

*Variabilité et extrêmes climatiques  
au Canada, Revue de littérature*

*Diane Chaumont, 2004*

L'analyse des tendances et de la variabilité des extrêmes climatiques a récemment reçu une attention accrue. Toutefois, la disponibilité des données de qualité à l'échelle quotidienne sur de longues périodes de temps telle que requise pour l'analyse des variations des extrêmes a été, jusqu'à date, le frein majeur (Easterling *et al.* 2000). Au Canada, on peut maintenant compter sur des banques de données de températures homogénéisées (Vincent *et al.* