les stations plus nordiques démontrent les hausses de températures plus importantes. Par exemple, pour la station de Québec les hausses de température sont de l'ordre de 3 °C (B) à 8 °C (B) pour modèle HadCM3 et de 4 °C pour le modèle CGCM1. D'autre part ces hausses de température sont de l'ordre de 1 °C (B) à 4 °C (B) selon le modèle HadCM3 et de 3 °C selon le modèle CGCM1 pour la station de Montréal.

Il est aussi intéressant de constater les variations entre les stations. Comme nous l'avons mentionné, les stations font souvent référence à un même point de grille pour les modèles. Cependant, les résultats suite au 'DownScaling' ne sont pas homogènes. Par exemple, la variation future pour la station Grand Fonds est beaucoup plus faible que pour les autres stations et ce, avec les deux modèles. La station de Québec, pourtant la station située la plus près de Grand Fonds présente un changement très important, allant jusqu'à près de 10°C selon le scénario A du modèle HadCM3.

FIGURE 2.1. Fluctuations de la température moyenne journalière future par rapport à la période contrôle 1961-1990 simulée par le modèle CGCM1, après Downscaling, station Grand Fonds.

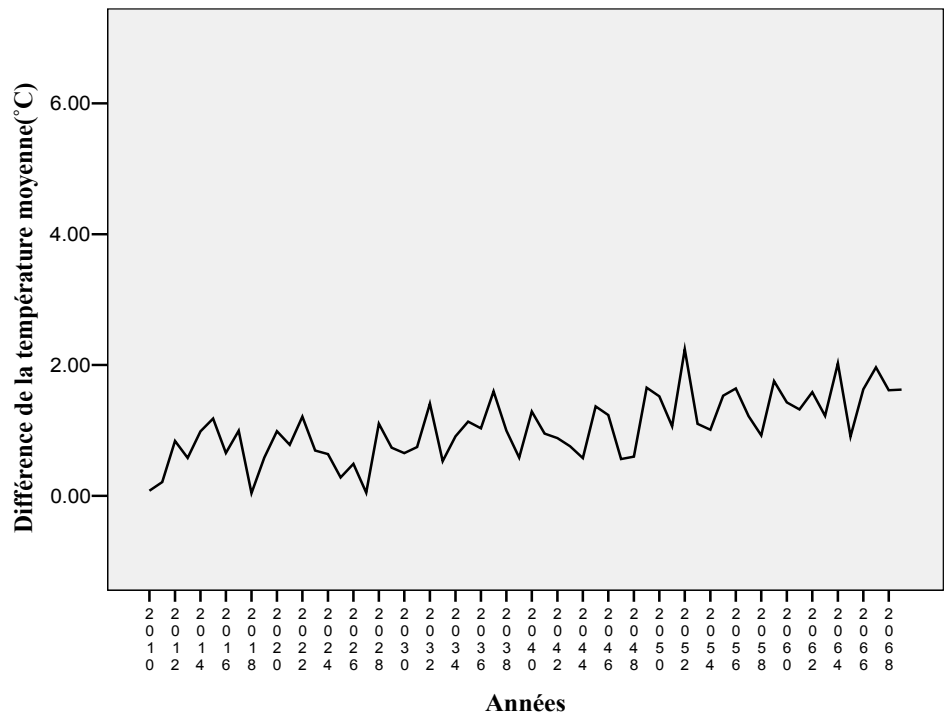


FIGURE 2.2. Fluctuations de la température moyenne journalière future par rapport à la période contrôle 1961-1990 simulée par le modèle HadCM3, après downscaling, station Grand Fonds.

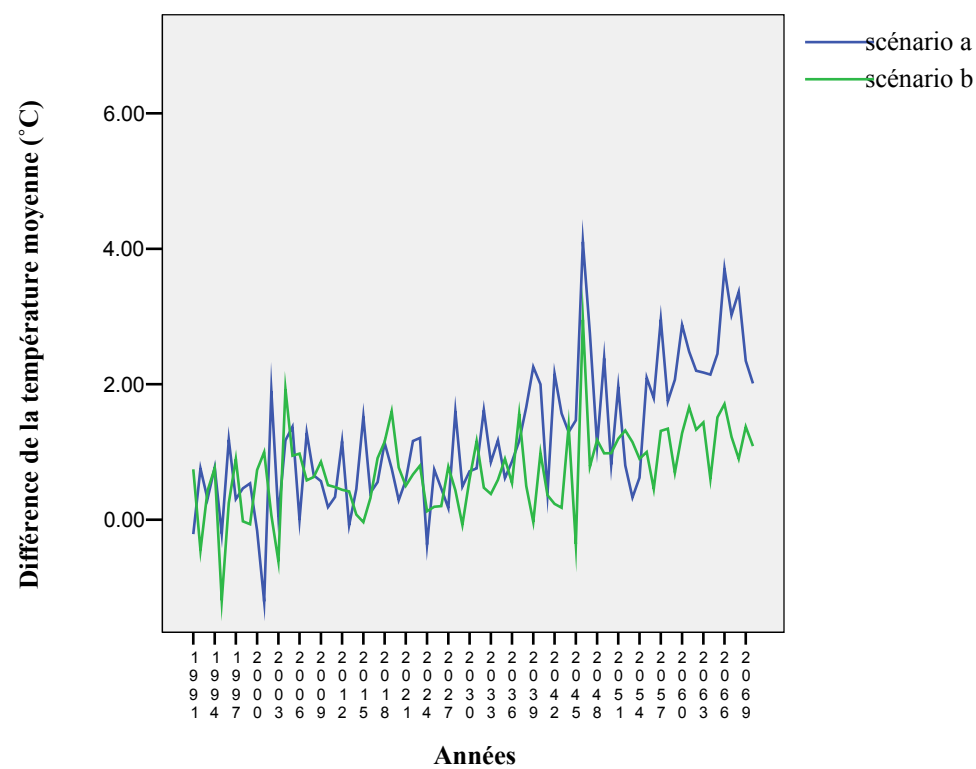


FIGURE 2.3. Fluctuations de la température moyenne journalière future par rapport à la période contrôle 1961-1990 simulée par le modèle CGCM1, après downscaling, station La Macaza.

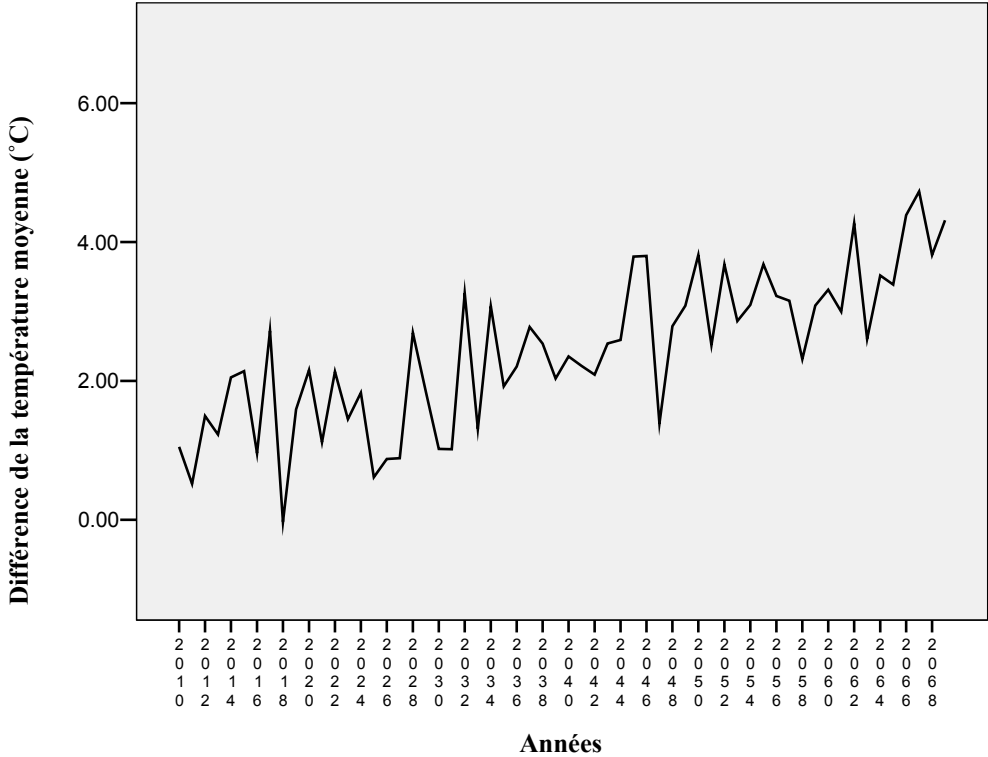


FIGURE 2.4. Fluctuations de la température moyenne journalière future par rapport à la période contrôle 1961-1990 simulée par le modèle HadCM3, après downscaling, station La Macaza.

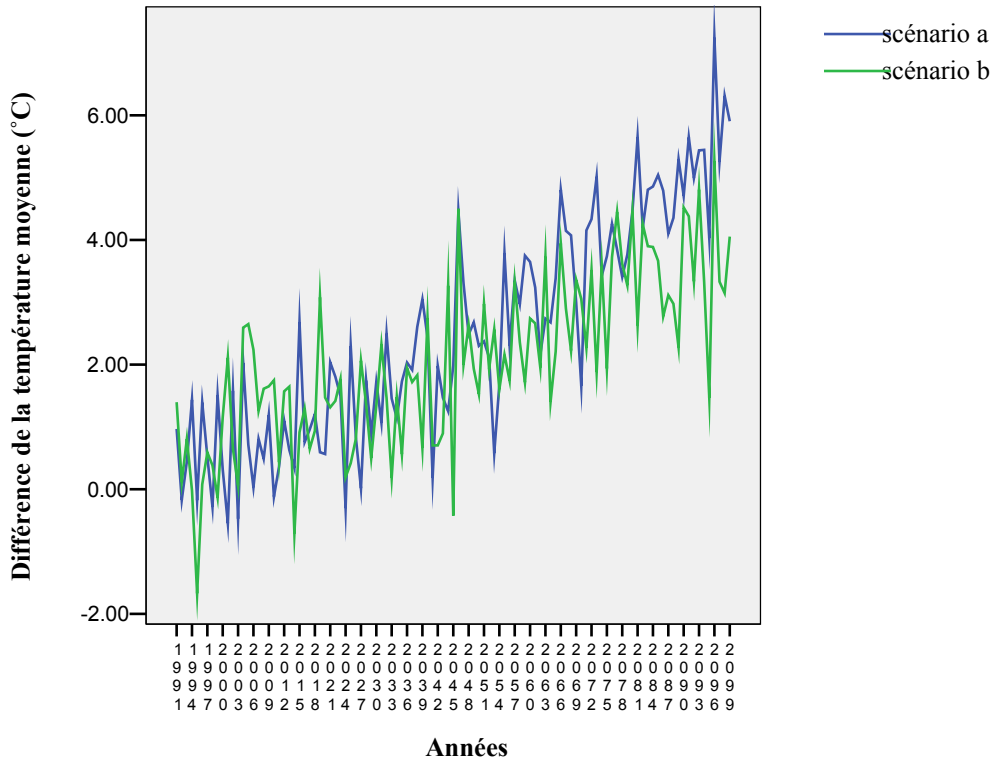


FIGURE 2.5. Fluctuations de la température moyenne journalière future par rapport à la période contrôle 1961-1990 simulée par le modèle CGCM1, après downscaling, station Lennoxville.

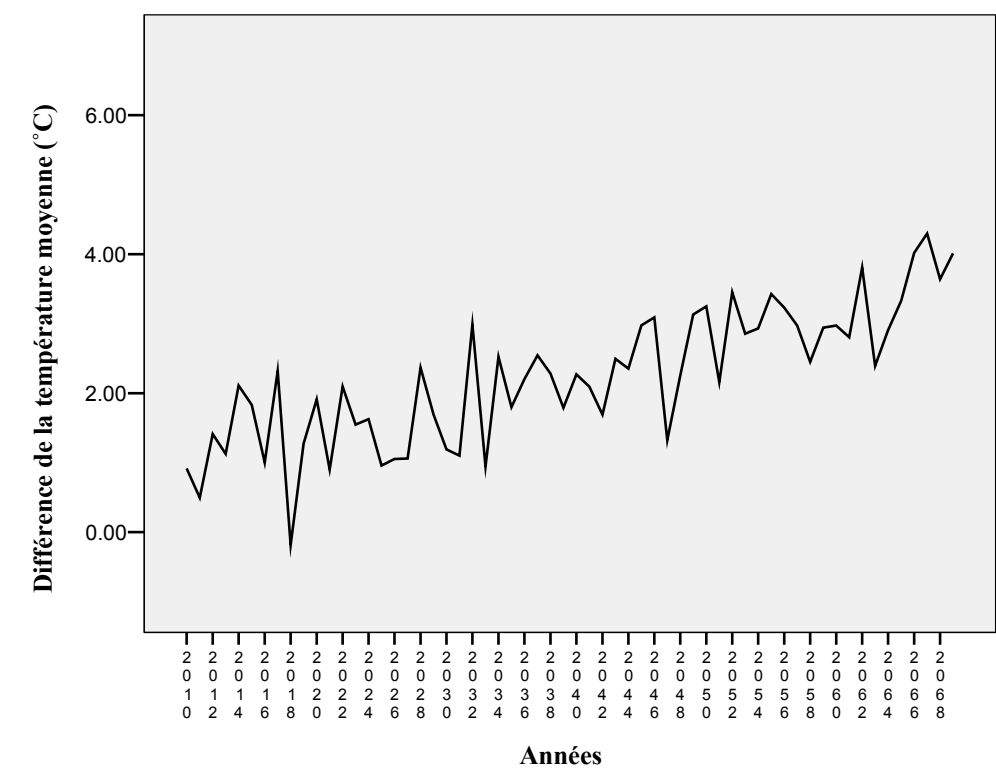


FIGURE 2.6. Fluctuations de la température moyenne journalière future par rapport à la période contrôle 1961-1990 simulée par le modèle HadCM3, après downscaling, station Lennoxville.

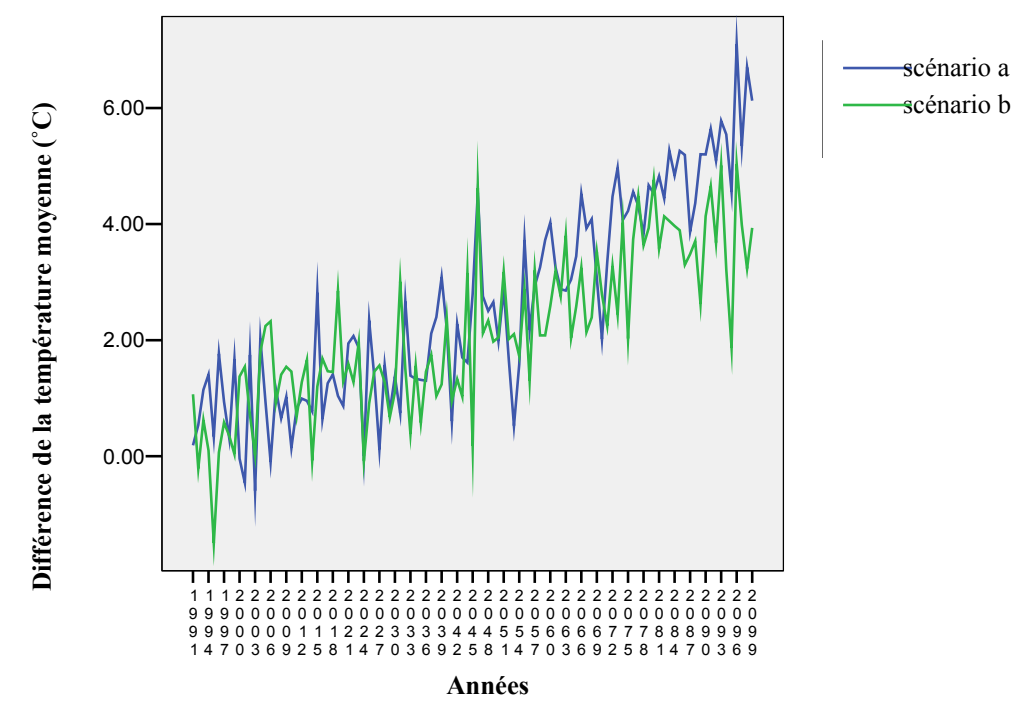


FIGURE 2.7. Fluctuations de la température moyenne journalière future par rapport à la période contrôle 1961-1990 simulée par le modèle CGCM1, après downscaling, station Montréal.

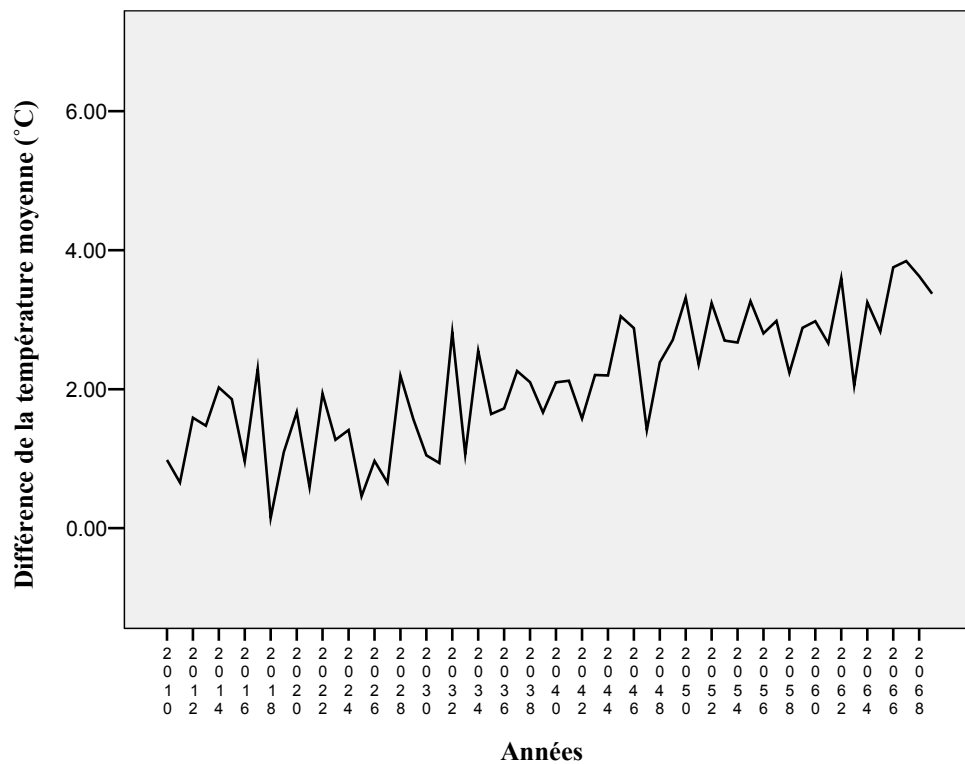


FIGURE 2.8. Fluctuations de la température moyenne journalière future par rapport à la période contrôle 1961-1990 simulée par le modèle HadCM3, après downscaling, station Montréal.

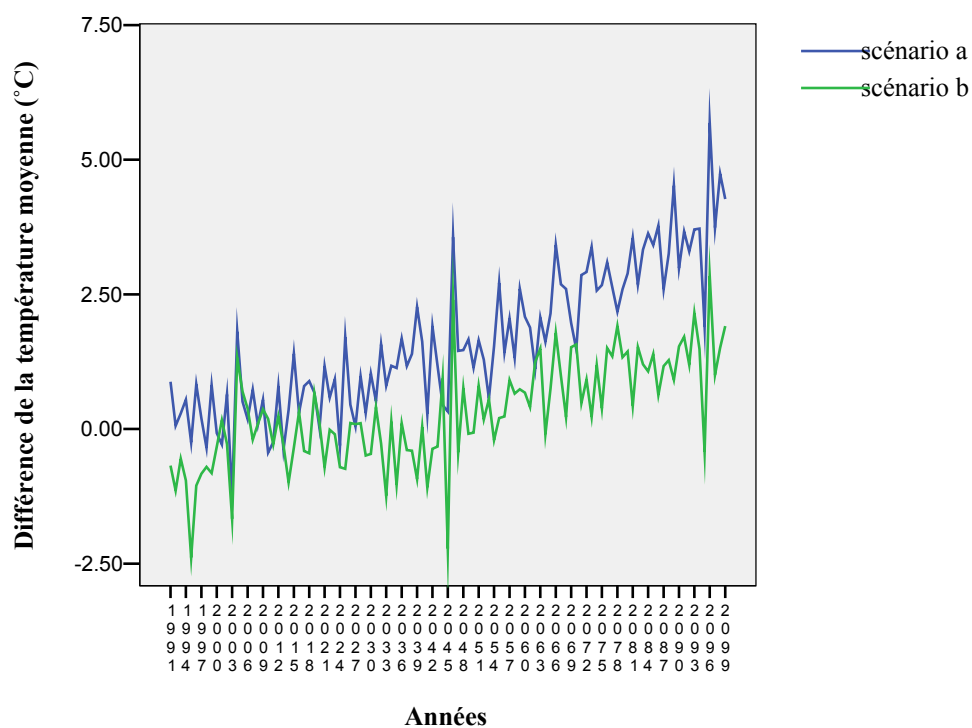


FIGURE 2.9. Fluctuations de la température moyenne journalière future par rapport à la période contrôle 1961-1990 simulée par le modèle CGCM1, après downscaling, station Québec.

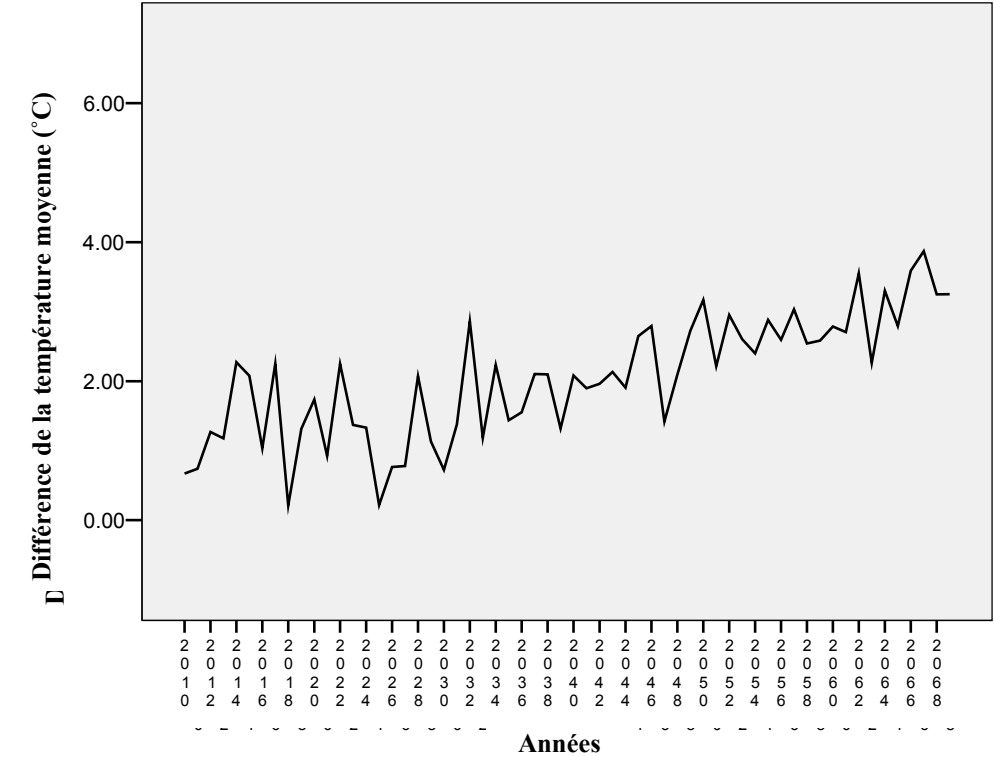


FIGURE 2.10. Fluctuations de la température moyenne journalière future par rapport à la période contrôle 1961-1990 simulée par le modèle HadCM3, après downscaling, station Québec.

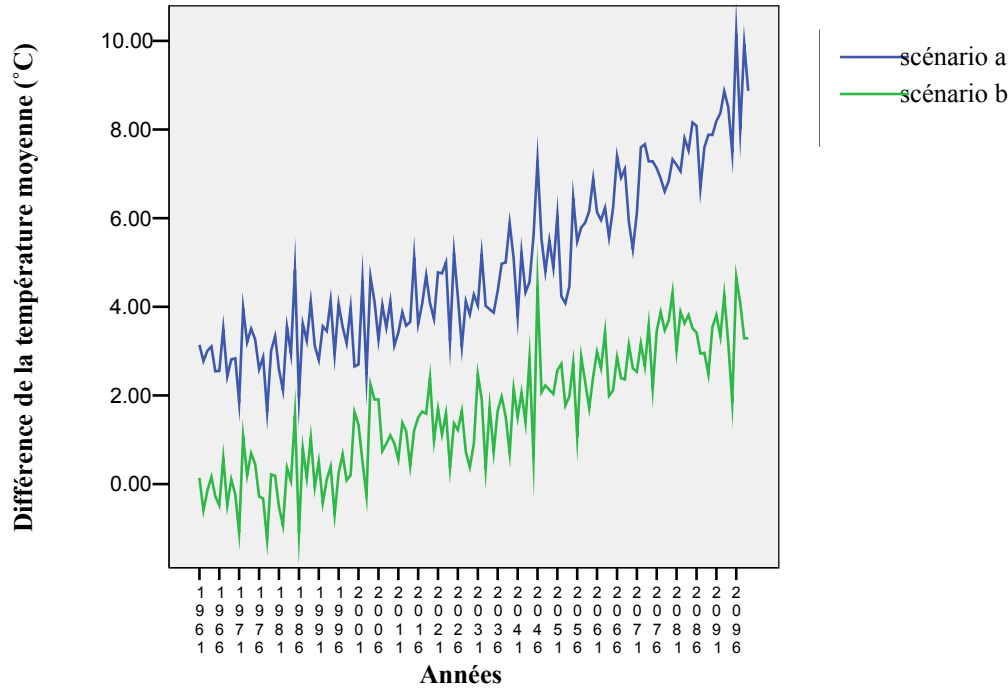


FIGURE 2.11. Fluctuations de la température moyenne journalière future par rapport à la période contrôle 1961-1990 simulée par le modèle CGCM1, après downscaling, station Sherbrooke.

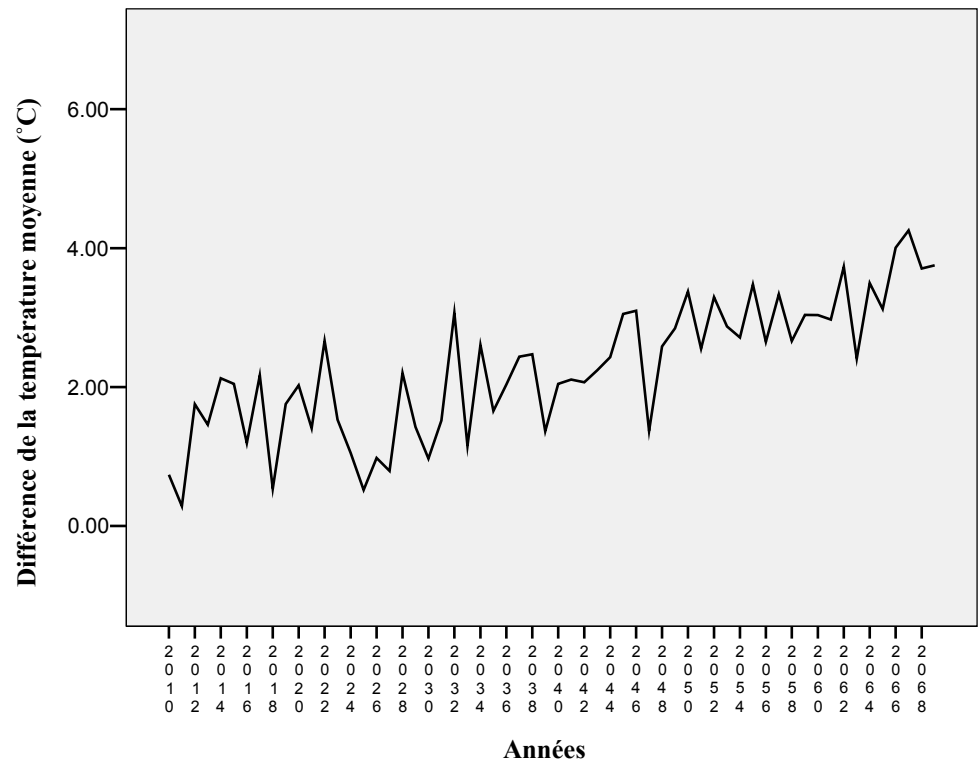


FIGURE 2.12. Fluctuations de la température moyenne journalière future par rapport à la période contrôle 1961-1990 simulée par le modèle HadCM3, après downscaling, station Sherbrooke.

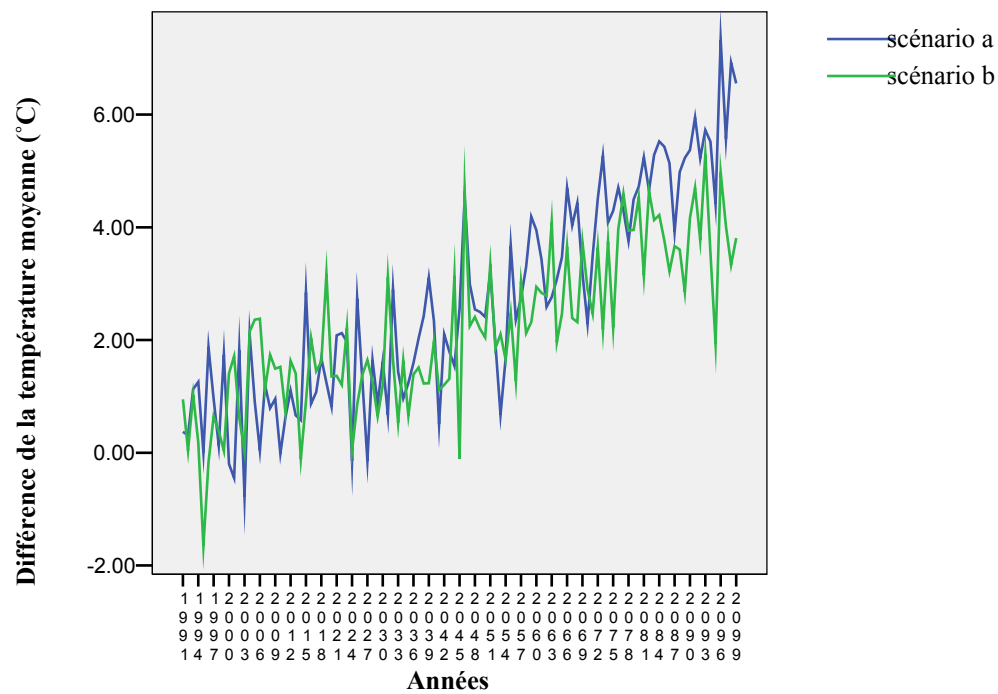


FIGURE 2.13. Fluctuations de la température moyenne journalière future par rapport à la période contrôle 1961-1990 simulée par le modèle CGCM1, après downscaling, station St-Hippolyte.

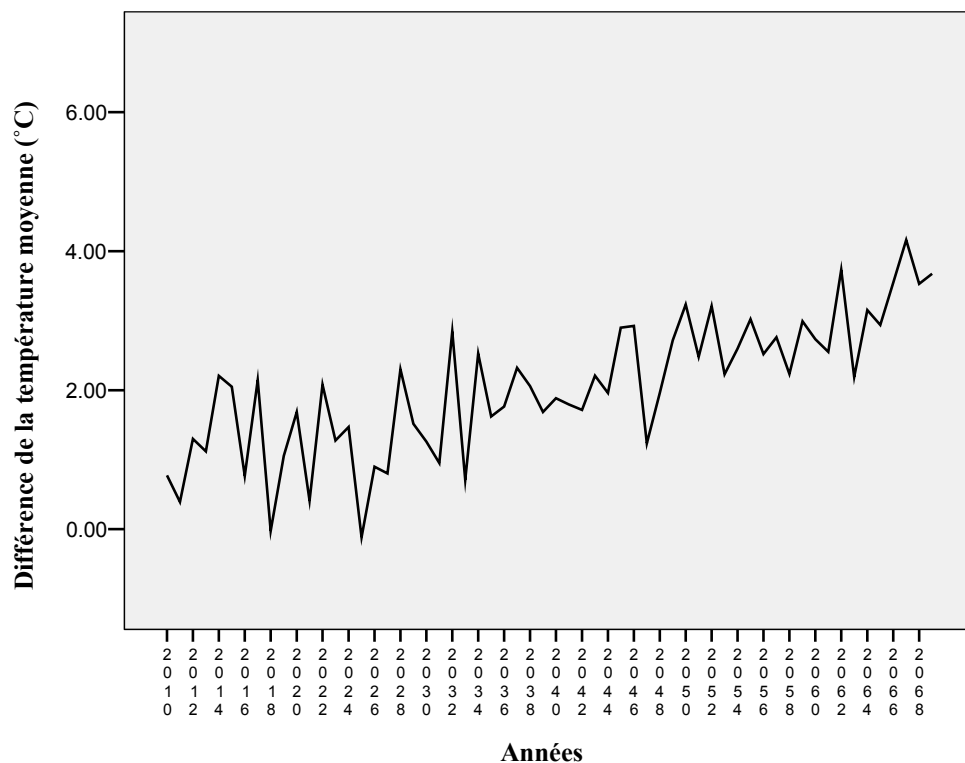


FIGURE 2.14. Fluctuations de la température moyenne journalière future par rapport à la période contrôle 1961-1990 simulée par le modèle HadCM3, après downscaling, station St-Hippolyte.

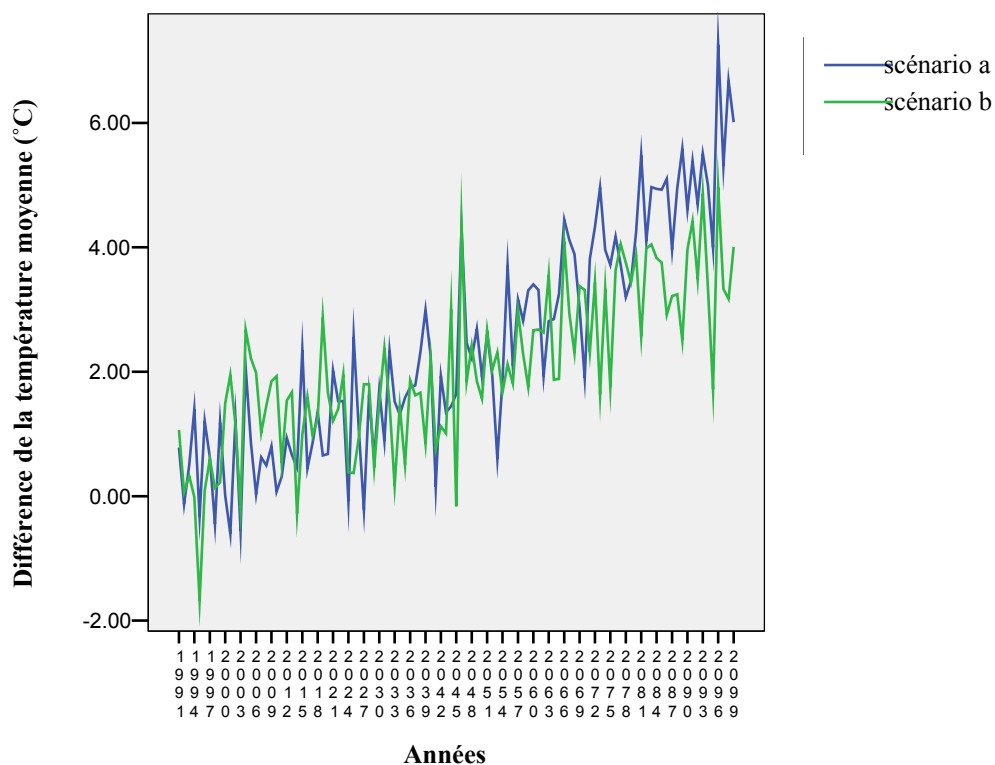


FIGURE 2.15. Fluctuations de la température moyenne journalière future par rapport à la période contrôle 1961-1990 simulée par le modèle CGCM1, après downscaling, station Sutton.

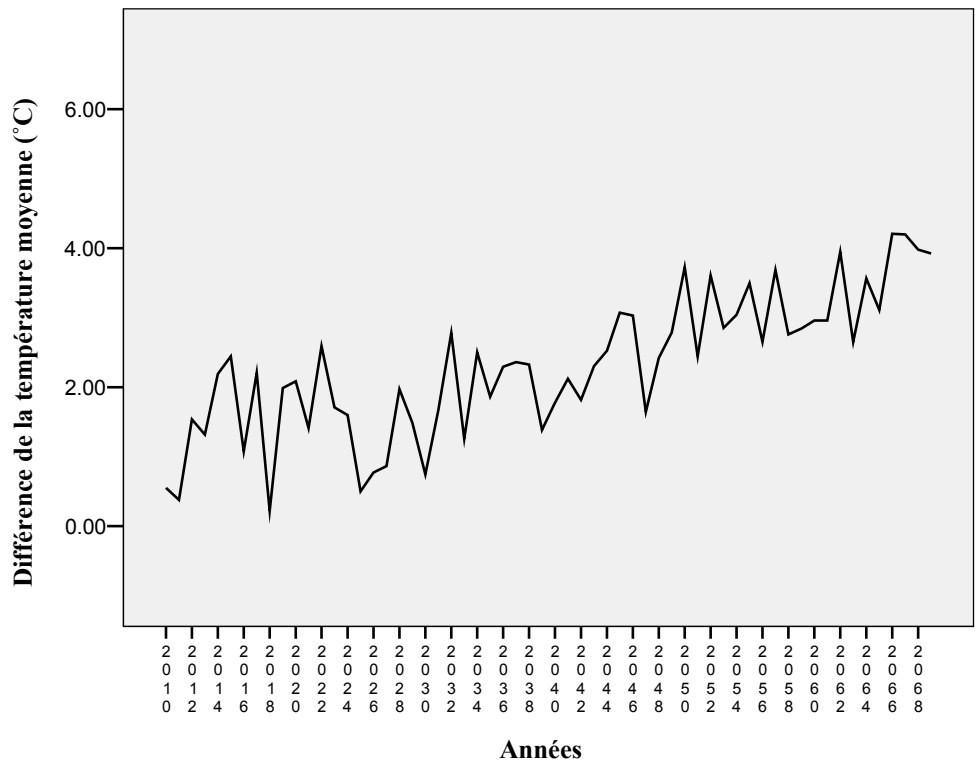
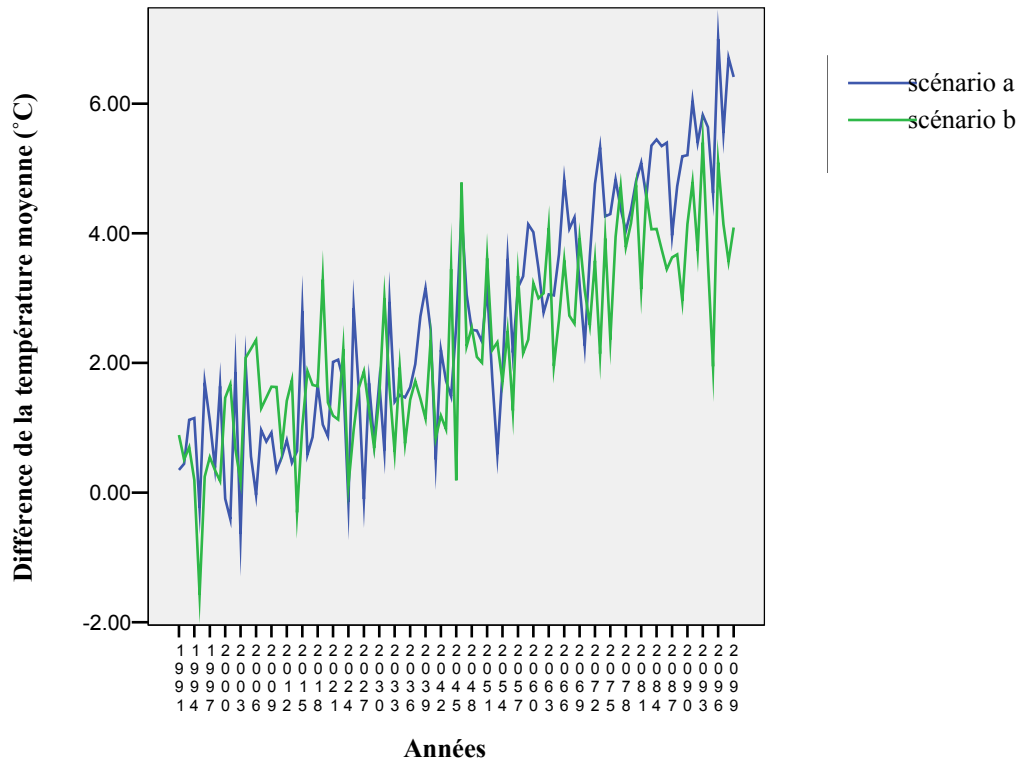


FIGURE 2.16. Fluctuations de la température moyenne journalière future par rapport à la période contrôle 1961-1990 simulée par le modèle HadCM3, après downscaling, station Sutton.



Les figures suivantes (Figures 2.17 a 2.40), présentent l'ensemble des paramètres générés pour chaque station : température maximale, température minimale, température moyenne, et précipitations sous forme de neige et de pluie.

En général, pour l'ensemble des stations et pour les deux modèles CGCM1 et HadCM3 A et B, les valeurs des paramètres de température augmentent, tandis que celles des précipitations totales restent plutôt constantes. Les précipitations sous forme de neige diminuent légèrement pour la majorité des stations, sauf pour Grand Fonds, situé plus au nord. Les précipitations sous forme de pluie s'augmentent légèrement, ainsi reflétant les hausses de températures. Nous avons effectué de nombreux tests de corrélation entre les données observées et simulées.

Par exemple (Figure 2.41), on peut constater une sous-estimation des données pour les mois de janvier à avril. Cette variation, remarquable pour le modèle CGCM1 seulement et pour toutes les températures, est associée à un biais dans le modèle, et non au logiciel, puisqu'une validation a été faite au préalable avec les données observées 1961-1975.

Pour contrer ce biais, les opérations suivantes sont produites sur les données observées afin de maintenir la viabilité des données futures :

Pour la période 2010-2039 (simulée) :

$$1961-1990 \text{ (observée)} + (2010-2039 - 1961-1990 \text{ (simulée)}) (\Delta T)$$

Pour la période 2040-2069 (simulée) :

$$1961-1990 \text{ (observée)} + (2040-2069 - 1961-1990 \text{ (simulée)}) (\Delta T)$$

Cette méthode n'a cependant pas été fructueuse. En effet, on constate que les données vont suivre les tendances annuelles de la période 1961-1990 observée. Nous allons donc procéder sans cette formule, mais en gardant en tête d'établir les comparaisons avec les caractéristiques simulées par le biais de comparaisons pondérées.

Figure 2.17.Températures(°C), précipitations (mm),pluie(mm) et neige (cm) selon modèle CGCM1, après Downscaling, station Grand Fonds.

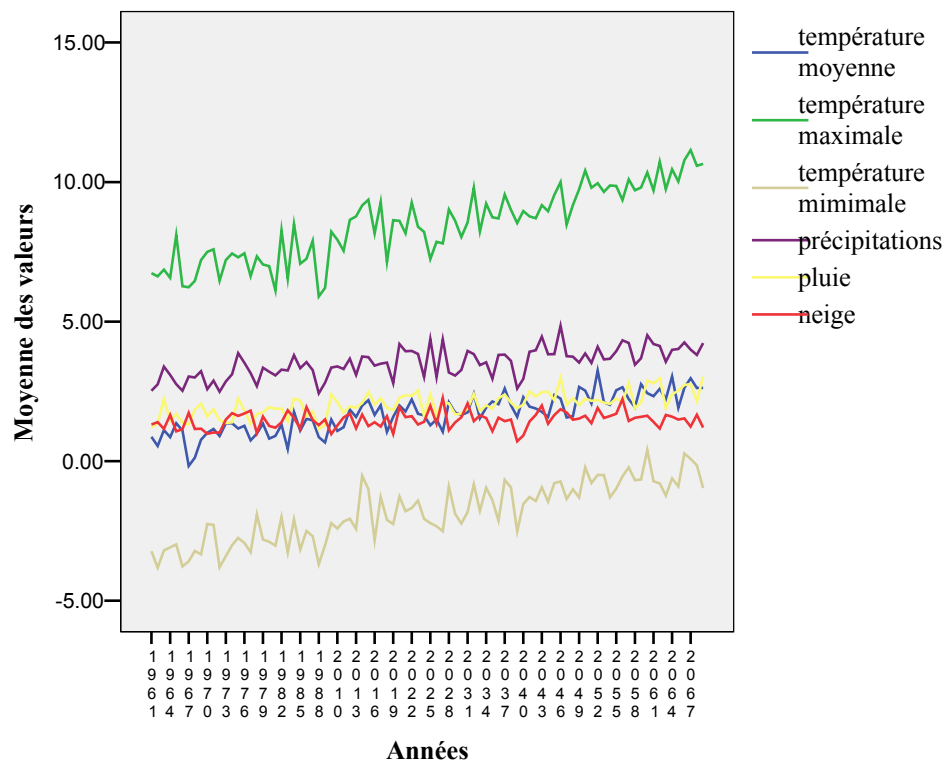


Figure 2.18.Températures (°C), précipitations (mm), pluie (mm) et neige (cm) selon modèle CGCM1, après Downscaling, station La Macaza.

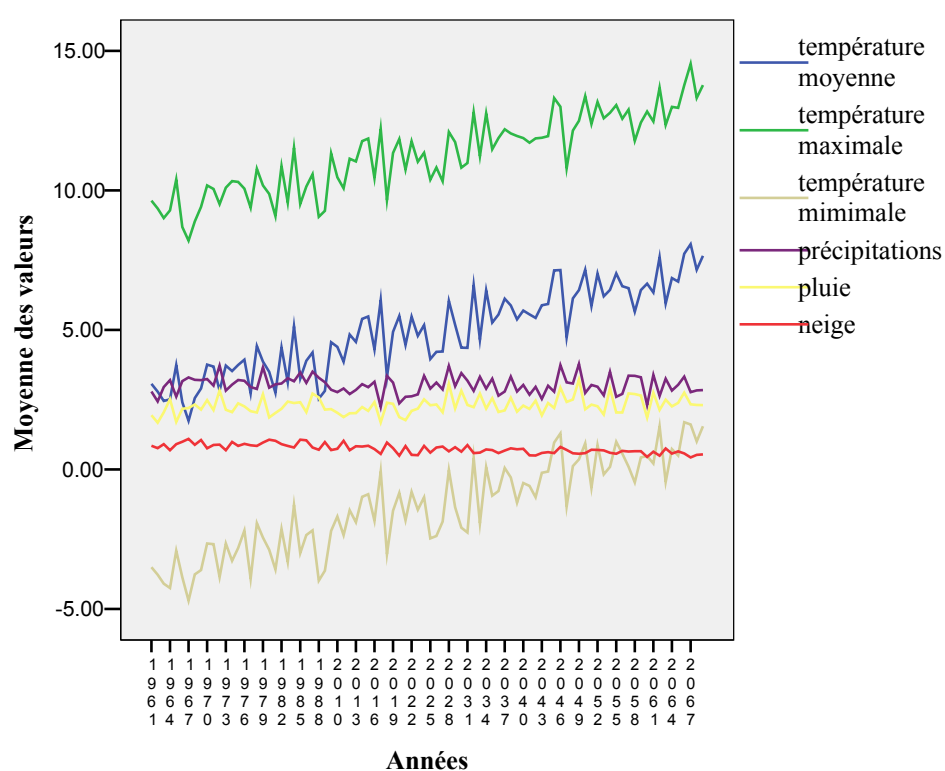


Figure 2.19. Températures (°C), précipitations (mm), pluie (mm) et neige (cm) selon modèle CGCM1, après Downscaling, station Lennoxville.

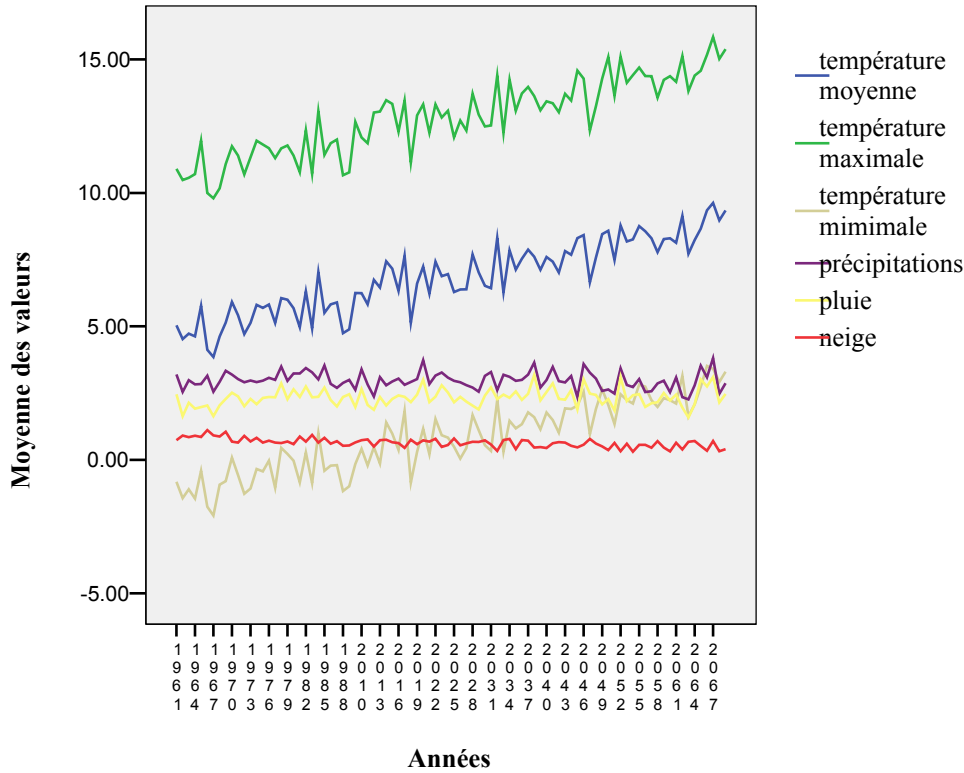


Figure 2.20. Températures (°C), précipitations (mm), pluie (mm) et neige (cm) selon modèle CGCM1, après Downscaling, station Montréal.

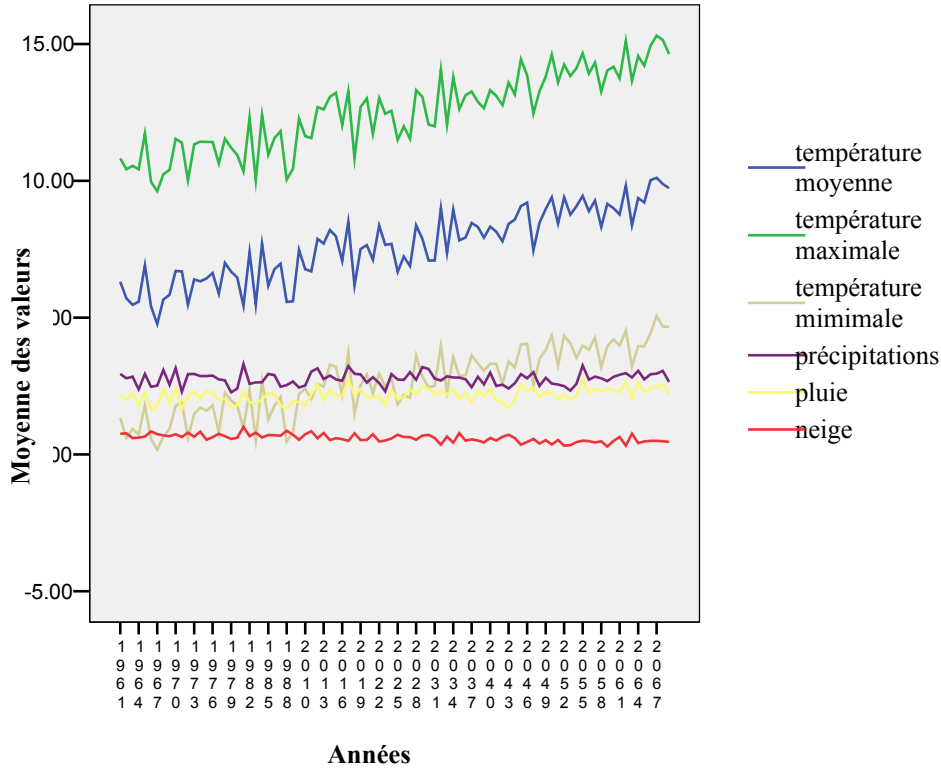


Figure 2.21. Températures (°C), précipitations (mm), pluie (mm) et neige (cm) selon modèle CGCM1, après Downscaling, station Québec.

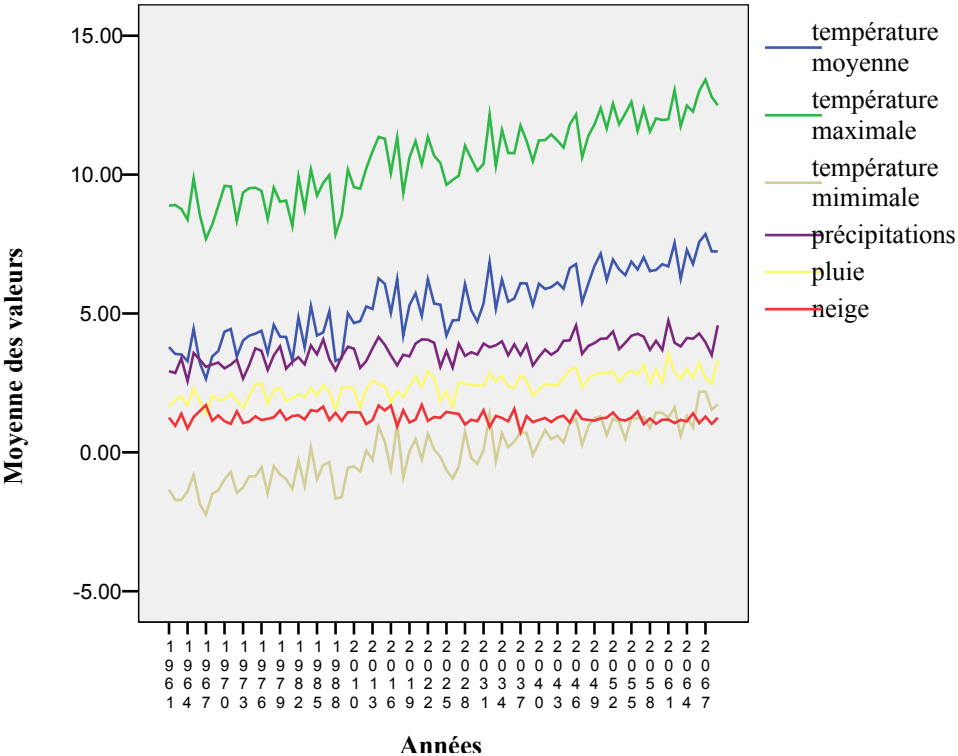


Figure 2.22. Températures (°C), précipitations (mm), pluie (mm) et neige (cm) selon modèle CGCM1, après Downscaling, station Sherbrooke.

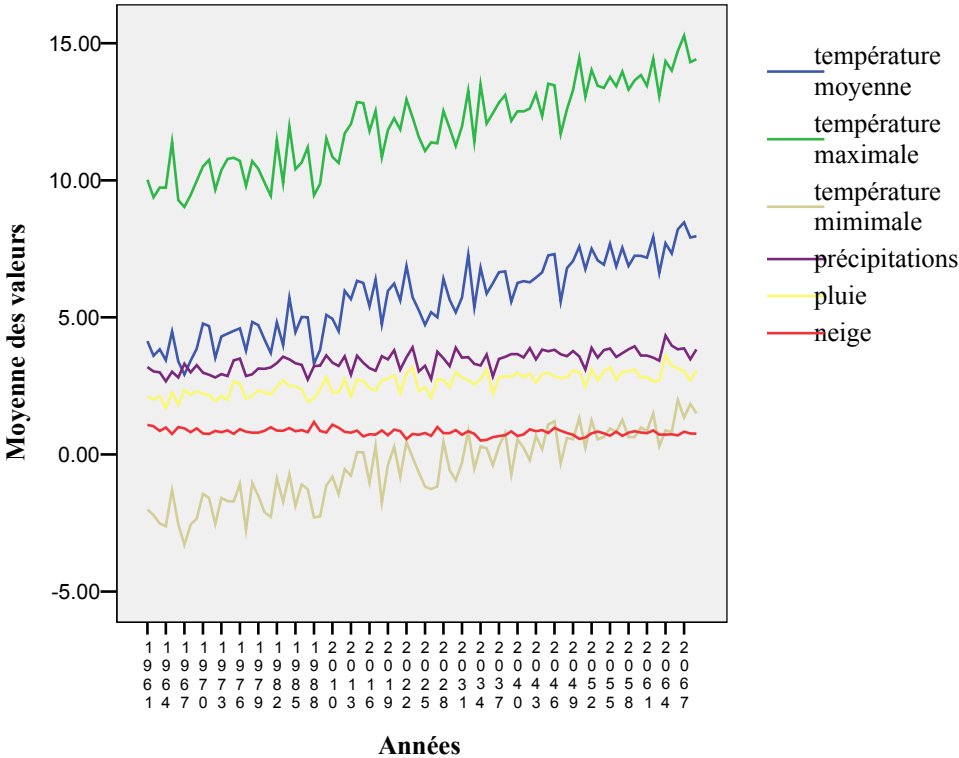


Figure 2.23. Températures (°C), précipitations (mm), pluie (mm) et neige (cm) selon modèle CGCM1, après Downscaling, station St Hippolyte.

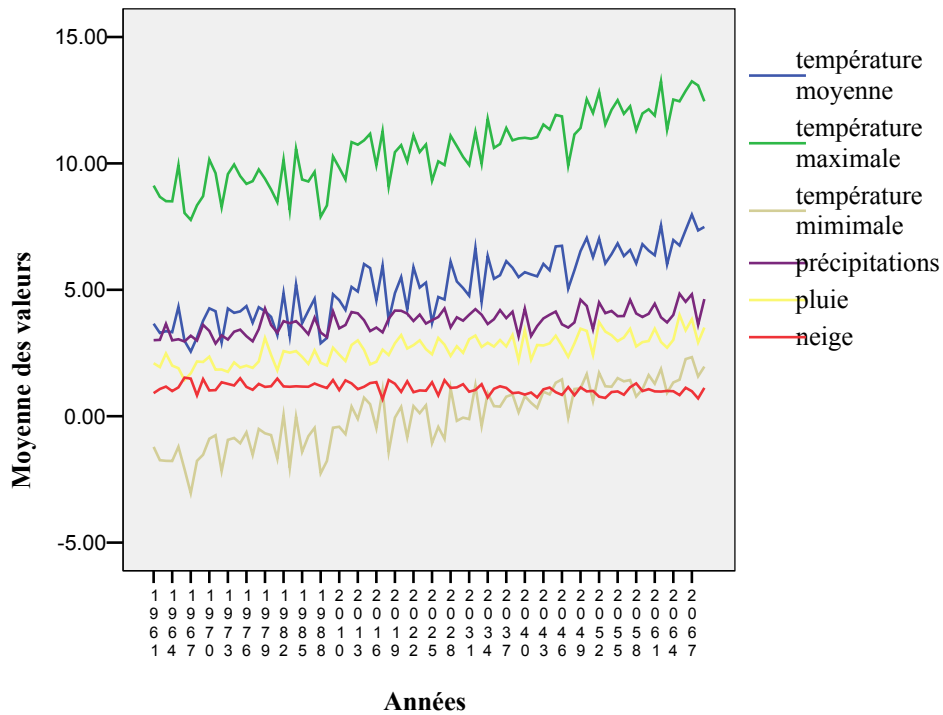


Figure 2.24. Températures (°C), précipitations (mm), pluie (mm) et neige (cm) selon modèle CGCM1, après Downscaling, station Sutton.

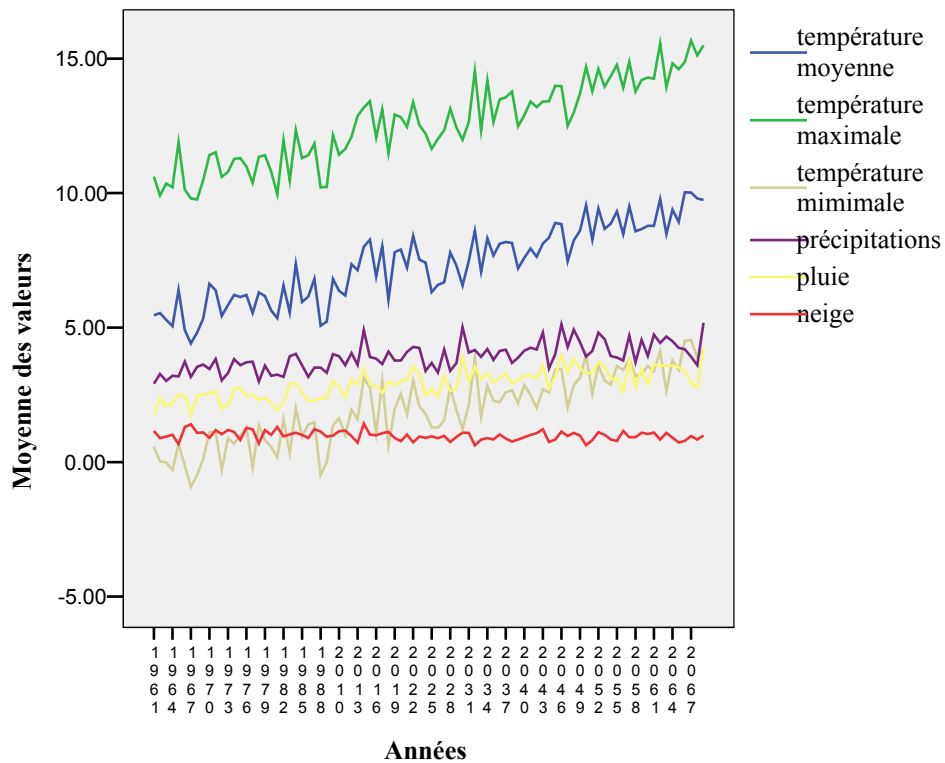


Figure 2.25.Températures (°C), précipitations (mm), pluie (mm) et neige (cm) selon modèle HadCM3 scénario A, après Downscaling, station Grand Fonds.

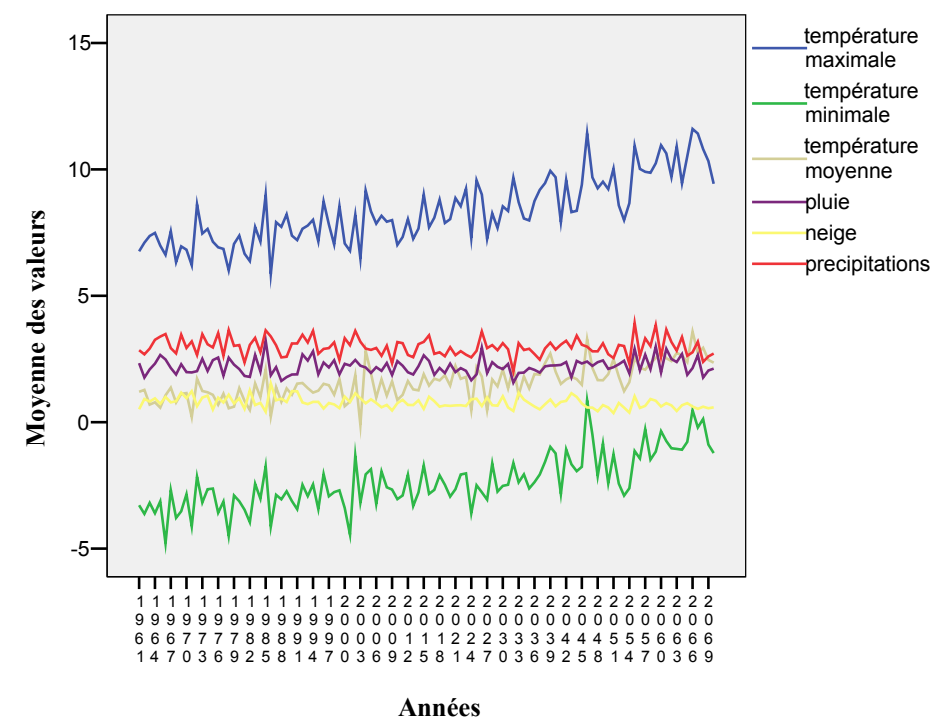


Figure 2.26.Températures (°C), précipitations (mm), pluie (mm) et neige (cm) selon modèle HadCM3 scénario A, après Downscaling, station La Macaza.

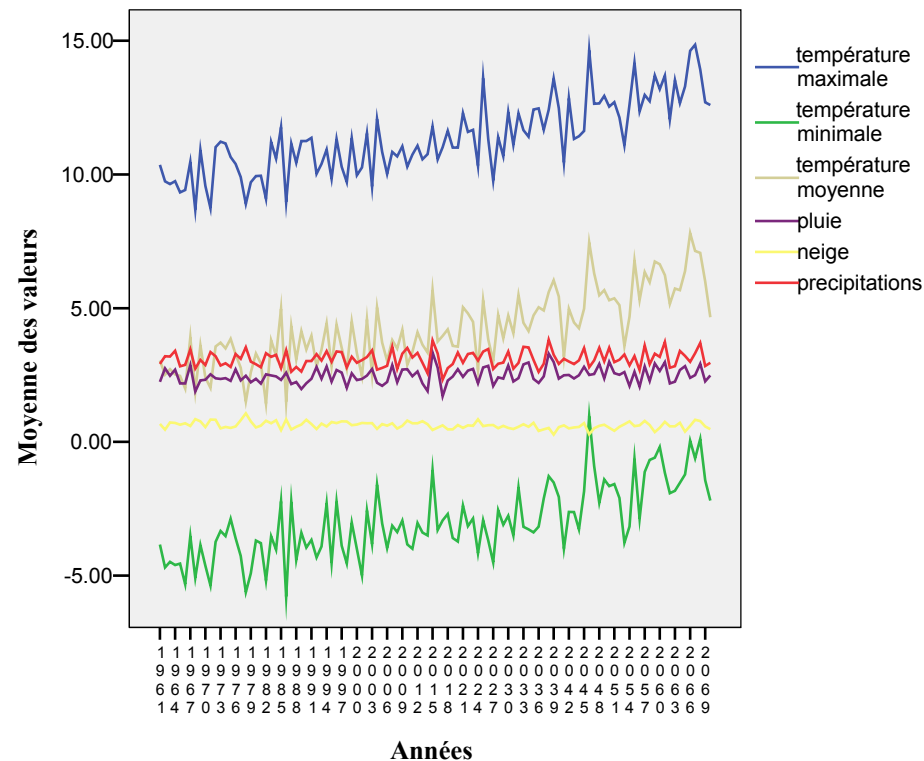


Figure 2.27. Températures (°C), précipitations (mm), pluie (mm) et neige (cm) selon modèle HadCM3 scénario A, après Downscaling, station Lennoxville.

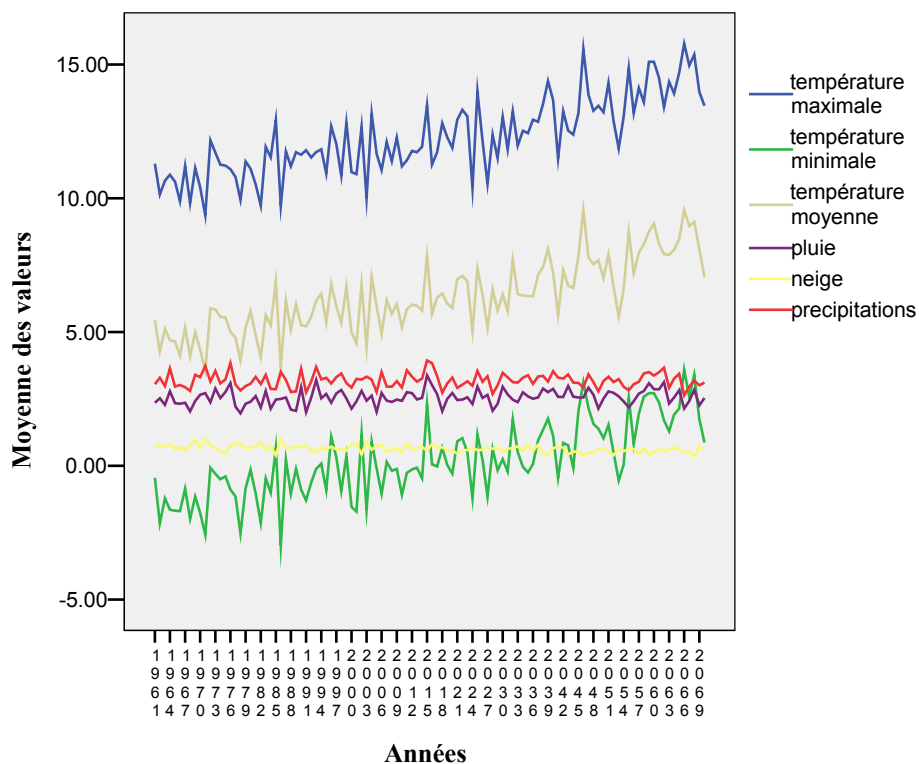


Figure 2.28. Températures (°C), précipitations (mm), pluie (mm) et neige (cm) selon modèle HadCM3 scénario A, après Downscaling, station Montréal.

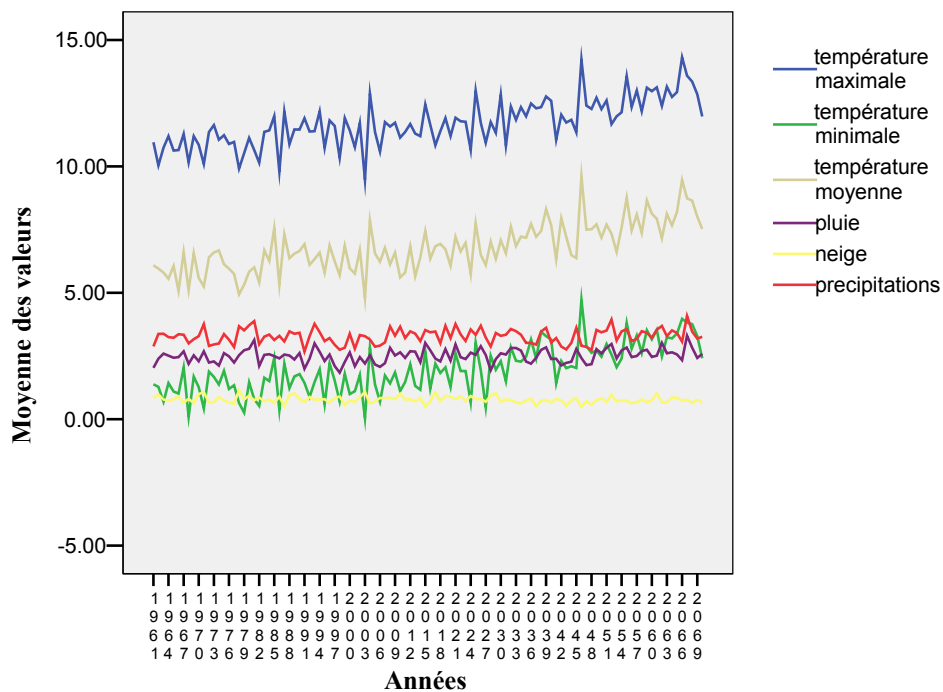


Figure 2.29. Températures (°C), précipitations (mm), pluie (mm) et neige (cm) selon modèle HadCM3 scénario A, après Downscaling, station Québec.

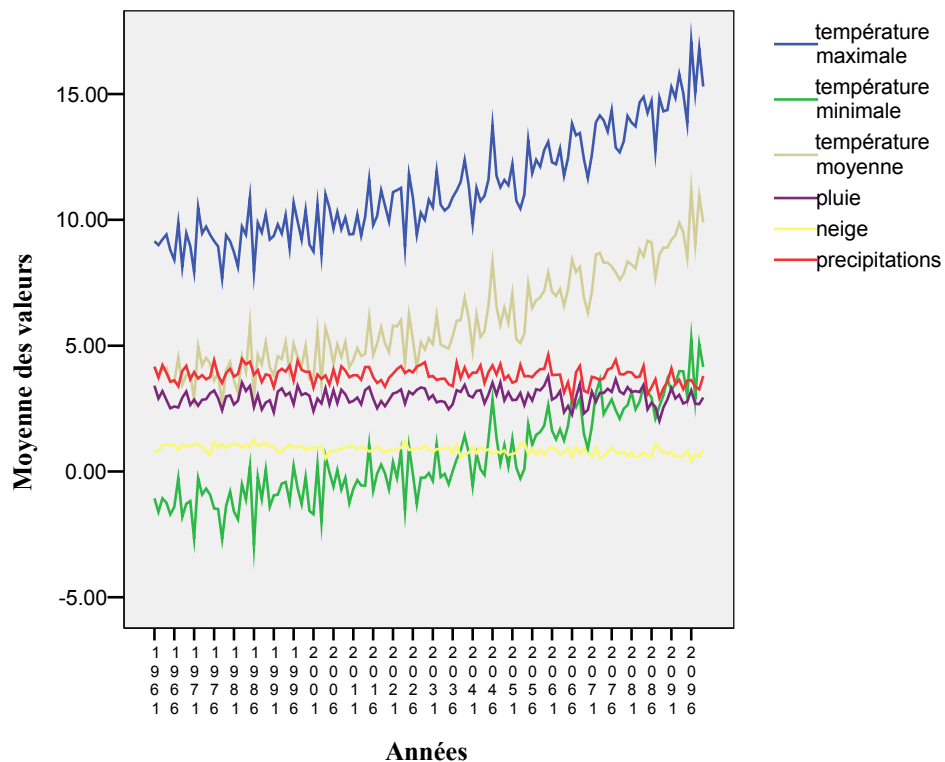


Figure 2.30. Températures (°C), précipitations (mm), pluie (mm) et neige (cm) selon modèle HadCM3 scénario A, après Downscaling, station Sherbrooke.

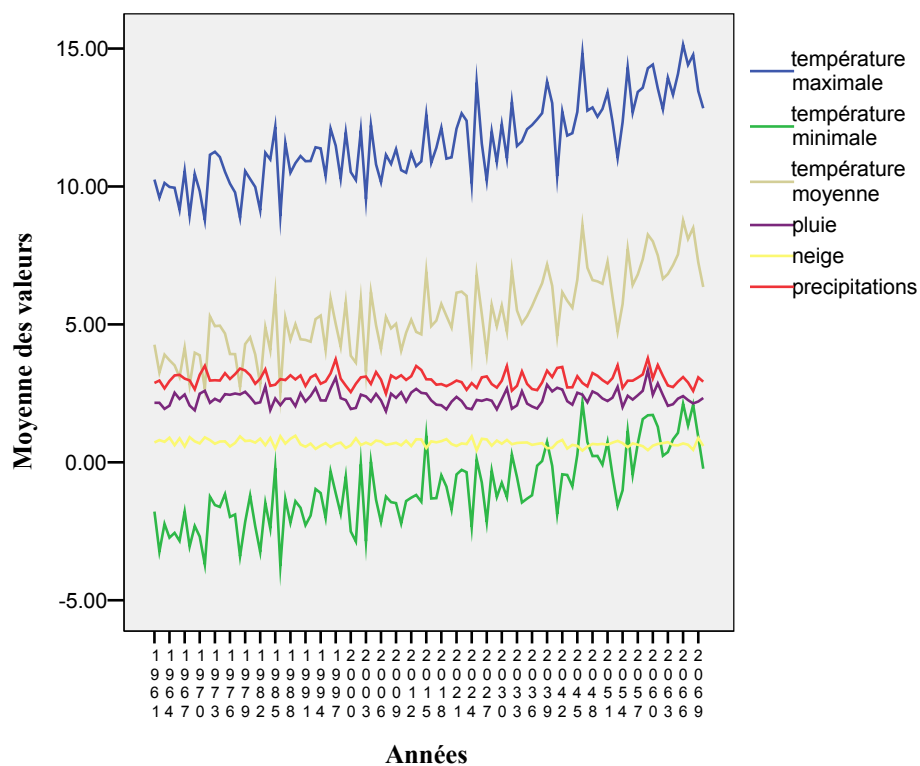


Figure 2.31. Températures (°C), précipitations (mm), pluie (mm) et neige (cm) selon modèle HadCM3 scénario A, après Downscaling, station St-Hippolyte.

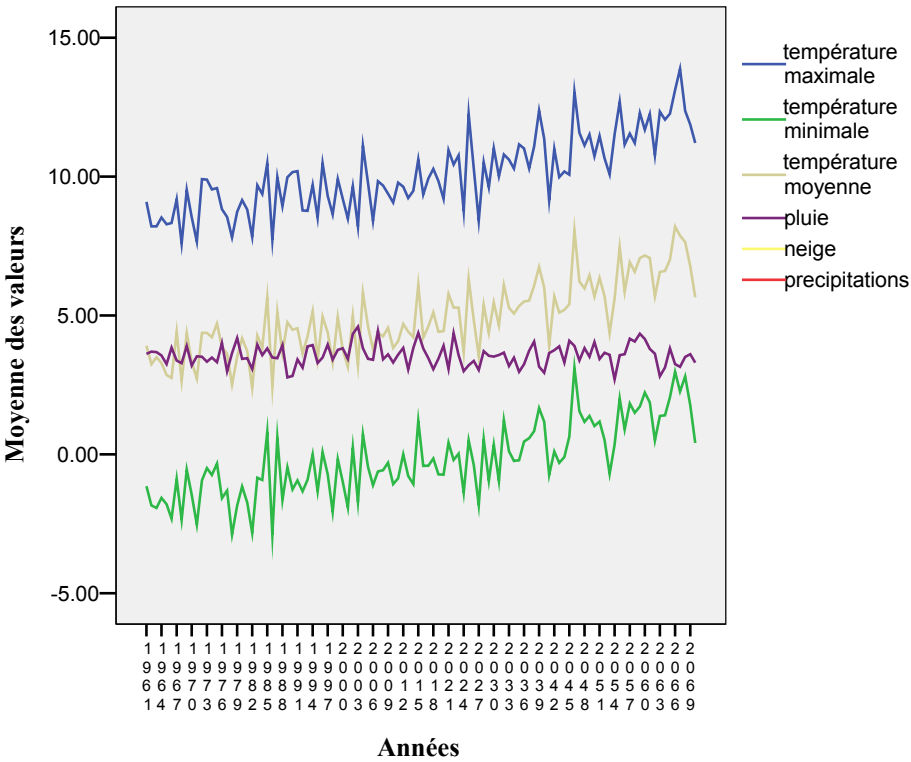


Figure 2.32. Températures (°C), précipitations (mm), pluie (mm) et neige (cm) selon modèle HadCM3 scénario A, après Downscaling, station Sutton.

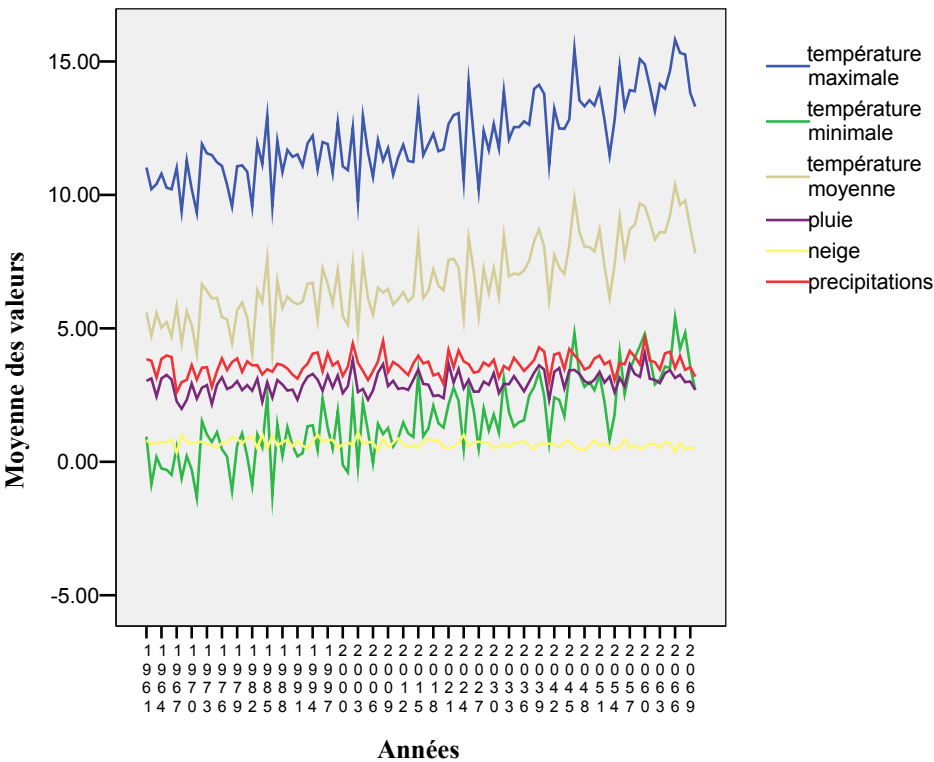


Figure 2.33. Températures (°C), précipitations (mm), pluie (mm) et neige (cm) selon modèle HadCM3 scénario B, après Downscaling, station Grand Fonds.

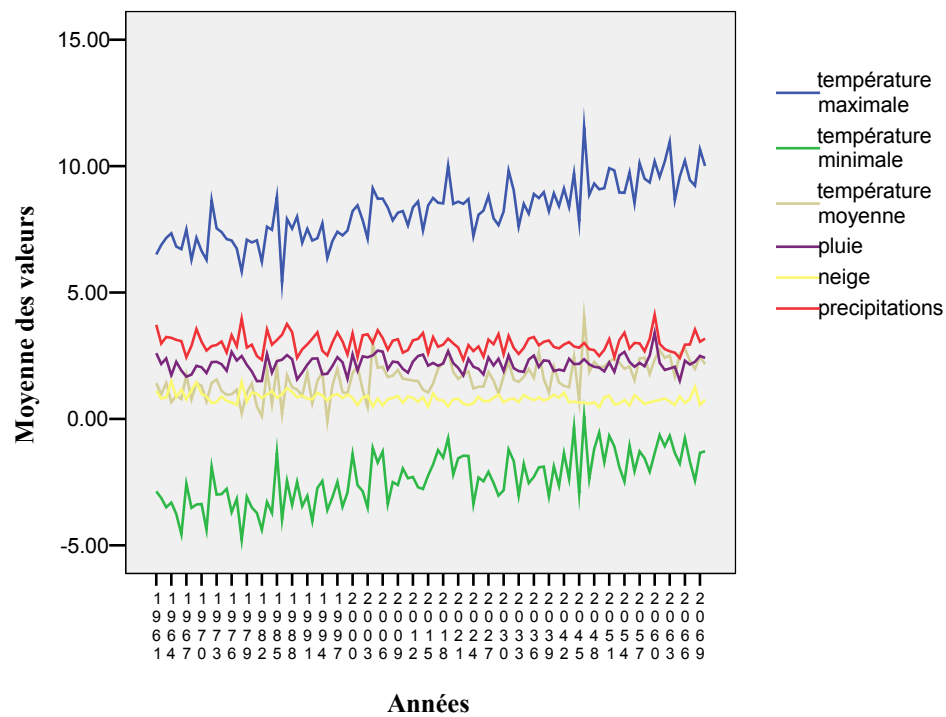


Figure 2.34. Températures (°C), précipitations (mm), pluie (mm) et neige (cm) selon modèle HadCM3 scénario A, après Downscaling, station La Macaza.

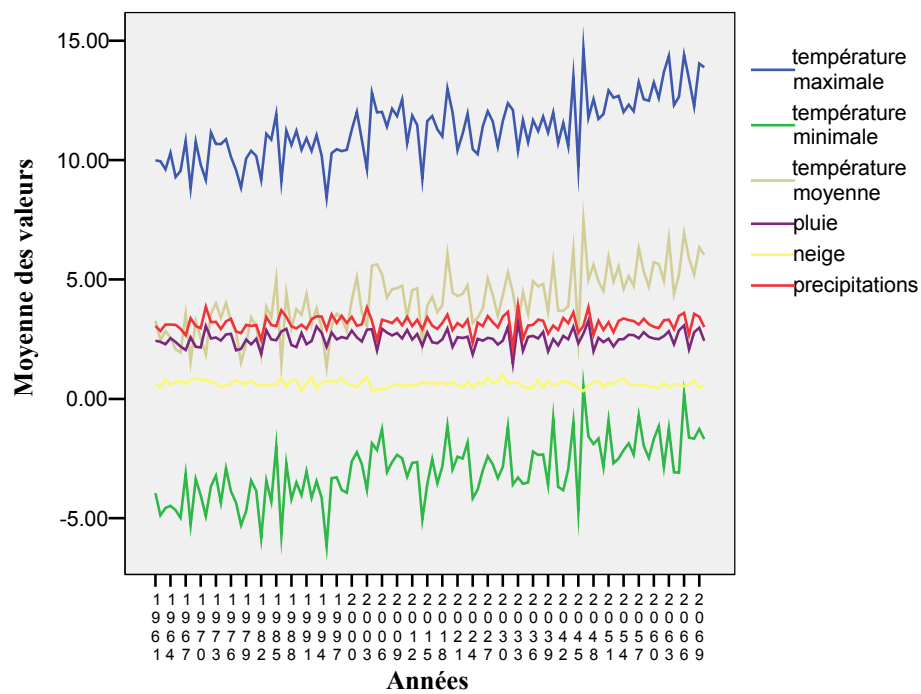


Figure 2.35. Températures (°C), précipitations (mm), pluie(mm) et neige (cm) selon modèle HadCM3 scénario B, après Downscaling, station Lennoxville.

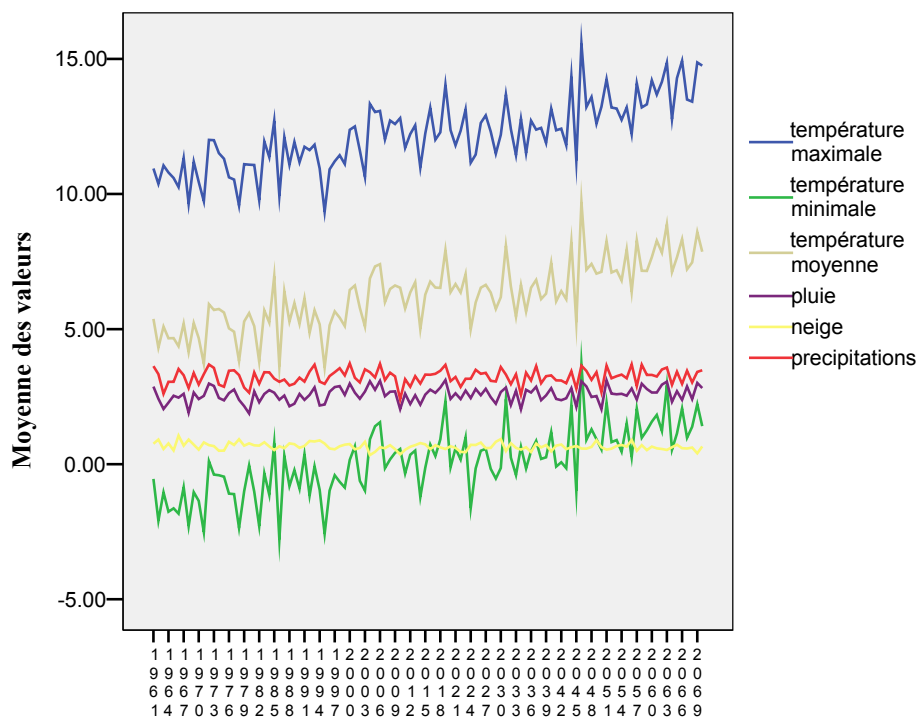


Figure 2.36. Températures (°C), précipitations (mm), pluie (mm) et neige (cm) selon modèle HadCM3 scénario B, après Downscaling, station Montréal.

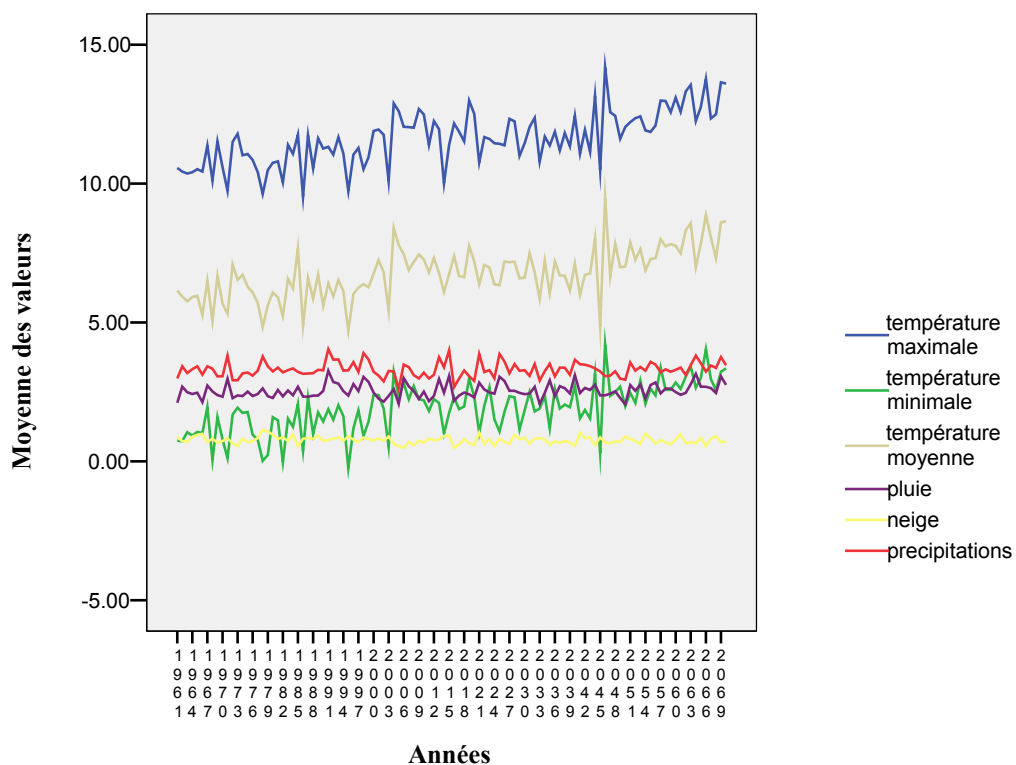
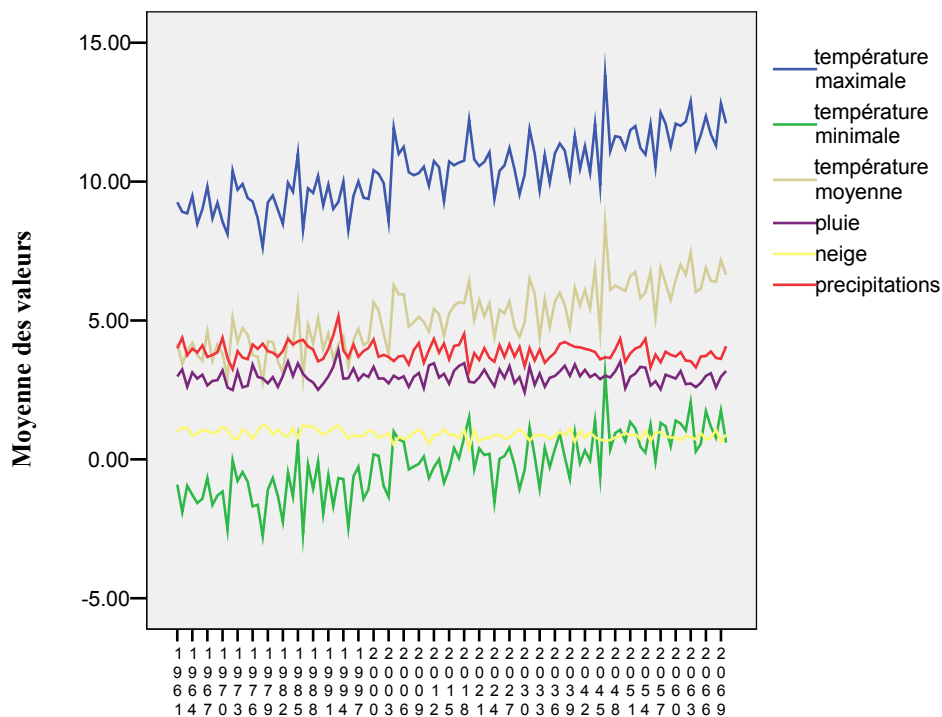
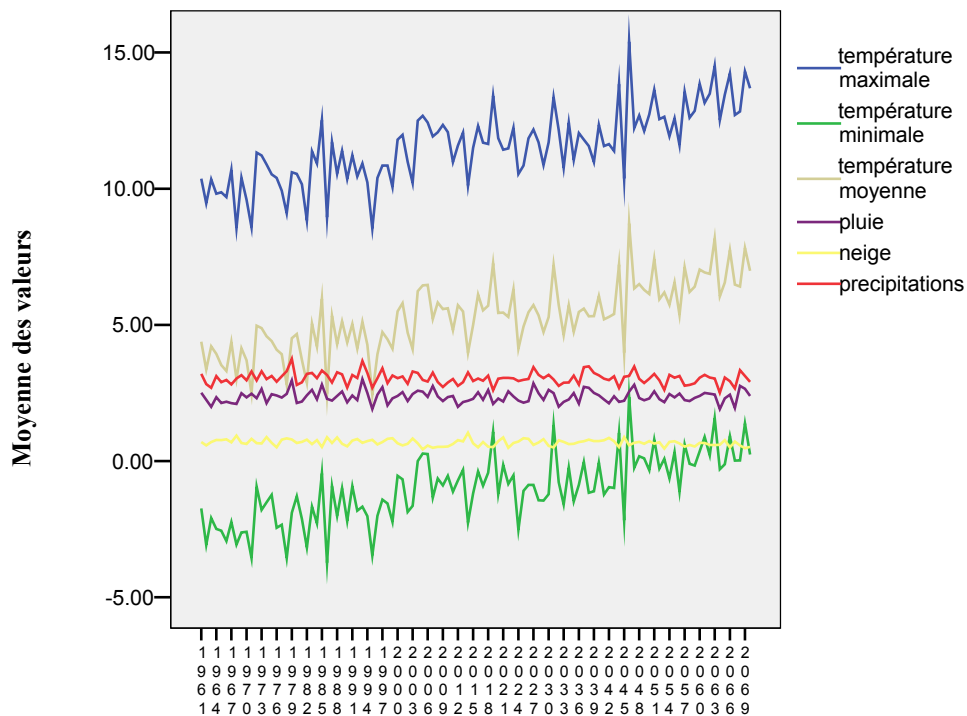


Figure 2.37. Températures (°C), précipitations (mm), pluie (mm) et neige (cm) selon modèle HadCM3 scénario B, après Downscaling, station Québec.



Années

Figure 2.38. Températures (°C), précipitations (mm), pluie (mm) et neige (cm) selon modèle HadCM3 scénario B, après Downscaling, station Sherbrooke.



Années

Figure 2.39. Températures (°C), précipitations (mm), pluie (mm) et neige (cm) selon modèle HadCM3 scénario B, après Downscaling, station St-Hippolyte.

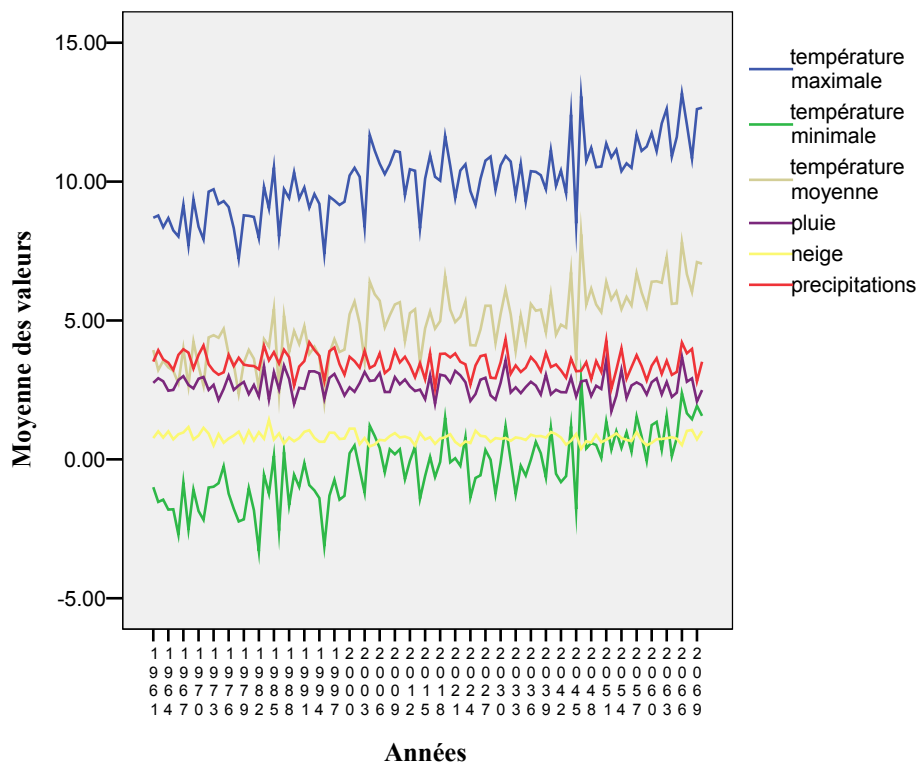


Figure 2.40. Températures (°C), précipitations (mm), pluie (mm) et neige (cm) selon modèle HadCM3 scénario B, après Downscaling, station Sutton.

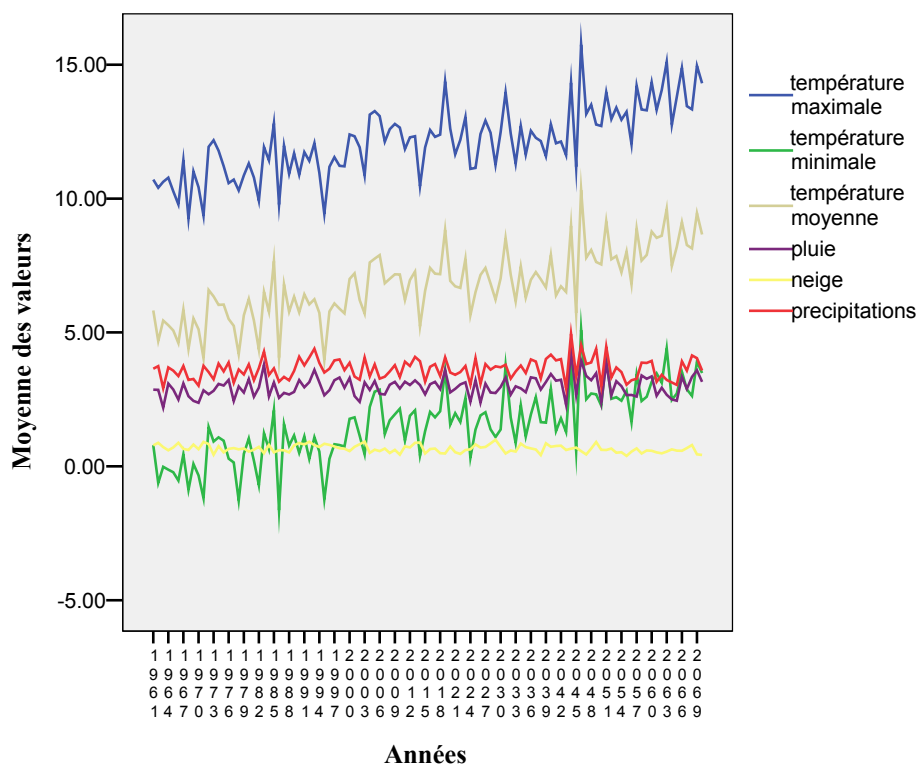
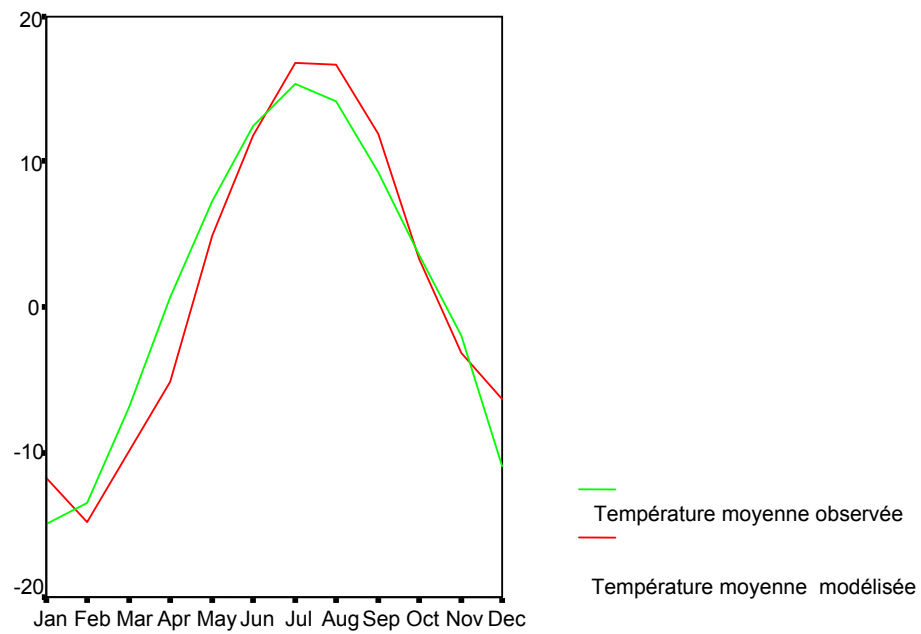


FIGURE 2.41. Température minimale journalière pour Montréal, observée versus simulé par le modèle CGCM1 après Downscaling, pour la période 1961-1990.



SECTION 3 : SECTEUR DE SKI

3.0. Secteur de ski

La viabilité et la vitalité de la saison de ski sont largement influencées par les fluctuations quotidiennes du climat, dont les variations inter et intra annuelles sont importantes à plusieurs niveaux. La presque totalité des stations de ski opère grâce à des systèmes de fabrication de neige artificielle. Cette dernière est possible, tout dépendant de la technologie utilisée, à des températures minimales requises. De plus, la fonte de neige, la densité de la neige, la pluie et les températures très froides vont grandement influencer les fréquentations et ainsi, la rentabilité des stations. Pour une gestion adéquate de ce type d'activité, il est primordial de définir les caractéristiques futures du climat l'affectant.

3.1. Saisons de ski : méthodes

Plusieurs paramètres sont nécessaires à connaître pour cerner les différentes limites imposées par le climat sur l'industrie du ski. La saison peut prendre deux scénarios différents selon l'utilisation de la protéine Snowmax par la station, qui permet de produire de la neige fabriquée dès -2° C, ou non. À l'intérieur de la saison, qui est calculée, comme pour les indices agroclimatiques, à partir du mois d'août de chaque année, nous voulons connaître les caractéristiques suivantes:

- 1) Début de la saison : Il a été déterminé, suite aux rencontres avec les responsables des stations de ski, qu'un couvert de neige d'un minimum de 90cm est nécessaire pour skier. Le début de la saison correspond donc au moment où la température permet de faire de la neige pendant trois jours consécutifs (-2 ou -5 selon l'utilisation de la protéine) et ce, sans fonte (période adéquate pour produire 90 cm de neige).
- 2) Fin de la saison : Lorsque le couvert de neige est nul.
- 3) Durée de la saison : Écart entre le début et la fin de la saison.
- 4) Précipitations : Nous calculons le nombre de jours de pluie dans la saison ainsi qu'à l'intérieur des mois de la saison. Ensuite, la quantité de pluie (mm) est calculée de la même façon.

- 5) 'Snow Vulnerability Index' (SVI) : Cet indice calcule la compaction de la neige, causée par la fonte. Il est calculé comme le total par an, durant la saison. La formule pour le calculer est la suivante :

6)

$(m/SA) * 100$, où m est le 'snowmelt' (fonte en mm) et SA est le couvert de neige (cm).

- 7) Fonte totale (mm) : Cet indice est calculé par année et nous renseigne sur la neige à produire.
- 8) Période de fabrication de neige (nombre de jours). La période de fabrication commence avec le début de la saison et se termine lorsque les conditions climatiques sont optimales pour le maintien de la neige au sol (dernier jour de la première occurrence d'une période pendant laquelle la fonte est nulle pendant au moins 7 jours).
- 9) Neige à fabriquer (cm): fonte de neige pendant la période de fabrication + 90 cm (quantité normalement fabriquée pour commencer la saison).
- 10) Nombre de jours froids (température moyenne $< -20^{\circ}\text{C}$) : variable calculée par mois et pour les saisons.
- 11) Nombre de jours non skiabiles : les jours non skiabiles surviennent lorsque la pluie $> 1,5\text{mm}$. Cette variable est calculée par mois et par saison.
- 12) Quantité de neige naturelle (cm) : quantité de neige reçue naturellement pendant la saison et par mois.

3.2. Saisons de ski : résultats

Les tableaux suivants (3.1 à 3.31) fournissent, pour l'ensemble des stations pour les trois régions à l'étude, selon les deux modèles climatiques (CGCM1 et HadCM3 A et B) et les trois périodes de temps (1961-1990; 2010-2039; 2040-2069) et la fabrication de la neige à -2°C et à -5°C , une variété de paramètre et d'indicateurs climatiques concernant la saison de ski.

Parmi ces variables figurent : le nombre de jours de pluie, la durée de la saison (jours), la valeur totale de l'indice SVI, la fonte totale de la neige, la période de fabrication de la neige (jours), la quantité de neige à fabriquer, les jours froids ($\text{tmoy} < -20^{\circ}\text{C}$), le nombre de jours non skiables, la quantité de précipitation qui tombe comme la pluie, la quantité de neige naturelle pendant la saison, la quantité de neige naturelle au mois de décembre, le nombre de jours de pluie en décembre, la quantité de pluie en décembre, le nombre de jours froids en décembre ($\text{tmoy} < -20^{\circ}\text{C}$), le nombre de jours non skiables en décembre ($\text{pluie} > 1,5\text{mm}$), la quantité de neige naturelle au mois de janvier, le nombre de jours de pluie en janvier, la quantité de pluie en janvier, le nombre de jours froids en janvier ($\text{tmoy} < -20^{\circ}\text{C}$), le nombre de jours non skiables en janvier ($\text{pluie} > 1,5\text{mm}$), la quantité de neige naturelle au mois de février, le nombre de jours de pluie en février, la quantité de pluie en février, le nombre de jours froids en février ($\text{tmoy} < -20^{\circ}\text{C}$), le nombre de jours non skiables en février ($\text{pluie} > 1,5\text{mm}$), la quantité de neige naturelle au mois de mars, le nombre de jours de pluie en février, la quantité de pluie en mars, le nombre de jours froids en mars ($\text{tmoy} < -20^{\circ}\text{C}$) et le nombre de jours non skiables en mars ($\text{pluie} > 1,5\text{mm}$).

Pour le modèle CGCM1, on constate que la durée de la saison diminue de façon importante pour toutes les stations, particulièrement pour celles plus au sud. La fonte de neige augmente mais n'est pas très bien reflétée dans la neige à produire. La période de fabrication de neige est plus variable puisqu'elle va dépendre de la durée de la saison. Il est certain que si la saison est très courte, la fabrication s'effectuera sur un court laps de temps. Le nombre de jours de pluie varie peu dans le futur. Le nombre de jours non skiables augmente, sauf pour les mois limites de la saison, où il n'y a plus de ski du tout, donc peu de jours non skiables pendant la saison (il faut se rappeler que les indices sont calculés à l'intérieur des saisons).

On constate des changements similaires pour les scénarios de HadCM3, l'ampleur change, mais la variation reste, sommairement, la même. La durée de la saison est sous-estimée pour plusieurs stations (par rapport aux saisons observées) tandis que c'est un peu le contraire pour CGCM1. Ce dernier, toutefois, coordonne bien avec les données observées, contrairement aux indices agroclimatiques. CGCM1 présente un écart important au niveau des précipitations, tandis que HadCM3 simule bien l'ensemble des paramètres.

TABLEAU 3. 1. Caractéristiques de la saison de ski observées, station Grand Fonds

Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Neige au sol observé		Neige au sol simulé	
	1961-1990, condition -2°C	1961-1990, condition -5°C	1961-1990, condition -2°C	1961-1990, condition -5°C
Nombre de jours de pluie	12.79	11.41	11.10	9.72
Durée de la saison (jours)	166.41	159.28	160.45	153.31
Total de l'indice SVI	2691.53	2200.92	2582.26	2105.43
Fonte totale (mm)	157.64	143.57	127.69	113.61
Période de fabrication de neige (jours)	61.83	54.69	61.83	54.69
Neige à fabriquer (cm)	90.00	90.00	116.03	101.96
Jours froids (température moyenne<-20°C)	15.97	15.97	15.97	15.97
Nombre de jours non skiables	9.93	8.93	8.55	7.55
Pluie (mm)	31.00	68.50	84.41	75.91
Quantité de neige naturelle (cm)	354.50	379.60	339.93	331.47
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	59.60	59.60	84.51	84.51
Nombre de jours de pluie en décembre	1.45	1.45	1.45	1.45
Pluie en décembre (mm)	1.91	1.91	12.50	12.50
Nombre de jours froids en décembre (température moyenne<-20°C)	3.76	3.76	3.76	3.76
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	1.17	1.17	1.17	1.17
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	58.20	58.20	70.98	70.98
Nombre de jours de pluie en janvier	1.14	1.14	1.14	1.14
Pluie en janvier (mm)	1.63	1.63	7.11	7.11
Nombre de jours froids en janvier (température moyenne<-20°C)	7.52	7.52	7.52	7.52
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	0.90	0.90	0.90	0.90
Neige naturelle au mois de février (cm)	110.00	110.00	54.07	54.07
Nombre de jours de pluie en février	0.86	0.86	0.83	0.83
Pluie en février (mm)	7.15	7.15	9.41	9.41
Nombre de jours froids en février (température moyenne<-20°C)	4.14	4.14	4.14	4.14
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	0.66	0.66	0.62	0.62
Neige naturelle au mois de mars (cm)	54.50	54.50	65.69	65.69
Nombre de jours de pluie en mars	2.59	2.59	2.48	2.48
Pluie en mars (mm)	7.44	7.44	18.80	18.80
Nombre de jours froids en mars (température moyenne<-20°C)	0.52	0.52	0.52	0.52
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	2.00	2.00	1.90	1.90

TABLEAU 3. 2. Caractéristiques de la saison de ski observées, station La Macaza

Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Neige au sol observé		Neige au sol simulé	
	1961-1990, condition -2°C	1961-1990, condition -5°C	1961-1990, condition -2°C	1961-1990, condition -5°C
Nombre de jours de pluie	26.97	25.41	24.52	22.97
Durée de la saison (jours)	145.28	140.93	137.17	132.83
Total de l'indice SVI	2689.50	2384.33	2577.59	2312.07
Fonte totale (mm)	147.07	133.43	122.11	108.47
Période de fabrication de neige (jours)	60.62	56.28	60.62	56.28
Neige à fabriquer (cm)	154.75	141.11	154.75	141.11
Jours froids (température moyenne<-20°C)	15.93	15.93	15.76	15.76
Nombre de jours non skiables	20.48	19.41	18.52	17.45
Pluie (mm)	152.60	143.87	139.34	130.60
Quantité de neige naturelle (cm)	199.66	196.61	194.92	191.86
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	61.62	61.62	61.62	61.62
Nombre de jours de pluie en décembre	4.55	4.55	4.55	4.55
Pluie en décembre (mm)	28.66	28.66	28.66	28.66
Nombre de jours froids en décembre (température moyenne<-20°C)	3.55	3.55	3.55	3.55
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	3.55	3.55	3.55	3.55
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	55.03	55.03	55.03	55.03
Nombre de jours de pluie en janvier	3.38	3.38	3.38	3.38
Pluie en janvier (mm)	19.35	19.35	19.35	19.35
Nombre de jours froids en janvier (température moyenne<-20°C)	7.10	7.10	7.10	7.10
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	2.45	2.45	2.45	2.45
Neige naturelle au mois de février (cm)	42.85	42.85	40.24	40.24
Nombre de jours de pluie en février	3.14	3.14	2.76	2.76
Pluie en février (mm)	17.24	17.24	14.89	14.89
Nombre de jours froids en février (température moyenne<-20°C)	4.76	4.76	4.72	4.72
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	2.24	2.24	1.90	1.90
Neige naturelle au mois de mars (cm)	19.56	19.56	18.48	18.48
Nombre de jours de pluie en mars	5.52	5.52	4.55	4.55
Pluie en mars (mm)	30.97	30.97	25.04	25.04
Nombre de jours froids en mars (température moyenne<-20°C)	0.52	0.52	0.38	0.38
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	4.31	4.31	3.48	3.48

TABLEAU 3. 3. Caractéristiques de la saison de ski observées, station Lennoxville

Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Neige au sol observé		Neige au sol simulé	
	1961-1990, condition -2°C	1961-1990, condition -5°C	1961-1990, condition -2°C	1961-1990, condition -5°C
Nombre de jours de pluie	24.66	22.00	19.90	17.24
Durée de la saison (jours)	136.66	129.72	118.90	111.97
Total de l'indice SVI	1246.56	1169.20	3579.76	3151.73
Fonte totale (mm)	209.25	177.76	142.65	111.16
Période de fabrication de neige (jours)	54.86	47.93	54.86	47.93
Neige à fabriquer (cm)	173.75	142.25	173.75	142.25
Jours froids (température moyenne<-20°C)	6.79	6.79	6.62	6.62
Nombre de jours non skiables	14.55	13.00	11.76	10.21
Pluie (mm)	112.97	102.33	89.66	79.02
Quantité de neige naturelle (cm)	239.77	231.18	224.17	215.58
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	75.10	73.07	75.10	73.07
Nombre de jours de pluie en décembre	5.31	5.00	5.31	5.00
Pluie en décembre (mm)	21.73	21.43	21.73	21.43
Nombre de jours froids en décembre (température moyenne<-20°C)	1.28	1.28	1.28	1.28
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	2.97	2.90	2.97	2.90
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	60.14	60.14	60.14	60.14
Nombre de jours de pluie en janvier	3.00	3.00	3.00	3.00
Pluie en janvier (mm)	14.59	14.59	14.59	14.59
Nombre de jours froids en janvier (température moyenne<-20°C)	3.48	3.48	3.48	3.48
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	1.69	1.69	1.69	1.69
Neige naturelle au mois de février (cm)	46.90	46.90	41.62	41.62
Nombre de jours de pluie en février	3.48	3.48	2.59	2.59
Pluie en février (mm)	16.38	16.38	12.84	12.84
Nombre de jours froids en février (température moyenne<-20°C)	1.86	1.86	1.83	1.83
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	1.83	1.83	1.48	1.48
Neige naturelle au mois de mars (cm)	28.65	28.65	20.41	20.41
Nombre de jours de pluie en mars	6.07	6.07	3.31	3.31
Pluie en mars (mm)	26.78	26.78	14.45	14.45
Nombre de jours froids en mars (température moyenne<-20°C)	0.17	0.17	0.03	0.03
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	3.62	3.62	1.97	1.97

TABLEAU 3.4. Caractéristiques de la saison de ski observées, station Montréal

Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Neige au sol observé		Neige au sol simulé	
	1961-1990, condition -2°C	1961-1990, condition -5°C	1961-1990, condition -2°C	1961-1990, condition -5°C
Nombre de jours de pluie	35.89	33.00	29.28	26.38
Durée de la saison (jours)	135.31	128.72	116.41	109.83
Total de l'indice SVI	700.59	677.74	1934.51	1674.51
Fonte totale (mm)	199.07	164.78	121.34	97.13
Période de fabrication de neige (jours)	53.21	46.62	53.21	46.62
Neige à fabriquer (cm)	158.45	128.57	158.45	128.57
Jours froids (température moyenne < -20°C)	5.00	5.00	4.93	4.93
Nombre de jours non skiables	15.28	14.10	12.14	10.97
Pluie (mm)	147.40	137.00	164.00	139.33
Quantité de neige naturelle (cm)	180.00	164.33	202.33	105.00
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	66.50	66.50	66.50	66.50
Nombre de jours de pluie en décembre	8.38	8.03	8.38	8.03
Pluie en décembre (mm)	17.00	17.00	17.00	17.00
Nombre de jours froids en décembre (température moyenne < -20°C)	0.83	0.83	0.83	0.83
Jours non skiables en décembre (pluie > 1,5mm)	3.76	3.66	3.76	3.66
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	36.00	36.00	36.00	36.00
Nombre de jours de pluie en janvier	5.69	5.69	5.69	5.69
Pluie en janvier (mm)	28.60	28.60	28.60	28.60
Nombre de jours froids en janvier (température moyenne < -20°C)	2.72	2.72	2.72	2.72
Jours non skiables en janvier (pluie > 1,5mm)	2.07	2.07	2.07	2.07
Neige naturelle au mois de février (cm)	35.67	35.67	26.75	26.75
Nombre de jours de pluie en février	5.34	5.34	4.38	4.38
Pluie en février (mm)	1.25	1.25	1.25	1.25
Nombre de jours froids en février (température moyenne < -20°C)	1.38	1.38	1.34	1.34
Jours non skiables en février (pluie > 1,5mm)	1.97	1.97	1.59	1.59
Neige naturelle au mois de mars (cm)	9.67	9.67	0.60	0.60
Nombre de jours de pluie en mars	8.03	8.03	3.97	3.97
Pluie en mars (mm)	14.25	14.25	2.90	2.90
Nombre de jours froids en mars (température moyenne < -20°C)	0.07	0.07	0.03	0.03
Jours non skiables en mars (pluie > 1,5mm)	3.83	3.83	1.83	1.83

TABLEAU 3.5. Caractéristiques de la saison de ski observées, station Québec

Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Neige au sol observé		Neige au sol simulé	
	1961-1990, condition -2°C	1961-1990, condition -5°C	1961-1990, condition -2°C	1961-1990, condition -5°C
Nombre de jours de pluie	32.00	29.00	23.00	20.00
Durée de la saison (jours)	160.00	154.00	142.00	136.00
Total de l'indice SVI	372.41	288.89	897.99	597.99
Fonte totale (mm)	206.53	179.47	117.13	90.07
Période de fabrication de neige (jours)	59.00	53.00	59.00	53.00
Neige à fabriquer (cm)	118.72	91.67	118.72	91.67
Jours froids (température moyenne<-20°C)	12.00	12.00	12.00	12.00
Nombre de jours non skiables	24.00	21.00	19.00	16.00
Pluie (mm)	213.40	186.40	181.20	154.20
Quantité de neige naturelle (cm)	303.00	291.40	290.60	279.00
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	58.60	58.60	58.60	58.60
Nombre de jours de pluie en décembre	1.00	1.00	1.00	1.00
Pluie en décembre (mm)	9.80	9.80	9.80	9.80
Nombre de jours froids en décembre (température moyenne<-20°C)	11.00	11.00	11.00	11.00
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	1.00	1.00	1.00	1.00
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	83.20	83.20	83.20	83.20
Nombre de jours de pluie en janvier	6.00	6.00	6.00	6.00
Pluie en janvier (mm)	70.00	70.00	70.00	70.00
Nombre de jours froids en janvier (température moyenne<-20°C)	0.00	0.00	0.00	0.00
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	6.00	6.00	6.00	6.00
Neige naturelle au mois de février (cm)	65.00	65.00	65.00	65.00
Nombre de jours de pluie en février	5.00	5.00	5.00	5.00
Pluie en février (mm)	5.00	5.00	5.00	5.00
Nombre de jours froids en février (température moyenne<-20°C)	1.00	1.00	1.00	1.00
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	2.00	2.00	2.00	2.00
Neige naturelle au mois de mars (cm)	18.20	18.20	18.20	18.20
Nombre de jours de pluie en mars	5.00	5.00	5.00	5.00
Pluie en mars (mm)	58.20	58.20	58.20	58.20
Nombre de jours froids en mars (température moyenne<-20°C)	0.00	0.00	0.00	0.00
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	4.00	4.00	4.00	4.00

TABLEAU 3.6. Caractéristiques de la saison de ski observées, station Sherbrooke

Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Neige au sol observé		Neige au sol simulé	
	1961-1990, condition -2°C	1961-1990, condition -5°C	1961-1990, condition -2°C	1961-1990, condition -5°C
Nombre de jours de pluie	28.59	26.72	22.00	20.14
Durée de la saison (jours)	153.76	147.69	129.28	123.21
Total de l'indice SVI	2539.24	2397.86	2742.44	2318.81
Fonte totale (mm)	269.59	253.83	137.56	117.06
Période de fabrication de neige (jours)	59.52	53.45	59.52	53.45
Neige à fabriquer (cm)	166.44	138.13	166.44	138.13
Jours froids (température moyenne<-20°C)	9.72	9.72	9.41	9.41
Nombre de jours non skiables	18.52	17.24	14.10	12.83
Pluie (mm)	145.33	156.00	72.50	58.00
Quantité de neige naturelle (cm)	246.00	264.75	278.33	320.33
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	100.20	100.20	100.20	100.20
Nombre de jours de pluie en décembre	5.10	5.00	5.10	5.00
Pluie en décembre (mm)	18.25	14.60	18.25	14.60
Nombre de jours froids en décembre (température moyenne<-20°C)	2.10	2.10	2.10	2.10
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	3.24	3.17	3.24	3.17
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	59.75	59.75	59.75	59.75
Nombre de jours de pluie en janvier	3.34	3.34	3.34	3.34
Pluie en janvier (mm)	10.43	10.43	10.43	10.43
Nombre de jours froids en janvier (température moyenne<-20°C)	4.69	4.69	4.69	4.69
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	1.86	1.86	1.86	1.86
Neige naturelle au mois de février (cm)	66.00	66.00	41.50	41.50
Nombre de jours de pluie en février	3.10	3.10	2.59	2.59
Pluie en février (mm)	4.00	4.00	1.10	1.10
Nombre de jours froids en février (température moyenne<-20°C)	2.69	2.69	2.52	2.52
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	1.90	1.90	1.62	1.62
Neige naturelle au mois de mars (cm)	37.00	37.00	12.25	12.25
Nombre de jours de pluie en mars	6.00	6.00	3.07	3.07
Pluie en mars (mm)	12.00	12.00	5.36	5.36
Nombre de jours froids en mars (température moyenne<-20°C)	0.24	0.24	0.10	0.10
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	3.83	3.83	1.93	1.93

TABLEAU 3.7. Caractéristiques de la saison de ski observées, station St-Hippolyte

Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Neige au sol observé		Neige au sol simulé	
	1961-1990, condition -2°C	1961-1990, condition -5°C	1961-1990, condition -2°C	1961-1990, condition -5°C
Nombre de jours de pluie	21.41	17.97	18.34	14.90
Durée de la saison (jours)	155.55	145.41	145.90	135.76
Total de l'indice SVI	420.12	332.57	298.30	223.94
Fonte totale (mm)	176.62	146.50	118.59	85.82
Période de fabrication de neige (jours)	62.14	52.00	62.14	52.00
Neige à fabriquer (cm)	149.47	87.74	149.47	87.27
Jours froids (température moyenne<-20°C)	10.83	10.83	10.69	10.69
Nombre de jours non skiables	15.83	13.28	13.72	11.17
Pluie (mm)	164.93	137.57	140.49	113.12
Quantité de neige naturelle (cm)	254.70	248.06	246.88	240.24
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	71.81	71.81	71.81	71.81
Nombre de jours de pluie en décembre	3.34	3.34	3.34	3.34
Pluie en décembre (mm)	30.64	30.64	30.64	30.64
Nombre de jours froids en décembre (température moyenne<-20°C)	2.28	2.28	2.28	2.28
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	2.59	2.59	2.59	2.59
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	59.35	59.35	59.35	59.35
Nombre de jours de pluie en janvier	2.03	2.03	2.03	2.03
Pluie en janvier (mm)	18.45	18.45	18.45	18.45
Nombre de jours froids en janvier (température moyenne<-20°C)	5.17	5.17	5.17	5.17
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	1.45	1.45	1.45	1.45
Neige naturelle au mois de février (cm)	49.39	49.39	47.98	47.98
Nombre de jours de pluie en février	1.45	1.45	1.38	1.38
Pluie en février (mm)	14.05	14.05	12.05	12.05
Nombre de jours froids en février (température moyenne<-20°C)	3.17	3.17	3.17	3.17
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	1.14	1.14	1.07	1.07
Neige naturelle au mois de mars (cm)	38.07	38.07	33.97	33.97
Nombre de jours de pluie en mars	4.14	4.14	3.45	3.45
Pluie en mars (mm)	30.38	30.38	23.92	23.92
Nombre de jours froids en mars (température moyenne<-20°C)	0.21	0.21	0.07	0.07
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	3.07	3.07	2.59	2.59

TABLEAU 3.8. Caractéristiques de la saison de ski observées, station Sutton

Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Neige au sol observé		Neige au sol simulé	
	1961-1990, condition -2°C	1961-1990, condition -5°C	1961-1990, condition -2°C	1961-1990, condition -5°C
Nombre de jours de pluie	17.52	14.17	15.17	11.83
Durée de la saison (jours)	107.79	98.17	97.31	87.69
Total de l'indice SVI	109.74	99.10	294.01	231.45
Fonte totale (mm)	212.52	158.77	172.76	119.01
Période de fabrication de neige (jours)	60.48	50.86	57.38	47.86
Neige à fabriquer (cm)	221.46	167.71	218.84	165.09
Jours froids (température moyenne < -20°C)	4.45	4.45	4.38	4.38
Nombre de jours non skiables	13.55	10.93	11.79	9.17
Pluie (mm)	122.37	98.06	108.73	84.43
Quantité de neige naturelle (cm)	185.68	175.10	172.59	162.02
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	62.77	61.92	62.77	61.92
Nombre de jours de pluie en décembre	4.72	4.28	4.72	4.28
Pluie en décembre (mm)	36.55	33.66	36.55	33.66
Nombre de jours froids en décembre (température moyenne < -20°C)	1.10	1.10	1.10	1.10
Jours non skiables en décembre (pluie > 1,5mm)	3.79	3.41	3.79	3.41
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	56.50	14.16	56.50	56.50
Nombre de jours de pluie en janvier	2.97	2.24	2.97	2.97
Pluie en janvier (mm)	20.20	12.43	20.20	20.20
Nombre de jours froids en janvier (température moyenne < -20°C)	2.79	0.03	2.79	2.79
Jours non skiables en janvier (pluie > 1,5mm)	2.21	1.62	2.21	2.21
Neige naturelle au mois de février (cm)	31.15	49.17	24.35	24.35
Nombre de jours de pluie en février	2.10	63.02	1.45	1.45
Pluie en février (mm)	15.03	Nd	10.98	10.98
Nombre de jours froids en février (température moyenne < -20°C)	0.52	Nd	0.45	0.45
Jours non skiables en février (pluie > 1,5mm)	1.76	Nd	1.28	1.28
Neige naturelle au mois de mars (cm)	14.16	Nd	8.44	8.44
Nombre de jours de pluie en mars	2.24	Nd	0.69	0.69
Pluie en mars (mm)	12.43	Nd	3.85	3.85
Nombre de jours froids en mars (température moyenne < -20°C)	0.03	Nd	0.03	0.03
Jours non skiables en mars (pluie > 1,5mm)	1.62	Nd	0.48	0.48

TABLEAU 3.9. Caractéristiques de la saison de ski selon le modèle CGCM1 après downscaling, station Grand Fonds

Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Fabrication de neige à -2°C			Fabrication de neige à -5°C		
	1961-1990	2010-2039	2040-2069	1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours de pluie	9.14	12.73	14.72	7.62	10.57	12.72
Durée de la saison (jours)	178.62	174.07	167.31	168.24	158.63	153.45
Total de l'indice SVI	3752.06	2973.67	2395.53	2846.21	1893.07	1637.99
Fonte totale (mm)	180.75	185.03	195.04	161.00	163.51	173.69
Période de fabrication de neige (jours)	58.07	58.63	52.24	47.69	43.33	38.66
Neige à fabriquer (cm)	132.41	135.31	135.03	112.67	113.79	113.68
Jours froids (tmoy<-20°C)	13.52	9.93	8.59	13.21	9.83	8.21
Nombre de jours non skiables	8.03	10.70	13.48	6.66	8.90	11.62
Pluie (mm)	109.69	156.15	175.13	91.60	129.96	152.59
Quantité de neige naturelle (cm)	472.81	498.80	536.46	445.90	463.42	499.93
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	95.31	105.74	132.62	83.67	90.12	110.24
Nombre de jours de pluie en décembre	2.17	2.77	3.10	1.83	2.20	2.59
Pluie en décembre (mm)	21.45	28.79	33.31	17.03	23.40	26.97
Nombre de jours froids en décembre (tmoy<20°C)	2.52	1.60	1.86	2.21	1.50	1.48
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	1.86	2.07	2.83	1.55	1.63	2.38
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	82.85	84.85	98.96	82.85	83.33	96.92
Nombre de jours de pluie en janvier	0.62	1.30	2.10	0.62	1.30	2.07
Pluie en janvier (mm)	6.37	9.81	22.05	6.37	9.81	21.91
Nombre de jours froids en janvier (tmoy<20°C)	6.17	4.07	3.66	6.17	4.07	3.66
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	0.59	0.93	1.83	0.59	0.93	1.79
Neige naturelle au mois de février (cm)	103.53	106.30	104.22	103.53	106.30	104.22
Nombre de jours de pluie en février	0.07	0.43	0.66	0.07	0.43	0.66
Pluie en février (mm)	0.62	2.93	6.66	0.62	2.93	6.66
Nombre de jours froids en février (tmoy<20°C)	4.28	4.13	3.00	4.28	4.13	3.00
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	0.07	0.27	0.59	0.07	0.27	0.59
Neige naturelle au mois de mars (cm)	101.48	105.21	122.84	101.48	105.21	122.84
Nombre de jours de pluie en mars	0.69	1.50	1.93	0.69	1.50	1.93
Pluie en mars (mm)	6.27	26.85	24.92	6.27	26.85	24.92
Nombre de jours froids en mars (tmoy<20°C)	0.55	0.13	0.07	0.55	0.13	0.07
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	0.48	1.47	1.79	0.48	1.47	1.79

TABLEAU 3.10. Caractéristiques de la saison de ski selon le modèle CGCM1 après downscaling, station La Macaza
Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Fabrication de neige à -2°C			Fabrication de neige à -5°C		
	1961-1990	2010-2039	2040-2069	1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours de pluie	48.24	48.93	44.76	46.97	48.00	41.69
Durée de la saison (jours)	180.41	157.83	125.69	177.41	155.73	119.10
Total de l'indice SVI	3695.53	3232.32	4537.01	3318.14	3145.65	4093.18
Fonte totale (mm)	135.73	135.91	143.77	151.40	132.61	116.46
Période de fabrication de neige (jours)	69.14	64.17	59.38	66.14	62.07	52.79
Neige à fabriquer (cm)	187.29	166.28	177.10	174.51	159.02	149.14
Jours froids (tmoy<-20°C)	11.10	4.10	1.00	11.10	4.10	1.00
Nombre de jours non skiables	35.62	34.67	32.48	34.66	34.03	30.07
Pluie (mm)	265.78	237.09	219.39	259.61	233.78	202.43
Quantité de neige naturelle (cm)	319.67	244.94	183.82	317.88	243.97	178.06
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	72.47	57.78	55.41	71.84	57.78	52.07
Nombre de jours de pluie en décembre	13.03	14.03	13.97	12.86	14.03	13.31
Pluie en décembre (mm)	67.55	71.04	71.26	67.07	71.04	67.84
Nombre de jours froids en décembre (tmoy<20°C)	0.17	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	10.07	10.17	10.41	9.93	10.17	9.97
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	68.11	64.50	54.57	68.11	64.50	54.57
Nombre de jours de pluie en janvier	3.59	8.97	11.14	3.59	8.97	11.14
Pluie en janvier (mm)	12.01	32.42	45.37	12.01	32.42	45.37
Nombre de jours froids en janvier (tmoy<20°C)	5.62	1.20	0.48	5.62	1.20	0.48
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	2.07	5.70	7.59	2.07	5.70	7.59
Neige naturelle au mois de février (cm)	68.22	56.74	38.13	68.22	56.74	38.13
Nombre de jours de pluie en février	1.62	2.53	4.00	1.62	2.53	4.00
Pluie en février (mm)	6.20	10.10	17.11	6.20	10.10	17.11
Nombre de jours froids en février (tmoy<20°C)	5.10	2.87	0.52	5.10	2.87	0.52
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	1.07	1.70	2.86	1.07	1.70	2.86
Neige naturelle au mois de mars (cm)	53.39	33.83	18.76	53.39	33.83	18.76
Nombre de jours de pluie en mars	6.72	7.47	5.90	6.72	7.47	5.90
Pluie en mars (mm)	36.83	33.65	34.17	36.83	33.65	34.17
Nombre de jours froids en mars (tmoy<20°C)	0.21	0.03	0.00	0.21	0.03	0.00
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	4.90	5.53	4.41	4.90	5.53	4.41

TABLEAU 3.11 Caractéristiques de la saison de ski selon le modèle CGCM1 après downscaling, station Lennoxville
Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Fabrication de neige à -2°C			Fabrication de neige à -5°C		
	1961-1990	2010-2039	2040-2069	1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours de pluie	29.14	29.00	25.62	27.52	27.63	24.55
Durée de la saison (jours)	137.00	101.43	82.17	132.38	98.03	79.62
Total de l'indice SVI	4408.99	8819.58	4342.90	4191.42	8630.61	4178.36
Fonte totale (mm)	157.36	165.53	160.79	146.91	157.20	152.78
Période de fabrication de neige (jours)	55.10	52.77	47.66	50.48	49.37	45.28
Neige à fabriquer (cm)	186.70	210.53	190.35	176.25	202.21	182.34
Jours froids (tmoy<-20°C)	4.24	0.90	0.14	4.24	0.90	0.14
Nombre de jours non skiables	17.79	17.87	15.55	16.79	16.93	14.93
Pluie (mm)	121.10	131.48	115.86	115.32	125.85	109.40
Quantité de neige naturelle (cm)	243.19	153.46	112.85	230.59	150.05	110.56
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	46.51	37.70	32.25	44.15	36.22	30.42
Nombre de jours de pluie en décembre	9.00	11.43	10.66	8.69	10.77	10.07
Pluie en décembre (mm)	36.83	56.97	44.07	35.59	53.17	40.43
Nombre de jours froids en décembre (tmoy<20°C)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	5.97	7.47	5.97	5.72	6.90	5.72
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	61.25	52.12	43.51	61.25	52.12	43.51
Nombre de jours de pluie en janvier	3.38	7.03	8.90	3.38	7.03	8.90
Pluie en janvier (mm)	15.30	27.83	46.92	15.30	27.83	46.92
Nombre de jours froids en janvier (tmoy<20°C)	2.31	0.30	0.07	2.31	0.30	0.07
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	1.90	4.13	5.83	1.90	4.13	5.83
Neige naturelle au mois de février (cm)	62.09	35.12	24.41	62.09	35.12	24.41
Nombre de jours de pluie en février	1.83	1.77	1.97	1.83	1.77	1.97
Pluie en février (mm)	7.58	8.85	7.39	7.58	8.85	7.39
Nombre de jours froids en février (tmoy<20°C)	1.93	0.60	0.07	1.93	0.60	0.07
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	0.93	1.13	1.17	0.93	1.13	1.17
Neige naturelle au mois de mars (cm)	42.81	18.62	6.16	42.81	18.62	6.16
Nombre de jours de pluie en mars	5.17	3.20	1.07	5.17	3.20	1.07
Pluie en mars (mm)	18.55	15.19	3.41	18.55	15.19	3.41
Nombre de jours froids en mars (tmoy<20°C)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	3.21	1.77	0.72	3.21	1.77	0.72

TABLEAU 3.12. Caractéristiques de la saison de ski selon le modèle CGCM1 après downscaling, station Montréal

Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Fabrication de neige à -2°C			Fabrication de neige à -5°C		
	1961-1990	2010-2039	2040-2069	1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours de pluie	32.24	34.33	34.62	23.62	25.80	26.52
Durée de la saison (jours)	136.48	116.67	96.31	118.00	98.00	78.62
Total de l'indice SVI	2451.22	2905.59	1417.87	1539.93	1868.05	1305.87
Fonte totale (mm)	93.07	92.00	81.69	70.66	64.51	57.59
Période de fabrication de neige (jours)	41.93	45.87	41.10	23.69	27.33	26.79
Neige à fabriquer (cm)	125.42	139.18	134.53	103.00	111.68	117.70
Jours froids (tmoy<-20°C)	3.07	0.63	0.17	3.07	0.63	0.17
Nombre de jours non skiables	19.59	21.43	21.66	14.38	15.60	16.03
Pluie (mm)	100.42	112.04	108.94	74.05	80.52	79.46
Quantité de neige naturelle (cm)	220.66	173.11	127.65	191.43	148.66	102.59
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	47.17	37.61	37.78	24.74	19.26	18.51
Nombre de jours de pluie en décembre	12.28	12.20	12.69	6.10	6.30	6.34
Pluie en décembre (mm)	37.02	42.84	43.80	19.13	22.27	21.06
Nombre de jours froids en décembre (tmoy<20°C)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	7.21	7.80	8.59	3.62	3.83	4.21
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	54.55	42.43	31.56	54.21	41.72	30.52
Nombre de jours de pluie en janvier	5.66	9.23	11.62	5.52	8.97	10.93
Pluie en janvier (mm)	12.97	22.41	29.47	12.62	21.51	27.38
Nombre de jours froids en janvier (tmoy<20°C)	1.72	0.23	0.10	1.72	0.23	0.10
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	2.83	5.20	6.24	2.79	5.00	5.86
Neige naturelle au mois de février (cm)	56.00	46.53	37.24	56.00	46.53	37.24
Nombre de jours de pluie en février	1.45	2.60	4.76	1.45	2.60	4.76
Pluie en février (mm)	2.80	6.08	11.89	2.80	6.08	11.89
Nombre de jours froids en février (tmoy<20°C)	1.31	0.40	0.07	1.31	0.40	0.07
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	0.83	1.33	2.79	0.83	1.33	2.79
Neige naturelle au mois de mars (cm)	45.34	36.91	15.40	45.34	36.91	15.40
Nombre de jours de pluie en mars	5.72	5.63	4.10	5.72	5.63	4.10
Pluie en mars (mm)	18.71	22.52	17.20	18.71	22.52	17.20
Nombre de jours froids en mars (tmoy<20°C)	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	3.59	4.03	2.90	3.59	4.03	2.90

TABLERAU 3.13. . Caractéristiques de la saison de ski selon le modèle CGCM1 après downscaling, station Québec

Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Fabrication de neige à -2°C			Fabrication de neige à -5°C		
	1961-1990	2010-2039	2040-2069	1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours de pluie	24.17	36.86	22.00	26.03	21.93	33.72
Durée de la saison (jours)	179.21	162.52	159.77	174.20	171.38	152.69
Total de l'indice SVI	2305.87	2657.07	961.05	1756.98	1924.18	2022.63
Fonte totale (mm)	161.06	163.24	143.86	172.93	148.99	139.19
Période de fabrication de neige (jours)	55.69	49.69	41.70	56.13	47.86	39.86
Neige à fabriquer (cm)	116.37	130.24	100.96	130.04	104.30	106.19
Jours froids (tmoy<-20°C)	5.62	0.31	1.47	1.47	5.62	0.31
Nombre de jours non skiables	16.14	25.17	18.07	21.40	14.52	22.79
Pluie (mm)	104.93	167.05	124.40	148.74	95.12	149.24
Quantité de neige naturelle (cm)	448.73	414.65	427.10	450.90	435.86	395.22
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	95.17	93.38	89.49	97.80	93.75	82.35
Nombre de jours de pluie en décembre	6.69	8.90	5.60	6.47	6.55	7.79
Pluie en décembre (mm)	20.24	36.35	29.75	34.70	19.90	32.49
Nombre de jours froids en décembre (tmoy<20°C)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	3.62	5.41	4.67	5.37	3.52	4.79
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	105.13	103.30	98.53	98.53	105.13	103.30
Nombre de jours de pluie en janvier	2.55	8.10	3.83	3.83	2.55	8.10
Pluie en janvier (mm)	8.71	31.36	18.44	18.44	8.71	31.36
Nombre de jours froids en janvier (tmoy<20°C)	2.45	0.00	0.37	0.37	2.45	0.00
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	1.52	5.28	3.13	3.13	1.52	5.28
Neige naturelle au mois de février (cm)	84.07	77.17	84.78	84.78	84.07	77.17
Nombre de jours de pluie en février	0.52	2.90	0.97	0.97	0.52	2.90
Pluie en février (mm)	1.99	7.12	3.69	3.69	1.99	7.12
Nombre de jours froids en février (tmoy<20°C)	2.86	0.28	0.97	0.97	2.86	0.28
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	0.31	1.48	0.67	0.67	0.31	1.48
Neige naturelle au mois de mars (cm)	79.33	87.33	92.18	92.18	79.33	87.33
Nombre de jours de pluie en mars	3.07	5.55	3.53	3.53	3.07	5.55
Pluie en mars (mm)	14.25	27.57	23.69	23.69	14.25	27.57
Nombre de jours froids en mars (tmoy<20°C)	0.31	0.03	0.13	0.13	0.31	0.03
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	2.21	3.86	2.97	2.97	2.21	3.86

TABLEAU 3.14. Caractéristiques de la saison de ski selon le modèle CGCM1 après downscaling, station Sherbrooke

Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Fabrication de neige à -2°C			Fabrication de neige à -5°C		
	1961-1990	2010-2039	2040-2069	1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours de pluie	24.62	30.00	32.66	22.03	27.47	29.17
Durée de la saison (jours)	162.10	139.73	116.34	153.76	132.20	106.90
Total de l'indice SVI	3617.05	3156.97	4422.50	3202.78	2657.26	4004.13
Fonte totale (mm)	100.91	107.13	104.23	76.40	92.67	91.98
Période de fabrication de neige (jours)	53.38	49.93	51.17	45.03	42.47	41.93
Neige à fabriquer (cm)	126.25	132.74	150.63	113.37	109.23	128.03
Jours froids (tmoy<-20°C)	5.31	1.47	0.34	5.31	1.47	0.34
Nombre de jours non skiables	16.14	20.90	22.97	14.17	18.97	20.48
Pluie (mm)	93.69	112.42	123.78	82.77	101.31	108.44
Quantité de neige naturelle (cm)	295.95	234.14	208.51	282.19	222.10	193.17
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	60.44	56.29	65.01	54.22	49.06	53.60
Nombre de jours de pluie en décembre	7.10	10.40	11.28	6.48	9.03	9.76
Pluie en décembre (mm)	25.28	42.76	47.59	21.79	36.47	42.34
Nombre de jours froids en décembre (tmoy<20°C)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	4.31	7.43	8.14	3.76	6.37	7.21
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	59.42	50.06	50.65	59.42	49.51	49.69
Nombre de jours de pluie en janvier	3.48	6.67	9.59	3.48	6.53	9.34
Pluie en janvier (mm)	8.78	18.85	28.77	8.78	18.47	27.92
Nombre de jours froids en janvier (tmoy<20°C)	2.45	0.33	0.21	2.45	0.33	0.21
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	1.86	4.13	6.41	1.86	4.03	6.31
Neige naturelle au mois de février (cm)	68.09	60.53	51.80	68.09	60.53	51.80
Nombre de jours de pluie en février	0.83	2.10	2.31	0.83	2.10	2.31
Pluie en février (mm)	1.87	7.21	6.35	1.87	7.21	6.35
Nombre de jours froids en février (tmoy<20°C)	2.69	1.03	0.14	2.69	1.03	0.14
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	0.45	1.50	1.48	0.45	1.50	1.48
Neige naturelle au mois de mars (cm)	52.96	40.97	27.91	52.96	40.97	27.91
Nombre de jours de pluie en mars	3.55	4.47	4.86	3.55	4.47	4.86
Pluie en mars (mm)	13.47	15.98	20.29	13.47	15.98	20.29
Nombre de jours froids en mars (tmoy<20°C)	0.17	0.10	0.00	0.17	0.10	0.00
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	2.55	3.03	3.48	2.55	3.03	3.48

TABLEAU 3.15. Caractéristiques de la saison de ski selon le modèle CGCM1 après downscaling, station St-Hippolyte

Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Fabrication de neige à -2°C			Fabrication de neige à -5°C		
	1961-1990	2010-2039	2040-2069	1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours de pluie	26.48	32.93	27.53	29.70	24.59	30.24
Durée de la saison (jours)	176.17	153.38	158.27	165.67	168.55	143.62
Total de l'indice SVI	1673.15	1987.95	1227.77	1590.54	1221.05	1489.02
Fonte totale (mm)	153.73	128.85	128.35	139.60	138.67	113.33
Période de fabrication de neige (jours)	55.55	50.24	48.07	55.47	47.93	40.48
Neige à fabriquer (cm)	123.04	133.22	113.84	125.08	107.98	117.69
Jours froids (tmoy<-20°C)	8.17	0.83	2.80	2.80	8.17	0.83
Nombre de jours non skiables	21.86	27.79	23.47	25.43	20.34	25.52
Pluie (mm)	196.39	254.33	219.71	236.91	181.39	233.64
Quantité de neige naturelle (cm)	423.15	320.36	363.34	378.69	408.46	304.36
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	110.00	97.43	111.16	113.44	106.09	87.61
Nombre de jours de pluie en décembre	5.79	6.31	6.93	7.30	5.45	5.38
Pluie en décembre (mm)	38.48	44.81	51.29	55.04	35.28	37.60
Nombre de jours froids en décembre (tmoy<20°C)	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	4.52	5.14	5.70	6.03	4.24	4.41
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	81.52	73.43	74.12	74.12	81.52	73.43
Nombre de jours de pluie en janvier	3.31	6.28	4.90	4.90	3.31	6.28
Pluie en janvier (mm)	16.99	40.17	27.49	27.49	16.99	40.17
Nombre de jours froids en janvier (tmoy<20°C)	3.86	0.48	1.07	1.07	3.86	0.48
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	2.59	5.03	3.83	3.83	2.59	5.03
Neige naturelle au mois de février (cm)	90.41	69.42	79.89	79.89	90.41	69.42
Nombre de jours de pluie en février	1.90	4.59	2.37	2.37	1.90	4.59
Pluie en février (mm)	13.79	36.18	19.35	19.35	13.79	36.18
Nombre de jours froids en février (tmoy<20°C)	4.03	0.34	1.57	1.57	4.03	0.34
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	1.52	3.76	2.07	2.07	1.52	3.76
Neige naturelle au mois de mars (cm)	64.14	43.89	47.15	47.15	64.14	43.89
Nombre de jours de pluie en mars	3.79	6.41	5.07	5.07	3.79	6.41
Pluie en mars (mm)	29.96	56.75	52.68	52.68	29.96	56.75
Nombre de jours froids en mars (tmoy<20°C)	0.24	0.00	0.17	0.17	0.24	0.00
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	3.14	5.66	4.57	4.57	3.14	5.66

TABLEAU 3.16. Caractéristiques de la saison de ski selon le modèle CGCM1 après downscaling, station Sutton

Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Fabrication de neige à -2°C			Fabrication de neige à -5°C		
	1961-1990	2010-2039	2040-2069	1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours de pluie	16.31	16.14	11.63	17.37	11.97	8.24
Durée de la saison (jours)	123.41	87.73	66.97	103.97	65.13	36.14
Total de l'indice SVI	6533.43	4650.31	4059.37	4272.49	3650.57	2209.77
Fonte totale (mm)	203.41	225.75	137.17	210.30	150.47	107.38
Période de fabrication de neige (jours)	54.14	26.38	26.27	42.47	37.10	12.86
Neige à fabriquer (cm)	224.93	176.95	160.30	211.00	178.46	125.66
Jours froids (tmoy<-20°C)	3.66	0.87	0.17	3.66	0.87	0.17
Nombre de jours non skiables	13.69	13.76	9.57	14.30	10.03	6.83
Pluie (mm)	110.84	104.91	82.52	124.50	78.76	51.49
Quantité de neige naturelle (cm)	283.62	158.99	146.46	196.90	236.99	90.54
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	83.89	60.48	27.31	63.92	49.61	18.81
Nombre de jours de pluie en décembre	6.55	6.66	3.53	7.47	3.97	2.03
Pluie en décembre (mm)	50.29	50.70	31.66	60.25	29.59	16.59
Nombre de jours froids en décembre (tmoy<20°C)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	5.66	5.79	3.23	6.53	3.31	1.66
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	68.48	61.40	53.51	60.34	67.19	39.34
Nombre de jours de pluie en janvier	3.55	7.07	4.57	5.13	3.45	4.66
Pluie en janvier (mm)	18.25	36.87	26.39	28.34	17.80	24.04
Nombre de jours froids en janvier (tmoy<20°C)	1.66	0.10	0.37	0.37	1.66	0.10
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	2.86	5.90	3.67	4.00	2.79	3.86
Neige naturelle au mois de février (cm)	59.63	24.10	40.89	40.89	59.63	24.10
Nombre de jours de pluie en février	0.79	0.83	1.47	1.47	0.79	0.83
Pluie en février (mm)	4.26	5.46	8.62	8.62	4.26	5.46
Nombre de jours froids en février (tmoy<20°C)	1.93	0.07	0.47	0.47	1.93	0.07
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	0.59	0.69	1.07	1.07	0.59	0.69
Neige naturelle au mois de mars (cm)	41.75	7.64	17.65	17.65	41.75	7.64
Nombre de jours de pluie en mars	1.79	0.55	0.80	0.80	1.79	0.55
Pluie en mars (mm)	11.73	4.33	6.47	6.47	11.73	4.33
Nombre de jours froids en mars (tmoy<20°C)	0.07	0.00	0.03	0.03	0.07	0.00
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	1.59	0.48	0.63	0.63	1.59	0.48

TABLEAU 3.17. Caractéristiques de la saison de ski selon le modèle HadCM3 scénario a , après downscaling, station Grand Fonds

Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Fabrication de neige à -2°C			Fabrication de neige à -5°C		
	1961-1990	2010-2039	2040-2069	1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours de pluie	11.70	9.87	10.10	10.47	9.20	8.73
Durée de la saison (jours)	155.30	147.10	140.90	148.37	141.00	129.90
Total de l'indice SVI	2363.52	2548.14	2457.27	1973.52	2010.53	1738.79
Fonte totale (mm)	115.89	105.58	97.59	107.90	98.38	83.84
Période de fabrication de neige (jours)	59.63	56.67	52.27	52.70	50.57	41.27
Neige à fabriquer (cm)	116.59	120.89	116.57	108.60	113.70	102.83
Jours froids (tmoy<-20°C)	16.50	14.70	12.73	16.37	14.63	12.43
Nombre de jours non skiables	10.43	8.77	8.93	9.27	8.30	7.67
Pluie (mm)	137.98	107.75	114.86	123.41	100.45	101.66
Quantité de neige naturelle (cm)	305.48	255.73	234.60	295.24	250.90	216.33
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	81.74	64.62	66.76	77.39	64.52	57.84
Nombre de jours de pluie en décembre	1.63	1.80	1.93	1.50	1.77	1.73
Pluie en décembre (mm)	10.91	19.15	17.97	9.75	18.79	16.25
Nombre de jours froids en décembre (tmoy<20°C)	3.20	3.07	2.53	3.07	3.03	2.23
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	1.27	1.70	1.57	1.13	1.67	1.40
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	57.24	46.19	43.48	57.24	46.19	43.48
Nombre de jours de pluie en janvier	0.53	0.80	0.90	0.53	0.80	0.90
Pluie en janvier (mm)	3.95	5.41	7.37	3.95	5.41	7.37
Nombre de jours froids en janvier (tmoy<20°C)	6.63	6.40	5.63	6.63	6.40	5.63
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	0.40	0.70	0.77	0.40	0.70	0.77
Neige naturelle au mois de février (cm)	77.48	60.97	65.83	77.48	60.97	65.83
Nombre de jours de pluie en février	1.07	0.73	1.23	1.07	0.73	1.23
Pluie en février (mm)	8.47	5.60	7.58	8.47	5.60	7.58
Nombre de jours froids en février (tmoy<20°C)	6.20	4.87	4.37	6.20	4.87	4.37
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	0.87	0.60	0.93	0.87	0.60	0.93
Neige naturelle au mois de mars (cm)	51.31	59.91	35.93	51.31	59.91	35.93
Nombre de jours de pluie en mars	2.17	2.97	3.07	2.17	2.97	3.07
Pluie en mars (mm)	28.46	41.76	48.98	28.46	41.76	48.98
Nombre de jours froids en mars (tmoy<20°C)	0.43	0.27	0.20	0.43	0.27	0.20
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	2.00	2.73	2.90	2.00	2.73	2.90

TABLEAU 3.18. Caractéristiques de la saison de ski selon le modèle HadCM3 scénario b, après downscaling, station Grand Fonds
Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Fabrication de neige à -2°C			Fabrication de neige à -5°C		
	1961-1990	2010-2039	2040-2069	1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours de pluie	10.97	10.27	11.37	9.60	8.93	10.30
Durée de la saison (jours)	157.40	147.80	144.50	149.73	139.33	136.67
Total de l'indice SVI	2369.08	3673.78	6660.06	1862.19	3073.19	5679.48
Fonte totale (mm)	131.24	107.13	105.44	113.78	96.04	93.57
Période de fabrication de neige (jours)	60.73	55.23	54.73	53.07	46.77	46.90
Neige à fabriquer (cm)	122.81	121.34	121.41	105.36	110.25	109.54
Jours froids (tmoy<-20°C)	16.10	14.67	12.30	16.10	14.57	12.20
Nombre de jours non skiables	9.77	9.40	9.60	8.53	8.10	8.80
Pluie (mm)	126.85	116.77	128.58	112.87	99.88	117.97
Quantité de neige naturelle (cm)	327.21	261.45	253.74	316.69	252.12	248.71
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	84.81	68.99	63.52	83.79	65.09	61.89
Nombre de jours de pluie en décembre	1.37	1.80	2.07	1.33	1.67	1.87
Pluie en décembre (mm)	10.40	19.77	19.63	10.34	18.11	17.23
Nombre de jours froids en décembre (tmoy<20°C)	3.47	2.43	2.53	3.47	2.33	2.43
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	0.97	1.53	1.67	0.93	1.40	1.53
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	56.64	47.82	48.67	56.64	47.82	48.67
Nombre de jours de pluie en janvier	0.67	0.93	1.10	0.67	0.93	1.10
Pluie en janvier (mm)	4.46	7.08	8.27	4.46	7.08	8.27
Nombre de jours froids en janvier (tmoy<20°C)	7.07	6.03	5.27	7.07	6.03	5.27
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	0.63	0.87	0.83	0.63	0.87	0.83
Neige naturelle au mois de février (cm)	85.65	64.60	66.36	85.65	64.60	66.36
Nombre de jours de pluie en février	0.73	0.67	0.87	0.73	0.67	0.87
Pluie en février (mm)	4.95	5.77	5.44	4.95	5.77	5.44
Nombre de jours froids en février (tmoy<20°C)	4.97	5.73	4.43	4.97	5.73	4.43
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	0.63	0.60	0.67	0.63	0.60	0.67
Neige naturelle au mois de mars (cm)	65.49	61.51	51.54	65.49	61.51	51.54
Nombre de jours de pluie en mars	2.60	2.50	3.03	2.60	2.50	3.03
Pluie en mars (mm)	34.49	29.84	39.87	34.49	29.84	39.87
Nombre de jours froids en mars (tmoy<20°C)	0.53	0.47	0.07	0.53	0.47	0.07
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	2.40	2.27	2.57	2.40	2.27	2.57

TABLEAU 3.19. Caractéristiques de la saison de ski selon le modèle HadCM3 scénario a, après downscaling, station La Macaza
Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Fabrication de neige à -2°C			Fabrication de neige à -5°C		
	1961-1990	2010-2039	2040-2069	1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours de pluie	24.17	23.13	23.70	23.27	22.07	21.70
Durée de la saison (jours)	142.50	129.07	122.37	139.23	125.00	115.97
Total de l'indice SVI	2658.42	2764.00	2560.07	2431.75	2318.67	2060.77
Fonte totale (mm)	120.55	111.62	114.63	116.12	96.22	98.03
Période de fabrication de neige (jours)	61.47	56.30	54.90	58.20	52.23	48.50
Neige à fabriquer (cm)	141.38	143.62	146.89	136.95	128.22	130.29
Jours froids (tmoy<-20°C)	15.27	12.80	8.77	15.27	12.80	8.77
Nombre de jours non skiables	19.30	19.23	19.40	18.60	18.23	17.73
Pluie (mm)	143.28	144.56	139.67	138.16	136.75	127.53
Quantité de neige naturelle (cm)	237.65	196.47	195.30	235.90	195.44	190.47
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	82.38	70.13	69.08	82.38	70.13	68.26
Nombre de jours de pluie en décembre	4.63	5.40	5.83	4.63	5.40	5.50
Pluie en décembre (mm)	29.18	33.84	34.76	29.18	33.84	32.79
Nombre de jours froids en décembre (tmoy<20°C)	1.90	1.47	0.90	1.90	1.47	0.90
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	3.80	4.43	4.67	3.80	4.43	4.40
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	60.22	55.44	61.96	60.22	55.44	61.96
Nombre de jours de pluie en janvier	3.77	3.87	4.57	3.77	3.87	4.57
Pluie en janvier (mm)	19.22	19.60	22.32	19.22	19.60	22.32
Nombre de jours froids en janvier (tmoy<20°C)	7.27	5.53	4.27	7.27	5.53	4.27
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	2.93	2.97	3.57	2.93	2.97	3.57
Neige naturelle au mois de février (cm)	57.30	44.15	42.14	57.30	44.15	42.14
Nombre de jours de pluie en février	3.03	3.77	3.50	3.03	3.77	3.50
Pluie en février (mm)	14.09	21.66	19.01	14.09	21.66	19.01
Nombre de jours froids en février (tmoy<20°C)	5.70	5.50	3.43	5.70	5.50	3.43
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	2.20	2.87	2.63	2.20	2.87	2.63
Neige naturelle au mois de mars (cm)	16.36	12.18	9.84	16.36	12.18	9.84
Nombre de jours de pluie en mars	5.07	4.23	4.30	5.07	4.23	4.30
Pluie en mars (mm)	32.49	27.89	28.19	32.49	27.89	28.19
Nombre de jours froids en mars (tmoy<20°C)	0.40	0.30	0.17	0.40	0.30	0.17
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	4.17	3.80	3.80	4.17	3.80	3.80

TABLEAU 3.20. Caractéristiques de la saison de ski selon le modèle HadCM3 scénario b, après downscaling, station La Macaza
Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Fabrication de neige à -2°C			Fabrication de neige à -5°C		
	1961-1990	2010-2039	2040-2069	1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours de pluie	25.33	24.13	25.00	24.47	22.17	23.17
Durée de la saison (jours)	140.13	135.10	129.77	137.53	129.03	125.07
Total de l'indice SVI	2089.70	3668.93	3368.57	1903.76	3226.82	2965.23
Fonte totale (mm)	118.18	123.43	130.70	109.12	106.23	110.53
Période de fabrication de neige (jours)	60.87	56.27	56.00	58.27	50.20	51.30
Neige à fabriquer (cm)	142.95	150.54	157.79	133.89	133.34	137.62
Jours froids (tmoy<-20°C)	14.83	13.13	10.00	14.83	13.13	10.00
Nombre de jours non skiables	20.27	19.53	20.30	19.50	17.83	18.63
Pluie (mm)	152.45	140.03	155.92	145.75	128.14	142.81
Quantité de neige naturelle (cm)	226.08	220.35	208.53	225.64	216.75	206.42
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	73.99	77.17	68.79	73.99	76.37	67.95
Nombre de jours de pluie en décembre	4.40	5.67	5.67	4.40	5.60	5.40
Pluie en décembre (mm)	28.26	34.32	42.85	28.26	33.90	41.45
Nombre de jours froids en décembre (tmoy<20°C)	1.73	0.97	0.80	1.73	0.97	0.80
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	3.37	4.50	4.93	3.37	4.43	4.70
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	54.67	52.66	64.42	54.67	52.66	64.42
Nombre de jours de pluie en janvier	4.03	3.97	4.07	4.03	3.97	4.07
Pluie en janvier (mm)	20.18	19.61	18.37	20.18	19.61	18.37
Nombre de jours froids en janvier (tmoy<20°C)	7.17	6.07	4.83	7.17	6.07	4.83
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	3.07	3.10	2.83	3.07	3.10	2.83
Neige naturelle au mois de février (cm)	52.34	59.74	50.19	52.34	59.74	50.19
Nombre de jours de pluie en février	3.37	2.97	3.40	3.37	2.97	3.40
Pluie en février (mm)	20.38	16.09	18.92	20.38	16.09	18.92
Nombre de jours froids en février (tmoy<20°C)	5.33	5.70	4.27	5.33	5.70	4.27
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	2.67	2.37	2.70	2.67	2.37	2.70
Neige naturelle au mois de mars (cm)	18.51	18.11	13.28	18.51	18.11	13.28
Nombre de jours de pluie en mars	5.47	4.57	5.50	5.47	4.57	5.50
Pluie en mars (mm)	32.53	29.85	34.42	32.53	29.85	34.42
Nombre de jours froids en mars (tmoy<20°C)	0.60	0.40	0.10	0.60	0.40	0.10
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	4.70	3.90	4.47	4.70	3.90	4.47

TABLEAU 3.21. Caractéristiques de la saison de ski selon le modèle HadCM3 scénario a, après downscaling, station Lennoxville
Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Fabrication de neige à -2°C			Fabrication de neige à -5°C		
	1961-1990	2010-2039	2040-2069	1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours de pluie	21.23	18.43	18.37	19.40	17.67	16.03
Durée de la saison (jours)	126.50	115.00	98.97	120.57	112.10	92.30
Total de l'indice SVI	3670.57	3782.79	4057.41	3203.73	3553.07	3478.95
Fonte totale (mm)	135.52	124.29	127.61	113.85	115.40	98.04
Période de fabrication de neige (jours)	55.67	51.63	47.53	49.73	48.73	40.87
Neige à fabriquer (cm)	167.04	165.56	166.39	145.37	156.67	136.82
Jours froids (tmoy<-20°C)	4.93	3.20	1.33	4.93	3.20	1.33
Nombre de jours non skiables	17.80	15.47	15.23	16.33	14.77	13.17
Pluie (mm)	126.01	109.13	105.09	116.17	104.35	88.57
Quantité de neige naturelle (cm)	227.30	195.81	157.85	219.97	192.13	152.14
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	69.12	71.12	54.13	67.15	70.84	50.00
Nombre de jours de pluie en décembre	4.63	4.50	5.90	4.27	4.50	5.13
Pluie en décembre (mm)	29.70	27.99	35.09	28.52	27.99	29.53
Nombre de jours froids en décembre (tmoy<20°C)	0.23	0.17	0.10	0.23	0.17	0.10
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	4.03	3.90	4.97	3.80	3.90	4.30
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	51.17	43.13	51.26	51.17	43.13	51.26
Nombre de jours de pluie en janvier	3.43	3.50	4.40	3.43	3.50	4.40
Pluie en janvier (mm)	14.90	15.93	19.38	14.90	15.93	19.38
Nombre de jours froids en janvier (tmoy<20°C)	2.77	1.37	0.73	2.77	1.37	0.73
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	2.80	2.87	3.40	2.80	2.87	3.40
Neige naturelle au mois de février (cm)	55.12	47.84	35.80	55.12	47.84	35.80
Nombre de jours de pluie en février	3.13	3.20	2.53	3.13	3.20	2.53
Pluie en février (mm)	15.88	20.21	13.62	15.88	20.21	13.62
Nombre de jours froids en février (tmoy<20°C)	1.83	1.53	0.47	1.83	1.53	0.47
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	2.50	2.67	2.03	2.50	2.67	2.03
Neige naturelle au mois de mars (cm)	23.72	17.31	9.00	23.72	17.31	9.00
Nombre de jours de pluie en mars	4.33	3.13	2.87	4.33	3.13	2.87
Pluie en mars (mm)	23.65	19.69	19.02	23.65	19.69	19.02
Nombre de jours froids en mars (tmoy<20°C)	0.10	0.13	0.03	0.10	0.13	0.03
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	3.60	2.60	2.50	3.60	2.60	2.50

TABLEAU 3.22. Caractéristiques de la saison de ski selon le modèle HadCM3 scénario b, après downscaling, station Lennoxville
Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Fabrication de neige à -2°C			Fabrication de neige à -5°C		
	1961-1990	2010-2039	2040-2069	1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours de pluie	20.23	20.13	17.33	18.13	18.40	14.93
Durée de la saison (jours)	122.07	113.00	99.30	116.13	107.10	92.27
Total de l'indice SVI	3297.79	3372.90	4062.97	2841.17	2911.02	3626.83
Fonte totale (mm)	137.45	125.69	110.21	113.60	107.04	90.35
Période de fabrication de neige (jours)	56.60	49.83	46.83	50.67	43.93	39.87
Neige à fabriquer (cm)	173.83	165.18	151.77	149.99	146.53	131.92
Jours froids (tmoy<-20°C)	4.73	2.90	1.70	4.73	2.90	1.70
Nombre de jours non skiables	17.13	16.80	13.73	15.37	15.30	11.77
Pluie (mm)	122.06	115.13	98.96	108.16	103.81	82.86
Quantité de neige naturelle (cm)	216.38	191.08	185.71	206.72	183.31	176.16
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	74.67	60.24	63.21	71.80	56.10	57.84
Nombre de jours de pluie en décembre	4.37	6.00	5.50	3.93	5.27	4.27
Pluie en décembre (mm)	24.25	37.24	34.22	21.77	31.54	24.98
Nombre de jours froids en décembre (tmoy<20°C)	0.37	0.07	0.10	0.37	0.07	0.10
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	3.50	5.03	4.47	3.17	4.33	3.47
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	50.13	52.53	56.82	50.13	52.53	55.98
Nombre de jours de pluie en janvier	3.53	3.40	4.03	3.53	3.40	3.93
Pluie en janvier (mm)	15.93	13.44	16.70	15.93	13.44	16.28
Nombre de jours froids en janvier (tmoy<20°C)	2.67	1.10	0.80	2.67	1.10	0.80
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	2.77	2.43	2.93	2.77	2.43	2.87
Neige naturelle au mois de février (cm)	45.63	51.95	45.22	45.63	51.95	45.22
Nombre de jours de pluie en février	3.53	2.93	3.60	3.53	2.93	3.60
Pluie en février (mm)	21.72	16.74	21.91	21.72	16.74	21.91
Nombre de jours froids en février (tmoy<20°C)	1.60	1.60	0.80	1.60	1.60	0.80
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	2.87	2.37	2.87	2.87	2.37	2.87
Neige naturelle au mois de mars (cm)	17.94	13.68	8.61	17.94	13.68	8.61
Nombre de jours de pluie en mars	3.43	4.03	2.00	3.43	4.03	2.00
Pluie en mars (mm)	21.05	22.98	13.34	21.05	22.98	13.34
Nombre de jours froids en mars (tmoy<20°C)	0.10	0.13	0.00	0.10	0.13	0.00
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	3.03	3.57	1.73	3.03	3.57	1.73

TABLEAU 3.23. Caractéristiques de la saison de ski selon le modèle HadCM3 scénario a, après downscaling, station Montréal

Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Fabrication de neige à -2°C			Fabrication de neige à -5°C		
	1961-1990	2010-2039	2040-2069	1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours de pluie	16.30	16.23	14.17	14.80	14.93	12.87
Durée de la saison (jours)	113.33	106.17	95.53	107.53	101.73	90.40
Total de l'indice SVI	2050.85	2586.01	2234.90	1729.93	2313.69	1593.65
Fonte totale (mm)	111.61	107.84	90.90	98.20	95.66	73.89
Période de fabrication de neige (jours)	44.40	39.30	37.47	38.60	34.87	32.37
Neige à fabriquer (cm)	136.41	133.56	126.50	123.00	121.38	109.49
Jours froids (tmoy<-20°C)	5.73	5.27	3.57	5.70	5.23	3.50
Nombre de jours non skiables	11.53	12.30	9.97	10.30	11.17	9.00
Pluie (mm)	76.51	75.99	61.83	69.67	68.37	54.28
Quantité de neige naturelle (cm)	241.53	230.65	200.75	229.54	222.88	190.90
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	77.16	71.27	70.73	72.34	66.54	61.86
Nombre de jours de pluie en décembre	4.37	4.40	4.40	4.03	3.90	3.53
Pluie en décembre (mm)	22.77	18.61	20.43	20.70	15.56	16.54
Nombre de jours froids en décembre (tmoy<20°C)	0.57	0.60	0.23	0.53	0.57	0.20
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	3.27	3.03	3.13	2.93	2.60	2.57
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	62.09	65.58	62.37	62.09	65.58	62.37
Nombre de jours de pluie en janvier	3.20	3.77	3.93	3.20	3.77	3.90
Pluie en janvier (mm)	13.12	14.52	15.12	13.12	14.52	15.10
Nombre de jours froids en janvier (tmoy<20°C)	3.10	2.57	2.07	3.10	2.57	2.03
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	2.17	2.80	2.67	2.17	2.80	2.67
Neige naturelle au mois de février (cm)	62.61	59.35	54.04	62.61	59.35	54.04
Nombre de jours de pluie en février	2.63	2.63	2.60	2.63	2.63	2.60
Pluie en février (mm)	9.13	11.33	10.15	9.13	11.33	10.15
Nombre de jours froids en février (tmoy<20°C)	2.03	2.10	1.27	2.03	2.10	1.27
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	1.63	2.03	1.67	1.63	2.03	1.67
Neige naturelle au mois de mars (cm)	25.61	26.35	11.85	25.61	26.35	11.85
Nombre de jours de pluie en mars	3.67	3.57	2.60	3.67	3.57	2.60
Pluie en mars (mm)	18.53	20.80	11.60	18.53	20.80	11.60
Nombre de jours froids en mars (tmoy<20°C)	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	2.63	2.80	1.93	2.63	2.80	1.93

TABLEAU 3.23. Caractéristiques de la saison de ski selon le modèle HadCM3 scénario b, après downscaling, station Montréal

Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Fabrication de neige à -2°C			Fabrication de neige à -5°C		
	1961-1990	2010-2039	2040-2069	1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours de pluie	17.47	17.07	16.80	16.33	14.80	15.03
Durée de la saison (jours)	110.57	108.90	101.63	106.57	100.37	95.53
Total de l'indice SVI	3603.93	6793.39	4619.03	3384.53	6155.10	4197.26
Fonte totale (mm)	113.12	110.66	108.23	100.10	86.12	91.88
Période de fabrication de neige (jours)	44.30	42.00	41.53	40.30	33.53	35.43
Neige à fabriquer (cm)	139.85	140.70	140.52	126.83	116.16	124.16
Jours froids (tmoy<-20°C)	6.37	4.93	4.87	6.33	4.90	4.87
Nombre de jours non skiables	13.10	12.67	12.33	12.20	10.90	11.07
Pluie (mm)	81.27	85.15	78.53	75.05	72.93	69.58
Quantité de neige naturelle (cm)	239.84	218.89	216.17	233.08	206.56	201.76
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	81.78	71.49	73.16	78.02	63.05	62.31
Nombre de jours de pluie en décembre	4.47	4.53	4.83	4.23	3.77	4.07
Pluie en décembre (mm)	19.19	24.25	24.17	18.14	19.42	20.52
Nombre de jours froids en décembre (tmoy<20°C)	0.73	0.37	0.40	0.70	0.33	0.40
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	3.37	3.57	3.50	3.13	2.87	3.03
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	67.37	57.68	58.89	67.37	57.43	58.89
Nombre de jours de pluie en janvier	3.10	4.10	3.77	3.10	4.10	3.77
Pluie en janvier (mm)	11.47	15.93	13.92	11.47	15.93	13.92
Nombre de jours froids en janvier (tmoy<20°C)	3.57	2.57	3.07	3.57	2.57	3.07
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	2.10	2.53	2.67	2.10	2.53	2.67
Neige naturelle au mois de février (cm)	56.72	60.31	58.97	56.72	60.31	58.97
Nombre de jours de pluie en février	3.57	3.03	2.87	3.57	3.03	2.87
Pluie en février (mm)	15.32	12.78	11.46	15.32	12.78	11.46
Nombre de jours froids en février (tmoy<20°C)	2.07	2.00	1.40	2.07	2.00	1.40
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	2.57	2.07	2.10	2.57	2.07	2.10
Neige naturelle au mois de mars (cm)	22.57	21.38	18.60	22.57	21.38	18.60
Nombre de jours de pluie en mars	3.40	3.13	3.57	3.40	3.13	3.57
Pluie en mars (mm)	19.78	19.74	19.30	19.78	19.74	19.30
Nombre de jours froids en mars (tmoy<20°C)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	2.73	2.77	2.73	2.73	2.77	2.73

TABLEAU 3.24. Caractéristiques de la saison de ski selon le modèle HadCM3 scénario a, après downscaling, station Québec

Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Fabrication de neige à -2°C			Fabrication de neige à -5°C		
	1961-1990	2010-2039	2040-2069	1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours de pluie	26.83	26.10	24.53	24.83	24.23	22.00
Durée de la saison (jours)	148.83	139.00	125.43	143.33	134.43	119.00
Total de l'indice SVI	3512.61	2382.41	1755.37	1800.66	2142.86	1395.18
Fonte totale (mm)	145.68	123.99	112.14	136.53	115.70	100.59
Période de fabrication de neige (jours)	57.67	53.30	44.77	52.17	48.73	38.33
Neige à fabriquer (cm)	134.56	127.74	121.22	125.40	119.45	109.66
Jours froids (tmoy<-20°C)	6.70	5.73	2.43	6.70	5.73	2.43
Nombre de jours non skiables	19.83	19.67	19.13	18.33	18.43	17.10
Pluie (mm)	140.74	141.69	128.55	130.66	132.63	112.95
Quantité de neige naturelle (cm)	350.61	306.67	273.20	341.95	300.32	262.04
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	95.96	92.74	84.07	92.90	91.68	76.35
Nombre de jours de pluie en décembre	4.43	4.93	5.50	4.13	4.53	4.33
Pluie en décembre (mm)	23.51	27.49	26.41	22.16	25.24	21.15
Nombre de jours froids en décembre (tmoy<20°C)	0.10	0.13	0.00	0.10	0.13	0.00
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	3.27	3.73	4.17	3.07	3.43	3.30
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	92.43	81.35	73.68	92.43	81.35	73.68
Nombre de jours de pluie en janvier	3.20	3.23	4.63	3.20	3.23	4.63
Pluie en janvier (mm)	13.67	16.22	22.83	13.67	16.22	22.83
Nombre de jours froids en janvier (tmoy<20°C)	3.43	2.10	1.07	3.43	2.10	1.07
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	2.27	2.47	3.70	2.27	2.47	3.70
Neige naturelle au mois de février (cm)	76.28	67.33	67.22	76.28	67.33	67.22
Nombre de jours de pluie en février	2.87	3.10	3.60	2.87	3.10	3.60
Pluie en février (mm)	10.58	10.84	13.25	10.58	10.84	13.25
Nombre de jours froids en février (tmoy<20°C)	2.97	3.33	1.33	2.97	3.33	1.33
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	1.70	1.83	2.40	1.70	1.83	2.40
Neige naturelle au mois de mars (cm)	50.92	39.11	36.37	50.92	39.11	36.37
Nombre de jours de pluie en mars	6.90	7.73	7.27	6.90	7.73	7.27
Pluie en mars (mm)	37.44	48.94	42.92	37.44	48.94	42.92
Nombre de jours froids en mars (tmoy<20°C)	0.20	0.17	0.03	0.20	0.17	0.03
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	5.10	6.13	5.90	5.10	6.13	5.90

TABLEAU 3.25. Caractéristiques de la saison de ski selon le modèle HadCM3 scénario b, après downscaling, station Québec

Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Fabrication de neige à -2°C			Fabrication de neige à -5°C		
	1961-1990	2010-2039	2040-2069	1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours de pluie	28.00	26.70	25.73	26.03	25.37	22.77
Durée de la saison (jours)	148.67	138.93	129.50	143.73	134.53	122.87
Total de l'indice SVI	2733.29	6287.46	1877.13	2231.00	6013.19	1432.26
Fonte totale (mm)	148.16	127.57	115.02	135.99	118.27	100.50
Période de fabrication de neige (jours)	58.60	50.93	46.90	53.67	46.53	40.27
Neige à fabriquer (cm)	140.99	135.19	124.09	128.82	125.89	109.58
Jours froids (tmoy<-20°C)	6.10	5.00	2.77	6.10	5.00	2.77
Nombre de jours non skiables	22.13	20.37	19.23	20.53	19.17	16.93
Pluie (mm)	157.29	143.83	130.54	146.64	134.55	113.09
Quantité de neige naturelle (cm)	344.88	292.36	284.41	336.53	288.00	273.98
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	90.63	83.21	80.38	88.38	82.83	74.70
Nombre de jours de pluie en décembre	4.23	6.07	5.90	4.13	6.07	4.93
Pluie en décembre (mm)	20.57	30.41	28.88	20.17	30.41	22.75
Nombre de jours froids en décembre (tmoy<20°C)	0.20	0.07	0.00	0.20	0.07	0.00
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	3.03	4.47	4.27	2.93	4.47	3.47
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	88.89	77.79	83.54	88.89	77.79	83.54
Nombre de jours de pluie en janvier	3.10	3.10	3.40	3.10	3.10	3.40
Pluie en janvier (mm)	18.33	16.19	18.00	18.33	16.19	18.00
Nombre de jours froids en janvier (tmoy<20°C)	2.97	1.67	1.30	2.97	1.67	1.30
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	2.47	2.33	2.67	2.47	2.33	2.67
Neige naturelle au mois de février (cm)	77.28	62.61	68.96	77.28	62.61	68.96
Nombre de jours de pluie en février	2.93	3.20	3.83	2.93	3.20	3.83
Pluie en février (mm)	9.86	10.82	15.00	9.86	10.82	15.00
Nombre de jours froids en février (tmoy<20°C)	2.80	3.23	1.47	2.80	3.23	1.47
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	1.90	1.90	2.50	1.90	1.90	2.50
Neige naturelle au mois de mars (cm)	54.78	47.88	36.82	54.78	47.88	36.82
Nombre de jours de pluie en mars	7.13	6.93	7.40	7.13	6.93	7.40
Pluie en mars (mm)	43.25	40.62	40.20	43.25	40.62	40.20
Nombre de jours froids en mars (tmoy<20°C)	0.13	0.03	0.00	0.13	0.03	0.00
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	6.03	5.33	5.90	6.03	5.33	5.90

TABLEAU 3.26. Caractéristiques de la saison de ski selon le modèle HadCM3 scénario a, après downscaling, station Sherbrooke
Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Fabrication de neige à -2°C			Fabrication de neige à -5°C		
	1961-1990	2010-2039	2040-2069	1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours de pluie	21.70	20.00	21.77	20.20	17.87	18.77
Durée de la saison (jours)	128.63	114.67	111.00	123.30	108.87	104.60
Total de l'indice SVI	2482.10	2763.97	2534.70	2054.69	2465.37	2039.86
Fonte totale (mm)	139.15	132.10	140.03	123.40	113.52	111.17
Période de fabrication de neige (jours)	58.33	54.17	50.17	53.00	48.37	43.87
Neige à fabriquer (cm)	172.54	170.32	175.15	156.78	151.74	146.29
Jours froids (tmoy<-20°C)	6.63	4.67	2.23	6.63	4.67	2.23
Nombre de jours non skiables	16.23	14.83	16.73	15.17	13.27	14.23
Pluie (mm)	91.79	86.61	97.40	85.68	76.36	81.85
Quantité de neige naturelle (cm)	225.45	205.54	186.82	218.59	195.08	179.99
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	67.60	66.40	58.75	66.97	62.93	56.52
Nombre de jours de pluie en décembre	4.60	4.73	5.60	4.50	4.30	4.87
Pluie en décembre (mm)	18.65	21.49	23.71	18.33	18.64	20.15
Nombre de jours froids en décembre (tmoy<20°C)	0.53	0.37	0.13	0.53	0.37	0.13
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	3.37	3.47	4.10	3.30	3.07	3.47
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	47.34	49.39	46.61	47.34	49.39	46.45
Nombre de jours de pluie en janvier	3.27	3.70	4.50	3.27	3.70	4.37
Pluie en janvier (mm)	8.90	10.80	15.83	8.90	10.80	14.94
Nombre de jours froids en janvier (tmoy<20°C)	3.37	1.93	1.17	3.37	1.93	1.17
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	2.07	2.60	3.23	2.07	2.60	3.13
Neige naturelle au mois de février (cm)	50.83	40.70	44.06	50.83	40.70	44.06
Nombre de jours de pluie en février	3.17	2.67	2.73	3.17	2.67	2.73
Pluie en février (mm)	14.13	11.88	12.20	14.13	11.88	12.20
Nombre de jours froids en février (tmoy<20°C)	2.30	2.27	0.70	2.30	2.27	0.70
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	2.40	2.07	2.10	2.40	2.07	2.10
Neige naturelle au mois de mars (cm)	24.65	23.26	21.64	24.65	23.26	21.64
Nombre de jours de pluie en mars	3.80	3.00	4.40	3.80	3.00	4.40
Pluie en mars (mm)	18.52	13.15	22.33	18.52	13.15	22.33
Nombre de jours froids en mars (tmoy<20°C)	0.43	0.10	0.23	0.43	0.10	0.23
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	3.23	2.27	3.63	3.23	2.27	3.63

TABLEAU 3.27. Caractéristiques de la saison de ski selon le modèle HadCM3 scénario b, après downscaling, station Sherbrooke
Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Fabrication de neige à -2°C			Fabrication de neige à -5°C		
	1961-1990	2010-2039	2040-2069	1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours de pluie	21.93	20.97	21.07	20.33	19.23	18.67
Durée de la saison (jours)	128.83	120.93	110.73	123.83	116.20	103.50
Total de l'indice SVI	2750.61	19386.82	2245.53	2433.00	2993.69	1796.60
Fonte totale (mm)	137.50	129.02	137.24	121.10	115.65	109.31
Période de fabrication de neige (jours)	57.70	48.87	49.60	52.70	44.17	42.37
Neige à fabriquer (cm)	170.64	160.09	175.88	154.24	146.72	147.95
Jours froids (tmoy<-20°C)	7.00	4.53	2.10	7.00	4.53	2.10
Nombre de jours non skiables	17.20	16.10	16.07	15.90	14.87	13.97
Pluie (mm)	100.57	88.92	86.99	92.04	81.95	74.77
Quantité de neige naturelle (cm)	216.92	205.34	187.72	210.19	199.44	177.55
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	63.31	59.66	56.34	60.93	59.07	53.89
Nombre de jours de pluie en décembre	4.57	5.33	6.23	4.13	4.90	5.53
Pluie en décembre (mm)	19.39	23.72	25.85	17.47	21.77	23.02
Nombre de jours froids en décembre (tmoy<20°C)	0.63	0.20	0.13	0.63	0.20	0.13
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	3.47	4.07	4.60	3.17	3.70	4.03
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	46.74	48.78	48.90	46.74	48.78	48.90
Nombre de jours de pluie en janvier	3.50	3.30	3.73	3.50	3.30	3.73
Pluie en janvier (mm)	11.09	11.22	11.01	11.09	11.22	11.01
Nombre de jours froids en janvier (tmoy<20°C)	3.67	1.77	1.13	3.67	1.77	1.13
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	2.40	2.50	2.43	2.40	2.50	2.43
Neige naturelle au mois de février (cm)	48.29	48.06	47.91	48.29	48.06	47.91
Nombre de jours de pluie en février	2.93	2.90	3.77	2.93	2.90	3.77
Pluie en février (mm)	11.83	11.78	14.13	11.83	11.78	14.13
Nombre de jours froids en février (tmoy<20°C)	2.33	2.23	0.77	2.33	2.23	0.77
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	2.03	2.23	2.80	2.03	2.23	2.80
Neige naturelle au mois de mars (cm)	27.92	30.10	18.80	27.92	30.10	18.80
Nombre de jours de pluie en mars	4.07	5.03	4.43	4.07	5.03	4.43
Pluie en mars (mm)	20.45	21.72	21.10	20.45	21.72	21.10
Nombre de jours froids en mars (tmoy<20°C)	0.33	0.33	0.07	0.33	0.33	0.07
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	3.43	3.83	3.70	3.43	3.83	3.70

TABLEAU 3.28. Caractéristiques de la saison de ski selon le modèle HadCM3 scénario a, après downscaling, station St-Hippolyte
Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Fabrication de neige à -2°C			Fabrication de neige à -5°C		
	1961-1990	2010-2039	2040-2069	1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours de pluie	24.97	25.30	23.70	22.10	23.73	20.90
Durée de la saison (jours)	148.40	141.97	133.97	139.10	136.37	125.73
Total de l'indice SVI	4347.84	2084.82	1721.05	3567.72	1693.69	1152.89
Fonte totale (mm)	125.15	114.26	114.31	104.98	104.50	95.99
Période de fabrication de neige (jours)	58.77	54.93	50.03	49.47	49.33	41.80
Neige à fabriquer (cm)	128.33	123.25	124.43	108.16	113.48	106.12
Jours froids (tmoy<-20°C)	8.13	6.77	4.23	8.13	6.77	4.23
Nombre de jours non skiables	22.33	22.07	21.13	19.73	20.73	18.53
Pluie (mm)	216.86	211.86	206.08	188.90	199.02	182.00
Quantité de neige naturelle (cm)	289.80	265.44	263.24	278.21	260.57	255.04
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	83.79	81.53	77.55	79.60	80.31	74.40
Nombre de jours de pluie en décembre	3.97	4.67	4.33	3.50	4.57	3.83
Pluie en décembre (mm)	31.84	39.09	32.33	27.20	38.73	29.52
Nombre de jours froids en décembre (tmoy<20°C)	0.83	0.40	0.13	0.83	0.40	0.13
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	3.53	4.17	3.70	3.10	4.10	3.27
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	55.34	56.35	61.18	55.34	56.35	61.18
Nombre de jours de pluie en janvier	2.47	2.40	3.07	2.47	2.40	3.07
Pluie en janvier (mm)	14.67	13.91	18.46	14.67	13.91	18.46
Nombre de jours froids en janvier (tmoy<20°C)	4.40	3.13	2.33	4.40	3.13	2.33
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	1.97	1.93	2.57	1.97	1.93	2.57
Neige naturelle au mois de février (cm)	77.65	81.73	87.72	77.65	81.73	87.72
Nombre de jours de pluie en février	4.50	4.93	4.90	4.50	4.93	4.90
Pluie en février (mm)	44.29	47.18	47.40	44.29	47.18	47.40
Nombre de jours froids en février (tmoy<20°C)	2.87	3.17	1.73	2.87	3.17	1.73
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	4.17	4.33	4.37	4.17	4.33	4.37
Neige naturelle au mois de mars (cm)	36.99	23.61	22.99	36.99	23.61	22.99
Nombre de jours de pluie en mars	5.83	6.33	6.53	5.83	6.33	6.53
Pluie en mars (mm)	48.10	51.44	66.56	48.10	51.44	66.56
Nombre de jours froids en mars (tmoy<20°C)	0.03	0.07	0.03	0.03	0.07	0.03
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	5.10	5.60	6.10	5.10	5.60	6.10

TABLEAU 3.29 Caractéristiques de la saison de ski selon le modèle HadCM3 scénario b, après downscaling, station St-Hippolyte
Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Fabrication de neige à -2°C			Fabrication de neige à -5°C		
	1961-1990	2010-2039	2040-2069	1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours de pluie	25.50	24.97	22.20	23.63	22.27	21.10
Durée de la saison (jours)	149.07	145.17	133.20	143.77	137.10	128.33
Total de l'indice SVI	1995.32	2128.84	2312.99	1632.25	1494.87	2039.08
Fonte totale (mm)	124.50	124.12	103.05	113.11	99.52	96.01
Période de fabrication de neige (jours)	58.80	55.57	48.87	53.50	47.50	44.00
Neige à fabriquer (cm)	125.61	137.36	117.63	114.22	112.76	110.59
Jours froids (tmoy<-20°C)	8.20	6.93	4.67	8.20	6.93	4.67
Nombre de jours non skiables	22.13	22.33	19.03	20.40	19.90	18.10
Pluie (mm)	213.35	210.69	188.77	194.98	185.19	178.97
Quantité de neige naturelle (cm)	296.92	262.44	256.42	292.03	252.52	251.42
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	87.28	73.69	76.40	86.60	70.73	76.31
Nombre de jours de pluie en décembre	3.57	4.47	4.37	3.53	4.20	4.37
Pluie en décembre (mm)	25.47	34.42	35.64	25.38	31.96	35.64
Nombre de jours froids en décembre (tmoy<20°C)	0.87	0.20	0.17	0.87	0.20	0.17
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	2.83	3.87	3.53	2.80	3.60	3.53
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	52.93	56.46	56.88	52.93	56.46	56.88
Nombre de jours de pluie en janvier	3.03	2.93	2.53	3.03	2.93	2.53
Pluie en janvier (mm)	17.19	17.99	14.73	17.19	17.99	14.73
Nombre de jours froids en janvier (tmoy<20°C)	4.17	3.53	2.67	4.17	3.53	2.67
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	2.30	2.50	2.13	2.30	2.50	2.13
Neige naturelle au mois de février (cm)	81.70	77.32	79.95	81.70	77.32	79.95
Nombre de jours de pluie en février	4.73	4.70	5.03	4.73	4.70	5.03
Pluie en février (mm)	44.35	47.22	50.60	44.35	47.22	50.60
Nombre de jours froids en février (tmoy<20°C)	3.17	3.13	1.83	3.17	3.13	1.83
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	4.20	4.33	4.50	4.20	4.33	4.50
Neige naturelle au mois de mars (cm)	32.70	31.87	26.88	32.70	31.87	26.88
Nombre de jours de pluie en mars	6.00	5.33	6.30	6.00	5.33	6.30
Pluie en mars (mm)	54.65	47.35	53.19	54.65	47.35	53.19
Nombre de jours froids en mars (tmoy<20°C)	0.00	0.07	0.00	0.00	0.07	0.00
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	5.53	4.90	5.50	5.53	4.90	5.50

TABLEAU 3.30 Caractéristiques de la saison de ski selon le modèle HadCM3 scénario a, après downscaling, station Sutton

Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Fabrication de neige à -2°C			Fabrication de neige à -5°C		
	1961-1990	2010-2039	2040-2069	1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours de pluie	15.87	15.83	13.17	13.87	13.77	11.43
Durée de la saison (jours)	107.21	102.13	84.50	99.38	93.36	76.93
Total de l'indice SVI	3656.90	3420.24	4182.68	3042.88	2795.36	3578.41
Fonte totale (mm)	154.34	141.46	137.76	121.20	112.38	106.78
Période de fabrication de neige (jours)	58.57	54.50	47.77	51.00	45.73	40.20
Neige à fabriquer (cm)	196.76	184.39	183.47	163.61	155.31	152.49
Jours froids (tmoy<-20°C)	2.90	1.97	0.73	2.90	1.97	0.73
Nombre de jours non skiables	13.77	13.63	11.87	11.90	11.93	10.30
Pluie (mm)	129.00	119.69	102.71	110.29	104.99	88.75
Quantité de neige naturelle (cm)	182.73	182.63	140.64	173.29	169.89	130.98
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	49.38	49.17	45.41	48.29	45.05	40.68
Nombre de jours de pluie en décembre	3.67	3.80	4.33	3.40	3.33	3.60
Pluie en décembre (mm)	34.78	34.12	34.58	32.04	30.58	29.31
Nombre de jours froids en décembre (tmoy<20°C)	0.30	0.07	0.03	0.30	0.07	0.03
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	3.17	3.50	4.00	2.93	3.07	3.27
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	49.00	52.73	51.65	49.00	52.73	51.36
Nombre de jours de pluie en janvier	3.43	3.47	4.00	3.43	3.47	3.93
Pluie en janvier (mm)	23.19	23.50	31.37	23.19	23.50	30.84
Nombre de jours froids en janvier (tmoy<20°C)	1.67	0.90	0.53	1.67	0.90	0.53
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	2.83	3.00	3.63	2.83	3.00	3.57
Neige naturelle au mois de février (cm)	40.30	45.93	29.48	40.30	45.93	29.48
Nombre de jours de pluie en février	1.63	2.33	2.33	1.63	2.33	2.33
Pluie en février (mm)	10.88	17.14	18.05	10.88	17.14	18.05
Nombre de jours froids en février (tmoy<20°C)	0.87	0.93	0.17	0.87	0.93	0.17
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	1.37	2.00	2.17	1.37	2.00	2.17
Neige naturelle au mois de mars (cm)	11.03	12.90	3.21	11.03	12.90	3.21
Nombre de jours de pluie en mars	2.27	2.43	0.93	2.27	2.43	0.93
Pluie en mars (mm)	12.84	14.67	4.71	12.84	14.67	4.71
Nombre de jours froids en mars (tmoy<20°C)	0.07	0.07	0.00	0.07	0.07	0.00
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	1.83	2.00	0.73	1.83	2.00	0.73

TABLEAU 3.31. Caractéristiques de la saison de ski selon le modèle HadCM3 scénario b, après downscaling, station Sutton

Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	Fabrication de neige à -2°C			Fabrication de neige à -5°C		
	1961-1990	2010-2039	2040-2069	1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours de pluie	15.47	16.47	15.10	13.37	15.03	13.50
Durée de la saison (jours)	106.68	104.23	87.33	98.00	97.58	81.57
Total de l'indice SVI	3925.72	11859.75	3179.64	3126.46	11381.13	2689.09
Fonte totale (mm)	146.50	145.42	132.56	114.19	128.83	109.06
Période de fabrication de neige (jours)	58.70	51.63	47.37	50.30	44.93	41.60
Neige à fabriquer (cm)	189.47	183.17	169.83	157.16	166.59	146.33
Jours froids (tmoy<-20°C)	2.83	1.93	0.90	2.83	1.93	0.90
Nombre de jours non skiables	13.23	14.07	13.30	11.23	12.87	11.83
Pluie (mm)	114.90	122.77	116.92	96.18	111.85	100.37
Quantité de neige naturelle (cm)	177.86	188.99	157.85	171.01	180.68	152.20
Neige naturelle au mois de décembre (cm)	55.58	48.10	44.30	53.65	43.42	41.58
Nombre de jours de pluie en décembre	3.47	4.63	4.73	3.13	4.07	4.20
Pluie en décembre (mm)	29.95	41.85	42.01	26.86	36.96	36.52
Nombre de jours froids en décembre (tmoy<20°C)	0.27	0.03	0.07	0.27	0.03	0.07
Jours non skiables en décembre (pluie>1,5mm)	3.17	4.10	4.33	2.83	3.60	3.87
Neige naturelle au mois de janvier (cm)	46.14	47.74	55.97	46.14	47.74	55.97
Nombre de jours de pluie en janvier	3.53	3.63	4.00	3.53	3.63	4.00
Pluie en janvier (mm)	22.02	24.92	26.27	22.02	24.92	26.27
Nombre de jours froids en janvier (tmoy<20°C)	1.67	0.60	0.53	1.67	0.60	0.53
Jours non skiables en janvier (pluie>1,5mm)	2.87	3.13	3.43	2.87	3.13	3.43
Neige naturelle au mois de février (cm)	44.21	66.21	42.63	44.21	66.21	42.63
Nombre de jours de pluie en février	2.27	3.00	2.50	2.27	3.00	2.50
Pluie en février (mm)	17.19	20.42	16.79	17.19	20.42	16.79
Nombre de jours froids en février (tmoy<20°C)	0.80	1.30	0.30	0.80	1.30	0.30
Jours non skiables en février (pluie>1,5mm)	1.90	2.50	2.03	1.90	2.50	2.03
Neige naturelle au mois de mars (cm)	8.56	13.67	3.23	8.56	13.67	3.23
Nombre de jours de pluie en mars	1.87	2.53	1.77	1.87	2.53	1.77
Pluie en mars (mm)	9.86	14.64	10.68	9.86	14.64	10.68
Nombre de jours froids en mars (tmoy<20°C)	0.10	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
Jours non skiables en mars (pluie>1,5mm)	1.50	2.13	1.57	1.50	2.13	1.57

Les tableaux suivants (3.32 à 3.35) résument les dates de début et de fin de saison selon les trois scénarios climatiques (CGCM1, HadCM3A et HadCM3B), pour les trois périodes à l'étude (1961-1990, 2110-2039, 2040-2069) et selon que la neige soit fabriquée à -2° C à -5° C.

Pour le modèle CGCM1, on constate que la durée de la saison diminue de façon importante pour toutes les stations, particulièrement pour celles plus au sud. La fonte de neige augmente mais n'est pas très bien reflétée dans la neige à produire. La période de fabrication de neige est plus variable puisqu'elle va dépendre de la durée de la saison. Il est certain que si la saison est très courte, la fabrication s'effectuera sur un court laps de temps. Le nombre de jours de pluie varie peu dans le futur. Le nombre de jours non-skiable augmente, sauf pour les mois limites de la saison, où il n'y a plus de ski du tout, donc peu de jours non-skiables pendant la saison (il faut se rappeler que les indices sont calculés à l'intérieur des saisons).

On constate des changements similaires pour les scénarios de HadCM3, l'ampleur change, mais la variation reste, sommairement, la même. La durée de la saison est sous-estimée pour plusieurs stations (par rapport aux saisons observées) tandis que c'est un peu le contraire pour CGCM1. Ce dernier, toutefois, coordonne bien avec les données observées, contrairement aux indices agroclimatiques. CGCM1 présente un écart important au niveau des précipitations, tandis que HadCM3 simule bien l'ensemble des paramètres.

Tableau 3.32. Début et fin de la saison – Station Grand Fonds

Période	CGCM1			
	Fabrication de neige à -2°C		Fabrication de neige à -5°C	
	début	fin	début	fin
1961-1990	11 novembre	8 mai	22 novembre	8 mai
2010-2039	11 novembre	4 mai	27 novembre	4 mai
2040-2069	19 novembre	3 mai	01 décembre	3 mai

Période	HadCM3 scénario a			
	Fabrication de neige à -2°C		Fabrication de neige à -5°C	
	début	fin	début	fin
1961-1990	10 novembre	14 avril	17 novembre	14 avril
2010-2039	13 novembre	8 avril	19 novembre	8 avril
2040-2069	17 novembre	6 avril	28 novembre	6 avril

Période	HadCM3 scénario b			
	Fabrication de neige à -2°C		Fabrication de neige à -5°C	
	début	fin	début	fin
1961-1990	4 novembre	14 avril	11 novembre	14 avril
2010-2039	14 novembre	10 avril	23 novembre	10 avril
2040-2069	15 novembre	7 avril	22 novembre	7 avril

Tableau 3.33. Début et fin de la saison – Station Montréal

Période	CGCM1			
	Fabrication de neige à -2°C		Fabrication de neige à -5°C	
	début	fin	début	fin
1961-1990	29 novembre	13 avril	17 décembre	13 avril
2010-2039	30 novembre	25 mars	18 décembre	25 mars
2040-2069	2 décembre	9 mars	20 décembre	9 mars

Période	HadCM3 scénario a			
	Fabrication de neige à -2°C		Fabrication de neige à -5°C	
	début	fin	début	fin
1961-1990	27 novembre	19 mars	2 décembre	19 mars
2010-2039	31 novembre	17 mars	5 décembre	17 mars
2040-2069	2 décembre	8 mars	8 décembre	8 mars

Période	HadCM3 scénario b			
	Fabrication de neige à -2°C		Fabrication de neige à -5°C	
	début	fin	début	fin
1961-1990	25 novembre	16 mars	31 novembre	16 mars
2010-2039	28 novembre	16 mars	6 décembre	16 mars
2040-2069	30 novembre	11 mars	5 décembre	9 mars

Tableau 3.34. Début et fin de la saison – Station Sutton

Période	CGCM1			
	Fabrication de neige à -2°C		Fabrication de neige à -5°C	
	début	fin	début	fin
1961-1990	22 novembre	26 mars	11 décembre	26 mars
2010-2039	1 décembre	28 février	23 décembre	28 février
2040-2069	5 décembre	11 février	6 janvier	11 février

Période	HadCM3 scénario a			
	Fabrication de neige à -2°C		Fabrication de neige à -5°C	
	début	fin	début	fin
1961-1990	13 novembre	28 février	21 novembre	28 février
2010-2039	16 novembre	1 mars	27 novembre	1 mars
2040-2069	26 décembre	19 février	3 décembre	19 février

Période	HadCM3 scénario b			
	Fabrication de neige à -2°C		Fabrication de neige à -5°C	
	début	fin	début	fin
1961-1990	13 novembre	1 mars	22 novembre	1 mars
2010-2039	23 novembre	7 mars	30 novembre	7 mars
2040-2069	25 novembre	21 février	31 novembre	21 février

Tableau 3.35. Début et fin de la saison – Station La Macaza

Période	CGCM1			
	Fabrication de neige à -2°C		Fabrication de neige à -5°C	
	début	fin	début	fin
1961-1990	2 novembre	30 avril	5 novembre	30 avril
2010-2039	9 novembre	15 avril	16 novembre	15 avril
2040-2069	16 novembre	21 mars	23 novembre	21 mars

Période	HadCM3 scénario a			
	Fabrication de neige à -2°C		Fabrication de neige à -5°C	
	début	fin	début	fin
1961-1990	9 novembre	30 mars	12 novembre	30 mars
2010-2039	14 novembre	22 mars	18 novembre	22 mars
2040-2069	16 novembre	14 mars	22 novembre	14 mars

Période	HadCM3 scénario b			
	Fabrication de neige à -2°C		Fabrication de neige à -5°C	
	début	fin	début	fin
1961-1990	9 novembre	24 mars	11 novembre	24 mars
2010-2039	14 novembre	28 mars	20 novembre	28 mars
2040-2069	14 novembre	23 mars	19 novembre	23 mars

À titre de breveté, nous présentons dans les figures suivantes (3.1 à 3.42), certaines caractéristiques de la saison de ski qui risquent d'être affectés par les changements climatiques. Ce sont la durée de la saison de ski, le nombre de jours de pluie à l'intérieur de la saison de ski, la compaction de la neige telle que représentée par l'indice SVI, la période de fabrication de la neige, la quantité de neige fabriquée, les jours froids à l'intérieur de la saison de ski et la neige naturelle qui tombe pendant la saison de ski. Ces caractéristiques sont calculées à la fois en se basant sur une période de fabrication de la neige commençant avec des températures ambiantales de -2°C et de -5°C . Ces calculs sont faits selon les trois scénarios climatiques (CGCM1, HadCM3A et HadCM3B) et les trois périodes de temps (1961-1999, 2010-2039 et 2040-2069).

Ces caractéristiques de la saison de ski sont calculées pour une station représentative de chaque région, soit Grands Fonds (Figures 3.1 à 3.14) pour la région de Québec et Charlevoix, Sutton (Figures 3.15 à 3.28) pour les Cantons de l'Est et Montréal (Figures 3.29 à 3.42) pour la région de Montréal et les Laurentides.

D'abord, pour la station de Grand Fonds (Figures 3.1 à 3.14) et pour les jours de pluie pendant la saison de ski le modèle CGCM1 prévoit une forte augmentation des précipitations dans le futur (2010-2039 et 2040-2069). Malgré la durée plus courte de la saison, la possibilité d'avoir des jours de pluie augmente. Pour les deux scénarios de HadCM3, l'augmentation des précipitations est moins importante et ne compense pas pour le nombre de jours en moins dans la saison. Les jours susceptibles d'avoir de la pluie sont éliminés en début et en fin de saison, nous donnant un bilan des jours de pluie plus faible dans le futur (2010-2039 et 2040-2069).

L'indice SVI est lui aussi calculé selon la longueur de la saison. Il s'agit de la fonte divisée par le couvert de neige. Pour la première période, le rétrécissement de la saison est moins important, conservant une bonne période durant laquelle le couvert de neige sera moins épais et donc le ratio entre la fonte et le couvert sera plus important. Ce couvert est moins important pour la deuxième période future (2040-2069), faisant en sorte qu'il y ait un indice SVI inférieur à la première (2010-2039).

En ce qui concerne la durée de la période de fabrication de la neige (-2°C et -5°C), les deux scénarios du modèle HadCM3, projettent une diminution de la période de fabrication de neige étant donné la diminution de la durée de la saison (perte de jours en début de saison). Pour le modèle CGCM1, on voit une augmentation de cette période due au temps plus important requis pour qu'il n'y ait pas de fonte pendant sept (7) jours consécutifs.

Pour la fabrication totale de neige, il y a généralement peu de changements dans la quantité de neige à produire. Les variations entre les modèles sont dues principalement aux variations dues à la durée de la période de fabrication.

La quantité de neige naturelle aussi démontre des changements importants. Pour les scénarios HadCM3 : elle diminue à cause de la saison plus courte et des températures plus chaudes. D'autre part, pour CGCM1 : elle augmente légèrement à cause de l'accroissement important des précipitations pour ce modèle, qui tombent sous forme de neige dans cette région plus nordique.

La station de Sutton montre le même genre de tendances que grands Fonds et Montréal, sauf pour les jours de pluie pendant la saison de ski. Ils diminuent pour tous les modèles étant donné le rétrécissement plus important de la saison pour cette station.

En ce qui concerne la durée de la période de fabrication de neige (-2°C et -5°C), la période de fabrication diminue pour tous les modèles étant donnée la diminution de la durée de la saison. On ne voit pas le problème de fonte comme à Montréal (ces journées ne font plus partie de la saison, la diminution de la durée est plus importante).

Pour la fabrication totale de neige, il y a une diminution pour tous les modèles à cause de la saison plus raccourcie que dans les autres régions.

Finalement, pour la station de Montréal (Figures 3.29 à 3.42) et pour les jours de pluie, le modèle CGCM1 prévoit une forte augmentation des précipitations dans le futur (2010-2039 et 2040-2069). Malgré la durée plus courte de la saison, la possibilité d'avoir des jours de pluie augmente. Pour les deux scénarios de HadCM3, l'augmentation des précipitations est moins importante et ne

compense pas pour le nombre de jours en moins dans la saison. Les jours susceptibles d'avoir de la pluie sont éliminés en début et en fin de saison, nous donnant un bilan des jours de pluie plus faible dans le futur.

L'indice SVI est lui aussi calculé selon la longueur de la saison. Il s'agit de la fonte divisée par le couvert de neige. Pour la première période, le rétrécissement de la saison est moins important, conservant une bonne période durant laquelle le couvert de neige sera moins épais et donc le ratio entre la fonte et le couvert sera plus important. Ce couvert est moins important pour la deuxième période future, faisant en sorte qu'il y ait un indice SVI inférieur à la première.

En ce qui concerne la durée de la période de fabrication de neige (-2°C et -5°C), les deux scénarios du modèle HadCM3 démontrent une diminution de la période de fabrication étant donné la diminution de la durée de la saison (perte de jours en début de saison). Pour le modèle CGCM1, on voit une augmentation de cette période due au temps plus important requis pour qu'il n'y ait pas de fonte pendant sept (7) jours consécutifs.

Pour la fabrication totale de neige, il y a généralement peu de changements dans la quantité de neige à produire. Les variations entre les modèles sont dues principalement aux variations dues à la durée de la période de fabrication.

Finalement, la quantité de neige naturelle diminue pour les scénarios futurs à cause de la saison plus courte et des températures plus chaudes.

Figure 3.1. Durée de la période de fabrication de la neige (à -2°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Grands Fonds.

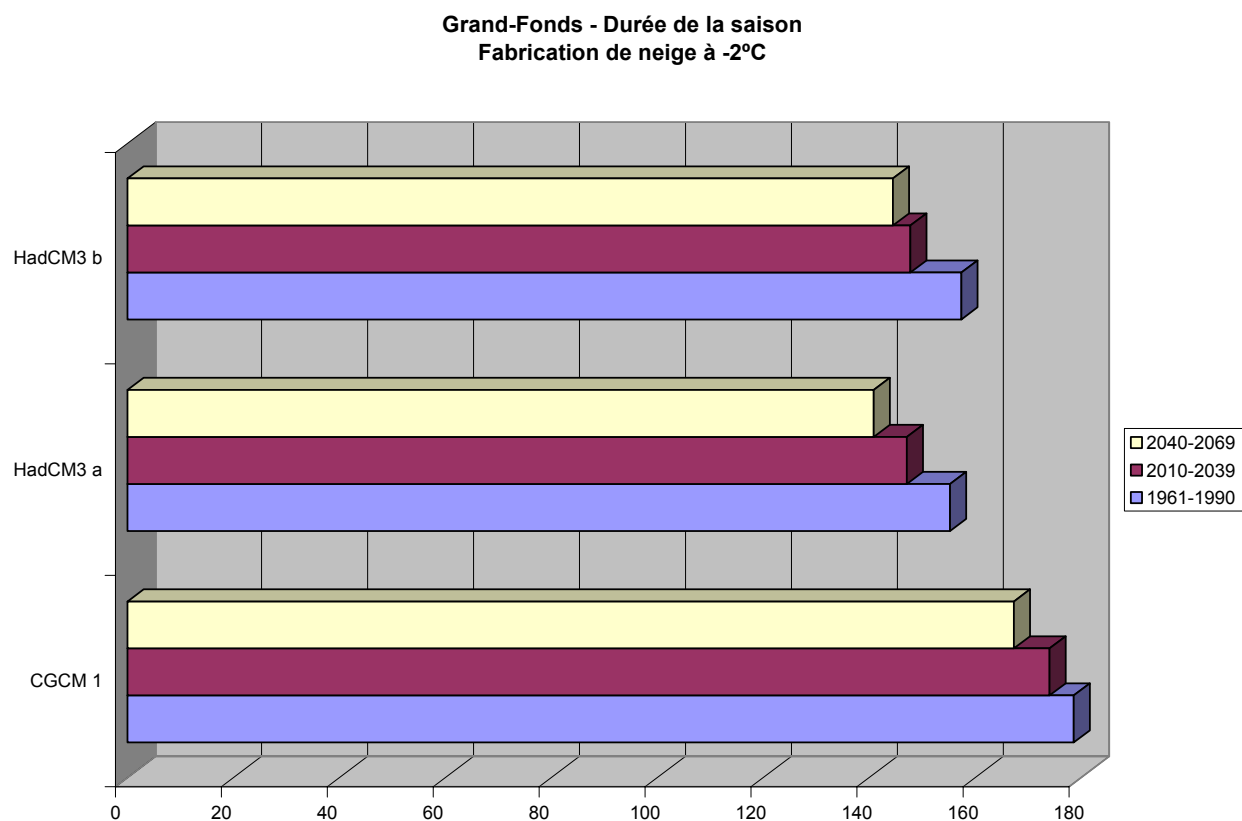


Figure 3.2. Durée de la période de fabrication de la neige (à -5°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Grands Fonds.

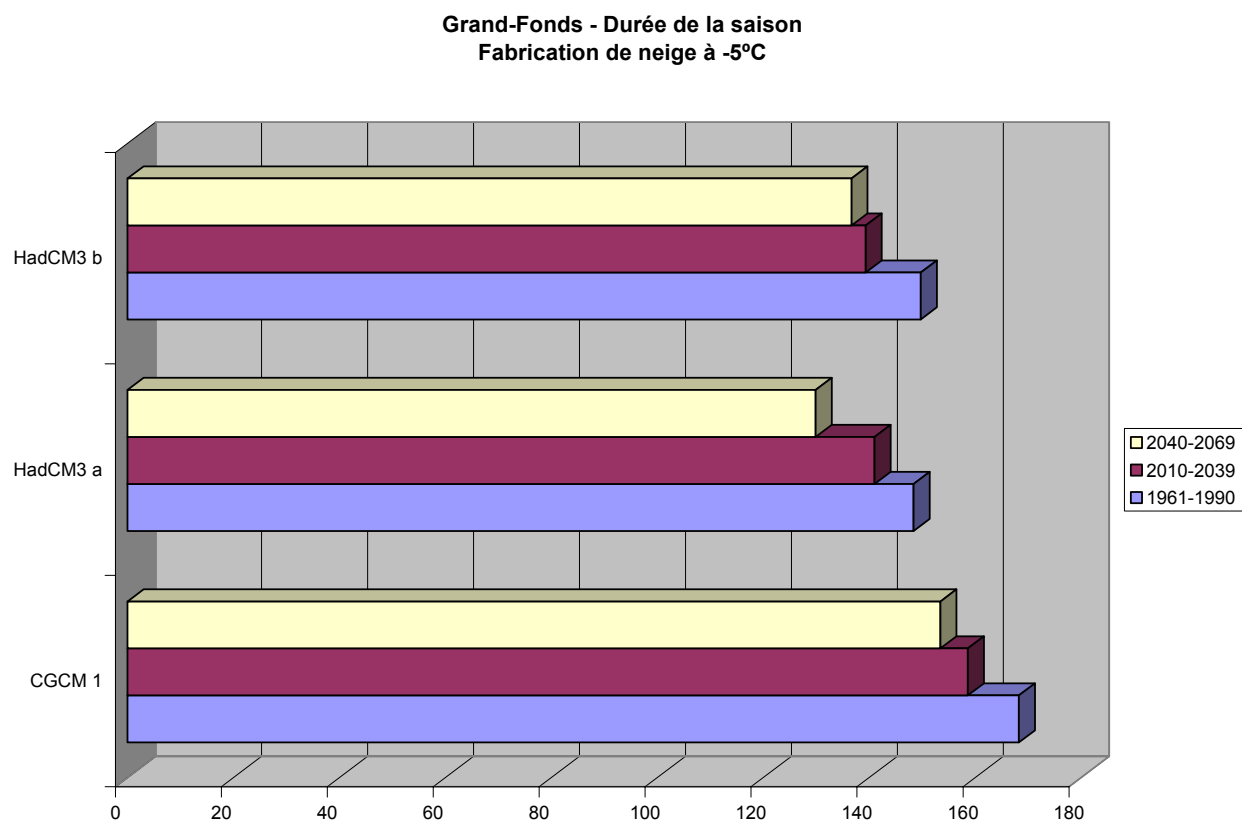


Figure 3.3. Nombre de jours de pluie (fabrication de la neige à -2°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Grands Fonds.

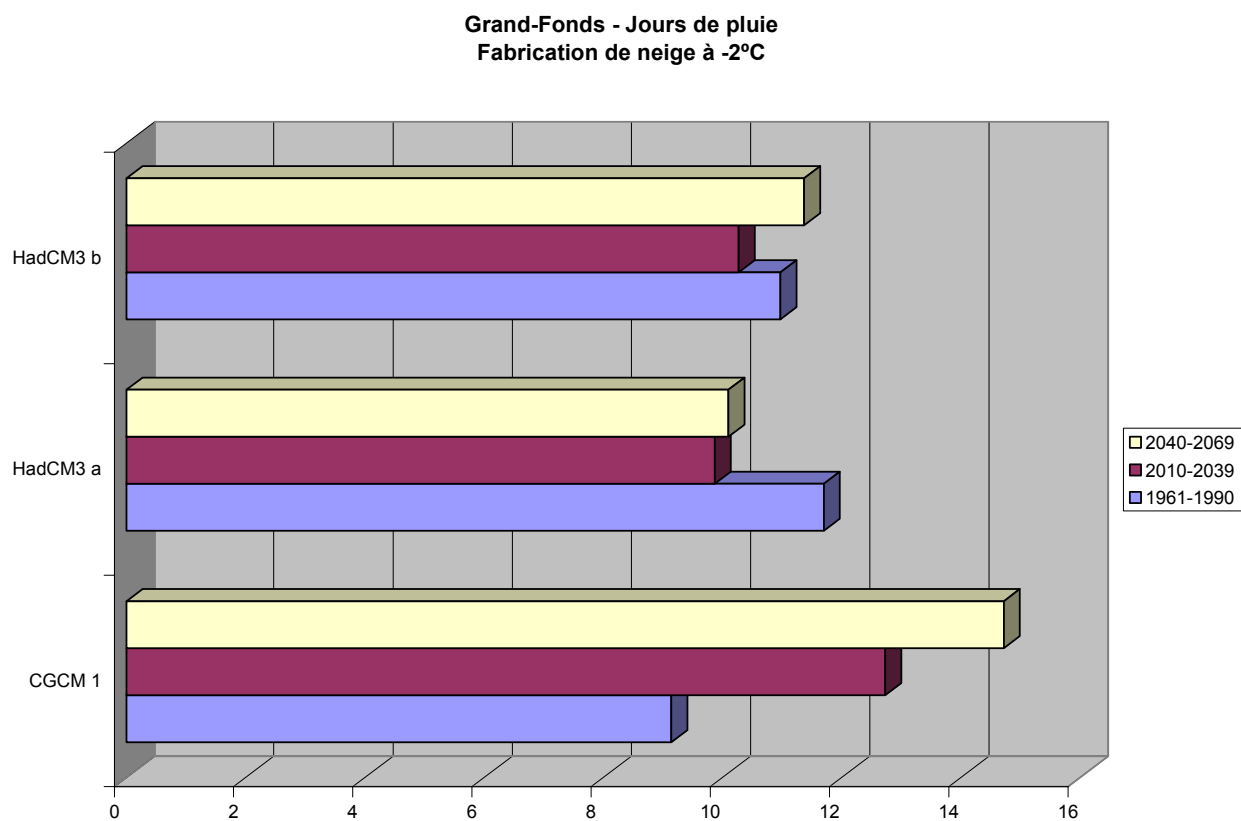


Figure 3.4. Nombre de jours de pluie (fabrication de la neige à -5°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Grands Fonds.

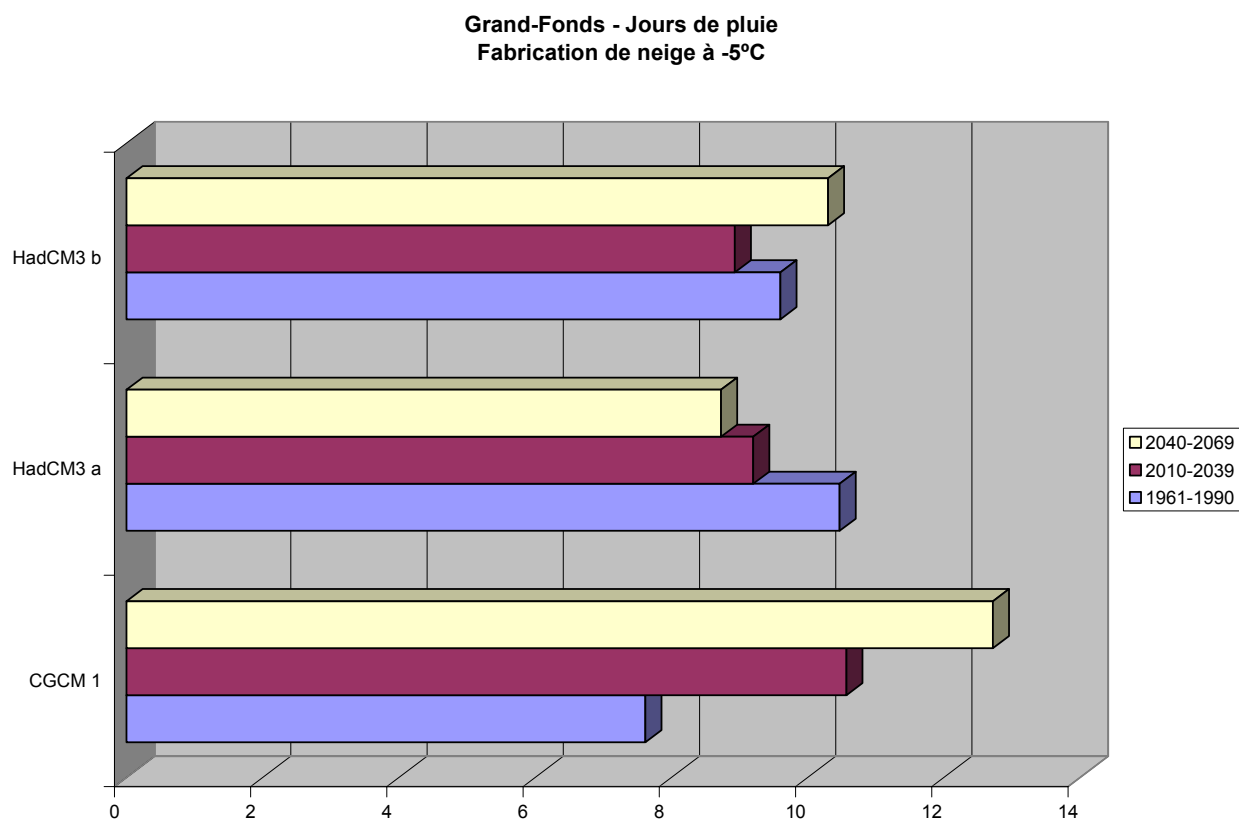


Figure 3.5. Totale de l'indice SVI (fabrication de la neige à -2°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Grands Fonds.

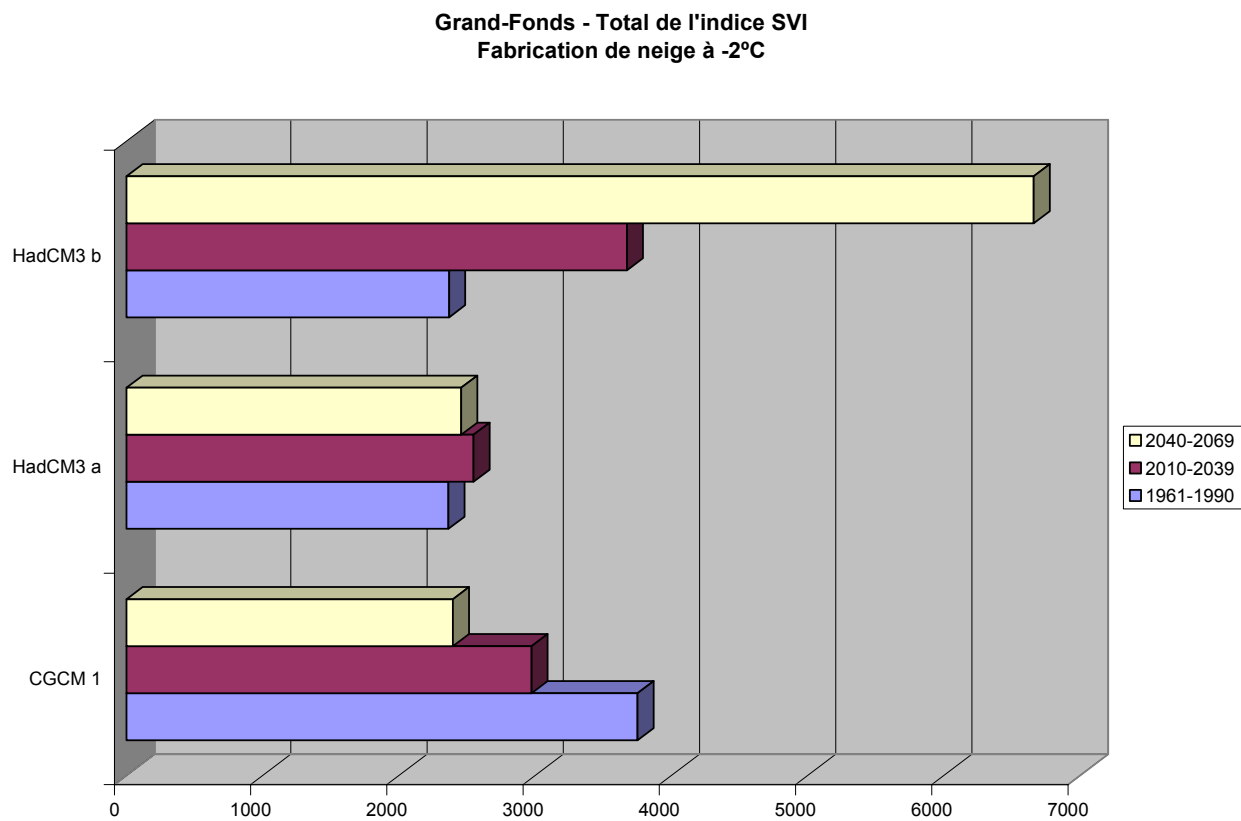


Figure 3.6. Totale de l'indice SVI (fabrication de la neige à -5°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Grands Fonds.

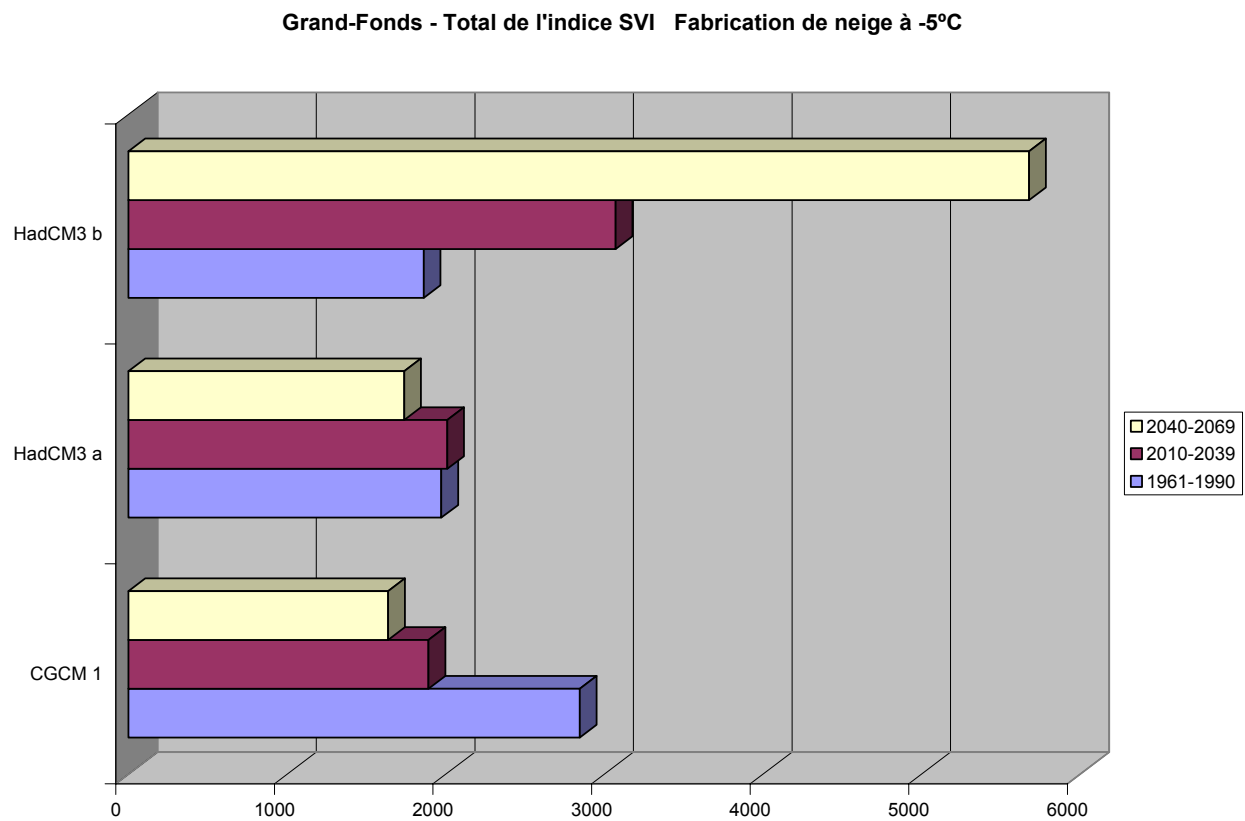


Figure 3.7. Durée de la période de fabrication de la neige (à -2°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Grands Fonds.

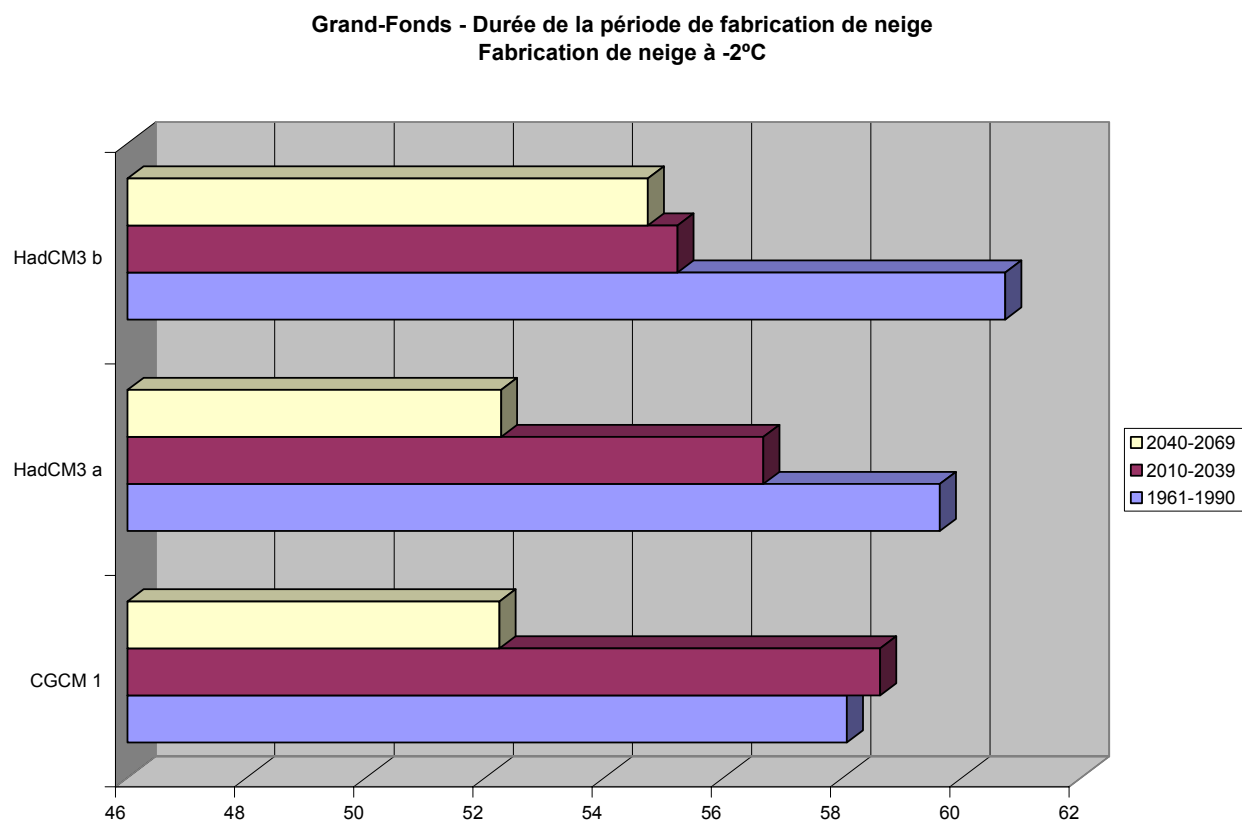


Figure 3.8. Durée de la période de fabrication de la neige (à -5°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Grands Fonds.

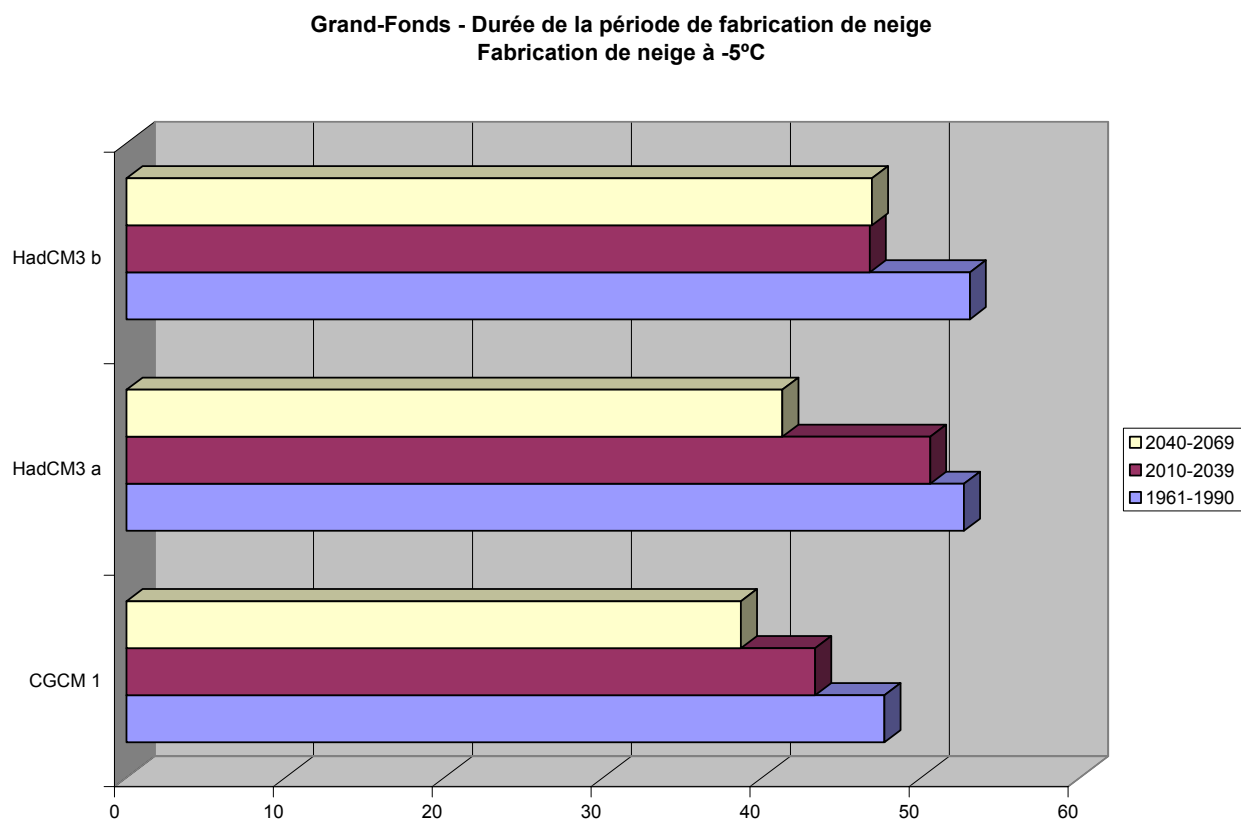


Figure 3.9. Fabrication totale de la neige (cm : à -2°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Grands Fonds.

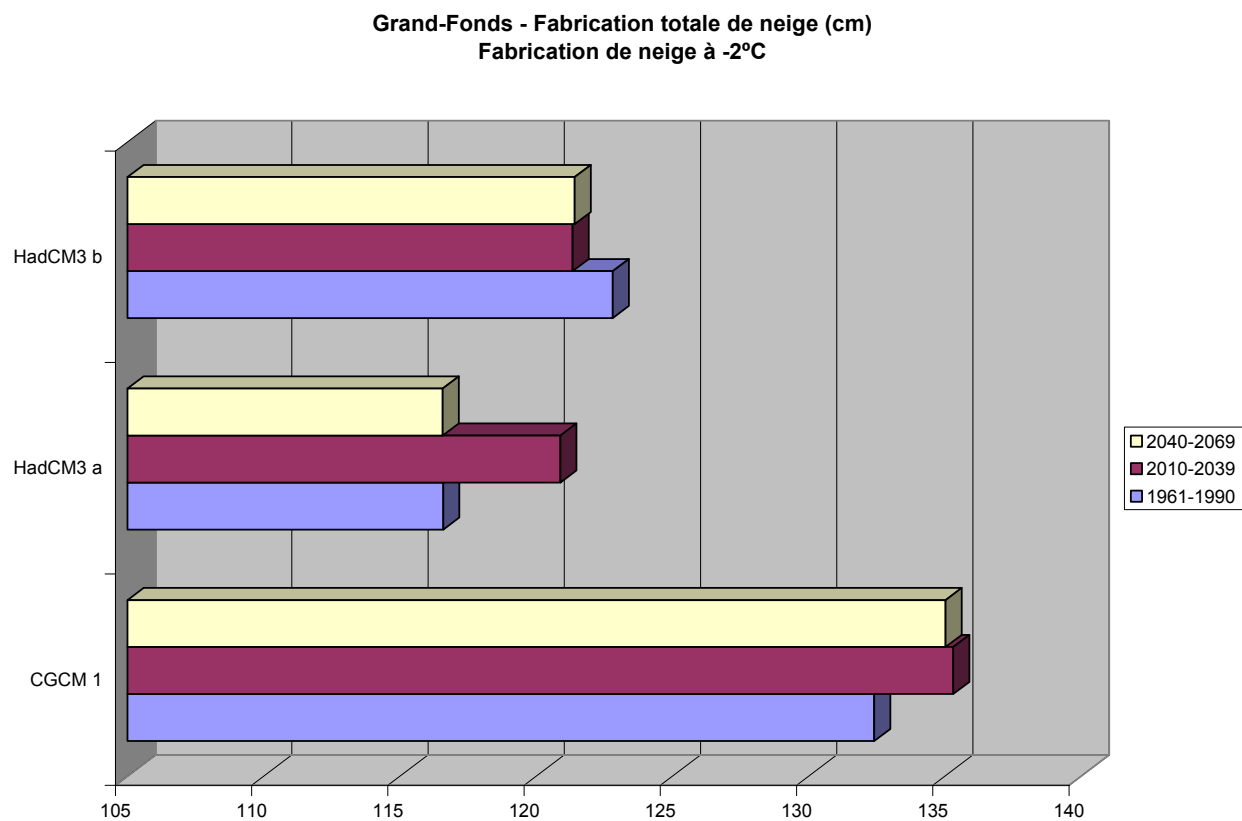


Figure 3.10. Fabrication totale de la neige (cm : à -5°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Grands Fonds.

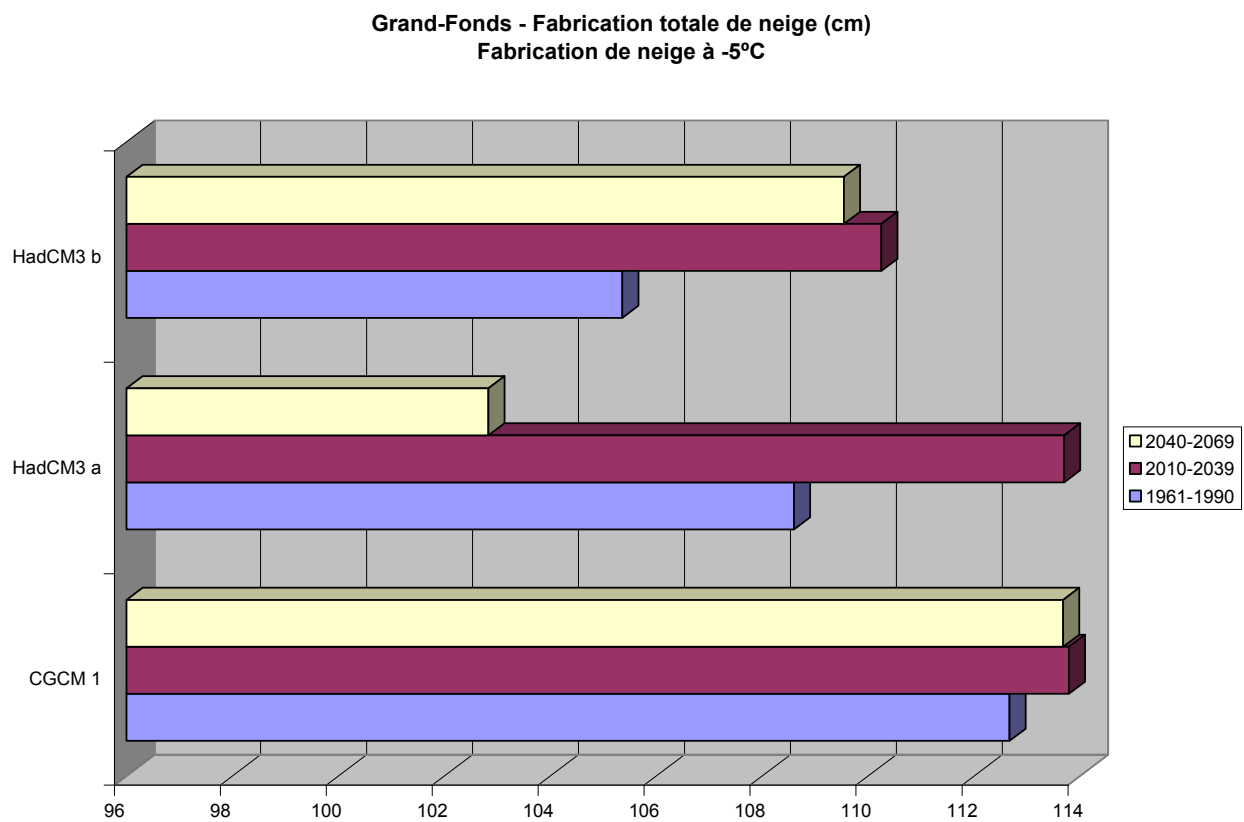


Figure 3.11. Nombre de jours froids (fabrication de la neige à -2°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Grands Fonds.

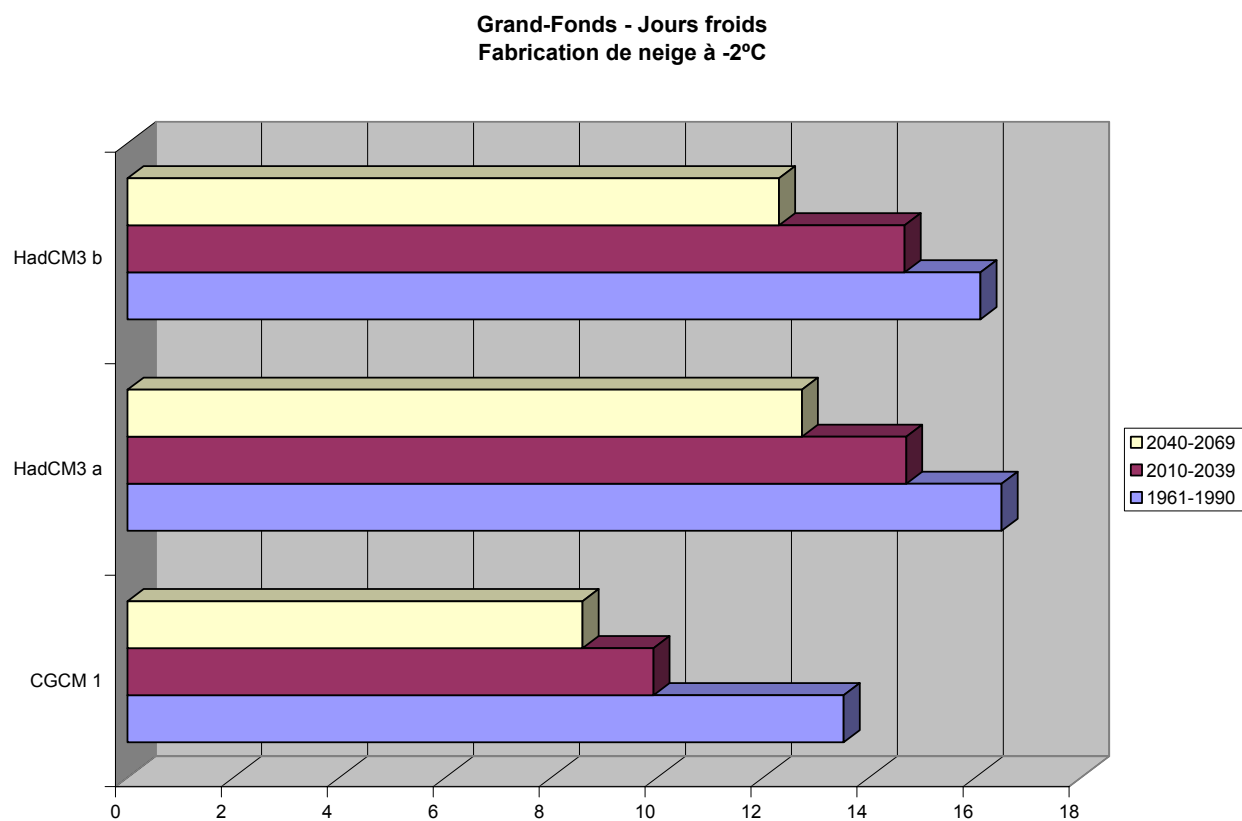


Figure 3.12. Nombre de jours froids (fabrication de la neige à -5°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Grands Fonds.

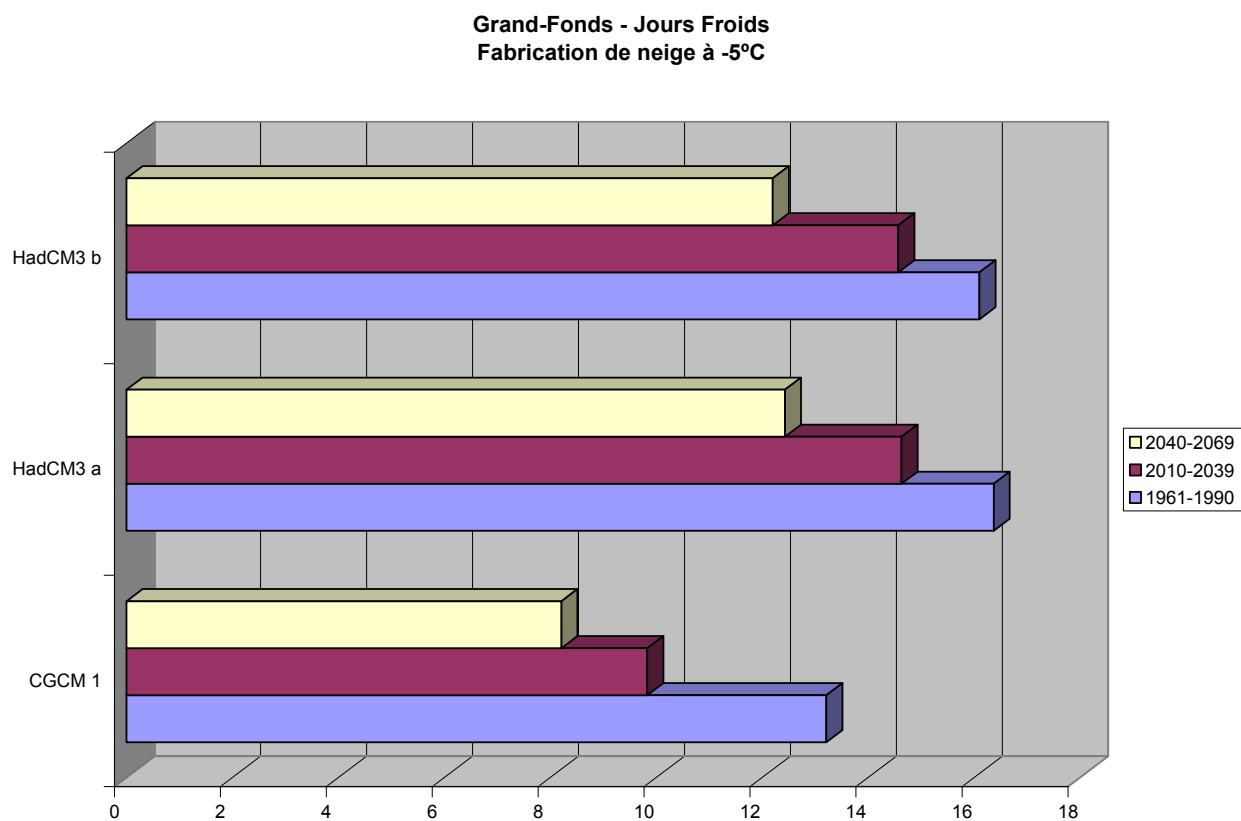


Figure 3.13. Quantité de neige naturelle (cm : fabrication de la neige à -2°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Grands Fonds.

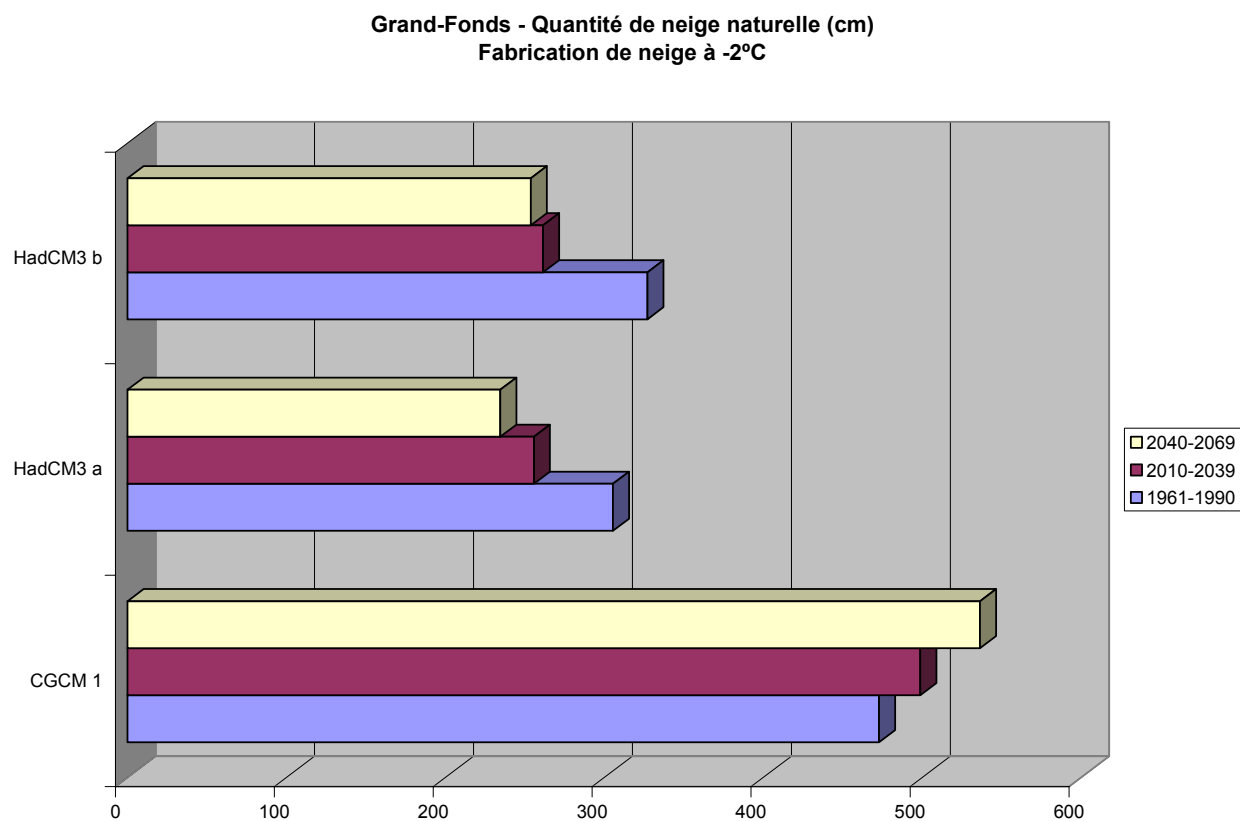


Figure 3.14. Quantité de neige naturelle (cm : fabrication de la neige à -5°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Grands Fonds.

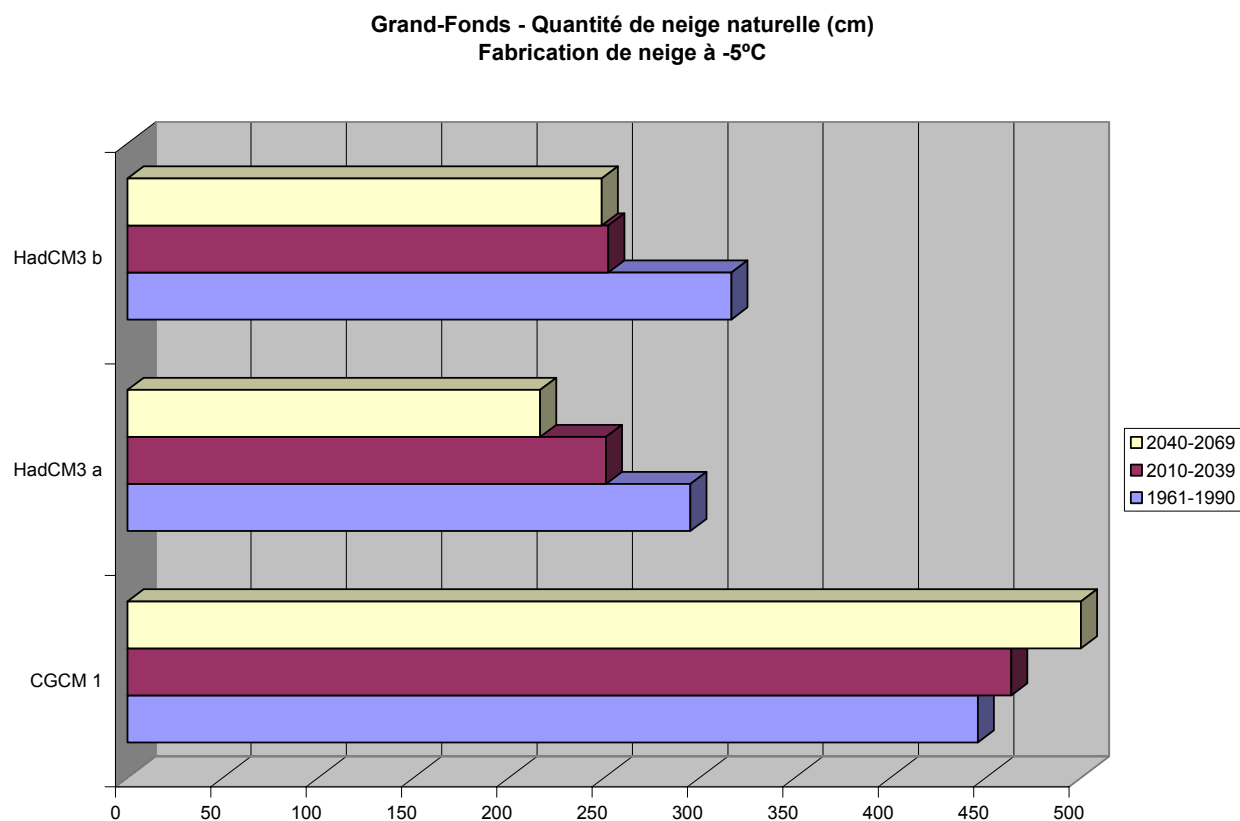


Figure 3.15. Durée de la saison (jours : fabrication de la neige à -2°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Sutton.

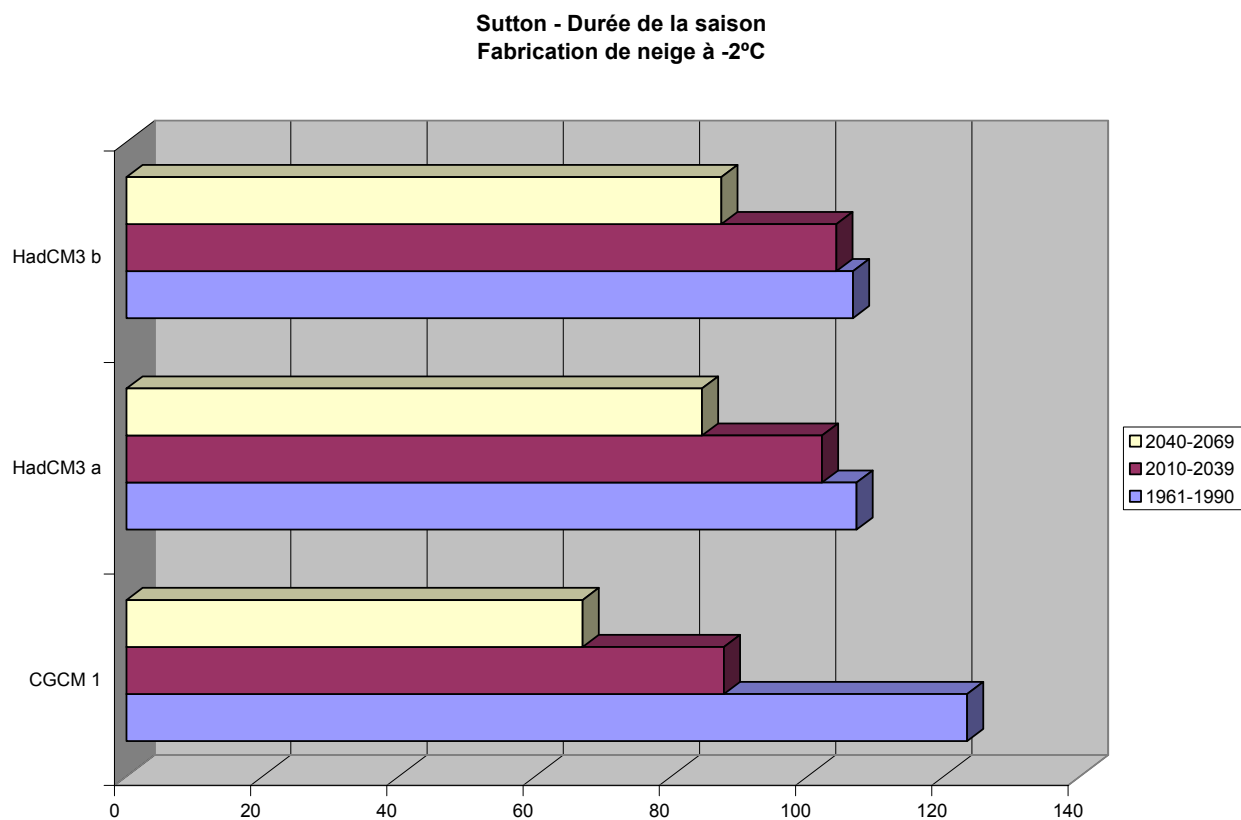


Figure 3.16. Durée de la saison (jours : fabrication de la neige à -5°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Sutton.

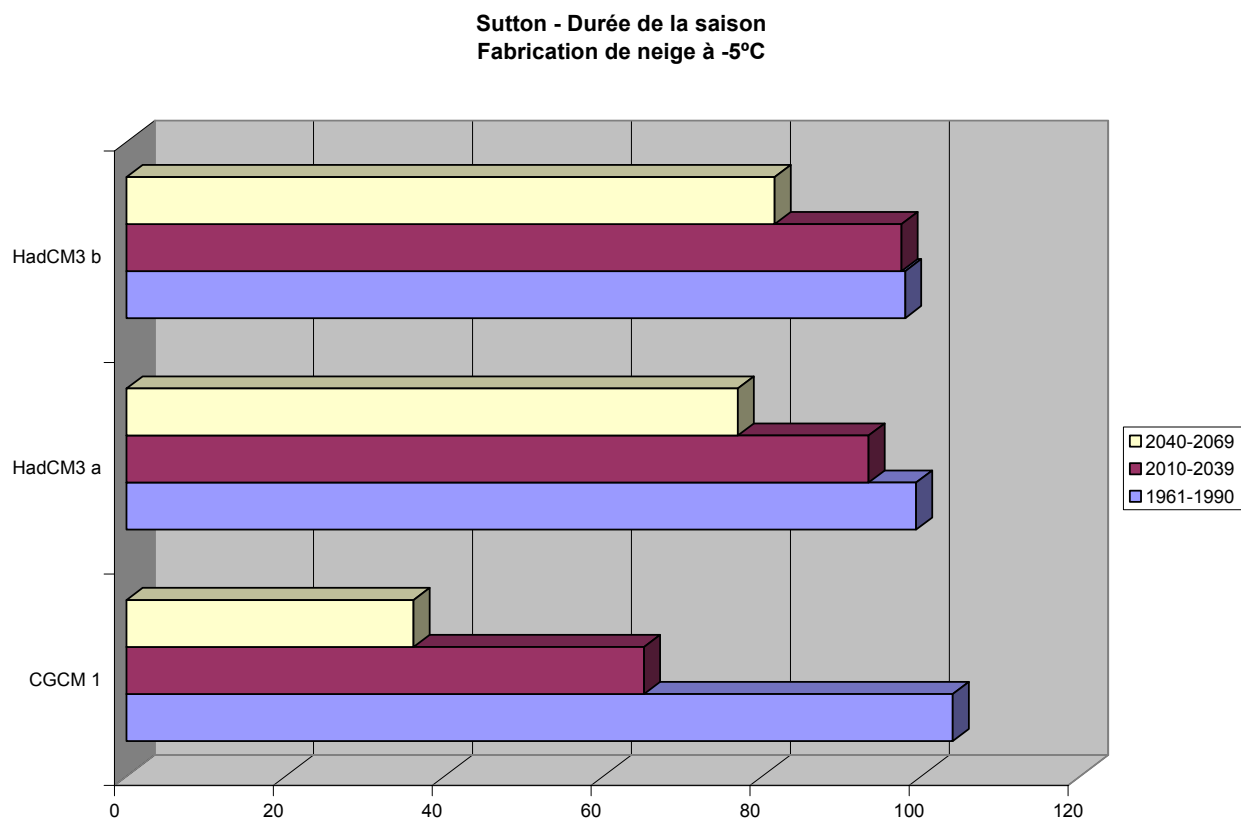


Figure 3.17. Nombre de jours de pluie (fabrication de la neige à -2°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Sutton.

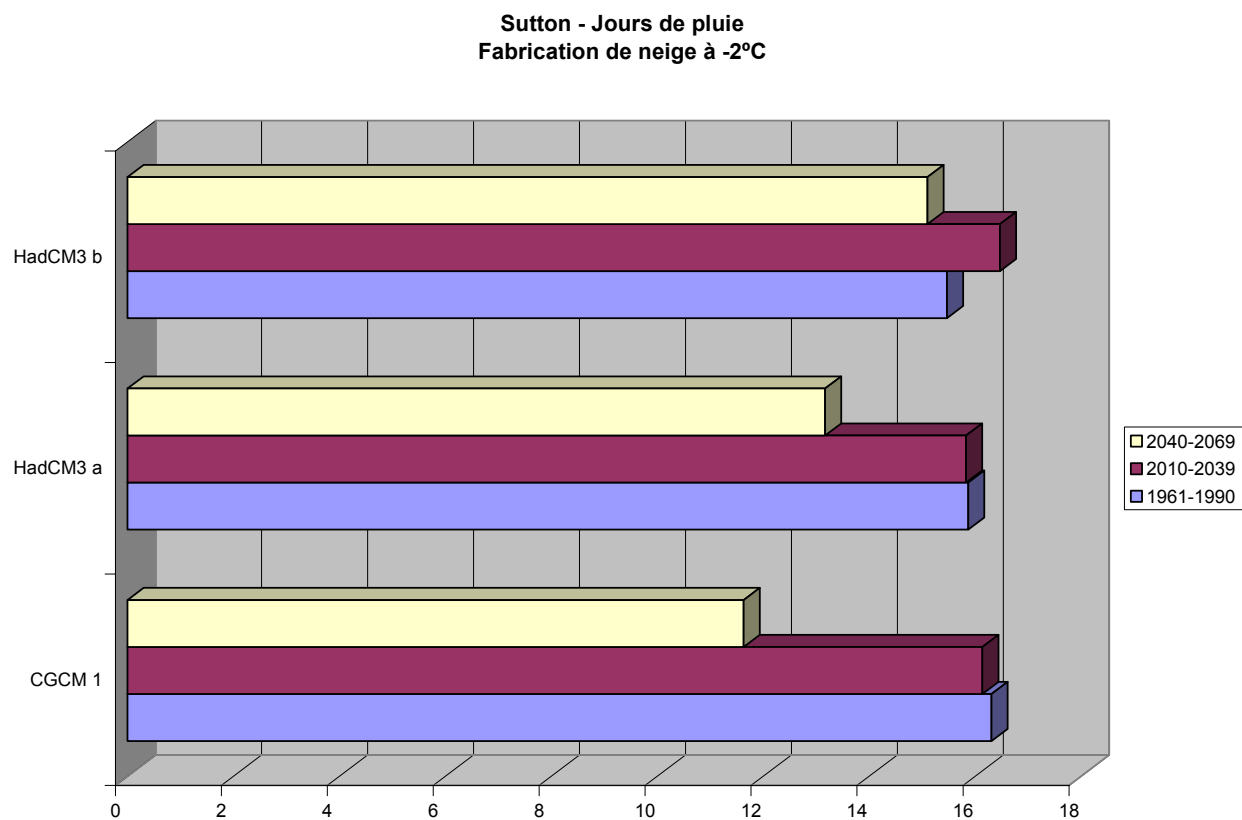


Figure 3.18. Nombre de jours de pluie (fabrication de la neige à -5°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Sutton.

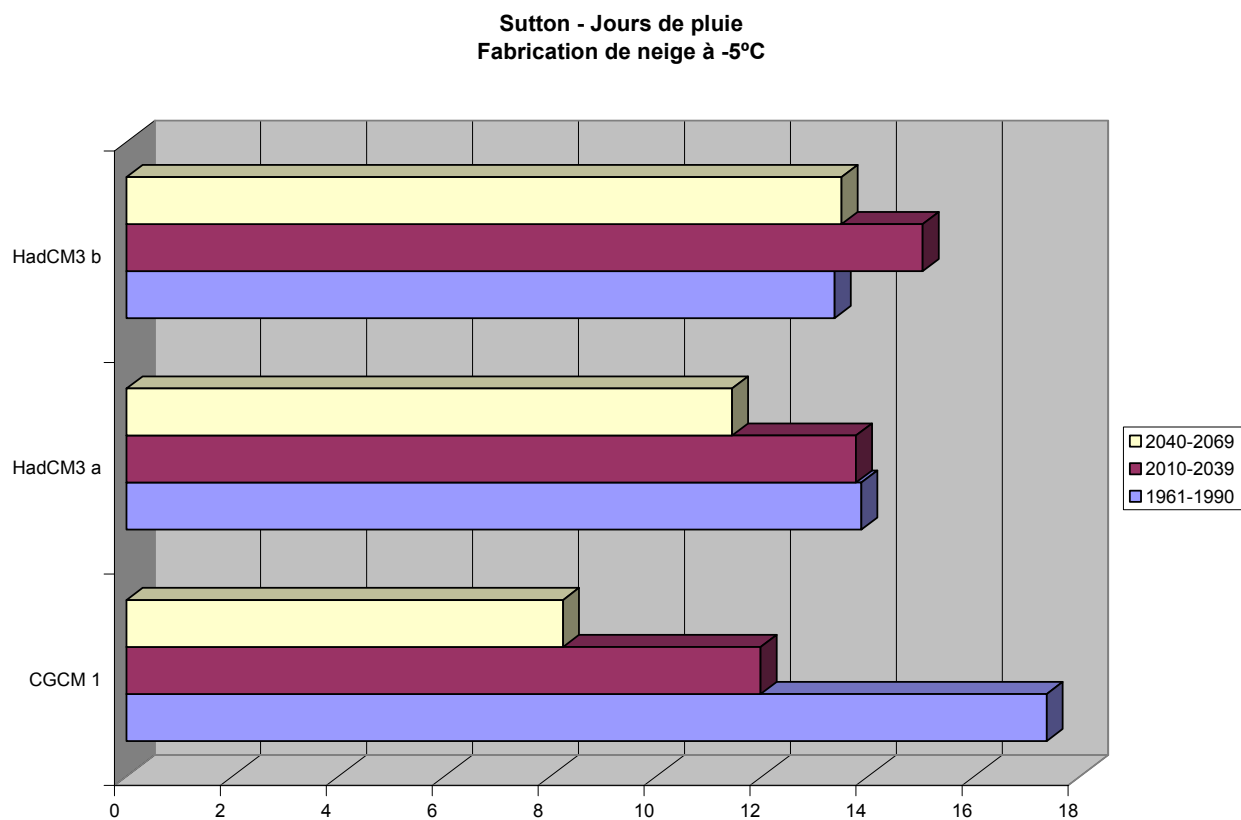


Figure 3.19. Totale de l'indice SVI (fabrication de la neige à -2°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Sutton.

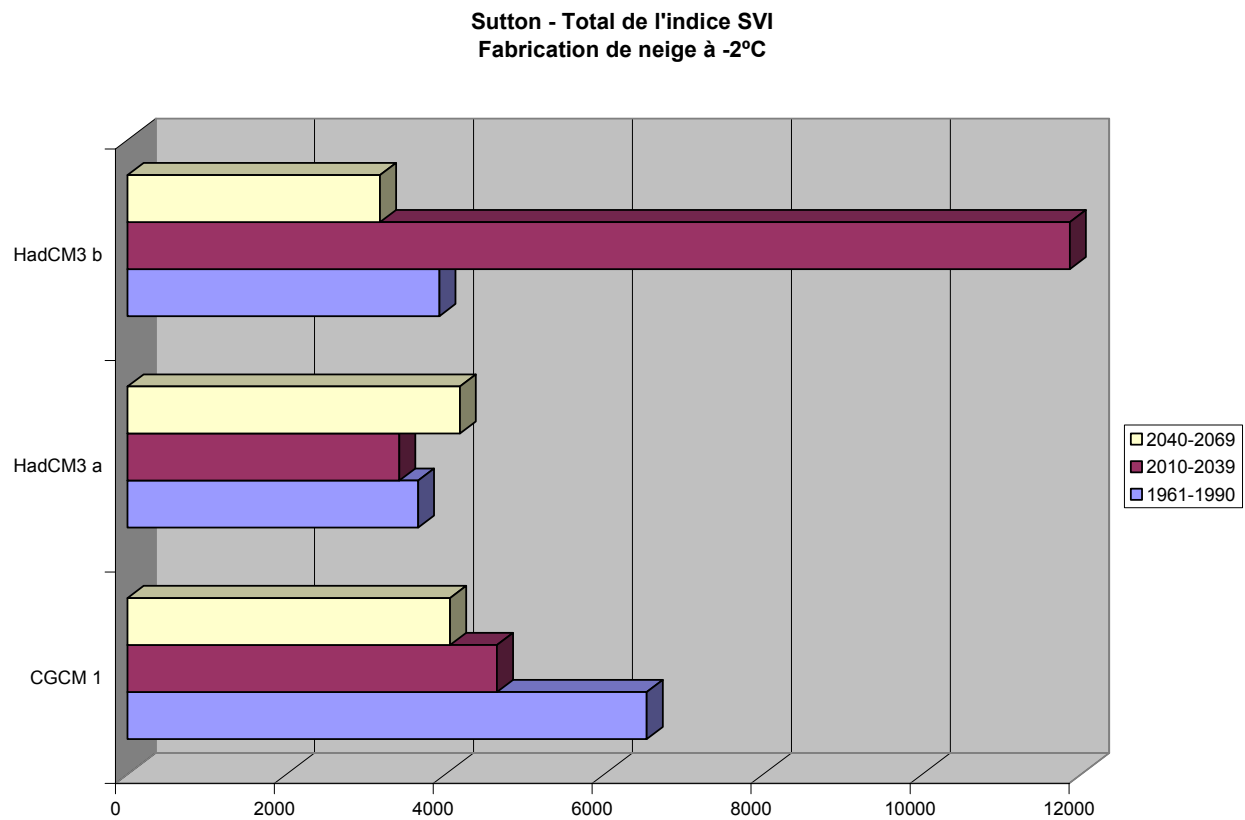


Figure 3.20. Totale de l'indice SVI (fabrication de la neige à -5°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Sutton.

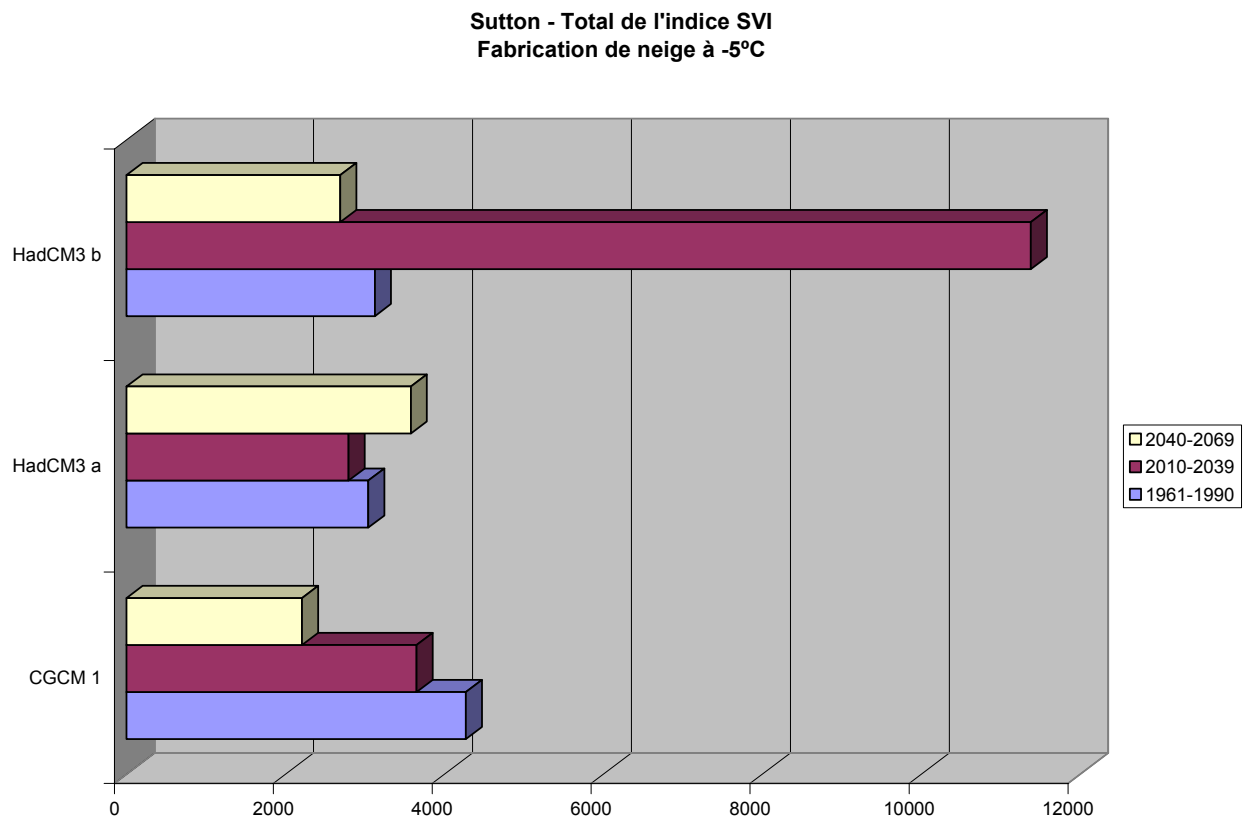


Figure 3.21. Durée de la période de fabrication de la neige (à -2°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Sutton.

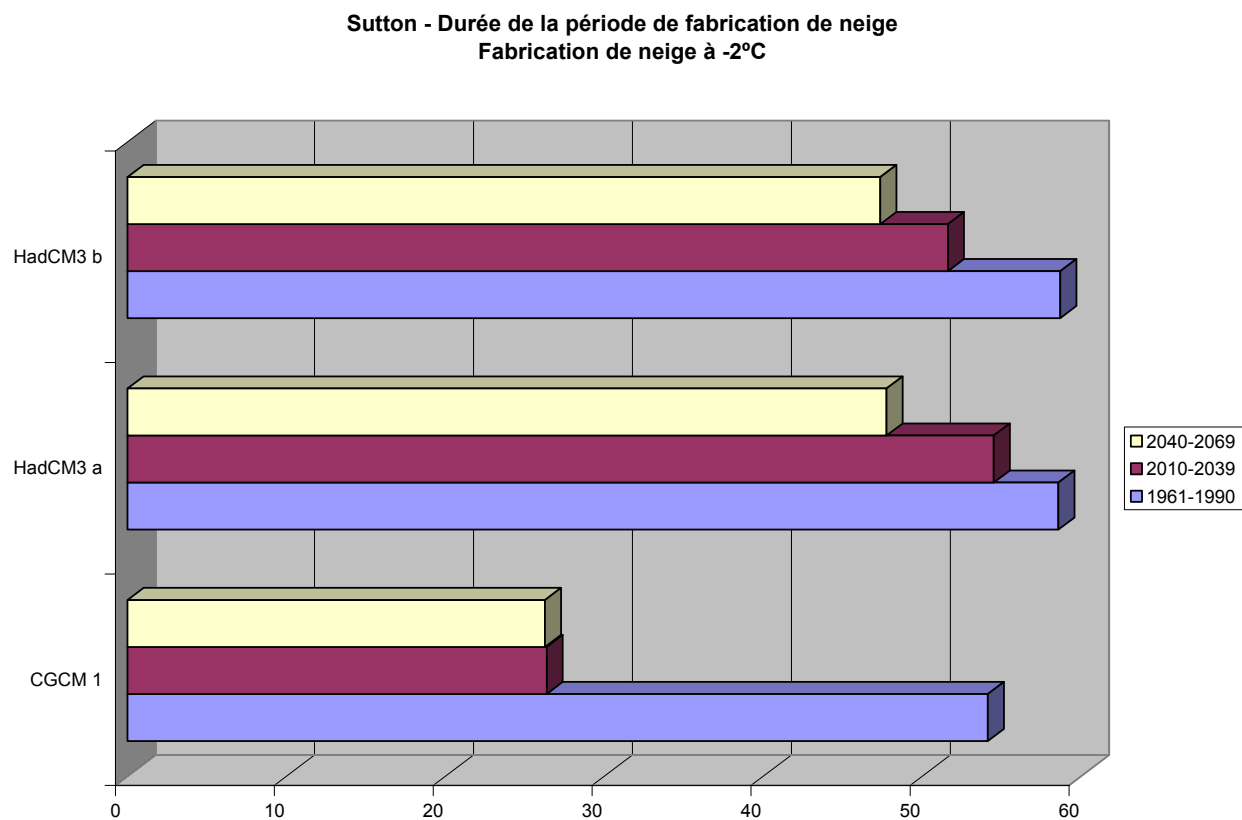


Figure 3.22. Durée de la période de fabrication de la neige (à -5°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Sutton.

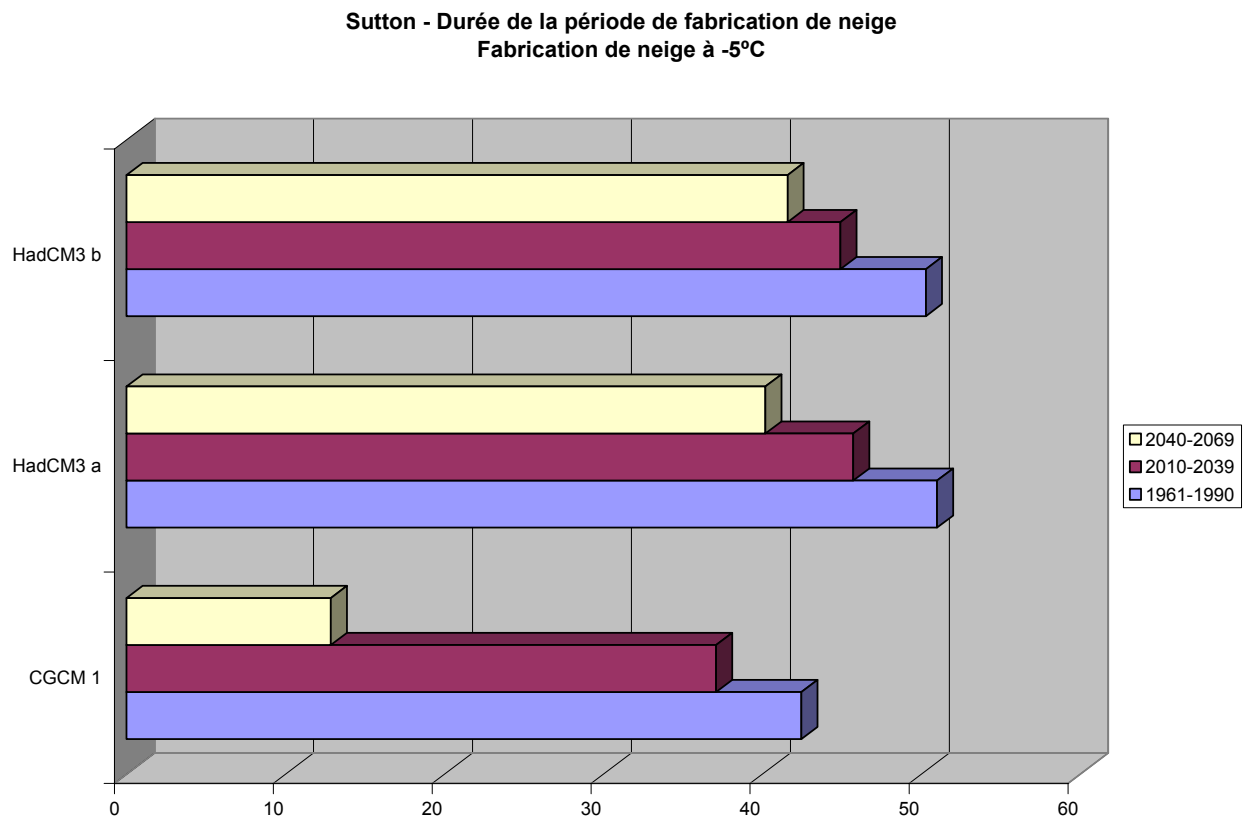


Figure 3.23. Fabrication totale de la neige (cm : à -2°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Sutton.

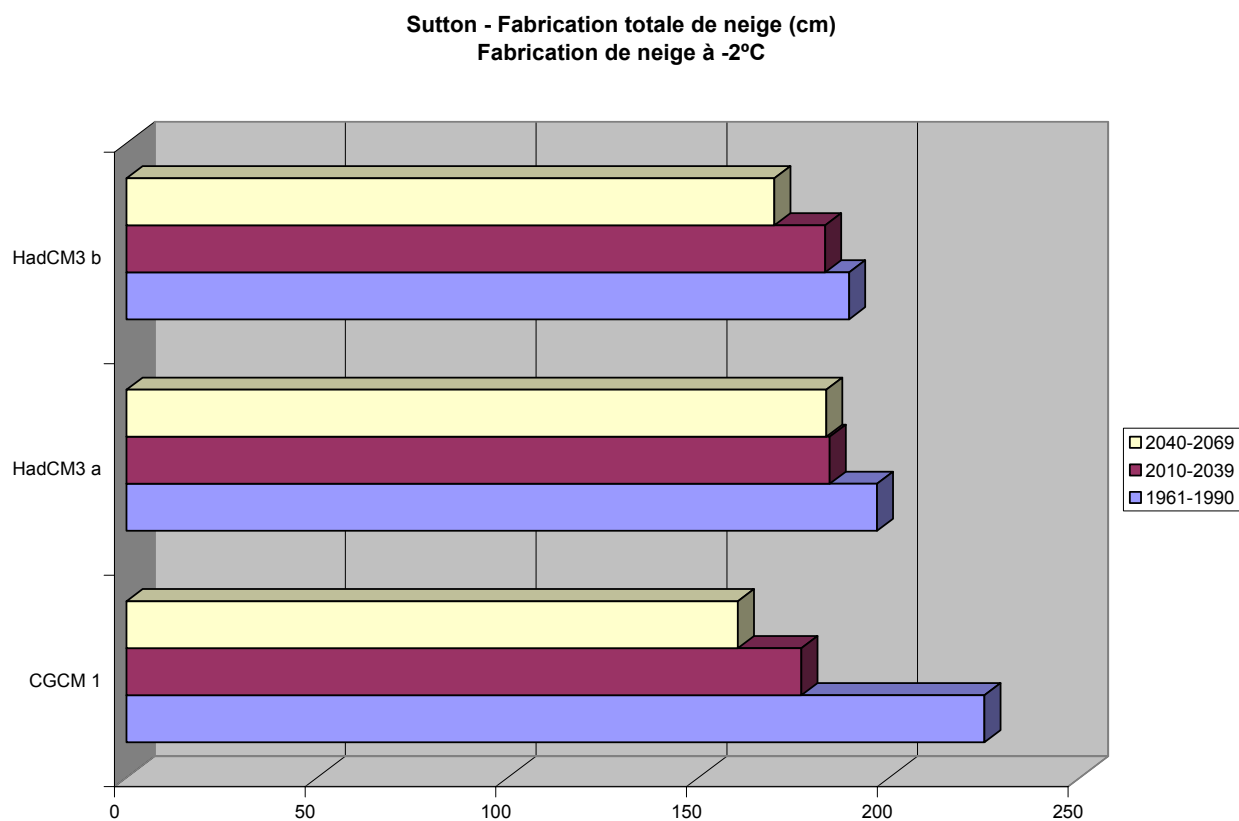


Figure 3.24. Fabrication totale de la neige (cm : à -5°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Sutton.

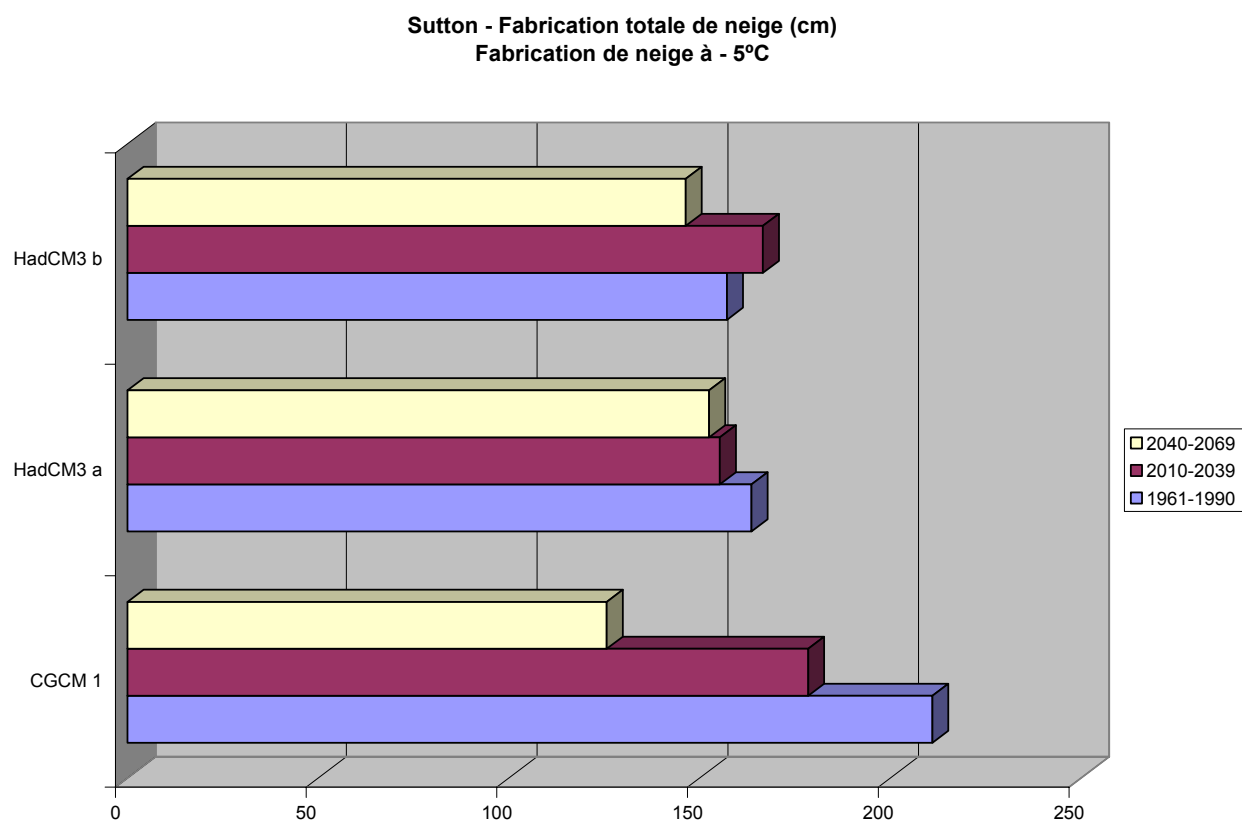


Figure 3.25. Nombre de jours froids (fabrication de la neige à -2°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Sutton.

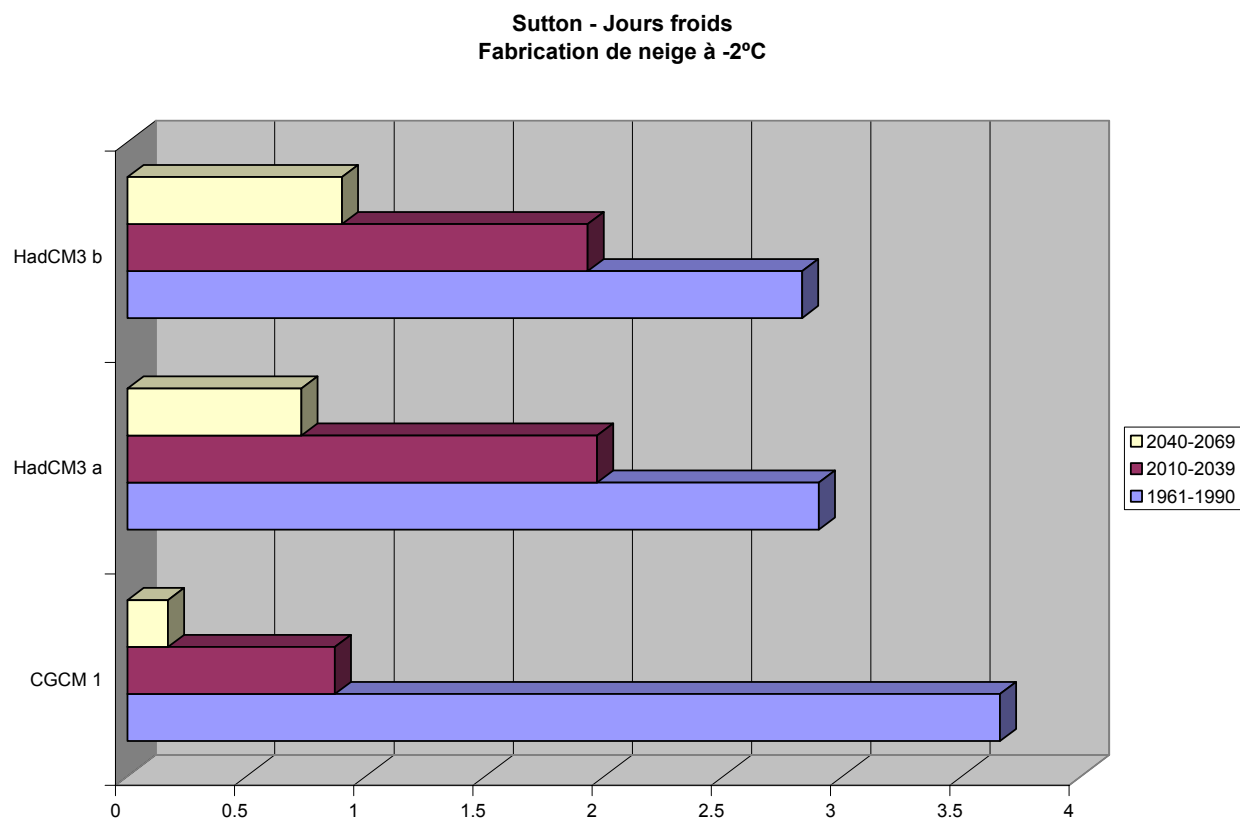


Figure 3.26. Nombre de jours froids (fabrication de la neige à -5°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Sutton.

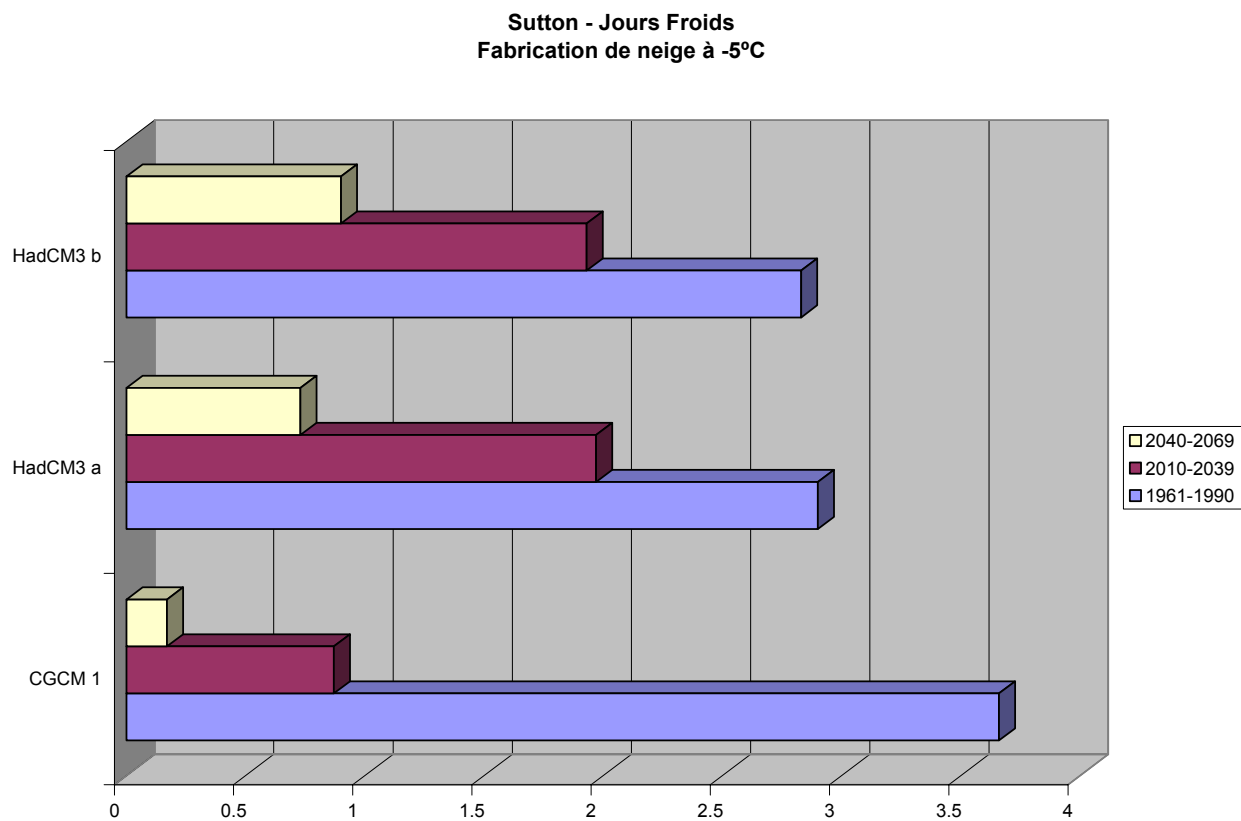


Figure 3.27. Quantité de neige naturelle (cm : fabrication de la neige à -2°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Sutton.

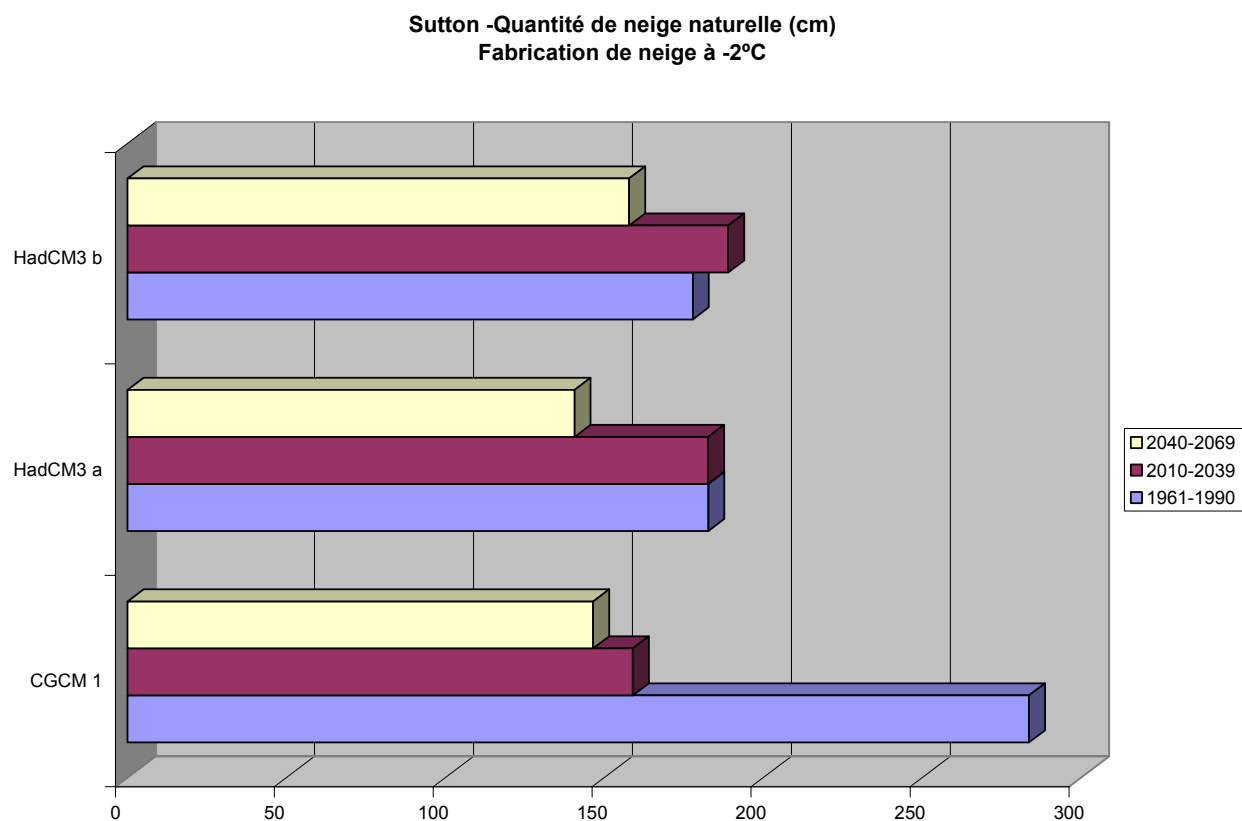


Figure 3.28. Quantité de neige naturelle (cm : fabrication de la neige à -5°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Sutton.

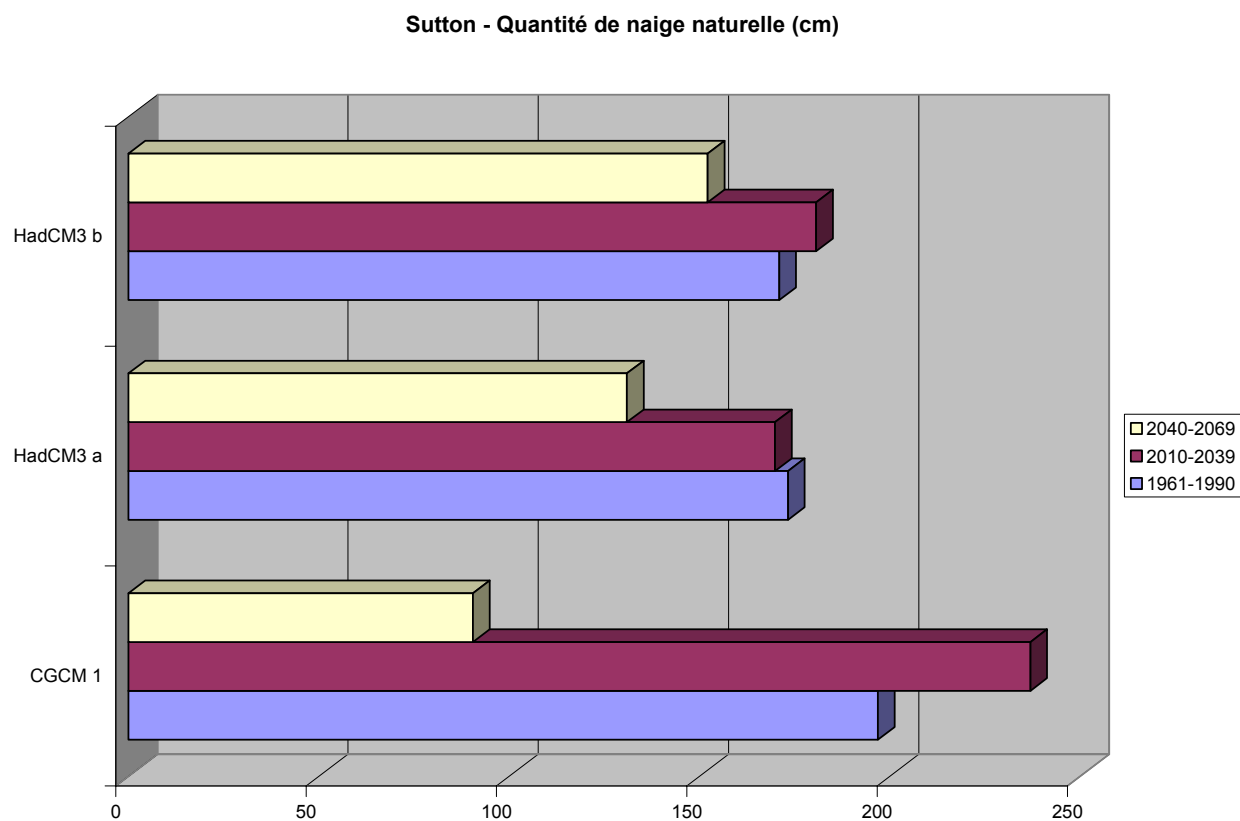


Figure 3.29. Durée de la saison (jours : fabrication de la neige à -2°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Montréal.

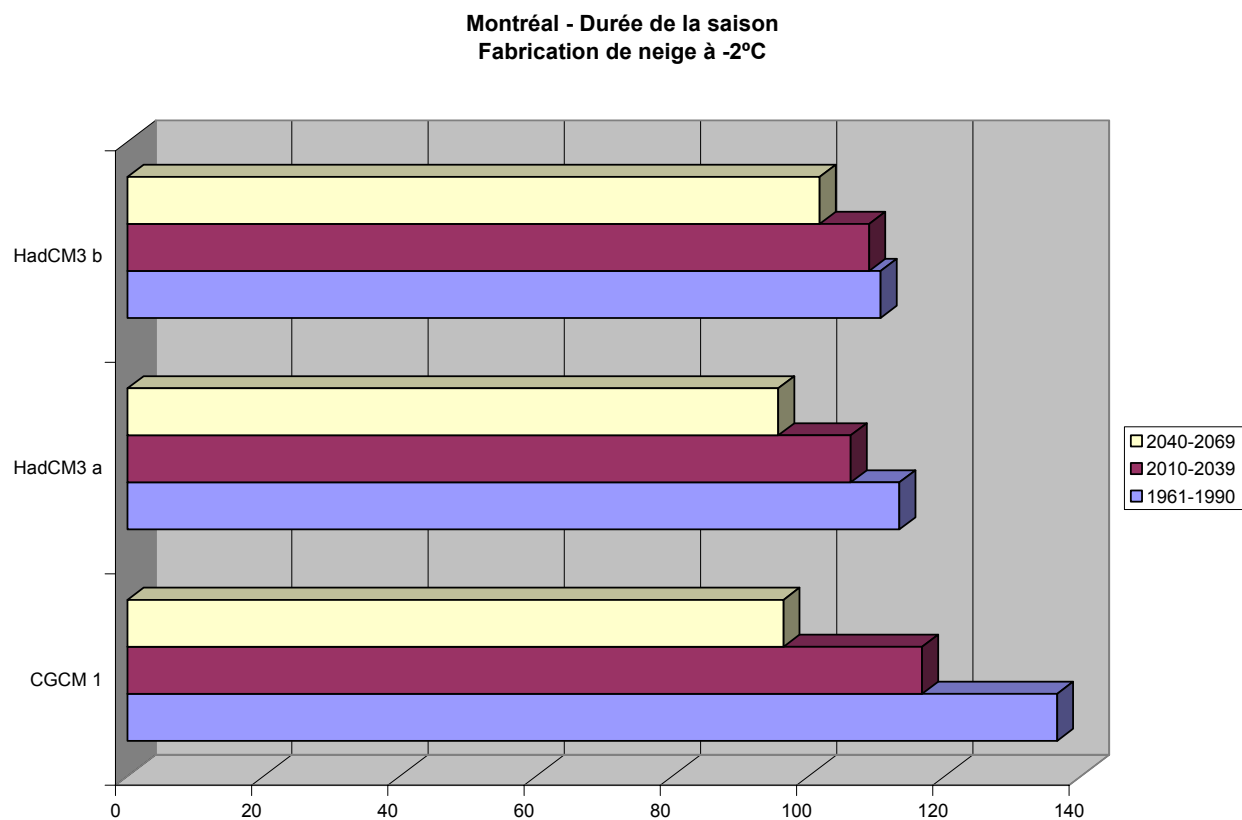


Figure 3.30. Durée de la saison (jours : fabrication de la neige à -5°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Montréal.

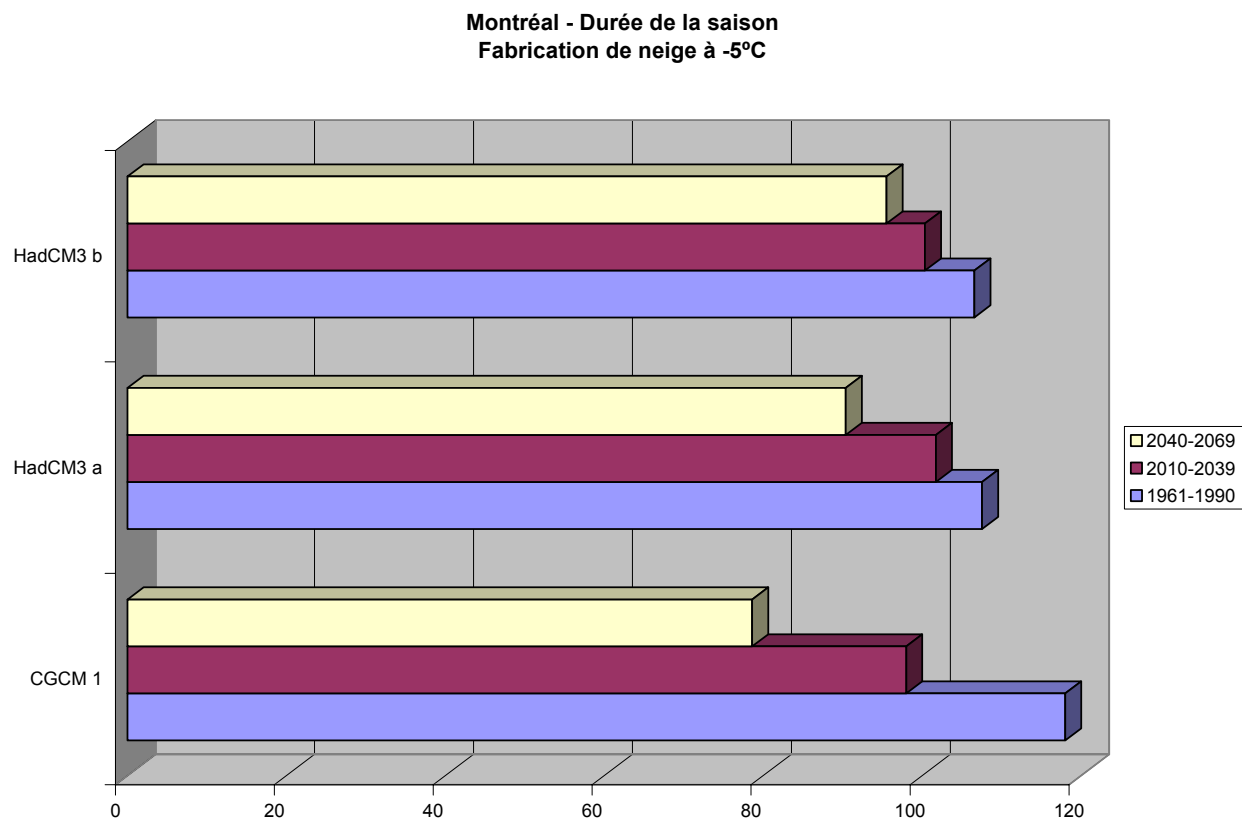


Figure 3.31. Nombre de jours de pluie (fabrication de la neige à -2°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Montréal.

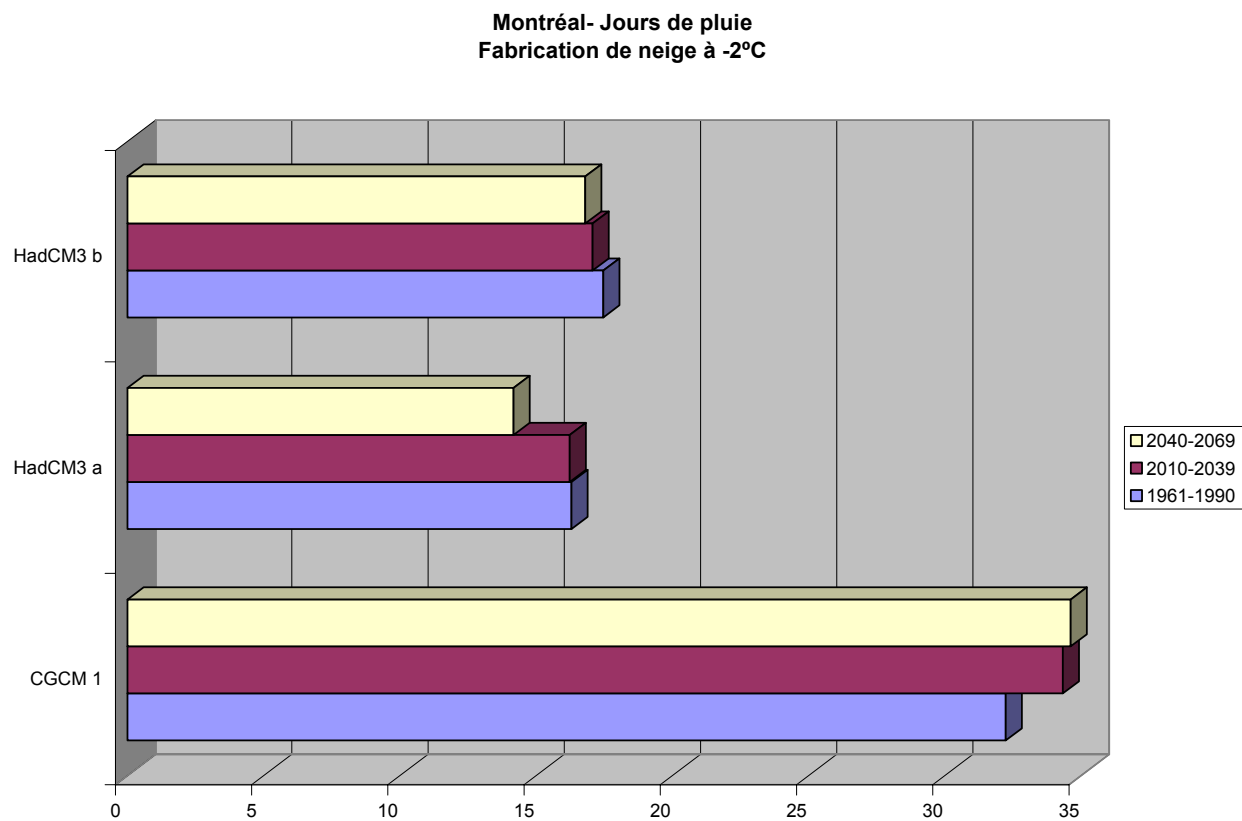


Figure 3.32. Nombre de jours de pluie (fabrication de la neige à -5°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Montréal.

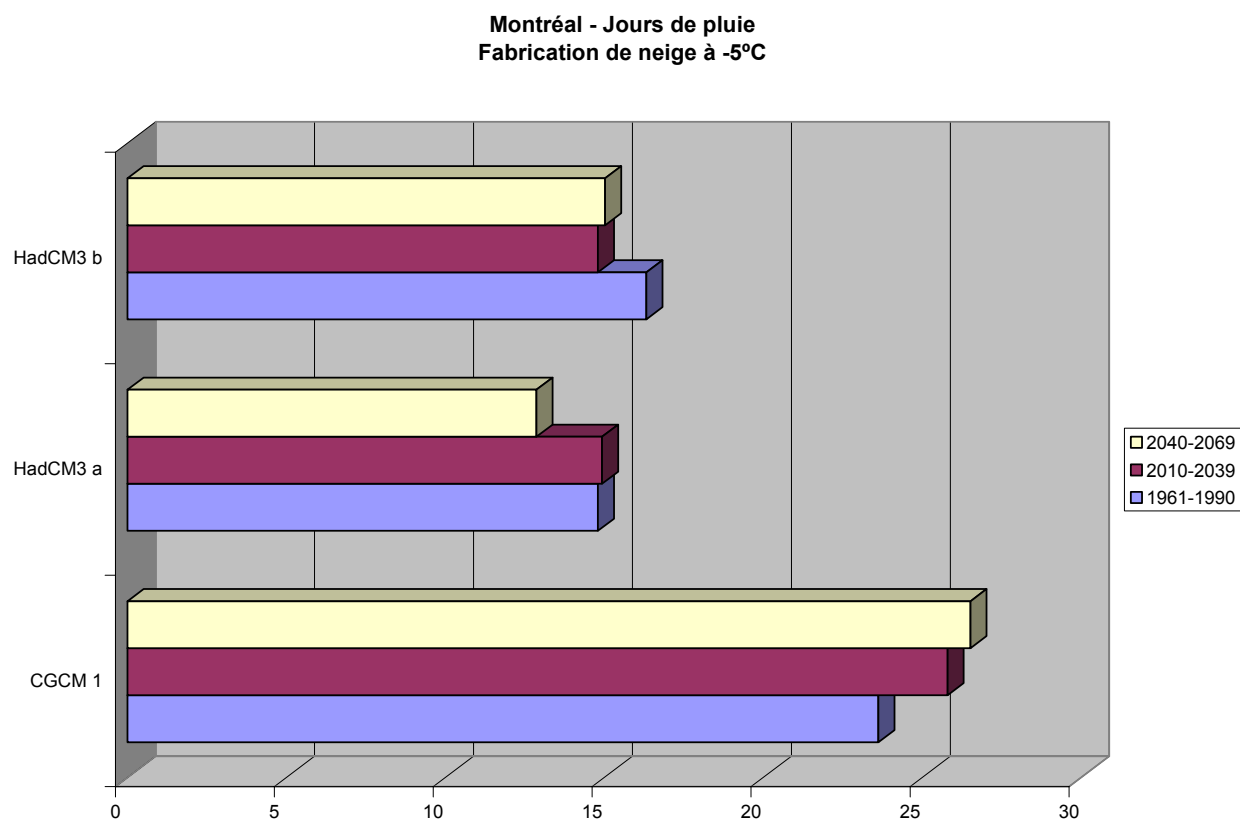


Figure 3.33. Totale de l'indice SVI (fabrication de la neige à -2°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Montréal.

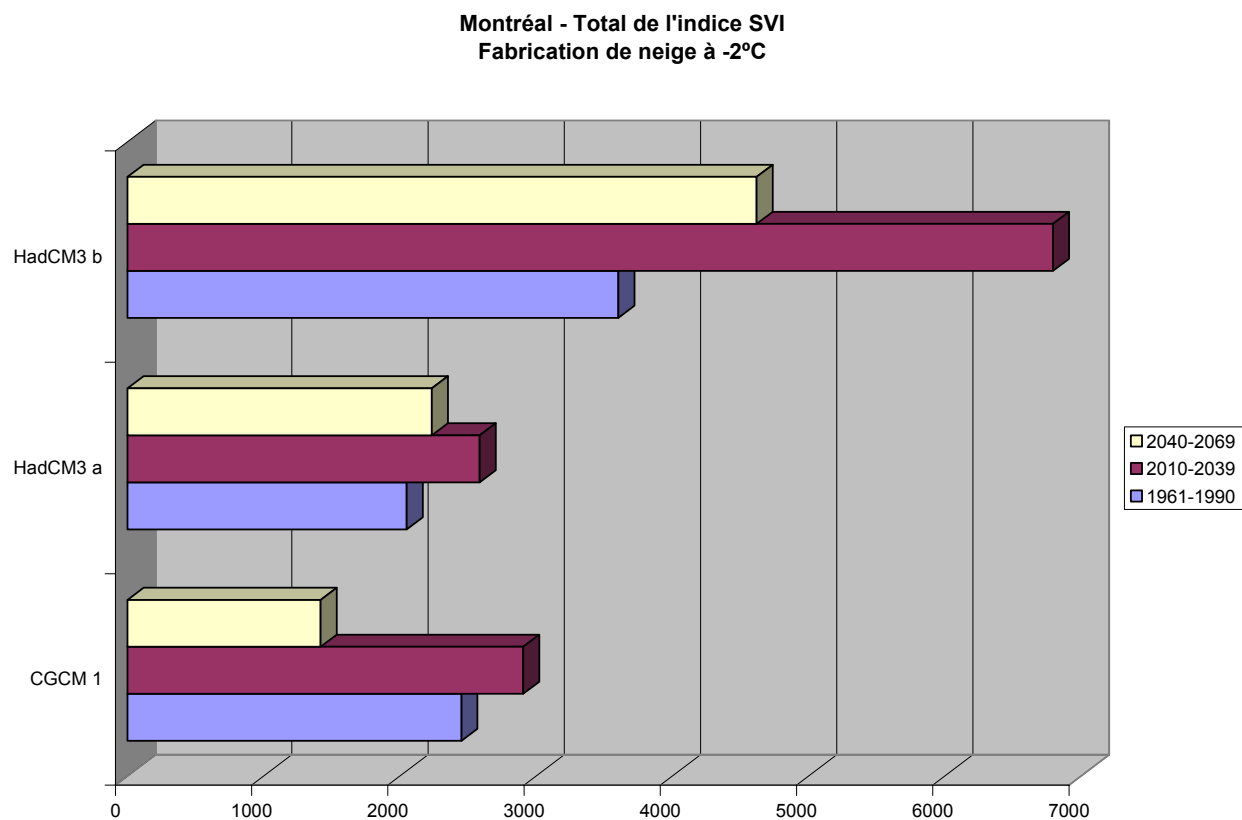


Figure 3.34. Totale de l'indice SVI (fabrication de la neige à -5°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Montréal.

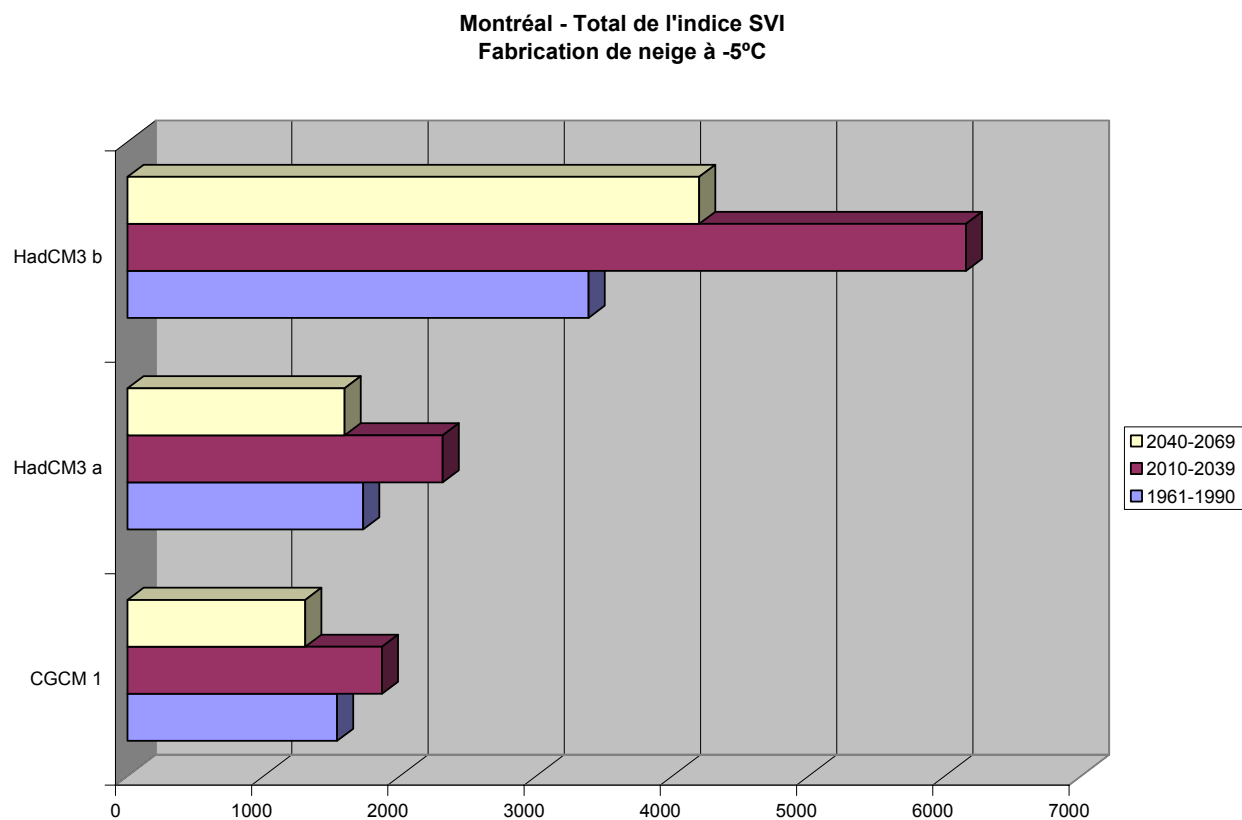


Figure 3.35. Durée de la période de fabrication de la neige (à -2°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Montréal.

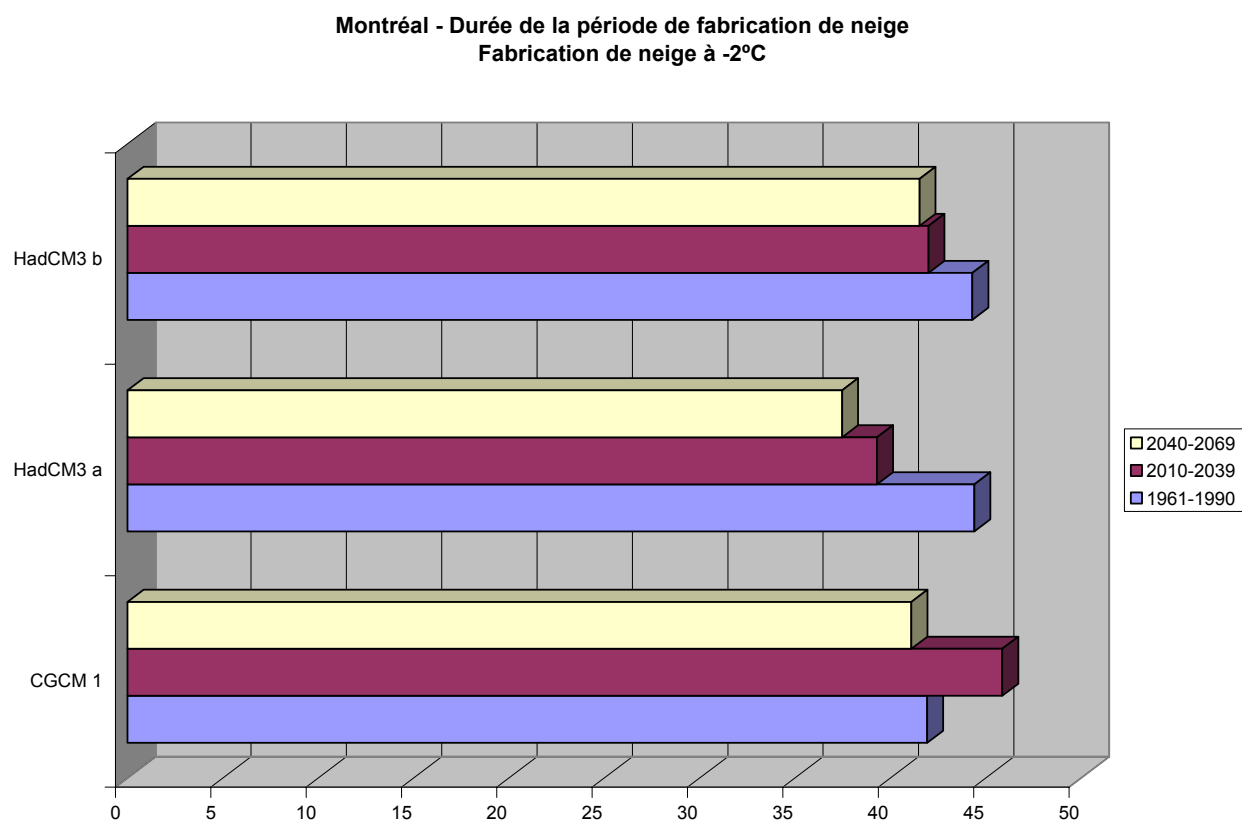


Figure 3.36. Durée de la période de fabrication de la neige (à -5°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Montréal.

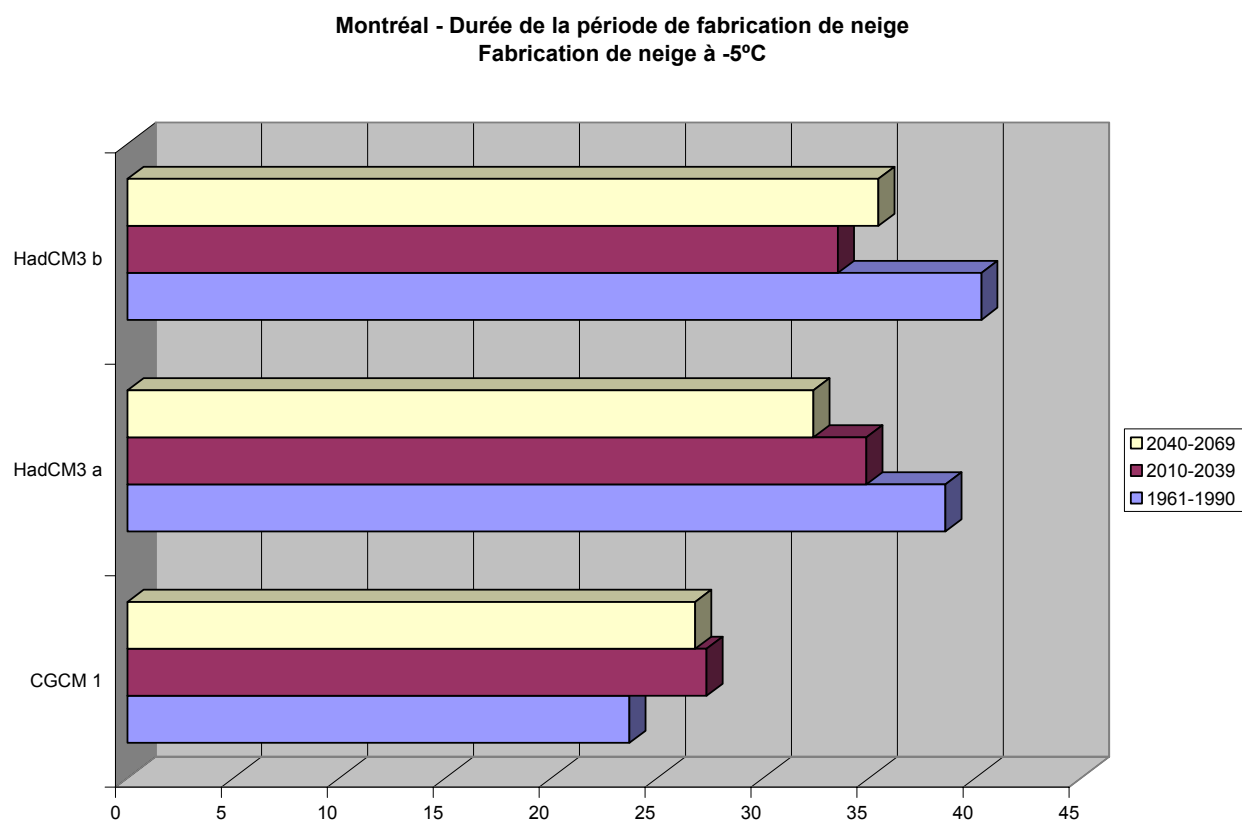


Figure 3.37. Fabrication totale de la neige (cm : à -2°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Montréal.

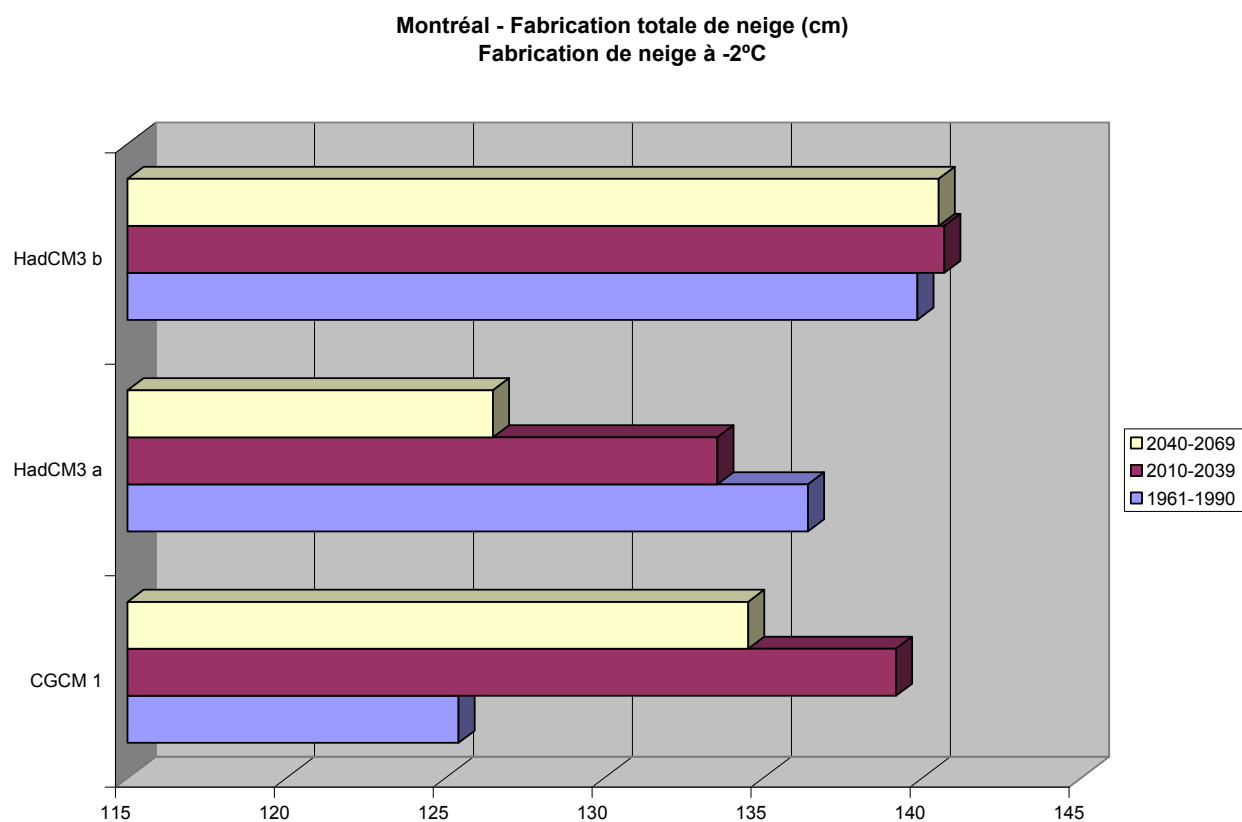


Figure 3.38. Fabrication totale de la neige (cm : à -5°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Montréal.

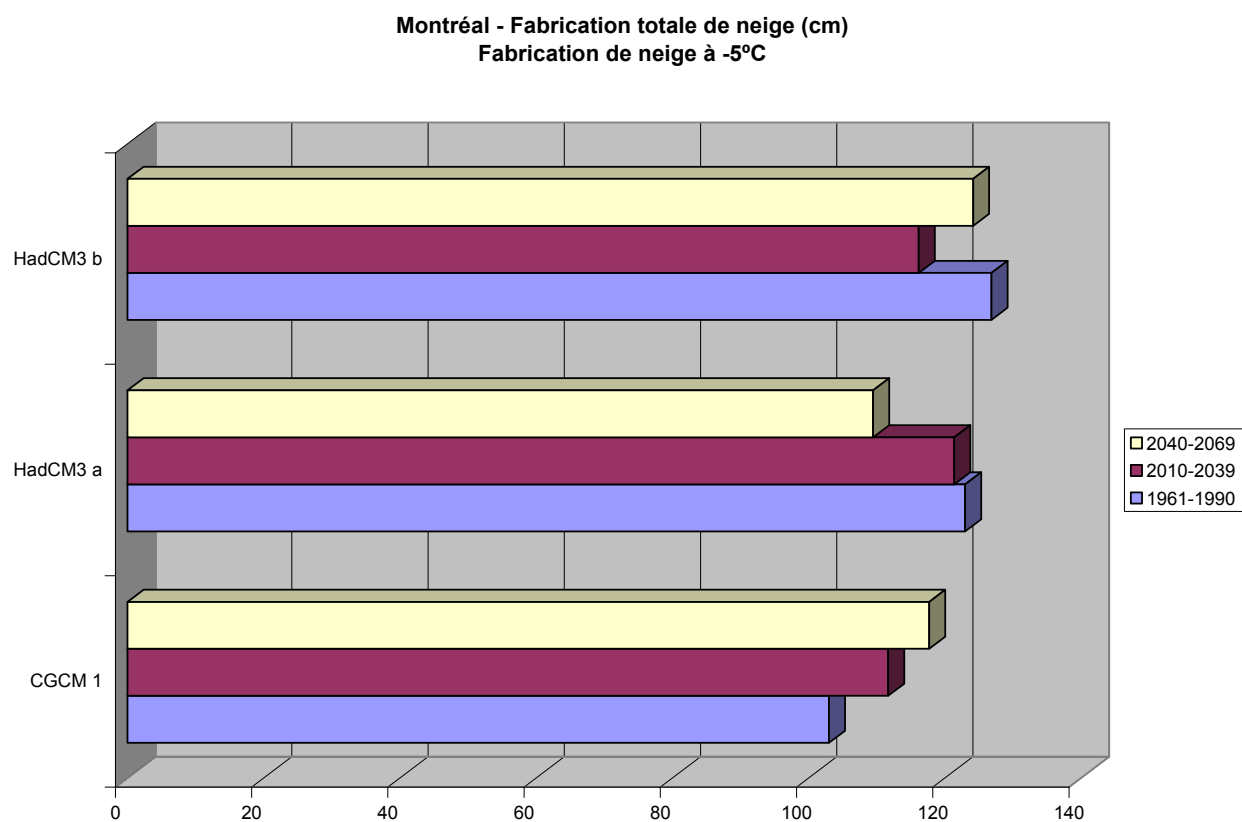


Figure 3.39. Nombre de jours froids (fabrication de la neige à -2°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Montréal.

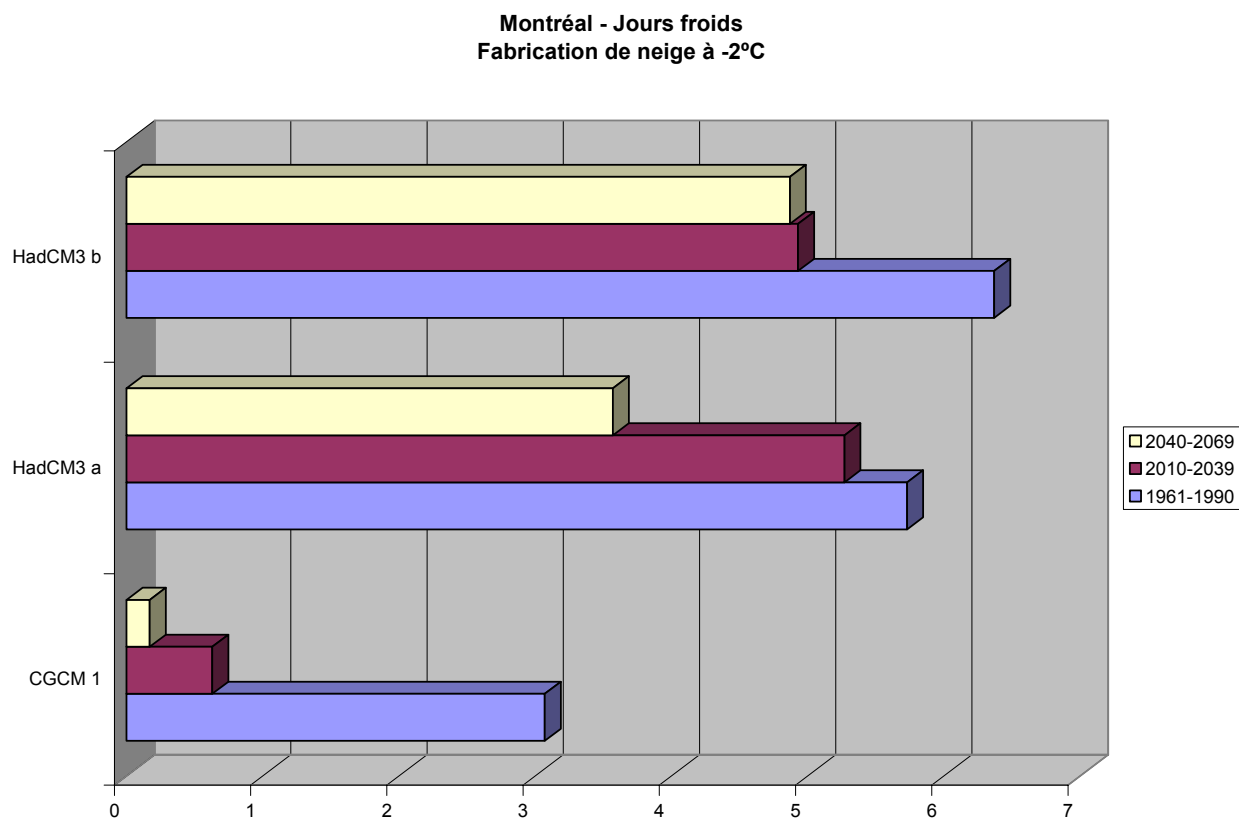


Figure 3.40. Nombre de jours froids (fabrication de la neige à -5°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Montréal.

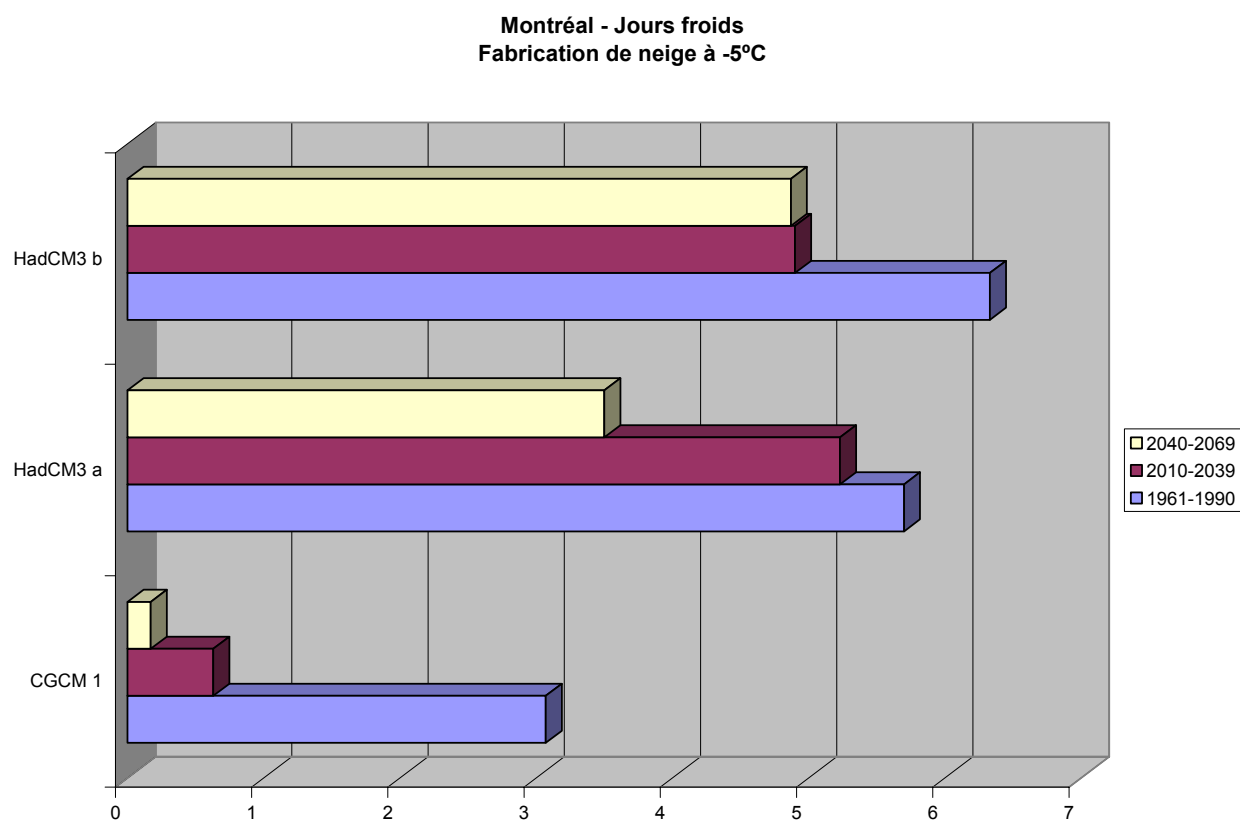


Figure 3.41. Quantité de neige naturelle (cm : fabrication de la neige à -2°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Montréal.

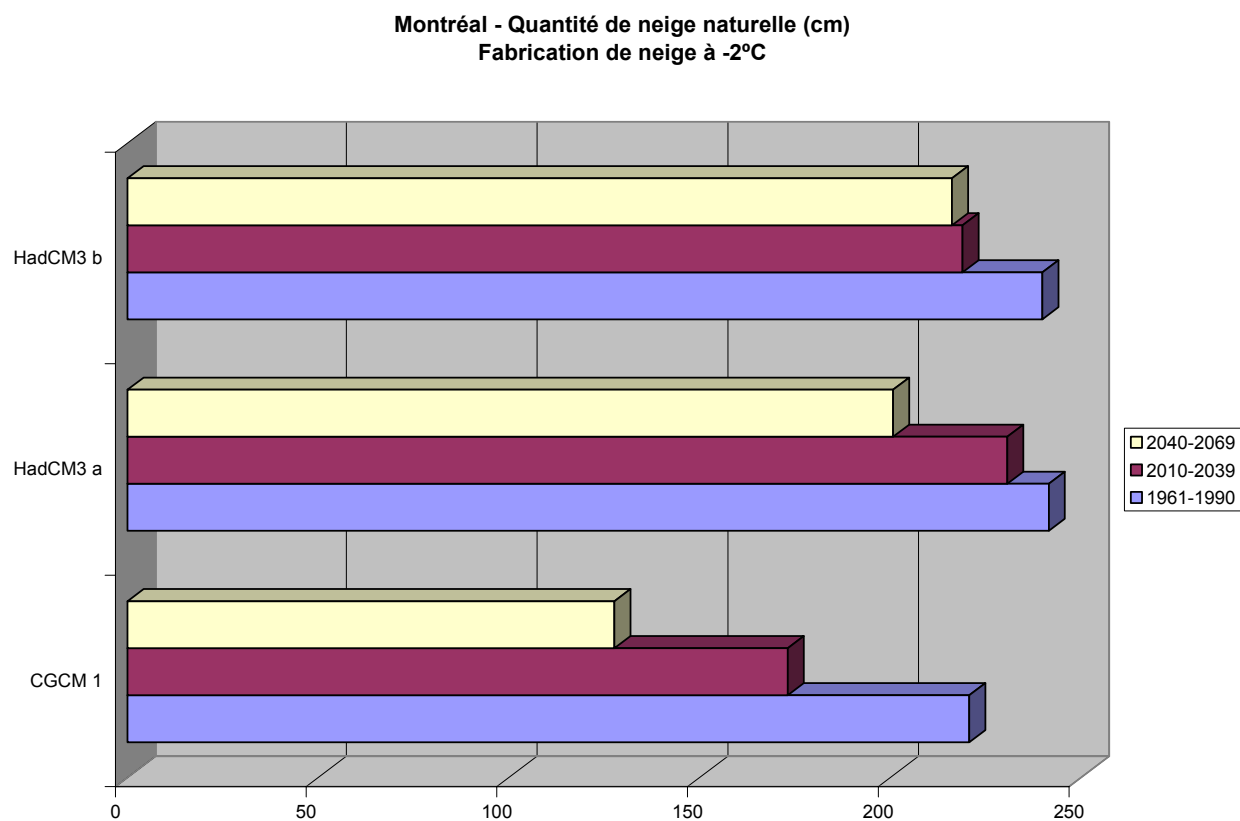
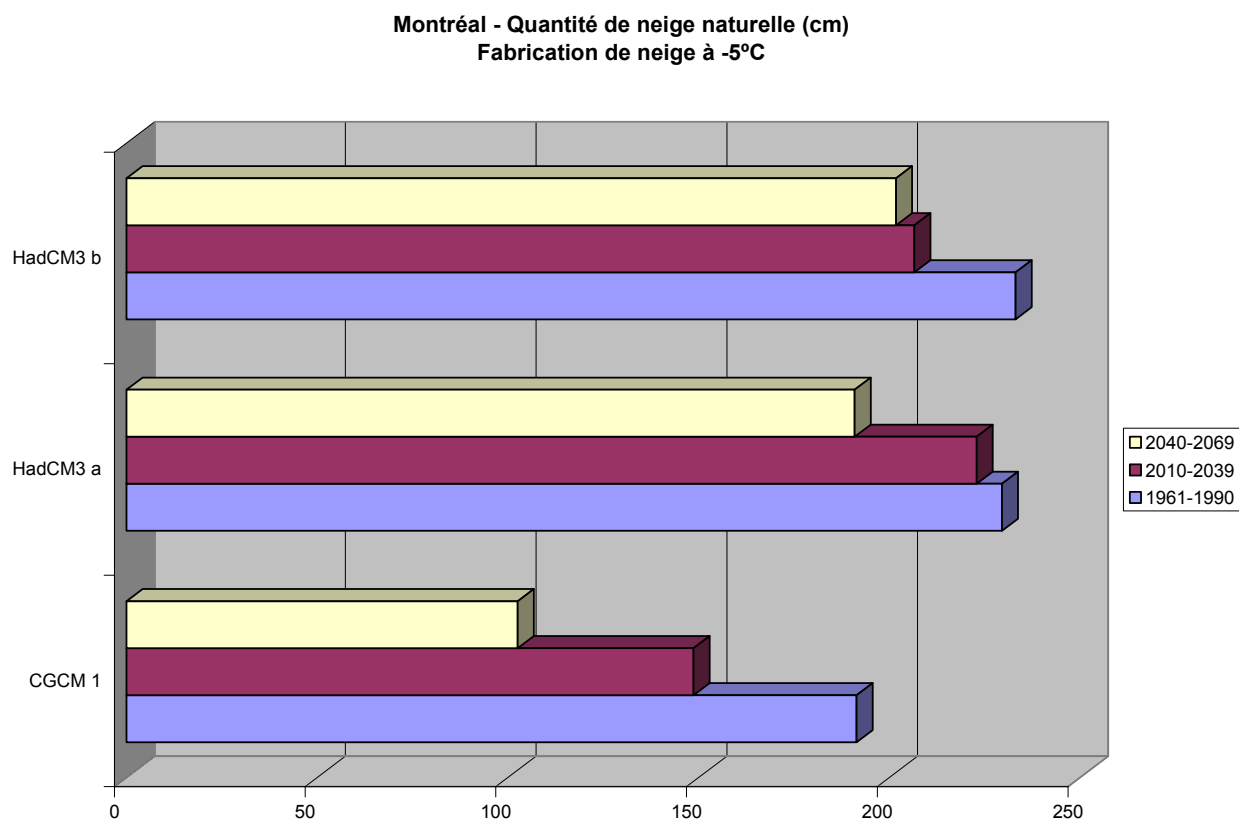


Figure 3.42. Quantité de neige naturelle (cm : fabrication de la neige à -5°C) selon les trois scénarios et pour les trois périodes de temps pour la station de Montréal.



3.3 Conclusions Générales

Comme nous l'avons vu, l'impact des changements climatiques sur le tourisme prend une allure importante dans le futur, ce dont l'industrie devra tenir compte pour conserver un rendement adéquat.

En effet, on remarque une diminution de la saison de ski marquée dans les prochaines années, surtout pour les régions situées plus au sud du Québec. Par exemple, selon le scénario CGCM1, pour la station de Sutton dans les Cantons de l'Est, la saison de ski, même en fabricant la neige à -2°C ou à -5°C , risque d'être sérieusement compromise, se limitant à 67 jours (à -5°C) à 90 jours (à -2°C) (2010-2039) et à 36 jours (à -5°C) à 68 jours (à -2°C) (2040-2069). En plus les périodes critiques de gagne de revenu telles le Noël et la relâche du début de mars seront complètement ratées.

La fabrication de neige, si ce n'est pas déjà le cas, pourrait être la seule méthode pour continuer à fonctionner, mais pendant une période plus courte. De plus les périodes douces à l'intérieur de la saison de ski pourraient davantage provoquer des conditions adverses. La rentabilité des stations de ski sera donc menacée.

Enfin, on constate que les changements futurs du climat vont avoir un impact certain sur plusieurs sphères économiques, sans parler de celles écologiques. Il faut rester à l'affût des nouvelles recherches et technologies dans le but de prévenir les impacts néfastes dans la majorité des secteurs de notre société.

3.3.1. Premier Rapport concernant le projet sur l'adaptation de l'industrie du ski au changement climatique (septembre 2003)

Ce rapport d'étape concernant le projet sur l'adaptation de l'industrie du ski au changement climatique est la suite d'une rencontre avec les intervenants de l'industrie de ski dans les locaux d'Ouranos. Les principaux représentants impliqués dans le projet : Association des Stations de Ski du Québec, Station de ski Montjoye (Région des Cantons de l'est), Station Mont-Tremblant

(Région des Laurentides), Station le Massif (Région de Québec-Charlevoix), Tourisme Québec, Ouranos, Université de Montréal.

Cette première rencontre a permis à l'équipe de recherche de commencer à cerner, avec les différents représentants de l'industrie présents à cette réunion, les enjeux que représente le changement climatique envisagé dans les années futures.

La présentation préliminaire de M. Alain Bourque d'Ouranos et de M. Bhawan Singh et M. Nicklaus Davey sur les prévisions climatiques futures et sur les différents scénarios prévus dans ce domaine, nous a permis de recueillir les différentes réactions des participants, de noter les premiers indicateurs pour mesurer les répercussions du changement climatique et enfin d'envisager les principaux enjeux posés par ce scénario de changement.

Les objectifs de ce projet sont deux:

- a. Évaluer les impacts du changement et de la variabilité du climat sur l'industrie du ski ainsi que sur l'industrie de golf au Québec;
- b. Proposer des stratégies d'adaptation à ces changements afin de minimiser les impacts socio-économiques (négatifs).

Trois périodes vont être utilisées dans ce projet :

- a. La période 1961-1990, utilisée comme la période courante et de contrôle;
- b. La période 2010-2039 : le court terme;
- c. La période 2040-2069 : le long terme

Les territoires à l'étude sont trois :

- a. Les Laurentides et Rigaud; b. Les Cantons de l'est; c. Charlevoix

Notre méthodologie comporte les éléments suivants :

- a. Le couplage de sorties des diagnostics de modèles climatiques, à une échelle réduite (donc, nous utilisons le « downscaling » des modèles à macro échelle)

- b. Nous utilisons pour fins de comparaison les modèles : CGCM1 et HadCM3 forcés par les scénarios SRES A-2 et B-2; et le « downscaling » exploitant SDSM et interpolations statistiques;
- c. Nos préoccupations en termes de variables à explorer comprennent : la température, les précipitations (pluie et neige), la radiation solaire, la nébulosité, le vent...

Nous avons identifié les types d'impacts et vulnérabilités suivants mais qui restent à confirmer avec les représentants de l'industrie de ski :

- a. La longueur de la saison de ski;
- b. Le nombre de jours skiabiles-pertes de jours dû à des intempéries (pluie, vent...);
- c. Le nombre de pistes de ski ouvertes, sous des conditions naturelles et sous la neige artificielle (canons)

Les questions méthodologiques pour lesquelles nous cherchons des réactions et des réponses sont :

- a. Quels sont les critères utilisés dans l'industrie pour décider le début et la fin de la saison, avec et sans neige artificielle;
- b. Quels sont les facteurs d'influence (p. ex. pluies, vents extrêmes...) concernant la perte de jours skiabiles;
- c. En termes de perte de jours skiabiles, quels sont les jours de pointe les plus vulnérables;
- d. Nous avons besoin d'avoir accès à des site(s) de mesure pour valider nos calculs.

La réunion fut divisée en deux parties : a. une série de présentations suivies par une discussion concernant les réactions des participants présents à ces résultats et aux questions posées par l'équipe de recherche. À la fin, il y avait question du rôle de Comité de suivi dans le déroulement du projet.

3. La présentation concernant les résultats préliminaires :

- Trois paramètres étaient pris en considération dans les démarches préliminaires :

- a. Le début et la fin de la saison
- b. Les précipitations sous forme de neige

c. Le nombre de journées skiabiles

Résultats concernant le début et la fin de la saison :

Selon *Lamothe & Périard (1987)* : la saison de ski s'étale du début décembre jusqu'à la mi-avril en fonction de la production ou non de neige artificielle.

Voici les résultats préliminaires :

Début et fin de la saison : 1961-90

Les températures moyennes mensuelles :

Décembre = -0.50°C : max. = 4.93°C ; min. = -21.35°C

Avril = -0.55°C : max. = 13.87°C ; min. = -11.16°C

Le nombre de jours en moyenne durant lesquels la température est plus élevée que 0°C :

Décembre = 22 jours

Avril = 18 jours

Début et fin de la saison : 2010-39

Les températures moyennes mensuelles :

Décembre = 0.38°C : max. = 8.98°C ; min. = -9.79°C

Avril = 0.24°C : max. = 10.82°C ; min. = -8.57°C

Le nombre de jours en moyenne durant lesquels la température est plus élevée que 0°C :

Décembre = 26 jours

Avril = 21 jours

Début et fin de la saison : 2040-69

Les températures moyennes mensuelles :

Décembre = 0.57°C : max. = 11.34°C ; min. = -12.73°C

Avril = 0.71°C : max. = 16.80°C ; min. = -7.75°C

Le nombre de jours en moyenne durant lesquels la température est plus élevée que 0°C :

Décembre = 28 jours

Avril = 24 jours

- Précipitations sous forme de neige

Voici les résultats préliminaires :

Précipitations sous forme de neige : 1961-90

Précipitations moyennes saisonnières (151 jours):

- 1,7 cm/jour
- Précipitation max. = 14 cm
- 258 cm/saison

Précipitations sous forme de neige : 2010-39

Précipitations moyennes saisonnières (151 jours):

- 0,8 cm/jour
- Précipitation max. = 10,4 cm
- 120 cm/saison

Précipitations sous forme de neige : 2040-69

Précipitations moyennes saisonnières (151 jours):

- 0,4 cm/jour
- Précipitation max. = 8,6 cm
- 59 cm/saison

- Nombre de journées skiabiles

Voici les résultats préliminaires :

Deux règles de départ étaient utilisées pour repérer les journées non skiabiles :

- Température > 0°C
- Précipitation > 1.5 mm

Le nombre de journées d'une saison de ski « normale » - le nombre de journées non skiabiles = nombre de journées skiabiles

La période 1961-90 :

- Saison normale estimée à 151 jours (décembre à avril).
- 20 journées non skiabiles en moyenne.
- $151 - 20 = 131$ journées skiabiles en moyenne pour les 30 années

La période 2010-39 :

- Saison normale estimée à 151 jours (décembre à avril).
- 30 journées non skiabiles en moyenne.
- $151 - 30 = 121$ journées skiabiles en moyenne pour les 30 années

La période 2040-69 :

- Saison normale estimée à 151 jours (décembre à avril).
- 35 journées non skiabiles en moyenne.
- $151 - 35 = 116$ journées skiabiles en moyenne pour les 30 années

- Conclusions préliminaires

Selon les prévisions du modèle climatique canadien pour les périodes 2010-39 et 2040-69:

- a. La saison de ski devrait débuter plus tard et finir plus tôt;
- b. La quantité de précipitations sous forme de neige devrait diminuer;
- c. Le nombre de journées skiabiles devrait aussi diminuer.

4. Les réactions au changement et les différents éléments d'information

Tous les participants reconnaissent l'importance de comprendre et d'anticiper les changements climatiques afin de leur permettre de mieux planifier et de maximiser les rendements sur leurs investissements. En effet, la température fixe non seulement le point de départ de l'activité, mais il représente aussi le choix économique de la station qui décide de l'ouverture ou non de sa saison de ski.

La plupart des stations aujourd'hui fonctionnent avec de la neige fabriquée si bien que l'accumulation de neige naturelle n'est plus un critère déterminant.

Les stations planifient la rentabilité de leur saison en prévoyant réaliser un tiers de leur chiffre d'affaires à Noël, un tiers en janvier et février, et un tiers en mars pendant les périodes de congé.

Les journées non skiables, dont les critères restent à déterminer, n'ont et n'auront pas le même impact au mois de février et en fin de saison par exemple.

➤ Les indicateurs

Nous pouvons regrouper les indicateurs selon qu'ils s'adressent aux conditions climatiques, aux retombées économiques ou les indicateurs d'investissements. Il conviendra de diviser la saison de ski sur les saisons économiques, plutôt qu'astronomiques.

- Les indicateurs de conditions climatiques

Les conditions climatiques affectent la disponibilité en eau du bassin pour fabriquer de la neige, la faisabilité de fabrication de la neige, le maintien du couvert neigeux fabriqué et le confort pour skier.

- Il va falloir ainsi tenir compte du volume d'eau disponible et autorisé pour la fabrication de la neige et le mesurer au volume d'eau nécessaire pour cette même fabrication.
- Il va falloir également tenir compte du nombre de jours consécutifs nécessaires, en début de saison, pour la fabrication efficace de la neige basée sur une

température inférieure à -5 degrés Celsius humides pendant 8 à 12 heures consécutives (excepté Snow Max qui permet la fabrication de la neige à partir de moins 5 degrés Celsius). Cette donnée est fondamentale en début de saison, car elle permet de prévoir le nombre d'heures opérationnelles pour fabriquer suffisamment de neige avant Noël.

- Il faudra aussi prendre en compte, en cours de saison, le nombre de jours consécutifs où la température est supérieure à 0 degré Celsius.

- Les indicateurs de retombées économiques.

On parle ici surtout de la variation dans le nombre (+ ou -) de jours skiabiles et rentables qui vont avoir un impact sur le pourcentage d'ouverture du domaine skiable.

- Les définitions d'une journée non skiable :
 - a. + 5 degrés Celsius avec de la pluie.
 - b. Combinaison de froid intense (< à -20 degrés Celsius) et de vent intense.
 - c. Accumulation de pluies verglaçantes (condition météorologique désastreuse pour l'industrie)
- Les conditions météorologiques favorables au ski.

Il s'agit en règle générale d'une journée avec une température supérieure ou avoisinante à 0 degré Celsius, sans précipitation sur la période du mois de janvier à la mi-avril.

- L'indicateur d'investissement

Il va falloir évaluer les investissements (ou variation interannuelle des investissements) requis pour produire et maintenir le couvert neigeux sous les conditions climatiques anticipées comme par exemple le nombre de canons à neige et le volume d'eau nécessaire.

Tous ces indicateurs doivent prendre en compte les données suivantes :

- L'arrêt de la fabrication de la neige se fait vers la mi-février.
- Pour fabriquer de la neige, il faut 160 000 gallons US/acre-pied dans des conditions favorables.
- Il faut vérifier le comportement du bassin hydrographique (bassin versant) face aux changements climatiques.
- Les télésièges 8 places sont moins vulnérables au vent.
- Il est important de repérer les fenêtres de temps favorable dans la saison de ski afin de maximiser la force de frappe technologique dans la fabrication de la neige.
- Le réchauffement (moins de froid et de vent) pourrait augmenter le nombre de journées skiabiles.

➤ Les enjeux principaux posés par ce scénario de changement

Trois principaux enjeux ont été identifiés : la disponibilité en eau, la capacité d'investissement et la compétition.

- La disponibilité en eau

La capacité à s'approvisionner en eau devient un enjeu critique. Cet approvisionnement provient essentiellement du bassin versant et en partie de bassins adjacents.

Ces prélèvements doivent être autorisés par le ministère de l'Environnement qui exige des débits réservés.

Les prévisions annuelles reposent sur l'expérience des 50 voire des 100 dernières années et ne prennent donc pas en compte les nouveaux scénarios de changements climatiques.

- La capacité d'investissement

Les impératifs : la capacité d'investir pour produire suffisamment de neige, la nécessité de diversifier les activités notamment pendant l'été avec le vélo de montagne (Mont Ste Anne) et l'importance de renouveler régulièrement son infrastructure font partie des impératifs primordiaux, en matière d'investissements, auxquels devront faire face les stations de ski dans les prochaines années.

Les contraintes : cette capacité doit tenir compte des coûts de production de neige qui sont de plus en plus élevés auxquels il faut ajouter la hausse de la tarification électrique et des taxes foncières, l'amortissement du matériel sur 7 ans qui ne reflète pas la réalité qui est plus près de 25 à 30 ans.

- La compétition

La situation actuelle : il existe aujourd'hui environ 84 stations de ski au Québec dont 15 stations représentent 70% du marché et une douzaine sont tournées vers l'extérieur du Québec. Ces dernières sont déjà en concurrence avec l'est et l'ouest de l'Amérique du Nord notamment à cause du marché du centre des États-Unis.

Les conséquences : une hausse trop importante des températures pourrait modifier l'approche marketing des stations au Québec qui pourrait bénéficier ainsi d'une clientèle supplémentaire venant du sud de la province. Par contre, de mauvaises conditions météorologiques pourraient entraîner une baisse immédiate de l'achalandage surtout vers les stations qui drainent une clientèle locale et régionale (rôle important des prévisions diffusées par les médias).

➤ Les pistes à suivre

Suite à la réunion, il va être important de définir, avec plus de précisions, les paramètres comme les phases reconnues de la saison économique, les critères d'une journée non skiable, d'établir des

scénarios qui permettraient de prévoir la disponibilité en heures et en jours pour produire de la neige et de déterminer la quantité de neige fabriquée nécessaire annuellement.

Il faudra, par conséquent, également définir l'épaisseur moyenne et idéale du couvert neigeux ainsi que sa durée et sa résistance face non seulement aux changements climatiques mais également face à certains facteurs de détérioration comme l'achalandage.

5. Conclusion

Tous les participants donnent leur appui et s'engagent à suivre l'évolution de la recherche en un comité de suivi.

Rencontre avec le responsable de l'ASSQ (11 novembre 2003)

- Portrait global de l'industrie du ski au Québec (état des infrastructures, bilan financier et économique, etc.)
- Recensement des stations de ski dans les régions concernées par l'étude (Cantons de l'est, Laurentides, Québec-Charlevoix)

Élaboration de la liste des acteurs du secteur public :

-Ministère du Développement Économique Régional qui chapeaute désormais le ministère de l'Industrie et du Commerce, celui de la Recherche, des Sciences et des Technologies, celui des Régions et celui du Tourisme.

-Ministère de l'Environnement pour la gestion de l'eau.

-Ministère des Finances, dans le cadre d'aides gouvernementales, subventions.

-Ministère de l'Éducation, pour l'étalement des périodes de congés scolaires (surtout en mars).

-Ministère des Affaires Municipales, du Loisir et des Sports.

-La Sépaq. 3 stations importantes sont situées dans des parcs (Tremblant, Mont St Anne et Mont Orford). Problème de développement d'autres pistes à cause des aires protégées.

-L'Union des Municipalités du Québec.

-Investissement Québec (aide financière aux entreprises touristiques)

-Société Générale de Financement

Élaboration du questionnaire pour l'étude basée sur les informations recueillies lors des deux rencontres précédentes (novembre 2003)

Élaboration du questionnaire initial concernant les perceptions de changement climatique, et des seuils critiques des paramètres, ainsi que les changements significatifs dans l'opération depuis 5 ans (afin de les utiliser plus tard dans l'évaluation de leur incidence sur la vulnérabilité au changement climatique).

Présentation du questionnaire :

Le changement climatique et l'industrie de ski au Québec

Questionnaire destiné aux représentants des stations de ski au Québec

❑ Perception concernant l'avenir de l'industrie de ski en général au Québec

- Quels changements significatifs sont survenus pour le ski au cours des dernières années? (Défis et opportunités auxquels vous allez faire face)

- Comment ces changements ont-ils affecté l'industrie du ski au Québec?

- Pensez-vous que ces changements aient aussi affecté vos compétiteurs extérieurs?

❑ **Perception actuelle par rapport au changement climatique et à la variabilité climatique :**

- Quelle est votre perception par rapport aux changements climatiques et à la variabilité climatique?

Pensez-vous qu'ils aient déjà eu une incidence sur vos activités? Lesquelles?

- Quels sont les facteurs climatiques qui ont la plus grande influence sur vos prises de décisions?

- Quelles sont les sources que vous consultez pour des informations concernant le temps?

❑ **Caractéristiques de votre station :**

- Quel est le nombre de pistes dans votre station?

- Quand se fait l'ouverture et la fermeture de votre station? (Donner quelques dates si possible pour les 5 dernières années)

- Faites-vous appel à de la neige fabriquée? Si oui, depuis combien de temps?

- Quel équipement possédez-vous pour la fabrication de la neige?

Type : Canons air/eau

Ventilateurs

Tours

Année d'installation :

État :

Équipement précédent :

Est-ce un changement radical par rapport à ce que vous aviez avant?

Si oui, pourquoi avoir fait ces changements?

Avez-vous des commentaires par rapport aux coûts d'investissement et aux coûts de fonctionnement?

- Quelle est la capacité d'accueil de votre station? (Hébergement)

Sur place :

Aux alentours (dans un rayon de 1 km) :

Aucune

- Quelle est l'origine des visiteurs pour votre station pour la saison 2002-2003 (en %)?

Montréal et région :

Reste du Québec :

Ontario :

Reste du Canada :

E-U :

Europe et ailleurs:

Est ce que cette répartition a changé depuis 5 ans?

❑ **Critères positifs et négatifs par rapport à votre saison de ski :**

- Quels sont les critères utilisés dans l'industrie pour décider du début (température, neige, enthousiasme...) et de la fin (température, pluie, manque d'intérêt...) de la saison, avec ou sans neige fabriquée?

- Comment se compose une saison de ski (quelles sont les périodes les plus importantes)? (Donner des exemples pour les 5 dernières années si possible)

- Quels sont les facteurs d'influence (pluie, vents extrêmes...) qui entraînent une perte de jours skiables? Combien de jours? A quel moment? (Donner des exemples pour les 5 dernières années si possible)

- Est ce que la quantité sous forme de neige naturelle a diminué au cours des dernières années?

- Est ce que les aléas du temps (redoux, pluie verglaçante...) ont une incidence sur l'enneigement?

- Quels sont leurs impacts au cours de la saison?

❑ **Préoccupations actuelles et futures par rapport à l'exploitation de votre station :**

En ce qui concerne les indicateurs de conditions climatiques :

- Est ce que la disponibilité en eau affecte la faisabilité de fabrication de la neige?

- Quel est le volume d'eau nécessaire pour la fabrication de neige?
- Quelles sont les conditions climatiques adéquates pour la fabrication de neige en début de saison?
- Quel est le nombre de jours consécutifs où la température est supérieure à 0°C? Depuis quand?
- Combien de jours consécutifs où la température est supérieure à 0°C, sont nécessaires pour que le couvert neigeux naturel et artificiel soit affecté. Quelle est la fréquence de tels événements pour votre station?

En ce qui concerne l'indicateur d'investissement :

- Quels ont été les investissements nécessaires en terme de fabrication de neige? Depuis quand? A quels niveaux?

En ce qui concerne les enjeux :

Selon ces indicateurs, quelles sont vos préoccupations concernant :

- la disponibilité en eau?
- la capacité d'investissement
- la compétition?

Quelles sont vos attentes par rapport à cette recherche?

Points saillants des premiers résultats :

Perceptions par rapport à l'industrie du ski:

Après une période de récession dans les années 80, on assiste ces dernières années à une reprise économique de l'industrie due à une réorganisation et une adaptation aux nouvelles exigences de la clientèle.

Les coûts de fonctionnement sont de plus en plus élevés pour les stations (équipement, assurances, la main d'œuvre,...)

Nécessité de capitaliser sur l'enneigement, sur l'entretien et le renouvellement du matériel pour rester performant.

Développement de nouveaux créneaux : planche à neige, parc à neige, mini-ski...

Efforts pour offrir l'activité ski à des coûts plus attractifs.

Préoccupations par rapport au contexte démographique (vieillissement de la population). Efforts pour attirer les jeunes, les enfants d'immigrants.

Perceptions par rapport au changement climatique :

Impression que le début de saison est plus difficile, plus de fluctuations pour les fenêtres d'opportunités (froid nécessaire) pour fabriquer de la neige.

Impression régionale de moins de neige naturelle, de moins grosses tempêtes.

Variabilités perçues de façon très différentes: pour certaines stations il n'y en a pas vraiment plus, pour d'autres il y en a toujours eu comme par exemple une période de redoux, de pluie. Idée d'un phénomène cyclique pour certains sur une courte période (2-3 ans). Constat que les pluies ont une conséquence immédiate sur le couvert neigeux.

Il existe une certaine préoccupation par rapport aux changements climatiques mais la majorité des stations sont bien équipées pour fabriquer de la neige et elles sont toutes prêtes pour la fabrication dès les premières fenêtres d'opportunités.

Critique très importante face aux prévisions trop souvent négatives des médias par rapport à la météo (gros problème du facteur éolien).

Caractéristiques des stations :

Importance capitale de la neige fabriquée qui est synonyme de rentabilité pour la majorité des stations. Investissement régulier dans cet équipement et affinement de la technologie pour réduire les coûts (matériel moins énergivore), pour être plus productifs, pour réduire le temps de fabrication, pour pallier à d'éventuelles variabilités (pluie,...), pour augmenter l'efficacité des périodes critiques (température pour la fabrication de la neige), pour allonger la saison...

Ouverture de la station: le plus vite possible car les gens veulent commencer plus tôt (pression sociale), pas directement lié au changement climatique.

Fermeture de la station : elle est due au manque d'intérêt de la clientèle.

Perte de jours skiabiles : vulnérabilité au vent, à la pluie, au froid intense et au verglas. Impression qu'il n'y a pas de réelle augmentation du nombre de journées perdues.

Préoccupations actuelles et futures :

Dans l'ensemble bon nombre des stations souhaitent une croissance de leur domaine skiable avec une vision/perception relativement positive du marché. Cette augmentation est liée en grande partie à une amélioration ou à des investissements dans l'équipement pour la fabrication de neige.

Tendance générale va vers une augmentation de la neige fabriquée mais certaines stations font ressortir encore l'importance de la neige naturelle qui permet une certaine fidélisation de la clientèle grâce à l'excellente qualité de ski qu'elle procure et qui permet de se démarquer par rapport à la concurrence. Elle est devenue pour certains un outil de marketing alors que d'autres parlent seulement de cette neige naturelle comme étant un simple élément du décor mais tout de même très importante dans l'imaginaire des gens.

Plusieurs facteurs (économiques, culturels, climatiques...) influencent à des degrés différents les stations en lien direct avec leur profil (la taille, la situation géographique, la clientèle ciblée (bassin de population)...). Il semblerait que les préoccupations économiques et sociales priment sur les préoccupations climatiques même si celles-ci ne sont pas complètement écartées.

3.3.2. Deuxième Rapport concernant le projet sur l'adaptation de l'industrie du ski au changement climatique (avril 2004)

Régions visitées : Laurentides, Cantons de l'est, Québec/Charlevoix.

Nombre de stations visitées : 24

Nombre de stations fonctionnant essentiellement avec de la neige naturelle : 4

Noms des stations et des personnes contactées :

Station de ski Montjoye : Mme Brigitte Marchand

Mont Shefford: M. Ostiguy

Owl's Head: M. Marc Beaudoin

Ski Mont Glen : M. Brian Robinson

Station du Mont-Orford : M. André L'Espérance

Ski Bromont : M. Charles Désourdy

Le Mont Grand-Fonds : M. Caroline Dion

Station Le Massif : M. Daniel Rochon et M. Pierre Gauthier

Centre de ski Le Relais : Mme Louise Delâge

Ski Saint-Raymond: M. Morgan Robitaille

Gray Rocks: M. Wayne Bradburn

Centre de ski Vallée Bleue : M. Manfred Lingat

Mont Blanc : Mme Joanne Alford

Mont Saint-Sauveur : M. Greg McCullough et M. Louis P. Hébert

Mont Avila : M. Greg McCullough et M. Louis P. Hébert

Ski Mont Gabriel : M. Greg McCullough et M. Louis P. Hébert

Ski Morin Heights: M. Greg McCullough et M. Louis P. Hébert

Ski Mont Olympia : M. Greg McCullough et M. Louis P. Hébert

Mont Tremblant : M. Philippe Grenier, M. Doug Little et M. Xavier Kasim

Ski Mont Habitant : M. Dean Booth

Station de ski Mont Avalanche : Mme Élane Bertrand

Ski Mont Rigaud : M. Luke De Stephano

Ski Chanteclerc : M. Luc Désormeaux

Ski Mont St Bruno: M. Tony Dinielli

Perceptions par rapport à l'industrie du ski :

Historique :

L'euphorie des années 70 a entraîné une augmentation du volume pour les stations et une augmentation des investissements.

Dans les années 80 apparaît la 1^{ère} récession qui entraîne une baisse de l'achalandage, qui demande une réorganisation de l'industrie et un refinancement jusqu'au milieu des années 90.

Contexte actuel :

Depuis, l'industrie du ski a dû s'adapter à de nouvelles habitudes de consommation axées vers des activités moins coûteuses, à la croissance de la concurrence avec d'autres activités de plein air due à la multiplicité des activités offertes (au printemps et pendant la saison), à des nouveaux phénomènes de société comme la consommation excessive et rapide d'activités de loisirs due en partie à une modification du contexte familial où les deux parents travaillent et à un accès à l'information de plus en plus facile, vaste et pointu.

Depuis 3 ans, il y aurait une légère reprise de l'industrie du ski suite à des efforts consentis pour innover, pour développer de nouveaux créneaux (planche à neige, mini-ski, parc à neige, snow scoot,...) afin non seulement de se démarquer par rapport à la concurrence mais aussi pour répondre à une clientèle de plus en plus exigeante et de plus en plus sélective.

Pour rendre cette activité plus abordable au niveau des tarifs et ainsi faciliter son accès à un plus large bassin de population, on voit apparaître des nouvelles campagnes de promotions comme par exemple la mise en place par l'ASSQ, du livret Passe Partout ces dernières années.

On constate également la nécessité de réinvestir dans les systèmes à neige qui commencent à être désuets, et que les coûts de fonctionnement et d'assurances sont de plus en plus élevés pour cette industrie.

Défis et opportunités :

- Des efforts sont faits pour aller chercher les jeunes afin de renouveler la clientèle :
 - développement de nombreuses écoles de ski offrant des formules de plus en plus variées,
 - un partenariat croissant avec les établissements scolaires,
 - la mise en place de nouvelles activités plus attractives pour les plus jeunes comme les parcs à neige,
 - un effort est fait également pour intégrer cette activité chez les immigrants et leurs enfants.
- Cette industrie bénéficie aussi du cycle des baby-boomers qui recommencent à skier avec leurs petits enfants (2 générations en même temps). L'amélioration des skis et de l'habillement a également favorisé l'arrivée d'une clientèle de plus de 55 ans.
- Il existe une prise de conscience qu'à long terme le contexte démographique peut devenir critique pour cette industrie.
- Il faut encourager le monde à sortir plus souvent en utilisant et en adaptant les outils : promotion, diversité des activités...
- Il faut capitaliser sur l'enneigement, sur l'entretien et le renouvellement du matériel.

Perceptions par rapport au changement climatique :

- Il semble apparaître une certaine perception/préoccupation climatique liée à la température surtout en début de saison.
 La nécessité d'avoir le plus possible de pistes enneigées pour la période des fêtes de Noël et de la nouvelle année, est très importante et pour certains, cela semble plus difficile qu'avant.
 Ainsi, l'impression que le début de saison est plus difficile avec plus d'irrégularités et de fluctuations dans les températures, et la nécessité accrue d'optimiser les fenêtres d'opportunités (périodes de froid) indispensables pour fabriquer de la neige a été notée plusieurs fois.

Il faut noter que la très grande majorité des stations visitées fonctionne presque exclusivement avec de la neige fabriquée.

- L'impression générale qu'il tombe beaucoup moins de neige naturelle et que les grosses tempêtes sont moins nombreuses, est souvent revenue dans les commentaires mais est également liée au contexte régional.
- L'allongement de la saison de ski est permis grâce à l'augmentation des investissements dans la technologie pour fabriquer de la neige à des températures se rapprochant du point de congélation. Les systèmes de fabrication de neige de plus en plus performants semblent les mettre à l'abri d'un changement climatique potentiel.
- Les variabilités pendant la saison, sont perçues de façons très différentes. Pour certains, elles sont peut-être un peu plus fréquentes, pour d'autres, elles ont toujours été présentes. Par exemple, il y a toujours eu une période de redoux et de pluie. Mais les impressions dépendent aussi des régions, les Laurentides ont fait face à plus de périodes de redoux que dans les Cantons de l'est ou la région Québec-Charlevoix ces dernières années. Néanmoins, un constat général fait l'unanimité : les pluies ont une conséquence immédiate sur le couvert neigeux. Les nouvelles fluctuations constatées sont souvent associées à l'idée récurrente d'un phénomène cyclique qui pourrait expliquer le constat d'une période avec plus de variabilités depuis environ 3 à 5 ans.
- On remarque le constat général d'une certaine vulnérabilité de cette activité aux températures.
- Certains pensent qu'il existe une certaine dramatisation médiatique par rapport au changement climatique qui pourrait influencer les jugements.
- L'équipement avec des canons à neige s'est faite dès les années 60 et n'a cessé de croître pour deux raisons : la neige a toujours été insuffisante dans certaines régions du Québec pour la pratique du ski (altitude) et en raison d'une augmentation de la popularité de cette activité qui compte actuellement de plus en plus de jours/ski.

- Une saison de ski dépend aujourd'hui beaucoup de la perception de la météo par les clients qui recherchent de plus en plus des conditions météorologiques idéales pour la pratique de cette activité. En ce qui concerne la diffusion de la météo, toutes les stations ont fait une critique très importante face aux prévisions trop souvent négatives des médias (gros problème du facteur éolien). Cette situation provoque une perte de jours skiables. L'influence des médias est tellement forte qu'ils contrôlent l'influence et l'affluence sur les activités de plein air.

De plus, on peut noter l'importance de la perception des gens sur le fait qu'ils associent souvent l'absence de neige à Montréal avec l'insuffisance de neige dans les stations.

Donc, des efforts sont faits pour encourager la clientèle à s'informer directement auprès de la station.

Caractéristiques des stations:

- Neige fabriquée = rentabilité (la neige naturelle demande plus de travail pour arriver aux conditions de la neige fabriquée). Elle est plus résistante que la neige naturelle.

Dépendamment des régions et du profil de la station, elle est capitale pour la plupart et elle est garante d'une saison plus longue pour d'autres notamment dans les stations qui fonctionnent encore essentiellement avec de la neige naturelle.

Constat : en moyenne $\frac{3}{4}$ des pistes sont enneigées avec de la neige fabriquée.

Période de fabrication : dès les premières fenêtres d'opportunités en novembre ou décembre jusqu'à la fin janvier.

- Pour fabriquer de la neige, les conditions nécessaires sont :
 - des températures froides, idéalement entre -10°C et -15°C , mais certains systèmes d'enneigement le permettent à partir de -2°C (fenêtres d'opportunités),
 - de l'eau,
 - taux d'humidité le plus faible possible.

Des investissements réguliers sont faits dans l'équipement pour fabriquer de la neige.

L'affinement de la technologie permet :

- de réduire les coûts en investissant dans du matériel moins énergivore,

- d'être plus productifs en réduisant le temps de fabrication de neige, permettant ainsi de pallier plus rapidement à d'éventuelles variabilités (pluie,...),
- et d'augmenter l'efficacité des périodes critiques.

En ce qui concerne la disponibilité en eau, il n'existe pas, d'une façon générale, de problème au niveau de l'approvisionnement. Malgré tout, ce constat est variable en fonction des besoins de la station et de ses sources d'approvisionnement en eau.

- Les stations constatent une exigence grandissante des clients en ce qui concerne l'esthétique, la qualité de la neige, la diversité des activités, la diversité des produits (forfaits, ski de soirée, soirée gratuite pour les dames, 2 pour 1...). Les stations ont sans cesse besoin de nouveautés pour conserver l'intérêt de la clientèle. Elles font aussi des efforts sur certains services pour fidéliser la clientèle (nourriture, stationnement, accueil...).
- Ouverture de la station :
 - elle doit se faire le plus vite possible car les skieurs veulent commencer plus tôt (pression sociale). Il existe un véritable engouement pour le début de la saison que les stations veulent exploiter.
 - elle est aussi directement liée à la présence de températures froides pendant un certain temps pour fabriquer la neige.
- Fermeture de la station : elle se fait généralement dans la première quinzaine d'avril et elle est souvent liée au manque d'intérêt des skieurs en fin de saison qui souhaitent commencer de nouvelles activités.
- Perte de jours skiabiles : elle est directement liée à la météo, à la vulnérabilité au vent, à la pluie, au froid intense et au verglas mais dans l'ensemble, l'industrie n'a pas remarqué de réelle augmentation du nombre de journées perdues. Il existe en revanche un lien direct avec la perte de jours skiabiles et la façon dont la météo est annoncée.
- Périodes importantes dans une saison : Noël, la relâche, les fins de semaine.

- Capacité d'hébergement dans la station : Il existe pour certaines grosses stations une volonté de développer de l'hébergement pour élargir son bassin de clientèle en dehors du local. Ces initiatives visent à répondre à une question de rentabilité.
- Présence d'autres activités hors saison : On constate le développement d'activités en dehors de la saison de ski (Parc Aquatique,...) pour pallier aux investissements importants liés au matériel pour fabriquer la neige, surtout dans les grosses stations mais cette idée émerge pour des plus petites stations.
- Compétition : Elle est surtout présente entre les stations présentant des similarités au niveau des équipements, des infrastructures d'accueil (stations municipales vs stations privées).

Tableau 3.36. Stations de ski interviewées dans chacune des régions

	Laurentides	Québec/Charlevoix	Cantons de l'est
Nombre de stations visitées	13	4	7
Nombre de stations équipées pour fabriquer de la neige	13	3	5
Hébergement sur place	6	0	2
Parc à neige	11	4	7
Stations 4 saisons	5	1	4

Conclusions :

- Les préoccupations économiques et sociales priment sur les préoccupations climatiques même si celles-ci ne sont pas complètement écartées. D'ailleurs, une analyse de la situation économique et sociale dans son ensemble a été faite dans toutes les stations qui ont déjà tiré un bilan par rapport au marché et à leur clientèle et qui ont établi une planification stratégique à moyen terme pour la station.
- Les orientations stratégiques vont vers une volonté de développer le ski d'automne pour des raisons de rentabilité. On a pu constater une pression plus importante en début de saison pour fabriquer de la neige et pour ouvrir la station en raison d'une demande grandissante pour cette période et d'une plus grande exigence de la clientèle pressée de débiter cette activité. Cette volonté d'allonger la saison au début se heurte à une préoccupation de plus en plus présente concernant la nécessaire présence de températures froides (fenêtres d'opportunités) pour la fabrication de la neige.
- La tendance générale va vers une augmentation de la neige fabriquée mais certaines stations font ressortir encore l'importance de la neige naturelle qui permet une certaine fidélisation de la clientèle grâce à l'excellente qualité de ski qu'elle procure et qui permet de se démarquer par rapport à la concurrence. Elle est devenue pour certains un outil de marketing alors que d'autres parlent seulement de cette neige naturelle comme étant un simple élément du décor mais tout de même très importante dans l'imaginaire des gens.
- De plus, dans l'ensemble bon nombre des stations souhaitent une croissance de leur domaine skiable avec une vision/perception relativement positive du marché. Cette augmentation est liée en grande partie à une amélioration ou à des investissements dans l'équipement pour la fabrication de neige. De même que pour certaines cette croissance repose sur le développement de l'hébergement pour accueillir un nombre croissant de visiteurs.
- La sensibilité au changement climatique est présente mais elle est souvent associée à du très long terme. D'autant plus que les conséquences de la variabilité climatique sur l'achalandage

et le coût de fonctionnement ne sont pas toujours mises en évidence et dépendent aussi du profil et de la situation géographique de la station. Il est donc difficile d'établir un degré de vulnérabilité exclusivement climatique car plusieurs facteurs (économiques, culturels, climatiques...) influencent à des degrés différents les stations en fonction de leur profil (la taille, la situation géographique, la clientèle ciblée, le bassin de population environnant).

- Le succès d'une bonne saison de ski pour l'industrie dépend beaucoup des conditions météorologiques favorables pendant la période de fêtes de fin d'année et les périodes de relâche scolaire. L'idée d'un étalement de la période de relâche au Québec favoriserait incontestablement cette industrie.

Quelques caractéristiques régionales :

Cantons de l'est : ils ont bénéficié de conditions hivernales favorables ces deux dernières années, avec une quantité de précipitations sous forme de neige et peu de variabilités climatiques.

On peut constater dans cette région la présence de stations fonctionnant encore avec presque exclusivement de la neige naturelle.

Laurentides : La neige naturelle est souvent perçue comme un élément du décor. Il n'existe aucune station fonctionnant seulement avec de la neige naturelle. Les préoccupations par rapport aux fenêtres d'opportunités nécessaires pour la fabrication de la neige sont très présentes.

Québec-Charlevoix : La neige naturelle est encore très importante dans le fonctionnement de la station. Il existe d'ailleurs quelques stations qui fonctionnent seulement avec de la neige naturelle.

SECTION 4 : SECTEUR DE GOLF

4.0. Secteur de golf

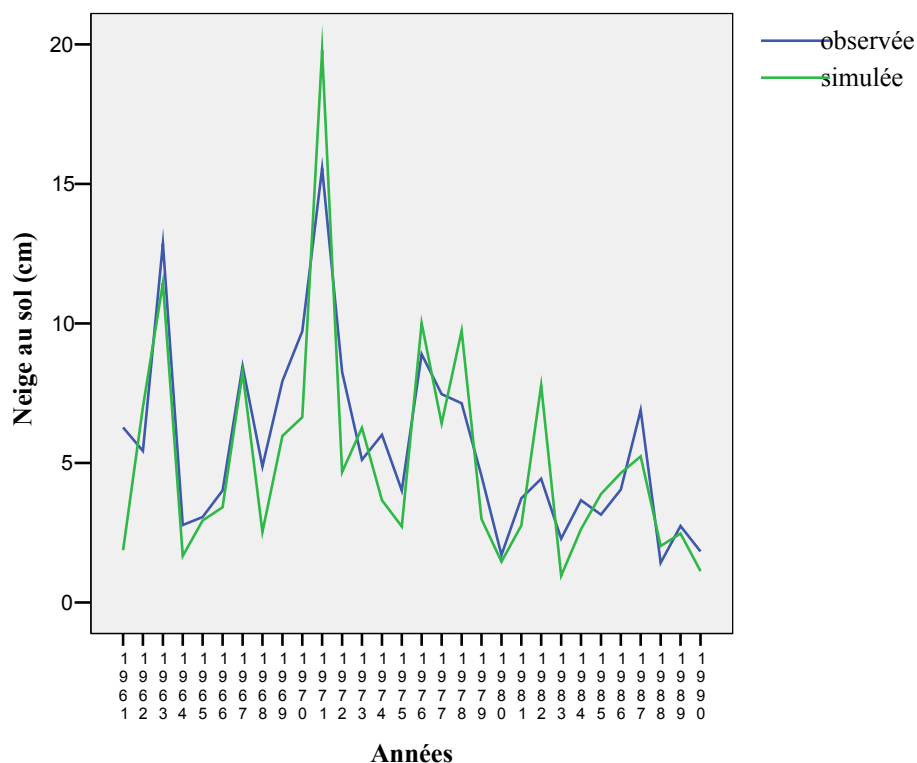
Dans cette section nous présentons les analyses et les résultats pour le secteur de golf. Ces analyses et résultats sont faits pour la saison de golf et pour la période hors saison d'hiver, étant donné que les éléments climatiques peuvent affecter la qualité des gazons des parcours et de verts.

Les indices agroclimatiques nous permettent de cerner les conditions auxquelles seront confrontées les espèces pendant la période hivernale. En calculant, par différents indices, les dommages causés soit par un couvert insuffisant de neige ou par de mauvaises conditions d'endurcissement pendant la période automnale, nous pouvons déterminer l'état de la végétation au printemps. Les espèces de gazons utilisées sur les terrains de golf peuvent subir des perturbations importantes, qui demandent des traitements particuliers pour qu'ils soient en bonne condition lors du début de la saison. En effet, la qualité des allées et des verts de golf va influencer la fréquentation et la réputation d'un centre.

4.1. Saison de golf: méthodes durant la saison

Étant donnée la variabilité interannuelle des saisons et des règles reposant sur un ensemble de paramètres, il fut nécessaire de créer un programme pour calculer les caractéristiques des saisons de ski et de golf (annexe 1). Il sert aussi à calculer la neige au sol. Ce paramètre connaît une certaine variation entre la simulation et l'observation (figure 2), ce qui peut causer des différences quant à la durée des saisons, qui est dépendante du couvert de neige. Pour remédier à cette situation, nous avons décidé de faire deux sections de résultats pour les données observées. Une première fois, les caractéristiques sont calculées à partir de la neige au sol observée avec les données manquantes remplacées par des données simulées. Elles sont ensuite calculées avec un couvert de neige complètement simulé, pour des fins de comparaison avec les périodes futures.

Figure 4.1. Comparaison entre le couvert de neige observé et simulé pour la période 1961-1990, station Montréal.



Aussi, suite aux rencontres avec les responsables de centres de golf, nous avons relevé les caractéristiques du début et de la fin de saison ainsi que les indices d'importances ayant une influence sur la fréquentation. Les règles suivantes ont été déterminées pour le début et la fin de la saison :

1. Début de la saison= couvert de neige < 1 cm pendant 10 jours consécutifs (selon analyse, il faut éviter qu'elle commence lors d'occurrence de fonte en hiver) et $t_{moyenne} > 10^{\circ}\text{C}$ (la journée de départ).
2. Fin de saison : première occurrence d'une température moyenne $< 10^{\circ}\text{C}$.

De plus, à l'intérieur de chaque saison, les caractéristiques suivantes sont calculées :

3. Quantité de pluie (mm) : somme des précipitations sous forme de pluie par saison et par mois.

4. Nombre de jours chauds ($t_{max} > 30$) : Il devient difficile de pratiquer le sport lors d'événement de chaleur intense. Cet indice est calculé par saison et par mois.
5. Nombre de jours chauds consécutifs ($t_{max} > 30$ pendant 3 jours) : cette variable exprime une canicule, elle est calculée par saison et par mois.
6. Nombre de jours de pluie : Le nombre de jours de pluie est calculé pour la saison.
7. Jours de pluie consécutifs (trois jours) : cette variable est calculée par mois et pour la saison.
8. Quantité de pluie (mm) : quantité des précipitations sous forme de pluie pendant la saison et par mois.
9. La moyenne des températures moyennes, minimales, maximales quotidiennes est calculée par mois et pour la saison.

4.2. Saison de golf: méthodes hors saison

Afin d'estimer les impacts des conditions climatiques hors saison, par exemple les temps doux en hiver et l'englacement des gazons, sur les terrains de golf nous avons utilisé le logiciel AgroX, formulés par les chercheurs d'agriculture Canada pour étudier les impacts des conditions climatiques automnales et hivernales sur la foin, une espèce assez proche des gazons utilisés sur les terrains de golf (*Poa annua*, *Creeping bent grass*) au Québec (Bélanger et al., 2001).

Les entrées du programme AgroX sont les températures minimales, maximales et moyennes et les précipitations sous forme de pluie et de neige quotidiennes. La simulation s'effectue du 1^{er} août au 31 juillet, dans le but d'obtenir la saison hivernale de chaque année au complet. Le fichier entré doit être de 365 jours : des ajustements ont été effectués en conséquence.

On partitionne les précipitations données par la mise en échelle statistique selon la formule suivante (Bélanger et al., 2001) :

$$F_s = (T_r - t_{max}) / (T_r - T_s)$$

$$F_r = 1 - F_s$$

Si $t_{\max} > T_r$, $F_s = 0$

Si $t_{\max} < T_s$, $F_s = 1$

Neige (cm) = précipitations totales $\cdot F_s \cdot 10$

Pluie (mm) = précipitations totales $\cdot F_r$

T_r est le seuil de T° pour la pluie ex.: Québec = $4,0^\circ\text{C}$

T_s est le seuil de T° pour la neige ex.: Québec = $0,0^\circ\text{C}$

Description des indices de AgroX

INDICES AUTOMNAUX

FH COLD= Somme des CDD5 (cold degree day 5) du jour 1 au jour 2 :

Jour 1 : Jour suivant le dernier jour où la somme des CDD5-GDD5 du premier août au jour de la 1^{ère} occurrence de $t_{\min} \leq -10^\circ\text{C} = 0$

Jour 2 : Jour précédant la première occurrence de $t_{\min} \leq -10^\circ\text{C}$

Cet indice nous informe les conditions de température pendant la période de refroidissement (fall) et reflète le durcissement (hardening) potentiel (racines et plantations).

FH RAIN= Somme des précipitations journalières du jour 1 au jour 2 - Durée de la phase de durcissement (jour 2 – jour 4).

Cet indice nous indique les conditions d'humidité pendant l'acquisition de la robustesse au froid (pendant la période de refroidissement).

INDICES HIVERNAUX

W THAW= Taux des GDD>0 pendant la période froide.

Le nombre de jours où la température est au dessus de 0°C nous informe sur la perte probable de robustesse des espèces.

W RAIN= Taux d'accumulation de pluie pendant la période froide.

Les précipitations hivernales peuvent causer la formation de glace à la surface du sol, conduisant à des dommages importants à la végétation.

W COLD = Nombre de jours avec un couvert de neige d'au moins 0,1m /durée de la période froide.

Cet indice ne pouvait être calculé avec AgroX. Il a donc été ajouté dans le programme en annexe1.

Cet indice reflète l'exposition directe des espèces au froid (lorsqu'il y a très peu de couverture de neige).

4.3. Saison de golf: Résultats-durant saison

Cette section présente les résultats portant sur les données et les indicateurs climatiques qui risquent d'avoir des impacts sur le golf à l'intérieur de la saison de pratique.

Parmi les statistiques présentées (Tableaux 4.1 à 4.32) figurent :

1. le nombre de jours chauds consécutifs.
2. le nombre de jours chauds consécutifs par mois (mai, juin, juillet, août et septembre).
3. le nombre de jours chauds.
4. le nombre de jours chauds par mois (mai, juin, juillet, août et septembre).
5. le nombre de jours de pluie.
7. les précipitations totales par mois (mai, juin, juillet, août et septembre).
8. la moyenne de la température moyenne quotidienne par mois (mai, juin, juillet, août et septembre).

9. la moyenne de la température minimum quotidienne par mois (mai, juin, juillet, août et septembre).
10. la moyenne de la température maximum quotidienne par mois (mai, juin, juillet, août et septembre).
12. le nombre de jours de pluie par mois (mai, juin, juillet, août et septembre).
13. le nombre de jours de pluie consécutifs par mois (mai, juin, juillet, août et septembre).
14. la durée de la saison de golf
15. le nombre de jours où la température minimum est au-dessus de 27 ° C.

Ces données sont présentes pour les villes choisies de chaque région, soit Montréal, La Macaza et Ste Hippolyte pour la région de Montréal-Laurentides, Sherbrooke, Lennoxville et Sutton pour les Cantons de l'Est et Grands fonds et la ville de Québec pour la région de Québec-Charlevoix.

De plus, les séries de données intègrent : les données observées et simulées (1961-1990) pour chaque station, ainsi que les projections pour les deux périodes futures (2010-2039 et 2040-2069) et selon les trois scénarios climatiques (CGCM1 et HadCM3 A et B).

**Tableau 4.1. Caractéristiques de la saison de golf selon les données observées
Grand Fonds 1961-1990. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison**

	couvert de neige observé	couvert de neige simulé		couvert de neige observé	couvert de neige simulé		couvert de neige observé	couvert de neige simulé
Nombre de jours chauds consécutifs	0.13	0.13	Total des précipitations en juillet (mm)	92.34	92.34	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	22.47	22.47
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.00	0.00	Total des précipitations en août (mm)	100.04	100.04	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	20.67	20.67
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.03	0.03	Total des précipitations en septembre (mm)	10.98	10.98	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	1.93	1.93
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.10	0.10	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	7.95	7.99	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	10.53	10.63
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.00	0.00	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	13.58	13.58	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	11.67	11.67
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.00	0.00	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	15.95	15.95	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	12.27	12.27
Nombre de jours chauds	1.07	1.07	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	13.70	13.70	Nombre de jours de pluie en août (mm)	12.90	12.90
Nombre de jours chauds en mai	0.10	0.10	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	1.13	1.13	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	1.30	1.30
Nombre de jours chauds en juin	0.27	0.27	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	1.44	1.42	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	1.53	1.53
Nombre de jours chauds en juillet	0.53	0.53	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	6.62	6.62	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	1.60	1.60
Nombre de jours chauds en août	0.17	0.17	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	9.19	9.19	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	1.33	1.33
Nombre de jours chauds en septembre	0.00	0.00	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	7.52	7.52	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	1.93	1.93
Nombre de jours de pluie	50.50	52.07	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	0.56	0.56	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.13	0.13
Total des précipitations en mai (mm)	86.37	86.71	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	13.63	13.69	Durée de la saison	133.60	138.20
Total des précipitations en juin (mm)	90.96	90.96	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	19.89	19.89	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.00	0.00

**Tableau 4.2. Caractéristiques de la saison de golf selon les données observées
Lennoxville 1961-1990. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison**

	couvert de neige observé	couvert de neige simulé		couvert de neige observé	couvert de neige simulé		couvert de neige observé	couvert de neige simulé
Nombre de jours chauds consécutifs	0.70	0.70	Total des précipitations en juillet (mm)	110.02	110.02	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	25.61	25.61
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.07	0.07	Total des précipitations en août (mm)	120.18	120.18	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	23.97	23.97
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.13	0.13	Total des précipitations en septembre (mm)	37.63	37.63	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	9.30	9.30
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.40	0.40	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	11.72	11.72	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	14.60	14.60
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.10	0.10	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	16.85	16.85	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	14.90	14.90
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.00	0.00	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	19.49	19.49	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	14.83	14.83
Nombre de jours chauds	6.17	6.17	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	18.13	18.13	Nombre de jours de pluie en août (mm)	14.87	14.87
Nombre de jours chauds en mai	0.60	0.60	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	6.77	6.77	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	5.77	5.77
Nombre de jours chauds en juin	1.37	1.37	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	5.14	5.14	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	2.80	2.80
Nombre de jours chauds en juillet	2.93	2.93	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	10.45	10.45	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	2.53	2.53
Nombre de jours chauds en août	1.13	1.13	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	13.34	13.34	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	2.30	2.30
Nombre de jours chauds en septembre	0.13	0.13	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	12.24	12.24	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	2.20	2.20
Nombre de jours de pluie	73.67	76.03	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	4.22	4.22	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.80	0.80
Total des précipitations en mai (mm)	93.32	93.32	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	18.26	18.26	Durée de la saison	157.07	161.77
Total des précipitations en juin (mm)	98.81	98.81	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	23.21	23.21	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.00	0.00

Tableau 4.3. Caractéristiques de la saison de golf selon les données observées
La Macaza 1961-1990. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	couvert de neige observé	couvert de neige simulé		couvert de neige observé	couvert de neige simulé		couvert de neige observé	couvert de neige simulé
Nombre de jours chauds consécutifs	0.60	0.60	Total des précipitations en juillet (mm)	115.38	115.38	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	24.80	24.80
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.13	0.13	Total des précipitations en août (mm)	97.56	97.56	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	22.54	22.54
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.23	0.23	Total des précipitations en septembre (mm)	27.59	27.59	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	5.63	5.63
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.20	0.20	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	10.37	10.37	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	11.20	11.20
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.03	0.03	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	15.29	15.29	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	12.67	12.67
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.00	0.00	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	17.85	17.85	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	12.47	12.47
Nombre de jours chauds	4.87	4.87	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	16.10	16.10	Nombre de jours de pluie en août (mm)	12.37	12.37
Nombre de jours chauds en mai	0.67	0.67	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	3.97	3.97	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	3.43	3.43
Nombre de jours chauds en juin	1.43	1.43	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	2.75	2.75	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	1.63	1.63
Nombre de jours chauds en juillet	2.07	2.07	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	7.95	7.95	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	2.17	2.17
Nombre de jours chauds en août	0.57	0.57	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	10.90	10.90	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	1.70	1.70
Nombre de jours chauds en septembre	0.13	0.13	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	9.67	9.67	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	1.47	1.47
Nombre de jours de pluie	59.47	60.23	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	2.32	2.32	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.30	1.67
Total des précipitations en mai (mm)	80.54	80.54	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	17.99	17.99	Durée de la saison	183.10	184.87
Total des précipitations en juin (mm)	102.56	102.56	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	22.63	22.63	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.00	0.00

**Tableau 4.4 Caractéristiques de la saison de golf selon les données observées
St-Hippolyte 1961-1990.** Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	couvert de neige observé	couvert de neige simulé		couvert de neige observé	couvert de neige simulé		couvert de neige observé	couvert de neige simulé
Nombre de jours chauds consécutifs	0.23	0.23	Total des précipitations en juillet (mm)	130.00	130.00	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	24.33	24.33
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.03	0.03	Total des précipitations en août (mm)	99.40	99.40	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	21.08	21.08
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.07	0.07	Total des précipitations en septembre (mm)	24.44	24.44	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	6.79	6.79
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.13	0.13	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	9.87	9.87	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	12.50	12.50
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.00	0.00	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	14.31	14.31	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	13.57	13.57
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.00	0.00	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	17.08	17.08	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	12.83	12.83
Nombre de jours chauds	2.70	2.70	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	15.81	15.81	Nombre de jours de pluie en août (mm)	13.67	13.67
Nombre de jours chauds en mai	0.43	0.43	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	5.85	5.85	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	4.33	4.33
Nombre de jours chauds en juin	0.57	0.57	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	4.58	4.58	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	2.27	2.23
Nombre de jours chauds en juillet	1.33	1.33	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	10.35	10.35	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	2.50	2.50
Nombre de jours chauds en août	0.33	0.33	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	12.86	12.86	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	1.33	1.33
Nombre de jours chauds en septembre	0.03	0.03	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	11.45	11.45	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	1.87	1.87
Nombre de jours de pluie	62.70	64.53	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	3.58	3.58	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.53	0.53
Total des précipitations en mai (mm)	76.17	76.17	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	15.85	15.85	Durée de la saison	150.47	154.90
Total des précipitations en juin (mm)	97.33	97.33	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	20.70	20.70	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.00	0.00

**Tableau 4.5. Caractéristiques de la saison de golf selon les données observées
Montréal 1961-1990. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison**

	couvert de neige observé	couvert de neige simulé		couvert de neige observé	couvert de neige simulé		couvert de neige observé	couvert de neige simulé
Nombre de jours chauds consécutifs	0.90	0.90	Total des précipitations en juillet (mm)	86.04	86.04	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	26.22	26.22
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.07	0.07	Total des précipitations en août (mm)	100.72	100.72	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	24.60	24.60
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.13	0.13	Total des précipitations en septembre (mm)	56.10	56.10	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	13.08	13.08
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.50	0.50	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	12.95	12.95	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	17.40	17.40
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.17	0.17	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	18.00	18.00	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	16.70	16.70
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.03	0.03	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	20.85	20.85	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	16.00	16.00
Nombre de jours chauds	7.90	7.90	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	19.39	19.39	Nombre de jours de pluie en août (mm)	17.20	17.20
Nombre de jours chauds en mai	0.60	0.60	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	9.84	9.84	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	8.97	8.97
Nombre de jours chauds en juin	1.47	1.47	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	7.31	7.31	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	3.87	3.87
Nombre de jours chauds en juillet	3.63	3.63	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	12.51	12.51	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	3.43	3.43
Nombre de jours chauds en août	1.80	1.80	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	15.42	15.42	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	2.73	2.73
Nombre de jours chauds en septembre	0.40	0.40	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	14.12	14.12	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	3.03	3.03
Nombre de jours de pluie	88.87	89.47	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	6.56	6.56	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	1.77	1.77
Total des précipitations en mai (mm)	67.10	67.10	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	18.53	18.53	Durée de la saison	166.07	167.50
Total des précipitations en juin (mm)	82.88	82.88	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	23.45	23.45	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.00	0.00

**Tableau 4.6. Caractéristiques de la saison de golf selon les données observées
Québec 1961-1990.** Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	couvert de neige observé	couvert de neige simulé		couvert de neige observé	couvert de neige simulé		couvert de neige observé	couvert de neige simulé
Nombre de jours chauds consécutifs	0.47	0.47	Total des précipitations en juillet (mm)	114.55	114.55	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	24.91	24.91
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.07	0.07	Total des précipitations en août (mm)	114.36	114.36	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	23.14	23.14
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.10	0.10	Total des précipitations en septembre (mm)	50.45	50.45	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	7.51	7.51
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.23	0.23	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	10.78	10.79	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	13.77	13.80
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.07	0.07	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	16.28	16.28	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	13.13	13.13
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.00	0.00	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	19.07	19.07	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	13.33	13.33
Nombre de jours chauds	4.33	4.33	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	17.60	17.60	Nombre de jours de pluie en août (mm)	13.97	13.97
Nombre de jours chauds en mai	0.43	0.43	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	5.51	5.51	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	5.13	5.13
Nombre de jours chauds en juin	0.97	0.97	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	4.86	4.86	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	2.43	2.43
Nombre de jours chauds en juillet	2.17	2.17	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	10.30	10.30	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	1.83	1.83
Nombre de jours chauds en août	0.70	0.70	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	13.17	13.17	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	1.67	1.67
Nombre de jours chauds en septembre	0.07	0.07	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	12.01	12.01	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	2.07	2.07
Nombre de jours de pluie	63.67	66.07	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	3.48	3.48	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.87	0.87
Total des précipitations en mai (mm)	101.91	101.92	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	16.66	16.68	Durée de la saison	145.93	152.80
Total des précipitations en juin (mm)	104.86	104.86	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	22.22	22.22	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.00	0.00

**Tableau 4.7. Caractéristiques de la saison de golf selon les données observées
Sherbrooke 1961-1990. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison**

	couvert de neige observé	couvert de neige simulé		couvert de neige observé	couvert de neige simulé		couvert de neige observé	couvert de neige simulé
Nombre de jours chauds consécutifs	0.37	0.37	Total des précipitations en juillet (mm)	115.19	115.19	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	24.71	24.71
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.03	0.03	Total des précipitations en août (mm)	129.34	129.34	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	23.10	23.10
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.03	0.03	Total des précipitations en septembre (mm)	32.25	32.25	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	6.48	6.48
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.23	0.23	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	10.84	10.84	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	13.93	13.93
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.07	0.07	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	15.60	15.60	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	14.20	14.20
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.00	0.00	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	18.11	18.11	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	14.13	14.13
Nombre de jours chauds	3.53	3.53	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	16.75	16.75	Nombre de jours de pluie en août (mm)	14.73	14.73
Nombre de jours chauds en mai	0.47	0.47	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	4.59	4.59	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	4.00	4.00
Nombre de jours chauds en juin	0.73	0.73	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	3.96	3.96	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	2.47	2.47
Nombre de jours chauds en juillet	1.73	1.73	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	8.81	8.81	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	2.40	2.40
Nombre de jours chauds en août	0.53	0.53	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	11.47	11.47	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	1.97	1.97
Nombre de jours chauds en septembre	0.07	0.07	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	10.35	10.35	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	2.23	2.23
Nombre de jours de pluie	68.13	69.57	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	2.69	2.69	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.63	0.63
Total des précipitations en mai (mm)	90.96	90.96	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	17.67	17.68	Durée de la saison	151.17	155.07
Total des précipitations en juin (mm)	99.46	99.46	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	22.34	22.34	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.00	0.00

Tableau 4.8. Caractéristiques de la saison de golf selon les données observées Sutton 1961-1990. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	couvert de neige observé	couvert de neige simulé		couvert de neige observé	couvert de neige simulé		couvert de neige observé	couvert de neige simulé
Nombre de jours chauds consécutifs	0.30	0.30	Total des précipitations en juillet (mm)	123.84	123.84	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	25.24	25.24
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.00	0.00	Total des précipitations en août (mm)	134.64	134.64	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	23.45	23.45
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.07	0.07	Total des précipitations en septembre (mm)	41.36	41.36	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	8.81	8.81
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.20	0.20	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	12.10	12.10	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	13.70	13.70
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.03	0.03	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	16.98	16.98	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	12.80	12.80
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.00	0.00	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	19.67	19.67	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	13.30	13.30
Nombre de jours chauds	3.60	3.60	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	18.22	18.22	Nombre de jours de pluie en août (mm)	13.83	13.83
Nombre de jours chauds en mai	0.40	0.40	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	6.62	6.62	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	4.87	4.87
Nombre de jours chauds en juin	0.63	0.63	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	6.19	6.19	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	2.67	2.67
Nombre de jours chauds en juillet	1.93	1.93	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	11.23	11.23	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	1.97	1.97
Nombre de jours chauds en août	0.57	0.57	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	14.06	14.06	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	1.63	1.63
Nombre de jours chauds en septembre	0.07	0.07	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	12.94	12.94	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	2.03	2.03
Nombre de jours de pluie	66.73	67.00	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	4.41	4.41	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.53	0.53
Total des précipitations en mai (mm)	97.71	97.71	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	17.97	17.97	Durée de la saison	159.67	160.77
Total des précipitations en juin (mm)	102.53	102.53	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	22.68	22.68	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.00	0.00

Tableau 4.9 Caractéristiques de la saison de golf selon les données du modèle CGCM 1, après downscaling
Grand Fonds. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069
Nombre de jours chauds consécutifs	0.13	0.83	2.17	Total des précipitations en juillet (mm)	78.60	92.69	97.17	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	24.70	26.47	27.98
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.00	0.00	0.00	Total des précipitations en août (mm)	137.42	172.56	190.31	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	24.01	25.48	26.69
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.00	0.07	0.20	Total des précipitations en septembre (mm)	6.65	8.03	20.02	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	1.83	2.07	3.18
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.10	0.50	1.33	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	4.86	5.66	6.78	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	4.03	4.50	5.70
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.03	0.27	0.63	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	13.02	13.81	13.83	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	6.17	6.03	6.93
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.00	0.00	0.00	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	15.73	16.73	17.29	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	7.13	8.23	9.30
Nombre de jours chauds	8.57	15.50	23.13	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	14.32	15.11	14.88	Nombre de jours de pluie en août (mm)	9.57	11.60	12.87
Nombre de jours chauds en mai	0.20	0.17	0.30	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	0.95	1.07	1.68	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	0.50	0.60	1.33
Nombre de jours chauds en juin	1.23	2.70	3.63	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	0.35	0.63	0.67	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	0.10	0.07	0.23
Nombre de jours chauds en juillet	3.77	7.03	10.20	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	3.66	4.23	4.96	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	0.20	0.27	0.47
Nombre de jours chauds en août	3.33	5.50	8.57	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	8.36	10.45	11.74	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	0.30	0.43	0.77
Nombre de jours chauds en septembre	0.03	0.10	0.43	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	7.98	9.62	10.71	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	0.70	0.80	1.43
Nombre de jours de pluie	27.53	31.20	36.43	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	0.49	0.54	0.89	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.00	0.07	0.20
Total des précipitations en mai (mm)	46.47	62.12	69.86	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	8.49	9.63	11.49	Durée de la saison	118.50	120.87	124.43
Total des précipitations en juin (mm)	81.40	67.39	81.39	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	18.49	20.70	22.30	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.00	0.20	0.10

**Tableau 4.10. Caractéristiques de la saison de golf selon les données du modèle CGCM 1, après downscaling
La Macaza.** Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069
Nombre de jours chauds consécutifs	0.50	1.90	3.20	Total des précipitations en juillet (mm)	94.23	97.81	101.61	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	22.59	23.85	24.91
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.00	0.00	0.00	Total des précipitations en août (mm)	94.10	93.60	100.22	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	21.22	24.50	28.18
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.10	0.20	0.23	Total des précipitations en septembre (mm)	39.80	74.08	89.72	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	6.01	9.44	10.63
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.27	0.73	1.23	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	7.09	8.75	8.57	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	9.00	8.77	9.13
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.13	0.93	1.60	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	11.55	10.42	9.83	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	9.20	8.53	7.77
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.00	0.03	0.13	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	17.28	20.26	20.98	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	11.23	10.17	10.50
Nombre de jours chauds	9.80	18.27	26.40	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	17.04	19.65	19.44	Nombre de jours de pluie en août (mm)	10.60	10.90	11.40
Nombre de jours chauds en mai	0.20	0.17	0.23	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	4.21	6.54	8.00	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	4.60	8.63	9.33
Nombre de jours chauds en juin	1.37	2.10	3.17	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	1.48	1.89	2.50	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	0.87	0.63	0.57
Nombre de jours chauds en juillet	4.63	7.47	10.47	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	5.17	5.51	8.22	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	0.87	0.63	0.67
Nombre de jours chauds en août	3.43	7.50	10.73	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	13.18	14.34	14.37	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	1.27	0.70	0.90
Nombre de jours chauds en septembre	0.17	1.03	1.80	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	11.88	14.01	15.14	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	1.07	1.27	1.23
Nombre de jours de pluie	45.73	50.73	54.27	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	2.43	4.55	5.24	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.57	0.97	1.50
Total des précipitations en mai (mm)	90.59	79.91	76.98	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	13.73	13.84	15.82	Durée de la saison	134.17	148.03	158.13
Total des précipitations en juin (mm)	62.28	45.27	49.01	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	14.65	14.21	15.19	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.27	0.73	1.10

**Tableau 4.11. Caractéristiques de la saison de golf selon les données du modèle CGCM 1, après downscaling
Lennoxville.** Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069
Nombre de jours chauds consécutifs	1.50	3.73	6.23	Total des précipitations en juillet (mm)	148.62	131.17	137.30	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	27.06	28.43	29.56
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.03	0.00	0.00	Total des précipitations en août (mm)	122.02	123.66	119.10	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	26.26	28.58	29.49
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.17	0.37	0.63	Total des précipitations en septembre (mm)	24.43	37.49	48.68	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	11.84	17.78	21.73
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.73	1.33	2.73	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	9.92	10.24	11.35	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	12.67	11.30	11.57
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.53	1.87	2.40	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	16.55	17.24	18.64	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	15.60	13.73	13.93
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.03	0.17	0.47	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	20.96	22.33	23.56	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	14.57	13.53	13.37
Nombre de jours chauds	14.40	26.50	36.80	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	19.97	22.27	23.43	Nombre de jours de pluie en août (mm)	13.50	12.23	12.67
Nombre de jours chauds en mai	0.57	0.27	0.80	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	8.34	12.80	15.70	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	3.97	5.47	6.03
Nombre de jours chauds en juin	2.20	2.80	4.33	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	3.27	3.46	4.39	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	1.60	0.90	1.13
Nombre de jours chauds en juillet	6.20	9.97	13.93	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	10.19	10.84	12.24	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	2.37	1.60	2.33
Nombre de jours chauds en août	4.80	10.57	13.70	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	14.86	16.22	17.55	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	1.93	1.73	1.53
Nombre de jours chauds en septembre	0.63	2.90	3.97	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	13.68	15.96	17.37	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	1.60	1.07	1.57
Nombre de jours de pluie	66.73	63.87	67.33	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	4.84	7.81	9.66	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.43	0.37	0.37
Total des précipitations en mai (mm)	83.25	75.76	77.41	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	16.58	17.01	18.30	Durée de la saison	154.63	163.40	173.83
Total des précipitations en juin (mm)	145.58	155.83	135.18	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	22.90	23.64	25.04	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.13	0.67	1.20

Tableau 4.12. Caractéristiques de la saison de golf selon les données du modèle CGCM 1, après downscaling
Montréal. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069
Nombre de jours chauds consécutifs	2.07	5.27	8.50	Total des précipitations en juillet (mm)	122.53	119.91	110.00	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	28.01	29.32	30.59
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.03	0.00	0.03	Total des précipitations en août (mm)	117.25	117.29	123.05	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	28.01	29.40	30.78
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.20	0.43	1.10	Total des précipitations en septembre (mm)	78.61	86.91	89.23	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	17.52	22.54	23.16
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.83	2.70	3.50	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	10.22	11.00	12.44	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	12.33	13.20	13.67
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.97	1.97	3.43	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	17.58	18.99	20.28	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	13.60	12.97	12.87
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.03	0.17	0.43	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	22.43	23.65	24.97	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	15.13	14.87	13.77
Nombre de jours chauds	22.83	35.60	49.03	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	22.38	23.79	24.95	Nombre de jours de pluie en août (mm)	13.80	13.90	14.33
Nombre de jours chauds en mai	0.60	0.57	0.77	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	13.14	17.09	17.47	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	9.17	9.90	10.40
Nombre de jours chauds en juin	3.03	4.43	7.97	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	5.22	5.98	6.97	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	1.40	1.70	1.80
Nombre de jours chauds en juillet	8.17	13.53	17.30	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	12.01	13.16	14.43	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	1.93	2.07	1.70
Nombre de jours chauds en août	9.33	13.53	17.43	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	16.63	17.77	18.93	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	2.40	2.27	1.73
Nombre de jours chauds en septembre	1.70	3.53	5.57	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	16.27	17.77	18.87	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	1.60	1.63	2.07
Nombre de jours de pluie	69.43	73.27	77.37	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	8.60	11.57	12.05	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	1.23	1.00	0.93
Total des précipitations en mai (mm)	59.04	67.11	68.67	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	15.21	16.30	17.91	Durée de la saison	161.20	174.37	182.83
Total des précipitations en juin (mm)	97.31	97.94	95.07	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	23.02	24.47	26.29	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.00	0.20	0.53

Tableau 4.13. Caractéristiques de la saison de golf selon les données du modèle CGCM 1, après downscaling Sherbrooke. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	1961-1990	2010-2039	2040-2069		1961-1990	2010-2039	2040-2069		1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours chauds consécutifs	0.70	2.87	6.03	Total des précipitations en juillet (mm)	169.16	197.33	198.65	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	18.91	27.40	28.99
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.00	0.03	0.03	Total des précipitations en août (mm)	173.82	170.79	195.74	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	25.01	26.73	28.88
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.10	0.10	0.40	Total des précipitations en septembre (mm)	59.50	93.18	104.47	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	8.36	11.27	16.76
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.37	1.27	2.87	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	7.01	7.64	9.42	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	10.70	12.17	14.20
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.23	1.47	2.43	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	9.42	11.02	13.11	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	11.27	12.83	13.90
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.00	0.00	0.30	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	16.08	18.75	18.81	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	14.93	16.80	17.97
Nombre de jours chauds	15.40	26.87	38.83	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	16.56	19.77	20.73	Nombre de jours de pluie en août (mm)	14.20	15.17	16.77
Nombre de jours chauds en mai	0.53	0.50	1.03	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	6.27	8.84	9.49	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	7.10	11.17	12.13
Nombre de jours chauds en juin	1.37	2.77	4.93	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	1.82	2.48	2.89	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	1.23	1.47	2.00
Nombre de jours chauds en juillet	5.97	9.93	14.93	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	4.73	5.64	6.44	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	1.03	1.30	1.83
Nombre de jours chauds en août	6.70	11.60	14.27	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	10.59	11.11	13.63	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	2.27	2.87	3.30
Nombre de jours chauds en septembre	0.83	2.07	3.63	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	10.14	12.79	13.04	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	1.83	2.03	2.50
Nombre de jours de pluie	59.87	72.60	81.97	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	3.52	4.77	6.40	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.83	1.90	2.03
Total des précipitations en mai (mm)	73.64	84.01	103.04	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	12.12	13.21	13.86	Durée de la saison	140.93	155.70	163.73
Total des précipitations en juin (mm)	88.78	97.75	110.96	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	14.78	13.94	17.75	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.00	0.00	0.00

Tableau 4.14. Caractéristiques de la saison de golf selon les données du modèle CGCM 1, après downscaling St-Hippolyte. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	1961-1990	2010-2039	2040-2069		1961-1990	2010-2039	2040-2069		1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours chauds consécutifs	0.87	1.47	2.77	Total des précipitations en juillet (mm)	92.59	119.42	127.17	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	25.97	26.99	28.55
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.00	0.00	0.00	Total des précipitations en août (mm)	125.30	144.78	164.47	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	25.42	26.70	27.96
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.03	0.10	0.20	Total des précipitations en septembre (mm)	54.67	73.15	96.62	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	10.13	14.41	17.38
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.50	0.50	1.33	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	7.52	8.73	10.22	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	6.20	7.63	9.60
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.33	0.83	1.10	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	15.36	16.88	18.04	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	8.03	10.23	10.67
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.00	0.03	0.13	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	20.10	21.46	22.79	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	8.73	10.80	11.37
Nombre de jours chauds	15.57	21.87	31.40	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	19.46	21.09	22.12	Nombre de jours de pluie en août (mm)	11.33	11.97	12.50
Nombre de jours chauds en mai	0.47	0.40	0.93	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	7.62	10.98	13.39	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	3.97	5.77	7.60
Nombre de jours chauds en juin	2.27	3.70	5.43	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	3.50	4.14	4.98	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	0.33	0.43	0.60
Nombre de jours chauds en juillet	5.73	7.63	11.37	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	9.83	11.08	12.08	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	0.43	0.80	0.97
Nombre de jours chauds en août	6.33	8.80	11.13	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	14.21	15.43	16.35	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	0.37	0.80	1.03
Nombre de jours chauds en septembre	0.77	1.33	2.47	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	13.67	15.22	16.15	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	0.73	0.97	1.23
Nombre de jours de pluie	38.43	47.70	54.00	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	4.84	7.19	8.74	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.30	0.53	0.83
Total des précipitations en mai (mm)	59.69	98.65	115.34	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	11.40	12.97	15.50	Durée de la saison	129.90	139.90	149.90
Total des précipitations en juin (mm)	81.04	114.87	119.34	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	21.12	22.69	24.06	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.00	0.07	0.13

Tableau 4.15. Caractéristiques de la saison de golf selon les données du modèle CGCM 1, après downscaling Sutton. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	1961-1990	2010-2039	2040-2069		1961-1990	2010-2039	2040-2069		1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours chauds consécutifs	1.73	3.27	7.37	Total des précipitations en juillet (mm)	116.24	149.21	146.45	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	27.32	28.90	30.50
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.00	0.00	0.00	Total des précipitations en août (mm)	159.32	178.20	184.78	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	27.11	28.70	29.84
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.13	0.33	0.63	Total des précipitations en septembre (mm)	57.31	107.66	126.64	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	13.39	18.09	21.33
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.83	1.67	3.67	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	8.82	9.80	11.42	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	9.17	10.27	10.80
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.73	1.17	2.53	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	15.38	17.02	18.59	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	7.93	8.60	10.23
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.03	0.10	0.53	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	20.93	22.45	23.91	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	9.53	10.67	10.37
Nombre de jours chauds	18.23	30.17	44.77	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	21.01	22.76	23.79	Nombre de jours de pluie en août (mm)	10.27	11.40	11.80
Nombre de jours chauds en mai	0.47	0.43	0.83	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	9.75	13.38	15.71	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	4.77	6.83	8.90
Nombre de jours chauds en juin	1.90	3.83	5.87	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	3.55	4.56	5.60	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	0.63	0.87	0.93
Nombre de jours chauds en juillet	6.93	11.73	17.10	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	10.07	11.34	12.64	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	0.47	0.50	1.23
Nombre de jours chauds en août	7.77	11.10	15.23	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	14.94	16.39	17.69	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	0.70	1.00	0.77
Nombre de jours chauds en septembre	1.17	3.03	5.43	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	15.28	16.94	18.17	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	0.73	0.63	0.97
Nombre de jours de pluie	45.40	52.97	59.53	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	6.23	8.52	10.27	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.30	0.60	0.93
Total des précipitations en mai (mm)	90.23	97.03	106.56	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	14.15	15.45	17.28	Durée de la saison	156.97	167.27	174.93
Total des précipitations en juin (mm)	88.87	121.54	141.38	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	21.60	23.49	25.28	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.00	0.33	0.77

Tableau 4.16. Caractéristiques de la saison de golf selon les données du modèle CGCM 1, après downscaling Québec. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069
Nombre de jours chauds consécutifs	1.17	2.37	5.07	Total des précipitations en juillet (mm)	123.48	137.69	158.43	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	27.34	28.84	30.23
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.00	0.00	0.00	Total des précipitations en août (mm)	125.48	146.76	161.04	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	26.76	28.26	29.10
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.20	0.23	0.63	Total des précipitations en septembre (mm)	66.14	92.92	116.46	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	13.18	16.24	20.20
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.53	1.33	2.73	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	6.43	8.05	9.63	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	6.10	7.53	9.30
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.40	0.77	1.60	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	15.46	16.99	18.51	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	8.60	9.00	11.03
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.03	0.03	0.10	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	20.94	22.35	23.72	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	10.80	11.83	13.37
Nombre de jours chauds	20.37	29.00	41.00	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	20.26	21.75	22.77	Nombre de jours de pluie en août (mm)	11.43	12.43	13.30
Nombre de jours chauds en mai	0.70	0.63	1.30	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	9.48	11.80	14.73	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	6.10	8.53	10.93
Nombre de jours chauds en juin	3.30	4.53	7.07	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	2.61	3.38	4.31	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	0.43	0.53	0.80
Nombre de jours chauds en juillet	8.00	11.47	16.13	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	9.17	10.19	11.26	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	0.63	0.70	1.23
Nombre de jours chauds en août	7.30	10.40	12.93	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	14.05	15.50	16.66	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	0.80	1.07	1.50
Nombre de jours chauds en septembre	1.07	1.97	3.57	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	13.61	15.00	15.82	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	1.03	1.30	1.40
Nombre de jours de pluie	43.10	49.97	59.57	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	5.69	7.30	9.13	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.53	0.93	1.43
Total des précipitations en mai (mm)	51.41	65.60	81.61	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	10.32	12.09	15.04	Durée de la saison	130.50	138.13	149.00
Total des précipitations en juin (mm)	90.32	97.72	123.77	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	21.60	23.64	25.46	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.00	0.00	0.00

Tableau 4.17. Caractéristiques de la saison de golf selon les données du modèle HadCM3 a, après downscaling
Grand Fonds. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069
Nombre de jours chauds consécutifs	0.10	0.37	2.03	Total des précipitations en juillet (mm)	94.11	105.31	102.79	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	22.79	24.97	27.51
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.00	0.00	0.00	Total des précipitations en août (mm)	135.71	124.85	128.74	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	20.55	23.16	24.74
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.03	0.03	0.23	Total des précipitations en septembre (mm)	5.72	10.30	10.24	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	1.25	1.74	1.85
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.07	0.30	1.55	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	8.01	8.78	9.79	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	7.90	7.57	7.65
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.00	0.03	0.26	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	13.70	13.69	14.13	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	8.90	8.23	9.06
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.00	0.00	0.00	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	15.70	16.16	17.36	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	8.77	9.90	9.74
Nombre de jours chauds	2.90	7.63	16.61	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	13.78	14.51	14.91	Nombre de jours de pluie en août (mm)	9.10	9.40	9.32
Nombre de jours chauds en mai	0.03	0.10	0.39	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	0.71	0.99	1.02	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	0.50	0.80	0.71
Nombre de jours chauds en juin	0.70	1.40	3.32	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	0.47	0.74	1.24	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	0.53	0.50	0.29
Nombre de jours chauds en juillet	1.70	4.63	9.48	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	4.18	4.48	5.13	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	0.57	0.63	0.74
Nombre de jours chauds en août	0.47	1.50	3.35	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	7.65	8.93	12.06	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	0.47	0.77	0.61
Nombre de jours chauds en septembre	0.00	0.00	0.06	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	5.57	7.12	8.43	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	0.87	1.03	0.55
Nombre de jours de pluie	38.43	40.20	41.71	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	0.32	0.50	0.51	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.00	0.03	0.06
Total des précipitations en mai (mm)	84.75	83.21	86.97	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	13.96	15.85	17.43	Durée de la saison	137.60	143.20	145.39
Total des précipitations en juin (mm)	97.99	95.68	103.93	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	19.96	20.80	23.13	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.00	0.13	0.47

Tableau 4.18 Caractéristiques de la saison de golf selon les données du modèle HadCM3 b, après downscaling
Grand Fonds. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069
Nombre de jours chauds consécutifs	0.03	0.27	1.03	Total des précipitations en juillet (mm)	92.19	103.68	99.32	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	22.79	24.97	27.51
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.00	0.00	0.00	Total des précipitations en août (mm)	145.17	133.37	119.68	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	20.55	23.16	24.74
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.00	0.07	0.32	Total des précipitations en septembre (mm)	8.62	8.30	8.62	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	1.25	1.74	1.85
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.03	0.17	0.55	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	8.09	8.80	9.80	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	6.67	7.43	7.52
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.00	0.03	0.16	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	13.33	13.76	14.22	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	8.33	8.33	8.13
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.00	0.00	0.00	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	15.81	16.53	16.75	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	9.37	10.07	9.52
Nombre de jours chauds	2.97	7.53	12.84	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	13.86	14.27	15.22	Nombre de jours de pluie en août (mm)	10.47	10.07	9.32
Nombre de jours chauds en mai	0.10	0.03	0.26	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	0.69	1.10	0.96	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	0.57	0.63	0.58
Nombre de jours chauds en juin	0.77	1.90	3.65	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	0.42	0.87	1.12	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	0.33	0.53	0.42
Nombre de jours chauds en juillet	1.77	4.43	6.48	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	4.40	4.78	5.53	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	0.80	0.40	0.35
Nombre de jours chauds en août	0.33	1.17	2.45	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	7.27	9.92	10.88	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	0.60	0.93	0.58
Nombre de jours chauds en septembre	0.00	0.00	0.00	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	5.57	7.12	8.43	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	0.77	0.61	1.07
Nombre de jours de pluie	38.80	41.37	39.87	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	0.32	0.50	0.51	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.10	0.06	0.10
Total des précipitations en mai (mm)	76.57	79.29	85.37	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	13.96	15.85	17.43	Durée de la saison	145.17	146.23	150.13
Total des précipitations en juin (mm)	90.96	91.63	92.66	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	19.96	20.80	23.13	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.03	0.07	0.07

Tableau 4.19. Caractéristiques de la saison de golf selon les données du modèle HadCM3 a, après downscaling
La Macaza. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069
Nombre de jours chauds consécutifs	0.57	1.33	3.87	Total des précipitations en juillet (mm)	141.21	154.47	150.12	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	24.96	26.59	28.89
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.03	0.07	0.06	Total des précipitations en août (mm)	114.28	108.08	105.98	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	22.48	24.63	26.48
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.07	0.07	0.52	Total des précipitations en septembre (mm)	22.36	49.31	38.49	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	3.77	8.07	8.36
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.27	0.70	2.06	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	10.36	11.99	13.49	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	8.63	8.53	8.06
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.13	0.43	1.16	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	15.26	16.29	18.05	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	8.77	9.30	9.65
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.07	0.07	0.06	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	18.06	19.60	22.17	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	10.67	11.47	11.26
Nombre de jours chauds	9.37	16.57	30.58	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	15.71	17.84	19.53	Nombre de jours de pluie en août (mm)	10.70	10.63	10.29
Nombre de jours chauds en mai	1.10	1.93	3.90	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	2.56	5.62	5.85	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	1.83	4.23	3.45
Nombre de jours chauds en juin	1.73	2.47	5.58	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	1.14	1.69	2.75	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	0.47	0.63	0.58
Nombre de jours chauds en juillet	3.37	6.10	11.45	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	7.19	8.17	9.69	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	0.70	0.53	0.58
Nombre de jours chauds en août	2.90	5.27	8.42	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	11.06	12.70	15.33	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	0.97	1.23	1.10
Nombre de jours chauds en septembre	0.27	0.80	1.19	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	9.22	10.75	12.25	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	1.07	0.93	1.19
Nombre de jours de pluie	48.03	54.20	51.58	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	1.37	3.32	3.49	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.20	0.37	0.29
Total des précipitations en mai (mm)	68.22	63.86	60.93	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	19.41	21.45	23.86	Durée de la saison	151.80	156.23	158.74
Total des précipitations en juin (mm)	90.03	96.77	93.02	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	23.25	24.43	26.27	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.07	0.30	0.77

Tableau 4.20. Caractéristiques de la saison de golf selon les données du modèle HadCM3 b, après downscaling
La Macaza. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069
Nombre de jours chauds consécutifs	0.70	1.27	3.26	Total des précipitations en juillet (mm)	146.73	151.15	144.07	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	25.15	26.72	28.22
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.00	0.07	0.19	Total des précipitations en août (mm)	108.76	108.72	117.00	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	22.64	24.11	26.26
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.13	0.27	0.52	Total des précipitations en septembre (mm)	25.86	34.57	38.15	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	4.61	6.99	7.75
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.47	0.63	1.61	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	10.46	12.04	13.31	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	8.93	9.10	9.87
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.07	0.30	0.84	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	15.17	16.89	18.00	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	9.07	10.33	8.74
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.03	0.00	0.10	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	18.06	19.72	20.99	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	10.83	11.13	10.10
Nombre de jours chauds	10.43	16.37	27.48	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	15.63	17.19	19.20	Nombre de jours de pluie en août (mm)	10.50	10.53	11.61
Nombre de jours chauds en mai	0.97	1.73	3.35	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	3.05	4.85	5.06	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	2.00	3.00	3.35
Nombre de jours chauds en juin	1.83	3.20	5.26	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	1.16	1.96	2.81	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	0.50	0.57	0.68
Nombre de jours chauds en juillet	4.10	6.30	9.61	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	7.16	8.83	9.57	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	0.77	0.77	0.61
Nombre de jours chauds en août	3.17	4.57	8.06	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	11.40	13.35	14.23	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	0.80	1.33	0.90
Nombre de jours chauds en septembre	0.37	0.57	1.16	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	9.10	10.27	11.97	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	0.97	0.97	1.17
Nombre de jours de pluie	48.87	51.97	53.10	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	1.71	2.90	2.59	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.40	0.32	0.33
Total des précipitations en mai (mm)	67.94	70.05	75.95	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	19.16	21.82	23.38	Durée de la saison	150.80	155.23	157.74
Total des précipitations en juin (mm)	88.61	107.71	85.27	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	23.46	24.79	26.21	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.07	0.40	0.57

Tableau 4.21. Caractéristiques de la saison de golf selon les données du modèle HadCM3 a, après downscaling Lennoxville. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	1961-1990	2010-2039	2040-2069		1961-1990	2010-2039	2040-2069		1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours chauds consécutifs	0.60	1.67	5.26	Total des précipitations en juillet (mm)	111.39	121.30	126.38	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	25.51	27.08	29.46
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.10	0.07	0.42	Total des précipitations en août (mm)	137.65	129.30	135.59	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	23.42	25.61	27.63
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.03	0.27	0.97	Total des précipitations en septembre (mm)	25.43	53.70	67.10	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	6.20	11.69	15.08
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.33	0.83	2.87	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	11.65	13.26	14.89	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	10.47	10.43	10.65
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.10	0.47	0.94	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	16.43	17.37	19.07	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	10.43	11.77	10.68
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.03	0.03	0.06	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	19.53	20.97	23.53	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	12.30	11.97	12.61
Nombre de jours chauds	10.23	18.03	35.03	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	17.80	19.79	21.41	Nombre de jours de pluie en août (mm)	11.40	11.17	11.48
Nombre de jours chauds en mai	1.37	2.17	4.10	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	4.45	8.76	11.34	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	3.10	5.97	7.48
Nombre de jours chauds en juin	2.67	3.27	7.03	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	3.83	4.62	5.66	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	0.90	1.20	1.13
Nombre de jours chauds en juillet	4.10	6.87	13.39	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	9.06	9.83	10.99	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	0.87	1.33	0.84
Nombre de jours chauds en août	1.80	4.60	8.87	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	13.17	14.33	16.91	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	1.57	1.57	1.52
Nombre de jours chauds en septembre	0.30	1.03	1.61	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	12.11	13.87	15.41	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	1.13	1.03	1.42
Nombre de jours de pluie	56.50	61.03	62.87	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	2.82	5.89	7.95	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.23	0.40	0.35
Total des précipitations en mai (mm)	88.50	96.11	88.72	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	19.16	21.40	23.45	Durée de la saison	155.57	161.13	163.65
Total des précipitations en juin (mm)	88.08	106.10	93.49	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	23.58	24.43	26.40	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.07	0.50	2.03

Tableau 4.22. Caractéristiques de la saison de golf selon les données du modèle HadCM3 b, après downscaling Lennoxville. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069
Nombre de jours chauds consécutifs	0.67	1.70	3.87	Total des précipitations en juillet (mm)	106.69	126.68	118.57	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	25.53	27.24	28.44
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.07	0.13	0.29	Total des précipitations en août (mm)	137.59	142.33	146.61	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	23.53	25.10	27.41
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.13	0.47	1.00	Total des précipitations en septembre (mm)	31.03	47.24	45.77	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	6.66	10.40	11.50
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.33	0.87	1.71	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	11.87	13.31	14.55	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	10.77	10.10	10.74
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.13	0.23	0.84	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	16.44	18.00	19.31	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	10.10	11.23	10.77
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.00	0.00	0.03	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	19.51	21.56	22.60	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	11.37	12.53	12.61
Nombre de jours chauds	9.53	19.13	30.81	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	17.78	19.52	21.34	Nombre de jours de pluie en août (mm)	11.37	11.40	12.32
Nombre de jours chauds en mai	1.27	2.57	3.29	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	4.84	7.72	8.32	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	3.47	5.17	4.94
Nombre de jours chauds en juin	2.43	4.37	7.58	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	3.87	4.80	5.51	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	0.97	1.03	0.94
Nombre de jours chauds en juillet	3.73	7.37	10.61	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	9.05	10.45	11.35	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	0.63	0.90	1.10
Nombre de jours chauds en août	1.93	3.93	8.10	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	13.17	15.12	16.11	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	1.07	1.57	1.42
Nombre de jours chauds en septembre	0.17	0.83	1.13	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	12.02	13.59	15.34	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	1.13	1.03	1.37
Nombre de jours de pluie	56.43	59.97	62.03	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	3.07	5.34	5.25	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.70	0.68	0.33
Total des précipitations en mai (mm)	89.03	84.38	94.78	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	19.28	21.48	22.98	Durée de la saison	155.57	161.13	163.65
Total des précipitations en juin (mm)	86.28	100.21	95.90	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	23.45	25.15	26.64	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.07	0.63	1.20

Tableau 4.23. Caractéristiques de la saison de golf selon les données du modèle HadCM3 a, après downscaling Montréal. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	1961-1990	2010-2039	2040-2069		1961-1990	2010-2039	2040-2069		1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours chauds consécutifs	0.17	0.60	1.94	Total des précipitations en juillet (mm)	122.59	136.40	129.01	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	26.08	26.63	27.73
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.00	0.00	0.10	Total des précipitations en août (mm)	126.64	128.17	136.17	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	24.45	25.93	26.57
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.00	0.10	0.29	Total des précipitations en septembre (mm)	47.56	69.80	87.48	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	6.79	11.50	15.51
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.10	0.20	0.84	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	13.94	15.50	16.92	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	12.50	13.20	13.29
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.03	0.27	0.48	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	18.59	18.98	20.38	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	12.13	13.43	12.32
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.03	0.03	0.23	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	20.98	21.57	23.00	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	12.70	13.67	13.65
Nombre de jours chauds	10.00	15.30	26.00	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	19.37	20.68	21.37	Nombre de jours de pluie en août (mm)	11.50	11.47	12.90
Nombre de jours chauds en mai	1.33	2.37	3.94	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	5.14	8.87	11.82	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	3.67	6.20	6.74
Nombre de jours chauds en juin	2.17	2.83	5.32	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	8.00	9.77	10.56	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	1.53	1.93	2.06
Nombre de jours chauds en juillet	3.93	4.73	8.10	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	13.19	13.66	14.97	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	1.80	1.93	1.55
Nombre de jours chauds en août	2.20	4.33	6.03	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	15.50	16.10	17.48	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	1.57	1.87	1.97
Nombre de jours chauds en septembre	0.37	1.00	2.52	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	14.29	15.61	16.39	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	1.47	1.70	1.77
Nombre de jours de pluie	62.30	68.20	69.58	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	3.32	5.94	8.19	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.40	0.73	0.68
Total des précipitations en mai (mm)	77.28	78.96	82.17	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	20.12	21.96	23.40	Durée de la saison	159.63	162.00	166.16
Total des précipitations en juin (mm)	119.06	141.24	126.37	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	23.93	24.35	25.84	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.03	0.10	0.13

Tableau 4.24Caractéristiques de la saison de golf selon les données du modèle HadCM3 b, après downscaling
Montréal. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069
Nombre de jours chauds consécutifs	0.23	0.57	1.16	Total des précipitations en juillet (mm)	118.16	122.98	139.80	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	25.75	26.61	27.13
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.00	0.00	0.10	Total des précipitations en août (mm)	137.82	146.42	160.39	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	24.40	25.45	26.80
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.00	0.10	0.13	Total des précipitations en septembre (mm)	50.97	63.23	74.55	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	7.98	9.42	12.43
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.10	0.27	0.39	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	13.80	15.65	16.66	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	12.97	12.50	13.42
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.07	0.20	0.42	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	18.34	19.46	20.39	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	11.37	11.70	11.81
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.07	0.00	0.13	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	20.79	21.77	22.59	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	12.80	13.33	14.10
Nombre de jours chauds	9.77	15.73	21.48	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	19.36	20.23	21.45	Nombre de jours de pluie en août (mm)	12.57	13.10	13.81
Nombre de jours chauds en mai	0.97	2.40	3.23	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	6.02	7.28	9.39	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	3.90	5.40	6.23
Nombre de jours chauds en juin	1.73	3.53	4.58	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	7.83	9.47	10.25	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	1.67	1.77	1.84
Nombre de jours chauds en juillet	3.70	5.03	5.61	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	13.27	13.97	14.64	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	1.30	1.33	1.29
Nombre de jours chauds en août	2.87	4.17	6.48	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	15.40	16.39	16.59	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	2.00	1.80	2.00
Nombre de jours chauds en septembre	0.50	0.60	1.52	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	14.09	15.17	16.35	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	1.43	1.61	1.63
Nombre de jours de pluie	63.93	66.07	69.42	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	3.95	5.05	6.22	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.73	0.65	0.27
Total des précipitations en mai (mm)	81.04	77.19	80.76	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	19.99	22.10	23.33	Durée de la saison	159.63	162.00	166.16
Total des précipitations en juin (mm)	107.95	110.00	100.25	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	23.79	24.79	25.68	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.07	0.03	0.10

Tableau 4.25. Caractéristiques de la saison de golf selon les données du modèle HadCM3 a, après downscaling Québec. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069
Nombre de jours chauds consécutifs	0.37	1.83	4.97	Total des précipitations en juillet (mm)	158.30	153.26	156.02	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	25.41	27.17	29.78
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.00	0.03	0.13	Total des précipitations en août (mm)	145.17	144.43	141.56	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	23.15	25.83	27.54
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.13	0.20	1.32	Total des précipitations en septembre (mm)	34.18	69.71	80.43	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	5.20	9.21	13.20
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.20	1.23	2.74	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	11.03	12.60	14.20	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	10.97	11.87	11.68
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.03	0.37	0.77	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	16.40	17.27	19.10	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	13.07	12.77	13.13
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.00	0.00	0.00	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	19.50	21.09	23.83	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	13.93	14.17	13.90
Nombre de jours chauds	8.97	18.80	35.10	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	17.33	19.58	21.19	Nombre de jours de pluie en août (mm)	13.77	13.40	13.39
Nombre de jours chauds en mai	0.40	1.00	3.00	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	3.81	6.74	9.97	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	3.20	5.53	7.03
Nombre de jours chauds en juin	2.67	4.00	8.61	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	4.42	5.30	6.50	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	0.90	1.30	1.42
Nombre de jours chauds en juillet	4.00	8.23	14.48	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	9.69	10.26	11.41	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	1.63	1.40	1.55
Nombre de jours chauds en août	1.87	5.47	8.48	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	13.55	14.85	17.67	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	2.20	1.93	1.87
Nombre de jours chauds en septembre	0.03	0.10	0.52	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	11.57	13.52	15.06	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	1.83	2.10	2.03
Nombre de jours de pluie	62.53	67.10	68.58	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	2.30	4.24	6.55	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.60	0.73	0.45
Total des précipitations en mai (mm)	104.23	106.94	106.63	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	17.30	19.84	21.48	Durée de la saison	148.83	156.40	159.13
Total des précipitations en juin (mm)	154.42	141.62	140.94	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	23.21	24.10	26.73	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.03	0.17	0.43

Tableau 4.26. Caractéristiques de la saison de golf selon les données du modèle HadCM3 b, après downscaling Québec. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069
Nombre de jours chauds consécutifs	0.47	1.43	3.42	Total des précipitations en juillet (mm)	142.59	167.77	145.73	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	25.51	27.56	28.69
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.00	0.00	0.10	Total des précipitations en août (mm)	152.70	153.57	163.16	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	23.15	25.10	27.22
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.03	0.47	0.97	Total des précipitations en septembre (mm)	35.32	61.76	56.30	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	5.37	8.97	9.27
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.40	0.80	1.71	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	10.99	12.65	14.00	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	11.63	11.07	11.48
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.03	0.17	0.65	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	16.47	18.03	19.42	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	13.20	13.60	13.00
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.00	0.00	0.00	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	19.62	21.81	22.80	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	13.70	14.80	13.58
Nombre de jours chauds	9.23	19.30	29.94	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	17.34	19.20	20.99	Nombre de jours de pluie en août (mm)	13.53	14.43	14.61
Nombre de jours chauds en mai	0.77	1.43	2.16	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	3.89	6.56	6.76	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	3.63	5.30	5.42
Nombre de jours chauds en juin	2.17	5.27	8.10	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	4.37	5.40	6.27	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	1.20	1.17	1.39
Nombre de jours chauds en juillet	4.70	8.67	11.65	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	9.70	10.61	11.64	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	1.80	1.87	1.52
Nombre de jours chauds en août	1.50	3.53	7.61	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	13.62	15.72	16.62	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	1.53	2.30	1.77
Nombre de jours chauds en septembre	0.10	0.40	0.42	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	11.57	13.49	15.09	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	1.83	1.61	1.70
Nombre de jours de pluie	64.23	68.00	68.32	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	2.36	4.24	4.21	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.63	0.52	0.47
Total des précipitations en mai (mm)	112.79	104.22	105.60	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	17.75	19.86	21.36	Durée de la saison	148.83	156.40	159.13
Total des précipitations en juin (mm)	135.88	142.01	135.22	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	22.90	24.99	26.66	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.00	0.13	0.17

Tableau 4.27. Caractéristiques de la saison de golf selon les données du modèle HadCM3 a, après downscaling Sherbrooke. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069
Nombre de jours chauds consécutifs	0.33	1.00	3.26	Total des précipitations en juillet (mm)	133.88	134.89	135.89	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	24.46	25.98	28.21
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.03	0.07	0.26	Total des précipitations en août (mm)	138.84	117.39	128.52	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	22.51	24.70	26.49
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.10	0.10	0.58	Total des précipitations en septembre (mm)	21.60	39.98	41.70	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	4.13	8.43	10.43
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.20	0.43	1.74	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	10.87	12.29	13.79	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	10.30	9.87	9.19
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.00	0.33	0.61	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	15.21	16.11	17.88	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	12.17	13.30	13.26
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.00	0.07	0.06	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	17.94	19.56	22.06	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	14.37	13.77	13.00
Nombre de jours chauds	5.63	13.17	26.39	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	16.30	18.29	20.17	Nombre de jours de pluie en août (mm)	13.60	12.07	12.26
Nombre de jours chauds en mai	0.80	2.03	3.94	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	2.96	6.13	7.71	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	2.57	4.87	5.10
Nombre de jours chauds en juin	1.30	2.40	5.16	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	2.54	3.26	4.33	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	1.10	0.97	1.10
Nombre de jours chauds en juillet	2.23	4.13	9.94	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	8.04	9.01	10.11	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	1.57	1.70	1.48
Nombre de jours chauds en août	1.17	3.70	6.10	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	11.46	12.87	15.37	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	1.97	1.73	1.65
Nombre de jours chauds en septembre	0.13	0.80	1.16	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	10.16	11.99	13.71	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	1.63	1.50	1.16
Nombre de jours de pluie	62.40	63.47	62.97	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	1.71	3.88	5.00	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.37	0.57	0.42
Total des précipitations en mai (mm)	73.20	69.93	66.51	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	18.62	21.13	23.15	Durée de la saison	149.87	155.70	156.42
Total des précipitations en juin (mm)	96.97	98.58	104.60	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	22.36	23.48	25.42	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.07	0.07	0.57

Tableau 4.28. Caractéristiques de la saison de golf selon les données du modèle HadCM3 b après downscaling Sherbrooke. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	1961-1990	2010-2039	2040-2069		1961-1990	2010-2039	2040-2069		1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours chauds consécutifs	0.30	0.97	2.32	Total des précipitations en juillet (mm)	151.85	134.25	142.80	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	24.56	26.32	27.30
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.03	0.10	0.23	Total des précipitations en août (mm)	134.05	142.30	121.16	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	22.67	24.30	26.46
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.00	0.23	0.48	Total des précipitations en septembre (mm)	23.05	33.30	27.17	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	4.38	7.32	6.49
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.23	0.53	1.00	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	10.65	12.34	13.50	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	9.93	9.37	9.32
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.03	0.10	0.58	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	15.24	16.73	18.06	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	12.63	12.63	13.19
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.00	0.00	0.03	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	18.11	19.99	21.14	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	15.53	13.13	13.03
Nombre de jours chauds	5.83	12.23	22.26	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	16.36	18.08	19.96	Nombre de jours de pluie en août (mm)	13.40	13.27	11.29
Nombre de jours chauds en mai	0.80	2.00	3.19	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	3.11	5.25	4.56	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	2.83	4.30	3.29
Nombre de jours chauds en juin	1.20	2.97	5.26	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	2.57	3.49	4.15	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	0.97	1.00	0.97
Nombre de jours chauds en juillet	2.30	4.47	7.29	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	7.97	9.40	10.35	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	1.60	1.23	1.74
Nombre de jours chauds en août	1.40	2.30	5.90	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	11.41	13.54	14.59	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	2.37	1.70	1.45
Nombre de jours chauds en septembre	0.13	0.43	0.58	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	10.13	11.73	13.48	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	1.50	1.52	1.23
Nombre de jours de pluie	63.47	62.23	61.16	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	1.88	3.35	2.87	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.60	0.52	0.20
Total des précipitations en mai (mm)	71.78	70.42	67.40	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	18.66	21.00	22.74	Durée de la saison	149.87	155.70	156.42
Total des précipitations en juin (mm)	99.40	99.03	97.96	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	22.40	24.13	25.72	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.03	0.17	0.30

Tableau 4.29. Caractéristiques de la saison de golf selon les données du modèle HadCM3 a, après downscaling St-Hippolyte. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	1961-1990	2010-2039	2040-2069		1961-1990	2010-2039	2040-2069		1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours chauds consécutifs	0.40	0.77	2.45	Total des précipitations en juillet (mm)	114.33	109.85	101.27	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	23.62	25.29	27.55
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.00	0.00	0.03	Total des précipitations en août (mm)	125.07	126.97	112.49	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	21.69	23.77	25.78
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.07	0.10	0.32	Total des précipitations en septembre (mm)	31.02	69.40	85.52	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	5.28	10.10	13.18
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.23	0.37	1.32	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	11.69	13.65	15.42	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	8.57	8.87	8.03
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.03	0.23	0.55	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	15.92	16.98	18.54	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	9.50	9.43	9.84
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.07	0.07	0.23	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	18.61	20.09	22.32	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	11.83	11.27	9.81
Nombre de jours chauds	7.37	12.63	23.61	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	16.86	18.79	20.51	Nombre de jours de pluie en août (mm)	12.17	12.30	10.42
Nombre de jours chauds en mai	0.27	1.10	2.16	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	3.82	7.69	10.20	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	2.63	5.33	6.65
Nombre de jours chauds en juin	1.50	2.23	4.29	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	5.32	6.69	8.20	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	0.73	1.00	0.97
Nombre de jours chauds en juillet	3.20	4.80	9.55	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	10.54	11.41	13.11	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	0.77	0.90	0.94
Nombre de jours chauds en août	2.07	3.80	6.10	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	13.65	14.89	17.30	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	1.20	1.10	0.87
Nombre de jours chauds en septembre	0.33	0.67	1.48	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	12.06	13.76	15.45	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	1.47	1.17	1.00
Nombre de jours de pluie	50.83	55.03	52.55	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	2.62	5.33	7.44	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.30	0.57	0.26
Total des précipitations en mai (mm)	78.60	83.46	86.04	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	17.65	19.98	21.75	Durée de la saison	149.30	156.93	160.74
Total des précipitations en juin (mm)	94.76	90.61	98.97	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	21.47	22.50	24.31	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.07	0.17	0.97

Tableau 4.30. Caractéristiques de la saison de golf selon les données du modèle HadCM3 b, après downscaling St-Hippolyte. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	1961-1990	2010-2039	2040-2069		1961-1990	2010-2039	2040-2069		1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours chauds consécutifs	0.40	0.43	1.42	Total des précipitations en juillet (mm)	119.02	111.77	94.68	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	23.67	25.48	26.57
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.00	0.00	0.00	Total des précipitations en août (mm)	132.18	118.09	109.01	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	21.68	23.21	25.54
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.10	0.07	0.26	Total des précipitations en septembre (mm)	33.22	62.16	56.30	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	5.12	9.06	10.50
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.17	0.23	0.58	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	11.72	13.79	15.04	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	8.27	7.90	7.65
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.10	0.13	0.39	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	15.88	17.58	18.67	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	10.00	9.50	9.16
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.03	0.00	0.19	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	18.67	20.37	21.49	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	11.17	10.33	9.48
Nombre de jours chauds	7.03	12.53	19.52	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	16.85	18.47	20.27	Nombre de jours de pluie en août (mm)	12.30	11.33	10.32
Nombre de jours chauds en mai	0.40	1.07	1.77	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	3.94	6.95	7.74	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	2.93	5.13	4.06
Nombre de jours chauds en juin	1.50	2.97	4.52	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	5.51	6.87	8.03	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	0.87	0.73	0.65
Nombre de jours chauds en juillet	2.87	5.10	6.35	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	10.34	11.87	12.98	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	0.90	0.63	0.71
Nombre de jours chauds en août	2.00	3.10	5.84	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	13.53	15.46	16.26	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	1.20	1.13	0.94
Nombre de jours chauds en septembre	0.27	0.30	1.00	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	12.10	13.50	15.04	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	1.40	1.19	0.60
Nombre de jours de pluie	51.47	51.77	49.10	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	2.68	4.91	5.09	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.70	0.90	0.27
Total des précipitations en mai (mm)	83.67	74.02	77.35	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	17.57	19.92	21.08	Durée de la saison	149.30	156.93	160.74
Total des précipitations en juin (mm)	84.57	94.15	89.30	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	21.47	23.04	24.32	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.13	0.17	0.40

Tableau 4.31. Caractéristiques de la saison de golf selon les données du modèle HadCM3 a, après downscaling

Sutton. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069		1961- 1990	2010- 2039	2040- 2069
Nombre de jours chauds consécutifs	0.17	1.50	3.71	Total des précipitations en juillet (mm)	107.41	110.20	118.78	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	25.27	26.72	28.85
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.00	0.17	0.39	Total des précipitations en août (mm)	93.24	100.00	107.19	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	23.16	25.20	26.76
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.03	0.33	0.74	Total des précipitations en septembre (mm)	39.90	78.11	104.75	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	6.05	12.14	14.85
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.13	0.73	1.90	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	11.89	13.75	15.42	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	9.47	9.63	9.45
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.00	0.23	0.65	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	16.47	17.26	19.26	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	10.73	10.00	11.23
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.00	0.03	0.03	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	19.62	21.10	23.54	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	10.40	10.30	11.48
Nombre de jours chauds	7.63	15.43	29.23	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	17.52	19.67	21.76	Nombre de jours de pluie en août (mm)	8.97	9.07	9.52
Nombre de jours chauds en mai	0.87	2.10	4.35	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	4.50	9.18	11.32	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	2.63	5.57	7.23
Nombre de jours chauds en juin	2.07	2.97	5.97	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	6.01	7.51	9.11	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	0.90	0.83	0.77
Nombre de jours chauds en juillet	3.13	5.43	10.77	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	10.69	11.62	13.16	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	0.73	0.67	0.97
Nombre de jours chauds en août	1.40	4.17	6.26	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	14.22	15.84	18.53	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	0.97	0.97	1.00
Nombre de jours chauds en septembre	0.17	0.70	1.68	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	12.80	14.98	17.02	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	0.80	0.83	0.77
Nombre de jours de pluie	55.37	60.27	64.77	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	3.12	6.55	8.42	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.10	0.43	0.32
Total des précipitations en mai (mm)	101.67	113.88	112.60	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	18.95	21.36	23.83	Durée de la saison	153.43	163.90	167.16
Total des précipitations en juin (mm)	97.45	90.59	102.28	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	22.87	23.66	25.81	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.23	0.97	2.57

Tableau 4.32. Caractéristiques de la saison de golf selon les données du modèle HadCM3 b, après downscaling Sutton. Indices moyens pour une période de 30 ans, pendant la saison

	1961-1990	2010-2039	2040-2069		1961-1990	2010-2039	2040-2069		1961-1990	2010-2039	2040-2069
Nombre de jours chauds consécutifs	0.47	1.07	3.00	Total des précipitations en juillet (mm)	123.51	130.20	121.16	Moyenne de la température maximum quotidienne en juillet (°C)	25.29	27.06	28.08
Nombre de jours chauds consécutifs en mai	0.07	0.20	0.39	Total des précipitations en août (mm)	124.78	117.47	114.94	Moyenne de la température maximum quotidienne en août (°C)	22.98	24.63	26.69
Nombre de jours chauds consécutifs en juin	0.17	0.33	0.65	Total des précipitations en septembre (mm)	31.78	79.49	64.68	Moyenne de la température maximum quotidienne en septembre (°C)	6.31	11.97	11.52
Nombre de jours chauds consécutifs en juillet	0.23	0.40	1.32	Moyenne de la température moyenne quotidienne en mai (°C)	11.97	13.94	15.13	Nombre de jours de pluie en mai (mm)	9.73	9.27	9.03
Nombre de jours chauds consécutifs en août	0.00	0.13	0.61	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juin (°C)	16.35	18.12	19.54	Nombre de jours de pluie en juin (mm)	10.20	10.40	10.06
Nombre de jours chauds consécutifs en septembre	0.00	0.00	0.03	Moyenne de la température moyenne quotidienne en juillet (°C)	19.60	21.65	22.67	Nombre de jours de pluie en juillet (mm)	11.43	11.83	11.13
Nombre de jours chauds	6.93	14.73	25.74	Moyenne de la température moyenne quotidienne en août (°C)	17.57	19.48	21.58	Nombre de jours de pluie en août (mm)	10.70	9.90	10.84
Nombre de jours chauds en mai	1.07	2.47	3.45	Moyenne de la température moyenne quotidienne en septembre (°C)	4.70	9.08	8.46	Nombre de jours de pluie en septembre (mm)	2.47	5.47	4.74
Nombre de jours chauds en juin	1.70	3.47	6.03	Moyenne de la température minimum quotidienne en mai (°C)	6.06	7.62	8.72	Nombre de jours de pluie consécutifs en mai	0.57	0.70	0.52
Nombre de jours chauds en juillet	3.00	5.73	8.74	Moyenne de la température minimum quotidienne en juin (°C)	10.63	12.45	13.61	Nombre de jours de pluie consécutifs en juin	0.87	1.00	0.87
Nombre de jours chauds en août	1.03	2.27	6.58	Moyenne de la température minimum quotidienne en juillet (°C)	14.30	16.47	17.61	Nombre de jours de pluie consécutifs en juillet	1.20	1.23	0.97
Nombre de jours chauds en septembre	0.13	0.70	0.84	Moyenne de la température minimum quotidienne en août (°C)	12.82	14.76	16.83	Nombre de jours de pluie consécutifs en août	0.60	0.55	0.77
Nombre de jours de pluie	58.30	61.17	61.65	Moyenne de la température minimum quotidienne en septembre (°C)	3.22	6.65	5.89	Nombre de jours de pluie consécutifs en septembre	0.60	0.65	0.83
Total des précipitations en mai (mm)	109.54	106.31	105.17	Moyenne de la température maximum quotidienne en mai (°C)	19.01	21.54	23.19	Durée de la saison	156.87	164.40	164.74
Total des précipitations en juin (mm)	94.68	98.04	94.54	Moyenne de la température maximum quotidienne en juin (°C)	22.56	24.47	25.93	Nombre de jours où la température minimum est au dessus de 27°C	0.10	0.57	1.57

Ces résultats (Tableaux 4.1 à 4.32) montrent que, en général, pour l'ensemble de stations et de régions, la durée de la saison de pratique de golf augmente significativement avec les périodes. L'occurrence de canicules augmente aussi significativement ainsi que les précipitations. Ces caractéristiques surviennent pour tous les modèles et stations sauf pour la dernière période du scénario b de HadCM3. Comme nous l'avons vu auparavant, ce scénario est assez modéré et présente moins de changements pour le futur.

En ce qui concerne la durée de la saison de golf, à titre d'exemple, pour certaines stations sélectionnées il semblerait que, selon la station et le scénario climatique, il y aura une extension de la saison de pratique de golf, gagnant les jours golfable au début et à la fin de la saison

Par exemple pour Grands Fonds (Tableau 4.33) dans la région de Québec - Charlevoix la saison de golf débutera 2 (CGCM1) à 6 (HadCM3 B) jours plus tôt et finira 1 (CGCM1) à 6 (HadCM3 A et B) jours plus tard pour la période 2010-2039, tandis qu'elle débutera 4 (CGCM1) à 8 (HadCM3 A) jours plus tôt et terminera 1 (CGCM1 et HadCM3 B) jour plus tard pour la période 2040-2069.

Pour la station de Sutton dans les Cantons de l'Est (Tableau 4.34) la saison de golf débutera 1 (HadCM3 A et B) à 7 (CGCM1) jours plus tôt et finira 1 (HadCM3 B) à 7 (CGCM1) jours plus tard pour la période 2010-2039, tandis qu'elle débutera 1 (HadCM3 A) à 9 (CGCM1) jours plus tôt et terminera 5 (HadCM3 B) à 9 (CGCM1) jours plus tard pour la période 2040-2069.

Pour la station de Macaza dans les Laurentides (Tableau 4.35) la saison de golf débutera 1 (HadCM3 B) à 5 (CGCM1) jours plus tôt et finira 6 (CGCM1) à 11 (HadCM3 B) jours plus tard pour la période 2010-2039, tandis qu'elle débutera 1 (HadCM3 B) à 8 (CGCM1) jours plus tôt et terminera 10 (HadCM3 A) à 11 (CGCM1 et HadCM3 B) jours plus tard pour la période 2040-2069.

Finalement, pour la station de Montréal (Tableau 4.36) la saison de golf débutera 2 (HadCM3 B) à 7 (CGCM1) jours plus tôt et finira 3 (HadCM3 B) à 7 (CGCM1) jours plus tard pour la période 2010-2039, tandis qu'elle débutera 3 (HadCM3 A) à 16 (CGCM1) jours plus tôt et terminera 4 (HadCM3 B) à 9 (CGCM1) jours plus tard pour la période 2040-2069.

Tableau 4.33. Début et fin de la saison – Station Grand Fonds.

Période	CGCM1		HadCM 3 scénario a		HadCM 3 scénario b	
	début	Fin	début	fin	début	Fin
1961-1990	8 mai	3 sept	15 avril	30 août	16 avril	30 août
2010-2039	6 mai	3 sept	9 avril	31 août	10 avril	30 août
2040-2069	4 mai	4 sept	7 avril	31 août	9 avril	30 août

Tableau 4.34. Début et fin de la saison – Station Sutton.

Période	CGCM1		HadCM 3 scénario a		HadCM 3 scénario b	
	début	Fin	début	fin	début	Fin
1961-1990	14 avril	17 sept	5 avril	6 sept	3 avril	3 sept
2010-2039	9 avril	23 sept	2 avril	13 sept	3 avril	14 sept
2040-2069	6 avril	27 sept	2 avril	16 sept	2 avril	14 sept

Tableau 4.35. Début et fin de la saison – Station La Macaza.

Période	CGCM1		HadCM 3 scénario a		HadCM 3 scénario b	
	début	Fin	début	fin	début	fin
1961-1990	1 mai	11 sept	6 avril	2 sept	6 avril	3 sept
2010-2039	25 avril	19 sept	3 avril	7 sept	4 avril	6 sept
2040-2069	16 avril	20 sept	3 avril	7 sept	2 avril	7 sept

Tableau 4.36 Début et fin de la saison – Station Montréal.

Période	CGCM1		HadCM 3 scénario a		HadCM 3 scénario b	
	début	Fin	début	fin	début	Fin
1961-1990	16 avril	23 sept	3 avril	7 sept	3 avril	9 sept
2010-2039	9 avril	30 sept	2 avril	13 sept	2 avril	10 sept
2040-2069	3 avril	2 octobre	2 avril	18 sept	1 avril	14 sept

Maintenant on examine pour les trois régions, soit Québec-Charlevoix, cantons de l'Est et Montréal-Laurentides, les changements de certaines caractéristiques de la saison de golf selon les scénarios de changements climatiques. Ce sont la durée de la saison, le nombre de jours chauds à l'intérieur de la saison, les nombres de jours de pluies à l'intérieur de la saison, les nombres de jours de canicules à l'intérieur de la saison et le nombre de jours d'occurrence d'une température minimale dépassant 27°C , ce qui permet l'apparition d'une bactérie ravageant les verts (bactérie mangeuse de *green*).

Pour la durée de la saison, il semblerait que pour la région de Québec-Charlevoix, il y aura un allongement de la saison de golf d'une à deux semaines pour les stations de Grands Fonds et Québec (Figures 4.2 et 4.7), selon les trois scénarios climatiques (CGCM1 et HadCM3 A et B). D'autre part, il semblerait que pour la région des Cantons de l'Est, il y aura un allongement assez significatif de la saison de golf, allant de plus d'une semaine (HadCM3 A et B) à plus de deux semaines à Lennoxville et à Sherbrooke (CGCM1) (Figures 4.12 et 4.22). Pourtant pour la station de Sutton, qui se trouve à une plus haute élévation l'allongement de la saison pour les scénarios HadCM3 A et HadCM3 B ne montrent pas de grandes différences entre 2010-2039 et 2040-2069, comme il n'est pas le cas pour le scénario CGCM1 (Figure 4.17). Pour la région de Montréal-Laurentides, la saison ne s'allonge significativement pour la station de Saint Hippolyte qui se trouve au nord et à haute élévation pour les trois scénarios climatiques (Figure 4.27). Pourtant pour les stations de La Macaza et Montréal, la saison s'allonge plus significativement, approchant trois semaines surtout selon le scénario CGCM1 (Figures 4.32 et 4.37).

En ce qui concerne les nombres de jours chauds pendant la saison de golf, il se il semblerait que pour la région de Québec-Charlevoix, il y aura une hausse d'environ 8 jours pour la période 2010-2039 et une hausse de plus de 14 jours pour les stations de Grands Fonds et Québec, durant la saison de golf, selon les trois scénarios climatiques, selon les trois scénarios climatiques (CGCM1 et HadCM3 A et B). (Figures 4.3 et 4.8). Pour la région des Cantons de l'Est, il y aura une augmentation assez importante des nombres de jours chauds pendant la saison de golf, allant d'environ 8 à 18 jours selon les scénarios HadCM3 A et B et de 14 à 26 jours chauds selon le scénario CGCM1 en 2010-2039 à plus de 30 jours, selon les scénarios HadCM3 A et B et à plus de 35 jours selon le scénario CGCM1 pour les villes de Lennoxville, Sutton et Sherbrooke

(Figures 4.13, 4.18 et 4.23). Finalement, pour la région de Montréal et les Laurentides, il y aura une augmentation moins importante des nombres de jours chauds pendant la saison de golf, allant d' environ 7 à environ 12 jours selon les scénarios HadCM3 A et B et de 15 à 22 jours chauds selon le scénario CGCM1 en 2010-2039, et jusqu' à près de 20 (HadCM3 A et B) à 30 jours en 2040-2069 pour les stations de Saint Hippolyte et La Macaza (Figures 4.28 et 4.33). Pourtant pour la station de Montréal, le nombre de jours chauds s'augmenterait d'environ 8 à 15 jours selon les scénarios HadCM3 A et B et de environ 22 à 35 jours selon le scénario CGCM en 2010-2039. Pour la période 2040-2069 toutefois, le scénario HadCM 3 projette les hausses de nombre de jours chauds de 20 (B) à 25 (A) alors que le scénario CGCM1 projette le nombre de jours chauds augmentant jusqu'à près de 50 en 2040-2069 (Figure (4.38).

Pour le nombre de jours de pluie pendant la saison de golf, il se il semblerait que pour la région de Québec-Charlevoix, il y aura une hausse graduelle et généralisé, allant d'environ 37 jours à près de 40 jours selon les scénarios HadCM3 A et B et d'environ 26 à 30 jours selon le scénario CGCM1 en 2010-2039 et augmentant jusqu'à plus de 40 jours selon HadCM3 A, mais diminuant à moins de 40 jours selon HadCM3 B et augmentant jusqu'à plus de 35 jours selon CGCM1 en 2040-2069 pour la station de Grands Fonds (Figure 4.4). Pour la station de Québec, les conditions sont plus pluvieuses mais les tendances sont semblables, les jours de pluie allant de plus de 60 jours à près de 65 jours selon les scénarios HadCM3 A et B et d'environ 41 à près de 50 jours selon le scénario CGCM1 en 2010-2039 et augmentant jusqu'à près de 70 jours selon HadCM3 A et HadCM3 B et augmentant jusqu'à près de 50 jours selon CGCM1 en 2040-2069 pour la station de Québec (Figure 4.9). En ce qui concerne le nombre de jours de pluie, la région des Cantons de l'Est semblerait y avoir des différences assez importantes entre les stations. Pour la station de Lennoxville, les deux scénarios de HadCM3 (A et B) projettent des hausses de nombre de jours de pluie allant de 56 jours à près de 60 jours en 2010-2039. Pourtant le scénario CGCM1 projette une baisse de nombre de jours de pluie entre 1961-1990 et 2010-2039 descendant de plus de 66 jours à moins de 63 jours. D'autre part le nombre de jours de pluie augmente en 2040-2069 pour la station de Lennoxville augmentant jusqu'à près de 62 jours selon les scénarios HadCM3 A et B et jusqu'à 68 jours selon le scénario CGCM1 (Figure 4.14). Pour la station de Sutton, les deux scénarios de HadCM3 (A et B) projettent des hausses de nombre de jours de pluie allant de près de 56 jours à près de 60 jours en 2010-2039. Pourtant le scénario CGCM1 projette une hausse de nombre de

jours de pluie montant de 45 jours environ jusqu'à près de 52 jours. D'autre part les nombre de jours de pluie augmente en 2040-2069 pour la station de Sutton augmenterait jusqu'à près de 62 jours selon les scénarios HadCM3 A et B et jusqu'à 68 jours selon le scénario CGCM1 (Figure 4.19). D'autre part, le nombre de jours de pluies resteraient presque inchangés à la station de Sherbrooke, pour les deux périodes futures (2010-2039 et 2040-2069) selon les deux scénarios de HadCM3 (A et B). Pourtant le scénario CGCM1 projette des hausses de nombre de jours de pluie allant de près de 58 jours à près de 70 jours en 2010-2039 et augmentant jusqu'à près de 80 jours en 2040-2069 selon le scénario CGCM1 (Figure 4.24). En ce qui concerne le nombre de jours de pluie pour la région de Montréal et les Laurentides, les deux scénarios de HadCM3 (A et B) projettent peu de changements dans le nombre de jours de pluie pour les deux périodes futures (2010-2039 et 2040-2069) pour la station de Saint Hippolyte. Pourtant le scénario CGCM1 projette une hausse de nombre de jours de pluie entre 1961-1990 et 2010-2039 allant de près de 38 jours à moins de 46 jours en 2010-2039 et montant jusqu'à plus de 50 jours en 2040-2069 (Figure 4.29) D'autre part, pour la station de La Macaza, les trois scénarios (CGCM1 et HadCM3 A et B) projettent des hausses graduelles et consistantes des nombre de jours de pluie, allant de près de 48 jours à près de 50 jours selon HadCM3 A et B et de près de 45 jours à plus de 50 jours en 2010-2039. Le nombre de jours de pluie augmente en 2040-2069 pour la station de La Macaza augmentant jusqu'à près de 52 jours selon les scénarios HadCM3 A et B et jusqu'à 54 jours selon le scénario CGCM1 (Figure 4.34). Finalement pour la station de Montréal, le nombre de jours de pluies augmenterait légèrement selon les trois scénarios, pour les deux périodes futures (2010-2039 et 2040-2069). Selon les deux scénarios de HadCM3 (A et B) les hausses de nombres de jours de pluie passeraient de près de 60 jours en 1961-1990 à près de 65 jours en 2010-2039 et à peu moins de 70 jours en 2040-2069 (Figure 4.39).

Pour le nombre de jours de canicules pendant la saison de golf, il se il semblerait que pour la région de Québec-Charlevoix, il y aura une hausse graduelle à la station de Grands Fonds au départ, augmentant jusqu'à environ 1 jour selon les trois scénarios (CGCM1 et HadCM3 A et B) en 2010-2039. Pourtant la hausse serait plus importante en 2040-2069, augmentant jusqu'à 2 jours selon les scénarios CGCM1 et HadCM3A (Figure 4.5) Pour la station de Québec, les hausses de jours de canicules seraient plus importantes, passant de moins d'un jour en moyenne en 1961-1990 à plus d'un jour en moyenne en 2010-2039. En 2040-2069 les jours de canicules augmenteraient

jusqu'à plus de 3 jours selon le scénario HadCM3 B et à près de 5 jours selon les scénarios CGCM1 et HadCM3 A (Figure 4.10). En ce qui concerne le nombre de jours de canicule dans Les Cantons de l'Est, les trois stations démontrent les tendances importantes à la hausse dans le futur. Pour la station de Lennoxville, les deux scénarios de HadCM3 (A et B) projettent des hausses de nombre de jours de canicule allant de moins de 1 jour à près de 2 jours en 2010-2039. D'autre part, le scénario CGCM1 projette une hausse de nombre de jours de canicule entre 1961-1990 (plus de 1 jour) et 2010-2039 (près de 4 jours). En 2040-2069 le nombre de jours de canicule risquent d'augmenter de 4 (HadCM3 B) à 5 (HadCM3 A) et même à plus de 6 jours (CGCM1) en 2040-2069 (Figure 4.15). Pour la station de Sutton, les deux scénarios de HadCM3 (A et B) projettent des hausses de nombre de jours de canicule allant de moins d'un jour à près de plus de 1 jour en 2010-2039. Pourtant le scénario CGCM1 projette une hausse de nombre de jours de canicule montant d'environ 2 jours à près de 3 jours en 2010-2039. D'autre part les nombre de jours de canicule augmenteraient en 2040-2069 pour la station de Sutton augmentant jusqu' à près de 3 jours selon les scénarios HadCM3 A et B et jusqu'à plus de 7 jours selon le scénario CGCM1 (Figure 4.20). Le nombre de jours de canicules augmenterait aussi à la station de Sherbrooke, pour les deux périodes futures (2010-2039 et 2040-2069) selon les trois scénarios de (CGCM1 et HadCM3 A et B). Les scénarios HadCM3 A et B projettent des hausses allant jusqu'à 2 à 3 jours alors que le scénario CGCM1 projette des hausses de nombre de jours de canicule allant jusqu'à près de 6 jours (Figure 4.25). En ce qui concerne le nombre de jours de canicule pour la région de Montréal et les Laurentides, les trois scénarios (CGCM1 et HadCM3 A et B) projettent des hausses dans les incidences de canicules, surtout pour la ville de Montréal. Pour Saint Hippolyte les trois scénarios (CGCM1 et HadCM3 A et B) projettent des hausses approchant 1 jour en moyenne en 2010-2039. Pour la période future 2040-2069 pourtant les nombres de canicules risquent d'augmenter jusqu'à plus de 1 (HadCM3 B) à plus de 2 jours (CGCM1 et HadCM3 A) en 2040-2069 (Figure 4.30). D'autre part, pour la station de La Macaza, les trois scénarios (CGCM1 et HadCM3 A et B) projettent des hausses graduelles et consistantes des nombre de jours de canicules, allant de moins de 1 jour à plus de 2 jours selon HadCM3 A et B et de moins de 1 jour à près de 2 jours en 2010-2039. Les nombre de jours de canicule augmenterait en 2040-2069 pour la station de La Macaza de plus de 1 jour à plus de 3 jours selon les trois scénarios (CGCM1 et HadCM3 A et B) (Figure 4.35). Finalement pour la station de Montréal, le nombre de jours de canicules augmenteraient légèrement selon les deux scénarios de HadCM3 (A et B) pour les deux

périodes futures (2010-2039 et 2040-2069). Selon les deux scénarios de HadCM3 (A et B) les nombres de jours de canicules passeraient de moins de 1 jour en 1961-1990 et 2010-2039 à 1 (HadCM3 B) à 2 (jours (HadCM3 A), alors ils passeraient de près de 2 jours en 1961-1990 à près de 5 jours en 2010-2039 et ensuite à plus de 8 jours 2040-2069 selon CGCM1(Figure 4.40).

Finalement, en ce qui concerne l'occurrence de températures minimales dépassant 27°C , il y aurait des hausses dans toutes les régions et selon les trois scénarios climatiques (CGCM1 et HadCM3 A et B) favorisant donc l'apparition de bactéries sur les verts. Pourtant la hausse dans les nombres de jours ne dépasserait que 1 jour en 2040-2069 pour les villes de Lennoxville et de Sutton dans les Cantons de l'Est et la station de La Macaza dans les Laurentides (Figures 4.6; 4.11; 4.16; 4.21; 4.26; 4.31; 4.36 et 4.4).

Figure 4.2. Durée de la saison de golf en jours selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Grands Fonds.

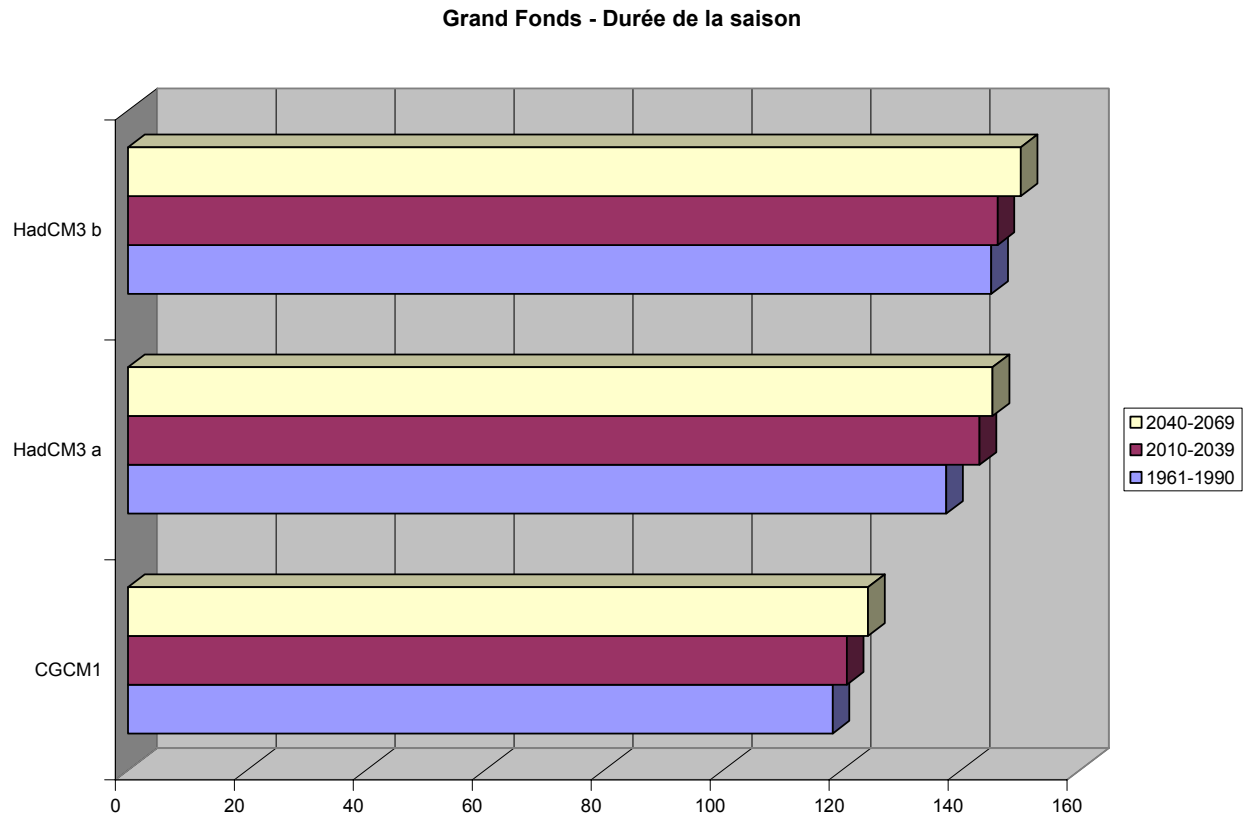


Figure 4.3. Nombre de jours chauds pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Grands Fonds.

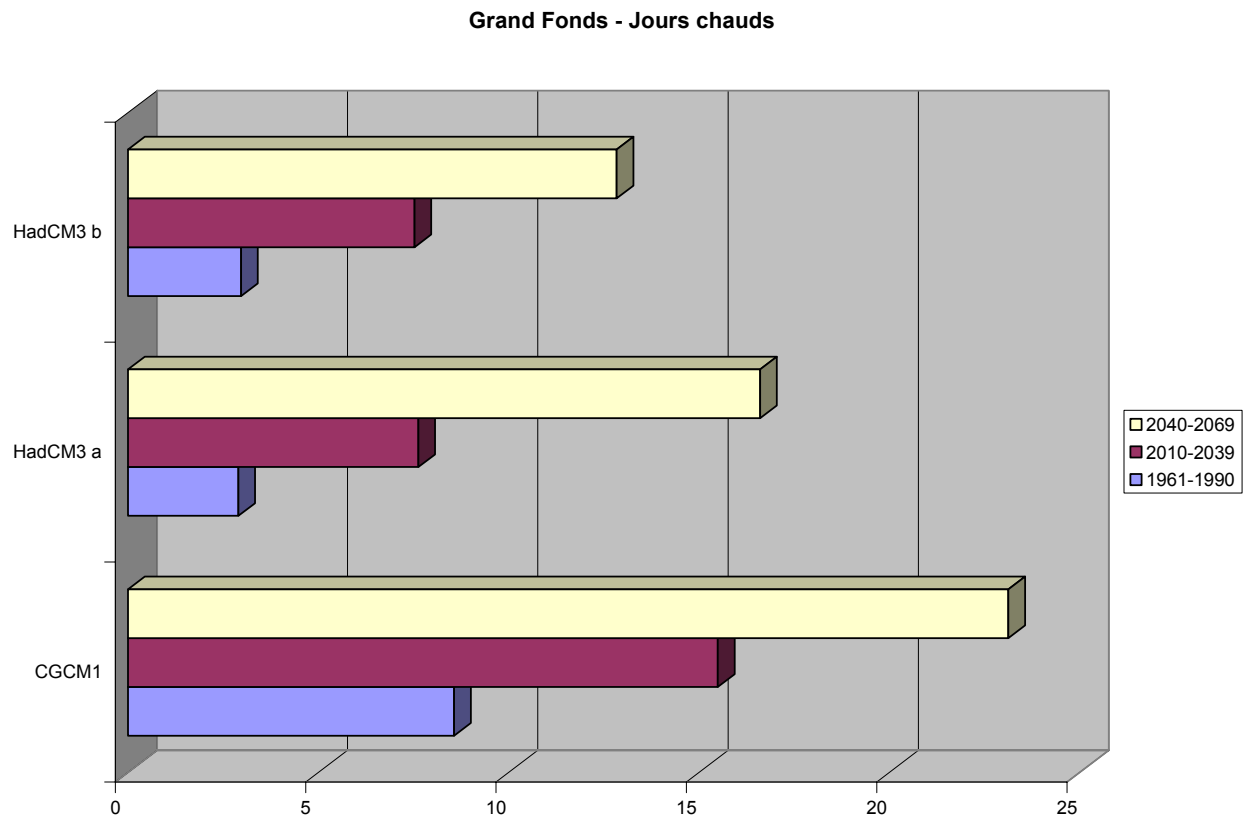


Figure 4.4. Nombre de jours de pluies pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Grands Fonds.

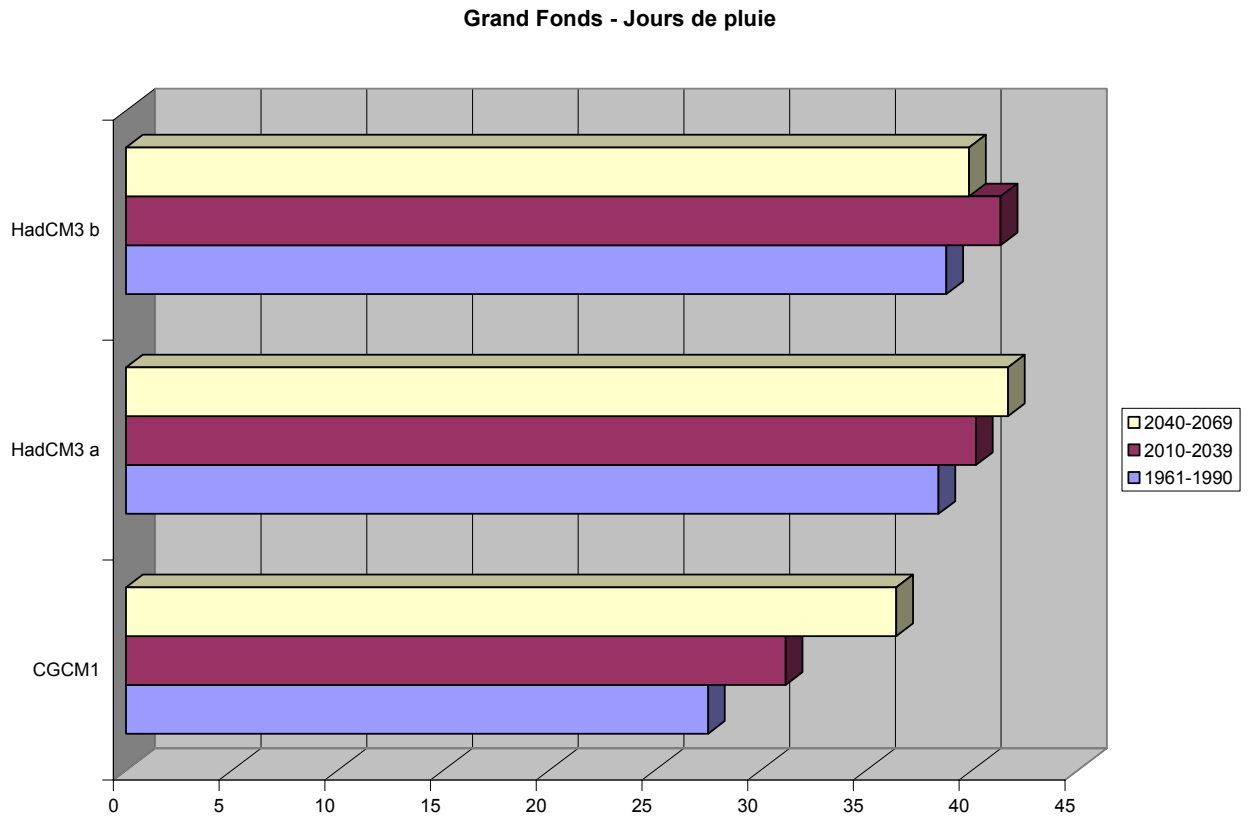


Figure 4.5. Nombre de jours de canicules pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Grands Fonds.

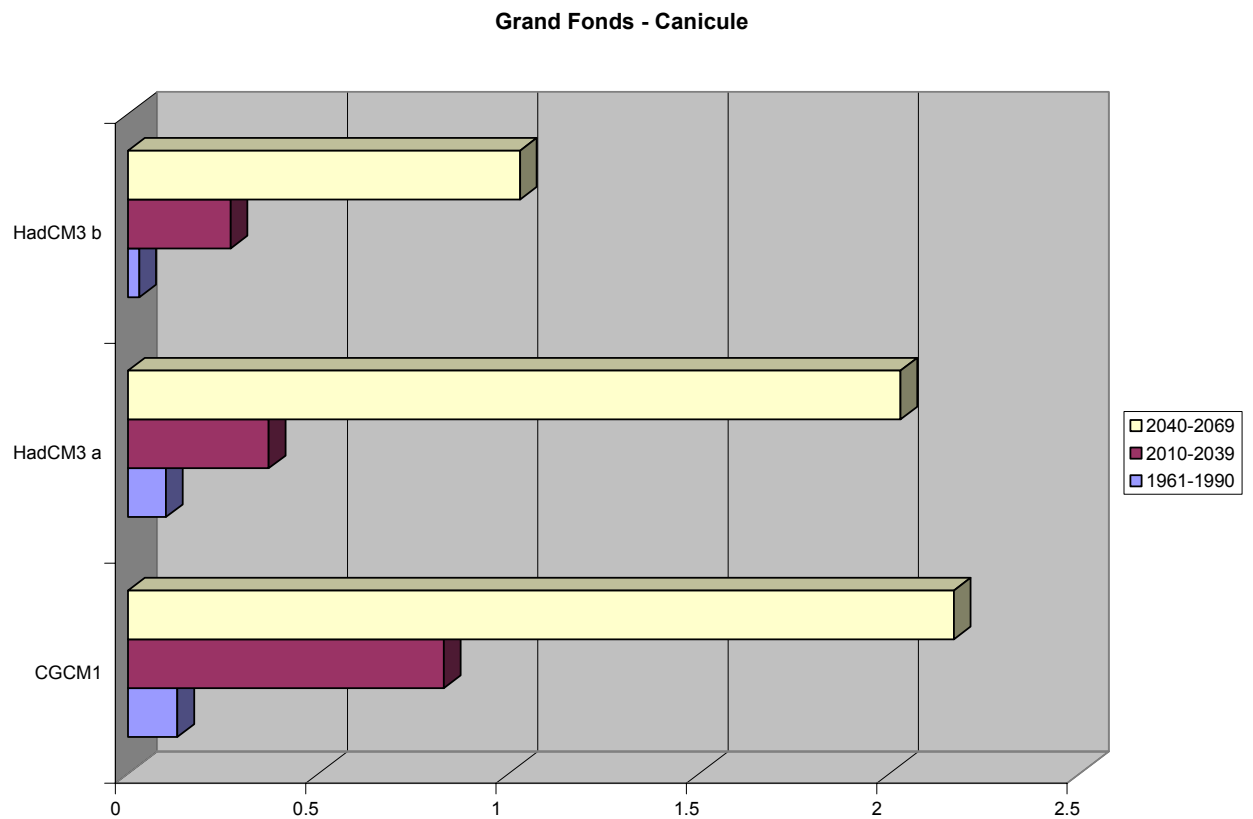


Figure 4.6. Nombre de jours de l'occurrence d'une température $> 27^{\circ}\text{C}$ pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Grands Fonds.

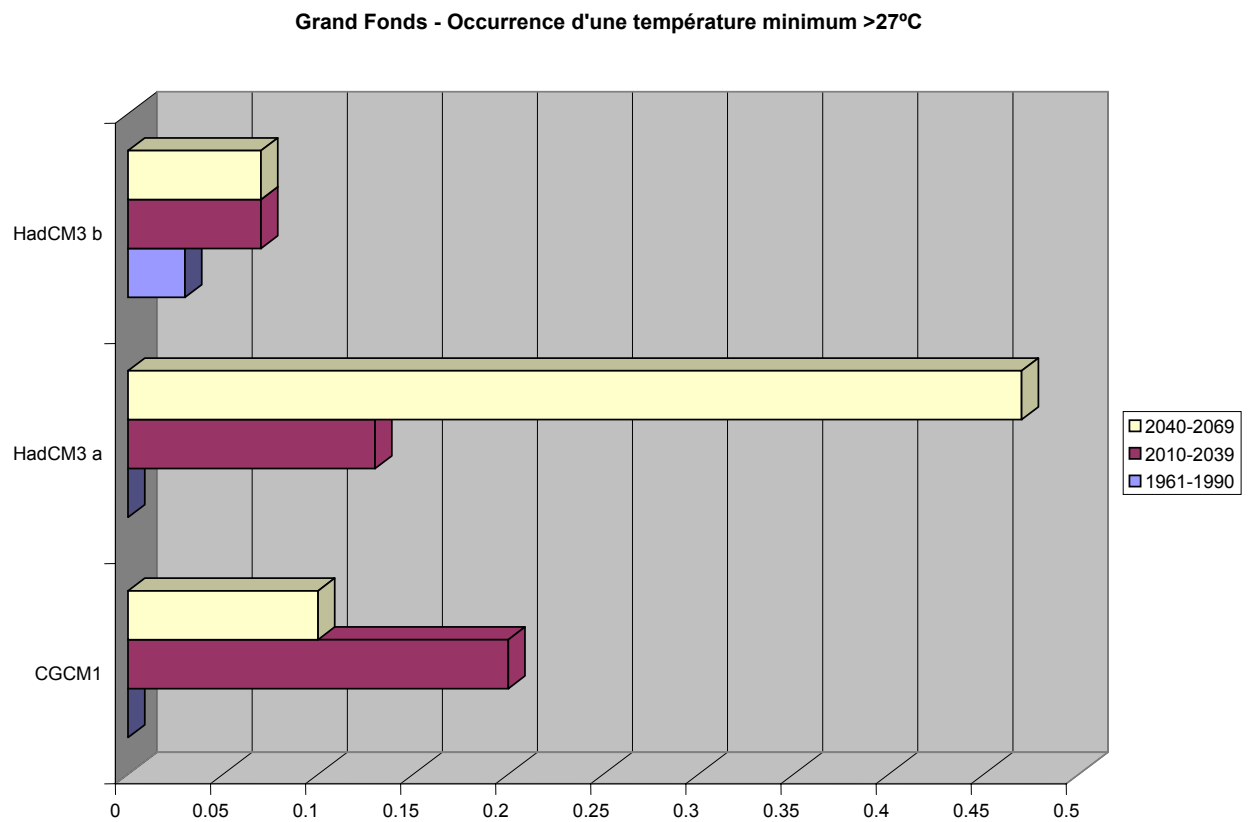


Figure 4.7. Durée de la saison de golf en jours selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Québec.

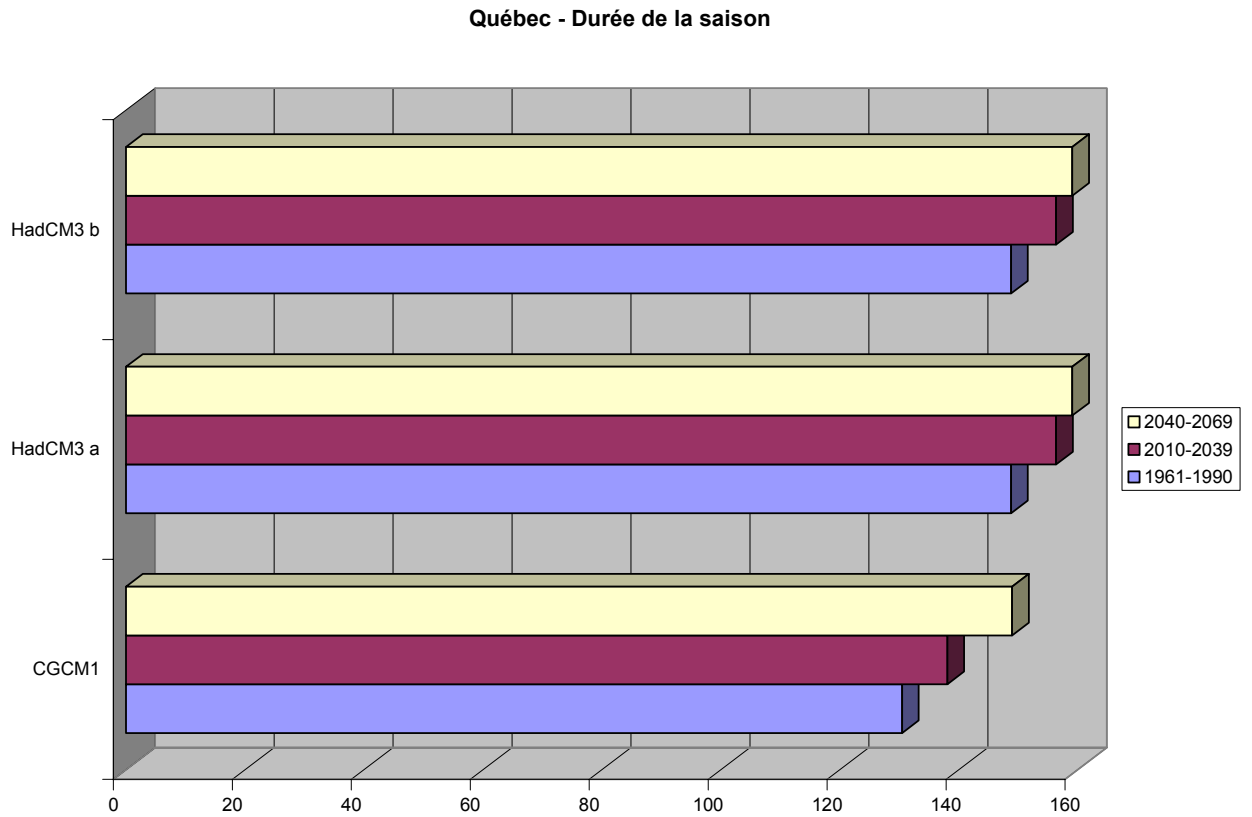


Figure 4.8. Nombre de jours chauds pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Québec.

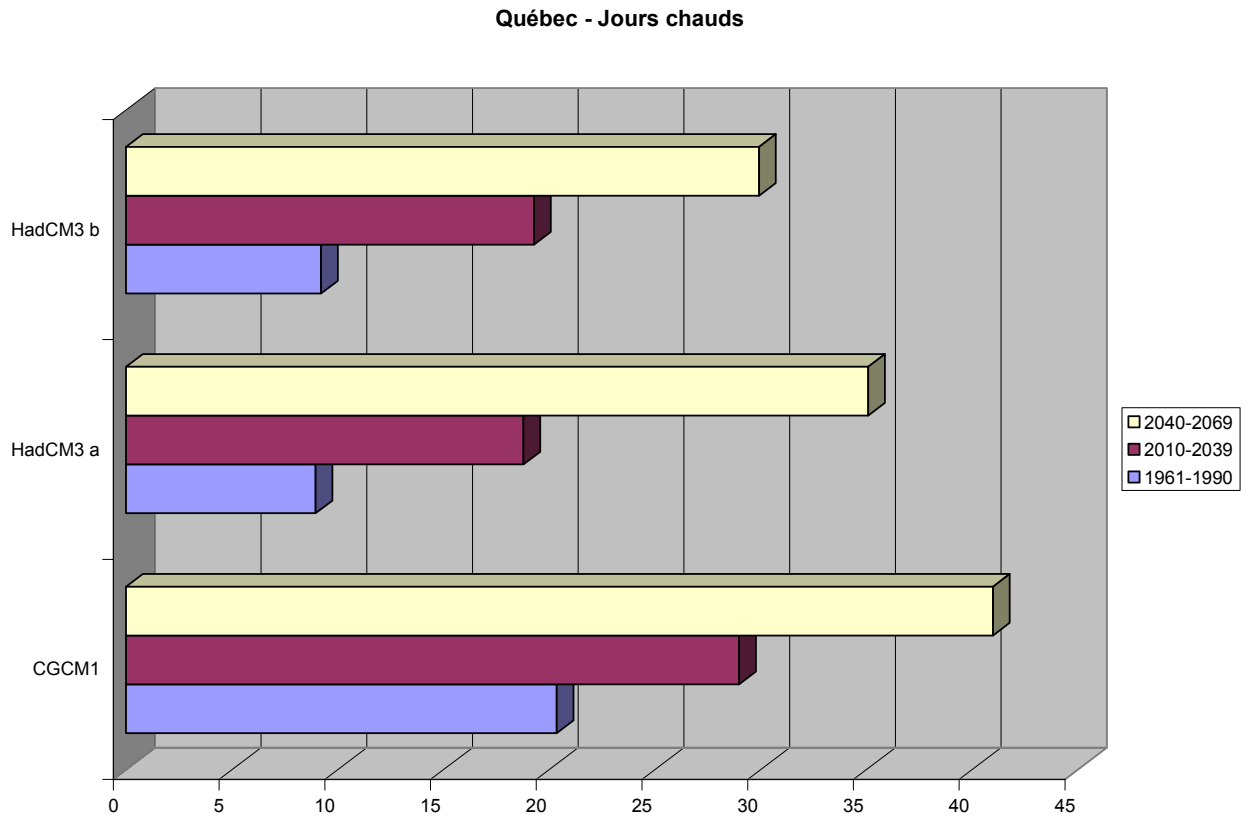


Figure 4.9. Nombre de jours de pluies pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Québec.

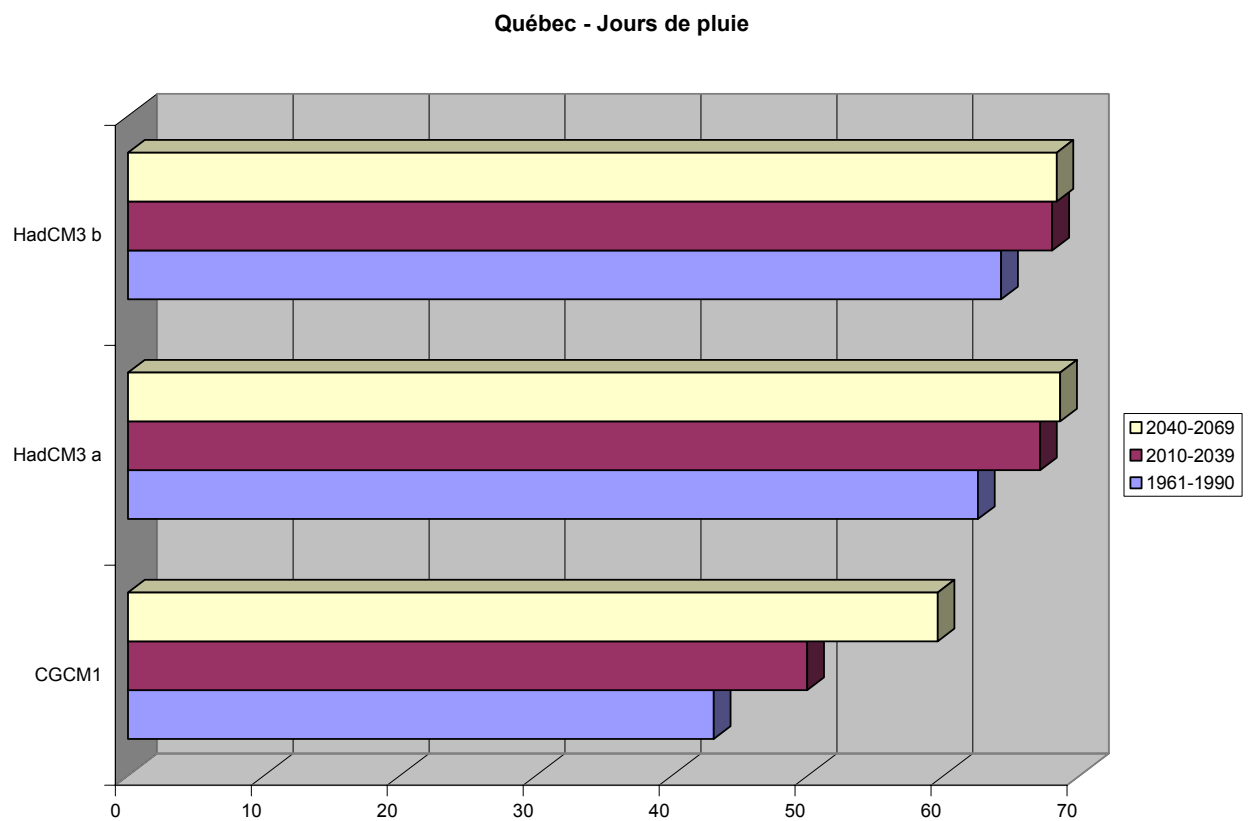


Figure 4.10. Nombre de jours de canicules pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Québec.

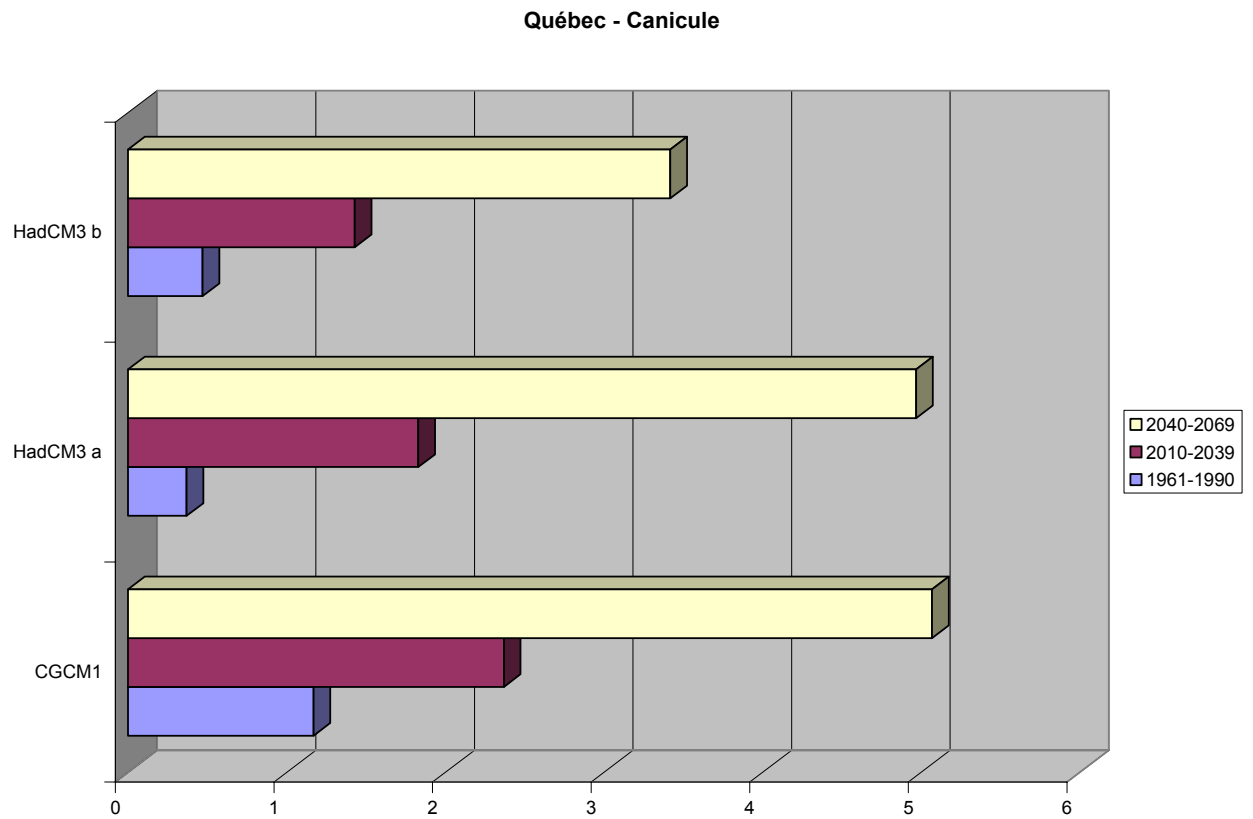


Figure 4.11. Nombre de jours de l'occurrence d'une température $> 27^{\circ}$ C pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Québec.

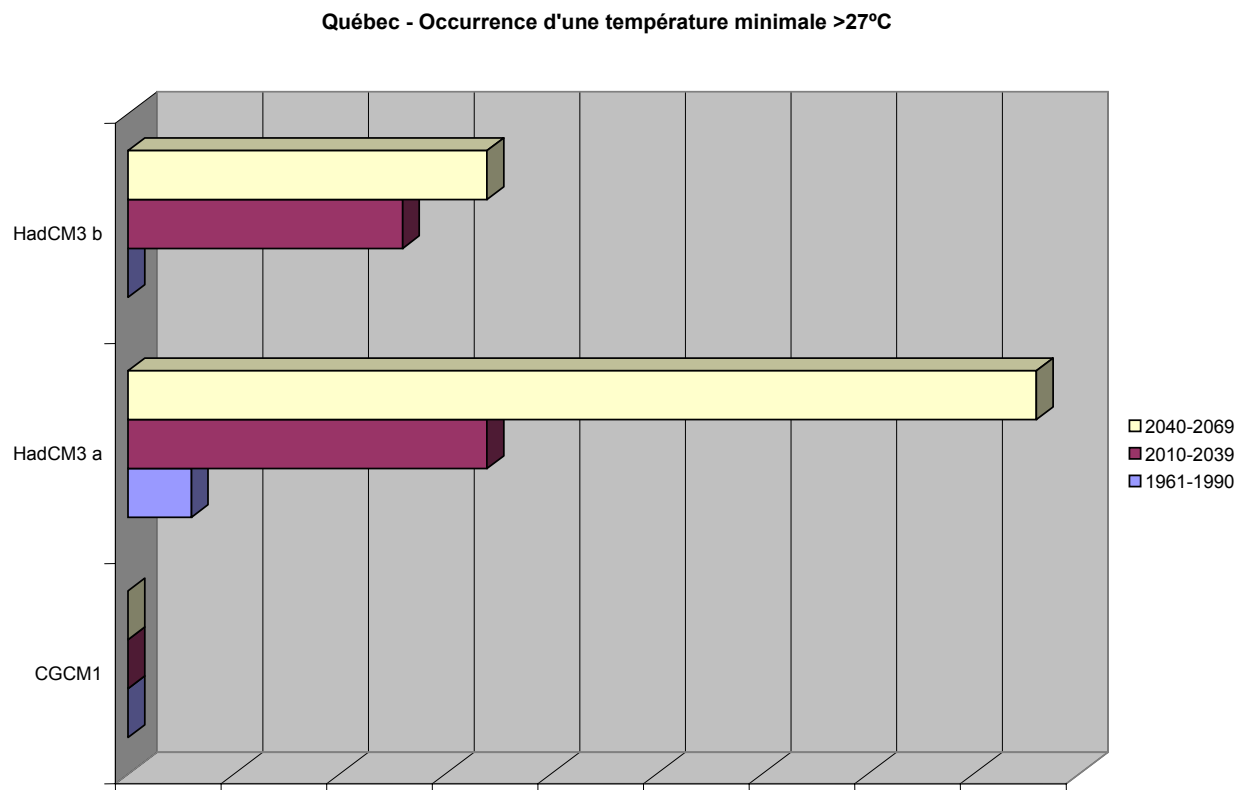


Figure 4.12. Durée de la saison de golf en jours selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Lennoxville.

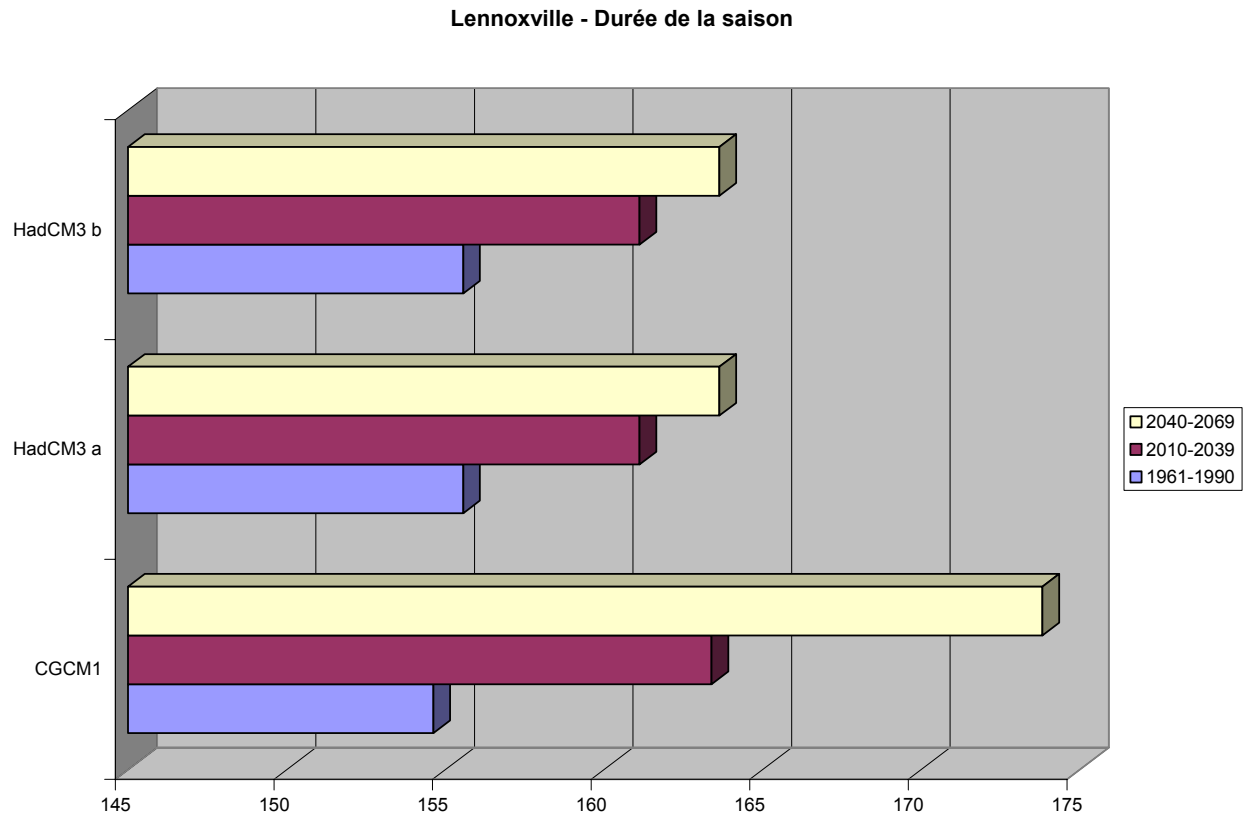


Figure 4.13. Nombre de jours chauds pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Lennoxville.

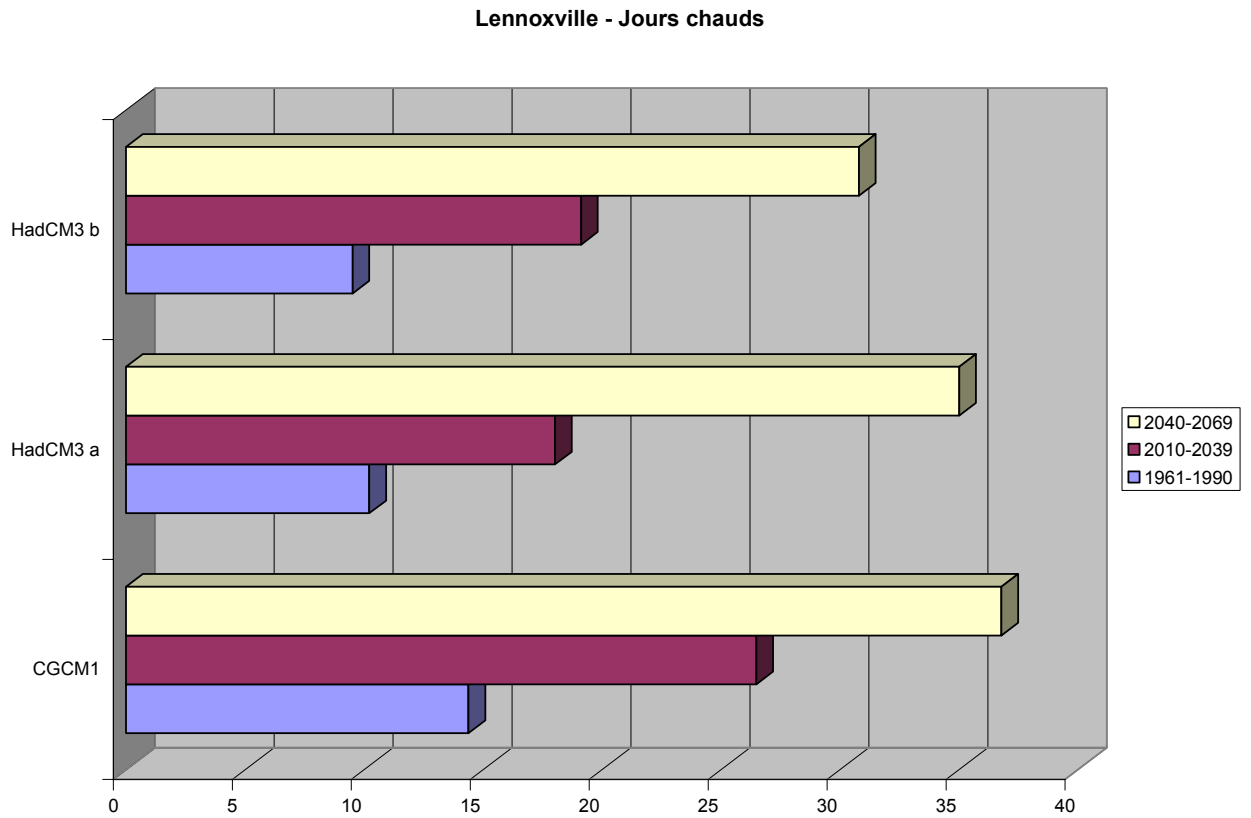


Figure 4.14. Nombre de jours de pluies pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Lennoxville.

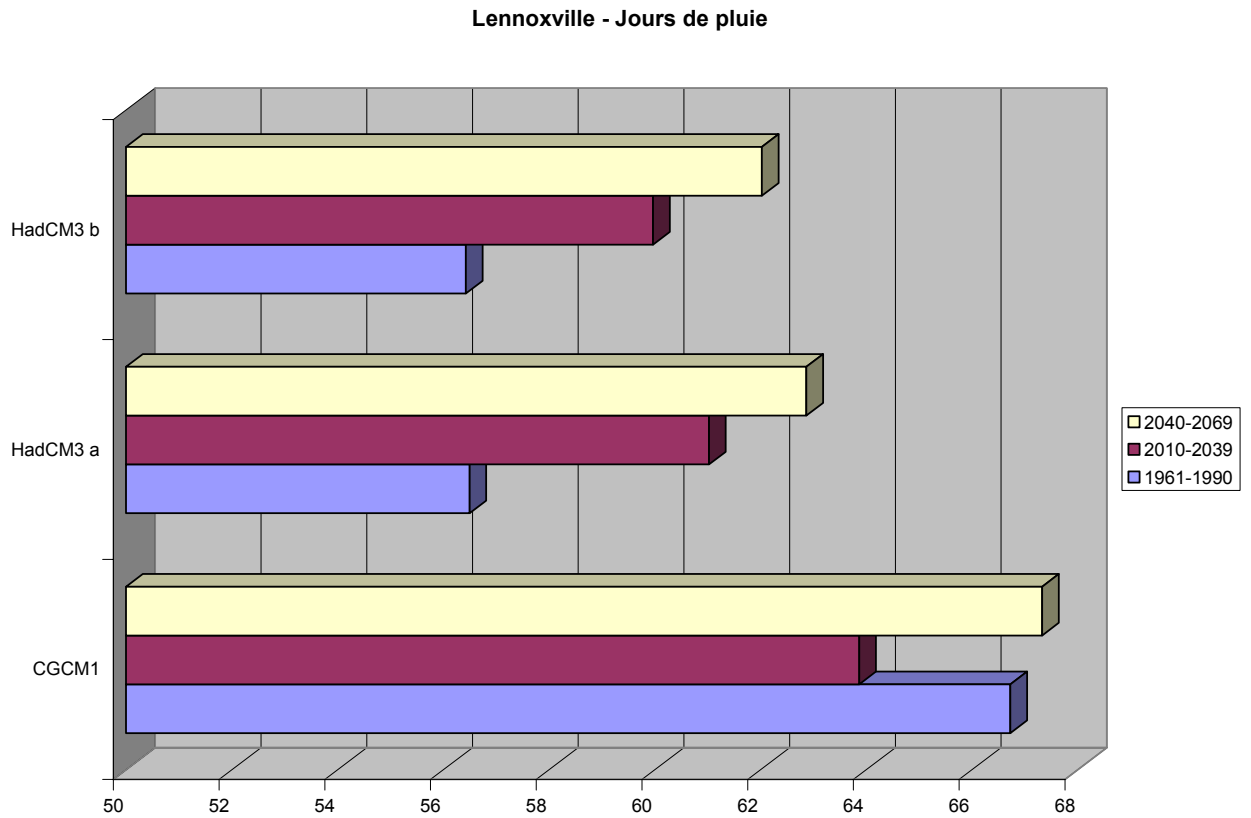


Figure 4.15. Nombre de jours de canicules pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Lennoxville.

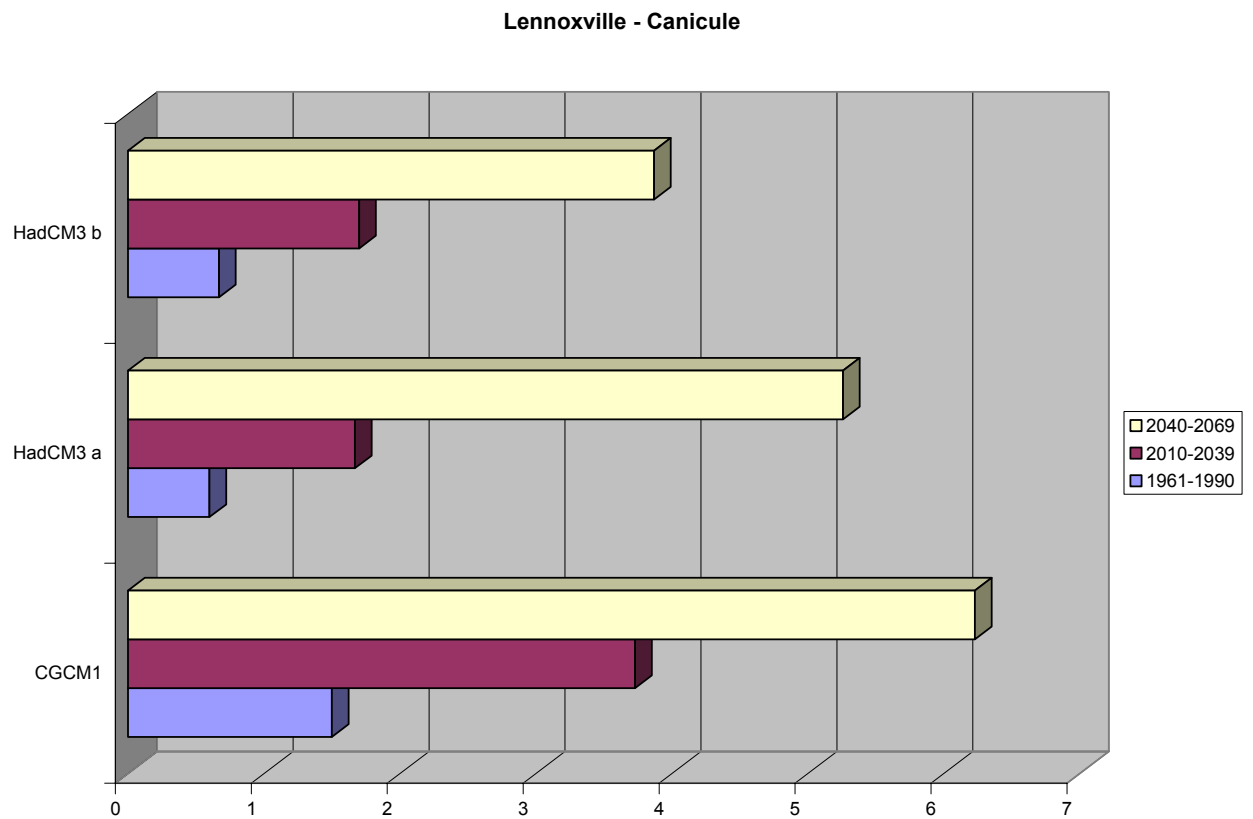


Figure 4.16. Nombre de jours de l'occurrence d'une température $> 27^{\circ}\text{C}$ pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Lennoxville.

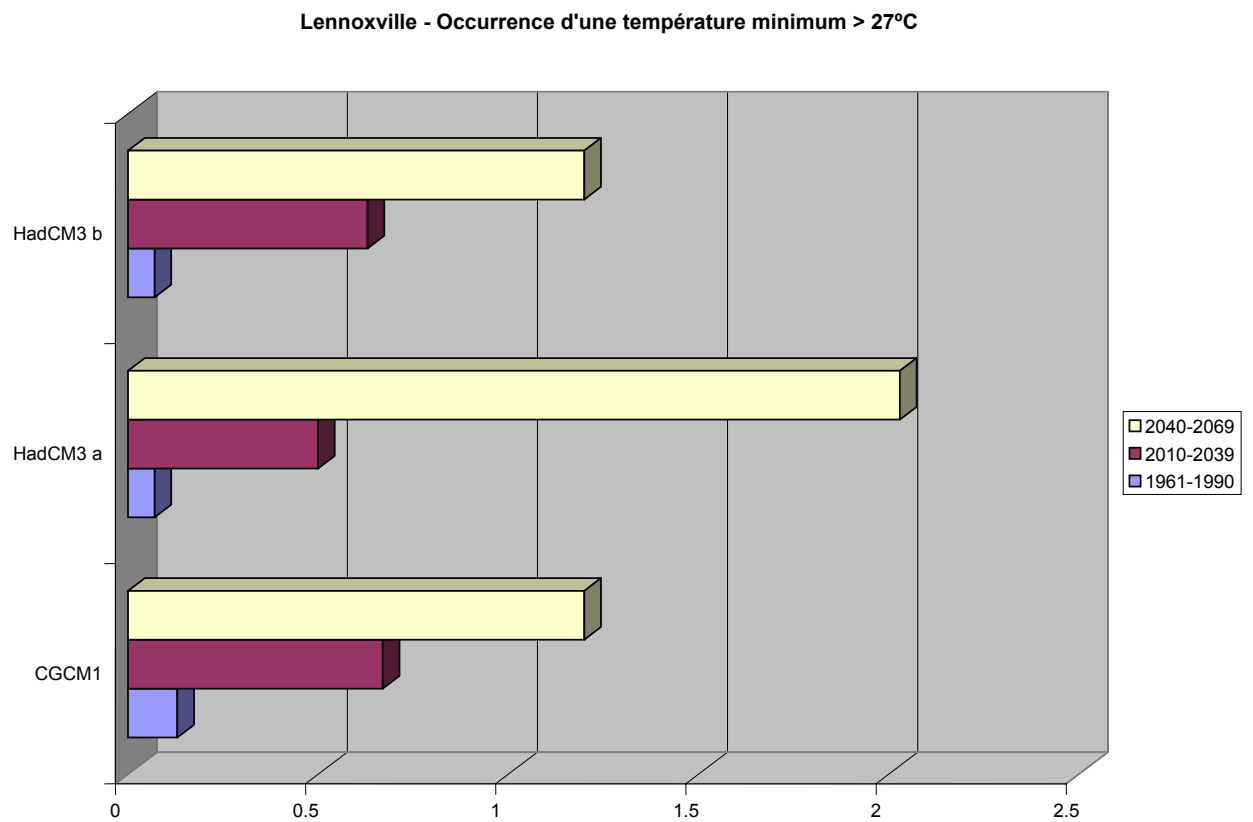


Figure 4.17. Durée de la saison de golf en jours selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Sutton.

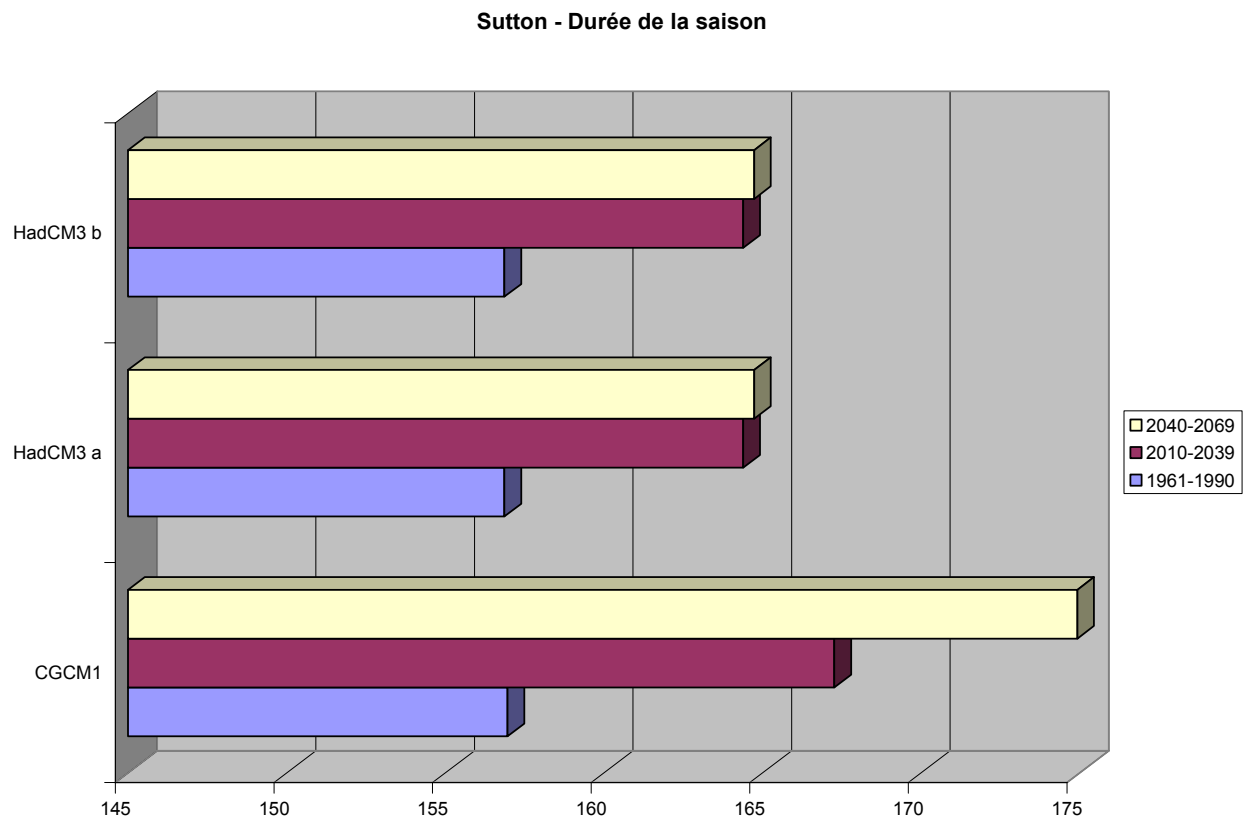


Figure 4.18. Nombre de jours chauds pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Sutton.

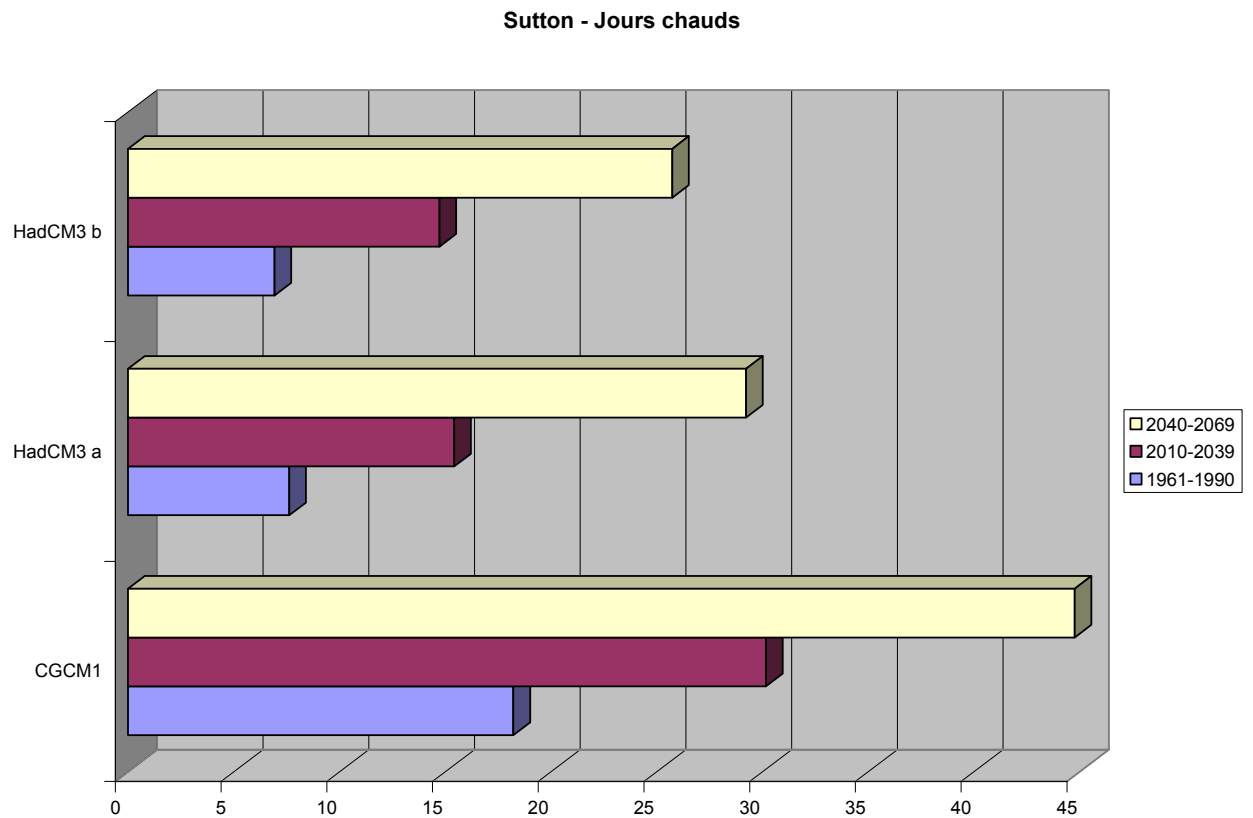


Figure 4.19. Nombre de jours de pluies pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Sutton.

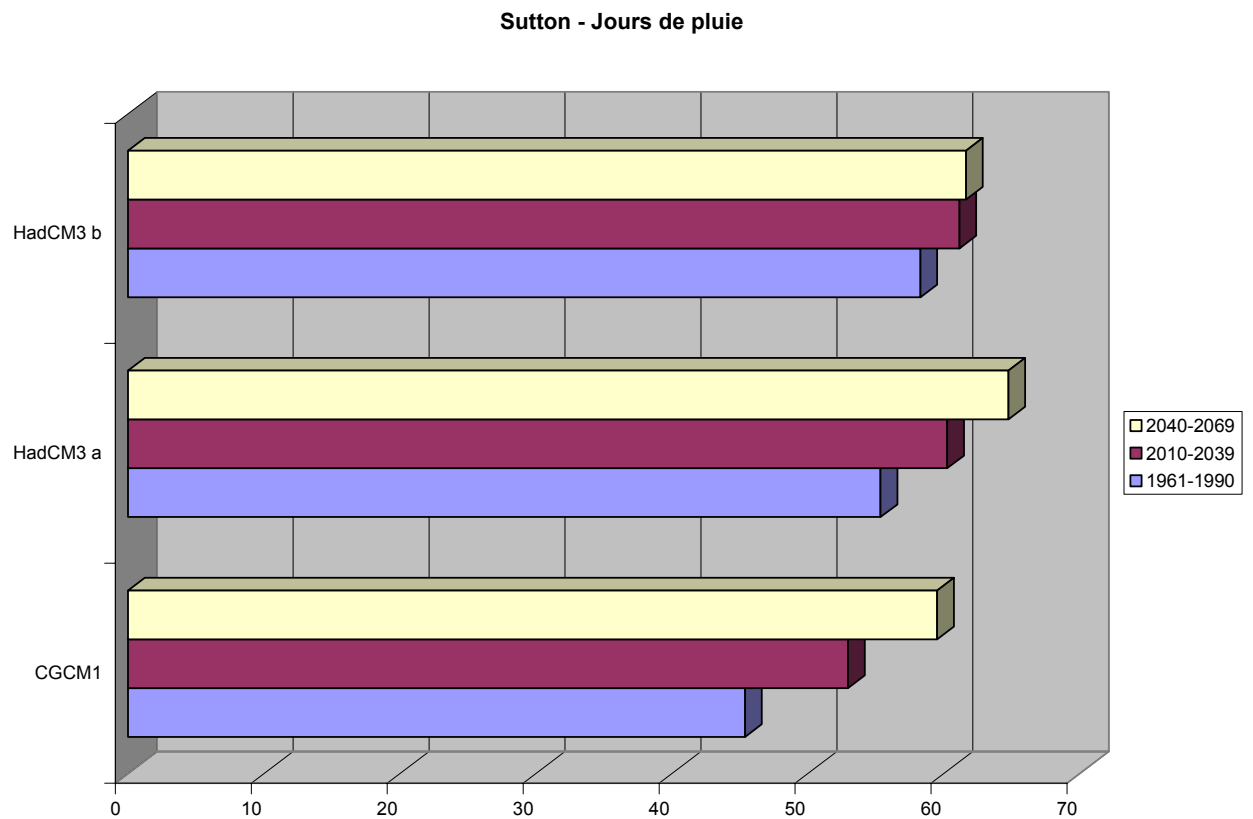


Figure 4.20. Nombre de jours de canicules pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Sutton.

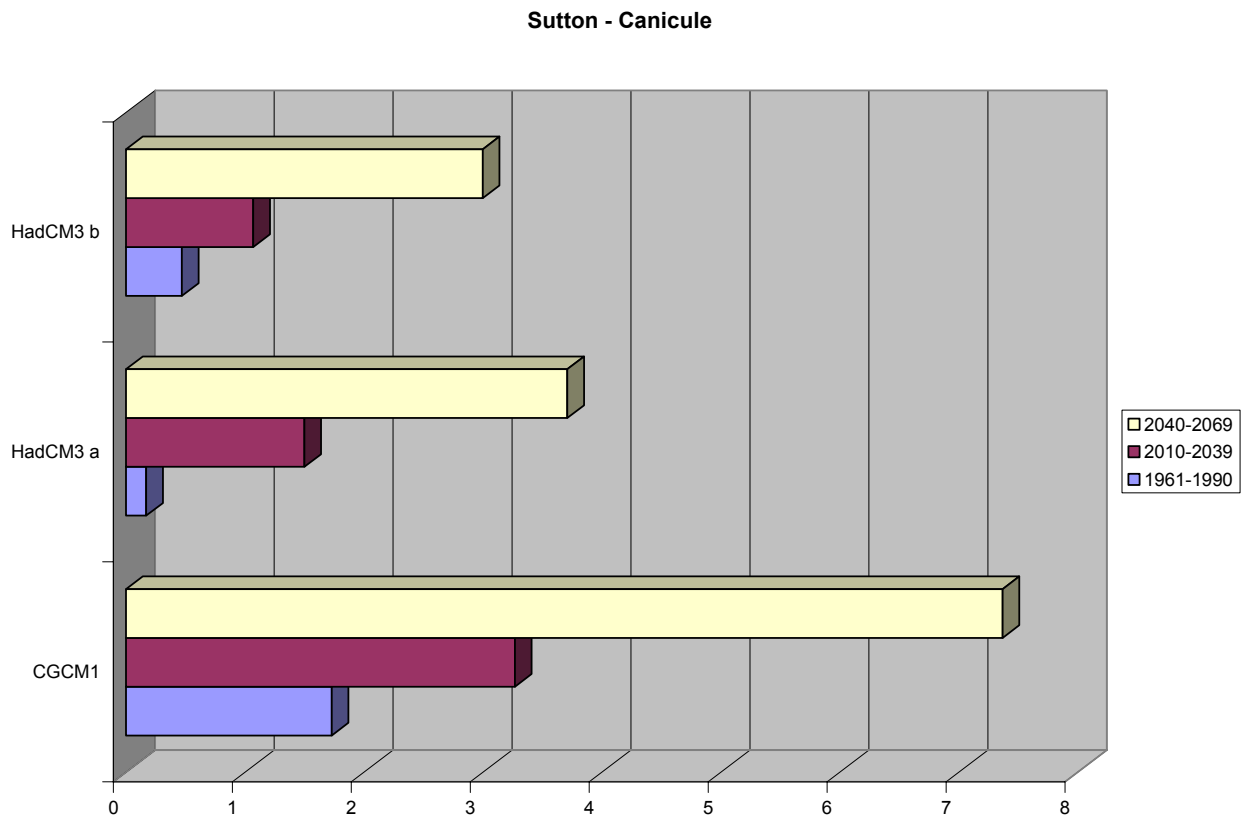


Figure 4.21. Nombre de jours de l'occurrence d'une température $> 27^{\circ}$ C pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Sutton.

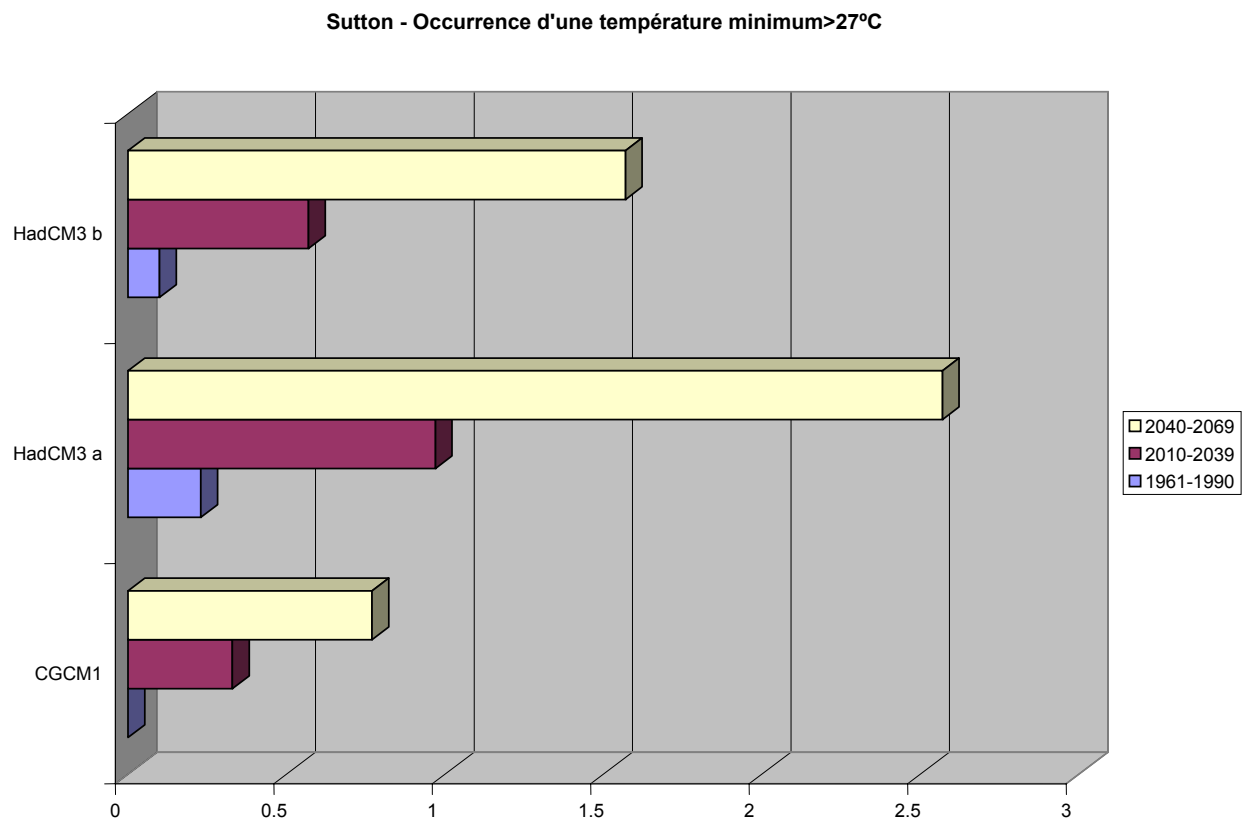


Figure 4.22. Durée de la saison de golf en jours selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Sherbrooke.

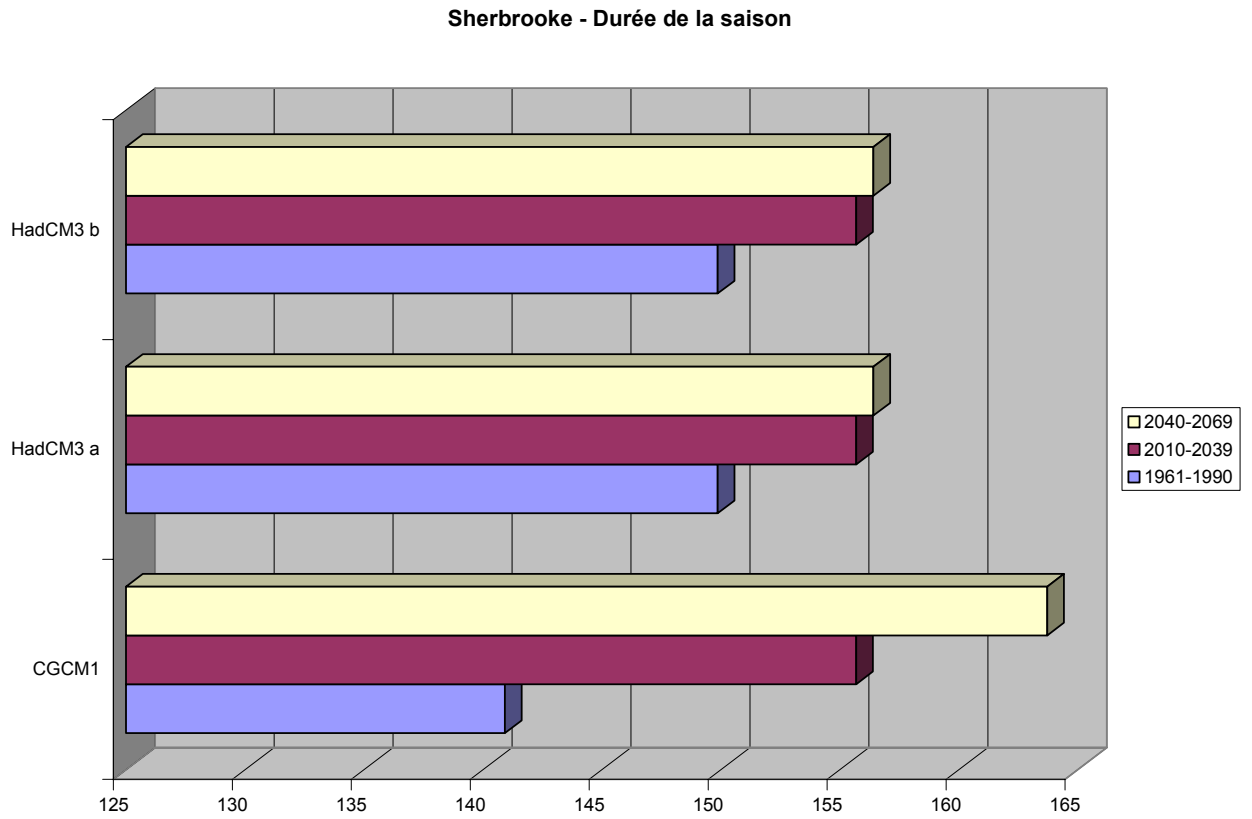


Figure 4.23. Nombre de jours chauds pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Sherbrooke.

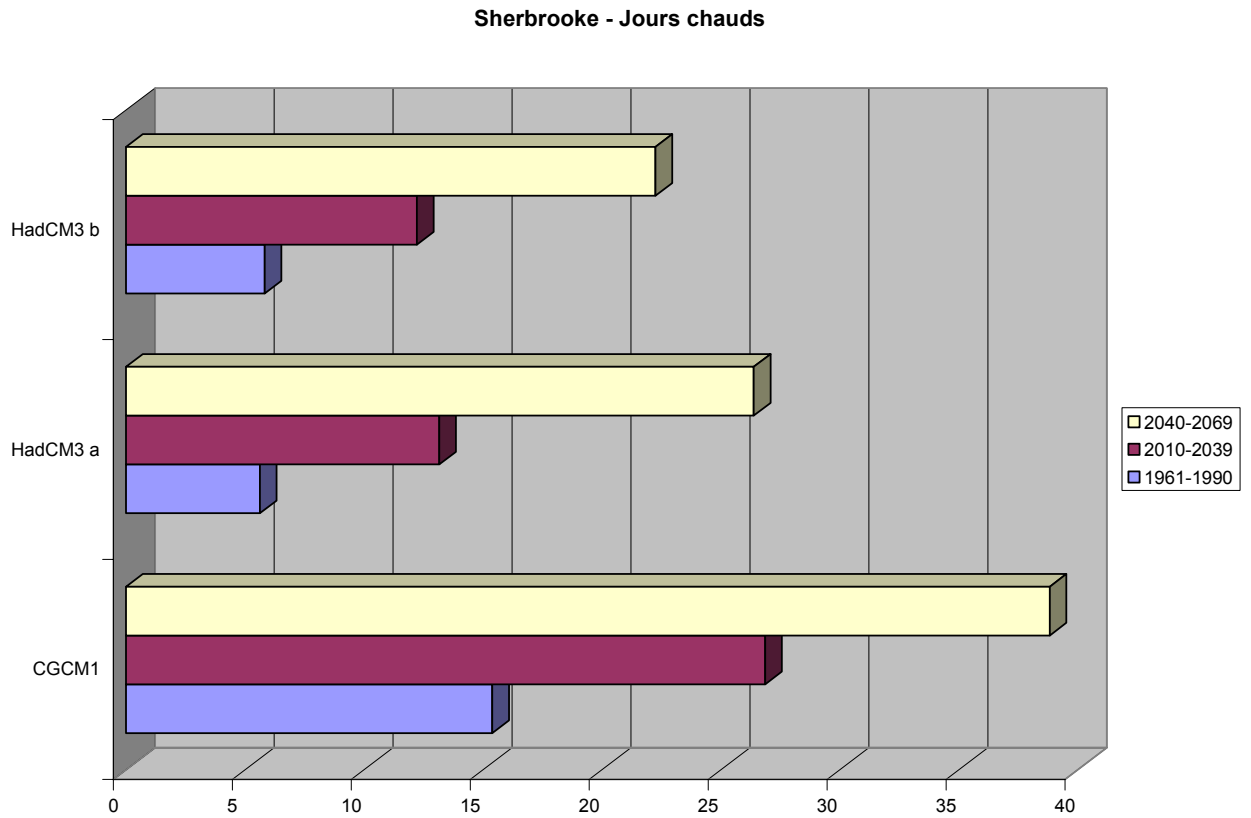


Figure 4.24. Nombre de jours de pluies pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Sherbrooke.

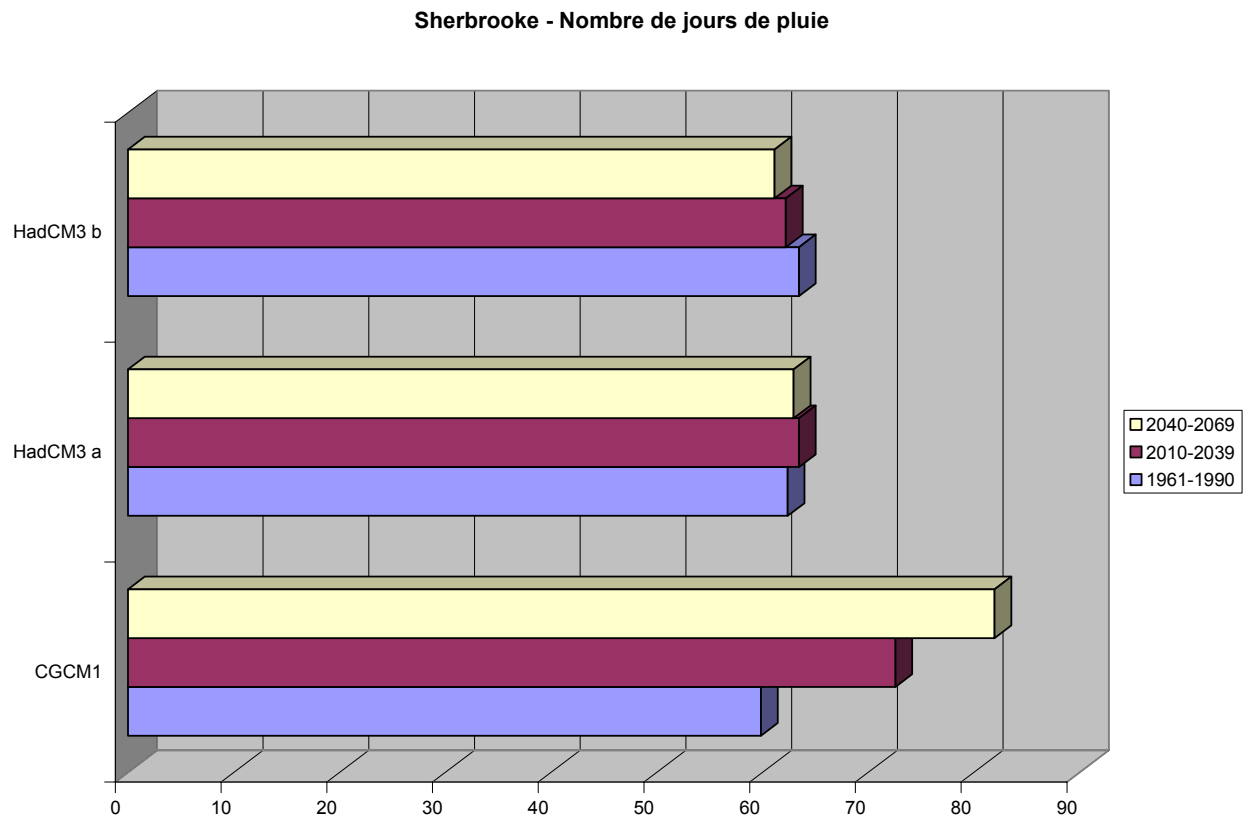


Figure 4.25. Nombre de jours de canicules pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Sherbrooke.

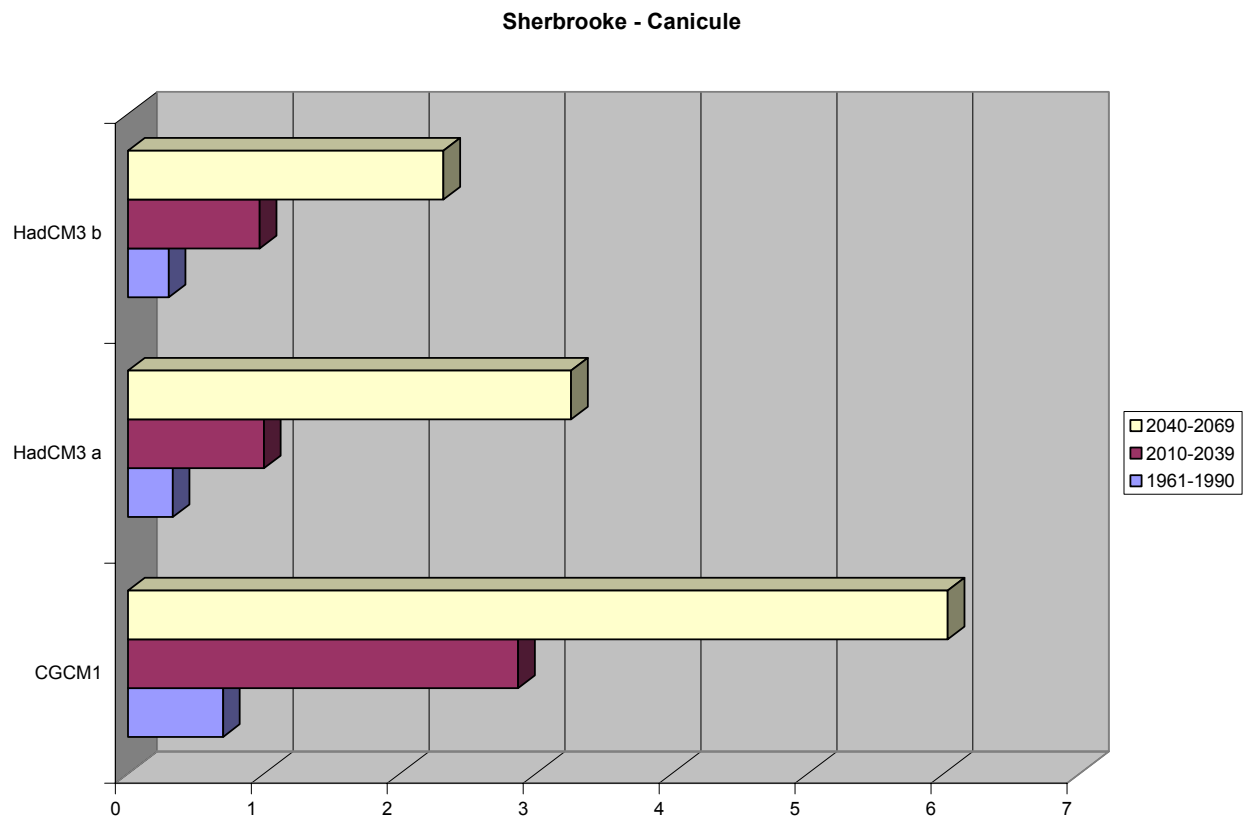


Figure 4.26. Nombre de jours de l'occurrence d'une température $>27^{\circ}\text{C}$ pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Sherbrooke.

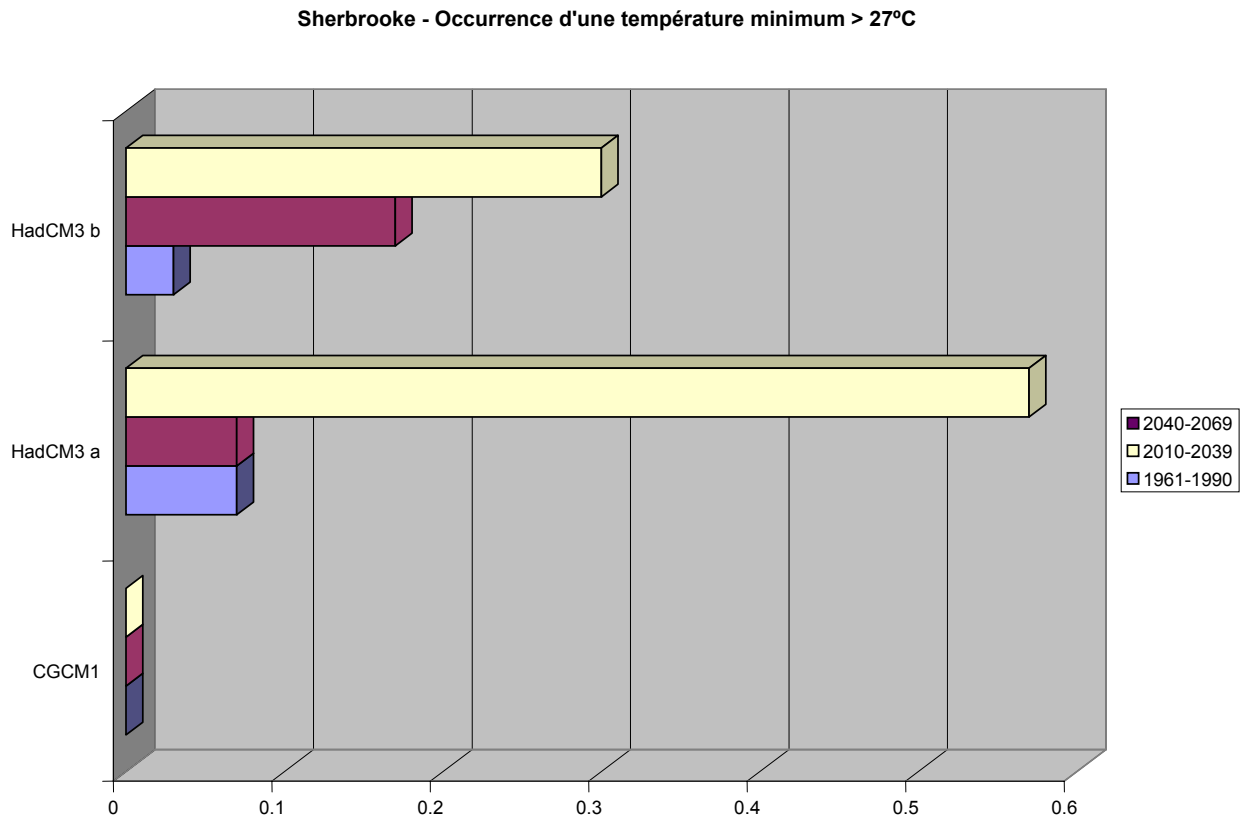


Figure 4.27. Durée de la saison de golf en jours selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Sainte Hippolyte.

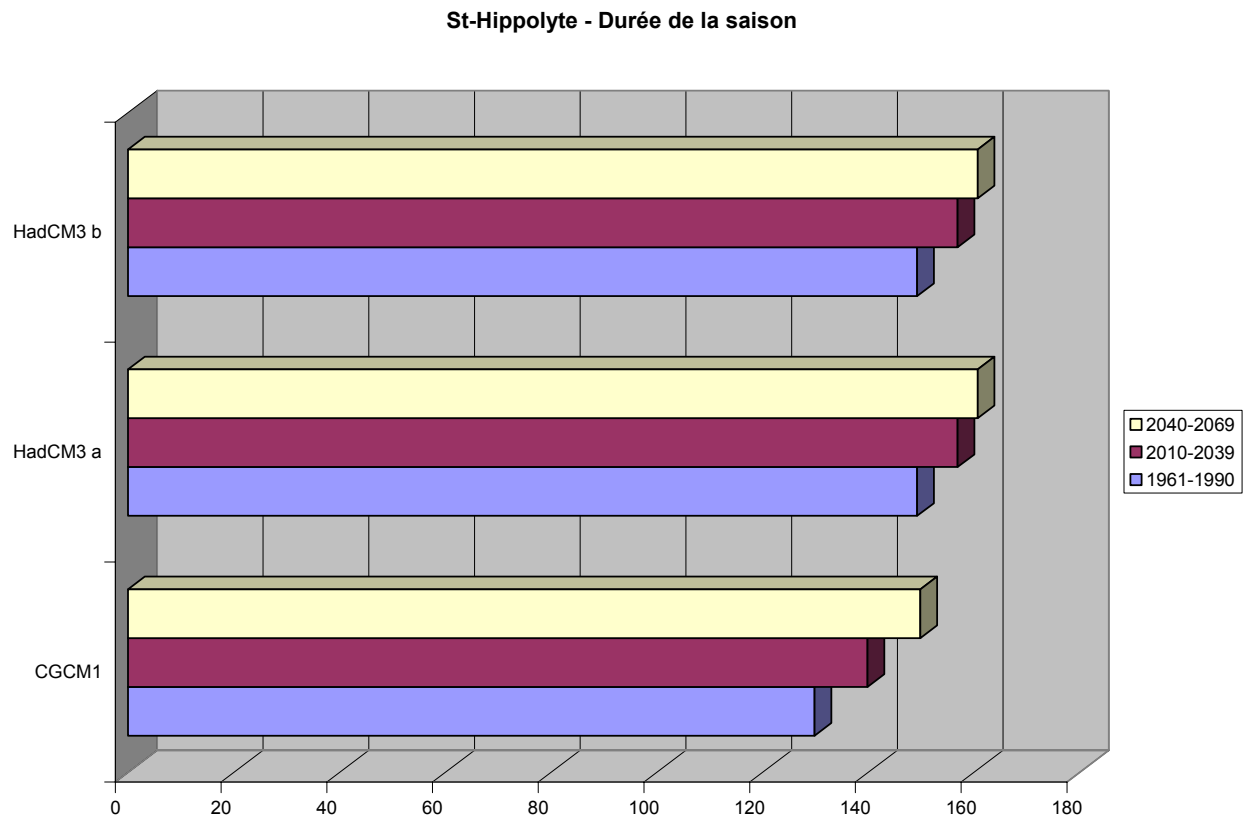


Figure 4.28. Nombre de jours chauds pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Saint Hippolyte.

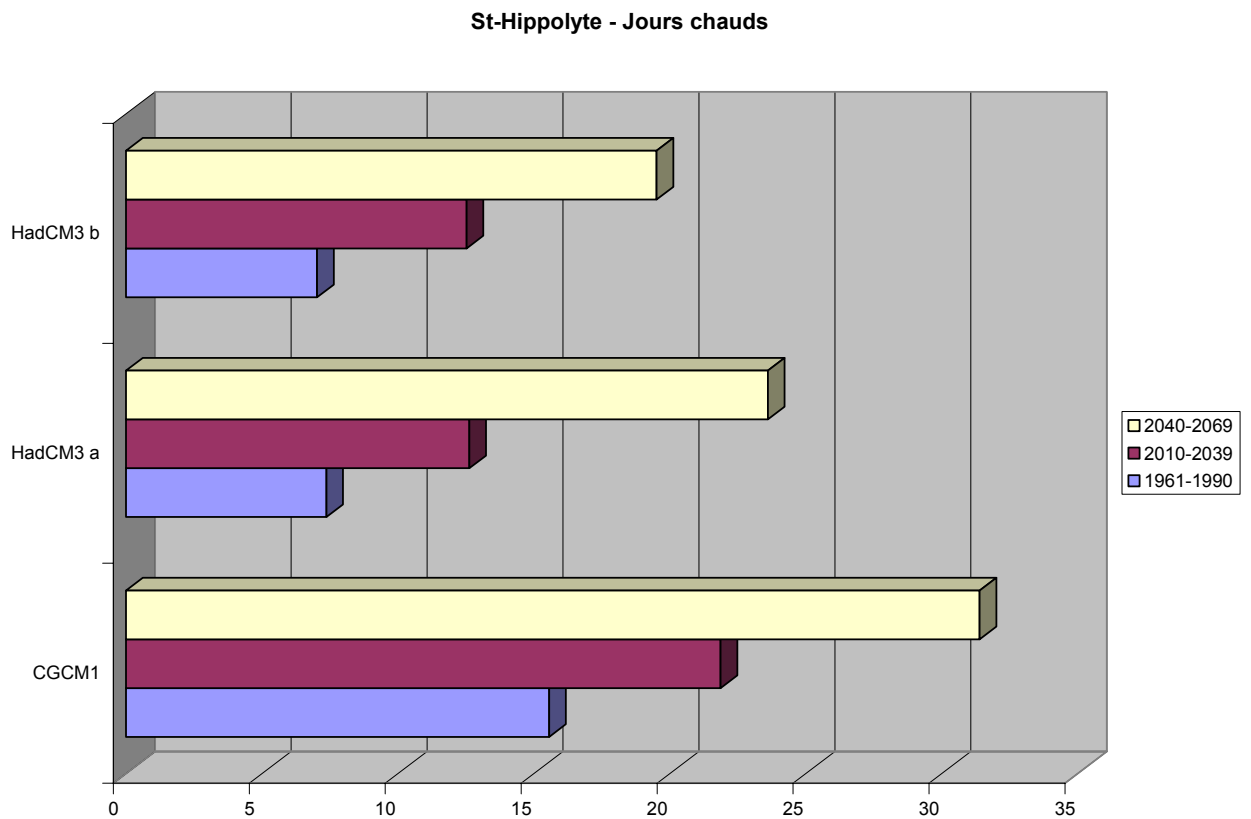


Figure 4.29. Nombre de jours de pluies pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Saint Hippolyte.

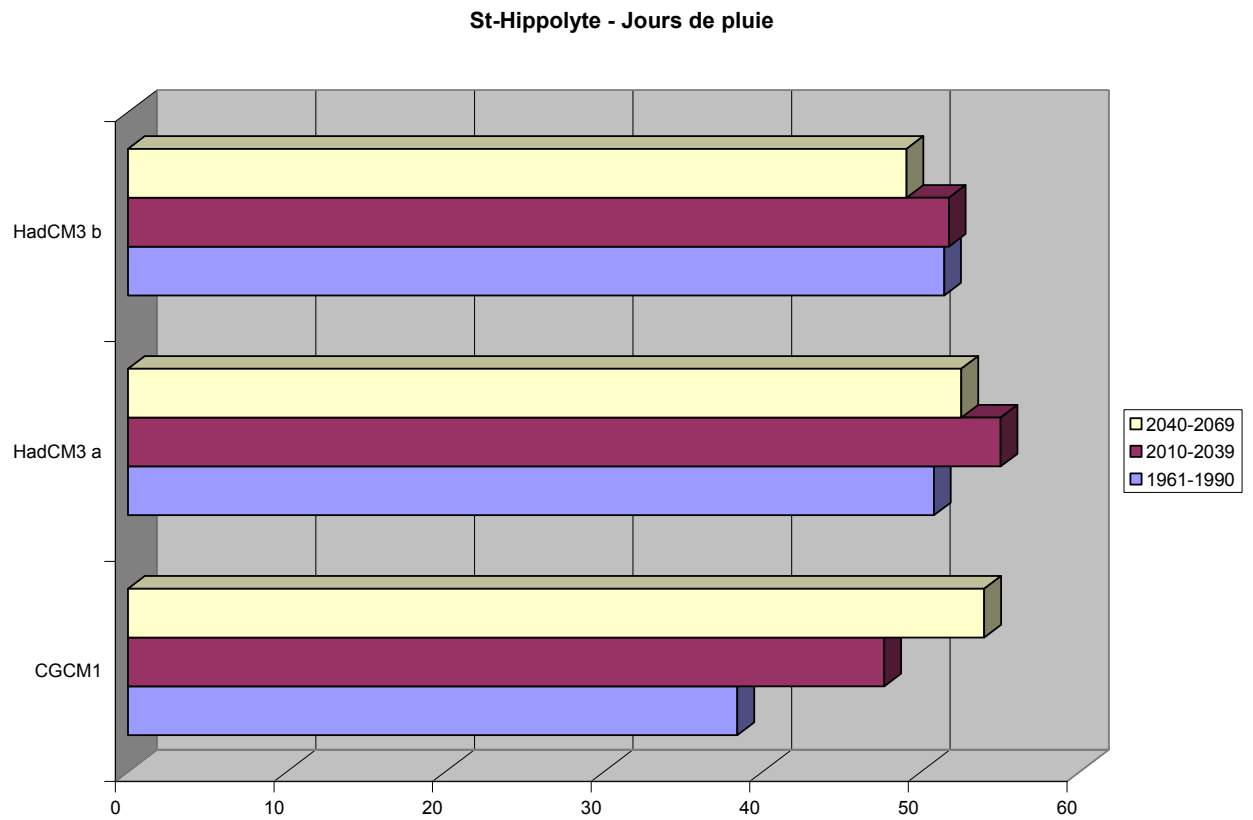


Figure 4.30. Nombre de jours de canicules pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Saint Hippolyte.

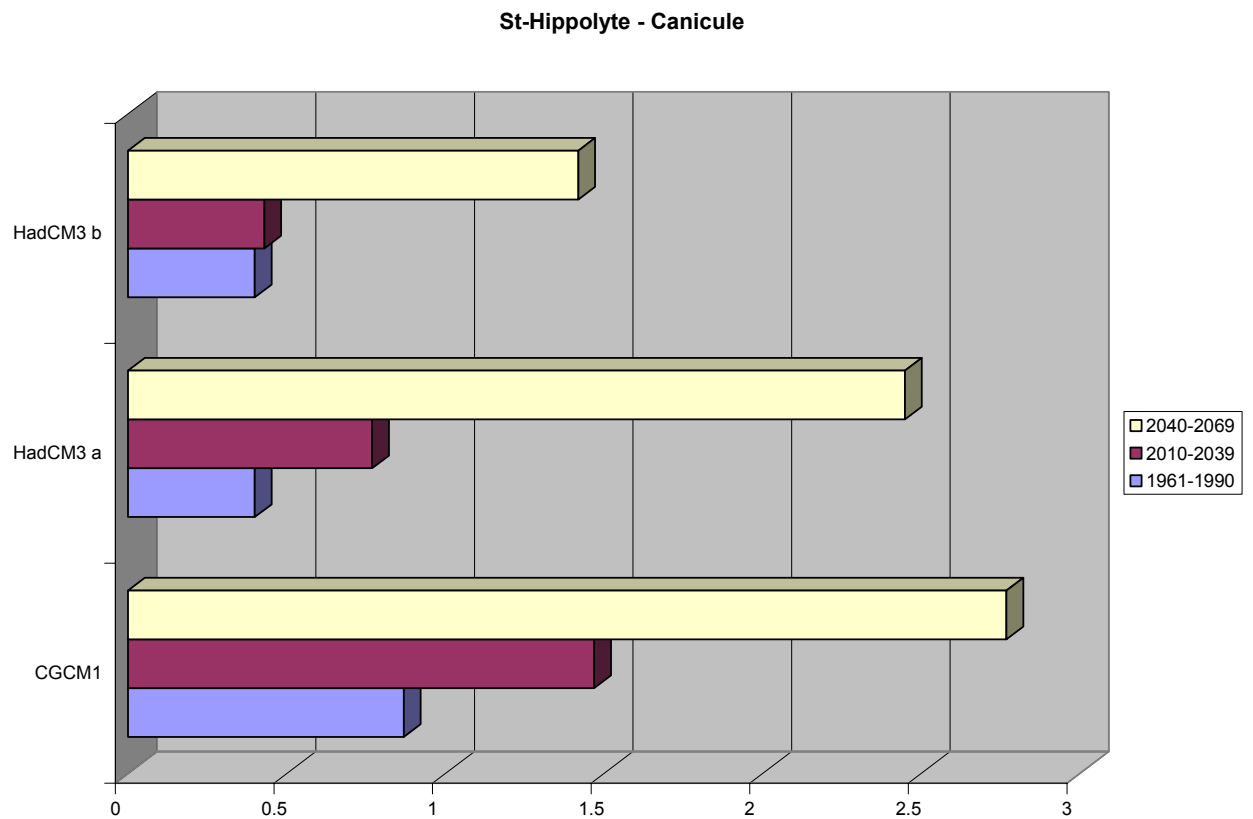


Figure 4.31. Nombre de jours de l'occurrence d'une température $> 27^{\circ}\text{C}$ pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Saint Hippolyte.

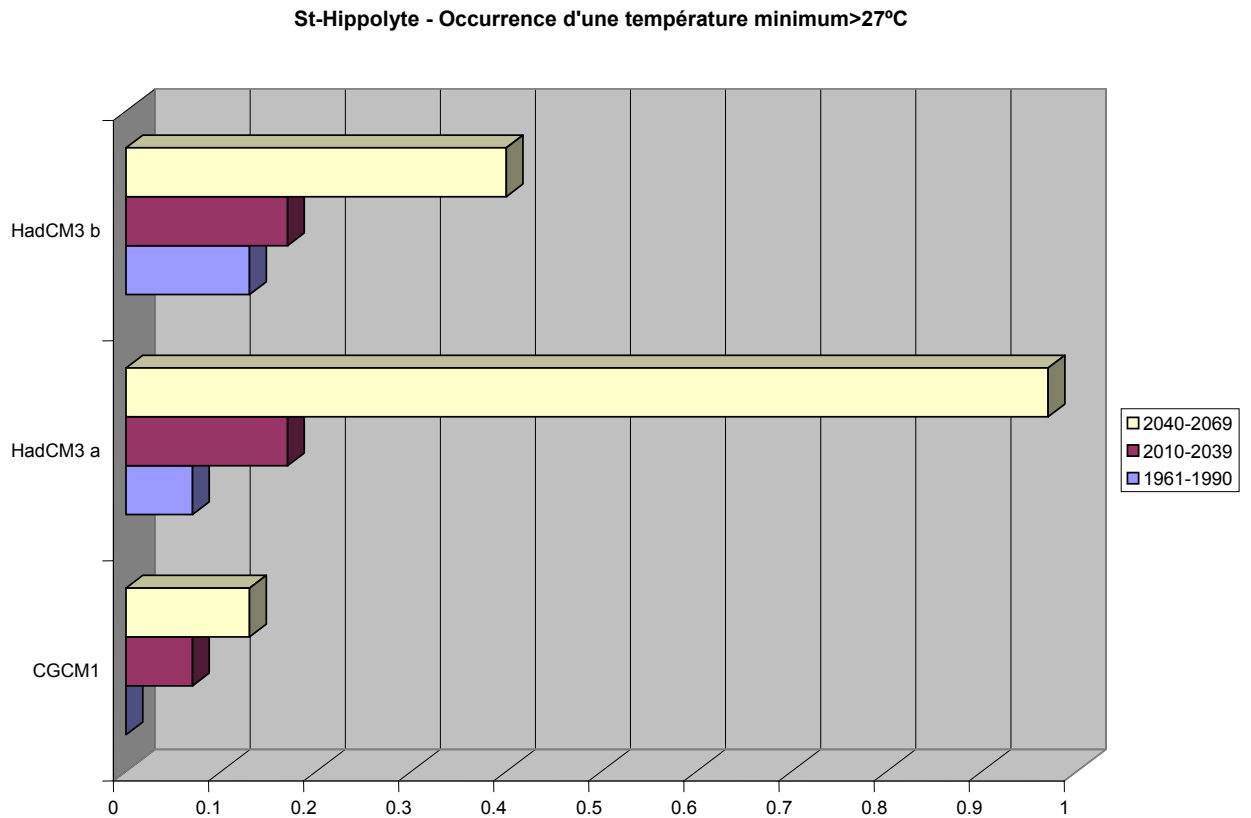


Figure 4.32. Durée de la saison de golf en jours selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Macaza.

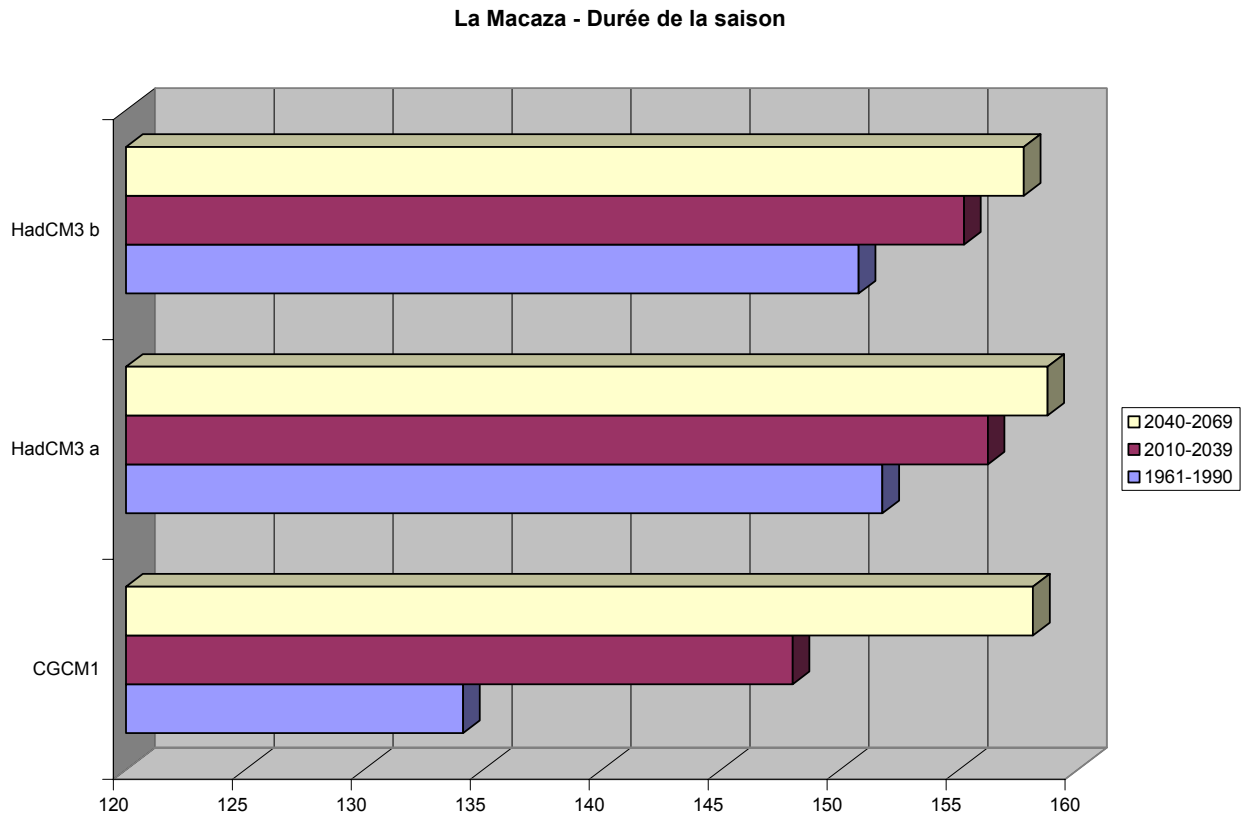


Figure 4.33. Nombre de jours chauds pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Macaza.

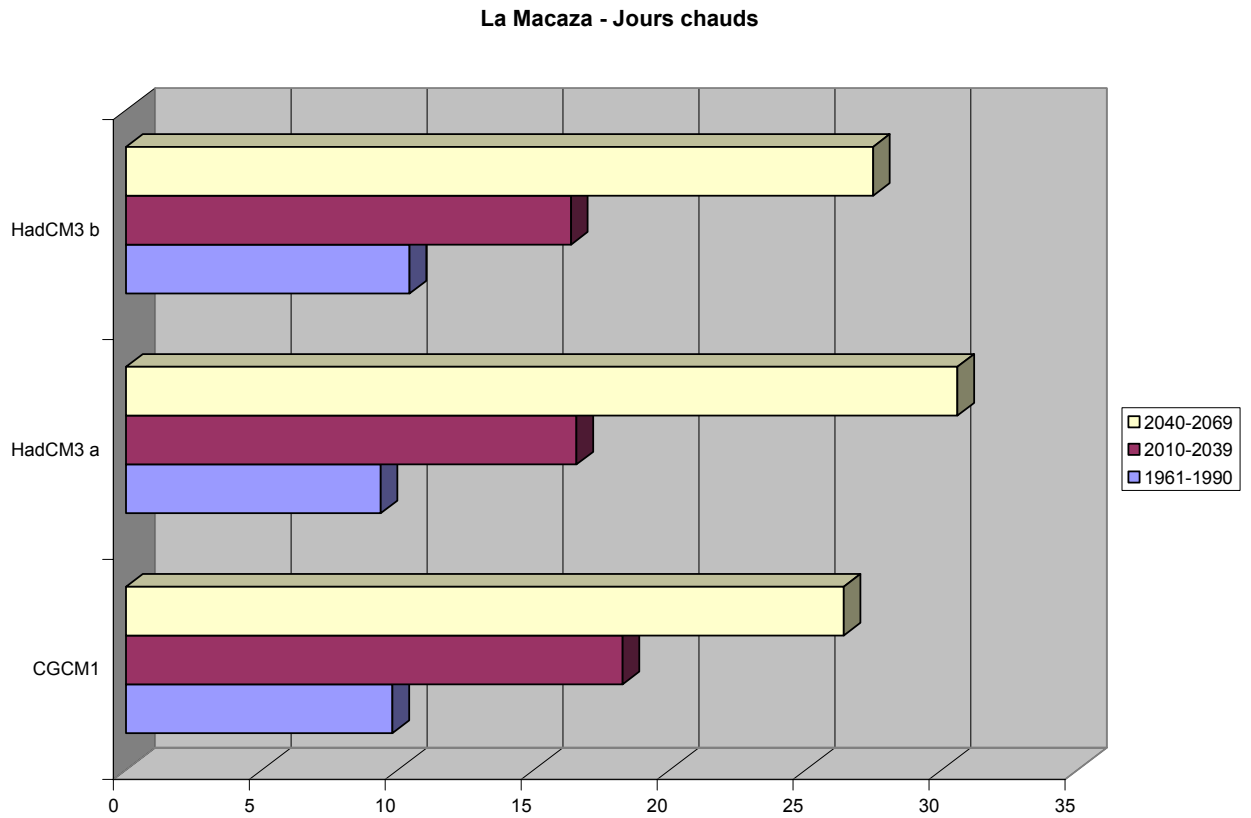


Figure 4.34. Nombre de jours de pluies pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Macaza.

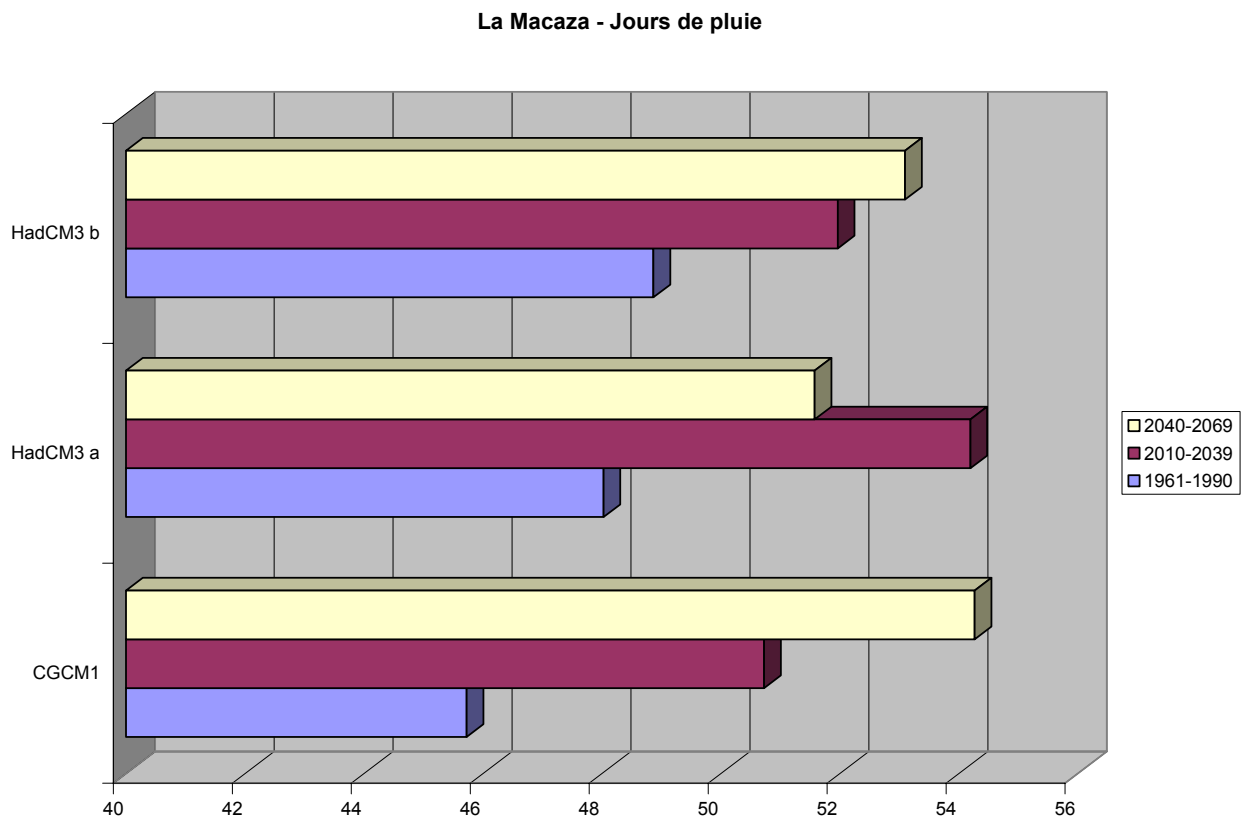


Figure 4.35. Nombre de jours de canicules pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Macaza.

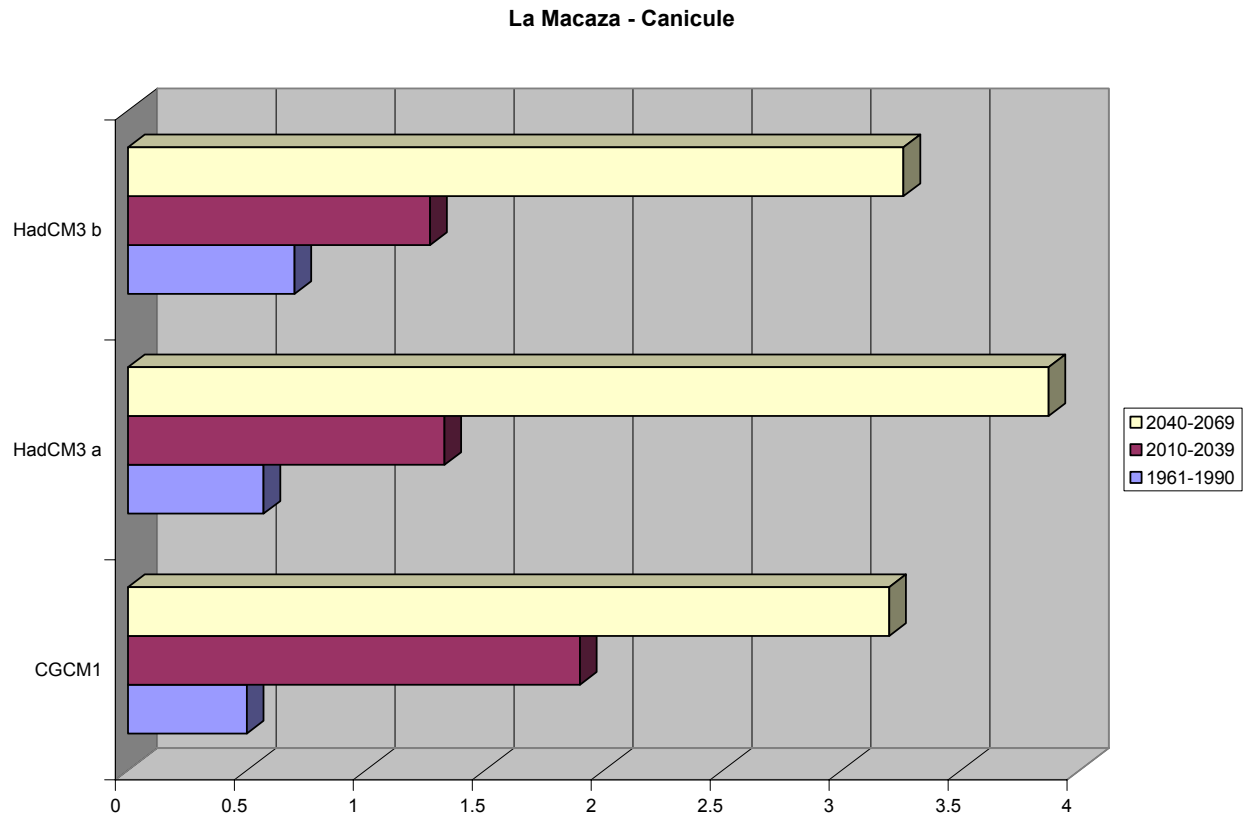


Figure 4.36. Nombre de jours de l'occurrence d'une température $> 27^{\circ}\text{C}$ pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Macaza.

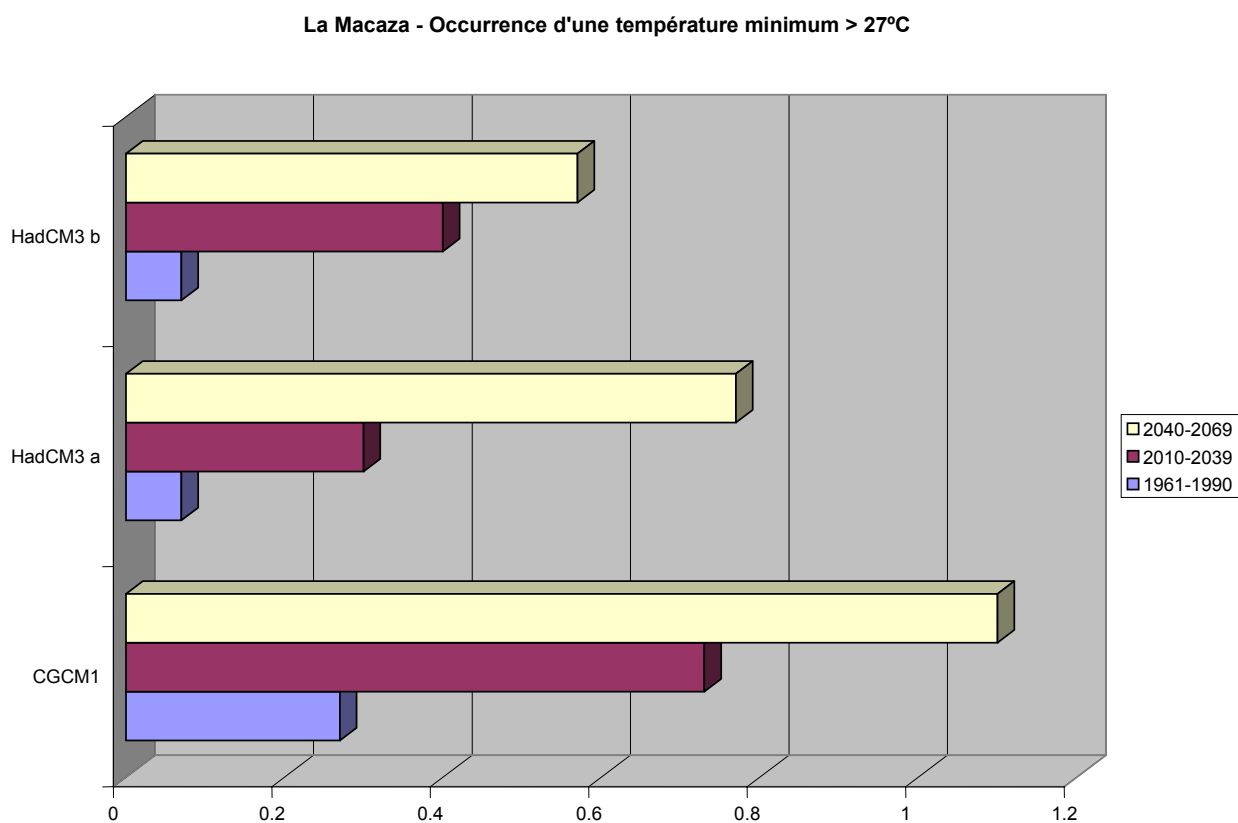


Figure 4.37. Durée de la saison de golf en jours selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Montréal.

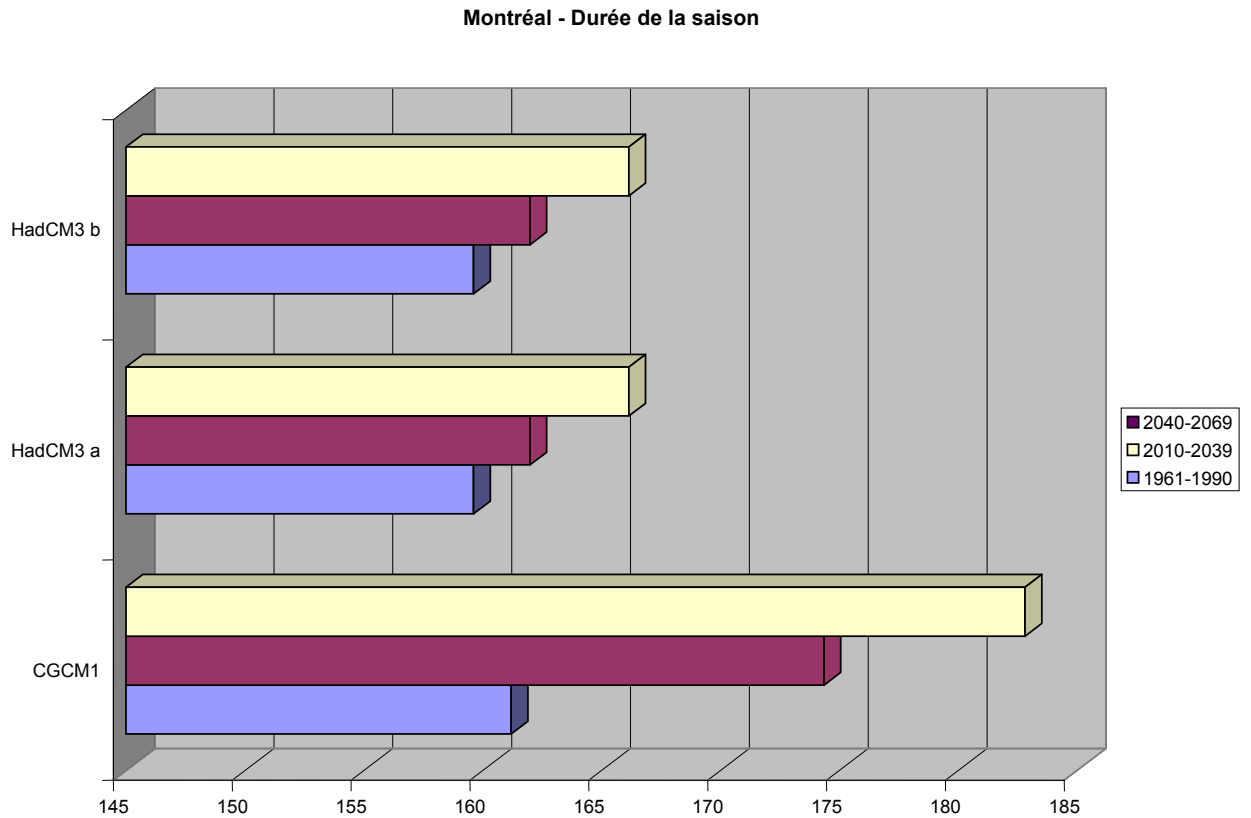


Figure 4.38. Nombre de jours chauds pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Montréal.

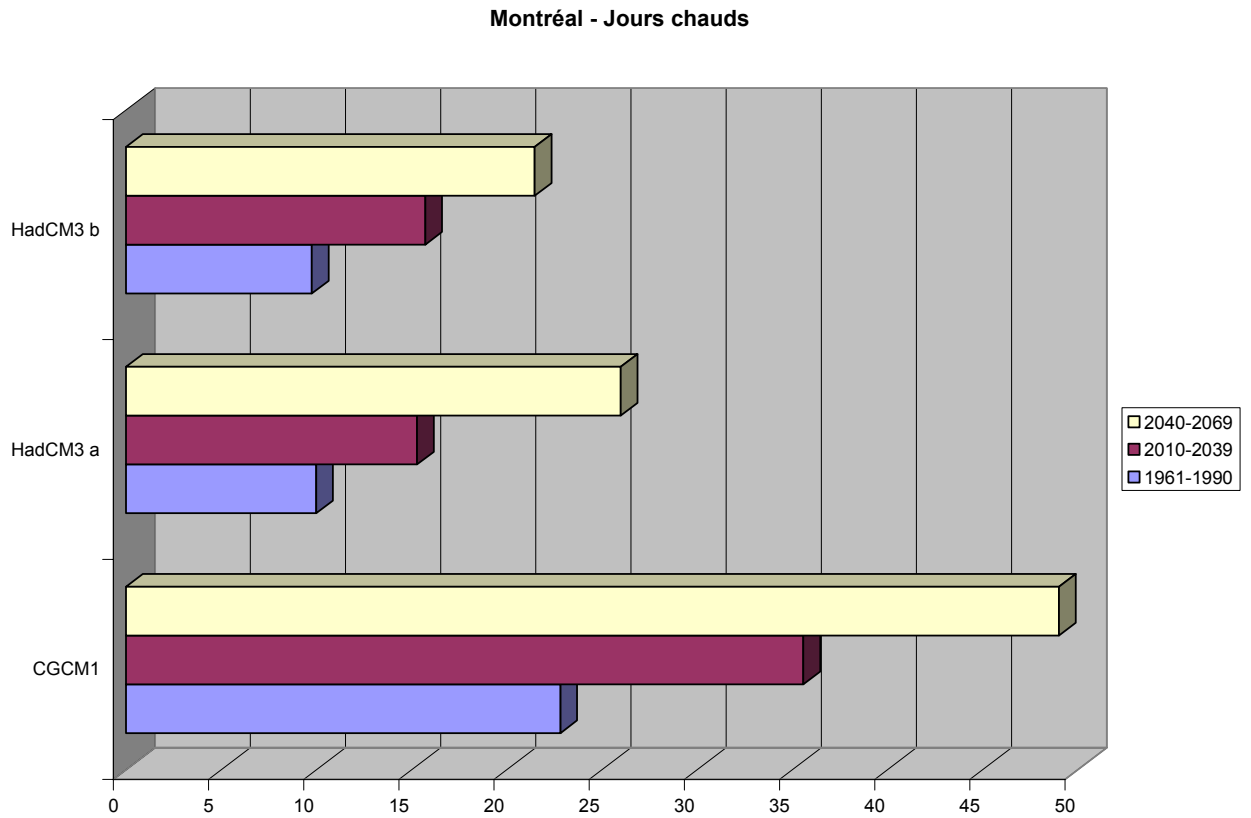


Figure 4.39. Nombre de jours de pluies pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Montréal.

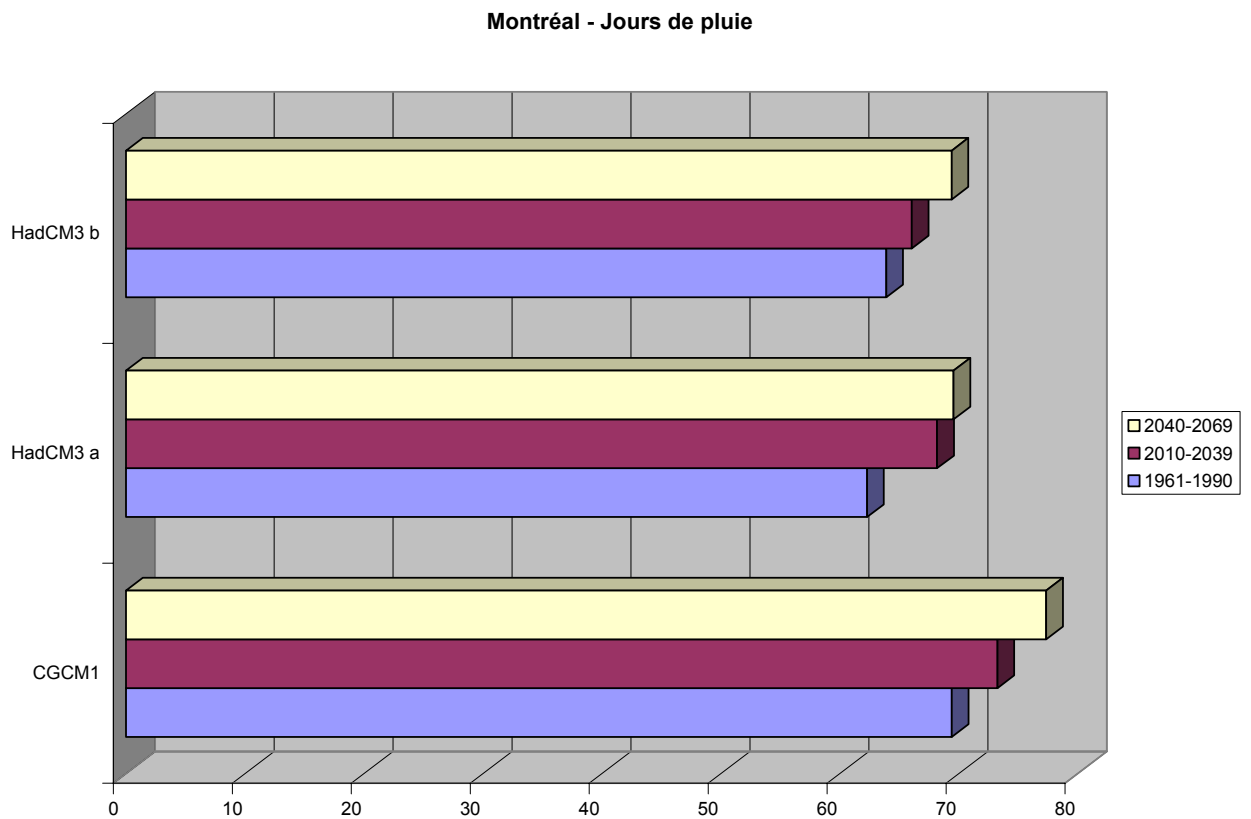


Figure 4.40. Nombre de jours de canicules pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Montréal.

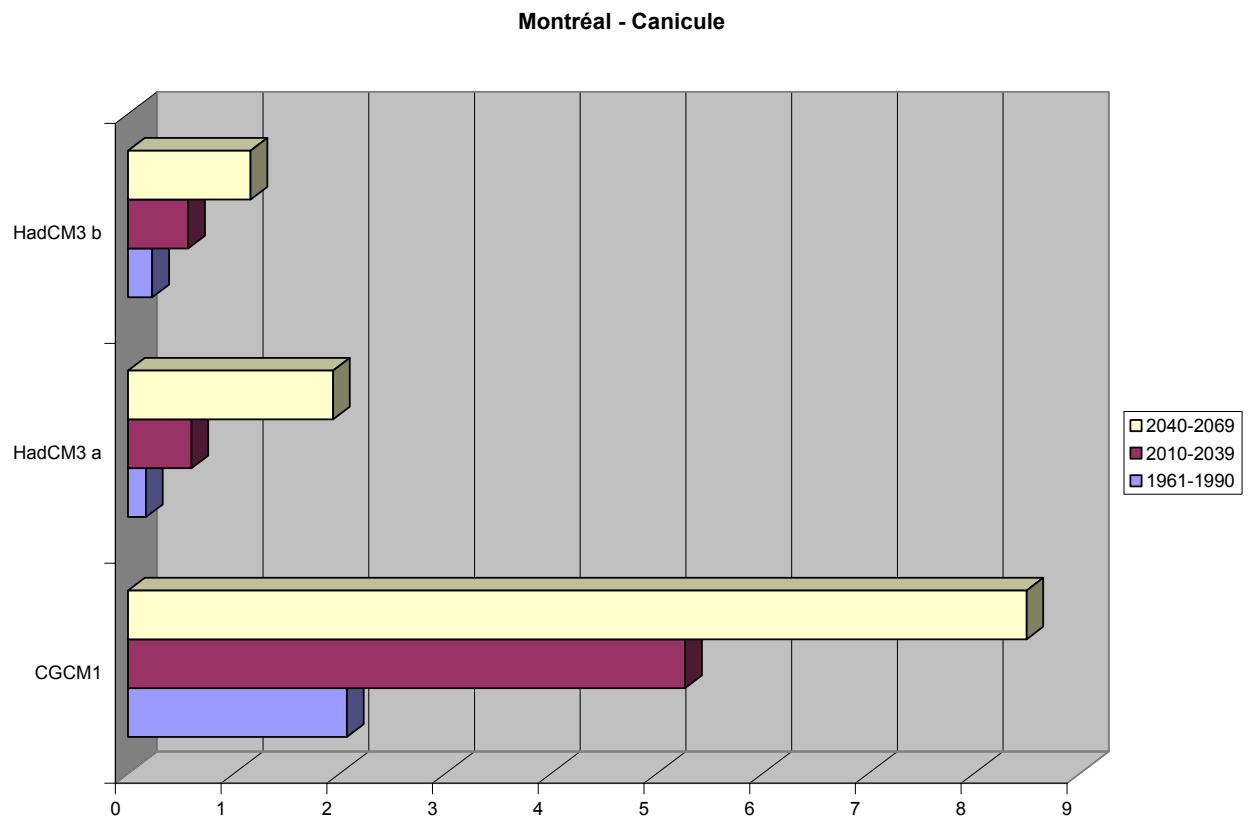
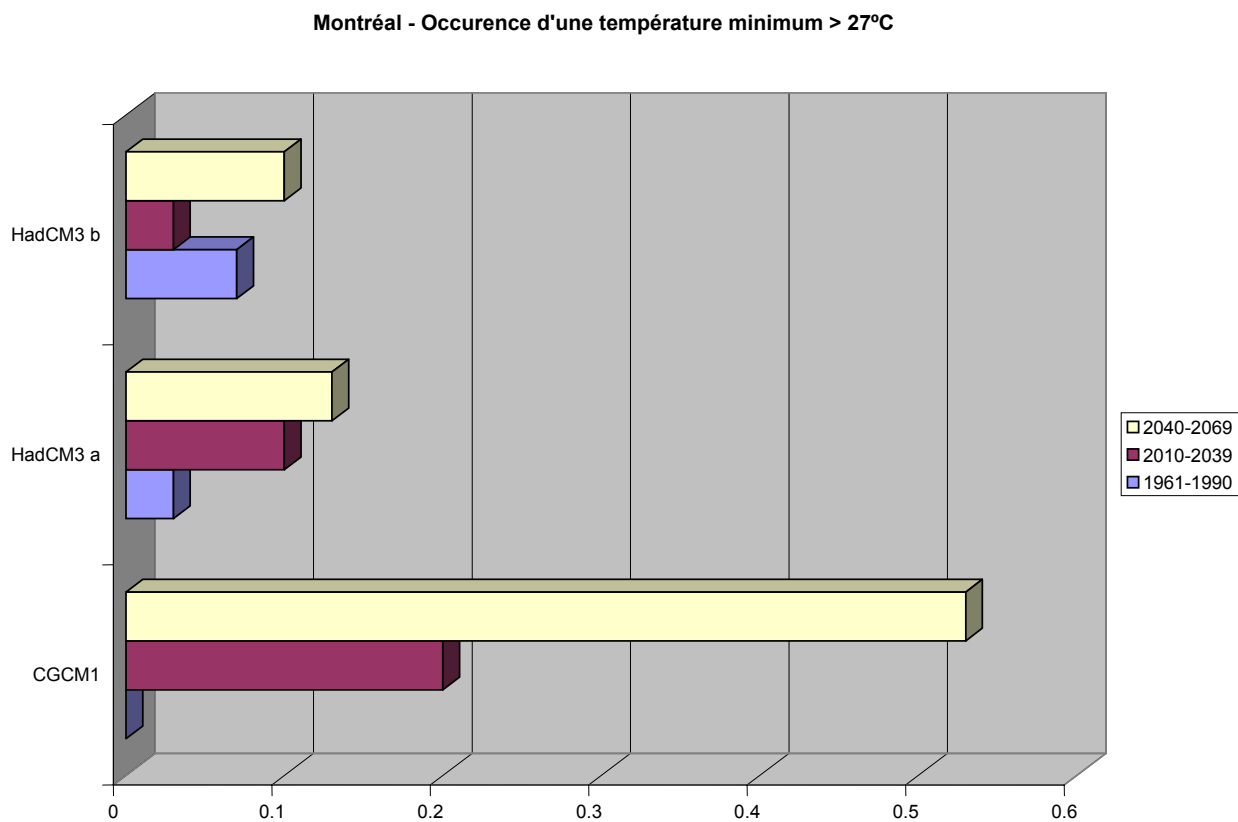


Figure 4.41. Nombre de jours de l'occurrence d'une température $> 27^{\circ}$ C pendant la saison de golf selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Montréal.



4.3. Saison de golf: Résultats hors saison

Les terrains de golf sont affectés par plusieurs facteurs climatologiques hors-saison, comme la manque de neige et le froid extrême, la pluie et les températures hivernales relativement chaudes. Ces conditions peuvent cause certains impacts négatifs pour les gazons, tels la perte de durcissement et des dommages dus à l'englacement. Les principaux types de gazons qui se trouve sur les terrains de golf au Québec sont le Poa annua, le Creeping bent grass et la fescue.

Voici les résultats des simulations sur les indices automnal et hivernal effectuées par le programme AgroX développé par Bootsma et al (2001) (Annexe 1), avec les données observées et simulées.

4.3.1. Indices automnaux

FH-COLD

FH-COLD est un indice de la température pendant la saison de durcissement des plantes et des gazons en automne. Il représente le cumul de degrés jours de froid (CDD5; température moyenne journalière moins de 5 °C) pendant la période commençant avec la première journée avec une température moyenne moins de 5 °C et terminant la première journée avec une température minimale moins de - 10 °C en automne.

FH-RAIN

FH-RAIN est un indice de la pluviosité et de l'humidité du sol des terrains de golf en automne. Il représente le cumul de la pluie pendant la période de durcissement (FH-COLD).

4.3.2. Indices hivernaux

W-COLD

W-COLD est un indice qui représente la sévérité du froid et donc les risques de dommages à des couronnes et les racines des gazons pendant l'hiver. Il est calculé comme durée de jours entre le premier et le dernier jour dont la température est égale à ou moins de -15°C . La valeur finale est ajustée en fonction de l'épaisseur de couvert de neige ($\geq 0,1\text{ m}$) en tenant compte de l'influence de l'effet tampon de la neige sur le froid intense.

W-THAW

W-THAW est un indice qui représente la perte de durcissement due à des températures douces en hiver. Il est calculé comme le cumul de degré jours au dessus de 0°C pendant la période froide (W-COLD). Il est calculé comme le cumul de degré jours au dessus de 0°C pendant la période froide (W-COLD).

W-RAIN

W-RAIN est un indice qui représente l'effet d'englacement et de soulèvement des racines de gazons des terrains de golf causé par le gel de la pluie qui tombe en hiver. Il est calculé comme le cumul de la pluie pendant la période froide (W-COLD).

Les tableaux (4.1 à 4.24) ci-dessus nous donnent, pour les stations de Grands Fonds et Québec, (Québec-Charlevoix), Sherbrooke et Sutton (Cantons de l'Est) et Saint Hippolyte et Montréal (Montréal et Les Laurentides), les différences moyennes des scénarios par rapport à leurs indices pour la période contrôle. Le sens de ces changements est constant pour chaque indice, sauf à une reprise pour l'indice FH-COLD de la période 2010-2039 du scénario B, modèle HadCM3 et pour l'indice FH-RAIN du modèle CGCM1. Cet écart est attribué à l'effet des données particulièrement élevées pour cette

période. Le sens du changement est corroboré par les recherches effectuées précédemment par Bootsma et al. (2001). Ces derniers avaient cependant un échantillon plus grand et utilisait seulement le modèle CGCM1. Si le sens du changement concorde, ce n'est pas vraiment le cas de l'ampleur de ces variations. On peut constater une simulation imprécise pour le modèle CGCM1, qui peut être attribué à une simulation difficile des précipitations. Le modèle HadCM3, pour sa part, simule, pour ses deux scénarios, des indices étant très rapprochés des observés. Quant aux variations futures des indices, ce modèle est beaucoup plus modéré que le modèle canadien, ainsi que dans l'étude de Bootsma et al (2001). Les variations importantes peuvent aussi être induites par les caractéristiques propres des stations. Il est donc important de regarder comment les indices de chaque région fluctuent.

TABLEAU 4.3.1. Indices agroclimatiques d'après les données observées 1961-1990, station Grand-Fonds

	Minimum	Maximum	Moyenne
FH COLD	3.00	195.25	68.0783
FH RAIN	.23	5.50	2.9006
W THAW	.04	7.75	2.1719
W RAIN	.02	1.71	.4188
W COLD	-17.00	82.00	24.9643

TABLEAU 4.3.2. Indices agroclimatiques d'après le modèle CGCM1, station Grand-Fonds

	Minimum 1961-1990	Maximum 1961-1990	Moyenne 1961-1990	Minimum 2010-2039	Maximum 2010-2039	Moyenne 2010-2039	Minimum 2040-2069	Maximum 2040-2069	Moyenne 2040-2069
FH COLD	.00	124.34	77.6806	13.86	182.09	79.8424	14.27	179.59	63.8947
FH RAIN	.00	5.33	2.2692	.00	4.93	2.0355	.00	9.05	2.6952
W THAW	.00	1.51	.4218	.19	1.36	.6745	.19	1.13	.5855
W RAIN	.13	3.43	.4141	.23	1.79	.5086	.34	1.55	.8536
W COLD	-95.00	68.00	23.4483	-33.00	64.00	21.1724	-17.00	51.00	22.9310

TABLEAU 4.3.3. Indices agroclimatiques d'après le modèle HadCM3, scénario A2, station Grand-Fonds

	Minimum 1961-1990	Maximum 1961-1990	Moyenne 1961-1990	Minimum 2010-2039	Maximum 2010-2039	Moyenne 2010-2039	Minimum 2040-2069	Maximum 2040-2069	Moyenne 2040-2069
FH COLD	.33	185.92	77.5913	2.48	155.16	68.7370	2.50	155.26	72.3900
FH RAIN	.37	14.59	3.0288	.44	8.88	2.3416	.25	4.80	2.3705
W THAW	.03	.57	.2645	.09	.58	.2687	.05	1.10	.3948
W RAIN	.06	1.39	.5748	.01	1.23	.5708	.08	1.49	.6077
W COLD	-42.00	47.00	12.6207	-23.00	46.00	14.2000	-11.00	43.00	16.4138

TABLEAU 4.3.4. Indices agroclimatiques d'après le modèle HadCM3, scénario A2, station Grand-Fonds

	Minimum 1961-1990	Maximum 1961-1990	Moyenne 1961-1990	Minimum 2010-2039	Maximum 2010-2039	Moyenne 2010-2039	Minimum 2040-2069	Maximum 2040-2069	Moyenne 2040-2069
FH COLD	38.19	193.47	90.8993	.89	194.41	80.5455	26.56	228.55	73.5271
FH RAIN	.16	5.77	2.1480	1.47	5.94	2.9253	.42	7.71	2.4730
W THAW	.03	.48	.2497	.09	.71	.2990	.13	.81	.3269
W RAIN	.11	1.18	.5040	.05	1.40	.4828	.05	2.06	.5620
W COLD	-14.00	48.00	18.3448	-14.00	44.00	11.7667	-12.00	35.00	12.3448

TABLEAU 4.3.5. Indices agroclimatiques d'après les données observées 1961-1990, station Québec

	Minimum	Maximum	Moyenne
FH COLD	20.55	189.60	94.5054
FH RAIN	2.06	8.03	4.0030
W THAW	.00	.38	.0807
W RAIN	.02	1.96	.7730
W COLD	12.00	79.00	44.3571

TABLEAU 4.3.6. Indices agroclimatiques d'après le modèle CGCM1, station Québec

	Minimum 1961-1990	Maximum 1961-1990	Moyenne 1961-1990	Minimum 2010-2039	Maximum 2010-2039	Moyenne 2010-2039	Minimum 2040-2069	Maximum 2040-2069	Moyenne 2040-2069
FH COLD	7.00	274.30	117.0886	5.78	264.64	122.9415	29.79	243.52	126.3189
FH RAIN	.00	4.88	2.7178	.11	9.02	2.9268	1.88	4.51	3.1544
W THAW	.00	.04	.0086	.00	.09	.0186	.00	.21	.0355
W RAIN	.00	.62	.2579	.00	1.21	.4582	.19	1.53	.7347
W COLD	52.00	125.00	83.3103	22.00	110.00	74.0000	16.00	110.00	68.3103

TABLEAU 4.3.7. Indices agroclimatiques d'après le modèle HadCM3, scénario A2, station Québec

	Minimum 1961-1990	Maximum 1961-1990	Moyenne 1961-1990	Minimum 2010-2039	Maximum 2010-2039	Moyenne 2010-2039	Minimum 2040-2069	Maximum 2040-2069	Moyenne 2040-2069
FH COLD	12.13	213.24	104.6690	30.24	217.73	101.8077	17.40	221.82	100.9886
FH RAIN	.63	7.19	3.3664	1.29	5.49	3.5994	.99	5.56	3.4161
W THAW	.01	.22	.0708	.01	.28	.0812	.01	.45	.0917
W RAIN	.11	1.06	.5365	.01	1.94	.6489	.18	1.65	.6956
W COLD	12.00	55.00	32.3448	13.00	78.00	32.7000	-10.00	53.00	28.3448

TABLEAU 4.3.8. Indices agroclimatiques d'après le modèle HadCM3, scénario A2, station Québec

	Minimum 1961-1990	Maximum 1961-1990	Moyenne 1961-1990	Minimum 2010-2039	Maximum 2010-2039	Moyenne 2010-2039	Minimum 2040-2069	Maximum 2040-2069	Moyenne 2040-2069
FH COLD	5.81	240.60	91.5291	32.09	228.26	111.6857	48.59	207.71	101.2009
FH RAIN	1.02	6.50	3.4965	2.25	7.14	3.7212	1.56	7.02	3.4468
W THAW	.01	.27	.0688	.01	.37	.1030	.01	.60	.1086
W RAIN	.09	1.27	.5999	.08	1.42	.6586	.26	1.20	.6507
W COLD	10.00	49.00	30.9655	-1.00	51.00	28.2000	-6.00	49.00	25.6552

TABLEAU 4.3.9. Indices agroclimatiques d'après les données observées 1961-1990, station Sherbrooke

	Minimum	Maximum	Moyenne
FH COLD	1.10	182.00	71.0036
FH RAIN	1.14	5.30	3.0593
W THAW	.00	.73	.2800
W RAIN	1.01	3.27	1.9747
W COLD	12.00	74.00	34.4286

TABLEAU 4.3.10. Indices agroclimatiques d'après le modèle CGCM1, station Sherbrooke

	Minimum 1961-1990	Maximum 1961-1990	Moyenne 1961-1990	Minimum 2010-2039	Maximum 2010-2039	Moyenne 2010-2039	Minimum 2040-2069	Maximum 2040-2069	Moyenne 2040-2069
FH COLD	.15	154.97	48.6798	.00	194.30	61.9661	6.26	147.65	67.3171
FH RAIN	.00	5.34	2.1577	.00	4.35	2.4542	.00	4.94	2.9751
W THAW	.00	.24	.0879	.00	.33	.1524	.05	.89	.2559
W RAIN	.05	.67	.3212	.21	1.24	.6608	.21	1.82	.8411
W COLD	22.00	82.00	52.2414	-43.00	75.00	33.1379	-22.00	75.00	31.0345

TABLEAU 4.3.11. Indices agroclimatiques d'après le modèle HadCM3, scénario A2, station Sherbrooke

	Minimum 1961-1990	Maximum 1961-1990	Moyenne 1961-1990	Minimum 2010-2039	Maximum 2010-2039	Moyenne 2010-2039	Minimum 2040-2069	Maximum 2040-2069	Moyenne 2040-2069
FH COLD	3.02	220.24	75.2402	4.66	170.82	80.1314	1.16	203.09	72.9855
FH RAIN	.49	6.80	3.1475	.55	4.23	2.5418	.63	4.60	2.9299
W THAW	.03	.60	.2066	.04	.62	.3080	.09	.84	.3745
W RAIN	.15	.94	.5348	.12	1.08	.6067	.23	1.31	.6864
W COLD	-1.00	51.00	19.7931	-14.00	42.00	14.5667	-29.00	47.00	12.0690

TABLEAU 4.3.12. Indices agroclimatiques d'après le modèle HadCM3, scénario A2, station Sherbrooke

	Minimum 1961-1990	Maximum 1961-1990	Moyenne 1961-1990	Minimum 2010-2039	Maximum 2010-2039	Moyenne 2010-2039	Minimum 2040-2069	Maximum 2040-2069	Moyenne 2040-2069
FH COLD	5.72	152.23	73.7388	12.22	192.66	88.2735	2.28	181.13	76.8774
FH RAIN	.41	6.72	2.9386	.05	4.20	2.7252	.69	4.58	2.6543
W THAW	.08	.67	.2259	.04	.97	.2727	.03	1.03	.3600
W RAIN	.11	1.14	.5664	.09	1.32	.5421	.18	1.10	.6081
W COLD									

TABLEAU 4.3.13. Indices agroclimatiques d'après les données observées 1961-1990, station Sutton

	Minimum	Maximum	Moyenne
FH COLD	7.50	130.05	59.2036
FH RAIN	.00	6.34	2.9479
W THAW	.08	1.10	.4589
W RAIN	.03	2.02	.8902
W COLD	-52.00	47.00	6.2143

TABLEAU 4.3.14. Indices agroclimatiques d'après le modèle CGCM1, station Sutton

	Minimum 1961-1990	Maximum 1961-1990	Moyenne 1961-1990	Minimum 2010-2039	Maximum 2010-2039	Moyenne 2010-2039	Minimum 2040-2069	Maximum 2040-2069	Moyenne 2040-2069
FH COLD	156.39	826.41	450.6816	18.35	305.34	120.8595	.37	450.03	127.9457
FH RAIN	1.82	5.97	3.6869	1.02	5.26	3.5271	.00	6.46	3.6197
W THAW	.00	.05	.0035	.00	1.43	.1876	.00	1.07	.2552
W RAIN	.00	.36	.0487	.00	11.03	.9012	.00	2.63	.8097
W COLD	55.00	144.00	95.0000	3.00	79.00	35.3103	-29.00	71.00	33.6897

TABLEAU 4.3.15. Indices agroclimatiques d'après le modèle HadCM3, scénario A2, station Sutton

	Minimum 1961-1990	Maximum 1961-1990	Moyenne 1961-1990	Minimum 2010-2039	Maximum 2010-2039	Moyenne 2010-2039	Minimum 2040-2069	Maximum 2040-2069	Moyenne 2040-2069
FH COLD	26.35	214.57	83.8128	26.00	261.39	94.9931	15.43	164.55	80.8441
FH RAIN	.60	6.32	3.5127	.94	5.22	3.1810	.40	6.25	2.9294
W THAW	.06	1.18	.3221	.11	1.03	.4043	.04	1.61	.5610
W RAIN	.24	1.84	.8589	.21	2.46	.9491	.35	2.31	1.1148
W COLD	-37.00	46.00	6.0000	-31.00	33.00	3.2333	-52.00	33.00	-4.7241

TABLEAU 4.3.16. Indices agroclimatiques d'après le modèle HadCM3, scénario A2, station Sutton

	Minimum 1961-1990	Maximum 1961-1990	Moyenne 1961-1990	Minimum 2010-2039	Maximum 2010-2039	Moyenne 2010-2039	Minimum 2040-2069	Maximum 2040-2069	Moyenne 2040-2069
FH COLD	1.70	188.95	102.0860	10.54	163.76	95.5388	18.63	157.50	76.0595
FH RAIN	.71	6.67	3.0825	1.11	5.77	3.0233	1.11	6.07	3.4501
W THAW	.08	1.42	.3648	.03	1.46	.4277	.06	1.01	.4462
W RAIN	.33	2.46	.9059	.10	1.76	.9293	.28	1.85	1.0228
W COLD	-43.00	41.00	2.2414	-51.00	36.00	-1.2000	-28.00	29.00	-2.7241

TABLEAU 4.3.17 Indices agroclimatiques d'après les données observées 1961-1990, station St-Hippolyte

	Minimum	Maximum	Moyenne
FH COLD	25.00	176.70	91.7107
FH RAIN	.26	5.27	2.9394
W THAW	.00	.42	.1514
W RAIN	.00	1.92	.7085
W COLD	-6.00	69.00	29.8571

TABLEAU 4.3.18. Indices agroclimatiques d'après le modèle CGCM1, station St-Hippolyte

	Minimum 1961-1990	Maximum 1961-1990	Moyenne 1961-1990	Minimum 2010-2039	Maximum 2010-2039	Moyenne 2010-2039	Minimum 2040-2069	Maximum 2040-2069	Moyenne 2040-2069
FH COLD	25.97	264.74	126.3128	26.13	258.39	102.6161	17.73	207.15	91.4900
FH RAIN	1.34	5.10	3.0954	.41	5.72	3.6377	.62	6.67	3.5479
W THAW	.00	.12	.0393	.00	.43	.0831	.00	.36	.1210
W RAIN	.21	1.32	.7259	.29	2.31	1.0874	.38	2.53	1.4477
W COLD	39.00	98.00	63.7931	8.00	103.00	61.1724	17.00	96.00	50.6207

TABLEAU 4.3.19. Indices agroclimatiques d'après le modèle HadCM3, scénario A2, station St-Hippolyte

	Minimum 1961-1990	Maximum 1961-1990	Moyenne 1961-1990	Minimum 2010-2039	Maximum 2010-2039	Moyenne 2010-2039	Minimum 2040-2069	Maximum 2040-2069	Moyenne 2040-2069
FH COLD	24.99	204.63	85.6262	24.36	208.90	96.1159	1.37	138.90	82.5662
FH RAIN	.92	6.35	3.3008	.40	6.20	3.5107	.71	6.43	3.9138
W THAW	.02	.33	.1014	.01	.33	.1358	.02	.41	.1514
W RAIN	-.01	1.60	.7685	-.14	1.52	.8394	-.17	2.36	.7535
W COLD	4.00	58.00	24.8276	-9.00	52.00	23.8333	-35.00	67.00	18.6207

TABLEAU 4.3.20. Indices agroclimatiques d'après le modèle HadCM3, scénario A2, station St-Hippolyte

	Minimum 1961-1990	Maximum 1961-1990	Moyenne 1961-1990	Minimum 2010-2039	Maximum 2010-2039	Moyenne 2010-2039	Minimum 2040-2069	Maximum 2040-2069	Moyenne 2040-2069
FH COLD	24.99	204.63	85.6262	24.36	208.90	96.1159	1.37	138.90	82.5662
FH RAIN	.92	6.35	3.3008	.40	6.20	3.5107	.71	6.43	3.9138
W THAW	.02	.33	.1014	.01	.33	.1358	.02	.41	.1514
W RAIN	.45	2.06	1.0271	.18	2.28	1.0040	.24	2.41	1.0686
W COLD	.00	59.00	25.5862	-6.00	57.00	26.8667	-8.00	44.00	20.6552

TABLEAU 4.3.21. Indices agroclimatiques d'après les données observées 1961-1990, station Montréal

	Minimum	Maximum	Moyenne
FH COLD	1.46	5.70	2.8912
FH RAIN	21.60	228.00	89.7643
W THAW	.01	.38	.1885
W RAIN	.05	1.79	.7324
W COLD	-29.00	50.00	19.2857

TABLEAU 4.3.22. Indices agroclimatiques d'après le modèle CGCM1, station Montréal

	Minimum 1961-1990	Maximum 1961-1990	Moyenne 1961-1990	Minimum 2010-2039	Maximum 2010-2039	Moyenne 2010-2039	Minimum 2040-2069	Maximum 2040-2069	Moyenne 2040-2069
FH COLD	70.77	357.84	182.3624	61.92	313.21	177.5057	11.71	343.56	159.2318
FH RAIN	1.83	3.67	2.5891	1.51	4.09	2.8096	1.96	5.90	3.1820
W THAW	.03	.58	.0222	.00	.22	.0321	.00	.23	.0564
W RAIN	.00	.05	.0110	.02	1.08	.3046	.00	1.51	.5663
W COLD	45.00	85.00	64.3793	12.00	95.00	61.9310	12.00	117.00	57.1379

TABLEAU 4.3.23. Indices agroclimatiques d'après le modèle HadCM3, scénario A2, station Montréal

	Minimum 1961-1990	Maximum 1961-1990	Moyenne 1961-1990	Minimum 2010-2039	Maximum 2010-2039	Moyenne 2010-2039	Minimum 2040-2069	Maximum 2040-2069	Moyenne 2040-2069
FH COLD	3.78	161.62	71.3160	4.62	134.42	55.7700	2.97	166.81	70.4976
FH RAIN	.31	6.53	3.1712	.45	7.21	3.2007	1.71	6.66	3.2346
W THAW	.02	.59	.1872	.01	.56	.1987	.04	.49	.1983
W RAIN	.21	.99	.5617	.21	1.26	.6437	.11	1.14	.5973
W COLD	-19.00	34.00	11.4483	-24.00	45.00	9.4000	-22.00	40.00	8.1724

TABLEAU 4.3.24. Indices agroclimatiques d'après le modèle HadCM3, scénario A2, station Montréal

	Minimum 1961-1990	Maximum 1961-1990	Moyenne 1961-1990	Minimum 2010-2039	Maximum 2010-2039	Moyenne 2010-2039	Minimum 2040-2069	Maximum 2040-2069	Moyenne 2040-2069
FH COLD	.50	166.25	58.9087	1.93	131.75	55.1920	3.17	143.98	52.2978
FH RAIN	.26	11.45	3.2534	.90	10.32	3.6802	.08	10.27	3.6752
W THAW	.02	.51	.1843	.01	.58	.1833	.01	.56	.1939
W RAIN	.36	1.21	.6315	.20	1.23	.6840	.20	1.52	.6443
W COLD	-28.00	32.00	8.1379	-52.00	31.00	8.5333	-31.00	40.00	9.8621

4.3.3. Indices automnaux et hivernaux –résultats

Afin de simplifier la présentation de ces résultats on sélectionne une station par région soit Grands Fonds pour la région de Québec-Charlevoix, Sutton pour les Cantons de l'Est et Montréal pour Montréal-Laurentides. Ces résultats apparaissent dans les figures suivantes (4.42 à 4.56).

FH-COLD

Pour la station de Grand Fonds, pour l'indice FH-COLD, en général, on peut observer une diminution des CDD5 (cold degree days 5), donc une diminution de potentiel de durcissement. Les variations sont dues à la durée de la période de durcissement. Si la période est moins longue, il y a une moins grande possibilité de cumul et vice-versa. Pour la station de Sutton les tendances sont semblables, sauf qu'il y a une surestimation importante de CGCM1 pour 1961-1990. Pour la station de Montréal, encore, on peut observer une diminution des CDD5 (cold degree days 5), donc une diminution de potentiel de durcissement.

FH-RAIN

Pour les stations de Grand Fonds et Sutton, on ne voit pas vraiment de tendances puisque cet indice varie selon les scénarios, principalement due au fait qu'il s'agit de la somme des précipitations moins la période de durcissement. Donc, si cette dernière est plus courte, moins de précipitations sont soustraites laissant un indice plus élevé. Pourtant, pour Montréal, a tendance de diminution de l'apport en humidité pour la période de durcissement est beaucoup plus marquée que pour Grand Fonds et Sutton. Il s'agit probablement de la période de durcissement qui est plus courte.

W-THAW

Pour les trois stations représentant les trois régions, soit Grands Fonds, Sutton et Montréal, on voit une augmentation général de l'indice nous indiquant une occurrence accrue des journées chaudes pendant la période froide, malgré le fait que celle-ci diminue aussi, on voit quand même un changement, donc, il s'agit d'un impact réellement significatif.

W-RAIN

Pour les trois stations représentant les trois régions, soit Grands Fonds, Sutton et Montréal, les changements sont aussi marqués que pour W -THAW, nous indiquant une augmentation des jours de pluie pendant la période froide.

W-COLD

Pour la station de Grands Fonds, le couvert de neige étant plus important au départ dans cette région, des variations plus importantes sont nécessaires pour changer l'indice. Pour Sutton, la tendance est beaucoup plus marquée vers la baisse. Cette région charnière est souvent près des températures de sa température seuil pour la neige. Un réchauffement cause donc plus facilement une grande perte de couvert de neige, même avec un rétrécissement de la période froide. Finalement, pour Montréal, on voit une tendance vers la diminution de l'indice. L'augmentation prévue par HadCM3 B peut être causée par le rétrécissement de la période froide (donc plus de jours avec un couvert pendant cette période).

4.4. Conclusions

Les variations des indices en automne (FH-COLD et FH-RAIN) ne sont pas très concluantes et les changements sont peu importants. Les indices d'hivers (W-THAW; W-RAIN : W-COLD) marquent cependant un changement beaucoup plus significatif,

concordant avec les changements généraux anticipés pour le Québec : variations peu importantes pour l'automne et changement le plus marqué pendant la saison hivernale. Finalement, on peut conclure que les périodes de redoux en hiver sont celles qui pourraient causer le plus de dommages dans le futur, entraînant une perte de robustesse et la formation de glace. L'explication possible : l'hiver change plus de caractère que l'automne, qui conserve ses caractéristiques particulières malgré les fluctuations dans sa durée.

Figure 4.42. L'indice FH-COLD selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Grands Fonds.

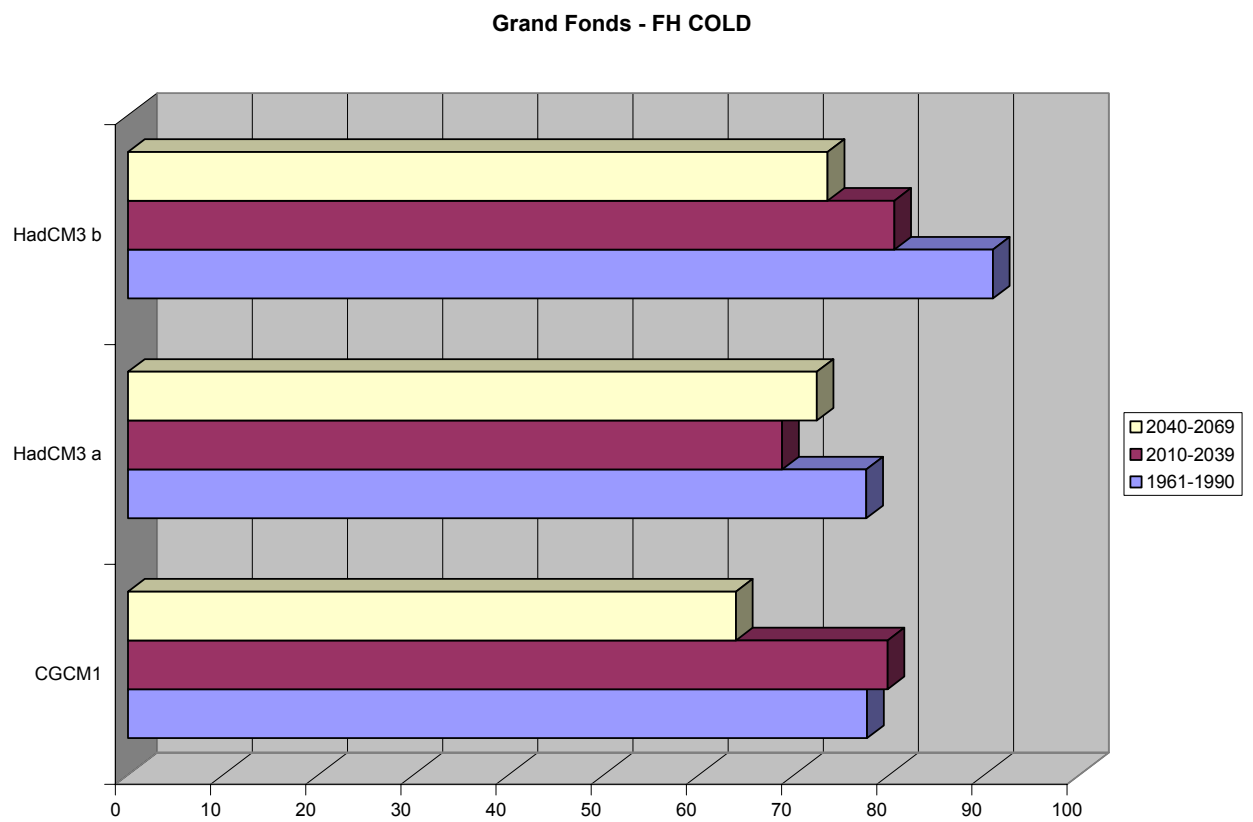


Figure 4.43. L'indice FH-RAIN selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Grands Fonds.

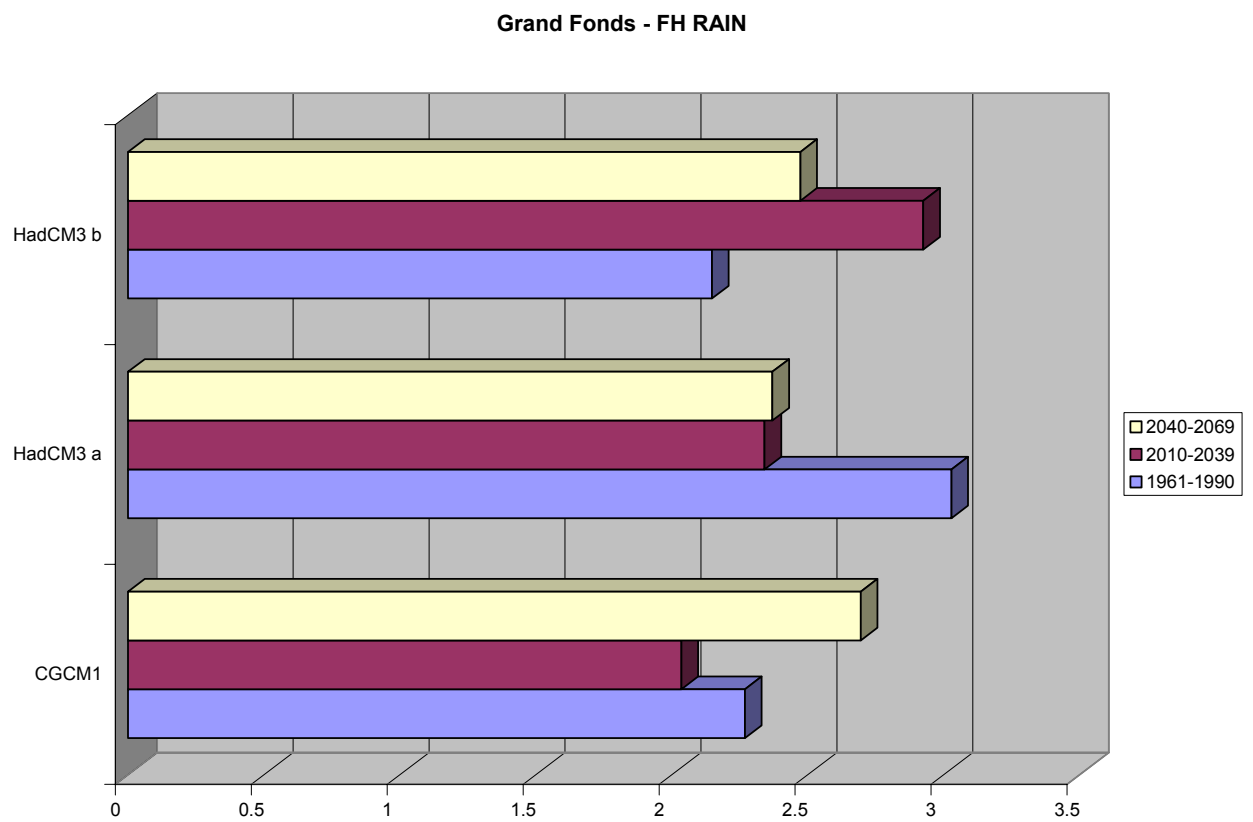


Figure 4.44. L'indice W-THAW selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Grands Fonds.

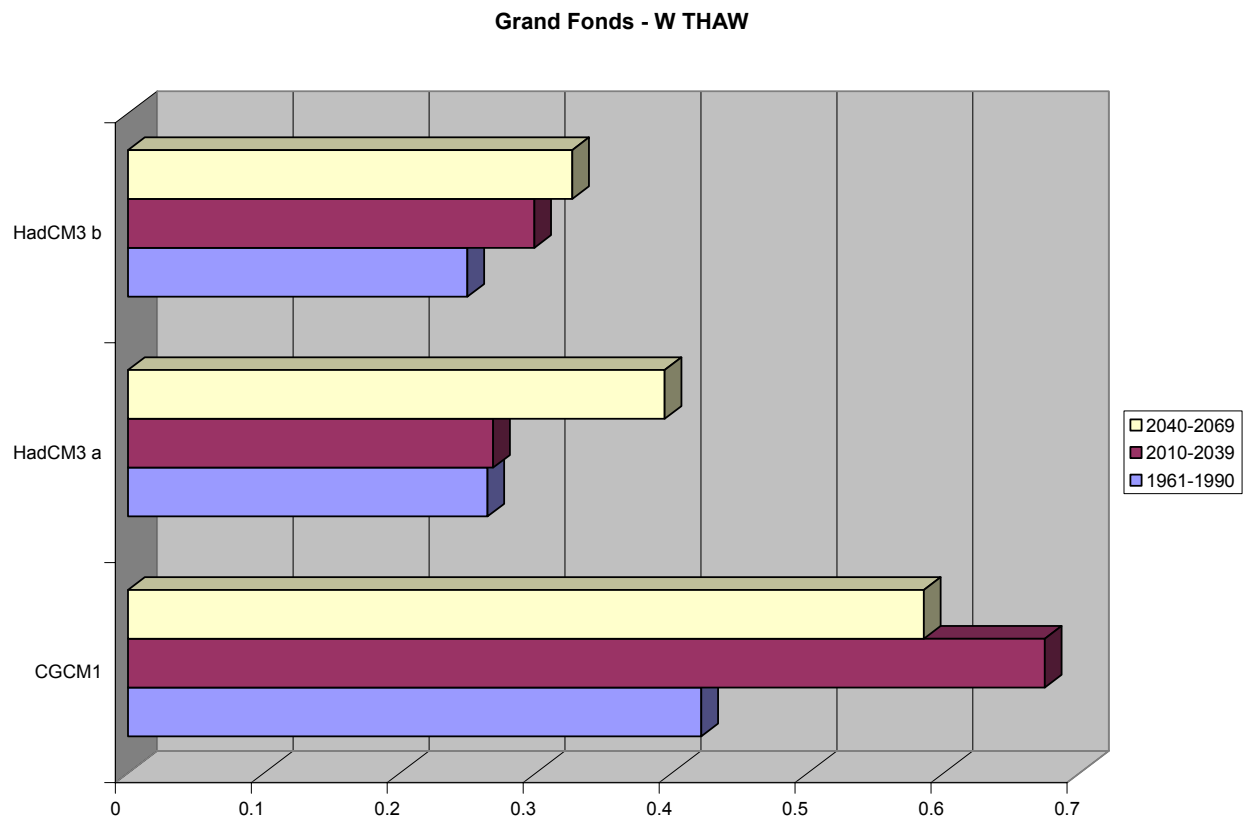


Figure 4.45. L'indice W-RAIN selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Grands Fonds.

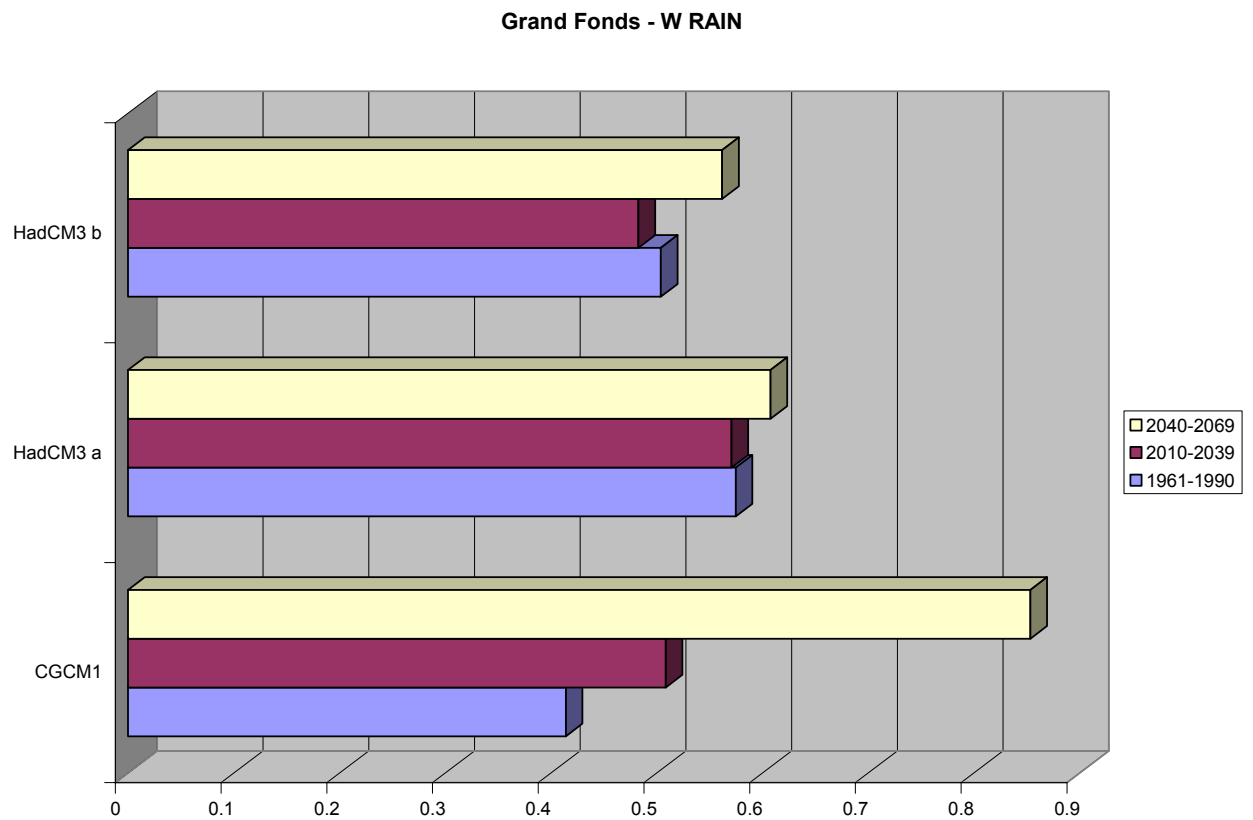


Figure 4.46. L'indice W-COLD selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Grands Fonds.

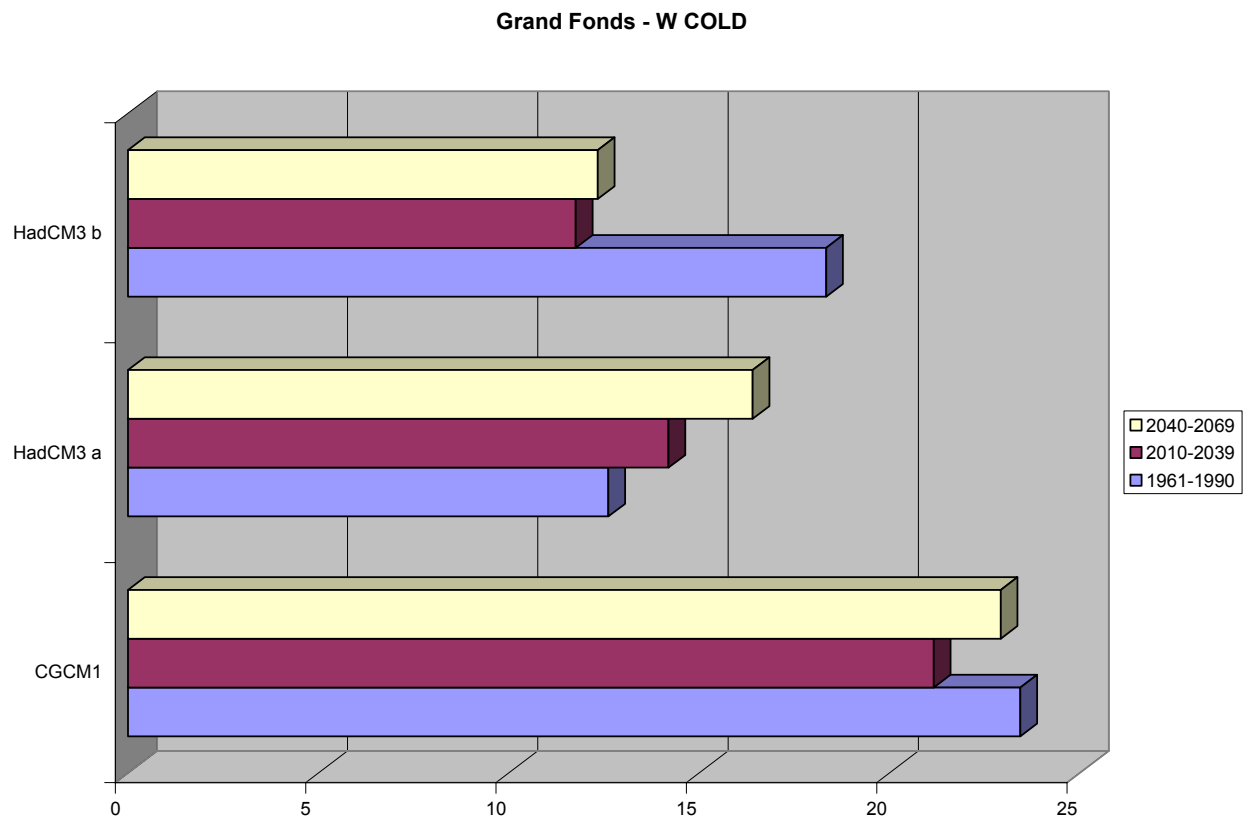


Figure 4.47. L'indice FH-COLD selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station Sutton.

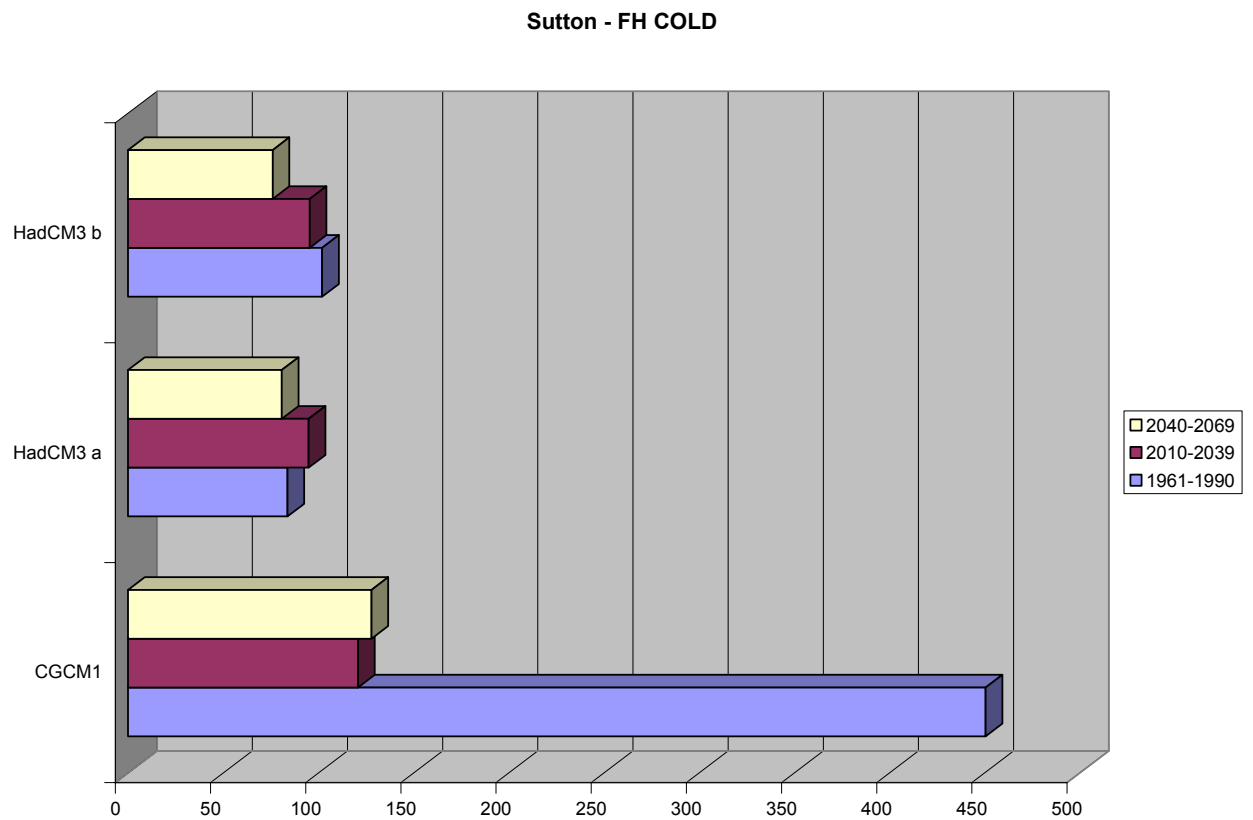


Figure 4.48. L'indice FH-RAIN selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Sutton.

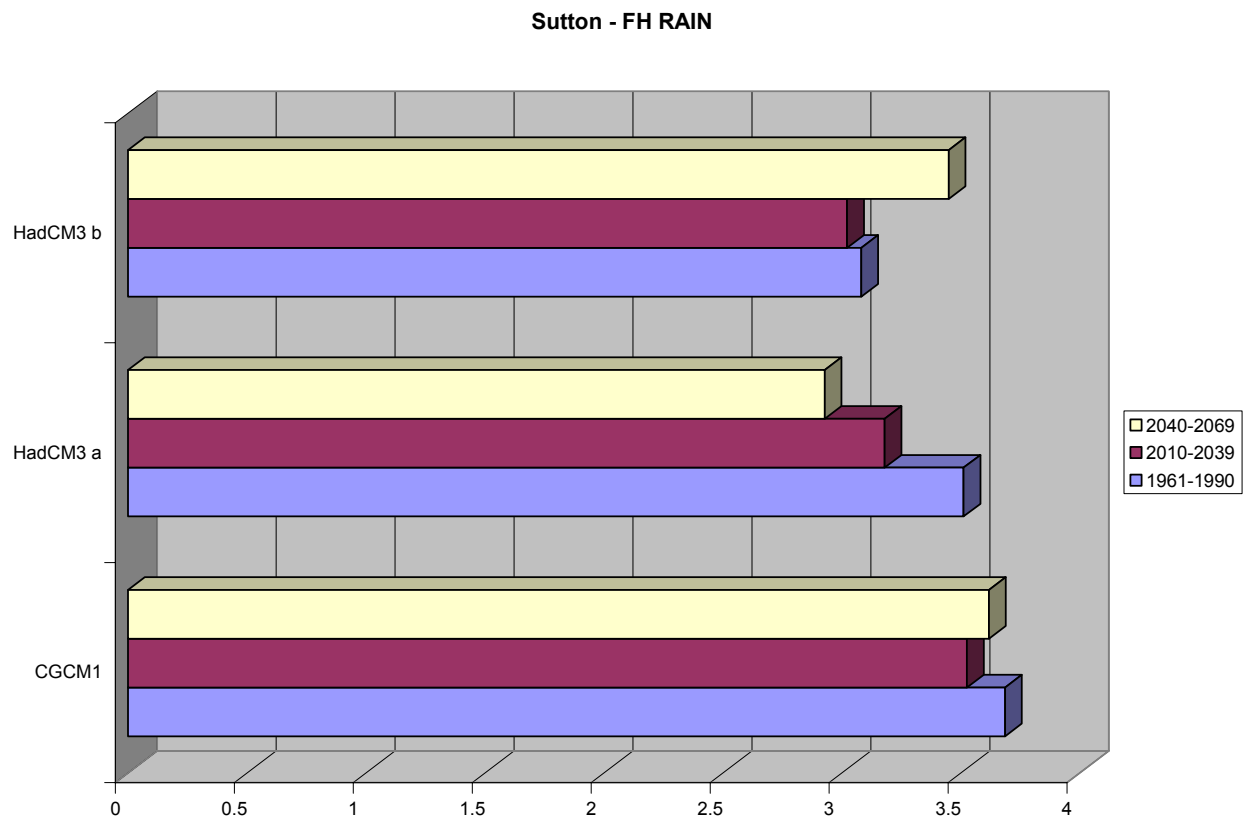


Figure 4.49. L'indice W-THAW selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Sutton.

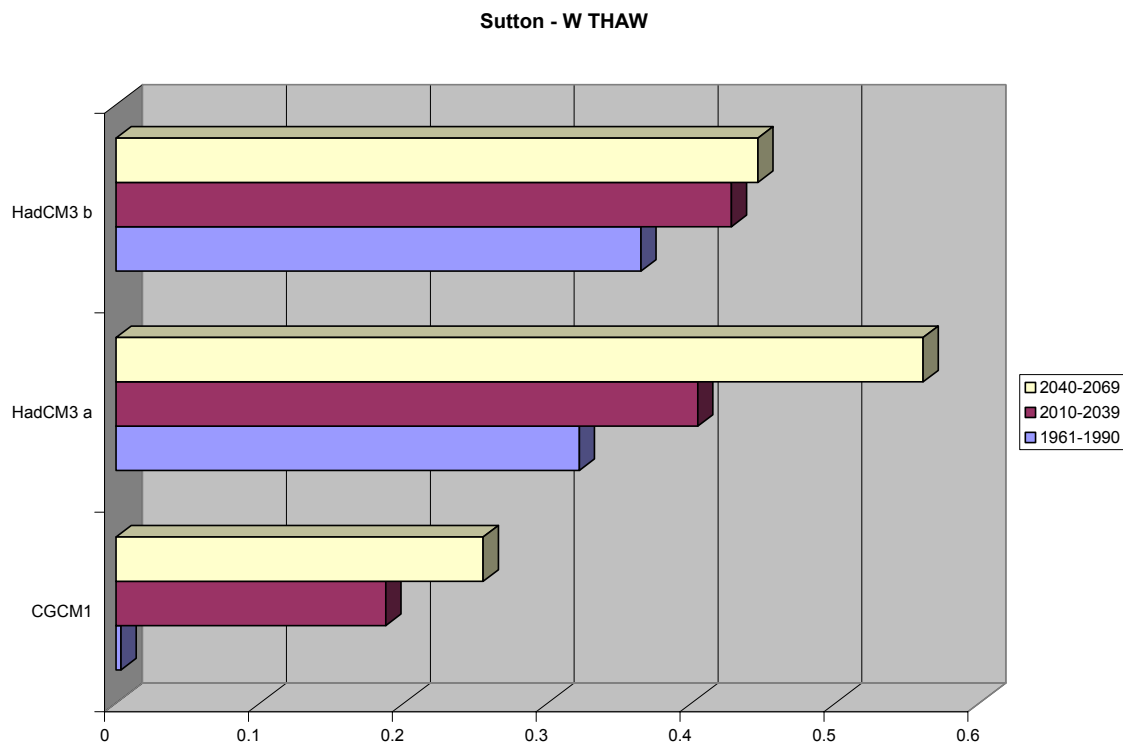


Figure 4.50. L'indice W-RAIN selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Sutton.

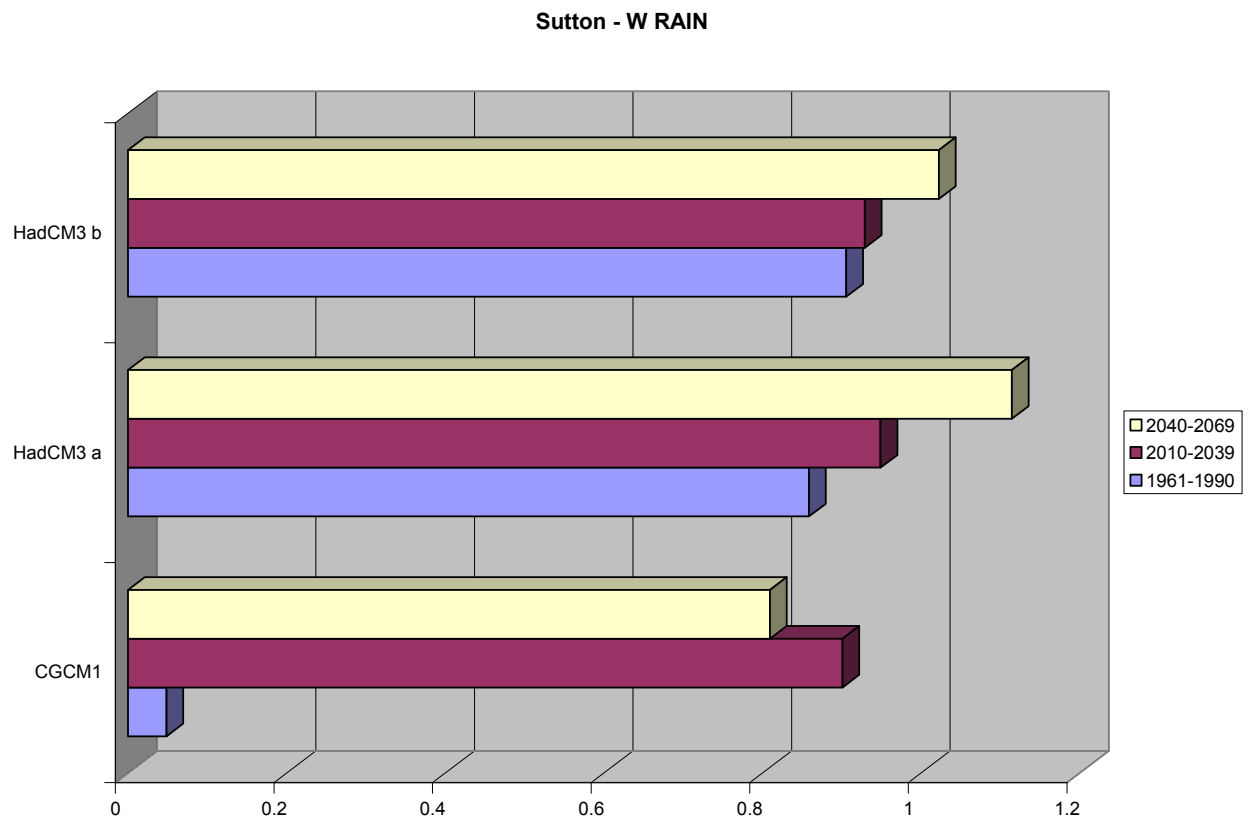


Figure 4.51. L'indice W-COLD selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Sutton.

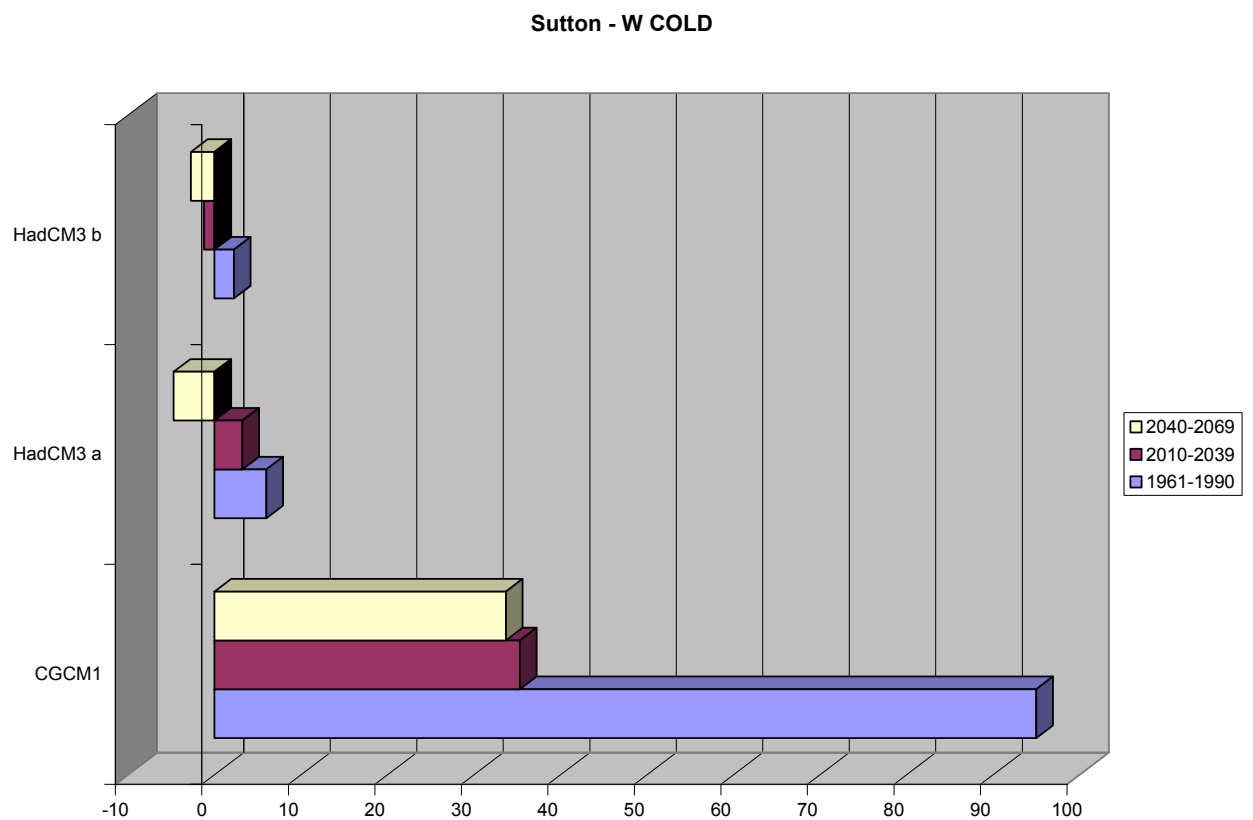


Figure 4.52. L'indice FH-COLD selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station Montréal.

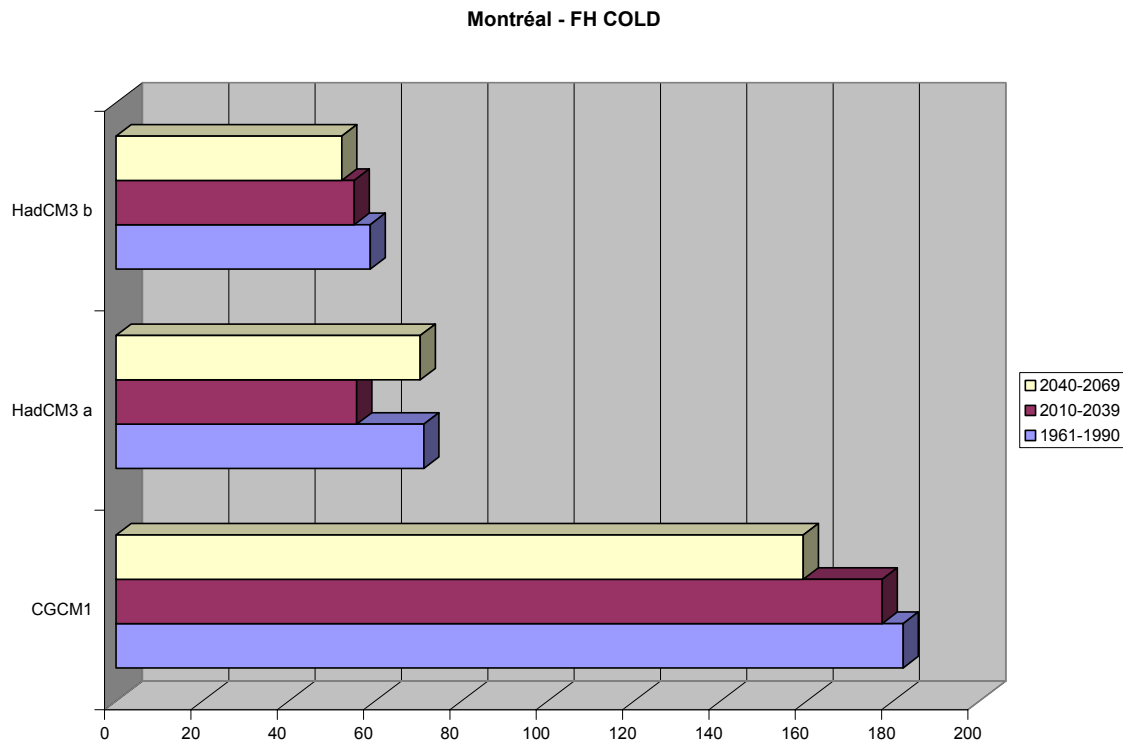


Figure 4.53. L'indice FH-RAIN selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Montréal.

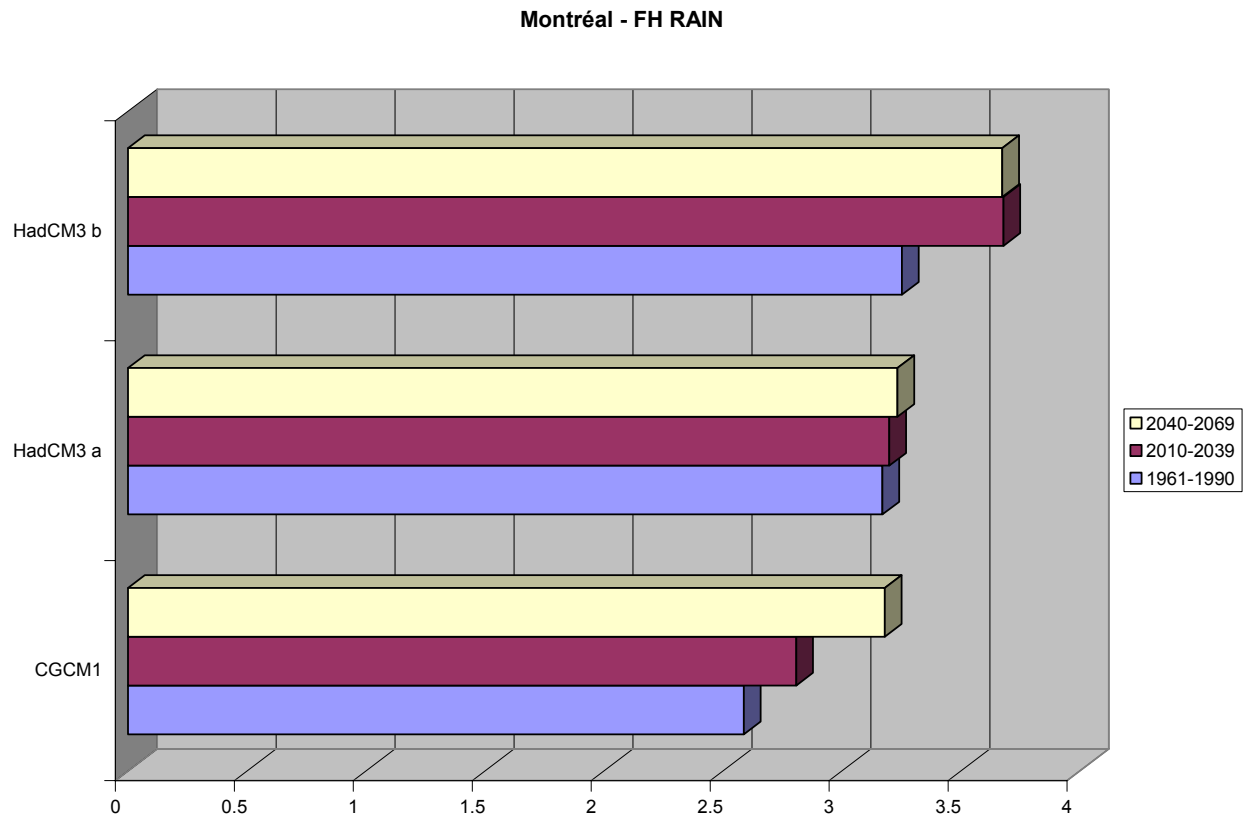


Figure 4.54. L'indice W-THAW selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Montréal.

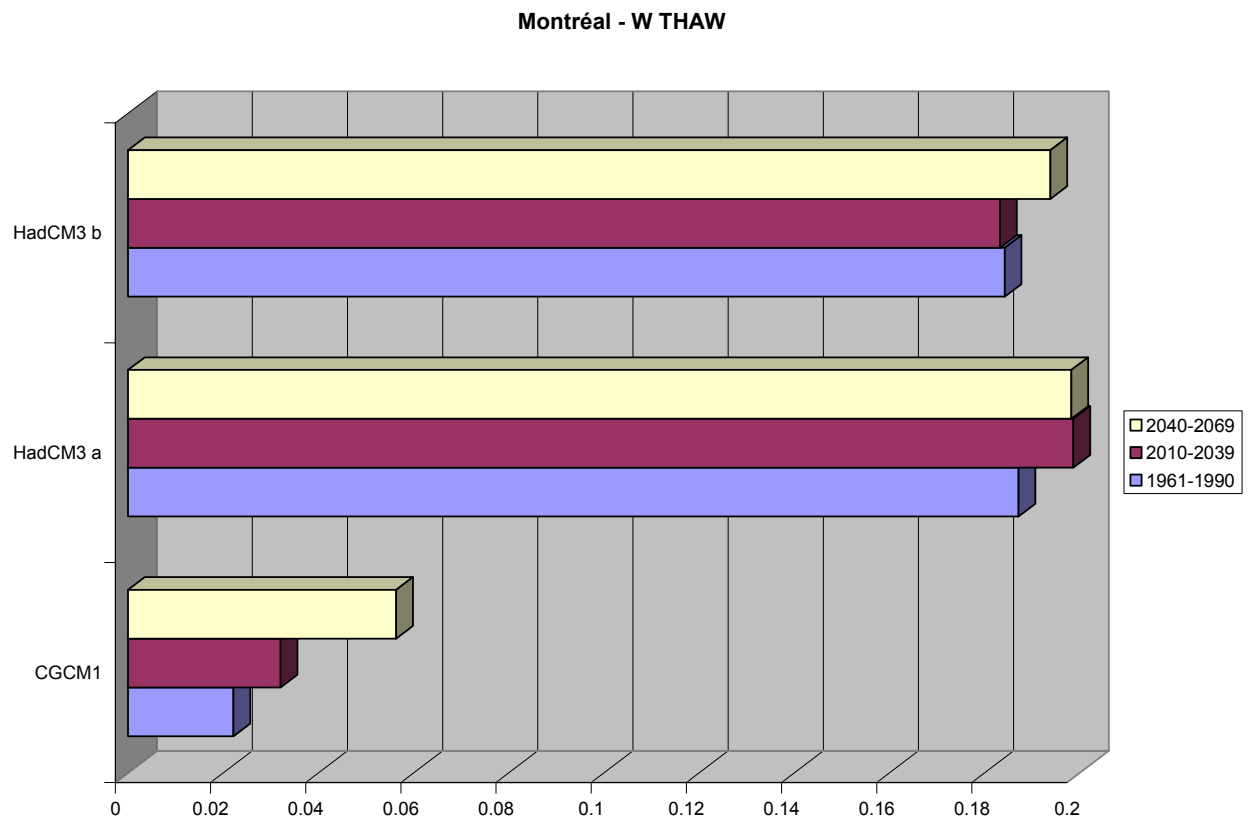


Figure 4.55. L'indice W-RAIN selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Montréal.

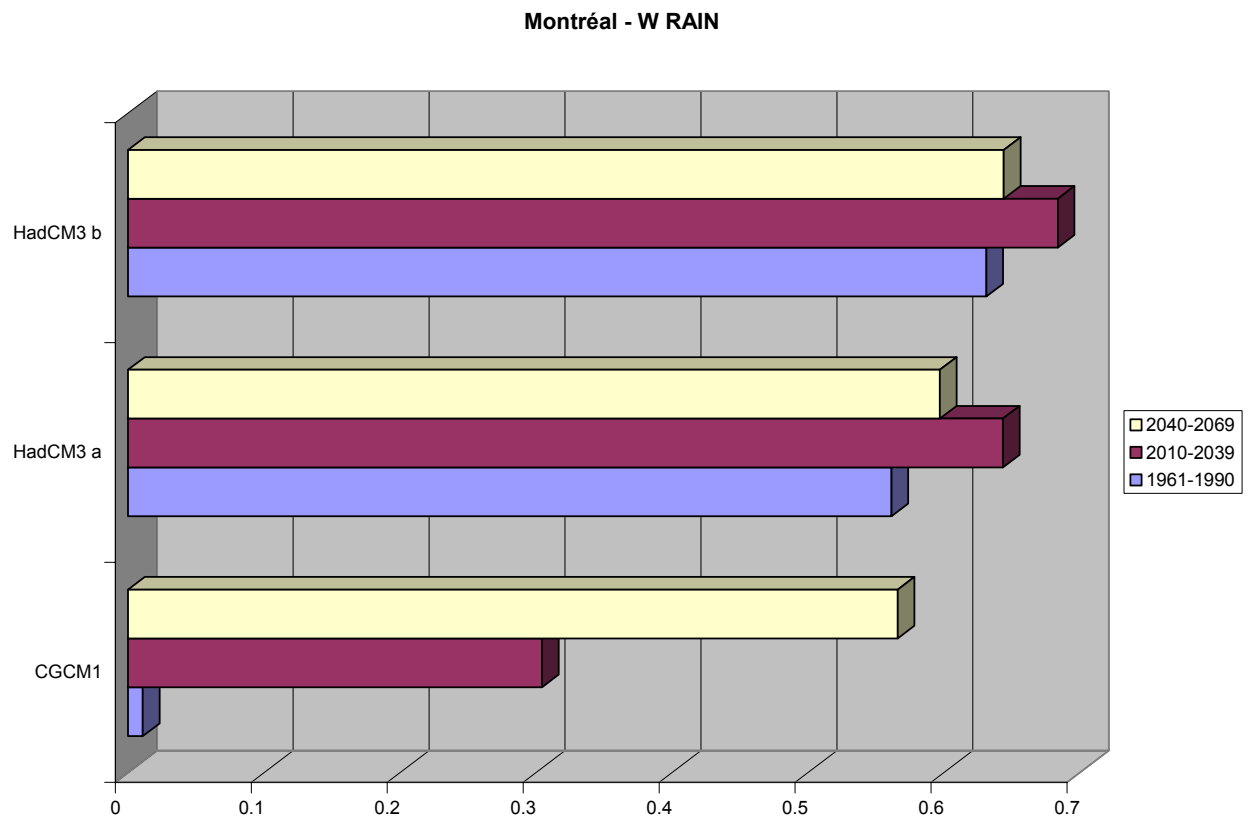
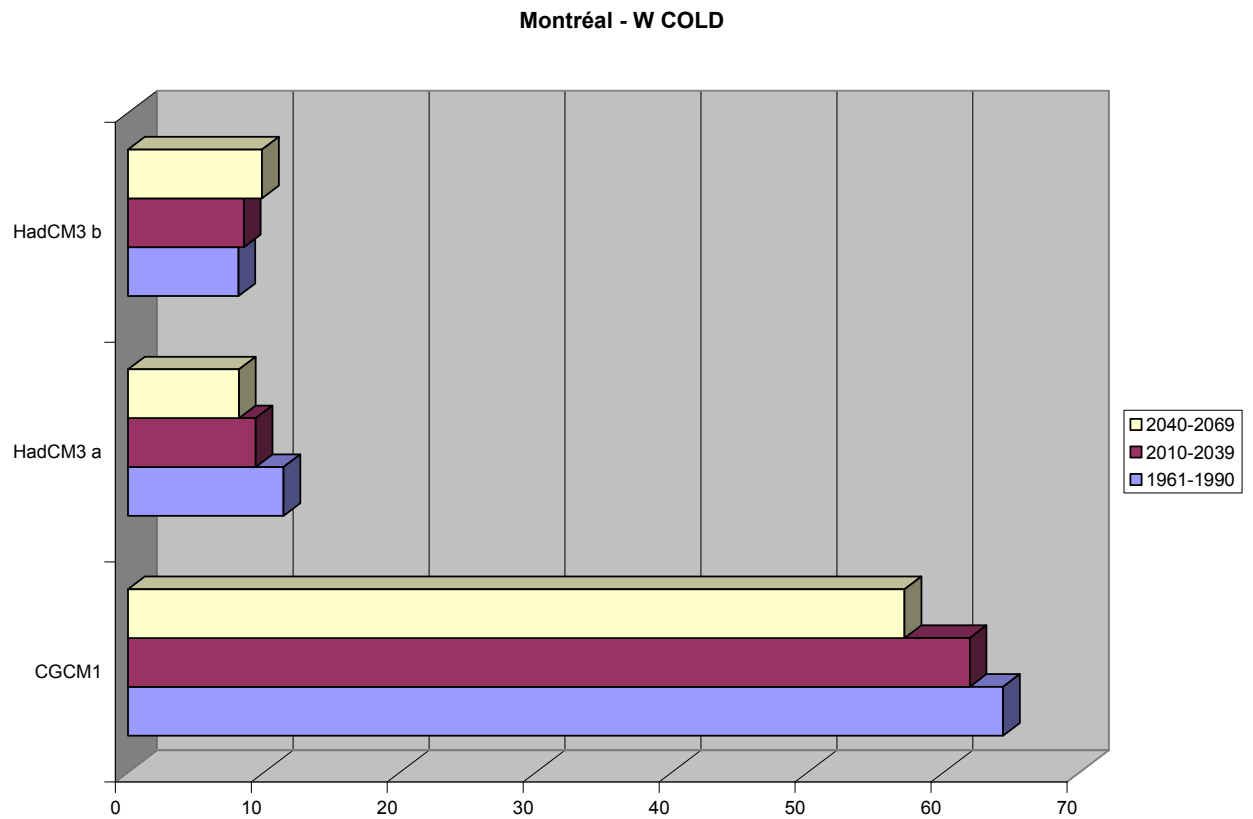


Figure 4.56. L'indice W-COLD selon les trois scénarios climatiques et les trois périodes de temps pour la station de Montréal.



Section 5 : Besoins en irrigation – Golf

5.0. Introduction

C'est évident qu'avec les changements prévus au niveau de la température et de la précipitation que les besoins en eau d'irrigation par les terrains de golf risquent de s'augmenter dans le futur. Ce serait plus prononcé dans le cas où il y aurait une baisse ou une faible hausse de la précipitation jumelé avec un taux d'évapotranspiration beaucoup plus important.

Le climat a un impact important sur la croissance et le développement des cultures y compris les espèces gazonnantes. Selon Beard (1973), les espèces du genre *Poa* (Kentucky bluegrass, Canada bluegrass) ont une tolérance moyenne aux sécheresses.

Pour le siècle qui a juste commencé, les modèles climatiques prédisent pour le sud du Québec des changements climatiques importants dus à la hausse des gaz à effet de serre. Dans les études précédentes nous avons évalué les impacts des conditions climatiques futures (les températures, les précipitations etc.) sur les besoins d'irrigation des espèces de gazon dans la région du sud du Québec y compris les Cantons de l'Est et la région de Montréal au moyen du modèle de culture EPIC (*Erosion Productivity Impact Calculator*).

Le but de la présente étude est de tester le modèle EPIC en comparant les taux et la fréquence d'irrigation prédites par le modèle avec les données réelles des mêmes caractéristiques culturelles selon les pratiques d'irrigation des gestionnaires des terrains de golf Inverness, été 2004 et Challenger, été 2005.

5.1. La validation du modèle de la culture EPIC

Afin de simuler les besoins en eau de gazons (*Poa annua*) de terrains de golf nous avons utilisé le modèle de culture EPIC couplé avec les sorties de température, précipitation et rayonnement solaire des trois scénarios climatiques (CGCM1 et HadCM3 A et B) pour les trois périodes à l'étude (1961-1990; 2110-2039; 2040-2069).

D'abord, il fallait calibrer le modèle EPIC en utilisant les données cueillies sur les terrains de golf Inverness (Lac Brome : été 2004) et Challenger (Montréal : été 2005).

Le but d'étude est de tester les simulations de taux et de fréquence d'irrigation du modèle de culture EPIC pour les espèces gazonnantes. Pour atteindre cet objectif nous utiliserons les résultats des mesures de terrain sur les paramètres climatiques et du sol ainsi que les données sur l'irrigation fournies de gestionnaires des terrains de golf.

5. 2. Les régions d'étude

5. 2.1 Lac Brome

Pendant l'été 2004 la recherche est axée sur la région touristique des Cantons de l'Est située dans le sud du Québec. La collecte des données se déroule sur le terrain de golf Inverness situé à côté de localité Lac Brome. Les observations se passent de 21 juillet à 24 août 2004.

5. 2.2 Montréal

Pendant l'été 2004 la recherche est axée sur la région de Montréal. La collecte des données se déroule sur le terrain de golf Challenger situé dans la ville Saint Laurent au Nord Ouest de l'île de Montréal. La période d'observations sur le terrain commence à 22 avril et finit à 20 octobre 2005.

5. 3. La méthodologie

5. 3.1. Modèle de culture EPIC

Dans cette étude sont évalués les impacts des conditions climatiques (des températures, des précipitations etc.) sur les besoins d'irrigation des espèces gazonnantes (les genres Poa et Fétuque) dans les régions de Lac Brome (terrain de golf Inverness, été 2004) et de

Montréal (terrain de golf Challenger, été 2005) en utilisant le modèle de culture EPIC. Ce modèle a été développé pour estimer les relations entre l'érosion du sol et la productivité de la culture (Williams et al, 1984). Il intègre des composants de la croissance de la culture, de l'érosion du sol, de la simulation du climat, du cycle des nutriments, du tillage et le management de la culture. EPIC a une résolution temporelle journalière. Il nécessite l'introduction des paramètres climatiques journaliers comme les températures maximales et minimales, la radiation solaire, la vitesse du vent et l'humidité relative. Le modèle EPIC exige de l'information sur les propriétés physiques du sol (par exemple la densité apparente, les teneurs en eau selon la capacité au champ et le point de flétrissement) et du management de la culture (par exemple la fertilisation, le tillage, la plantation, l'irrigation). EPIC simule/calcule l'évapotranspiration, la température du sol, la croissance potentielle de la culture, les obstructions de la croissance: le stress hydrique, le stress dû à la haute ou basse température, le stress dû au manque ou surplus de nitrogène et phosphore), les taux d'irrigation et le rendement de la culture. La dynamique de la biomasse est ajustée de façon quotidienne en tenant compte des situations de stress des facteurs suivants : l'eau, la température, les nutriments (le nitrogène et le phosphore) et l'aération (Mearns et al, 2001). Le modèle EPIC utilise un seul algorithme pour simuler la croissance des toutes les cultures, mais chacune a ses valeurs propres requises de modèle (la température optimale de croissance, les seuils thermiques maximaux et minimaux de développement, l'index de la surface foliaire (*leaf area index* (LAI), etc.). (Easterling et al, 2003).

5. 3.2. La station météo Davis

La station météorologique Davis est utilisée pour enregistrer les paramètres climatiques requis par le modèle EPIC à un pas temporel de 15 minutes. La station est représentée par deux sections: la première est responsable de paramètres atmosphériques (le rayonnement solaire, la température, les précipitations, la vitesse du vent, l'humidité de l'air, etc.) et la deuxième enregistre les paramètres du sol (la température et l'humidité) (fig.1, 2). La station Davis a été installée sur le terrain de golf Inverness pendant la période 21 juillet – 24 août 2004 et sur le terrain de golf Challenger, de 22 avril jusqu'à 20 octobre 2005.

Figure 5.1 **Station Davis** (installée sur le terrain de golf Inverness, Lac Brome, été 2004)



Figure5.2 **Station Davis** (installée sur le terrain de golf Challenger, Montréal été 2005)



5.3.2 Données climatiques

En qualité de données climatique d'entrée pour le modèle EPIC sont utilisés les paramètres météorologiques journalières enregistrés par la station météo Davis, installée sur les terrains de golf indiqués au-dessus, dont le rayonnement solaire, les températures maximale et minimale, les précipitations, l'humidité relative et la vitesse du vent.

À cause que pendant l'été 2004 nos observations ont été limitées en temps (seulement de 21 juillet à 24 août), pour simulé les besoins d'irrigation à partir de début de la période de végétation des espèces gazonnantes jusqu'à mois d'octobre, nous avons utilisé, aussi, les paramètres climatiques extrapolés, enregistrés aux stations météo Sherbrooke et Lennoxville. Les stations, dont on parle, sont situées au Sud – Est de Lac Brome à une distance d'environ de 20 km. L'extrapolation des éléments météorologiques est réalisée au moyen des régressions linéaires. Les résultats des ceux-ci sont montrés dans les annexes 1 – 6.

Pour la région de Montréal nous avons utilisées les valeurs des paramètres climatiques mesurés par la station Davis de 22 avril jusqu'à 20 octobre 2005. À cause des certains problèmes techniques qui ont provoqués l'arrêt de la station de 21 à 31 août, nous avons remplacé les données manquants par des données tirés de station Montréal Pierre Elliott Trudeau A. De même station on a utilisé les valeurs climatiques pour les intervalles de l'année 2005 qui précède le 22 avril et qui succède le 20 octobre.

5. 3.3 Données du sol

Pour la région de Lac Brome les données concernant les paramètres du sol ont été obtenues du travail de Cann et al, 1948 dont la granulométrie et les valeurs de pH (Carte des sols, 1952). Les caractéristiques du sol pour l'aire occupée de terrain de golf Challenger ont été sélectionnées du travail de P. Lajoie et R. Baril, 1956. Les paramètres physiques du sol comme la densité apparente (D_a), la capacité au champ (CC) et le point de flétrissement (PMP) ont été estimés à partir de la texture en utilisant la méthode du Saxton et al, 1986. Les données obtenues sont présentées aux tableaux 5.1a et 5.1b et 5.2.

Tableau 5.1a. Paramètres physiques du sol de la région du Lac Brome. Série du sol : Sol franc sableux Blandford (D. V. Cann, P. Lajoie et P. C. Stobbe, 1948)

<i>Profondeur</i> <i>cm</i>	<i>Sable</i> (%)	<i>Limon</i> (%)	<i>Argile</i> (%)	<i>PH</i>	<i>CC</i>	<i>PMP</i>	<i>Da</i> (gr/cm ³)
2.5-5.0	59.2	36.8	4.0	4.0	0,200	0.07	1,68
7.5-25	57.2	38.0	4.8	4.3	0,206	0.07	1,65
25-65	63.2	32.4	4.4	5.1	0,189	0.07	1,67
> 65	67.2	26.4	6.4	5.3	0,194	0.07	1,62

Tableau 5.1b. Paramètres physiques du sol de la région de la ville de Montréal, terrain de golf Challenger. Série du sol : Terre franche sableuse Châteauguay (P. Lajoie et R. Baril, 1956)

<i>Profondeur</i> <i>cm</i>	<i>Sable</i> (%)	<i>Limon</i> (%)	<i>Argile</i> (%)	<i>PH</i>	<i>CC</i>	<i>PMP</i>	<i>Da</i> (gr/cm ³)
0-18	57	21	22	7,4	0,24	0,137	1,43
18-53	59	21	20	7,0	0,23	0,129	1,44
> 53	59	21	20	7,6	0,23	0,129	1,44

Les résultats de l'analyse granulométrique sur les trois échantillons de sol, collectés sur le terrain de golf Inverness, ont confirmé la présence dans la région du Lac Brome de la même série du sol: *Sol franc sableux Blandford*.

5.3.4. Données de la culture

Les données concernant les paramètres biologiques/culturels des espèces gazonnantes ont été cueillies, en grand parti, des travaux du Beard 1969,1973.

Les indices de la croissance de ces espèces qui tient de températures (Beard, 1969) sont montrés dans le tableau 5. 2.

Tableau 5. 2 Seuils thermiques des espèces gazonnantes de la saison froid (*cool season turfgrass*) (Beard, 1969)

<i>Les seuils</i>	<i>Température (°C)</i>
Optimale	15,6 – 21,1
Maximale	37,8
Minimale	0,0

Un autre paramètre important de culture est l'indice de la surface foliaire (*leaf area index* (LAI)), qui pour les plants matures du vers de gazon varie de 3,0 à 6,0 (Brede, A.D., and J.M. Duich. 1986). Selon les mesures sur le terrain de golf Inverness (été 2004) cet indice varie entre 3,5 et 4,5.

5.4 Les résultats des études sur le terrain de golf Inverness été 2004

5.4.1 Les conditions climatiques et hydriques dans la région de Lac Brome pendant l'été 2004

L'été 2004 se caractérise de conditions climatiques distinctes. Pendant cette période, dans la région d'étude sont tombé des quantités importantes des précipitations en dépassant la normale multi annuelle dans certain mois (juillet, août) (tableau 5.3). De plus, les températures au-dessous de la normale ont diminué, probablement, l'évapotranspiration pendant le mois de juin. En effet, le gazon du terrain de golf Inverness, à cause de présence d'une quantité suffisante d'humidité en sol, pendant l'été 2004 y compris et la période d'observations (juillet – août) n'a pas été arrosé.

Les données concernant l'humidité du sol, enregistrées par la deuxième section de la station Davis pendant la période 21 juillet – 24 août, attestent, aussi, le degré élevé de saturation du sol de la région d'étude (**annexe 7**).

Selon les caractéristiques techniques de la station on doit irriguer quand les senseurs enregistrent plus de 30 *centibars* (tab. 4). En faite que pendant la période d'observation les valeurs moyennes maximales journalières ont enregistré seulement 9 *centibars* (30 juillet), il est possible de déduire que les résultats sur l'humidité du sol de la station Davis reflètent assez bien la situation réelle.

Les observations sur la quantité d'humidité stockée dans les différentes couches de sol du terrain de golf Inverness indiquent que pendant la période juillet – août 2004 l'eau représenta 20 – 30% de la masse totale du sol de la couche entre 05 et 15 cm. De ce fait, pour la série du sol *Sol franc sableux Blandford* un volume de 20 - 30% de l'eau par

rapport à la masse totale du sol pourrait assurer une quantité suffisante d'humidité et par conséquence, un développement satisfaisante des espèces gazonnantes.

Tableau 5.3 Les températures et les précipitations moyennes mensuelles de la période 1961-90 et de l'année 2004 dans la région du Sherbrooke

Paramètres*	MOIS											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
TMXm, °C	-5.7	-4.0	2.0	9.7	17.7	22.3	24.7	23.1	18.7	12.3	4.5	-3.1
TMX, °C a. 2004	-10.6	-2.6	4.8	10.7	18.9	21.7	25.0	23.2	20.6	13.2	-	-
TMNm, °C	-17.6	-16.8	-9.8	-1.9	4.0	8.8	11.5	10.4	5.8	0.8	-4.3	-13.3
TMN, °C a. 2004	-20.2	-15.8	-5.5	0.9	7.2	8.8	14.4	13.6	9.2	0.3	-	-
PRCPm, mm	70.5	60.7	74.2	76.6	94.7	100.8	115.2	129.7	96.8	89.0	98.6	97.5
PRCP, mm a.2004	48.3	58.7	57.9	84.3	127.9	88.2	201.7	217.6	69.0	41.0	-	-

* Note : **TMXm** – la température maximale moyenne multi annuelle de la période 1961-1990;
TMX a.2004 - la température maximale moyenne mensuelle de l'année 2004;
TMNm - la température minimale moyenne multi annuelle de la période 1961-1990;
TMN a.2004 – la température minimale moyenne mensuelle de l'année 2004;
PRCPm – les précipitations moyennes multi annuelles de la période 1961-1990;
PRCP a.2004 – les précipitations mensuelles totales de l'année 2004.

Tableau 5. 4 L'échelle de la gamme de saturation du sol (les caractéristiques techniques des senseurs d'humidité de la station Davis)

<i>Centibar Reading</i>	<i>Soil Condition</i>
0 -10	Sol saturé. Se produit dans un ou deux jours après l'irrigation.
10 – 20	Sol suffisant humide (excepté les sables bruts qui se dessèchent à cette gamme.).
30 – 60	Gamme habituelle à irriguer ou arroser (excepté les sols lourds argileux)
60 -100	Gamme habituelle à irriguer les sols lourds argileux.
100 – 200	Le sol devient dangereusement sec. (<i>Soil is becoming dangerously dry for maximum production. Proceed with caution.</i>)

Tableau 5. 5 La quantité relative de l'eau en sol aux différentes profondeurs (par rapport à la masse totale du sol), terrain de golf Inverness, juillet – août 2004

La date d'échantillon	La profondeur et la quantité relative de l'eau en %			
	05 cm	15 cm	30 cm	50 cm
09-07-2004	21,7	-	-	-
15-07-2004	26,0	22,4	20,2	12,8
18-07-2004	30,0	20,3	18,4	11,1
20-07-2004	25,7	18,6	18,6	-
25-07-2004	30,4	20,0	20,0	17,5
01-08-2004	26,4	20,4	24,2	18,5
06-08-2004	34,6	27,5	25,2	16,2
16-08-2004	27,8	25,3	22,7	20,4

5. 4.2 Les résultats des simulations avec EPIC

En utilisant les données climatiques observées et interpolées de la période 01 janvier 2004 – 31 octobre 2004 dont la température maximale, la température minimale, le rayonnement solaire, l'humidité relative et la vitesse du vent nous avons réalisé cinq simulations pour estimer la fréquence et les taux d'irrigation pour les espèces gazonnantes dans la région de Lac Brome, pendant la période de végétation de l'année 2004. Pour la première simulation nous avons prévu l'irrigation quand il y a un déficit hydrique en sol de 4 mm tandis que pour les suivantes de 9, 10, 13 et 15 mm, respectivement. De ce fait, les besoins d'irrigation sont simulés avec EPIC selon cinq critères choisis:

1. *le critère de déficit hydrique en sol de 4mm;*
2. *le critère de déficit hydrique en sol de 9mm;*
3. *le critère de déficit hydrique en sol de 10 mm;*
4. *le critère de déficit hydrique en sol de 13 mm;*
5. *le critère de déficit hydrique en sol de 15 mm.*

Les résultats montrent que les besoins d'irrigation prédits au moyen du modèle EPIC, selon les premiers trois critères, différent de données réelles. Par contre, les simulations

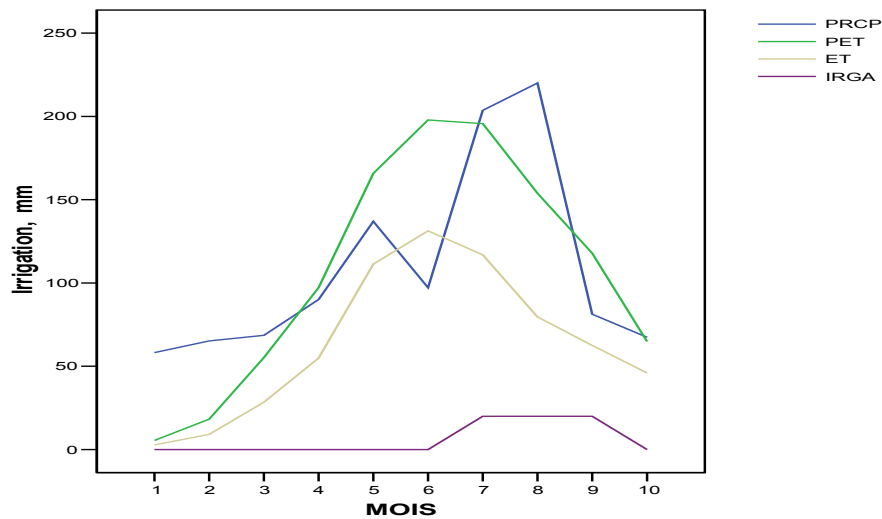
selon les critères de 13 et 15 mm révèlent des valeurs qui sont proches de données de terrain. On constate, ainsi, que les plus réalistes sont les résultats de la simulation selon le critère de 15 mm quand le modèle a prédit seulement deux irrigations : une pour mois de juillet et l'autre pour mois de septembre (tableau 5.5).

De figure 5.1 nous constatons qu'il est compliqué de trouver des liens entre l'irrigation et les autres paramètres climatiques. Toutefois, il semble que les taux réduit d'arrosage sont déterminés par les taux élevés des PRCP, comparable aux ceux de PET.

Tableau 5. 5. Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations (PRCP), évapotranspiration potentielle (PET), évapotranspiration (ET), et irrigation (IRGA) (critères de 4, 9, 10, 13 et 15 mm) dans la région du Lac Brome période janvier - octobre 2004.

Mois	PRCP	PET	ET	IRGA,mm Terrain Inverness	IRGA EPIC, mm				
					critère 4mm	critère 9mm	critère 10mm	critère 13mm	critère 15mm
1	58.17	5.49	2.75						
2	65.21	18.23	9.12						
3	68.59	55.22	28.40						
4	90.08	97.17	54.95	0					
5	136.94	165.81	111.30	0	4				
6	97.23	197.88	131.32	0	8	9			
7	203.62	195.62	116.90	0	48	36	30	26	15
8	220.09	153.86	79.59	0	40	27	20		
9	81.27	117.82	62.51	?	44	27	20	13	15
10	67.37	64.87	46.03	?	20				

Figure 5.1 Les PRCP, PET, ET et IRGA (critère de 10mm) au Lac Brome, année 2004



5. 5 Les résultats des études sur le terrain de golf Challenger été 2005

a. Les conditions climatiques et hydriques dans la région de Montréal pendant l'été 2005

La période chaude de l'année 2005 se caractérise premièrement de températures au-dessus de la normale et deuxièmement d'un caractère torrentielles de la précipitation. Les températures moyennes maximales et minimales de trois mois d'été 2005 ont été de 2,3C⁰ et, respectivement, de 3,5 C⁰ plus élevées que les normales de ceux-ci de la période 1971-2000. Par contre, le début de la saison de végétation a été marqué par un mois de mai plus froid et plus sec que la normale (tableau 5. 6).

Le fait que durant le mois de juin 95% de précipitations mensuelles tombent pendant quatre jours consécutives ; 54% de précipitations de mois de juillet tombe dans un seul jour; 58% de précipitations de mois d'août tombent en cours de 31 août, illustre le caractère diluvien des précipitations d'été 2005.

Tableau 5. 6 Les températures et les précipitations moyennes mensuelles de la période 1971-2000 (station météo [MONTREAL/PIERRE ELLIOTT TRUDEAU INTL A](#)) et de l'année 2005 (club de golf *Challenger*)

Paramètres	MOIS												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	IV-X
TMXm, °C	-5.8	-4.3	2.1	10.7	18.9	23.3	26.3	24.7	19.5	12.5	5.3	-2.4	20.57
TMX, °C a. 2005	-6.4	-1.7	1.4	13.4	16.7	26.8	27.5	26.9	22.5	13.5			22.3
TMNm, °C	-14.9	-13.4	-6.9	0.7	7.6	12.4	15.5	14.2	9.2	3.1	-2.2	-10.8	10.45
TMN, °C a. 2005	-15.5	-11.5	-7.9	2.2	7.9	17	17.9	17.6	13.8	6.9			13.88
PRCPm, mm	70.4	59.7	72.2	76.1	75.5	84.4	90.1	94.2	91.3	77.6	93	82.3	589.2
PRCP, mm a.2005	63.6	43.6	44	134.2	43	129	118	126	112.2	198.2			860.6

Comme attendu, les conditions climatiques spécifiques d'été 2005 ont soutenus un déficit hydrique du sol. Les valeurs qui tiennent d'humidité du sol, enregistrées par la station Davis, confirment nos suppositions. En effet, on constate que les valeurs moyennes mensuelles d'humidité du sol à la surface et à la profondeur de 10 cm prévalent toujours le seuil de 30 *centibar* pendant la période mai – 20 octobre (tableaux 5. 7a et 5. 7b). Ceux-ci démontent la nécessité d'irrigation pendant plusieurs jours de cette période.

Tableau 5. 7a Les valeurs moyennes mensuelles de l'indice d'humidité du sol au Montréal (en *centibar*) à quatre profondeurs (0, 10, 20 et 30cm), mesurés par la station Davis pendant la période 22 avril – 20 octobre 2005

MOIS	L'INDICE D'HUMIDITÉ (CENTIBAR) À PROFONDEUR DE :			
	0 cm	10 cm	20 cm	30 cm
Avril ¹	10,8	7,2	3,4	6,4
Mai	46,6	43,6	29,6	36,5
Juine	51,9	75,4	50,2	58,1
Juliet	63,8	62,3	50,8	78,5
Août ²	153,1	166,6	185,1	128,6
Septembre	59,1	68,2	37,4	56,9
Octobre ³	40,8	37,3	8,4	25,2

¹ période 22 - 30 avril

² période 01 – 21 août

³ période 01-20 octobre

Tableau 5.7b. La quantité relative de l'eau en sol (par rapport à la masse totale de sol) aux différentes profondeurs, terrain de golf Challenger, mai - août 2005

La date d'échantillon	La profondeur et la quantité relative de l'eau en %		
	<i>Surface</i>	<i>10 cm</i>	<i>20 cm</i>
06-05-2005	22	22	19
12-05-2005	18	19	16
17-05-2005	19	17	16
24-05-2005	22	17	16
05-06-2005	-	17	-
06-07-2005	23	20	21
13-07-2005	17	19	15
20-07-2005	17	17	17
27-07-2005	17	17	16
09-08-2005	10	12	12

5. 5.2 Les résultats des simulations avec EPIC

En utilisant les données climatiques observées sur le terrain de golf Challenger et de la station météo Montréal Pierre Elliott Trudeau A (21 août – 31 août 2005) dont la température maximale, la température minimale, le rayonnement solaire, l'humidité relative et la vitesse du vent nous avons réalisé cinq simulations pour estimer la fréquence et les taux d'irrigation pour les espèces gazonnantes dans la région de Montréal, pendant la période de végétation de l'année 2005. Pour la première simulation nous avons prévu l'irrigation quand il y a un déficit hydrique en sol de 4 mm tandis que pour les quatre suivants de 9, 10, 13 et 15 mm, respectivement. De ce fait, les besoins d'irrigation sont simulés avec EPIC selon plusieurs critères choisis:

- 1 le critère de déficit hydrique en sol de 4mm;
- 2 le critère de déficit hydrique en sol de 9mm;
- 3 le critère de déficit hydrique en sol de 10 mm;
- 4 le critère de déficit hydrique en sol de 13 mm;
- 5 le critère de déficit hydrique en sol de 15 mm.

Selon les données fournies par les gestionnaires du terrain de golf Challenger en 2005 la saison d'irrigation a commencé le 11 avril et s'est terminé le 6 octobre. Pendant la période de 1 juin à 20 octobre 2005 ils ont irrigué environ 200mm de l'eau. Le système d'irrigation du club de golf Challenger tire l'eau des réservoirs alimentés par les puits. L'eau tirée d'un puits profond est souvent très froide et le réservoir permet à l'eau d'irrigation de s'acclimater, de façon à ne pas "saisir" le gazon. Le gazon du terrain de golf Challenger était arrosé pendant une période variable : de 9 à 24 minutes, d'habitude en soirée.

Les résultats montrent que les taux d'irrigation prédits au moyen du modèle EPIC, selon les premiers deux critères, sont assez proches de données réelles. Par contre, les simulations selon les critères de 13 et 15 mm révèlent des valeurs plus petites différentes de données sur le terrain. On constate, ainsi, que les plus réalistes sont les résultats de la simulation selon le critère de 9 mm (tableau 5.8 et figure 5.2). Il est visible qu'en utilisant les critères plus petits, comme celui de 4 mm, il est possible de percevoir les besoins d'eau au début et à la fin de la période de végétation. La fréquence mensuelle d'irrigation simulée par le modèle EPIC est plus précise lorsque nous avons programmé le critère de 4 mm (tableau 5.9).

La figure 5. 2 montre que les taux d'irrigation sont assez proches de celles du déficit hydrique de la période d'étude.

Tableau 5.8. Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations (PRCP), évapotranspiration potentielle (PET), évapotranspiration (ET), et irrigation (IRGA) selon les données observées et les simulations d'EPIC au Montréal, période janvier - octobre 2005

Mois	PRCP	PET ¹	ET ²	IRGA, mm Terrain Challenger	EPIC IRGA, mm				
					critère 4mm	critère 9mm	critère 10mm	critère 13mm	Critère 15mm
1	63.6	10.3	5.1						
2	43.6	20.3	10.2						
3	44.0	45.6	22.8						
4	134.2	111.0	49.0	?	16				
5	43.0	138.0	129.2	?	40	18	10	13	15
6	129.0	202.9	156.8	78.5	52	72	70	52	45
7	118.0	201.1	143.4	46.6	52	45	30	26	45
8	126.0	171.4	90.35*	40.4	56	45	40	26	15
9	112.2	111.2	105.8	21.4	32	18	10		
10	198.2	54.8	39.1**	5.6	12	9			
Total	1011.8	1066.6	751.75	192.5	204*	189*	150*	104*	105*

¹ calculée par EPIC

² calculée par la station Davis

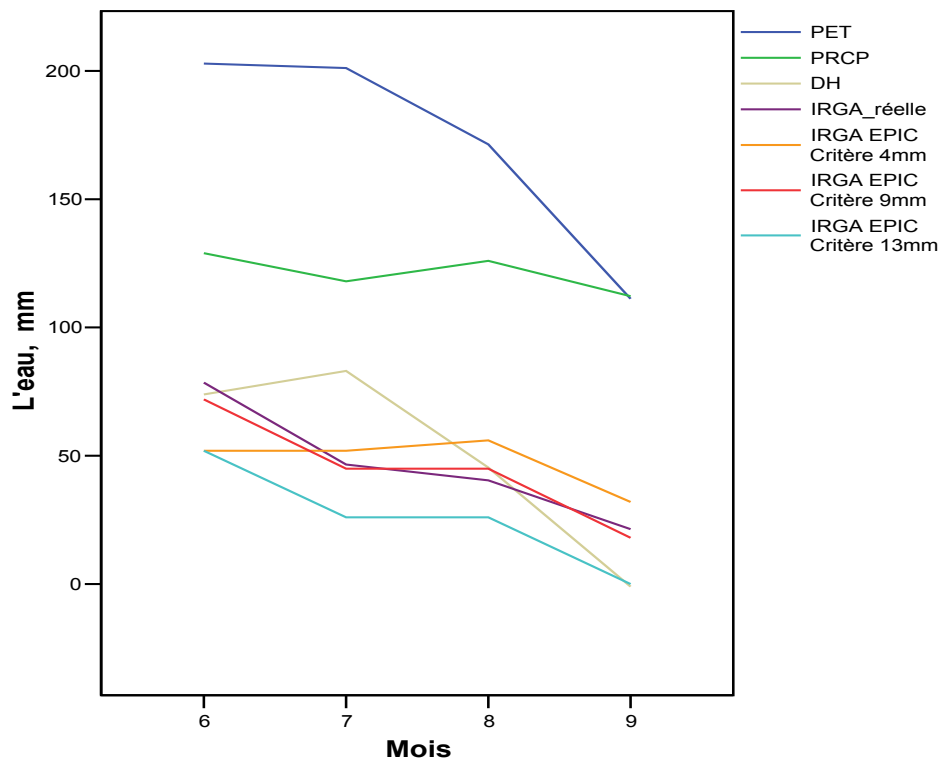
* période 01 – 21 août

** période 01-20 octobre

Tableau 5.9. La fréquence d'irrigation (nr. jours), Challenger 2005

Mois	IRGA, mm Terrain Challenger	EPIC IRGA, mm				
		critère 4mm	critère 9mm	critère 10mm	critère 13mm	critère 15mm
1						
2						
3						
4	?	4				
5	?	10	2	1	1	1
6	24	13	8	7	4	3
7	20	13	9	3	2	3
8	20	14	9	4	2	1
9	15	8	2	1		
10	4	3	1			

Figure 5. 2 Les PET, PRCP, déficit hydrique (DH), IRGA réelle et IRGA calculé par le modèle EPIC (critères de 4, 9, et 13mm)



5.6 Conclusions

Donc, les résultats de notre recherche indique que:

- les résultats des simulations des taux d'irrigation du modèle EPIC varient fortement en fonction de critère de déficit hydrique en sol;
- l'exactitude des résultats/simulation du modèle EPIC est influencée par les conditions du temps : pour l'année 2004, qui a connu un été humide, les critères plus grand ont donnés des résultats plus réalistes tant que pour l'été plus sec de l'année 2005 - les critères plus petites;

- Ainsi, pour la période de l'été 2004 les plus réalistes sont les résultats de la simulation selon le critère de 13 et 15 mm et pour l'été 2005 les critères de 4 et 9mm;
- Les résultats sur l'humidité du sol et les besoins d'irrigation de la station Davis reflète assez bien la situation réelle.
- Pour la série du sol *Sol franc sableux Blandford* un volume de 20 - 30% de l'eau par rapport à la masse totale du sol pourrait assurer une quantité suffisante d'humidité et par conséquence un développement satisfaisante des espèces gazonnantes dans la région des Cantons de l'Est.
- Pour la série du sol *Terre franche sableuse Châteauguay* un volume moins de 20% de l'eau par rapport à la masse totale du sol assure une quantité insuffisante d'humidité et par conséquence il faut irriguer.
- Probablement, pour simules les besoins d'irrigation au moyen du modèle EPIC pour les périodes futures, en utilisant les sorties diagnostiques des MCG, on doit utiliser trois critères :
 1. le déficit de 4mm
 2. le déficit de 9mm
 3. le déficit de 13mm.

5.7 Les besoins en irrigation d'espèce du gazon Poa annua

Cette section étudie les impacts des changements climatiques futures sur les besoins en irrigation de l'espèce de gazon Poa annua, une des espèces les plus utilisées sur les terrains de golf dans le sud du Québec.

5.7.1 Introduction

Le temps et le climat ont une influence profonde pour la vie sur terre. Le temps est l'état de l'atmosphère dans une certaine région à un certain moment tandis que le climat est "le temps moyen", souvent à une échelle de temps plus grande.

Le climat de la terre est soumis à des changements importants, en particulier pendant la deuxième partie du dernier siècle. Les changements climatiques désignent une variation statistiquement significative, de l'état moyen du climat ou de sa variabilité, persistant pendant de longues périodes. Les changements climatiques peuvent être dus à des processus internes et externes ou à des changements anthropiques modifiant la composition de l'atmosphère (IPPC 2001).

Le réchauffement des couches inférieures de l'atmosphère est provoqué par l'augmentation des gaz à effet de serre. Ces derniers absorbent le rayonnement infrarouge émis par la surface de la terre par l'atmosphère elle-même et par les nuages. De ce fait, l'atmosphère émet une quantité plus élevée d'énergie sous forme de rayonnement infrarouge vers la surface de la terre. Par conséquent, les gaz à effet de serre retiennent la chaleur dans le système surface - troposphère. Ce phénomène est intitulé "effet de serre naturel" mais amplifié par les activités humaines qui dégagent divers gaz à effet de serre. Le chauffage et la climatisation des immeubles, l'énergie utilisée chez soi et au travail, les véhicules transportant passagers et marchandises, l'énergie activant les processus industriels, la plupart de nos gestes quotidiens consommant de l'énergie aggravent le problème.

En ratifiant le Protocole de Kyoto, le gouvernement du Canada a fait du changement climatique une priorité nationale¹. En collaboration avec les Canadiens et les

Canadiennes et la communauté mondiale, il s'emploie à diminuer les évacuations des gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

La hausse des concentrations de ces gaz peut être à l'origine du réchauffement climatique anticipé pour les prochaines années. Gullett et Skinner (1992) ont examiné les températures à partir de 130 stations météorologiques à l'échelle du Canada et ont remarqué que les températures avaient augmenté significativement de près de 0,7°C au cours du dernier siècle (1895 à 1991). À l'échelle mondiale, les températures se sont élevées d'environ 0,5 °C au cours des 100 dernières années (IPPC 2001).

Les changements climatiques anticipés pour les prochains 50 à 100 ans se caractérisent par des augmentations de température et par une modification des précipitations. Ainsi, selon plusieurs projections, l'élévation probable de la température du globe sera de 1,4⁰ C à 5,8⁰ C d'ici 2100. (IPPC 2001).

Face à un tel scénario de changement des conditions climatiques au cours des prochaines décennies, nous pouvons nous demander quelles seront les conséquences au Québec, pour l'environnement et pour les secteurs prioritaires de notre économie (production d'hydroélectricité, l'industrie forestière, les secteurs agroalimentaire et touristique) ainsi que pour la santé et la qualité de vie de la population.

L'augmentation probable de la température pourrait entraîner de graves conséquences pour le Canada :

¹<http://www.ec.gc.ca/climate/home-f.html>

- Les sécheresses affectant l'agriculture dans toutes les régions ;
- La baisse des niveaux d'eau des Grands Lacs et du Fleuve Saint-Laurent ;
- L'infestation d'insectes et les incendies de forêt ;
- Les changements et la réduction des pêches marines ;
- La fonte du pergélisol et l'affaissement des infrastructures du Nord ;
- L'accroissement des vagues de chaleur : la baisse de la qualité de l'air ; les problèmes de santé ;

- L'impact sur le tourisme;
- L'impact sur l'industrie du golf et du ski.

Les impacts potentiels sur l'industrie du golf et du ski sont :

- la modification de la longueur de la saison de golf ;
- la dégradation de la “santé” du gazon de golf ;
- la modification de la durée de la saison de ski.

Le but de l'étude est d'évaluer les changements climatiques et les impacts possibles de ceux-ci sur les espèces gazonnantes des terrains de golf dans la région de sud du Québec.

5.7.2 Objectifs

Dans cette partie de l'étude nous serons principalement intéressés d'établir l'alternance des conditions hydriques, générée par le climat actuel et futur, qui détermine en grand parti la croissance et le développement des espèces gazonnantes de la saison fraîche.

5.7.3 Méthodologie

Le climat a un impact important sur la croissance et le développement des cultures. En conséquence, la modification du climat, causée par la hausse du CO₂ atmosphérique et le forçage radiatif que celle-ci produit, aura un effet important sur l'agriculture future (Brassard, 2003).

La région d'étude

Nous examinons les impacts potentiels des changements climatiques sur les besoins d'irrigation des cultures de gazon dans trois régions de sud du Québec : la région de Laurentides y compris Montréal, la région des Cantons de l'Est et la région de la ville Québec.

Modèles de circulation générale couplés atmosphère-océan (MCGAO)

À l'heure actuelle, les modèles climatiques de circulation générale (MCG) sont reconnus comme étant le meilleur outil d'analyse du climat (Lambert et Boer, 2001). Les MCGAO sont des représentations mathématiques en trois dimensions du système climatique. Ils tentent de reproduire le climat actuel en termes de moyenne et de variabilité et de produire des projections réalistes de l'état dans lequel ce climat pourrait se trouver lors de périodes futures (Flato et coll., 2000).

Dans ce projet sont utilisées les sorties diagnostiques de deux MCG : le modèle couplé de circulation générale Canadien de première génération (CGCM1) du Centre Canadien de Modélisation et d'Analyse du Climat (CCmaC) et le modèle climatique couplé de circulation générale britannique HadCM3.

Le modèle CGCM1

Le sous - modèle atmosphérique du CGCM1 a une résolution de la grille de surface d'environ $3.7^{\circ} \times 3.7^{\circ}$ et comporte 10 niveaux verticaux. Ce sous - modèle correspond à la deuxième version du modèle de circulation générale décrit par McFarlane et al. (1992).

La composante océanique de ce modèle présente une résolution horizontale d'environ $1.8^{\circ} \times 1.8^{\circ}$ avec 29 niveaux verticaux de différente épaisseur. De cette manière, à chaque cellule du modèle atmosphérique correspondent quatre cellules du modèle océanique. Le CGCM1 divise la grille de surface en trois domaines : la terre, les océans et les mers internes.

Le couplage des deux composantes de CGCM1 se réalise une fois quotidiennement par un échange entre ceux-ci des indices moyens journaliers. Le couplage est fait de façon suivante :

Au début, le modèle océanique fonctionne seule pour une période de 4000 ans. En même temps, la composante atmosphérique fonctionne indépendamment pour 20ans. Par la suite, les deux modèles sont couplés en utilisant les ajustements des flux et le modèle intégré, après une période d'adaptation, commence la véritable simulation à partir de l'an 1850. (Flato et al. 2000)

Nous avons exploité les données simulées de ce modèle utilisant le scénario GES+A où la concentration atmosphérique de gaz à effet de serre (GES) correspond à celle mesurée de 1900 jusqu'à 1996 et dans lesquelles cette concentration augmente en raison de 1% par an par la suite jusqu'en 2100 (scénario "IS92a"). L'effet direct des aérosols sulfatés (A) est aussi pris en compte.

Le CGCM1 simule l'évolution du climat suite à l'augmentation du CO₂ atmosphérique et d'autres GES, et affiche les principales données climatiques affectant la croissance des plantes et dont le gazon (température, précipitation, radiation solaire) pour le climat futur. Le modèle de circulation générale CGCM1 est utilisé pour gérer les scénarios des changements climatiques pour deux périodes futures de 2010 à 2039 et de 2040 à 2069 ainsi que pour la période courante/de référence, 1961-1990.

Le modèle HadCM3

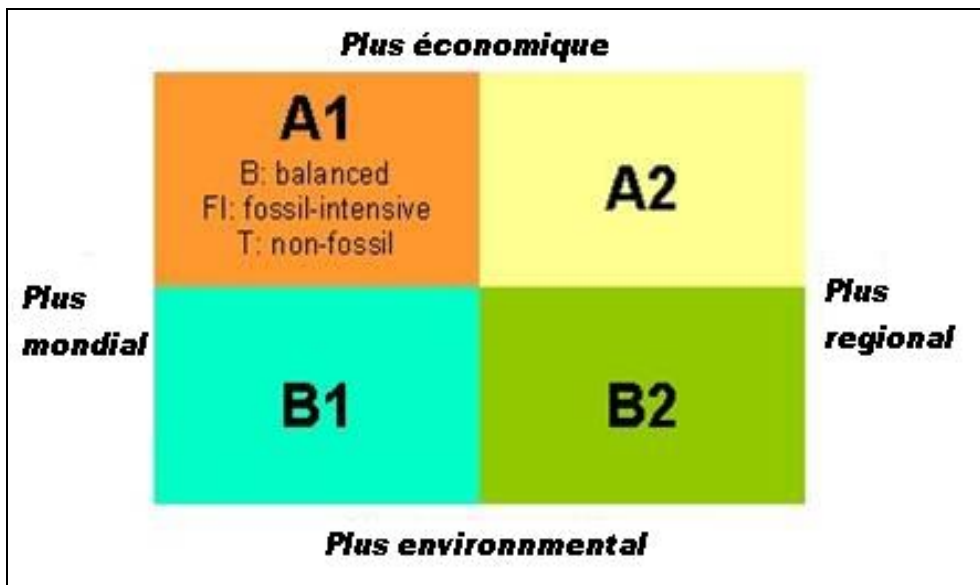
Le modèle climatique couplé de circulation générale HadCM3, (*Hadley Centre Coupled Model, version 3*) décrit par Gordon et autres (2000), a été développé au centre Hadley. En comparaison avec le modèle de génération précédent (HadCM2) de même organisation climatique, ce modèle ne nécessite pas le raccord de flux (la chaleur "artificielle" additionnelle et le flux d'eau douce sur la surface d'océan) pour produire une bonne simulation. La résolution plus élevée de sous - modèle océanique de HadCM3 est un facteur important en ce la.

Le sous - modèle atmosphérique du HadCM3 a une résolution horizontale de 2.5x3.75 degrés et comporte 19 niveaux à la verticale. La composante océanique de ce modèle présente une résolution de 1.25 x 1.25 degrés. Le couplage entre ceux deux sous modèles permet des échanges libres d'énergie et d'eau à l'interface air-mer (vent, évaporation - précipitation), donc, en absence d'aucune ajustement.

Pour notre projet, nous avons utilisé les sorties diagnostiques de HadCM3 forcés par deux scénarios : A2 et B2. Selon la figure 7.3, tous les deux scénarios choisis prévoient

un développement du monde avec des importantes différences régionales sauf que le A2 est plus ‘pessimiste’, que le B2. En effet, le scénario A2 suppose un maintien des augmentations des émissions de gaz à effet de serre à un taux équivalent à celui d’aujourd’hui. Quant à scénario B2 lui suppose une stabilisation des émissions des gaz à effet de serre (figure 5.3).

Figure 5. 3 Les familles de scénarios du SRES 2000



Le modèle de culture EPIC

Dans cette étude les impacts des changements climatiques futurs (des températures, des précipitations etc.), dus particulièrement de la hausse de la concentration atmosphérique du CO₂, sur les besoins d'irrigation des espèces gazonnantes dans la région de sud du Québec sont évalués en couplant les modèles de circulation générale, CGCM1 et HadCM3, à un modèle de culture EPIC (*Erosion Productivity Impact Calculator*). Ce modèle a été développé pour estimer les relations entre l'érosion du sol et la productivité de la culture (Williams et al, 1984). Il intègre des composants de la croissance de la culture, de l'érosion du sol, de la simulation du climat, du cycle des nutriments, du tillage et le management de la culture. EPIC a une résolution temporelle journalière. Il nécessite l'introduction des paramètres climatiques journaliers comme les températures maximales et minimales, la radiation solaire, la vitesse du vent et l'humidité relative. Le modèle EPIC exige de l'information sur les propriétés physiques du sol (par exemple la densité apparente, les teneurs en eau selon la capacité au champ et le point de flétrissement) et du management de la culture (par exemple la fertilisation, le tillage, la plantation, l'irrigation). EPIC simule/calcule l'évapotranspiration, la température du sol, la croissance potentielle de la culture, les obstructions de la croissance: le stress hydrique, le stress dû à la haute ou basse température, le stress dû aux manque ou surplus de nitrogène et phosphore), les taux d'irrigation et le rendement de la culture. La dynamique de la biomasse est ajustée de façon quotidienne en tenant compte des situations de stress des facteurs suivants : l'eau, la température, les nutriments (le nitrogène et le phosphore) et l'aération (Mearns et al, 2001). Le modèle EPIC utilise un seul algorithme pour simuler la croissance des toutes les cultures, mais chacune a ses valeurs propres requises de modèle (la température optimale de croissance, les seuils thermiques maximaux et minimaux de développement, l'index de la surface foliaire (*leaf area index* (LAI), etc.). (Easterling et al, 2003).

Données climatiques

Région des Laurentides (sous région de Montréal)

Pour la période actuelle de 1961 à 1990 sont utilisées les données météorologiques observées dont la température maximale, la température minimale, les précipitations totales, la vitesse du vent et l'humidité enregistrées à la station climatique Montréal Dorval Pierre Elliott Trudeau Intl A et la radiation solaire enregistrée à la station climatique Brébeuf. Un problème important de disponibilité des données s'est posé pour la radiation solaire. Pour estimer les données manquantes du rayonnement solaire nous avons eu besoin d'utiliser les données d'ensoleillement de la station climatique McGill. L'équation utilisée a été élaborée par Baier et Robertson en 1965 et utilisée pour plusieurs régions du Sud du Canada.

$$Q_s = Q_o (0.251 + 0.616 (n/N)) \quad (1)$$

Où,

Q_s est la radiation solaire en $\text{cal cm}^{-2} \text{ jour}^{-1}$.

Q_o est la radiation solaire reçue aux limites supérieures de l'atmosphère (extraterrestre) en $\text{cal cm}^{-2} \text{ jour}^{-1}$.

n = l'ensoleillement en heures.

N est la durée astronomique de la journée en heures.

Pour les deux périodes futures (2010 – 2039 et 2040 – 2069) ainsi que pour la période courante (1961 – 1990) nous avons utilisé les données quotidiennes tirées de modèle climatique canadien CGCM1 et du modèle climatique britannique HadCM3 dont le rayonnement solaire incidente à la surface, la température d'abri maximale, la température d'abri minimale et les précipitations. Pour ajuster les températures minimales et maximales et les précipitations de la grande cellule du CGCM1 (la cellule I77_J37 avec les coordonnées 75.00W, 46.39N) à notre région d'étude nous avons employé le procédé de désagrégation (*downscaling*) des données provenant de la grande échelle (le modèle climatique CGCM1) à une plus petite échelle (la station météo Montréal Dorval) en utilisant le SDSM (*Statistical DownScaling Model*). Les valeurs du rayonnement solaire ont été ajustées en appliquant le procédé d'interpolation linéaire entre deux cellules avoisinantes (la cellule I77_J37 et la cellule I77_J36 avec les coordonnées 75.00W, 42.68N) du modèle climatique canadien. Les mêmes méthodes ont été utilisées pour ajuster les sorties diagnostiques du HadCM3.

Région des Cantons de l'Est

Pour la période actuelle 1978-1990, nous avons utilisé les données météorologiques observées dont la température maximale, la température minimale, les précipitations totales et la radiation solaire enregistrées à la station climatique Sherbrooke. À cause que dans la région des Cantons de l'Est on n'a pas fait des mesures sur le rayonnement solaire pendant la période 1961-1990 et les observations sur l'ensoleillement sont commencées juste en 1978 nous avons réduit la période actuelle de 30 à 13 ans. De se fait, le rayonnement solaire de la période 1978-90 a été calculé à partir des données d'ensoleillement disponibles pour la station Sherbrooke en utilisant l'équation (1).

Pour les deux périodes futures (2010 – 2039 et 2040 – 2069) ainsi que pour la période courante (1961 – 1990) nous avons utilisé les données quotidiennes qui sortent de modèle climatique canadien MCCG1 et du modèle climatique britannique HadCM3 dont le rayonnement solaire incidente à la surfasse, la température d'abri maximale, la température d'abri minimale et les précipitations. Pour ajuster les températures minimales et maximales et les précipitations de la grande cellule du MCCG1 (qui couvre la région des Cantons de l'Est ayant le numéro d'identification I77_J37) à notre région d'étude on a employé le même logiciel que pour la région de Montréal : le SDSM (*Statistical DownScaling Model*). Les valeurs du rayonnement solaire ont été ajustées en appliquant le procédé d'interpolation linéaire entre deux cellules voisines de CGCM1 (I77_J37 et I77_J36) du modèle climatique.

Les mêmes méthodes ont été utilisé pour ajuster les sortis diagnostiques du HadCM3.

Région du Québec

Pour la période actuelle de 1961 à 1990 sont utilisées les données météorologiques observées dont la température maximale, la température minimale, les précipitations totales et la radiation solaire enregistrées à la station climatique Québec A. Pour la période de 1961 jusqu'à début de 1964 ainsi que pour certaines jour de l'intervalle 1964-1990 la radiation solaire a été calculé indirect a partir des données d'ensoleillement disponibles de la même station en utilisant l'équation (1).

Pour ajuster les valeurs du rayonnement solaire estimés à partir d'ensoleillement, nous avons utilisé la régression linéaire entre ceux résultats et les données observées.

Pour les deux périodes futures (2010 – 2039 et 2040 – 2069) ainsi que pour la période courante (1961 – 1990) nous avons utilisé les données quotidiennes qui sortent de modèle climatique canadien CGCM1 et du MCG HadCM3 dont le rayonnement solaire incidente à la surface, la température d'abri maximale, la température d'abri minimale et les précipitations. Pour ajuster les températures minimales et maximales et les précipitations de la grande échelle du CGCM1 (la cellule I78_J37) à notre région d'étude on a utilisé le procédé du downscaling avec l'aide du logiciel SDSM (*Statistical DownScaling Model*). Comme les coordonnées géographiques de la cellule I78_J37 (71.25W et 46.39N) sont assez proches de coordonnées géographiques de la station météo Québec A (71,37W et 46.80N) nous avons employé directement les valeurs du rayonnement solaire de la grande cellule du modèle.

Les mêmes méthodes ont été utilisées pour ajuster les sorties diagnostiques du HadCM3.

Données de la culture

Les espèces de graminées utilisées sur les parcours de golf au Canada poussent bien dans des plages de température de 15 à 24°C (59 à 75°F) et sont appelées graminées de saison fraîche. Les principales espèces sont les suivantes: l'agrostide traçante, le pâturin annuel, le pâturin des prés, le ray-grass, la fétuque rouge traçante, la fétuque élevée, la fétuque rouge var. Chewings et la fétuque ovine (RCGA, 2005).

Dans la région d'étude les gestionnaires du gazon préfèrent dans leurs pratiques culturales les espèces des trois genres : le Pâturin (*Poa L.*), l'Agrostide (*Agrostis L.*) et la Fétuque (*Festuca L.*).

Selon Beard (1973), les espèces du genre *Poa* sont les plus utilisées en industrie des gazons dans les régions qui ont un climat frais, y compris le Canada. Les cultivars de ce genre sont plus adaptés aux sols humides, fertiles, fins texturés et avec un pH de 6,0 à 7,0.

Les espèces du genre *Poa* ont un degré différent d'utilisation mais la plus fréquente pratiquée est le pâturin annuel (*Poa annua L.*), et le pâturin des prés (*Poa pratensis*).

Les espèces du genre *Agrostide* sont, aussi, adaptées aux climats frais, humide et de transition. Ces espèces forment un gazon très bien texturé, dense, uniforme et de haute qualité. Les Agrostides supportent les tontes fréquentes et rases jusqu'à 0,2 po grâce à leur propriété de se prosterner. Elles sont plus adaptées aux sols humides et fertiles avec un pH de 5,5 à 6,5. Les plus souvent utilisés espèces de ce genre sont l'agrostide traçante *Creeping bentgrass* en. (*Agrostis stolonifera*), et l'agrostide commune *colonial bentgrass* en. (*Agrostis capillaris*) (Beard, 1973, Huang 2002).

Le troisième genre, les espèces de qui sont, aussi, fréquemment utilisés dans l'industrie des gazons, est la Fétuque. Par exemple les Fétuques sont largement utilisées dans la région de Montréal (terrain de golf Challenger etc.). Ces espèces sont bien adaptées à un climat frais et humide et en même temps sont tolérantes aux sols secs, stériles et acides. La plus utilisée espèce de cet genre est la fétuque rouge (*Festuca rubra*) qui forme un gazon dense et fin. C'est une espèce peu prétentieuse aux sols et au climat et résiste bien à la sécheresse, à l'excès d'eau et au froid. Elle supporte les tontes fréquentes et rases et a une bonne pérennité (Beard, 1973).

2.6.1 Les caractéristiques biologiques principales du pâturin annuel (*Poa annua* L.)

Une des espèces gazonnantes fréquentes sur les terrains de golf au Canada, y compris Québec, est le pâturin annuel (*Poa annua* L.) (Dionne, J et. all., 2000).

Le pâturin annuel est originaire d'Europe et a été introduit en Amérique de Nord à la fin de 18-ième siècle. Cette espèce se retrouve aujourd'hui sur tous les continents, même en Antarctide. Pâturin annuel est caractérisé par deux sous-espèces : *Poa annua* var. *annua* L. Timm., une graminée adventice annuelle cespiteuse retrouvée sur les allées des terrains de golf, les pelouses résidentielles, et *Poa annua* var. *reptans* (Hauskins) Timm., une graminée vivace stolonifère endémique sur les verts de golf (Dionne, 2001).

Poa annua se développe mieux sur les sols moites, très bien texturés, fertiles ayant un pH de 5.5 à 6.5 et un haut taux de phosphore. Pourtant, cette espèce résiste sur les sols mal texturés et secs, en autant qu'ils soient irrigués fréquemment (Beard, 1973). Des études

sur l'influence de la fertilisation démontrent que les fortes applications d'azote augmentent la compétitivité du pâturin annuel dans les populations d'agrostide et de pâturin des prés (*Poa pratensis*) (Dest et Guillard 1987 ; Warwick 1979).

Le pâturin annuel produit une quantité considérable de semences qui peuvent germer dès que les conditions environnementales sont propices (Lush, 1989). La propagation et la dissémination sont effectuées spécialement par les graines (Beard ,1973). La production de stolons et le tallage permettent également la multiplication de la P. annua par propagation végétative (Johnson et al. 1993).

Le pâturin annuel possède des caractéristiques agronomiques intéressantes pour le gazon : une texture fine, une densité élevée, une compétitivité accrue, une bonne tolérance à la tonte courte et une bonne croissance en sol compacté (grâce à son système racinaire agressif et superficiel) et en milieu ombragé (Beard et. al., 1978). Cependant, *Poa annua* a une habitude légèrement plus droite de croissance et est d'un vert plus pâle que les autres espèces de gazon (Lush, 1988). En même temps, il est sensible aux stress environnementaux (en spéciale le *Poa annua* var. *annua* L. Timm.) en particulier aux températures extrêmes, aux chaleurs prononcées et aux sécheresses (Beard, 1973). Dionne, J et. al., 2004 remarquent que le pâturin annuel est plus sensible à l'anoxie que l'agrostide stolonifère et que l'incubation à des températures sous le point de congélation retarde les dommages causés par l'anoxie.

Chaque année, le pâturin annuel inflige d'importantes pertes économiques aux producteurs de gazon en plaques du Québec. Des études démontrent également que le pollen abondant de cette graminée peut provoquer des réactions allergènes (fièvre des foin) chez plusieurs personnes (Warwick 1979).

Les caractéristiques biologiques principales de l'agrostis traçante (Agrostis stolonifera)

L'agrostis traçante (*Creeping bentgrass en.*) se propage par stolons, et regarnit assez vite les zones dégradées. C'est une espèce très agressive une fois installée. Elle demande des

sols frais et fertiles. L'agrostis traçante a un feuillage fin et résistant aux coupes fréquentes et rases. Ainsi, elle peut être tondue à une hauteur de coupe de 4 à 6 mm (0,18 à 0,6 po.) pour produire une surface uniforme et à texture fine (RCGA, 2005).

L'agrostis traçante est plus résistante aux sécheresses et aux températures basses d'hiver que le pâturin annuel (Beard, 1973; Tompkins, 1997). Le couvert de glace a moins d'impact sur l'agrostide stolonifère que sur le pâturin annuel (Tompkins, 2000)

2.6.3 Les paramètres biologiques des espèces du gazon

Les données concernant les paramètres biologiques/culturels des espèces gazonnantes ont été cueillies, en grand parti, des travaux du Beard 1969,1973.

Les indices de la croissance des vers du gazon concernant les températures (Beard, 1969) sont montrées dans le tableau 5.10

Tableau 5.10 Les Seuils thermiques de la croissance des espèces gazonnantes de la saison fraîche (*Cool season turf grasses en.*) (Beard, 1969).

<i>Les seuils</i>	<i>Température (°C)</i>
Optimale	15.6 – 21.1
Maximale	37.8
Minimale	0.0

Un autre paramètre important de culture est l'indice de la surface foliaire (LAI : *leaf area index*), qui pour les espèces gazonnantes varie de 3.0 à 6.0. (Brede et Duich, 1986, 1984).

Données du sol

Région des Laurentides (sous région de Montréal)

Les données concernant les paramètres du sol ont été obtenues des cartes de sol de la région de Montréal dont la granulométrie et les valeurs de pH (Carte des sols, 1952). Les paramètres physiques du sol comme la densité apparente (Da), la capacité au champ (CC) et le point de flétrissement (PMP) ont été estimés à partir de la texture (Saxton et al, 1986). Les données obtenues sont montrées dans le tableau 5.11.

Tableau 5.11 Les paramètres physiques du sol de la région de Montréal. Série du sol : Argile St. Urbain (P. Lajoie et R. Baril, 1956)

<i>Profondeur</i> (cm)	<i>Sable</i> (%)	<i>Limon</i> (%)	<i>Argile</i> (%)	<i>PH</i>	<i>CC</i>	<i>PMP</i>	<i>Da</i> (gr/cm ³)
0-10	19	35	46	6.2	0.33	0.21	1.24
10-40	10	37	53	7.2	0.38	0.26	1.21
> 40	13	31	56	7.2	0.39	0.27	1.20

La région des Cantons de l'Est

Les données concernant les paramètres du sol proviennent des cartes de sol de la région des Cantons de l'Est: la granulométrie et les valeurs de pH. Les paramètres physiques du sol dont la densité apparente (Da), la capacité au champ (CC) et le point de flétrissement (PMP) ont été estimés, aussi, à partir de la texture en utilisant la méthode de Saxton et al, 1986. Les données obtenues sont indiquées dans le tableau 5.12.

Tableau 5.12 Paramètres physiques du sol de la région du Sherbrooke. Série du sol : Sol franc sableux Blandford (D. V. Cann, P. Lajoie et P. C. Stobbe, 1948).

<i>Profondeur</i> cm	<i>Sable</i> (%)	<i>Limon</i> (%)	<i>Argile</i> (%)	<i>PH</i>	<i>CC</i>	<i>PMP</i>	<i>Da</i> (gr/cm ³)
2.5-5.0	59.2	36.8	4.0	4.0	0.119	0.07	4.0
7.5-25	57.2	38.0	4.8	4.3	0.127	0.07	4.3
25-65	63.2	32.4	4.4	5.1	0.114	0.07	5.1
> 65	67.2	26.4	6.4	5.3	0.110	0.07	5.3

Région de la ville de Québec

Les données concernant les paramètres du sol de la région du Québec ont été obtenues des cartes de sol et du travail de Raymond et al., 1976. La granulométrie et les valeurs de pH la densité apparente (Da), la capacité au champ (CC) et le point de flétrissement (PMP) ont été estimés à partir de la texture en utilisant la même méthode élaborée par Saxton et al, 1986. Les données obtenues sont indiquées dans le tableau 5.13.

Tableau 5.13 Paramètres physiques du sol de la région de Québec. Série du sol : Loam argileux à argile JOLY (Raymond et al., 1976)

<i>Profondeur</i> <i>cm</i>	<i>Sable</i> <i>(%)</i>	<i>Limon</i> <i>(%)</i>	<i>Argile</i> <i>(%)</i>	<i>PH</i>	<i>CC</i>	<i>PMP</i>	<i>Da</i> <i>(gr/cm³)</i>
0-5	12	40.0	48.0	3.6	0.434	0.227	1.22
5-10	6.0	48.0	46.0	3.8	0.429	0.265	1.22
10-28	9.0	51.0	40.0	4.0	0.394	0.225	1.25
28-41	7.0	47.0	46.0	4.1	0.423	0.265	1.22
41-49	13.0	52.0	35.0	4.3	0.364	0.194	1.27

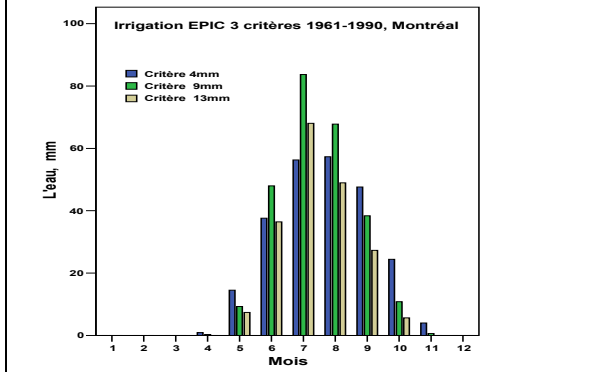
5.8 Simulations des taux d'irrigation avec les données observées

Pendant la période chaude de l'année les précipitations ne sont pas toujours suffisantes pour une croissance et un développement satisfaisant du pâturin annuel. Pour compenser le déficit hydrique du sol il faut irriguer. Selon Beard (1973) le midi est la plus propice période de la journée pour irrigation parce que les feuilles restent humides pendant un court intervalle et, en même temps, la probabilité de propagation des maladies est diminuée.

Nous avons réussi les simulations des taux d'irrigations annuelles et mensuelles pour tous les trois régions d'étude.

Le modèle EPIC a donné la possibilité d'établir le volume et la fréquence d'arrosage mensuel. En utilisant les données climatiques observées pour la période 1961-1990 dont la température maximale, la température minimale, le rayonnement solaire, l'humidité relative et la vitesse du vent (6 paramètres météorologiques) nous avons réussi trois simulations pour estimer les taux d'irrigation pour les espèces gazonnantes dans la région de Montréal. Les graphiques sont présentés dans l'annexe A. Pour la première simulation nous avons prévu l'irrigation quand il y a un déficit hydrique en sol de 4mm (critère de 4mm) tandis que pour la deuxième et troisième de 9 mm (critère de 9mm) et 10 (critère de 10mm), respectivement. Nous avons choisi ces critères à la suite des observations sur

Figure 5.4 Les taux moyens mensuels d'irrigation pour la région de Montréal (les critères de 4, 9 et 13 mm), données observées 1961-1990



le terrain (durant l'été 2004 et l'été 2005) qui ont démontrés qu'ils sont les plus proches de données réelles.

Ainsi, nous constatons que la quantité d'irrigation augmente tant qu'on diminue le taux du critère d'irrigation plus de 9mm (Tab. 5.13., fig. 5.4). L'explication, d'après nous, est qu'en augmentant le déficit d'eau en sol (le taux du critère d'irrigation) on augmente la probabilité que ceci puisse être éliminé/écarté par des

précipitations atmosphériques: pendant qu'on attend la réalisation de déficit d'eau en sol (et qu'un déficit important se produise il faut attendre une période plus longue) il peut pleuvoir et en résultat le déficit attendu pourrait être éliminé ou éloigné. En effet, les taux d'irrigation mensuelle et annuelle diminueront.

Tous les trois simulations, basées sur les trois critères, démontent que la plus grande quantité d'irrigation, d'environ de 60-80mm, est nécessaire dans les mois de juillet et d'août. Pour les mois de juin et septembre sont nécessaire des quantités moyennes d'environ de 40-50mm et pour les mois de mai et octobre un volume d'environ de 10 mm (2e critère de 9mm) (tab. 5.13.; fig. 5.4.).

Les graphiques annuels révèlent une grande variabilité du paramètre étudié (annexe A). Ainsi, il y a des années quand la saison d'irrigation a commencé en avril (1987), des années quand elle s'est terminée en novembre (1970 et 1978) (le critère de 15 mm) Bien que, les simulation révèlent que l'irrigation a été nécessaire pour tous les années de la période d'étude, au moins quatre mois (1976).

Tableau 5.14 Les quantités moyennes mensuelles d'irrigation (les critères des 4, 9 et 13mm) sur les gazons du terrain de golf dans la région de Montréal, données observées 1961-1990

Critères	Moyennes mensuelles, mm								An., mm
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	
4mm	0,9	14,5	37,6	56,3	57,3	47,6	24,4	4,0	242,6
9mm	0,3	9,3	48,0	83,7	67,8	38,4	10,8	0,6	258,9
13mm	-	7,4	36,4	68,0	49,0	27,3	5,6	-	193,7

Ensuite, nous avons essayé de trouver les principaux facteurs qui ont déterminés la fluctuation temporelle des taux d'irrigation dans la région de Montréal pendant la période 1961 – 1990. Au moyen des régressions est établi le rapport corrélatif entre l'irrigation d'une part et les précipitations et l'évapotranspiration potentielle d'autre part. Premièrement, pour chaque paramètre climatique sont calculés les différences entre les taux mensuelles est les taux mensuels moyens de la période 1961-1990. De cette façon sont obtenus les différences/indices suivantes : $\Delta IRGA$ (la différence entre les taux d'irrigation mensuelle et les taux d'irrigation mensuelle moyenne de la période 1961-1990), $\Delta PRCP$ (la différence entre les taux des précipitations mensuelle et les taux des précipitations mensuelles moyennes de la période 1961-1990), ΔPET (la différence entre les taux d'évapotranspiration potentielle mensuelle et les taux mensuelle moyenne de la période 1961-1990). Deuxièmement, sont exécutées des régressions (linéaire et quadratique) où $\Delta IRGA$ est examinés comme dépendante tandis que $\Delta PRCP$ et ΔPET – comme des indépendants. Les résultats relèvent que la fluctuation des taux mensuels d'irrigation de la période 1961-1990 a été déterminée à la fois des variations temporelles des précipitations et d'évapotranspiration potentielle. Il est visible que l'augmentation des taux d'irrigation pourrait être causée d'une chute des taux des précipitations ou d'une augmentation des taux d'évapotranspiration potentielle (Tapes, 2006).

Analysant les graphiques annuelles d'annexe C avec les écarts mensuelles d'évapotranspiration potentielle (PET), d'évapotranspiration (ET), précipitations (PRCP), et irrigation (IRGA) par rapport aux moyennes mensuelles pluriannuelles de ceux-ci nous avons établi que pour la région de Montréal :

- l'évapotranspiration a une faible variation interannuelle par conséquent ceci aura un impact moins prononcé que les précipitations sur les taux mensuels d'irrigation;
- quand aux précipitations les fluctuations quantitatives temporelles de celles-ci déterminent principalement la fréquence et les taux d'arrosage sur les terrains de golf dans la région d'étude;
- l'augmentation des taux d'irrigation est causée habituellement par une diminution des valeurs mensuelles des précipitations par rapport aux moyennes mensuelles comme exemple peuvent servir le mois de septembre 1961, les mois de mai et de juin 1964, le mois de juin 1965, les mois de juin et de juillet 1970, les mois de mai et de juin 1980, le mois de juin 1983, les mois de mai et juillet 1982, le mois d'août 1987, etc. ;
- dans certains mois (le mois de septembre 1961, le mois de juin 1965, le mois de mai 1980, etc.) le déficit hydrique est dû à la fois d'un régime pluviométrique déficitaire et d'une diminution de jours pluvieux;
- une baisse significative des taux mensuels d'irrigation peut être conditionnée par une augmentation des précipitations mensuelles par exemple en mois de juin et juillet, 1972 ou en mois de juin 1973;
- des diminutions des taux d'irrigation pour certains mois par exemple aux mois de juin et juillet 1971, au mois de juin 1974, se sont produits tant qu'on avait une baisse des précipitations et une hausse d'évapotranspiration pendant ces mois et, probablement, ont été conditionnés d'une augmentation importante des valeurs mensuelles des précipitations aux mois précédents de ceux-ci.

Une situation intéressante est remarquée au mois de juillet 1987. Pendant ce mois sont tombées une quantité des précipitations qui ont dépassé de 150% leurs valeurs moyennes

mensuelles de la période 1961-1990. Néanmoins, les taux d'irrigation sont restés assez élevés (près de la moyenne mensuelle) à cause que la plus grande partie de la quantité mensuelle des précipitations de 131.7 mm sont tombés pendant deux jours : le 14 juillet – 57.4 mm et le 18 juillet – 38.0 mm.

Un cas semblable a été enregistré dans le mois de juin 1988, lorsque 63,6 mm soit 88% du total mensuel de 72.3mm (représentant presque la normale de la période 1961-1990) sont tombés pendant les derniers six jours de ce mois et qui à provoqué, respectivement, l'augmentation des besoins d'irrigation pendant la première partie de ce mois.

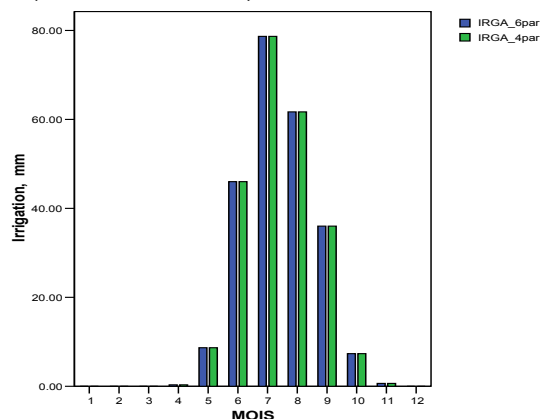
Un cas particulier a été enregistré en 1976. Les taux des précipitations mensuelles estivales auraient varié de $\pm 20\%$ par rapport aux valeurs moyennes mensuelles de la période 1961-1990 tandis que nous constatons une diminution des taux d'irrigation. Cela s'explique par le fait que dans ces mois se sont enregistré un nombre important de jours pluvieux. De plus, il est tombé une quantité importante d'humidité pendant le mois de mais (Tab. 5.15).

Tableau 5.15 Les mois avec des fluctuations importantes des taux d'irrigation (critère de 9 mm) et des précipitations par rapport aux moyennes dans la région de Montréal, période 1961-1990.

Année	Mois	PRCP, mm		ET, mm		Nr. jours pluvieux*		IRGA, mm	
		Mens.	Moyenne mens.	Mens.	Moyenne mens.	Mens.	Moyenne mens.	Mens.	Moyenne mens.
1961	09	21.6	86.9	64.3	63.5	9	15.1	54	38.4
1964	06	32.1	82.9	112.5	121.2	14	16.7	108	48
1965	06	19.0	82.9	108.3	121.2	12	16.7	81	48
1970	06	49.4	82.9	129.7	121.2	17	16.7	90	48
1970	07	55.5	86.1	117.2	119.8	18	16	117	83.7
1971	06	48.4	82.9	143.5	121.2	13	16.7	9	48.0
1971	07	57.0	86.1	146.0	119.8	16	16	27	83.7
1972	06	134.8	82.9	115.0	121.2	16	16.7	0	48.0
1972	07	156.2	86.1	133.7	119.8	18	16	9	83.7
1976	05	119.8	68.8	100	106.4	23	13.4	0	9.3
1976	06	84.8	82.9	140.1	121.2	18	16.7	0	48.0
1976	07	104.8	86.1	132.1	119.8	21	16	18	83.7
1976	08	80.9	100.7	91.7	97.0	20	17.2	72	67.8
1980	05	46.8	68.8	89.5	106.4	12	17.6	81	9.3
1980	06	44.4	82.9	98.3	121.2	16	16.7	99	48.0
1982	07	66.3	86.1	125.8	119.8	14	16	126	83.7
1982	07	170.2	100.7	99.4	97.0	21	17.2	126	67.8
1983	06	39.8	89.9	17	121.2	16	16.7	99	48.0
1988	06	72.3	82.9	108.5	121.2	14	16.7	99	48.0
1989	07	30.3	86.1	121.3	119.8	10	16	117	83.7
1987	07	131.7	86.1	117.4	119.8	14	16	81	83.7
1987	08	54.7	100.7	99.9	97	13	17.2	90	67.8

Note: * les jours avec des précipitations ≥ 0.1 mm

Figure 5.5. Irrigation préconisée, critère de 10 mm, avec 4 (IRGA_4par) et 6 paramètres (IRGA_6par) pour la région de Montréal, 1961-90 (données observées)

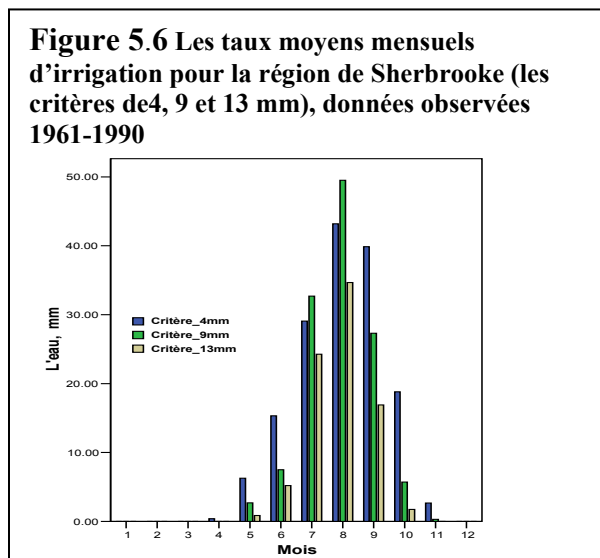


Les simulations avec le modèle de culture EPIC sont faits aussi avec 3 paramètres dont la température maximale, la température minimale et les précipitations, 4 paramètres dont la température maximale, la température minimale les précipitations et le rayonnement solaire et 6 paramètres dont la température maximale, la température minimale les précipitations le rayonnement,

l'humidité relative et la vitesse du vent. Nous avons essayé cette méthode car parfois est compliqué de cueillir certaines données climatiques. Les résultats montrent qu'en simulant avec seulement trois paramètres (la température maximale, la température minimale et les précipitations), les besoins d'irrigation sont surestimés dans les mois d'avril, de mai et de juin respectivement, par rapport aux simulations qui tiennent compte de six paramètres, mais à partir de mois de juillet jusqu'à octobre, les résultats des simulations de toutes les deux projections s'approchent. Les taux moyens mensuels d'irrigation obtenus au moyen du modèle EPIC avec 4 paramètres climatiques sont semblables aux ceux-ci de la simulation avec 6 paramètres (fig.5.5). Donc, il est possible de réussir le calcul des taux d'irrigation au moyen du modèle EPIC en utilisant au moins 4 paramètres climatiques : la température maximale, la température minimale les précipitations et le rayonnement solaire.

La région des Cantons de l'Est

En utilisant les données climatiques observées de la période 1978-1990 de la station climatique Sherbrooke dont la température maximale, la température minimale, les précipitations et le rayonnement solaire nous avons réalisé trois simulations au moyen du modèle EPIC pour estimer les taux d'irrigation pour le gazon des terrains de golf de la région. Les graphiques sont présentés dans l'annexe A.1.



Les simulations, basées sur trois critères d'irrigation, démontent que la plus grande quantité d'eau d'irrigation soit nécessaire dans le mois d'août, d'environ de 50mm (le critère de 9mm) (fig. 5.6). Pour les mois de juillet et de septembre sont nécessaire environ 30mm de l'eau et des volumes peu significatives au début de la saison de végétation des espèces gazonnantes (Tab.5.16). Les graphiques annuelles

présentent une grande variabilité du paramètre étudié (annexe A.2). Mais, d'habitude, la saison d'irrigation commence en mois de juin et se termine en mois de septembre. Cependant, il y a des années quand l'irrigation a été nécessaire 7 mois (1979) ou 3 mois (1986, 1990) (critère de 9mm).

Tableau 5.16 Les quantités moyennes mensuelles d'irrigation (les critères des 4, 9 et 13mm) sur les gazons des terrains de golf dans la région de Sherbrooke données observées 1978-90.

Le déficit d'eau, mm	Les mois, mm								An., mm
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	
4mm	0.4	6.3	15.3	29.1	43.2	39.9	18.8	2.7	155.7
9mm	0.0	2.7	7.5	32.7	49.5	27.3	5.7	0.3	125.7
13mm	0.9	5.2	24.3	34.7	16.9	1.7	0.0	0.0	83.7

Ensuite, nous avons essayé de trouver les principaux facteurs qui ont déterminés la fluctuation temporelle des taux d'irrigation dans la région des Cantons de l'Est pendant la période 1978 – 1990. Au moyen des régressions est établi le rapport corrélatif entre l'irrigation d'une part et les précipitations et l'évapotranspiration potentielle d'autre part. Premièrement, pour chaque paramètre climatique sont calculés les différences entre les taux mensuelles et les taux mensuels moyens de la période 1978-1990. De cette façon sont obtenus les différences/indices suivantes: $\Delta IRGA$ (la différence entre les taux d'irrigation mensuelle et les taux d'irrigation mensuelle moyenne de la période 1978-1990), $\Delta PRCP$ (la différence entre les taux des précipitations mensuelles et les taux des précipitations mensuelles moyennes de la période 1978-1990), ΔPET (la différence entre les taux d'évapotranspiration potentielle mensuelle et les taux mensuelle moyenne de la période 1978-1990). Deuxièmement, on exécute deux régressions où $\Delta IRGA$ est pris comme une variable dépendante de $\Delta PRCP$ et de ΔPET . Les résultats révèlent que la fluctuation des taux mensuels d'irrigation de la période 1978-1990 a été déterminée à la fois des variations temporelles des précipitations et d'évapotranspiration potentielle (annexe B1.). Il est visible que l'augmentation des taux d'irrigation pourrait être causée d'une chute des taux des précipitations ou d'une augmentation des taux d'évapotranspiration potentielle (annexe B1., fig. B1.1., B1.2.).

Analysant les graphiques annuels avec les valeurs mensuelles et les moyennes mensuelles des évapotranspirations potentielles (PET), évapotranspirations (ET), précipitations (PRCP), et irrigation (IRGA) de la période 1978-1990 pour la région du Sherbrooke nous avons établi que :

- l'évapotranspiration a une faible variation interannuelle par conséquent ceci aura un impact moins prononcé que les précipitations sur les taux mensuels d'irrigation;
- quand aux précipitations les fluctuations quantitatives temporelles de ceux-ci déterminent principalement la fréquence et les taux d'arrosage sur les terrains de golf dans la région d'étude;
- on constate que l'augmentation des taux d'irrigation est causée d'habitude par une diminution des valeurs mensuelles des précipitations par rapport aux moyennes mensuelles, par exemple: en mois de juillet 1978, en mois de mai 1980, en mois de juin 1983, en mois de juillet 1989 etc.;
- une baisse significative des taux mensuels d'irrigation peut être conditionner par une augmentation des précipitations mensuelles comme par exemples en mois de juin et de juillet 1985 ou en mois d'août 1988.

La région de la ville du Québec

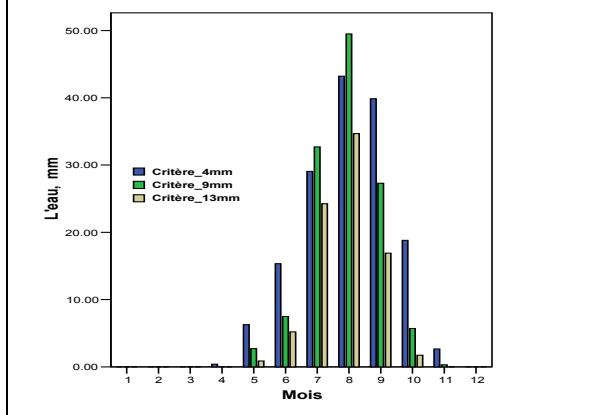
En couplant le modèle EPIC aux données climatiques observées de la période 1961-1990 dont la température maximale, la température minimale, le rayonnement solaire, l'humidité relative et la vitesse du vent nous avons réussi trois simulations pour estimer les taux d'irrigation pour les graminées de la saison fraîche dans la région du Québec. Les graphiques sont présentés dans l'annexe A2. De même façon que pour les deux régions précédentes, nous avons simulé l'irrigation au moyen du modèle EPIC en utilisant les mêmes critères : de 4, 9 et 13mm.

Tableau 5.17 Les quantités moyennes mensuelles de l'eau (selon 3 critères) calculé d'être irrigué sur le gazon du terrain du golf dans la région de Québec en utilisant les données météo observées de la période 1961-90

Les critères	Moyennes mensuelles, mm								An., mm
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	
4mm	0.4	6.3	15.3	29.1	43.2	39.9	19.2	2.7	156.1
9mm	-	2.7	7.5	32.7	49.5	27.3	5.7	0.3	125.7
13mm	-	0.9	5.2	24.3	34.7	16.9	1.7	-	83.7

Les résultats démontent que la plus grande quantité d'eau d'irrigation est nécessaire dans le mois d'août, d'environ de 50 mm (Fig. 5.6). Pour les mois de juillet et septembre sont nécessaire des quantités moyennes d'environ de 30 mm et pour les mois de juin et d'octobre un volume peut significatif d'environ de 6 – 7mm pour chacun (le critère de 9 mm, tab 5.17). Les graphiques annuels révèlent, aussi, une grande variabilité du paramètre étudié (annexe A2). Ainsi, il y a des années quand la saison d'irrigation a commencé en mois de mai (1972, 1978, 1982, etc.), des années quand il s'est terminé en novembre (1977) et des années quand l'irrigation n'a pas été nécessaire qu'un seul mois (1974) (critère de 10mm). Mais, dans la plupart des années l'arrosage a été nécessaire au

Figure 5.6 Les taux moyens mensuels d'irrigation pour la région de Québec (les critères de 4, 9 et 13 mm), données observées 1961-1990



moins trois mois: de juin à août soit de juillet à septembre.

Ensuite, nous avons essayé de trouver les principaux facteurs qui ont déterminés la fluctuation temporelle des taux d'irrigation dans la région de Québec pendant la période 1961 – 1990. Au moyen des régressions est établi le rapport corrélatif, premièrement, entre l'irrigation et les précipitations et, secundo, entre

l'irrigation et l'évapotranspiration potentielle. Au début, pour chaque paramètre climatique sont calculés les différences entre les taux mensuels est les taux mensuels

moyens de la période 1961-1990. De cette façon sont obtenus les différences/indices suivantes : $\Delta IRGA$ (la différence entre les taux d'irrigation mensuelle et les taux d'irrigation mensuelle moyenne de la période 1961-1990), $\Delta PRCP$ (la différence entre les taux des précipitations mensuelle et les taux des précipitations mensuelles moyennes de la période 1961-1990), ΔPET (la différence entre les taux d'évapotranspiration potentielle mensuelle et les taux mensuelle moyenne de la période 1961-1990). Finalement, on exécute des régressions de $\Delta IRGA$, comme dépendant et de $\Delta PRCP$ et de ΔPET - comme des facteurs indépendants. Les résultats relèvent que la fluctuation des taux mensuels d'irrigation de la période 1961-1990 a été déterminée à la fois des variations temporelles des précipitations et d'évapotranspiration potentielle (annexe B2). Il est visible que l'augmentation des taux d'irrigation puisse être causée d'une chute des taux des précipitations ou d'une augmentation des taux d'évapotranspiration potentielle (annexe B2, fig. B2.1, B2.2).

Analysant les graphiques d'annexe C avec les écarts des valeurs mensuelles d'évapotranspirations potentielle (PET), d'évapotranspirations (ET), des précipitations (PRCP), et d'irrigation (IRGA) de la période 1961-1990 par rapport aux moyennes mensuelles de la même période pour la région du Québec nous avons établi que :

- l'évapotranspiration a une faible variation interannuelle par conséquent ceci aura un impact moins prononcé que les précipitations sur les taux mensuels d'irrigation;
- quand aux précipitations les fluctuations quantitatives temporelles de celles-ci déterminent principalement la fréquence et les taux d'arrosage sur les terrains de golf dans la région d'étude;
- l'augmentation des taux d'irrigation est causée habituellement par une diminution des valeurs mensuelles des précipitations par rapport aux moyennes mensuelles comme exemple peuvent servir le mois de juillet 1961, le mois d'août 1962, les mois de juillet et d'août 1968, le mois d'août 1975, le mois de d'août 1985, etc.;
- une baisse significative des taux mensuels d'irrigation peut être conditionnée par une augmentation des précipitations mensuelles comme par exemples en mois

d'août 1965, en mois de juillet 1967, en mois d'août 1971, en mois de juillet et d'août 1976 ou en mois de juin et de juillet 1986.

En conclusion, l'intensité et la fréquence des précipitations pendant toute la période de l'année et surtout pendant la période de végétation ont une grande influence sur le bilan hydrique des terrains de golf. Par conséquence, la plus exacte évaluation de ce paramètre climatique joue un rôle important en estimations d'irrigation pour les espèces des verts de gazon.

5.9 Simulations des taux d'irrigation avec les scénarios futures du CGCM1

Région des Laurentides (sous région de Montréal)

Les tendances futures des paramètres climatiques

Les projections futures du modèle climatique canadien de première génération révèlent une tendance à la hausse pour les températures et une stabilité relative pour les précipitations. Ainsi, les températures moyennes de la région de Montréal connaîtrons une possible augmentations de 1.5 °C et de 2.8 °C pendant 2010-2039 et respectivement 2040-2069 par rapport à la période 1961-1990 (fig. 5.7). Les taux moyens annuels des précipitations resteront, probablement, dans le futur près des valeurs de la période de contrôle (fig. 5.8) Pourtant, ceux-ci s'augmenteront légèrement de 3% en 2010 – 2039 et de 1% en 2040 – 2069 par rapport à la période courante.

Figure 5.7 La température moyenne à Montréal pendant trois périodes (données du CGCM1 après “downscaling”)

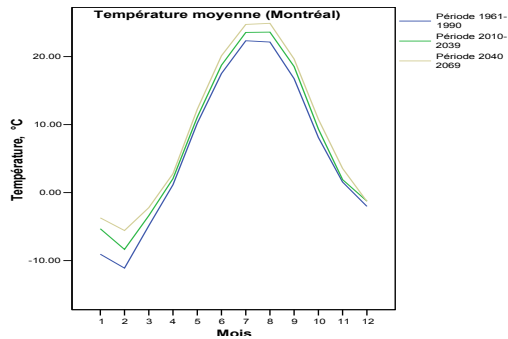


Figure 5.8 Les précipitations à Montréal pendant trois périodes (données du CGCM1 après “downscaling”)

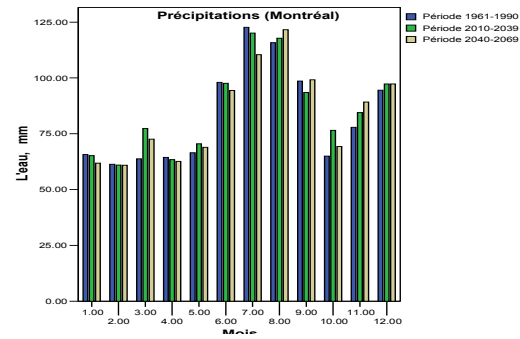
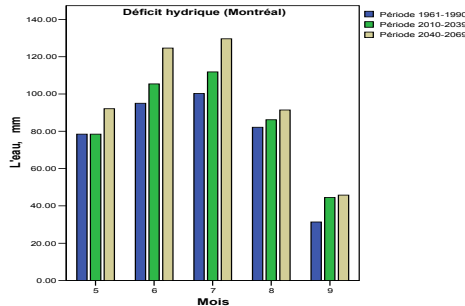


Figure 5.9 Déficit hydrique à Montréal



En effet, influé de conditions climatiques futures, le déficit hydrique dans la région de Montréal s’augmentera et par conséquent pourra avoir des impacts sur les conditions hydriques des gazons des terrains de golf (Fig. 5.9).

Les tendances futures des taux d’irrigation

Pour établir l’impact potentiel des changements climatiques futurs sur les conditions hydriques d’espèces gazonnantes nous avons simulé les taux d’irrigation avec EPIC en injectant les mêmes paramètres biologiques des graminées de la saison fraîche et les caractéristiques du sol Argile St. Urbain utilisés, déjà, pour les simulations avec des données observées. Nous avons changé seulement les données climatiques. Ainsi, sont utilisé les sorties du modèle climatique canadien CGCM1 dont la température maximale, la température minimale les précipitations et le rayonnement solaire des trois périodes de trente années chacune :

1961-1990 – la période courante; 2010 – 2039 – la période du futur immédiat; et 2040 – 2069 - la période du futur éloigné. Les données ont été ajustées conformément aux méthodes mentionnées.

Figure 5.10 Irrigation préconisée (critère de 4mm), Montréal, CGCM1, 3 périodes

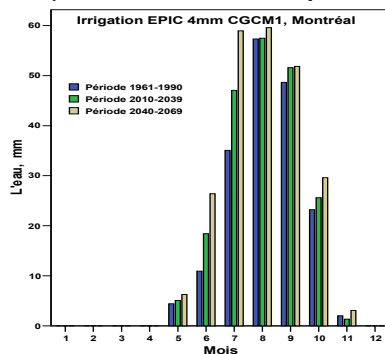


Figure 5.11 Irrigation préconisée (critère de 9mm), Montréal, CGCM1, 3 périodes

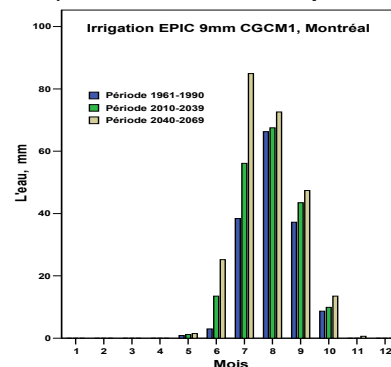
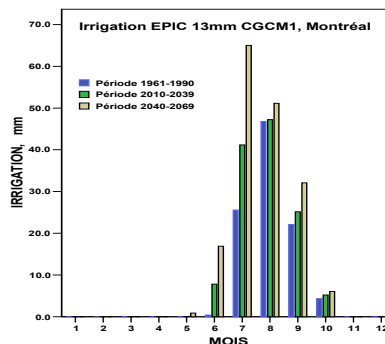


Figure 5.12 Irrigation préconisée (critère de 13mm), Montréal, CGCM1, 3 périodes



Les résultats montrent que en conditions du climat futur les besoins potentiels d'irrigation des espèces de graminées de la saison fraîche s'augmenteront (fig. 5.10; 5.11 et 5.12). Ainsi, si on fait une comparaison des totaux annuelles (critère de 9 mm) de trois périodes on constate que les taux d'irrigation s'augmenteront de 24 pour cent dans la période du futur

immédiat (2010-2039) et de 59 pour cent dans la période du futur éloigné (2040-2069) par rapport à la période courante (1961-1990) (tab. 5.18). Les figures 5.10; 5.11 et 5.12 ainsi que les tableaux 5.18; 5.19 et 5.20 montrent que les besoins d'irrigation, pour les deux périodes future, s'élèveront pendant tout les mois, surtout, au début de l'été. Par exemple, les besoins d'irrigation augmenteront en mois de juin de 4,5 fois en 2010-2039 et d'environ 8 fois en 2040-2069 par rapport à la période 1961-1990 (critère de 9mm). Les projections futures indiquent que pour la région de Montréal les taux d'irrigations auront, une tendance à la hausse.

Selon Beard (1973), les espèces du genre Poa (Kentucky bluegrass, Canada bluegrass) ont une tolérance moyenne aux sécheresses. Donc, les gestionnaires des gazons du golf de la région de Montréal doivent trouver des moyens pour éliminer le déficit de l'eau attendu.

Tableau 5.18 Les quantités moyennes mensuelles potentielles de l'eau (selon le critère de 4 mm) calculées pour irriguer les gazons des terrains de golf dans la région de Montréal pour 3 périodes

Les périodes	Moyennes mensuelles, mm								An., mm	%, vs. 1961-1990
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI		
1961-1990	0.0	4.4	10.9	35.1	57.3	48.7	23.2	2.0	181.6	100
2010-2039	0.0	5.1	18.4	47.1	57.5	51.6	25.6	1.3	206.6	114
2040-2069	0.0	6.3	26.4	58.9	59.6	51.9	29.6	3.1	235.8	130

Tableau 5.19 Les quantités moyennes mensuelles potentielles de l'eau (selon le critère de 9 mm) calculées pour irriguer les gazons des terrains de golf dans la région de Montréal pour 3 périodes.

Les périodes	Moyennes mensuelles, mm								An., mm	%, vs. 1961-1990
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI		
1961-1990	0.0	0.9	3.0	38.4	66.3	37.2	8.7	0.0	154.5	100
2010-2039	0.0	1.2	13.5	56.1	67.5	43.5	9.9	0.0	191.7	124
2040-2069	0.0	1.5	25.2	84.9	72.6	47.4	13.5	0.0	245.1	159

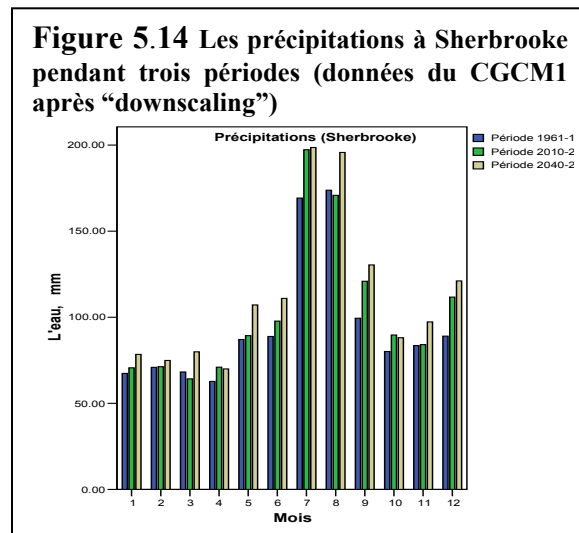
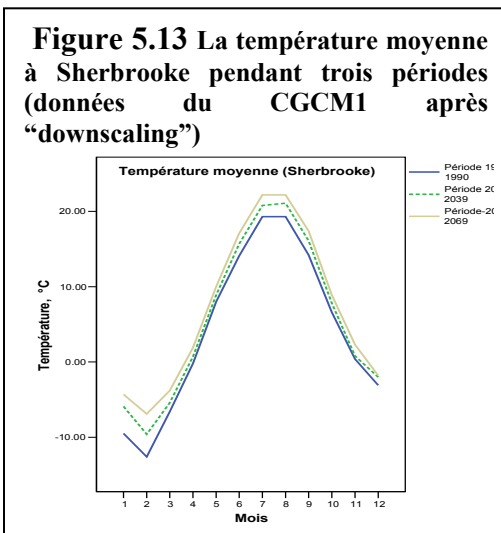
Table 5.20 Les quantités moyennes mensuelles potentielles de l'eau (selon le critère de 13 mm) calculées pour irriguer les gazons des terrains de golf dans la région de Montréal pour 3 périodes

Les périodes	Moyennes mensuelles, mm							Le totale, mm	%, vs. 1961 -1990
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI		
1961-1990	0.0	0.4	25.6	46.8	22.1	4.3	0.0	99.2	100
2010-2039	0.0	7.8	41.2	47.2	25.1	5.2	0.0	126.5	128
2040-2069	0.9	16.9	65.0	51.1	32.1	6.1	0.0	172.1	173

La région des Cantons de l'Est

Les tendances futures des paramètres climatiques

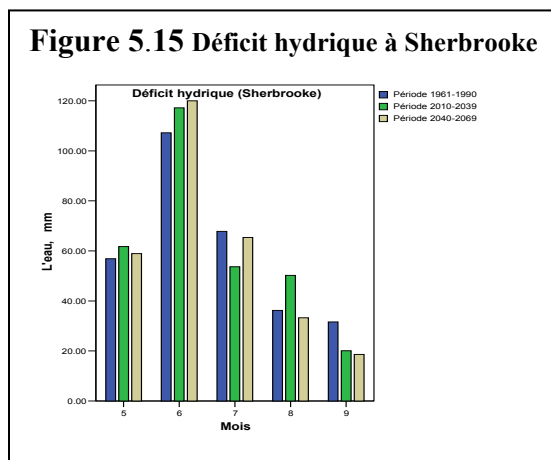
Pour la région de Sherbrooke les projections futures du CGCM1 montrent une tendance à la hausse pour les températures et les précipitations. Ainsi, les températures moyennes



auront une possible augmentation de 1.6 °C et de 2.9 °C pendant 2010-2039 et respectivement 2040-2069 par rapport à la période 1961-1990 (fig. 5.13). Les taux moyens annuels des précipitations s'augmenteront, probablement, dans le futur de 9% en 2010 – 2039 et de 16% en 2040 – 2069 par rapport à la période courante (fig. 5.14).

En dépit de l'augmentation des taux des précipitations le déficit hydrique dans la région

de Sherbrooke augmentera, surtout au début d'été, et par conséquent pourra avoir des impacts sur les conditions hydriques des gazons des terrains de golf (Fig. 5.15).



Les tendances futures des taux d'irrigation

Pour estimer l'impact potentiel des changements climatiques futures sur les conditions hydriques du Poa annua nous avons simulé les taux d'irrigation avec EPIC en utilisant les paramètres biologiques des espèces de gazon et les caractéristiques du *sol franc sableux Blandford*, ainsi que les données climatiques qui sortent de modèle climatique canadien MCCG1 dont la température maximale, la température minimale les précipitations et le rayonnement solaire pour trois périodes de trente années chacune :

1961-1990 – la période courante; 2010 – 2039 – la période futur immédiat; et 2040 – 2069 - la période futur éloigné. Les données climatiques ont été ajustées conformément les méthodes mentionnées.

Figure 5.16 Irrigation préconisée (critère de 4mm), Sherbrooke, CGCM1, 3 périodes

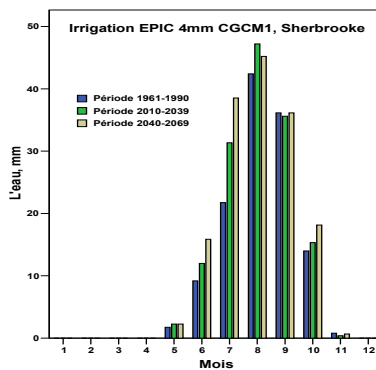
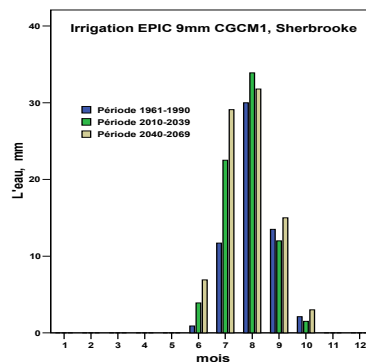
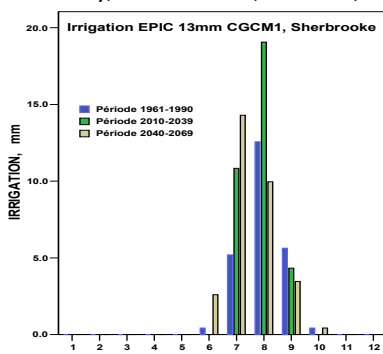


Figure 5.17 Irrigation préconisée (critère de 9mm), Sherbrooke, CGCM1, 3 périodes



Les résultats montrent que en conditions du climat futur la nécessité d'irriguer le gazon s'augmentera (Fig.5.16; 5.17 et 5.18). Les sommes annuelles (critère de 9 mm) des trois

Figure 5.18 Irrigation préconisée (critère de 13mm), Sherbrooke, CGCM1, 3 périodes



périodes indiquent que les taux d'irrigation s'augmenteront de 27 pour cent pendant la période du futur immédiat (2010-2039) et de 47 pour cent pendant la période de la future éloigné (2040-2069) par rapport à la période courante (1961-1990) (Tab.12).

Les figures 5.16; 5.17 et 5.18 comme les valeurs des tables 5.21; 5.22 et 5.23 montrent que les besoins d'irrigation vont accroître, spécifiquement, pendant le mois de juillet: par exemple dans le mois de juillet s'élèveront d'environ deux fois en 2010-2039 et de 2.5 fois en 2040-2069 (critère de 9 mm) par rapport à la période de contrôle; les conditions hydriques du début et du fin de la saison de végétation ne souffriront pas des changements marquants; les tendances à la hausse des taux d'irrigation sont plus significatifs pour la période 2010-2039; en comparant la dynamique mensuelle des taux d'irrigation pour la période courante (1961-1990) calculés à partir des données observées et à partir des données du modèle MCCG1 on constate un déplacement du maximum mensuelle d'irrigation de mois de juillet vers mois de août pour le dernier cas. En conséquence, les projections du futur indiquent que les taux d'irrigations auront une tendance générale à la hausse.

Table 5.21 Les quantités moyennes mensuelles de l'eau (critère de 4mm) calculées pour irriguer les gazons des terrains de golf dans la région des Cantons de l'Est en utilisant les données du MCCG1

Les périodes	Moyennes mensuelles, mm								An., mm	%, vs. 1961-1990
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI		
1961-1990	-	1.7	9.2	21.7	42.4	36.1	14.0	0.8	125.9	100
2010-2039	-	2.3	12.0	31.3	47.2	35.6	15.3	0.4	144.1	114
2040-2069	-	2.3	15.9	38.5	45.2	36.1	18.1	0.7	156.8	125

Table 5.22 Les quantités moyennes mensuelles de l'eau (critère de 9mm) calculées pour irriguer les gazons des terrains de golf dans la région des Cantons de l'Est en utilisant les données du MCCG1

Les périodes	Moyennes mensuelles, mm								An., mm	%, vs. 1961-1990
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI		
1961-1990	-	-	0.9	11.7	30.0	13.5	2.1	-	58.2	100
2010-2039	-	-	3.9	22.5	33.9	12.0	1.5	-	73.8	127
2040-2069	-	-	6.9	29.1	31.8	15.0	3.0	-	85.8	147

Table 5.23 Les quantités moyennes mensuelles de l'eau (critère de 13mm) calculées pour irriguer les gazons des terrains de golf dans la région des Cantons de l'Est en utilisant les données du MCCG1

Les périodes	Moyennes mensuelles, mm								An., mm	%, vs. 1961-1990
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI		
1961-1990	-	-	0.4	5.2	12.6	5.6	0.4	-	24.2	100
2010-2039	-	-	-	10.8	19.1	4.3	-	-	34.2	141
2040-2069	-	-	2.6	14.3	10.0	3.5	0.4	-	30.8	127

Selon Beard (1973), les espèces du genre *Poa* (Kentucky bluegrass, Canada bluegrass) ont une tolérance moyenne aux sécheresses. Donc, les gestionnaires des gazons du golf de la région des Cantons de l'Est doivent trouver de moyens pour éliminer le déficit de l'eau attendu.

La région de la ville de Québec

Les tendances futures des paramètres climatiques

Selon les projections futures du CGCM1, dans la région du Québec comme dans la région du Sherbrooke, les températures et les précipitations souffriront un accroissement. De ce fait, les températures moyennes sauront une possible augmentation de 1.3 °C et de 2.6 °C pendant 2010-2039 et respectivement 2040-2069 par rapport à la période 1961-1990 (Fig.5.19). Les taux moyens annuels des précipitations s'augmenteront, probablement, dans le futur de 10% en 2010 – 2039 et de 21% en 2040 – 2069 par rapport à la période courante (Fig.5.20).

Figure 5.19 La température moyenne à Québec pendant trois périodes (données du CGCM1 après “downscaling”)

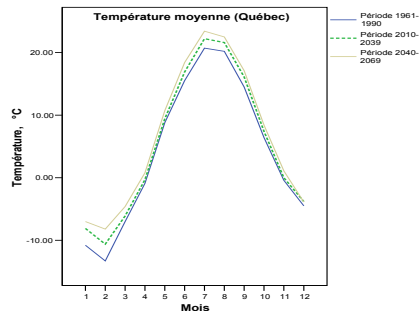


Figure 5.20 Les précipitations à Québec pendant trois périodes (données du CGCM1 après “downscaling”)

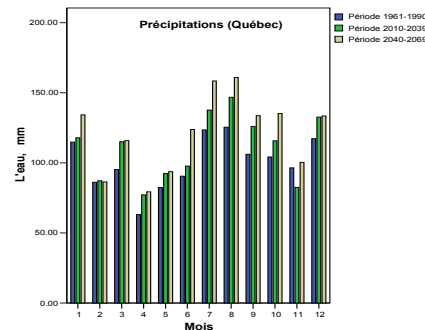
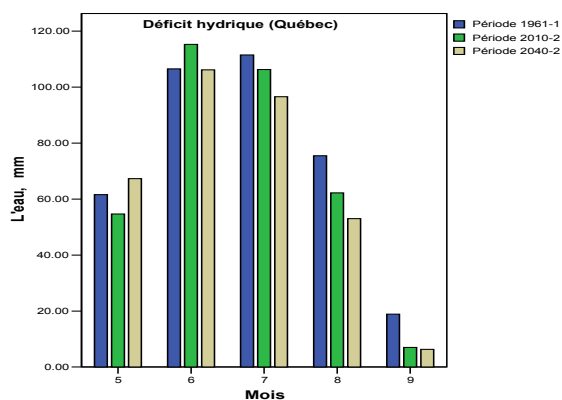


Figure 5.21 Déficit hydrique à Québec



En effet, le déficit hydrique dans la région du Québec diminuera, et par conséquent pourra avoir des impacts sur les conditions hydriques des gazons des terrains de golf (Fig.5.21).

Les tendances futures des taux d'irrigation

Pour estimer l'impact potentiel des changements climatiques futurs sur les conditions hydriques du gazon nous avons simulé les taux d'irrigation avec EPIC en injectant les mêmes paramètres biologiques des espèces de la saison fraîche et du sol Loam argileux à argile Joly ci-dessus mentionnés. On a uniquement changé les données climatiques. Ainsi, nous avons utilisé les données sortant de modèle climatique canadien CGCM1 dont la température maximale, la température minimale les précipitations et le rayonnement solaire pour trois périodes de trente années chacune: 1961-1990 – la période courante; 2010 – 2039 – la période du futur immédiat; et 2040 – 2069 - la période du futur éloigné. Les données climatiques sont ajustées conformément les méthodes mentionnées.

Figure 5.21 Irrigation préconisée (critère de 4mm), Québec, CGCM1, 3 périodes

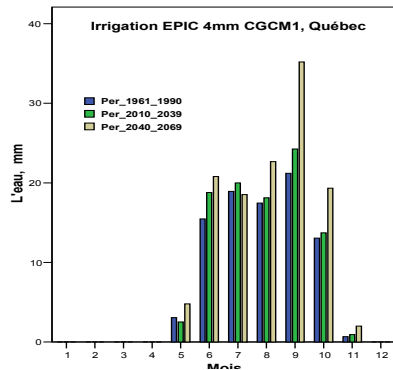
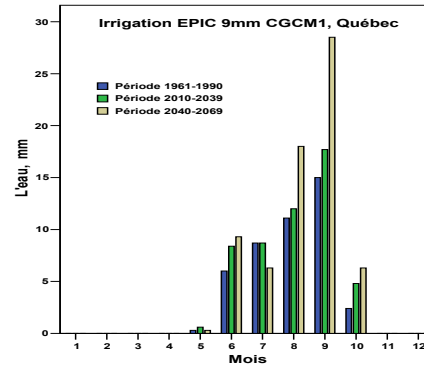
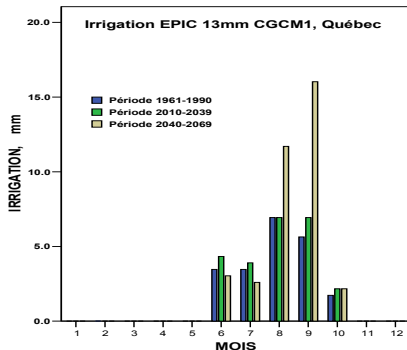


Figure 5.22 Irrigation préconisée (critère de 9mm), Québec, CGCM1, 3 périodes



Les résultats montrent qu'en conditions du climat futur, malgré la diminution des taux du déficit hydrique, les besoins potentiels d'irrigations des espèces gazonnantes, dans la

Figure 5.23 Irrigation préconisée (critère de 13mm), Québec, CGCM1, 3 périodes



région du Québec, s'augmenteront (fig. 5.21; 5.22 et 5.23). De ce fait, si nous comparons les totaux annuelles (critère de 9mm) de trois périodes constatons que les taux d'irrigation s'augmenteront de 20 pour cent dans la période du futur immédiat (2010-2039) et de 58 pour cent dans la

période du future éloigné (2040-2069) par rapport à la période courante (1961-1990) (tab.5.25).

Il est visible que les plus importantes augmentations des taux moyens mensuels d'irrigation sont préconisées pour la période 2040-2069. Les taux d'arrosage s'élèveront, spécifiquement, pendant les mois d'août et de septembre. De ce fait, les projections de la future indiquent que les taux d'irrigations auront une tendance générale à la hausse (tab.5.24; 5.25 et 5.26).

Tableau 5.24 Les quantités moyennes mensuelles de l'eau (critère de 4mm) calculées pour irriguer les gazons des terrains de golf dans la région du Québec en utilisant les données du CGCM1

Les périodes	Moyennes mensuelles, mm								An., mm	%, vs. 1961- 1990
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI		
1961-1990	-	3.1	15.5	18.9	17.5	21.2	13.1	0.7	90	100
2010-2039	-	2.5	18.8	20.0	18.1	24.3	13.7	0.9	98.3	109
2040-2069	-	4.8	20.8	18.5	22.7	35.2	19.3	2.0	123.3	137

Tableau 5.25 Les quantités moyennes mensuelles de l'eau (critère de 9mm) calculées pour irriguer les gazons des terrains de golf dans la région du Québec en utilisant les données du CGCM1

Les périodes	Moyennes mensuelles, mm								An., mm	%, vs. 1961- 1990
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI		
1961-1990	-	0.3	6.0	8.7	11.1	15.0	2.4	-	43.5	100
2010-2039	-	0.6	8.4	8.7	12.0	17.7	4.8	-	52.2	120
2040-2069	-	0.3	9.3	6.3	18.0	28.5	6.3	-	68.7	158

Tableau 5.26 Les quantités moyennes mensuelles de l'eau (critère de 13mm) calculées pour irriguer les gazons des terrains de golf dans la région du Québec en utilisant les données du CGCM1

Les périodes	Moyennes mensuelles, mm								An., mm	%, vs. 1961- 1990
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI		
1961-1990	-	-	3.5	3.5	6.9	5.6	1.7	-	21.2	100
2010-2039	-	-	4.3	3.9	6.9	6.9	2.0	-	24	113
2040-2069	-	-	3.0	2.6	11.7	16.0	3.0	-	36.3	171

Donc, les gestionnaires des gazons du golf de la région du Québec comme les gérants des terrains de golf des deux régions précédentes, doivent trouver de moyens pour éliminer le déficit de l'eau attendu.

5.9 Simulations des taux d'irrigation avec les scénarios futures du HADCM3

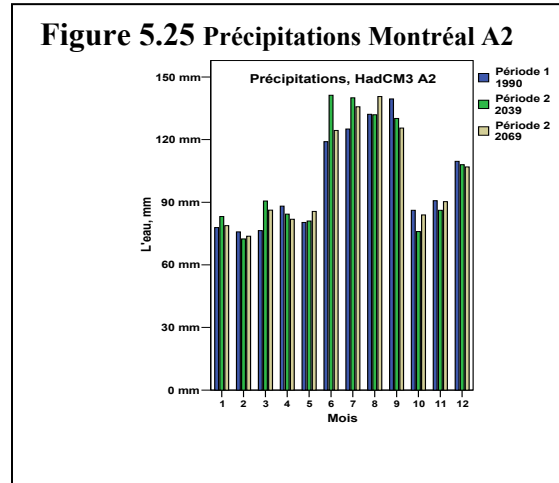
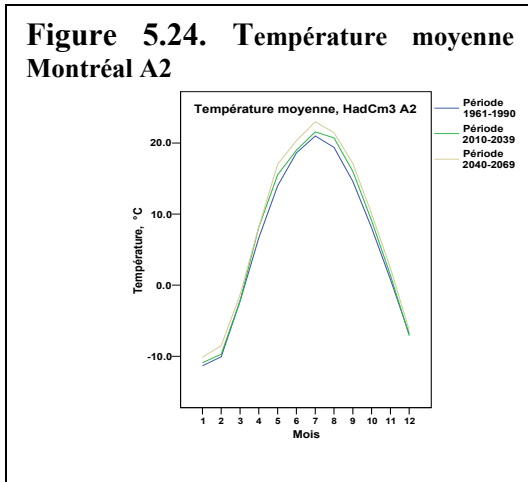
Cette partie donne une description détaillée des résultats des simulations des taux d'irrigation au moyen du modèle de culture EPIC en utilisant les entrées climatiques tirées du MCGAO HadCM3. Pour chacune des trois régions d'étude d'abord sont caractérisés les tendances futures des paramètres climatiques, suivies des caractéristiques des taux d'irrigation selon deux scénarios futurs : A2 et B2.

Région de Montréal

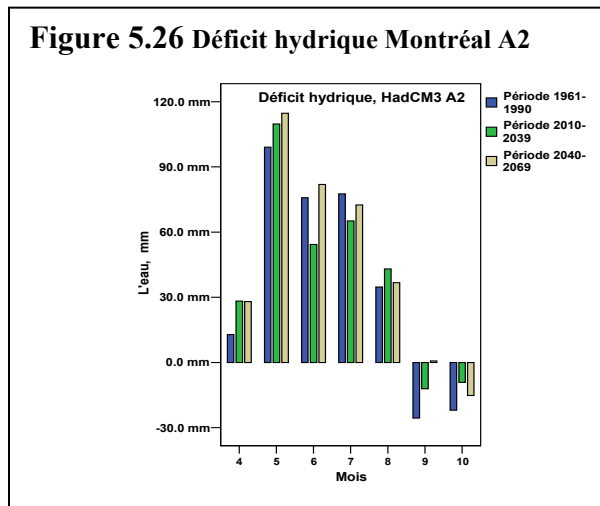
Les caractéristiques climatiques simulées par le modèle HadCM3 SRES A2

Les résultats des simulations du modèle climatique HadCM3 forcés par le SRES A2 montrent pour la région de Montréal une hausse possible des températures: de 6,1°C durant la période 1961-1990 à 6,9 et à 7,9°C, pendant les périodes 2010-2039 et 2040-2069, respectivement.

Figure 5.24; 5.25; 5.26 : Simulation des températures moyennes des précipitations et de déficit hydrique pour la région de Sherbrooke du HadCM3 A2 pour 3



périodes

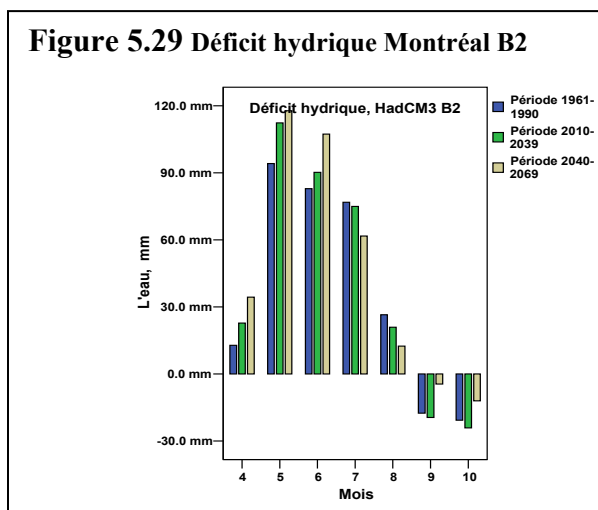
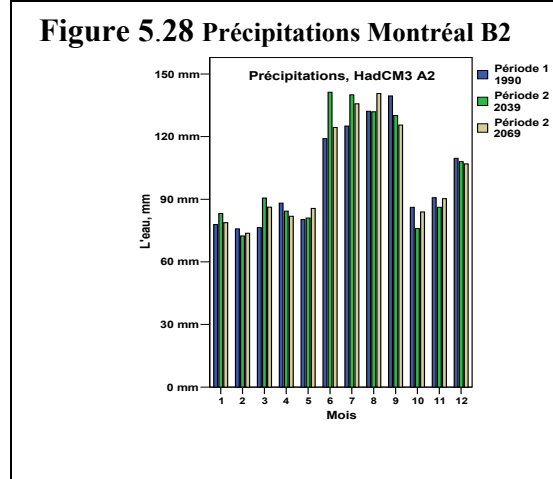
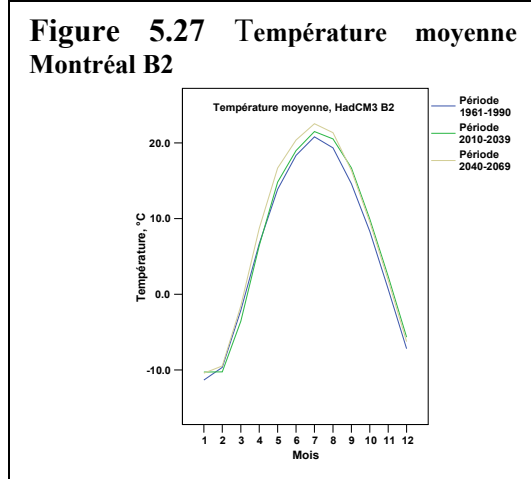


Le décalage des températures sera plus grand pendant les mois d'été. Quant à la précipitation le modèle britannique prévoit une légère augmentation de 2,0% pour 2010-2039 et de 1,1% pour 2040-2069, par rapport à la période 1961-1990. Le déficit hydrique accroîtra légèrement aussi (Fig.5.24; 5.25 et 5.26).

Les caractéristiques climatiques simulées par le modèle HadCM3 SRES B2

Les sortis diagnostiques du modèle climatique HadCM3 forcé par le SRES B2, de même manière que les sortis précédents, présentent pour la région de Montréal une hausse des températures: de 6,1°C, pendant la période 1961-1990 à 6,9 et à 7,6°C, pendant les périodes 2010-2039 et 2040-2069 respectivement.

Figure 5.27; 5.28; 5.29 : Simulation des températures moyennes (Fig. 5.27) des précipitations (Fig. 5.28) et de déficit hydrique (Fig. 5.29) pour la région de Sherbrooke du HadCM3 A2 pour 3 périodes



Le décalage des températures sera plus grand pendant les mois d'été. Quant à la précipitation le modèle britannique prévoit une légère augmentation de 1% pour 2010-2039 et de 3,3% pour 2040-2069 par rapport à la période de control. Le déficit hydrique accroîtra légèrement aussi (Fig. 5.27; 5.28 et 5.29).

La tendance future des taux d'irrigation

Le couplage du modèle EPIC au modèle climatique britannique ne montre que les besoins d'irrigation dans la région de Montréal s'augmenteront dans le futur (Fig.5.30 à 5.35 et Tab. 5.27). Selon le critère de 9mm, les besoins d'irrigation vont augmenter d'environ

115-125% en 2010-2039 et de 130-140% en 2040-2069 par rapport à la période 1961-1990. La nécessité d'arrosage est plus accrue après le couplage du modèle EPIC au sortis diagnostiques forcés par le SRES B2. Mais, en grands traits, il n'y a pas de différences importantes entre les besoins d'irrigation simulés en utilisant les sortis de HadCM3 forcés par différents scénarios : A2 et B2. Cela pourrait être expliqué par le fait qu'il n'y a pas des différences appréciables entre les paramètres climatiques simulés par le MCG britannique selon ceux scénarios.

Figures 5.30 et 5.31 : Irrigation préconisée (selon le critère de 4mm) pour la région de Montréal en utilisant les sorties de HadCM3 A2 et B2 pour 3 périodes

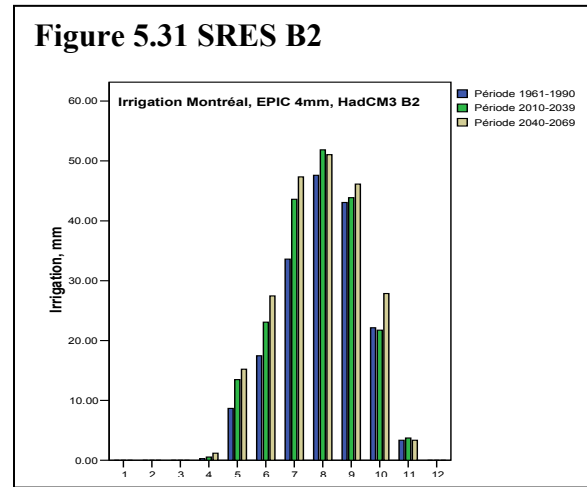
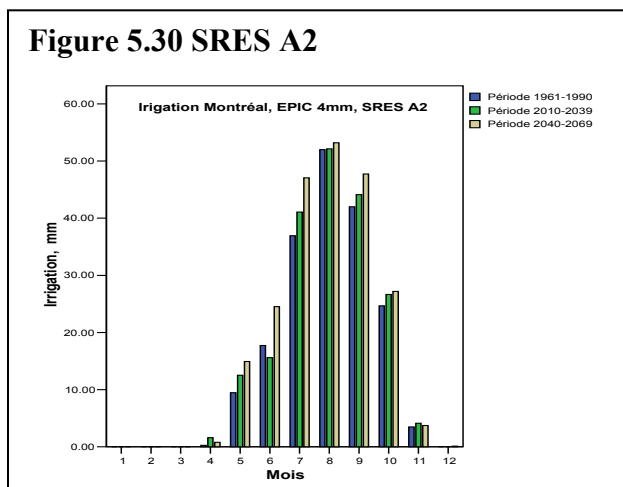


Figure 5.32 et 5.33 : Irrigation préconisée (selon le critère de 9 mm) pour la région de Montréal en utilisant les sorties de HadCM3 A2 et B2 pour 3 périodes

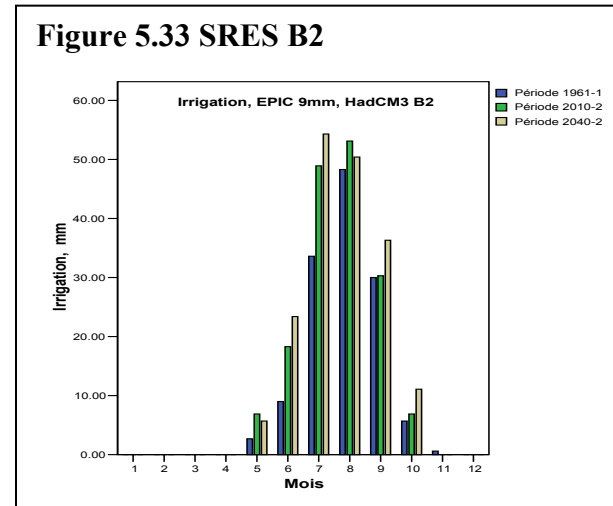
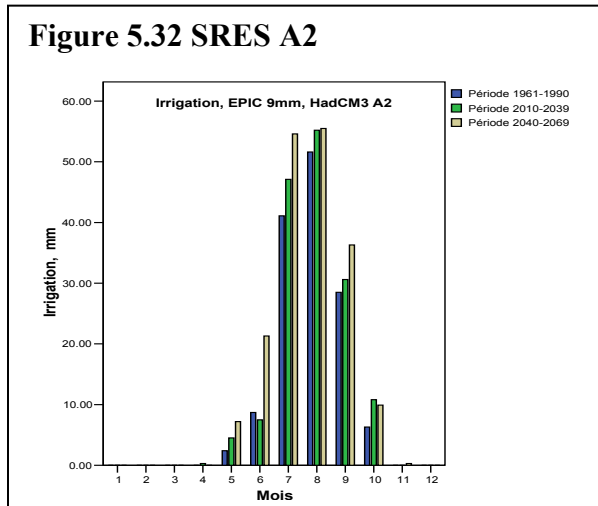


Figure 5.34 et 5.35 : Irrigation préconisée (selon le critère de 13 mm) pour la région de Montréal en utilisant les sorties de HadCM3 A2 et B2 pour 3 périodes

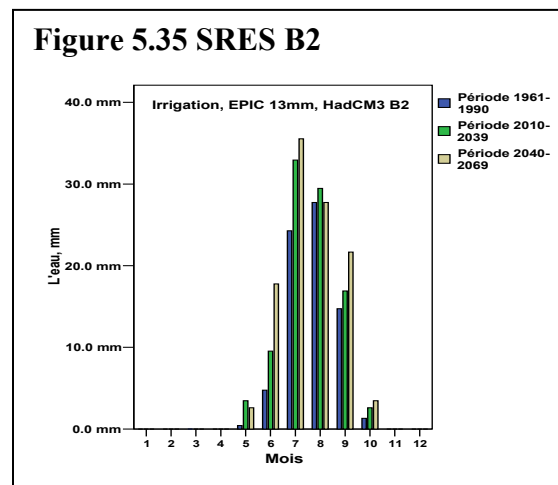
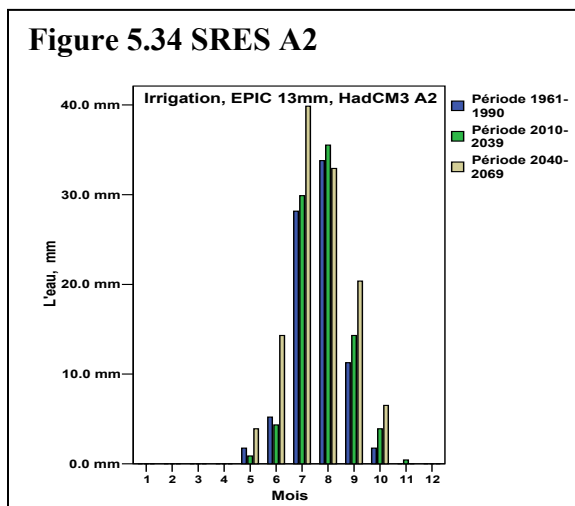


Table 5.27, Les valeurs relatives (%) des taux d'irrigation annuels pour les périodes 2010-2039 et 2040-2069 (par rapport à la période 1961-1990)

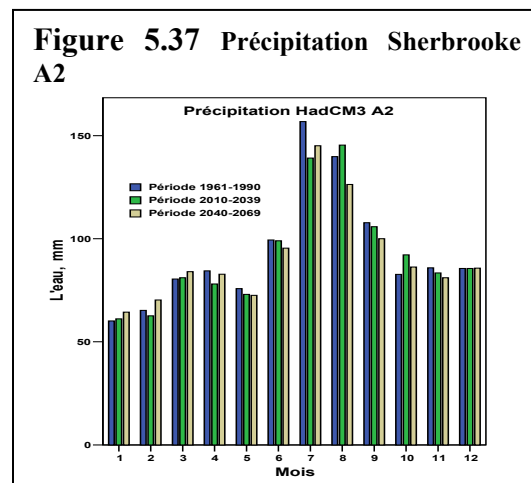
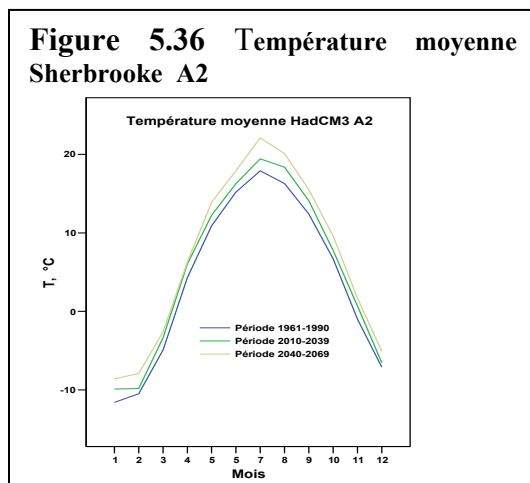
Périodes	Critère de 4mm		Critère de 9mm		Critère de 13mm	
	SRES A2	SRES B2	SRES A2	SRES B2	SRES A2	SRES B2
2010-2039	106	115	113	127	109	130
2040-2069	118	124	134	140	144	149

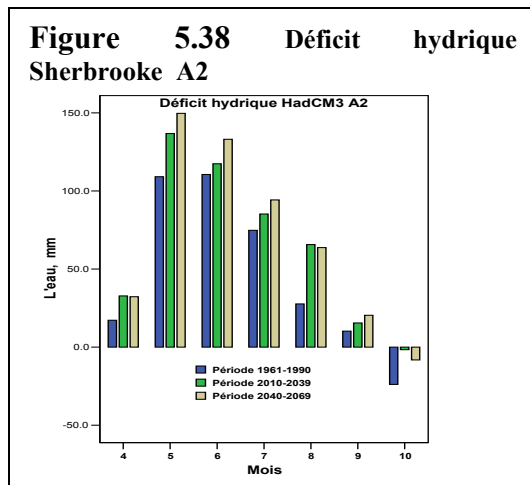
La région des cantons de l'Est

Les caractéristiques climatiques simulées par le modèle HadCM3 SRES A2

Les résultats des simulations du modèle climatique HadCM3 forcé par le SRES A2 montrent pour la région des Cantons de l'Est une hausse potentielle des températures: de 4,1°C, pendant la période 1961-1990, à 5,4 et à 6,9°C, durant les périodes 2010-2039 et 2040-2069, respectivement. La croissance des températures sera plus élevée pendant les mois d'été et d'hiver. Quant à la précipitation, le modèle britannique prévoit une légère baisse de 1,6% pour 2010-2039 et de 2,7% pour 2040-2069 par rapport à la période 1961-1990. En effet, le déficit hydrique accroîtra fortement (Fig. 5.36; 5.37 et 5.38).

Figures 5.36; 5.37; 5.38 : Simulation des températures moyennes (Fig. 5.36) des précipitations (Fig. 5.37) et de déficit hydrique (Fig. 5.38) pour la région de Sherbrooke du HadCM3 A2 pour 3 périodes

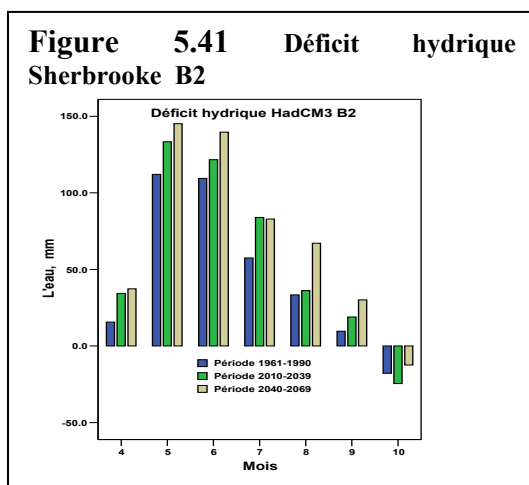
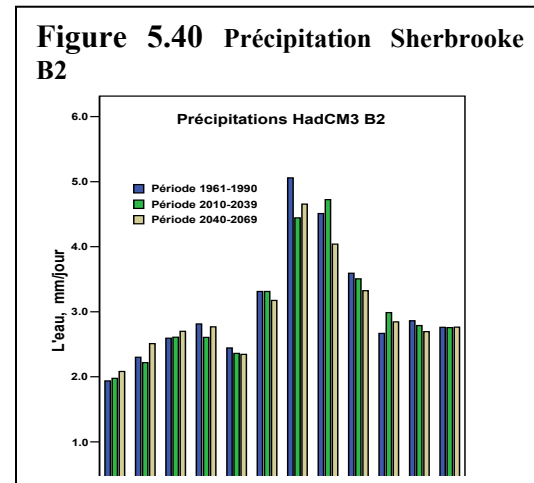
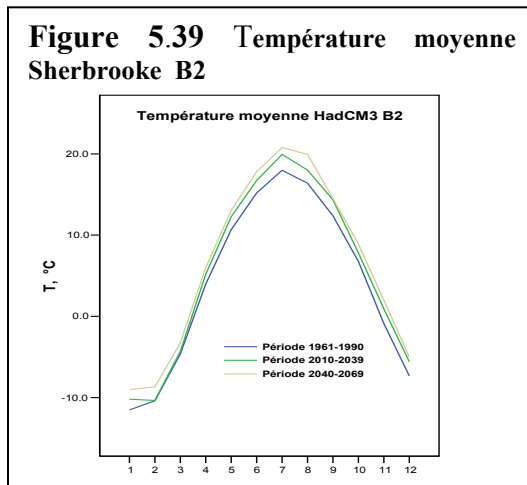




Les caractéristiques climatiques simulées par le modèle HadCM3 SRES B2

Les sortis diagnostiques du modèle climatique HadCM3 forcé par le SRES B2 présentent, aussi, une hausse des températures: de 4,1°C durant la période 1961-1990 à 5,5 et à 6,5°C, pendant les périodes 2010-2039 et 2040-2069, respectivement. Le décalage de températures sera plus grand pendant les mois d'été. Quant à la précipitation le modèle britannique, aussi comme dans le cas précédent, prévoit une légère diminution de 1,5% pour 2010-2039 et de 2,6% pour 2040-2069 par rapport à la période de control. Suite à ces changements, le déficit hydrique, aussi, accroîtra (Fig.5.39; 5.40 et 5.41).

Figures 5.39; 5.40; 5.41 : Simulation des températures moyennes (Fig. 5.39) des précipitations (Fig. 5.40) et de déficit hydrique (Fig. 5.41) pour la région de Sherbrooke du HadCM3 B2 pour 3 périodes

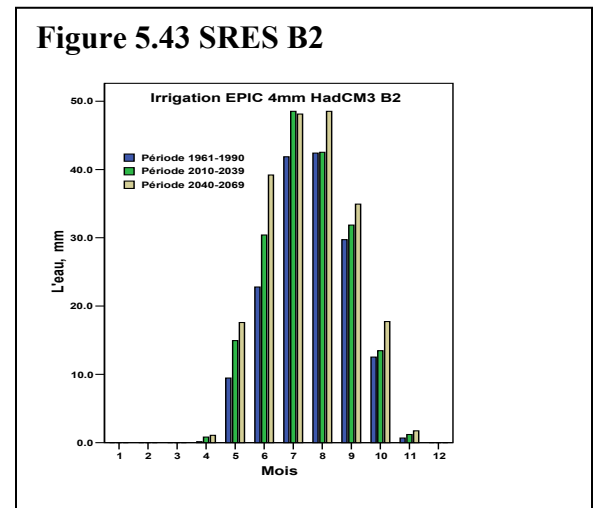
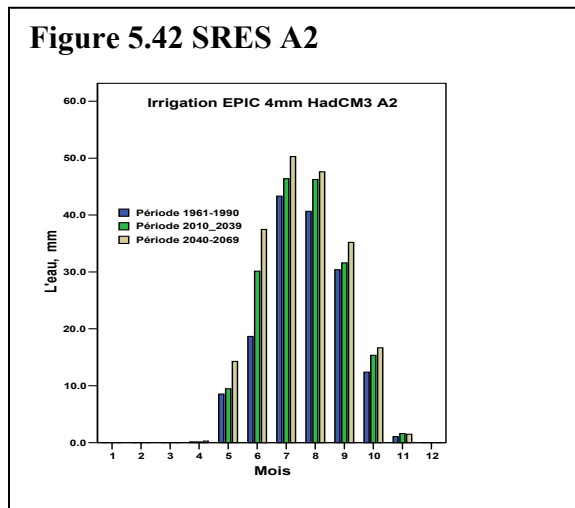


Les tendances futures des taux d'irrigation

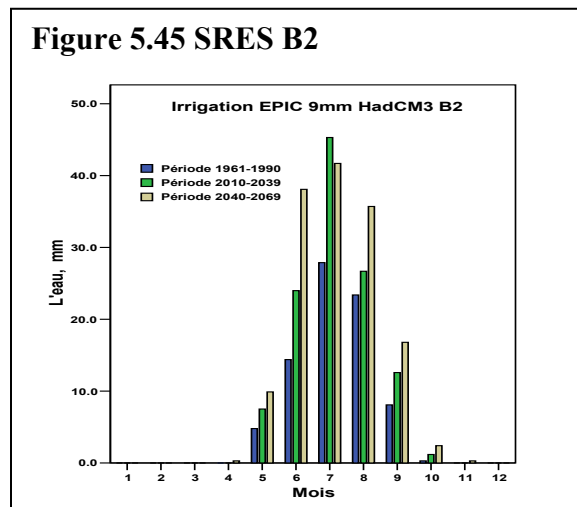
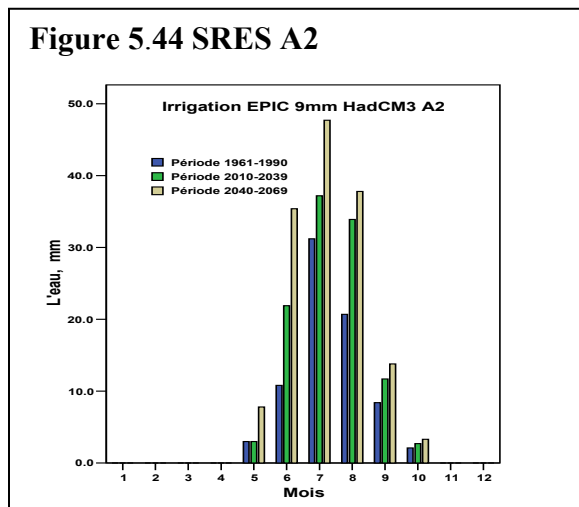
Le couplage du modèle EPIC au modèle climatique britannique ne montre que les besoins d'irrigation dans la région de Sherbrooke s'augmenteront dans le futur (Fig. , Tab.). Selon le critère de 9mm, les besoins d'irrigation vont augmenter d'environ 150% en 2010-2039 et de 190% en 2040-2069 par rapport à la période 1961-1990. Selon tous les deux scénarios, les nécessités d'arrosage s'élèveront considérablement pendant le mois de juin.

Il n'y a pas des différences importantes entre les besoins d'irrigation simulés en utilisant les sorties de HadCM3 forcés par différents scénarios : A2 et B2. Cela pourrait être expliqué par le fait que il n'y a pas, aussi, des différences appréciables entre les paramètres climatiques simulés par le MCGAO britannique selon ceux scénarios (fig. 5.42 à 5.47 et tab. 5.28).

Figures 5.42 ; 5.43: Irrigation préconisée (selon le critère de 4mm) pour la région de Sherbrooke en utilisant les sorties de HadCM3 A2 et B2 pour 3 périodes



Figures : 5.44 ; 5.45 : Irrigation préconisée (selon le critère de 9 mm) pour la région de Sherbrooke en utilisant les sorties de HadCM3 A2 et B2 pour 3 périodes



Figures : 5.46 ; 5.47 : Irrigation préconisée (selon le critère de 13 mm) pour la région de Sherbrooke en utilisant les sorties de HadCM3 A2 et B2 pour 3 périodes

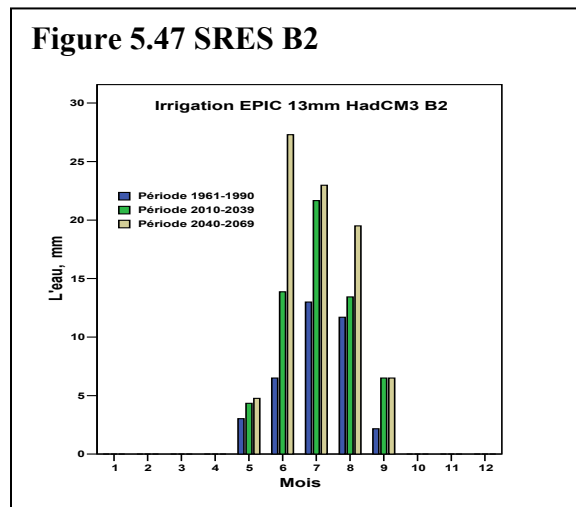
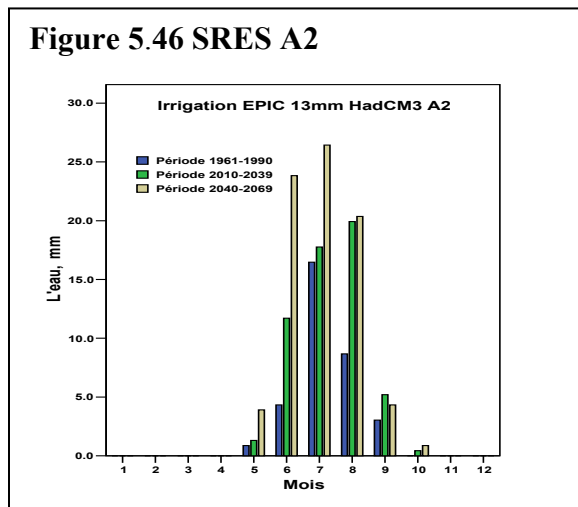


Table 5.28. Les valeurs relatives (%) des taux d'irrigation annuels pour les périodes 2010-2039 et 2040-2069 (par rapport à la période 1961-1990)

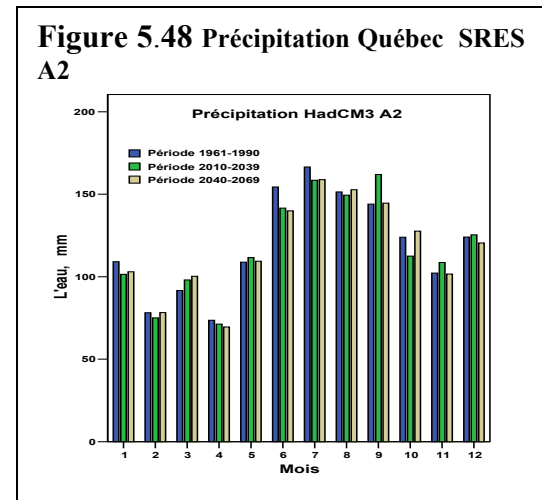
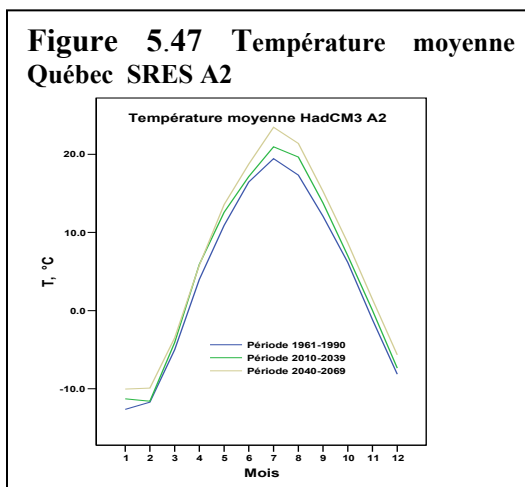
Périodes	Critère de 4mm		Critère de 9mm		Critère de 13mm	
	SRES A2	SRES B2	SRES A2	SRES B2	SRES A2	SRES B2
2010-2039	117	115	145	149	168	164
2040-2069	131	131	191	184	236	223

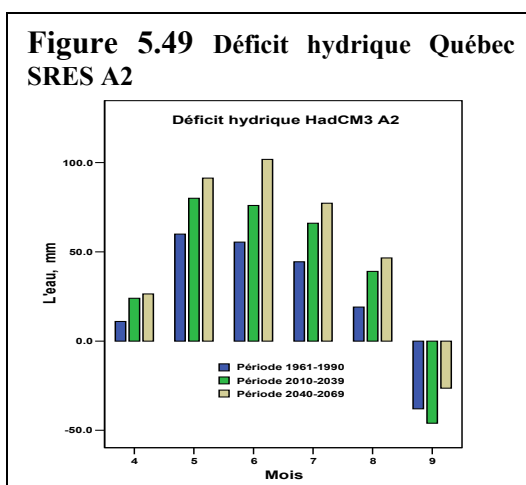
Région de Québec

Les caractéristiques climatiques simulées par le modèle HadCM3 SRES A2

Les résultats des simulations du modèle climatique HadCM3 forcé par le SRES A2 montrent pour la région du Québec une hausse potentielle des températures: de 4,1°C, pendant la période 1961-1990, à 5,3 et à 6,7°C, durant les périodes 2010-2039 et 2040-2069, respectivement. La croissance des températures sera plus élevée pendant les mois d'été et d'hiver. Quant à la précipitation, le modèle britannique prévoit une légère baisse de 1,0% pour 2010-2039 et de 1,5% pour 2040-2069 par rapport à la période 1961-1990. En effet, le déficit hydrique accroîtra beaucoup (fig. 4.47; 5.48; 5.49).

Figures 5.47; 5.48; 5.49 : Simulation des températures moyennes (Fig. 5.47) des précipitations (Fig. 5.48) et de déficit hydrique (Fig. 5.49) pour la région de Québec du HadCM3 A2 pour 3 périodes.





Les caractéristiques climatiques simulées par le modèle HadCM3 SRES B2

Les sortis diagnostiques du modèle climatique HadCM3 forcé par le SRES B2 présentent, aussi, une hausse des températures: de 4,1°C durant la période 1961-1990 à 5,3 et à 6,3°C, pendant les périodes 2010-2039 et 2040-2069, respectivement. Le décalage de températures sera plus grand pendant les mois d'été. Quant à la précipitation le modèle britannique, aussi comme dans le cas précédent, prévoit une légère diminution de 1,4% pour 2010-2039 et de 3,6% pour 2040-2069 par rapport à la période de control. Suite à ces changements, le déficit hydrique, aussi, accroîtra (fig. 5.50; 5.51; 5.52).

Figure 5.50; 5.51; 5.52 : Simulation des températures moyennes des précipitations et de déficit hydrique pour la région de Québec du HadCM3 B2 pour 3 périodes

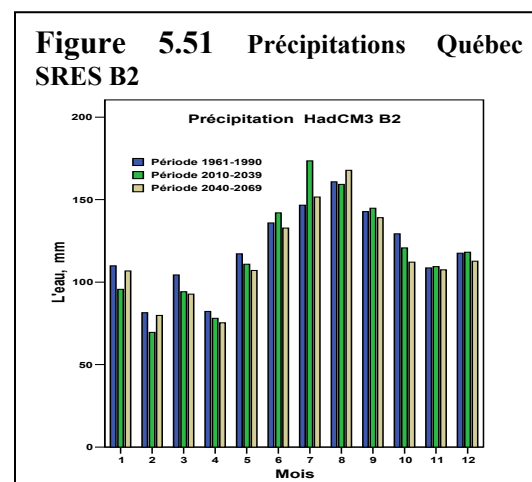
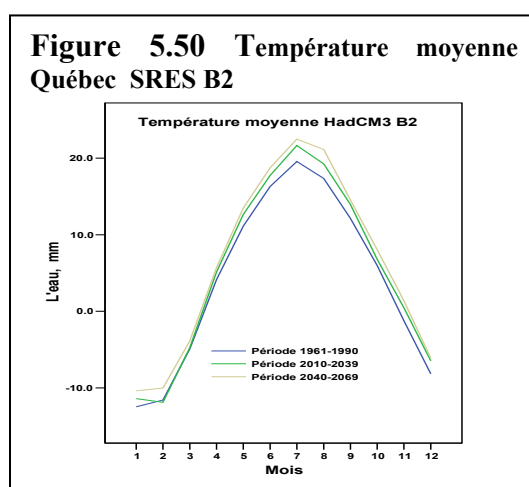
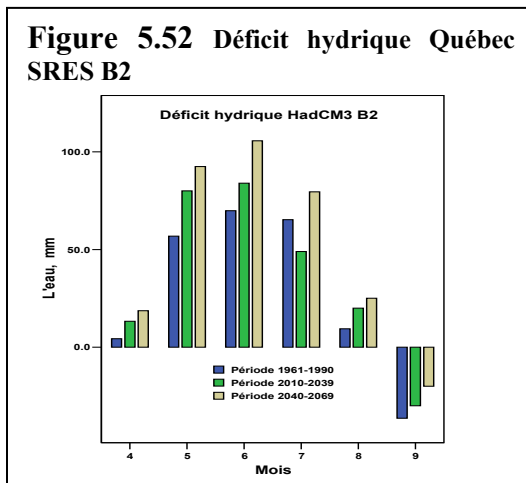


Figure 5.52 Déficit hydrique Québec SRES B2

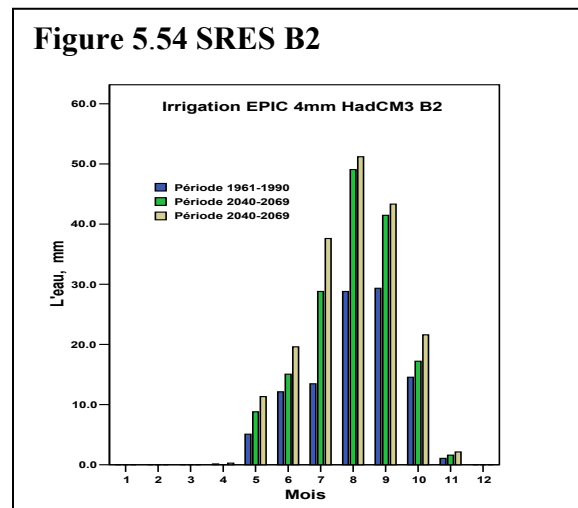
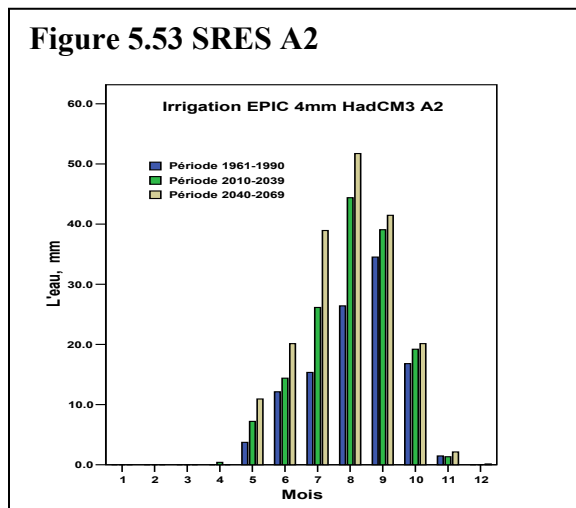


Les tendances futures des taux d'irrigation

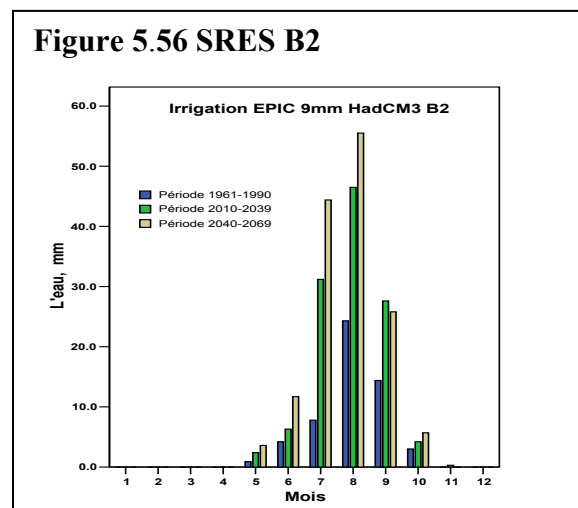
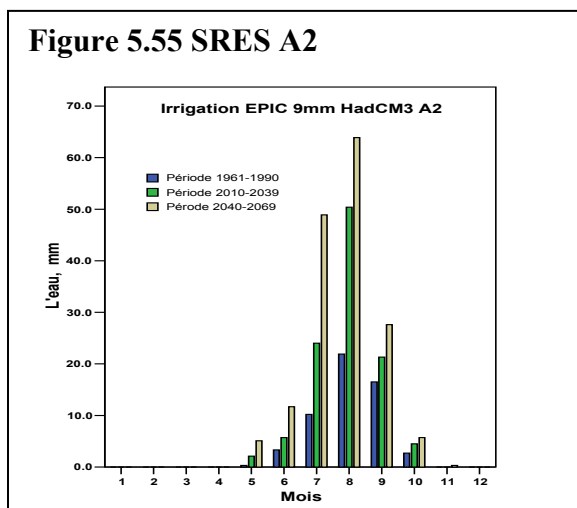
Le couplage du modèle EPIC au modèle climatique britannique monte que, en comparaison avec les deux régions précédentes, le besoin futur d'irrigation dans la région du Québec s'augmentera d'une façon accidentelle (Fig. 5.53 à 5.58, Tab.5.29). Selon le critère de 9mm, les besoins d'irrigation vont augmenter d'environ deux fois en 2010-2039 et de trois fois en 2040-2069 par rapport à la période 1961-1990. Selon tous les deux scénarios, les nécessités d'arrosage s'élèveront considérablement pendant tous les mois d'été. L'arrosage plus élevé sera dû, probablement, à la fois des températures plus grande et des précipitations moins importantes.

Il n'y a pas de différences importantes entre les besoins d'irrigation simulés en utilisant les sortis de HadCM3 forcés par différentes scénarios : A2 et B2. Cela pourrait être expliqué par le fait qu'il n'y a pas des différences appréciables entre les paramètres climatiques simulés par le MCGAO britannique selon ceux scénarios (fig. 5.53 à 5.58).

Figure 5.53; 5.54 : Irrigation préconisée (selon le critère de 4mm) pour la région du Québec en utilisant les sorties de HadCM3 A2 et B2 pour 3 périodes



Figures 5.55; 5.56: Irrigation préconisée (selon le critère de 9mm) pour la région du Québec en utilisant les sorties de HadCM3 A2 et B2 pour 3 périodes.



Figures 5.57; 5.58 : Irrigation préconisée (selon le critère de 13mm) pour la région du Québec en utilisant les sorties de HadCM3 A2 et B2 pour 3 périodes

Figure 5.57 SRES A2

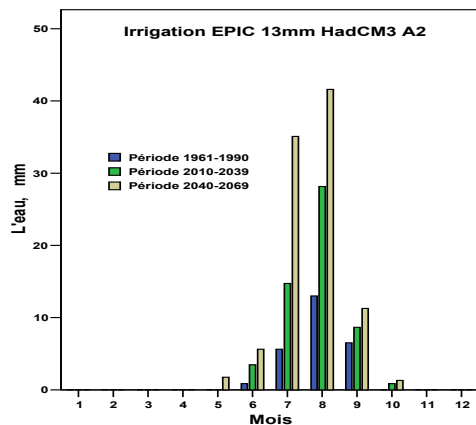


Figure 5.58 SRES B2

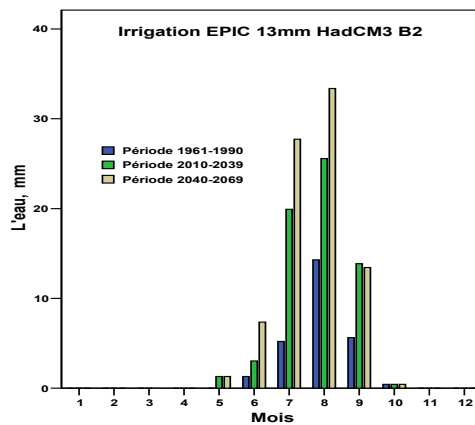


Table 5.29. Les valeurs relatives (%) des taux d'irrigation annuels pour les périodes 2010-2039 et 2040-2069 (par rapport à la période 1961-1990).

Périodes	Critère de 4mm		Critère de 9mm		Critère de 13mm	
	SRES A2	SRES B2	SRES A2	SRES B2	SRES A2	SRES B2
2010-2039	138	155	196	215	214	241
2040-2069	168	179	296	265	368	318

5.10 Irrigation : deux MCGA-Os

Les résultats, après le couplage du modèle de culture EPIC selon le critère de 9mm aux données climatiques tirées des deux modèles climatiques, montrent que les besoins d'arrosage accroîtront tout au long de 21^e siècle, dans la région d'étude (Fig. 5.59; 5.60 et 5.61). De ce fait, tous les deux modèles anticipent presque la même croissance des taux d'irrigation pour les régions de Montréal et de Sherbrooke (Fig. 5.59; 5.60 et 5.61). Par contre, pour la région de Québec le MCGAO britannique prévoit une augmentation d'irrigation nettement plus élevée que le CGCM1 (Fig.5.60). L'explication pourrait être de fait que le HadCM3 envisage pour la région de Québec une légère diminution des précipitations tant que le modèle CGCM1 - une importante augmentation.

Ce qui concerne le régime mensuelle d'irrigation tous les deux modèles simulent la même tendance : pour les régions des Laurentides et de Sherbrooke les taux d'irrigation s'élèveront surtout au début d'été tant que pour la région de Québec – pendant mi-fin d'été.

Figure 5.59 Les tendances futures des taux d'irrigation (par rapport au 1961-1990) pour la région de Montréal selon les résultats de couplage du modèle EPIC (critère de 9mm) au CGCM1 et au HadCM3

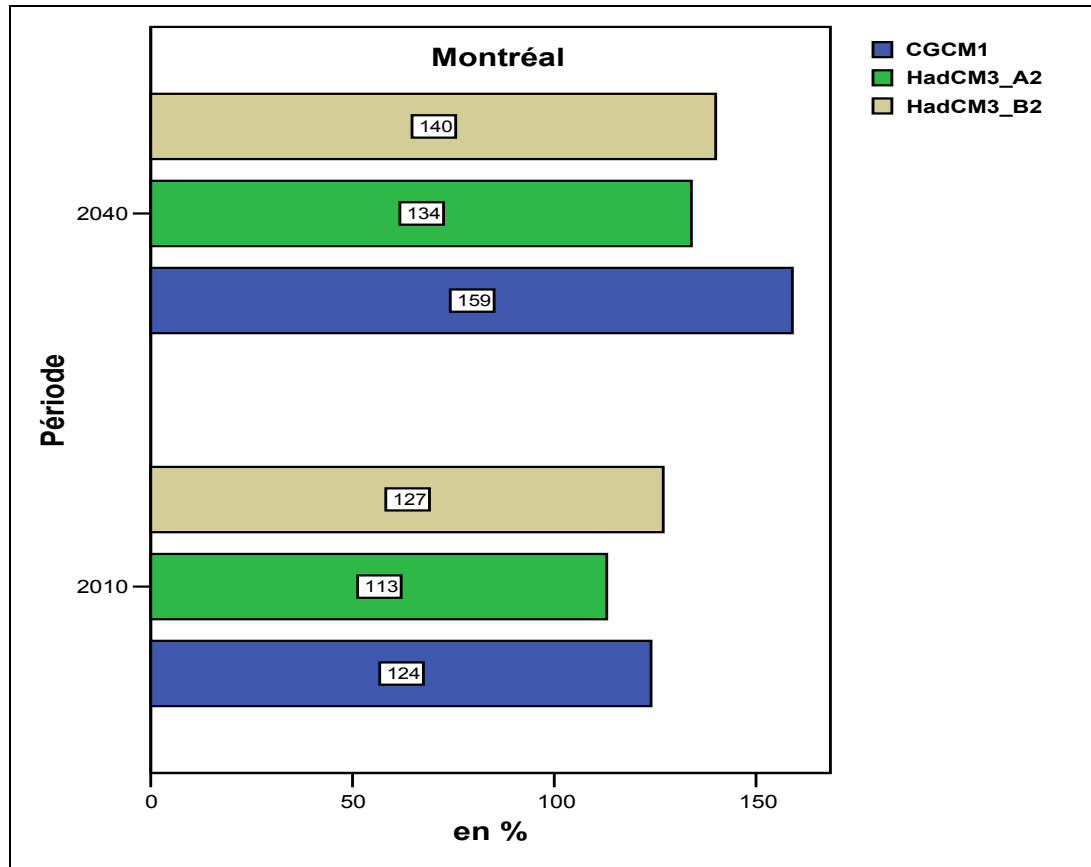


Figure 5.60. Les tendances futures des taux d'irrigation (par rapport au 1961-1990) pour la région de Sherbrooke selon les résultats de couplage du modèle EPIC (critère de 9mm) au CGCM1 et au HadCM3

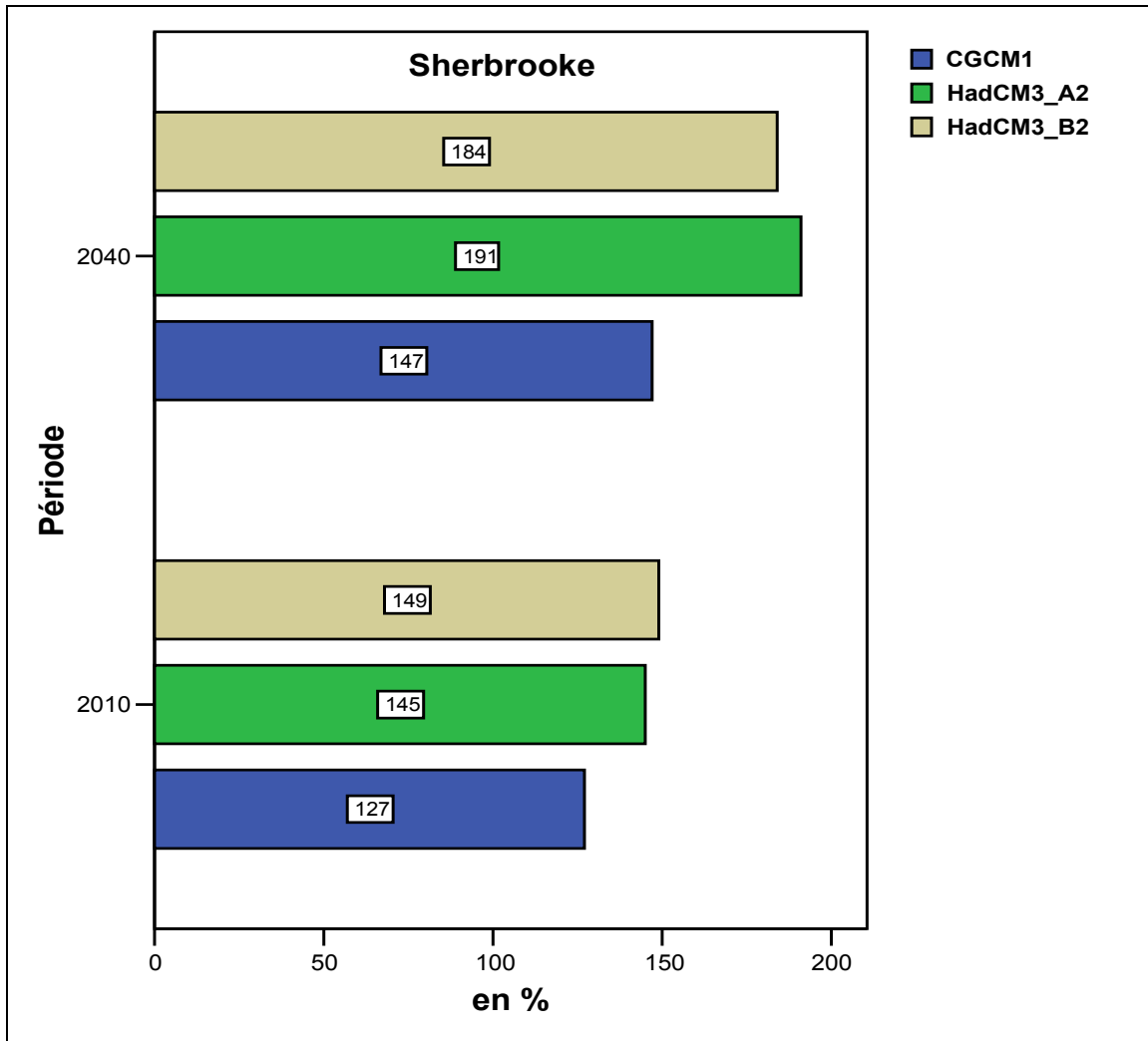
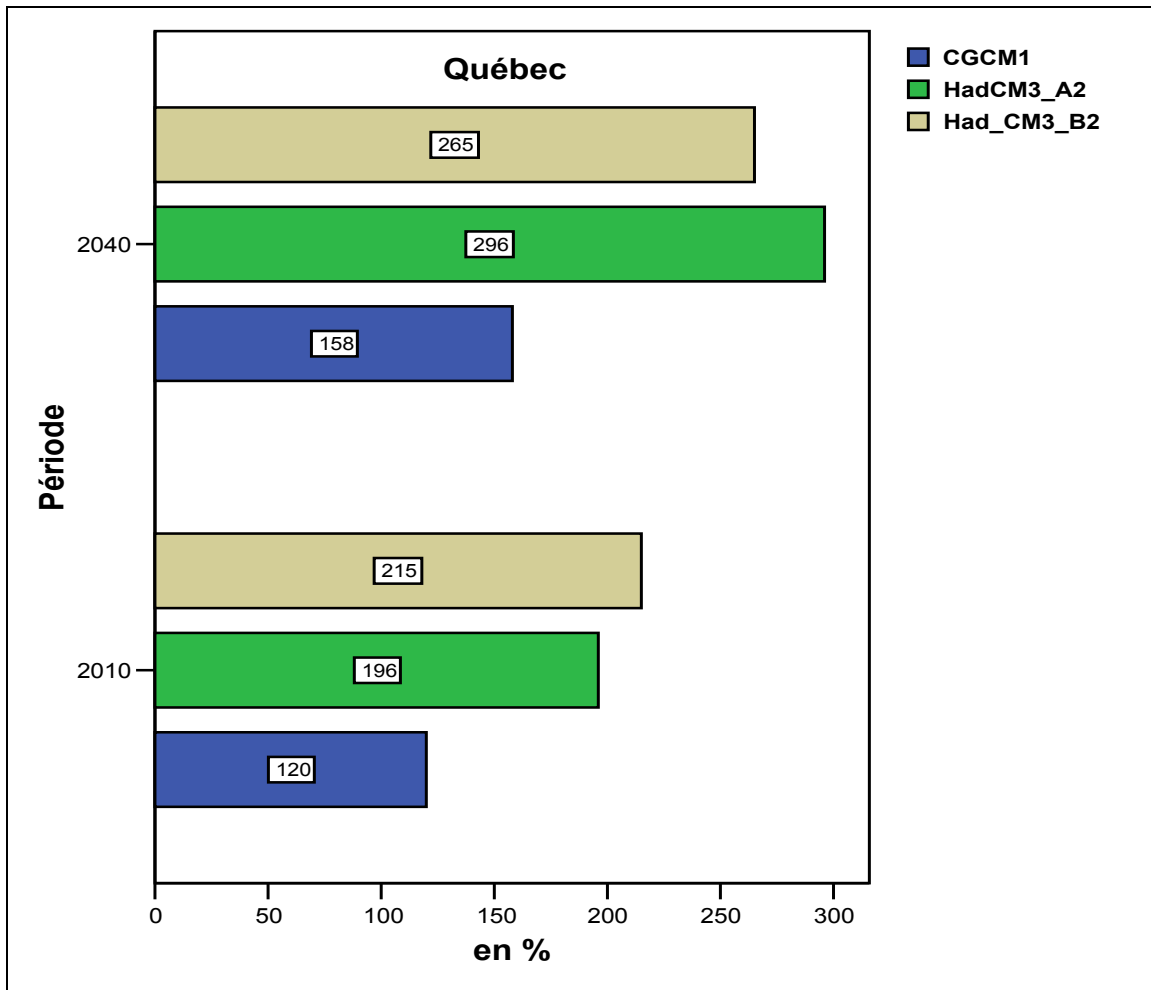


Figure 5.61 Les tendances futures des taux d'irrigation (par rapport au 1961-1990) pour la région de Québec selon les résultats de couplage du modèle EPIC (critère de 9mm) au CGCM1 et au HadCM3



5.11 Conclusions/recommandations

Les plus importants points de repère de notre étude sont :

- selon les projections futures du modèle climatique CGCM1 les températures moyennes augmenteront dans le sud du Québec d'environ 1.5 °C en 2010-2039 et de 2.5-3.0 °C en 2040- 2069, par rapport à la période 1961-1990. Les taux des précipitations resteront relativement stable dans la région des Laurentides et s'élèveront d'environ 10% en 2010-2039 et de 20% en 2040-2069 dans les régions des Cantons de l'Est et du Québec, par rapport à la période 1961-1990;
- les projections futures du modèle climatique HadCM3 prévoient une augmentation des températures moyennes dans le sud du Québec d'environ 0.8-1.4 °C en 2010-2039 et de 1.5-2.8 °C en 2040- 2069, par rapport à la période 1961-1990. Les précipitations s'augmenteront dans la région des Laurentides d'environ 2-3% en 2010-2039 et de 1% en 2040-2069 et se diminueront de 1-3.6% dans les régions des Cantons de l'Est et du Québec, par rapport à la période 1961-1990;
- la fluctuation des taux mensuels d'irrigation de la période 1961-1990 dans la région du sud du Québec a été déterminée à la fois des variations temporelles des précipitations et de l'évapotranspiration potentielle;
- l'évapotranspiration a une faible variation interannuelle par conséquent ceci aura un impact moins prononcé que les précipitations sur les taux mensuels d'irrigation;
- quand aux précipitations les fluctuations quantitatives temporelles de ceux-ci déterminent principalement la fréquence et les taux d'arrosage sur les terrains de golf dans la région d'étude;
- pour les conditions climatiques futures les besoins potentiels d'irrigation des espèces gazonnantes s'augmenteront dans toute la région du sud de Québec mais seront plus accentués dans la région des Laurentides et du Québec;
- dans les régions de Laurentides et de Cantons de l'Est les besoins potentiels d'irrigation vont accroître, spécifiquement, pendant le début et mi-été tant que pour la région de la ville de Québec pendant le mi-fin de l'été;

- les projections du futur indiquent que les taux d'irrigation auront une tendance à la hausse, et que cette tendance sera plus visible pendant la première période future 2010-2039 comparé au 2040 – 2069;
- les gestionnaires des gazons de golf de la région du sud du Québec doivent trouver de moyens pour éliminer le déficit potentiel de l'eau attendu.
- les intendants des gazons doivent disposer de substituer les espèces gazonnantes moins résistantes au climat sec par des espèces plus résistantes. Par exemple, de substituer le pâturin annuel par l'agrostis traçante.

5.12.1. Premier Rapport concernant le projet sur l'adaptation de l'industrie du golf au changement climatique (janvier 2004)

Résumé de la première rencontre sur les impacts et l'adaptation de l'industrie du golf au changement climatique (15 janvier 2004), dans les locaux d'Ouranos.

Présents à la réunion :

M. Jacques A. Gravel Association des terrains de golf du Québec

M. Raymond Carpentier Golf le Grand Portneuf

M. Sylvain Alarie Golf St-Jérôme

M. Jean-François Matte Golf le Challenger

M. Marc Fontaine Golf Inverness

M. Jocelyn Dupont Consultant

M. François Belzile Tourisme Québec

M. Alain Bourque Ouranos

M. Claude Desjarlais Ouranos

Mme Marie-France Sottile Ouranos

M. Bhawan Singh Université de Montréal

M. Christopher Bryant Université de Montréal

M. Pierre André Université de Montréal

M. Nicklaus Davey Université de Montréal

M. Denis Granjon Université de Montréal

Mme Isabelle Pécheux Université de Montréal

M. Kazi Arifuzzaman Université de Montréal

M. Victor Tapes Université de Montréal

Mlle Marylène Savoie Université de Montréal

Cette première rencontre a permis à l'équipe de recherche de commencer à cerner, avec les différents représentants de l'industrie du golf présents, les enjeux que représente le changement climatique envisagé dans les années futures.

Les présentations préliminaires de M. Alain Bourque d'Ouranos et de M. Bhawan Singh et

M. Nicklaus Davey sur les prévisions climatiques futures et sur les différents scénarios prévus dans ce domaine, nous ont permis de recueillir les différentes réactions des participants, de noter les premiers indicateurs pour mesurer les répercussions du changement climatique et enfin d'envisager les principaux enjeux posés par ce scénario de changement.

1. Présentation de M. Alain Bourque, Ouranos

M. Bourque a d'abord présenté un survol des connaissances en matière de changement climatique et a expliqué le rôle d'Ouranos au Québec. Ouranos encourage les recherches dans ce domaine de façon proactive en réunissant différents partenaires potentiels autour de problématiques différentes, et en les appuyant en termes de logistiques et conseils, ainsi que par l'apport de ses propres et considérables capacités de recherche.

2. Présentation de Bhawan Singh

M. Singh a présenté le projet sur **Les impacts et l'adaptation de l'industrie du golf et de l'industrie touristique au Québec, face au changement climatique.**

D'abord, il a présenté les membres de l'équipe de recherche :

Université de Montréal : Bhawan Singh, Christopher Bryant, Pierre André, Jean-Pierre Thouez, Nicklaus Davey, Isabelle Pécheux et Denis Granjon.

OURANOS : Claude Desjarlais et Alain Bourque.

Les deux principaux objectifs de ce projet sont de:

- c. Évaluer les impacts du changement et de la variabilité du climat sur l'industrie du golf ainsi que sur l'industrie du ski au Québec;
- d. Proposer des stratégies d'adaptation à ces changements afin de minimiser les impacts socio-économiques (négatifs).

Trois périodes vont être utilisées dans ce projet :

- d. La période 1961-1990, utilisée comme la période courante et de contrôle;
- e. La période 2010-2039 : le court terme;
- f. La période 2040-2069 : le long terme

Les trois territoires à l'étude sont:

a. Les Laurentides et Rigaud; b. Les Cantons de l'est; c. Charlevoix

Notre méthodologie comporte les éléments suivants :

- d. Le couplage de sorties des diagnostics de modèles climatiques, à une échelle réduite (donc, nous utilisons le « downscaling » des modèles à macro échelle)
- e. Nous utilisons pour fins de comparaison les modèles : CGCM2 et HadCM3 forcés par les scénarios SRES A-2 et B-2; et le « downscaling » exploitant SDSM et interpolations statistiques;
- f. Nos préoccupations en termes de variables à explorer comprennent : la température, les précipitations, la nébulosité, le vent, l'évapotranspiration, demande en haut des pelouses

De façon provisoire, nous avons identifié les indicateurs et variables suivants :

- d. La longueur/allongement de la saison de golf;
- e. Le nombre de jours de golf perdu dû à des intempéries (pluie, vent, chaleur/humidité excessive, terrains humides...);
- f. Les coûts d'entretien de terrains de golf pendant l'été (sécheresse/irrigation, disponibilité en eau...);
- g. L'espèce de gazon (*Poa annua*, *Creeping bent grass*) et la tolérance à la sécheresse.
- h. L'entretien des terrains de golf hors saison (parcours, verts...)
- i. Les indices agroclimatiques : afin de déterminer la survivance hivernale des gazons ;
- j. L'épaisseur de la couche neigeuse/exposition à des températures froides extrêmes : encaissement par la glace, soulèvement des racines ;

- k. La perte de résistance au froid (températures douces en automne, hiver)

Cette première série d'indicateurs est à valider avec les représentants de l'industrie du golf.

Les questions méthodologiques pour lesquelles nous cherchons des réactions et des réponses sont :

- e. Quels sont les critères utilisés dans l'industrie pour décider le début et la fin de la saison?
- f. Quels sont les facteurs d'influence (p. ex. pluies, vents extrêmes...) concernant la perte de jours golfable?
- g. En termes de perte de jours golfables, quels sont les jours de pointe les plus vulnérables ou les périodes de l'année?
- h. Nous avons besoin d'avoir accès à des sites de mesure pour valider nos calculs. Pouvons-nous compter sur vous?

Le reste de la réunion fut divisée en deux parties : après une présentation par M. Nicklaus Davey sur les résultats préliminaires nous avons mené une discussion concernant les réactions des participants présents à ces premiers résultats et aux questions posées par l'équipe de recherche. À la fin, il était question du rôle du Comité de suivi dans le déroulement du projet.

3. La présentation de Nicklaus Davey concernant les résultats préliminaires

Trois paramètres étaient pris en considération dans les démarches préliminaires :

- d. Le début et la fin de la saison;
- e. L'évolution des conditions liées à la pratique du golf;
- f. Les conditions climatiques estivales moyennes (surplus/déficit en eau).

Résultats concernant le début et la fin de la saison

Selon *Lamothe & Périard (1988)* : la saison de golf débute lorsque le couvert de neige est complètement disparu et se termine à la dernière journée de l'année où la température moyenne de l'air dépasse 10°C. (Température ≥ 10 °C).

L'évolution des conditions liées à la pratique du golf

- a. Les conditions pluvieuses représentent généralement des conditions défavorables à la pratique du sport;
- b. Avec des extrêmes de température durant l'été, des problèmes de santé humaine tels que l'évanouissement, la fatigue et les maux de tête peuvent survenir
- c. Deux types de journée sont susceptibles de freiner la pratique du sport : les journées pluvieuses et les journées chaudes au-delà de 28 °C.

Les conditions climatiques estivales

- a. Le bilan hydrique partiel d'un terrain de golf met en relation l'apport en eau sous forme de précipitation et sa perte par évaporation;
- b. Une augmentation des températures pourrait avoir des impacts directs sur le bilan hydrique d'un terrain de golf (surplus et déficit saisonnier en eau). Cela implique un contrôle de l'eau à la fois avec un système d'irrigation et un de drainage.

Les conclusions préliminaires

- a. La saison de golf au Québec devrait débiter plus tôt et se terminer plus tard.
- b. L'occurrence de journées défavorables à la pratique du sport devrait augmenter étant donné les pluies plus abondantes et une augmentation des températures durant les mois d'été.
- c. Le bilan d'eau moyen des précipitations moins l'évaporation pour les saisons de golf futures, anticipe un surplus d'eau accru qui pose la question de la gestion du drainage.

5.0 Les réactions au changement et les différents éléments d'information

Tous les participants reconnaissent l'importance de comprendre et d'anticiper les changements climatiques afin de leur permettre de mieux planifier et de maximiser les rendements sur leurs investissements. En effet, l'achalandage pour l'industrie du golf dépend principalement des températures et de la santé économique.

1. Les indicateurs pendant la saison de golf

○ Les indicateurs climatiques

Les facteurs climatiques défavorables :

- Journées > à 30 °C pendant quelques jours.
- Journées de pluie (surtout en début de journée).
- Type de précipitations (intensité, durée).
- Humidité prolongée : elle peut favoriser des maladies.
- Sécheresse.
- Nombre d'heures d'ensoleillement (unités thermiques).

Le besoin de clarifier les scénarios de sécheresse et de précipitations intenses fait partie des préoccupations essentielles.

○ Les indicateurs économiques

La prolongation de la saison a peu d'impact sur l'achalandage.

75 % de l'achalandage est de juillet à septembre (avec un maximum pendant les vacances de juillet).

Les membres représentent 70 à 80 % de la clientèle en semaine et en fin de saison.

Les golfs qui accueillent des tournois se garantissent un certain revenu.

La fin de la saison est en général autour du 1^{er} novembre (seuil minimum de 10 °C).

Une approche comparative d'une région à l'autre, par rapport aux impacts climatiques, doit être menée.

Il faudrait d'ailleurs distinguer Québec et Charlevoix, au niveau des régions, pour cette étude.

Limite de la capacité d'accueil : environ 250 joueurs pour un 18 trous par jour (4 joueurs/8 minutes).

La préoccupation par rapport à la disponibilité en eau est faible dû à une certaine gestion autonome avec certains moyens comme les puits, les étangs...

Une région touristique ayant des attraits particuliers, favorise l'achalandage des terrains de golf.

- **Les indicateurs hors saison**

Pendant l'hiver :

- Facteurs négatifs : la pluie si la couche de neige est trop mince, éviter une fonte trop rapide à la fin de l'hiver pour éviter un surplus d'eau. Incidence gel et dégel. La glace. Stratégies d'adaptation : protection du gazon contre le vent et si la

couche de neige est trop mince. Importance du type de gazon (bent grass résiste mieux à la glace).

- Condition idéale : une neige abondante et une couverture continue (min 15 cm), un sol gelé en début de saison (avant la neige) pour éviter la croissance des champignons. Une coupure nette entre l'automne et l'hiver.

- **Les enjeux principaux**

- **Les enjeux liés au climat**

L'achalandage pour l'industrie du golf dépend principalement des températures.

Âge de la clientèle type : 40 ans et plus.

Le changement climatique : perçu comme un processus lent qui laisse un temps d'adaptation à cette industrie.

Une augmentation des périodes de sécheresse et d'humidité va nécessiter un contrôle accru des maladies du gazon.

Il y aura un impact sur l'entretien du gazon en fonction des variétés (unités thermiques) et des produits d'entretien (trop de pluie peut nuire à l'efficacité).

- **Les enjeux liés à l'économie**

La bonne ou mauvaise santé économique de l'industrie du golf dépend des fluctuations économiques et financières globales.

Les prévisions des météorologues sont souvent négatives, parfois d'une grande inexactitude et ont un impact important sur les réservations.

Il faudra adapter les investissements liés à la gestion de l'eau en fonction des modifications que pourraient subir le terrain.

Il faudra tenir compte de la réglementation par rapport au prélèvement d'eau (nouvelle contrainte potentielle).

De nouveaux investissements pour recycler et capter l'eau (importance de la qualité de l'eau : pH...) seront sans doute nécessaires.

5.12.2. Deuxième Rapport concernant le projet sur l'adaptation de l'industrie du golf au changement climatique (mai 2004)

Régions visitées : Laurentides, Cantons de l'Est, Québec/Charlevoix.

Nombre de golfs visités : 31

Importance du profil du golf qui va déterminer les choix qui sont faits : public, semi-privé (avec propriétaire unique ou détenu par des actionnaires qui sont membres), privé.

Nombre de trous possibles :

36 trous

21 trous

18 trous

9 trous

Perceptions par rapport à l'industrie du Golf:

La perception par rapport à l'avenir de l'industrie du golf est très diversifiée et va pour ainsi dire d'un extrême à l'autre, en passant par celui qui se situe à l'intersection de ces deux tendances. En effet, pour certains, l'industrie est stagnante, pour d'autres, en progression constante et pour le dernier groupe, en régression. L'explication ne se trouve pas forcément dans une vision complètement différente du marché mais se situe plutôt par rapport à la capacité d'adaptation au marché et à la clientèle ciblée.

Globalement, on voit se dessiner 2 grandes tendances : le marché traditionnel (plus sélectif) et un marché plus démocratique.

Il existe une certaine inquiétude quant à la saturation au niveau du nombre de terrains de golf (la concurrence est plus féroce en région en raison de l'ouverture de nombreux golfs proche de Montréal), le surnombre a entraîné aussi une baisse des prix.

Il semble nécessaire de redéfinir le produit car chacun doit trouver sa « niche » (son créneau), la compétition est de plus en plus forte et la clientèle de plus en plus sélective.

Certains prévoient une période de turbulence avec des fermetures de terrains dans les prochaines années mais ces fermetures permettront une certaine régulation du marché.

Certains golfs, par exemple dans les Basses-Laurentides, sont avantagés avec la proximité d'un grand centre comme Montréal.

Augmentation ou non de la clientèle :

Pour certains cette activité est de plus en plus populaire et pour d'autres elle n'augmente pas. Elle bénéficie encore, pour certains, du « phénomène Tiger Woods » qui a créé un engouement pour le golf auprès des jeunes à partir de 1997, pour d'autres, ce phénomène s'est déjà estompé et le marché se stabilise.

Il faut arriver à se démarquer en raison du nombre de terrains avec:

- des efforts dans des campagnes de promotion,
- des efforts pour assurer la relève auprès des jeunes (prix attractifs, sport étude golf, contacts avec des écoles),
- l'ajustement des tarifs en journée pour optimiser les différents moments de la journée,
- l'offre de forfaits.

La démocratisation du golf a permis le développement de terrains plus abordables qui touche une clientèle moins exigeante, de non initiés (vague de baby-boomers) qui recherchent le golf comme un loisir accessible. Il existe une idée que l'on veut que le golf devienne « à la portée de tout le monde ». Il s'opère une certaine démocratisation de cette activité mais il reste une clientèle d'adeptes qui mise encore beaucoup sur la performance. Il existe une réelle volonté de certains golfs de faire aimer cette activité comme étant une activité sociale et de plein-air.

Depuis plusieurs années on remarque aussi des efforts pour attirer la clientèle féminine. Certains terrains voient de plus en plus de couples.

Il existe aussi le développement de nouveaux golfs associés à des développements domiciliaires (clubs privés).

Il faut noter aussi l'influence des E.U sur les golfs au Québec (pour l'esthétique des terrains).

De nombreux efforts sont faits pour motiver la clientèle à jouer malgré tout, même si les températures ne sont pas parfaites.

Perceptions par rapport au changement climatique :

- Laurentides :

En saison :

Il existe une impression d'allongement en fin de saison mais une fermeture plus tard n'est pas avantageuse car la clientèle n'est plus là (surtout après l'Action de Grâce). Cependant cet allongement n'est pas toujours constaté.

Une canicule de 1 ou 2 semaines est systématique depuis 5-6 ans. Elle a pour conséquence plus de tâches brunes sur les verts, mais là encore est ce que cela est dû à la température ou au manque de budget?

Il ressort une impression de moins de pluie depuis 5 ans mais aussi d'une grande variabilité au niveau de la pluie d'une année à l'autre mais ceci n'est pas un fait nouveau.

Il ressort une impression que les journées plus chaudes et plus humides sont plus nombreuses.

En particulier pour l'année 2003 qui a eu plus de journées chaudes et humides, entraînant le développement de maladies et de champignons. Cette chaleur et cette humidité pendant l'été pourraient avoir des conséquences sur le gazon, car celui-ci est plutôt fait pour résister à des températures plus froides.

Depuis 2-5 ans les printemps sont pluvieux, particulièrement en avril 2003, il semblerait que les pluies sont plus abondantes et plus continues. Cette humidité provoque des maladies.

Certains constatent plus de variabilités en fin de saison (à l'automne).

En hiver :

Impression que la neige est plus tardive.

Il y a toujours eu des variabilités en hiver.

Conséquences très négatives des pluies et des températures très froides qui ont suivi durant l'hiver 2003-2004.

- Cantons de l'Est :

En saison :

Impression qu'il y a plus d'orages et plus violents. Un problème de sécheresse constaté une fois il y a 4 ans. Depuis 2 ans, le mois de mai est très humide, froid et avec du vent. La saison commence véritablement en juin. Depuis 2 ans également, les étés sont plus chauds avec plus de pluies.

Au cours des 3 dernières années : les précipitations ont augmenté en hiver et en été et il n'y a pas eu de grosses canicules.

Impression d'un allongement de la saison surtout à l'automne et tant qu'il n'y a pas de mauvaises conséquences sur le terrain, les terrains restent ouverts.

Impression de plus d'extrêmes depuis 7-8 ans avec plus de périodes de sécheresses (les verts doivent être arroser pendant la journée, ce qui n'était pas fait avant), plus de vents forts (tornades depuis 4-5ans), plus d'humidité.

Les journées humides supérieures à 30 degrés auraient augmenté.

En hiver :

Les 2 derniers hivers, ils ont eu beaucoup de neige et du froid, avant il y avait plus de pluie. Impression que les hivers sont plus rigoureux.

Impression aussi que depuis 10 ans il y a plus de périodes de pluies et de verglas, la couche de glace étant néfaste et empêche le dégagement du CO2 provoquant donc des moisissures et des maladies.

- Québec

En saison :

Certains parlent de phénomènes cycliques, depuis 2 ou 3 ans les printemps ne sont pas beaux.

Il semblerait que les étés sont plus chauds et plus secs.

Pas d'allongement de la saison et s'il y en avait un le bénéfice serait pour le début de la saison. Mais on ne le souhaite pas vraiment car une saison trop longue risque de faire perdre l'engouement pour le golf.

Sentiment d'un changement très lent mais avec des variations extrêmes.

Certains pensent que les saisons sont décalées avec un printemps retardé (pluvieux) et un automne plus beau et plus chaud.

Impression que les orages sont plus violents depuis 3-4 ans.

En hiver :

Très difficile cette année (beaucoup de pluies), le pire en 30 ans. Pas vraiment de tendance avant cet hiver.

Épaisse couverture de neige.

- Charlevoix

En saison :

Grands cycles avec des périodes de sécheresse et de pluie.

Étés très secs avant 2003

En hiver :

La neige arrive de plus en plus tard.

Les sources consultées pour le temps : l'impact encore une fois très négatif de l'annonce de la météo sur l'achalandage.

Caractéristiques des clubs de golf :

- Laurentides :

Ouverture :

- Elle se fait sensiblement toujours à la même période, même si certains ont constaté une ouverture plus tôt mais est ce que cela est dû au changement climatique ou alors à l'amélioration du drainage?
- Importance accordée aux conditions et à l'esthétique du terrain pour donner une bonne image du terrain dès le départ.
- Motivée par la température.
- Elle varie entre le 15 avril et début mai.

Fermeture :

- Par manque de clients, à partir d'un certain moment le gazon ne pousse plus et continuer l'activité risque de détériorer le gazon.
- Avec la 1^{ère} neige ou le 1^{er} gel.
- Elle varie entre fin octobre et début novembre.

Importance des microclimats dans une même région.

- Cantons de l'Est :

Ouverture:

- Elle varie entre la 2^e semaine d'avril et début mai.

- Peu de changement.
- Le plus tôt possible car les « vrais » golfeurs ont hâte de jouer.
- Elle est fonction de la température et/ou de la neige.
- Impression d'une ouverture 2 semaines plus tôt qu'il y a 10 ans environ.

Fermeture:

- Elle varie entre la mi-octobre et la mi-novembre.
- Plus tard qu'avant sauf pour les 2 derniers hivers.
- Elle est fonction de la température et/ou de l'arrivée de la neige.
- Elle est fonction des membres qui décident.
- Par manque de clients.
- Il semblerait que la fin de saison est plus longue mais ils n'en profitent pas car la clientèle n'est plus là et le fait d'être en région.

- Québec

Ouverture :

- Elle varie entre fin avril et début mai.
- En fonction de la neige et de la température.

Charlevoix : mi-mai (quand le terrain est prêt)

Fermeture :

- Elle varie entre fin octobre et début novembre.
- En fonction de la neige et des températures.
- Impression qu'elle se fait un peu plus tard qu'avant.

Charlevoix : mi-octobre (la clientèle n'est plus là)

Pour toutes les régions :

La période la plus importante : de mi-juin à mi-septembre, un certain constat que septembre est un mois plus achalandé car les conditions semblent meilleures et plus de gens prennent leurs vacances à cette période. Certains constatent un inversement de l'achalandage de la clientèle de juillet vers août.

L'irrigation : toujours présente, importance du drainage du terrain, complète ou non selon les terrains (en règle générale les départs et les verts sont toujours irrigués, et parfois les allées). La période de l'installation est très variable. Elle est surtout installée pour pallier à la sécheresse de certains étés, aussi pour répondre au besoin en eau de la végétation, pour une question d'esthétique, pour l'utilisation des produits de traitement. En résumé, le système d'irrigation est là pour améliorer la qualité du terrain, pour faciliter l'entretien et pour répondre aux exigences de la clientèle.

Aucun problème d'approvisionnement en eau surtout pour ceux qui s'approvisionnent dans une rivière qui passe sur le terrain. Mais il existe une certaine anticipation avec la création de lacs, réservoirs pour certains golfs.

Le gazon : sur les verts, le renouvellement se fait avec du Bent Grass qui devient avec le temps du Poa Annua.

Utilisation fréquente du Bent Grass pour les verts pour des raisons souvent plus esthétiques que climatiques. Le Bent Grass est aussi un gazon plus résistant au froid.

La clientèle : elle dépend des golfs (de la présence ou non d'hébergement, de la situation, de la vocation). Il existe une clientèle fixe et de plus en plus une clientèle avec des gens de passage (développement de circuits entre plusieurs terrains de golf, les gens recherchent une plus grande variété). Certains golfs diversifient leurs activités en proposant de l'hébergement sur place.

Profil de la clientèle :

65% des membres sont des retraités. De plus en plus de femmes, la moyenne aujourd'hui dans les golfs correspond environ à 70% d'hommes et 30% de femmes.

Virage pour certains vers une activité familiale.

Création des cliniques de golf pour les plus jeunes (initiation et théorie).

Moyenne d'âge :

Différence entre la semaine, les week-ends et les périodes de vacances.

2 groupes : 30 à 40 ans, 60 ans et plus.

Activités : ils organisent tous des tournois ce qui garantit pour certains une clientèle et une rentrée d'argent quel que soit le temps.

Perte de jours de golf : le 1^{er} facteur c'est la pluie (en fonction de sa force, du drainage, de la durée, du moment où elle tombe), ensuite la chaleur et l'humidité surtout pour les personnes âgées.

Brouillard dans la région de Québec/Charlevoix.

Préoccupations actuelles et futures :

L'allongement de la saison: il peut être intéressant ou non en fonction du statut administratif du golf. Il est fonction aussi de l'importance par rapport au coût du personnel en fin de saison (golfs familiaux peuvent se permettre d'ouvrir plus tard).

Constat relativement général que l'allongement de la saison serait plus profitable en début de saison pour l'activité golf.

Le mois de septembre est plus beau, certains en profitent, d'autres ne le trouvent pas forcément plus rentable, une grosse partie des golfeurs n'est plus là.

L'allongement de la saison peut être intéressant si les bénéfices peuvent être perçus par d'autres services (restauration, hébergement).

L'allongement de la saison serait peut-être dû à une volonté humaine avec notamment le déblaiement de la neige au printemps pour accélérer la préparation du terrain.

Globalement, les facteurs climatiques qui influencent l'achalandage sont la pluie et la chaleur mais les conséquences sont variables en fonction de la durée de ces facteurs, de l'âge de la clientèle, du terrain et de la vocation du club de golf.

Utilisation des fongicides, pesticides:

- plus on coupe le gazon, plus il est fragile, plus il a besoin d'eau et donc on utilise plus de fongicides.
- plus d'humidité augmenterait les traitements.
- application d'une nouvelle réglementation environnementale par le gouvernement pour l'utilisation des fongicides. Ces nouvelles normes environnementales plus strictes vont contraindre les gestionnaires de terrain de golf à utiliser des produits à la fois efficaces et plus naturels. Il apparaît une certaine contrariété par rapport à cette nouvelle réglementation, car la plupart des golfs sont dépendants des traitements pour améliorer l'esthétique du terrain (importance de l'image).

Projets :

Ce sont souvent des projets pour un agrandissement du terrain avec l'ajout de nouveaux trous.

On note une préoccupation grandissante envers la relève (jeunes) avec la création d'académies de golf, de cliniques de golf, de programmes pour les juniors, etc.

Une amélioration du système d'irrigation, avec l'idée prédominante d'améliorer l'esthétique du terrain.

Souvent les bénéfices sont réinjectés dans l'amélioration et l'entretien du golf.

Conclusions :

Le succès d'une bonne saison est fonction de la température.

Les gens recherchent la proximité.

Impression qu'il y a 2 profils :

- Les golfs axés sur l'esthétique, la performance, le haut de gamme.
- Les golfs perçus comme une activité de plein-air, sociale et plus abordable (moins exigeante).

Constat que les conditions climatiques n'ont pas eu véritablement d'incidences sur les coûts d'entretien mais plus sur la perception des gens.

De plus les gens sont beaucoup plus polyvalents, ils pratiquent d'autres activités : vélo, camping, pêche, tennis, etc. Ces activités rentrent maintenant en concurrence avec l'activité golf.

Impression que pour l'instant on ne peut rien rattacher au changement climatique, même pas l'augmentation des coûts de gestion. Si changement climatique il y a, il n'affecte encore pas la saison. La clientèle d'adeptes est plus exigeante par rapport aux conditions de golf. La pression vient de la clientèle et des standards qui sont plus élevés.

Malgré tout, il existe un constat d'une plus grande vigilance et d'une plus grande surveillance du terrain tout au long de l'année, est-ce pour des raisons climatiques ou économiques ou encore pour répondre à une demande de plus en plus exigeante?

Cependant l'entretien du terrain a du s'adapter davantage aux températures, surtout en début de saison car la demande est plus forte. Mais il existe tout de même une impression pour certains que l'entretien avant était plus facile grâce à une plus grande régularité dans les saisons.

Si effectivement la saison s'allonge à cause de changement climatique, cela pourrait être bénéfique pour le golf, mais cette situation reste très hypothétique. Le bénéfice est actuellement envisageable uniquement dans le contexte où le terrain de golf arrive à minimiser ses coûts de gestion (main d'œuvre) en fin de saison.

Impression qu'une médiatisation par rapport au changement climatique peut aussi influencer la perception des gens.

La recherche avance et il y a beaucoup d'amélioration pour avoir de meilleures conditions au printemps. Depuis 15-20 ans, il existe des couverts pour protéger les verts et accélérer la croissance du gazon au printemps.

En ce qui concerne le gel des terrains, il a toujours existé et la aussi la recherche s'améliore pour contrer ce problème.

Les changements sont plus liés à l'avancée de la recherche qu'à d'éventuels changements climatiques.

Plus grande conscientisation dans l'utilisation des fongicides : sensibilisation à l'environnement, impératif de minimiser les coûts et ils doivent se conformer aux exigences du gouvernement en fournissant un plan de réduction dans l'utilisation des traitements.

La qualité et l'apparence du gazon coûtent chers à l'environnement! Sensibiliser le public à ces données. La clientèle est de plus en plus exigeante à cause des médias. On veut un gazon parfait!

La qualité de drainage du terrain va influencer la nature des conséquences sur le terrain de golf. Un terrain bien drainé peut en retirer des avantages (moins d'irrigation nécessaire), un terrain mal drainé entraîne des coûts d'entretien supplémentaires car ils doivent ensuite utiliser plus de produits chimiques pour faire face aux problèmes de l'humidité.

Les coûts d'entretien du terrain sont essentiellement reliés à la main d'œuvre et aux produits.

La moyenne d'âge est plus jeune dans les golfs touristiques (publics).

SECTION 5 : SECTEUR PUBLIC - SKI et GOLF

6.0. Sommaire des rencontres avec les représentants du secteur public : ski et golf

➤ *Ministère des Affaires Municipales, Loisirs et Sports*

Le rôle de ce ministère est d'encadrer, de promouvoir et de gérer le volet compétitif du milieu sportif. Il offre également un soutien financier auprès des fédérations sportives (formation, gestion et encadrement des athlètes de haut niveau). Son mandat est de maintenir et d'encourager la pratique sportive de ces athlètes.

Les investissements ne sont actuellement pas dans les infrastructures. Cela s'est produit en 1983 pour le ski alpin (remontées mécaniques...) et a eu pour conséquence la création d'une suroffre. Le dernier investissement en infrastructure fut pour le Centre d'entraînement au Massif (région de Charlevoix).

Le produit ski fait partie des 5 à 6 premiers produits financés par ce ministère, avec le hockey sur glace et le soccer.

Plus spécifiquement, ce ministère travaille avec les organisations comme la FQSA (Fédération Québécoise du Ski Alpin).

L'organisation des fédérations au niveau du ski est la suivante :

- la FIS (Fédération Internationale du Ski)
- la FCS (Fédération Canadienne de Ski),
- les Fédérations régionales comme SKIBEC (région de Québec).

Au niveau des stations de ski ayant un certain calibre, il existe des clubs de compétition (99% sont privés à but lucratif). Ces clubs utilisent les facilités de la station et amènent une clientèle à la station.

Les critères qui déterminent le choix d'une station comme lieu pouvant accueillir un championnat :

- limite physique (dénivelée)

- sélection géographique (alternance Ouest et Est canadien)
- plateaux d'entraînement

Impression par rapport aux changements climatiques :

Il ressort pour le représentant du ministère une impression de plus de variabilités. Selon lui dans l'avenir, on « souffrira » des conséquences des changements climatiques.

Les préoccupations climatiques ne sont pas vraiment prises en compte dans la sélection du lieu pour les compétitions car les investissements en fabrication de neige par les stations de ski assurent les conditions nécessaires.

L'avenir dépend et repose sur l'équipement des stations.

➤ ***Royal Canadian Golf Association (RCGA)***

Mandat de cette association :

La RCGA travaille en collaboration avec les associations provinciales pour développer et fournir des programmes destinés à accroître la participation et à stimuler la croissance du golf au Canada. Elle a pour mission de favoriser l'essor du golf au Canada; de préserver les traditions et l'histoire du jeu; d'organiser et d'administrer les championnats nationaux de golf; d'exploiter des activités relatives au golf qui contribuent les revenus nécessaires à l'exploitation et à l'amélioration des programmes; d'assumer un rôle directeur sur le plan national et de représenter le Canada sur le plan international afin d'exercer une influence sur le développement du golf à travers le monde.

Il semblerait que l'intérêt pour l'activité golf soit croissant à travers le pays. 400 000 golfeurs sont actuellement membres de l'association.

Impressions par rapport aux changements climatiques :

Les principales préoccupations concernent les dommages hivernaux que l'on retrouve au printemps et qui sont principalement occasionnés:

- par la glace,
- le gel (manque de neige pendant l'hiver, gel au printemps),
- les moisissures (dues à un long couvert neigeux).

La présence de glace sur les terrains semble plus importante et plus préoccupante ces 5 dernières années.

La préoccupation face aux dommages hivernaux existe depuis plusieurs années. De mauvaises conditions climatiques hivernales ont des conséquences directes sur le bon fonctionnement de cette activité en saison. L'impact est d'ordre économique lorsqu'il concerne les conditions liées à l'ouverture du terrain et se traduit par un risque de perte de clientèle, une hausse des coûts d'entretien du terrain et un risque d'une ouverture plus tard.

Globalement, les besoins en protection hivernale et en irrigation pendant l'été sont croissants.

A ces préoccupations environnementales se rajoutent d'autres considérations sociales :

- le souci principal pour l'avenir du golf : être capable d'assurer une relève,
- au printemps, les gestionnaires veulent ouvrir leur terrain de plus en plus tôt,
- une autre contrainte pour le gazon : une coupe de plus en plus courte pour une question d'esthétique.

La RCGA fournit aux clubs membres des informations sur les dernières techniques de gestion du gazon, afin d'assurer aux golfeurs canadiens les meilleures conditions de jeu possibles tout en demeurant respectueux de l'environnement. La RCGA appuie la Fondation canadienne de recherche en gazons et le Système coopératif de réserve naturelle Audubon du Canada pour promouvoir la recherche et le développement dans les domaines de l'agronomie et de l'environnement.

Il ressort une nécessité de réduire les pesticides sur les terrains de golf. Les principaux moyens sont une éducation des gestionnaires et le développement des alternatives. Or, pour l'instant, il n'existe rien sur le marché pour remplacer les pesticides.

Une loi, dont l'application est prévue en avril 2006, va imposer une réduction de l'utilisation des pesticides.

La gestion de l'eau devient aussi une priorité. Et pour cela, une bonne construction du terrain est primordiale.

Il n'existe pas encore un constat de réelles conséquences des changements climatiques sur les golfeurs en été. La représentante de la RCGA a reconnu l'importance de l'influence des médias sur la perception par rapport aux changements climatiques.

➤ **SEPAQ**

La SEPAQ est une société d'état qui gère 22 parcs provinciaux, 16 réserves fauniques et 8 centres touristiques.

Elle reçoit en moyenne 5 millions de jours/visites. Elle n'est pas impliquée au niveau du ski alpin. En revanche, elle est une grande pourvoyeuse d'activités de plein-air comme la raquette et le ski de fond qui sont en croissance.

Elle fonctionne avec un plan d'affaire sur une base de 5 ans pour ses projets.

En vue de l'activité ski de fond, elle se préoccupe de l'aménagement des sentiers (bon couvert de neige) afin d'assurer les meilleures conditions pour la bonne pratique de ce sport pour la période importante qu'est Noël. Ce souci n'est cependant pas relié à un constat d'évolution du climat mais plus à une volonté d'être opérationnel et d'optimiser la période des fêtes. Un meilleur aménagement et entretien des sentiers est motivé permet de pouvoir fonctionner avec un minimum de neige.

Pour la région des Laurentides, il ne semble pas y avoir un véritable problème par rapport à l'enneigement. En revanche, en Estrie, les préoccupations sont plus présentes.

La SEPAQ est attentive aux moyens de maintenir un couvert neigeux suffisant pour certains parcours de ski de fond et s'intéresse notamment aux méthodes de fabrication de neige utilisées en Nouvelle-Angleterre avec des canons à neige mobiles.

Il existe une préoccupation de maintenir l'intérêt des gens pour les activités hivernales lorsqu'ils ne sont pas dans un environnement de neige.

Il ressort aussi une impression que le nombre de randonnées pédestres en septembre-octobre augmente depuis 4-5 ans.

Le défi de la SEPAQ est de constamment faire des ajustements pour le bon fonctionnement de ces activités tout en préservant l'environnement.

Même si la SEPAQ, ne s'occupe pas du ski alpin, des stations de ski sont installées dans 3 de ses parcs (Orford, St Bruno, Mt tremblant). Ces stations ont un bail, elles doivent prendre en considération la protection de l'environnement et elles doivent avoir des autorisations pour prélever l'eau dans le but de fabriquer de la neige.

➤ *ATR Québec*

Cette Association Touristique Régionale (ATR) fait la promotion touristique des activités pour le ski alpin et le ski de fond mais ne s'occupe pas du golf.

Elle est peu préoccupée, ni inquiète par les changements climatiques qui sont peu visibles dans cette région et espère même bénéficier de la clientèle des cantons de l'est et du nord des E.U, deux secteurs géographiques qui semblent plus touchés par les changements climatiques.

Les changements climatiques associés à un réchauffement des températures sont davantage perçus comme des opportunités dans une région où il fait très froid l'hiver et où la saison estivale est courte. Il n'existe pas de préoccupation par rapport à l'enneigement car cette région a toujours eu de la neige.

La principale préoccupation de l'ATR est de faire venir les gens. Elle diversifie son offre afin d'aller chercher plus de clientèle en proposant des circuits en été et des longs séjours en hiver avec hébergement.

Un problème qui a été soulevé et qui pourrait avoir des conséquences pour les activités, est le vieillissement de la population.

➤ *ATR Laurentides*

Pour la région des Laurentides, le ski et le golf sont des produits d'appel. La région compte 14 stations de ski et environ 40 terrains de golf. La mise en marché pour le produit ski est plus importante que pour le golf (ski : clientèle de destination, golf : excursionnistes).

L'activité ski alpin est garantie avec la fabrication de la neige. Ce n'est plus seulement le produit ski seul qui est vendu mais on souhaite vendre une expérience hivernale avec le développement d'activités complémentaires, en réponse surtout à une demande de la clientèle.

Cette association touristique a remarqué des changements climatiques ces dernières années, surtout en début de saison hivernale pour certaines activités.

Il semblerait qu'il y ait un problème pour garantir les départs des motoneiges pour les tours opérateurs depuis 2-3 ans. La période la plus sécuritaire pour prévoir ces départs serait reportée entre début janvier à fin février plutôt que décembre.

En réponse à ce constat, il y a eu un gros développement du réseau de sentiers de VTT (véhicules tout terrain) dans la région. On cherche à diversifier en développant des sentiers 4 saisons au profit des VTT.

Depuis 3 ans, le Salon de la motoneige est devenu le Salon sport et récréatif.

Au niveau de la promotion des activités hivernales, les actions publicitaires sont repoussées en janvier/février au lieu du mois de novembre et un peu avant Noël. Il semble qu'une planification soit plus difficile aujourd'hui, elle se fait plus au jour le jour.

➤ *ATR Cantons de l'Est*

L'ATR se concentre et développe des produits touristiques pour les exporter. Le tourisme dans les cantons de l'Est souhaite une diversification de l'offre avec la villégiature, la gastronomie et le développement des aventures douces.

Le golf est un produit secondaire qui a une bonne notoriété et un bon achalandage essentiellement avec une clientèle locale. Il y a eu une augmentation du nombre de terrains de golf dans la région (40). Il existe une difficulté pour le golf de se développer en tant que produit touristique dans la région. La plupart des clubs ne peuvent faire la promotion de cette activité à l'extérieur car ils n'ont pas d'hébergement sur place.

En ce qui concerne le ski alpin, il est considéré comme un produit d'appel mais il existe un problème de développement des montagnes car ce sont pour la plupart de vieilles stations, sauf la station de Bromont.

Impression par rapport aux changements climatiques :

Pour la période hivernale, il ressort une impression de cycles. Il y a fréquemment des redoux qui entraînent une perte de la couverture neigeuse et vont avoir un effet dévastateur au niveau de la perception des clients (surtout pour la clientèle non régulière) même si le matériel est là pour réparer les aléas.

Cependant beaucoup de stations de ski se heurtent à un vieillissement du matériel de fabrication de neige à cause d'un manque de fonds, Bromont étant encore une exception.

En ce qui concerne les actions publicitaires, elles sont toujours faites à la même période. L'ATR considère qu'il y a toujours eu des aléas climatiques. Il n'existe pas de gestion des changements climatiques en tant que telle au niveau de l'ATR mais cette dernière doit plutôt gérer une clientèle plus informée et plus préoccupée.

➤ *ATR Charlevoix*

Le ski alpin est un produit d'appel qui génère beaucoup de nuitées en hiver (dû en partie à la station du Massif). Il y a une croissance du parc hôtelier.

Le golf est une destination secondaire qui ne génère pas beaucoup de nuitées.

Il semble qu'il se développe une nouvelle façon de voyager avec notamment des séjours plus courts.

Impression par rapport aux changements climatiques :

Les changements climatiques et les activités ski/golf : il existe des préoccupations mais ils n'ont pas constaté de décalage dans les saisons pour ces deux activités.

Un constat : la forfaitisation est en perte de vitesse liée d'une part à la température (plus aléatoire) et à l'indépendance de plus en plus grande des gens.

Le mandat de l'ATR est de stimuler l'intérêt pour la saison hivernale, de positionner la région de Charlevoix. Leur campagne de promotion touche surtout la période après Noël.

Les séjours de dernière minute sont de plus en plus présents en été comme en hiver.

Ils souhaitent surtout maintenir le marché québécois et essayent de percer au niveau du marché de l'Ontario.

➤ ***Fédération Canadienne des Municipalités***

La mise en place d'un comité environnemental au niveau de la fédération a permis de prendre un leadership dans ce domaine car le gouvernement fédéral ne donnait pas de ressources en matière de protection environnementale.

Au niveau du climat, il existe le club des 20 % qui souhaite encourager les municipalités à réduire de 20 % leur gaz à effet de serre.

La fédération est partenaire dans la protection du climat au niveau de la gestion des transports et des déchets. Elle n'est cependant aucunement impliquée en ce qui concerne l'offre touristique des municipalités.

➤ ***CLD Charlevoix***

Le ski alpin est un produit d'appel pour la région, les orientations sont prises en fonction de cette activité. Il existe cependant un développement d'autres événements et attraits

afin de pallier à de mauvaises conditions météorologiques, comme par exemple des événements à caractère culturel.

Il ressort une impression que les changements climatiques sont encore un peu insaisissables. Les aléas du climat sont déjà pris en compte dans les processus décisionnels en optant pour une plus grande diversité de l'offre au niveau touristique pour répondre à la demande quelque soit la température.

Globalement, les préoccupations se situent davantage au niveau de l'accessibilité de la région qu'aux changements climatiques.

➤ ***CLD Memphrémagog***

La MRC est en train de mettre en place son plan d'aménagement en tourisme dont découlera un plan d'action au niveau du CLD.

Les préoccupations par rapport aux conditions météorologiques sont prises en considération au niveau du développement de la région avec notamment la volonté de favoriser les activités « 4 saisons » et de contrer ainsi une trop grande saisonnalité et d'éventuels aléas climatiques.

➤ ***Ministère de l'éducation et Fédération des commissions scolaires***

En ce qui concerne la flexibilité et l'étalement de la semaine de relâche (question posée par les gérants des stations de ski), elle n'est pas gérée par le ministère de l'éducation mais directement par les différentes commissions scolaires.

Concernant les changements climatiques, les nouveaux programmes au niveau du ministère prennent en considération une sensibilisation aux changements climatiques.

➤ ***Chambre de commerce Orford***

Elle nous réfère au CLD.

➤ ***Chambre de commerce Saint-Sauveur***

Son mandat est de motiver l'économie locale et promouvoir la vallée de St Sauveur. Les changements climatiques ne sont pas un souci.

Mais il existe une impression que depuis 3 ans les automnes sont plus longs et plus intéressants. Les kiosques et les événements touristiques sont plus fréquents pour cette période.

➤ *Conseil canadien du ski*

Les facteurs climatiques ne sont pas pris en considération dans les études statistiques.

Il nous réfère aux associations régionales.

Conclusion :

La gestion des changements climatiques n'est pas encore à l'ordre du jour au sein des organismes publics. Les préoccupations face à ce phénomène sont peu notables et certains acteurs en soulignent plutôt les opportunités à moyen terme comme des hivers moins froids. Cependant, dans certaines régions comme les Laurentides, des variations climatiques ont été constatées ces dernières années (hivers plus tardifs) et des ajustements ont déjà été amorcés au niveau de l'offre de certains produits touristiques comme la motoneige versus les VTT.

Une diversification des produits touristiques offerts est déjà enclenchée, motivée par certains acteurs par une demande de la clientèle et/ou une saison météorologique plus aléatoire.

Globalement, les acteurs publics ont notés plus de changements météorologiques au Québec pendant la période hivernale qu'estivale.

SECTION 6 : CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

7.0 Conclusions et recommandations

En se fiant sur les résultats des sections précédents, il est évident que les changements climatiques et ses variabilités vont avoir les impacts importants sur les secteurs de ski et de golf au Québec. Selon les trois scénarios climatiques (CGCM1, HadCM3 A et HadCM3 B), pour les deux périodes futures (2010-2039 et 2040-2069) et pour les trois régions ciblées (Montréal-Laurentides, Québec-Charlevoix et Les Cantons de l'Est), il y aurait des changements importants de certains paramètres climatiques clés, dont la température et la précipitation, ce qui vont engendrer les impacts plutôt négatifs et plus pour l'industrie de ski que celui de golf.

7.1 Conclusions et recommandations : ski

Pour le secteur de ski, on constate les conclusions suivantes;

- Les impacts sur la durée de la saison et les conditions pendant la saison vont varier selon les régions, les périodes futures et les scénarios climatiques.
- Il y aura une diminution de la saison de ski marqué dans les prochaines années, surtout pour les régions situées plus au sud du Québec: Montréal et les Cantons de l'Est.
- Au Québec, la plupart des stations aujourd'hui fonctionnent avec de la neige fabriquée si bien que l'accumulation de neige naturelle n'est plus un critère déterminant.
- La saison de ski, même en fabricant la neige à -2°C ou à -5°C , risque d'être sérieusement compromise, pour les Cantons de l'Est (Sutton) se limitant à 67 jours (à -5°C) à 90 jours (à -2°C) (2010-2039) et à 36 jours (à -5°C) à 68 jours (à -2°C) (2040-2069).
- Pour le secteur de ski il ya des périodes critiques de gagne de revenu, surtout pour les touristes venant de l'extérieur (États-Unis, Ontario, Europe) : la fête de l'action de Grace au États-Unis à la fin de novembre, les vacances de Noël en fin-

décembre- début janvier, la relâche du début de mars et, dans certains cas les vacances de pâques au début d'avril. En effet, Les stations planifient la rentabilité de leur saison en prévoyant réaliser un tiers de leur chiffre d'affaire à Noël, un tiers en janvier et février, et un tiers en mars pendant les périodes de congé.

- Dans certains cas, les périodes critiques, telles le Noël et la relâche du début de mars et les vacances de pâques au début d'avril seront complètement ratées, avec des pertes importantes de revenu.
- La fabrication de neige, si ce n'est pas déjà le cas, pourrait être la seule méthode pour continuer à fonctionner. Mais pour les centres de ski au sud du Québec, comme les Cantons de l'Est, celle-ci sera affectée par la durée de saison raccourcie et les conditions douces et pluviales à l'intérieur de la saison.
- D'autre part, Le réchauffement (moins de froid et de vent) pourrait augmenter le nombre de journées skiables.
- La capacité à s'approvisionner en eau pour fabriquer la neige devient un enjeu critique. Cet approvisionnement provient essentiellement du bassin versant et en partie de bassins adjacents. Ces prélèvements doivent être autorisés par le ministère de l'Environnement qui exige des débits réservés. D'après plusieurs études il y aurait une baisse dans les niveaux d'eau dans les cours d'eau (lacs, fleuves, rivières) au sud du Québec dans le futur, ce qui va provoquer une compétition plus accrue pour l'utilisation de l'eau pour fabriquer la neige.
- Au niveau de l'adaptation, les stations de ski reconnaissent l'importance de comprendre et d'anticiper les changements climatiques afin de leur permettre de mieux planifier et de maximiser les rendements sur leurs investissements.
- La capacité d'investissement pour produire suffisamment de neige, la nécessité de diversifier les activités notamment pendant l'été avec le vélo de montagne (Mont Ste Anne) et l'importance de renouveler régulièrement son infrastructure font partie des impératifs primordiaux, en matière d'investissements, auxquels devront faire face les stations de ski dans les prochaines années. Les contraintes : cette capacité doit tenir compte des coûts de production de neige qui sont de plus en plus élevés auxquels il faut ajouter la hausse de la tarification électrique et des taxes foncières, l'amortissement du matériel sur 7 ans qui ne reflète pas la réalité qui est plus près de 25 à 30 ans.

- La compétition pour le bassin de clientèle de skieurs risque aussi de changer dans le futur.
- La situation actuelle : il existe aujourd'hui environ 84 stations de ski au Québec dont 15 stations représentent 70% du marché et une douzaine sont tournées vers l'extérieur du Québec. Ces dernières sont déjà en concurrence avec l'est et l'ouest de l'Amérique du Nord notamment à cause du marché du centre des États-Unis.
- Les conséquences : une hausse trop importante des températures pourrait modifier l'approche marketing des stations au Québec qui pourrait bénéficier ainsi d'une clientèle supplémentaire venant du sud de la province (États-Unis). Par contre, de mauvaises conditions météorologiques pourraient entraîner une baisse immédiate de l'achalandage surtout vers les stations qui drainent une clientèle locale et régionale (rôle important des prévisions diffusées par les médias).
- Dans l'ensemble bon nombre des stations souhaitent une croissance de leur domaine skiable avec une vision/perception relativement positive du marché. Cette augmentation est liée en grande partie à une amélioration ou à des investissements dans l'équipement pour la fabrication de neige.
- La tendance générale va vers une augmentation de la neige fabriquée mais certaines stations font ressortir encore l'importance de la neige naturelle qui permet une certaine fidélisation de la clientèle grâce à l'excellente qualité de ski qu'elle procure et qui permet de se démarquer par rapport à la concurrence. Elle est devenue pour certains un outil de marketing alors que d'autres parlent seulement de cette neige naturelle comme étant un simple élément du décor mais tout de même très importante dans l'imaginaire des gens.
- Les changements climatiques associés à un réchauffement des températures sont davantage perçus comme des opportunités dans une région où il fait très froid l'hiver et où la saison estivale est courte. Il n'existe pas de préoccupation par rapport à l'enneigement car cette région a toujours eu de la neige.
- Plusieurs facteurs (économiques, culturels, climatiques...) influencent à des degrés différents les stations en lien direct avec leur profil (la taille, la situation géographique, la clientèle ciblée (bassin de population)...). Il semblerait que les préoccupations économiques et sociales priment sur les préoccupations climatiques même si celles-ci ne sont pas complètement écartées.

- Depuis plusieurs années, l'industrie du ski a dû s'adapter à de nouvelles habitudes de consommation axées vers des activités moins coûteuses, à la croissance de la concurrence avec d'autres activités de plein air due à la multiplicité des activités offertes (au printemps et pendant la saison), à des nouveaux phénomènes de société comme la consommation excessive et rapide d'activités de loisirs due en partie à une modification du contexte familial où les deux parents travaillent et à un accès à l'information de plus en plus facile, vaste et pointu.
- Récemment, il y aurait une légère reprise de l'industrie du ski suite à des efforts consentis pour innover, pour développer de nouveaux créneaux (planche à neige, mini-ski, parc à neige, snow scoot,...) afin non seulement de se démarquer par rapport à la concurrence mais aussi pour répondre à une clientèle de plus en plus exigeante et de plus en plus sélective.
- Pour rendre cette activité plus abordable au niveau des tarifs et ainsi faciliter son accès à un plus large bassin de population, on voit apparaître des nouvelles campagnes de promotions comme par exemple la mise en place par l'ASSQ, du livret Passe Partout ces dernières années.
- Des efforts sont faits pour aller chercher les jeunes afin de renouveler la clientèle : développement de nombreuses écoles de ski offrant des formules de plus en plus variées, un partenariat croissant avec les établissements scolaires, la mise en place de nouvelles activités plus attractives pour les plus jeunes comme les parcs à neige, un effort est fait également pour intégrer cette activité chez les immigrants et leurs enfants.
- La gestion des changements climatiques n'est pas encore à l'ordre du jour au sein des organismes publics. Les préoccupations face à ce phénomène sont peu notables et certains acteurs en soulignent plutôt les opportunités à moyen terme comme des hivers moins froids. Cependant, dans certaines régions comme les Laurentides, des variations climatiques ont été constatées ces dernières années (hivers plus tardifs) et des ajustements ont déjà été amorcés au niveau de l'offre de certains produits touristiques comme la motoneige versus les VTT.
- Une diversification des produits touristiques offerts est déjà enclenchée, motivée par certains acteurs par une demande de la clientèle et/ou une saison météorologique plus aléatoire.

- Enfin, on constate que les changements futurs du climat vont avoir un impact certain sur plusieurs sphères économiques, sans parler de celles écologiques. Il faut rester à l'affût des nouvelles recherches et technologies dans le but de prévenir les impacts néfastes dans la majorité des secteurs de notre société.

7.1 Conclusions et recommandations : golf

Pour le secteur de golf, on constate les conclusions suivantes;

- En général, pour l'ensemble de stations et de régions, la durée de la saison de pratique de golf augmente significativement avec les périodes, allant de deux à trois semaines.
- L'allongement de la saison peut être intéressant ou non en fonction du statut administratif du golf. Il est fonction aussi de l'importance par rapport au coût du personnel en fin de saison (golfs familiaux peuvent se permettre d'ouvrir plus tard). Constat relativement général que l'allongement de la saison serait plus profitable en début de saison pour l'activité golf. Le mois de septembre est plus beau, certains en profitent, d'autres ne le trouvent pas forcément plus rentable, une grosse partie des golfeurs n'est plus là. L'allongement de la saison peut être intéressant si les bénéfices peuvent être perçus par d'autres services (restauration, hébergement). L'allongement de la saison serait peut-être dû à une volonté humaine avec notamment le déblaiement de la neige au printemps pour accélérer la préparation du terrain.
- L'occurrence de journées défavorables à la pratique du sport devrait augmenter étant donné les pluies plus abondantes et une augmentation des températures durant les mois d'été.
- L'occurrence de canicules augmente aussi significativement ainsi que les précipitations.
- La discontinuité plus accentuée des précipitations va demander une attention particulière pour l'irrigation pendant les périodes chaudes estivales. Ceci sera attribuable à une précipitation plus ou moins stables ou légèrement plus élevée

confrontée par une hausse d'évapotranspiration plus significative pour l'ensemble des régions.

- Les nouvelles normes environnementales plus strictes vont contraindre les gestionnaires de terrain de golf à utiliser des produits à la fois efficaces et plus naturels. Il apparaît une certaine contrariété par rapport à cette nouvelle réglementation, car la plupart des golfs sont dépendants des traitements pour améliorer l'esthétique du terrain (importance de l'image).
- Les gestionnaires des gazons de golf de la région du sud du Québec doivent donc trouver de moyens pour éliminer le déficit potentiel de l'eau attendu.
- Les surintendants des gazons doivent disposer de substituer les espèces gazonnantes moins résistantes au climat sec par des espèces plus résistantes. Par exemple, de substituer le pâturin annuel par l'agrostis traçante.
- On remarque que les espèces pourraient être plus endommagées pendant la période hivernale. Les périodes de redoux en hiver sont celles qui pourraient causer le plus de dommages dans le futur, entraînant une perte de robustesse et la formation de glace. L'explication possible : l'hiver change plus de caractère que l'automne, qui conserve ses caractéristiques particulières malgré les fluctuations dans sa durée.
- Les espèces de gazon pourraient être plus endommagées pendant la saison estivale. Ils peuvent être atteints, de plus en plus, par des bactéries affectant les gazons par de fortes chaleurs.
- La prolongation de la saison a peu d'impact sur l'achalandage : 75 % de l'achalandage est de juillet à septembre (avec un maximum pendant les vacances de juillet).
- Les membres représentent 70 à 80 % de la clientèle en semaine et en fin de saison.
- Les golfs qui accueillent des tournois se garantissent un certain revenu.
- La fin de la saison est en général autour du 1^{er} novembre (seuil minimum de 10 °C, durée d'ensoleillement, d'autres intérêts...).
- La bonne ou mauvaise santé économique de l'industrie du golf dépend des fluctuations économiques et financières globales.

- Les prévisions des météorologues sont souvent négatives, parfois d'une grande inexactitude et ont un impact important sur les réservations.
- Il faudra adapter les investissements liés à la gestion de l'eau en fonction des modifications que pourraient subir le terrain. Il faudra aussi tenir compte de la réglementation par rapport au prélèvement d'eau (nouvelle contrainte potentielle). De nouveaux investissements pour recycler et capter l'eau (importance de la qualité de l'eau : pH...) seront sans doute nécessaires. Il y a besoin d'une plus grande conscientisation dans l'utilisation des fongicides : sensibilisation à l'environnement, impératif de minimiser les coûts et ils doivent se conformer aux exigences du gouvernement en fournissant un plan de réduction dans l'utilisation des traitements. La qualité et l'apparence du gazon coûtent chers à l'environnement! Sensibiliser le public à ces données. La clientèle est de plus en plus exigeante à cause des médias. On veut un gazon parfait!
- Il existe une certaine inquiétude quant à la saturation au niveau du nombre de terrains de golf (la concurrence est plus féroce en région en raison de l'ouverture de nombreux golfs proche de Montréal), le surnombre a entraîné aussi une baisse des prix.
- Il semble nécessaire de redéfinir le produit car chacun doit trouver sa « niche » (son créneau), la compétition est de plus en plus forte et la clientèle de plus en plus sélective. Certains prévoient une période de turbulence avec des fermetures de terrains dans les prochaines années mais ces fermetures permettront une certaine régulation du marché.
- Il semblerait avoir une augmentation de la clientèle. Pour certains cette activité est de plus en plus populaire et pour d'autres elle n'augmente pas. Elle bénéficie encore, pour certains, du « phénomène Tiger Woods » qui a créé un engouement pour le golf auprès des jeunes à partir de 1997, pour d'autres, ce phénomène s'est déjà estompé et le marché se stabilise.
- Les terrains de golf doivent arriver à se démarquer en raison du nombre de terrains avec: des efforts dans des campagnes de promotion, des efforts pour assurer la relève auprès des jeunes (prix attractifs, sport étude golf, contacts avec des écoles), l'ajustement des tarifs en journée pour optimiser les différents moments de la journée et l'offre de forfaits.

- A titre d'adaptation aux changements climatiques, il existe un constat d'une plus grande vigilance et d'une plus grande surveillance du terrain tout au long de l'année, est-ce pour des raisons climatiques ou économiques ou encore pour répondre à une demande de plus en plus exigeante? Cependant l'entretien du terrain a du s'adapter davantage aux températures, surtout en début de saison car la demande est plus forte. Mais il existe tout de même une impression pour certains que l'entretien avant était plus facile grâce à une plus grande régularité dans les saisons.
- Si effectivement la saison s'allonge à cause de changement climatique, cela pourrait être bénéfique pour le golf, mais cette situation reste très hypothétique. Le bénéfice est actuellement envisageable uniquement dans le contexte où le terrain de golf arrive à minimiser ses coûts de gestion (main d'œuvre) en fin de saison.
- Il ya l'impression qu'une médiatisation par rapport au changement climatique peut aussi influencer la perception des gens.
- La recherche avance et il y a beaucoup d'amélioration pour avoir de meilleures conditions au printemps. Depuis 15-20 ans, il existe des couverts pour protéger les verts et accélérer la croissance du gazon au printemps.
- En ce qui concerne le gel des terrains, il a toujours existé et la aussi la recherche s'améliore pour contrer ce problème.
- Les changements sont plus liés à l'avancée de la recherche qu'à d'éventuels changements climatiques.

La qualité de drainage du terrain va influencer la nature des conséquences sur le terrain de golf. Un terrain bien drainé peut en retirer des avantages (moins d'irrigation nécessaire), un terrain mal drainé entraîne des coûts d'entretien supplémentaires car ils doivent ensuite utiliser plus de produits chimiques pour faire face aux problèmes de l'humidité.

Les coûts d'entretien du terrain sont essentiellement reliés à la main d'œuvre et aux produits.

Références ; secteur ski

1. BÉLANGER G., P. ROCHETTE, A. BOOTSMA, Y. CASTONGUAY and D. MONGRAIN, *Impacts des changements climatiques sur les risques de dommages hivernaux aux plantes agricoles pérennes*, Fond d'Action pour les Changements Climatiques, Projet A084, 2001.
2. DAVEY, N., 2005. The potential impacts of climate change on the snow cover and its implications for three single-sites in southern Québec. Projet de fin de baccalauréat. Département de géographie, Université de Montréal, 25 p.
3. ENVIRONNEMENT CANADA, CD de données climatologiques, Est du Canada, 2001.
4. FUKUSHIMA, T., M. KUREHA, N. OZAKI, Y. FUJIMORI and H. HARASAWA, 2002. Influences of air temperature change on leisure industries: case study on ski activities, *Mitigation and adaptation Strategies for Global Change*, 7 : 173-189.
5. LAMOTHE A.M. and G. PÉRIARD, *Prospective du changement climatique pour les ressources naturelles du Québec phase I : l'industrie du ski alpin*, Rapport préparé pour Environnement Canada, 142 p., 1987.
6. PÉCHEUX, I., 2005. L'adaptation des industries touristiques du ski et du golf au Québec face aux changements et à la variabilité climatiques. Rapport de stage (GÉO 6022). Département de Géographie, Université de Montréal, 65p.
7. SCOTT Daniel, Geoff MCBOYLE, Brian MILLS, Brenda JONES, Christopher LEMIEUX, Stephen STEVENSON and Geoff WALL, *The Vulnerability of Winter Recreation to Climate Change in Ontario's Lakelands Tourism Region*, Occasional Paper Number 18, Department of Geography Publications Series, University of Waterloo, 87 p., 2002.
8. BROWN R. and R. BRAATEN, *Spatial and Temporal Variability of Canadian Monthly Snow Depths: 1946-95*, *Atmosphere-Ocean*, 36, 1, pp. 37-54, 1999.
9. UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS, *Snow Hydrology: Summary Report of the Snow Investigations*, Portland, Oregon, North Pacific Division, 437 p., 1956.
10. WILBY Robert L. and Christian W. DAWSON, *Using SDSM – A Decision Tool for Assessment of Regional Climate Change Impacts*, User Manual, 64 p., 2001.
9. WILBY R.L. and T.M.L WIGLEY, *Downscaling General Circulation Model Output: a Review of Methods and Limitations*, *Progress in Physical Geography*, 21, 4, pp. 530- 548, 1997.

Références ; secteur golf

Baier W. and Robertson G. W. 1965. Estimation of Latent Evaporation from Simple Weather Observations. *Can. J. Plant Sci.* **45**: 276-284.

Beard, J.B. 1969. Effect of temperature stress on *Poa annua*. California Turfgrass Culture. Vol. 19 (1): 1-2.

Beard, J. M. 1973. Turfgrass: Science and Culture. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J. 658p

Boer, G.J., Flato, G.M., Reader, M.C., Ramsden, D., 2000a. A transient climate change simulation with historical and projected greenhouse gas and aerosol forcing: experimental design and comparison with the instrumental record for the 20th century. *Climate Dynamics*, **16**: 405-425.

Boer, G.J., Flato, G.M, and Ramsden, D., 2000b. A transient climate change simulation with historical and projected greenhouse gas and aerosol forcing: projected climate for the 21st century. *Climate Dynamics*: **16**, 427-450.

Brassard, J. P. 2003. Évaluation des impacts de la hausse de la concentration atmosphérique du CO₂ et des changements climatiques sur la production agricole du Québec. Université de Montréal. Mémoire de maîtrise. 193 p.

Brede, A.D., and J.M. Duich. 1984. Establishment characteristics of Kentucky bluegrass-perennial ryegrass turf mixtures as affected by seeding rate and ratio. *Agronomy Journal* **76**:875–879.

Brede, A.D., and J.M. Duich. 1986. Plant interaction among *Poa annua*, *Poa pratensis*, and *Lolium perenne* turfgrasses. *Agronomy Journal*, **78**:179–184.

Cann, D. B., Lajoie, P. et Stobbe, P.C. 1948. *Études des sols des Comités de Shefford, Brome et Missiquoi dans la province de Québec*. Ottawa.

Carte des sols des Îles de Montréal-Jesus-Bizard. 1952. Ottawa.

Desjardins, Y. et Dionne, J. 1997. Protection hivernale des verts de golf de pâturin annuel (*Poa annua* L.). Université Laval, Québec, Canada. Rapport de Recherche de la FCRG. <http://www.rcga.org/french/GreenSection/PDF/>

Dionne, J., Castonguay, Y., et Rochette, P. 2000. Tolérance du pâturin annuel (*Poa annua* L.) à des températures sous le point de congélation et aux protections imperméables. Rapport de Recherche de la FCRG. <http://www.rcga.org/french/GreenSection/PDF/>

Dionne, J. 2001. Protection hivernale et tolérance au froid du pâturin annuel (*Poa annua* var. reptans). Université Laval, Québec. Thèse de Doctorat.

Dionne, J., Castonguay, Y., Nadeau, P. and Desjardins, Y. 2001. Freezing Tolerance and Carbohydrate Changes during Cold Acclimation of Green-Type Annual Bluegrass (*Poa annua* L.) Ecotypes. *Crop Sci.* **41**: 443-451.

Dionne, J., Castonguay, Y., Nadeau, P. and Desjardins, Y. 2001. Turfgrass Science. Amino Acid and Protein Changes during Cold Acclimation of Green-Type Annual Bluegrass (*Poa annua* L.) Ecotypes. *Crop Sci.* **41**: 1862-1870.

Dionne, J., Castonguay, Y., et Rochette, P. 2004. Tolérance du pâturin annuel (*Poa annua* L.) à des températures sous le point de congélation et à des conditions d'anoxie. Rapport de Recherche de la FCRG. <http://www.rcga.org/french/GreenSection/PDF/>

Easterling, W. E., Chhetri, N. and Niu, X. 2003. Improving the Realism of Modeling Agronomic Adaptation to Climate Change: Simulating Technological Substitution. *Climatic Change* **60**: 149-173.

Flato, G.M., Boer, G.J., Lee, W.G., McFarlane, N.A., Ramsden, D., Reader, M.C., and Weaver, A.J., 2000. The Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis Global Coupled Model and its Climate. *Climate Dynamics*, **16**: 451-467

Gordon, C., Cooper, C., Senior, C. A., Banks, H., Gregory, J., M., Johns, T., C., Mitchell, J., Wood, R., A. 2000. The Simulation of SST, Sea Ice Extents and Ocean Heat Transports in aversion of the Hadley Centre Coupled Model without Flux Adjustments *Climate Dynamics* **16**: 147-168

Huand, B., Xu, Q. 2002. *Cooler soil protects creeping bentgrass*. USGA. <http://www.gcsaa.org/gcm/2002/oct02/PDFs/10Cooler.pdf> consulté le 2006-01-09

IPCC. 2001. Climate Change 2001: the scientific basis. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Lajoie, P. et Baril, R. 1956. Les sols de ville de Montréal, de l'île Jesus et de l'île Bizard dans la province de Québec. Ministère de l'Agriculture de Québec. Ottawa.

Lambert, S., J. and Boer, G., J. 2000. CMIP1 evaluation and intercomparison of coupled climate models. *Clim. Dyn.*, **17**: 83-106.

Lush, W. M. 1988. Biology of *Poa annua* in a Temperate Zone Golf Putting Green (*Agrostis stolonifera*/*Poa annua*) I. The Above-Ground Population. *Journal of Applied Ecology* **25**: 977-988.

McFarlane, N.A., Boer, G.J. Blanchet, J.-P. and Lazare, M. 1992: The Canadian Climate Centre Second-Generation General Circulation Model and Its Equilibrium Climate. *J. Climate*, **5**:1013-1044.

Mather, J. R. 1974. Climatology: Fundamentals and Applications. McGraw-Hill, Inc. 412 p.

Mathieu, C. et Pieltain, F. 1998. Analyse physique des sols. Méthodes choisies. Lavoisier TEC & DOC. 262 p.

Mearns, L. O., Easterling, W., Hays, C. and Marx, D. 2001. Comparison of Agricultural Impacts of Climate Change from High and Low Resolution Climate Change Scenarios: Part I. The Uncertainty Due to Spatial Scale. *Climatic Change* **51**: 131-172.

Raymond, R., et all. 1976. Pédologie du Comté de Portneuf. Agriculture Québec. Bulletin technique, no. 18.

Rosenberg, N. J., McKenney, M. S., Easterling, W. E. and Lemon, K. M. 1992. Validation of EPIC model simulations of crop responses to current climate and CO₂ conditions: comparisons with census, expert judgment and experimental plot data. *Agricultural and Forest Meteorology* **59**: 35-51.

Saxton, K. E., Rawls, W. J., Romberger, J. S. and Papendick, R. I. 1986. Estimating Generalized Soil-Water Characteristics from Texture. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* **50** (4): 1031-1036.

Tapes, V., 2006. Impacts potentiels des changements climatiques sur les besoins d'irrigation d'espèce du gazon *Poa annua* dans le sud du Québec. Mémoire de maîtrise, Département de géographie, Université de Montréal, 92p.

Tompkins, D.K., Ross, J.B., et Moroz D.L. 1997. Physiologie des dommages causés par le froid : hydratation des couronnes du pâturin annuel (*Poa annua* L.). Rapport de Recherche de la FCRG. <http://www.rcga.org/french/GreenSection/PDF/>

Tompkins, D.K., Ross, J.B., et Moroz D.L. 2000 Contrôle des dommages hivernaux causés par la glace sur le pâturin annuel et l'agrostide stolonifère. Rapport de Recherche de la FCRG. <http://www.rcga.org/french/GreenSection/PDF/>

Vargas, J. M. and Turgeon, A. J. 2004. *Poa annua*: Physiology, Culture, and Control of Annual Bluegrass. John Wiley & Sons, Inc. 165 p.

Warwick, S.I. 1979. The biology of Canadian weeds. 37. *Poa annua* L. Can. Jour. Pl. Sci. 59: 1053-1066. [Reprinted 1984. Pages 55- 68. *In* The biology of Canadian weeds, contributions 33-61. *Edited by* G.A. Mulligan. Agriculture Canada Publication 1765. 415 pp.]

Wilby, R.L. and Dawson, C. W. 2004. Statistical Downscaling Model SDSM Version 3.1. User Manual. <http://www-staff.lboro.ac.uk/~cocwd/SDSM/ManualSDSM.pdf>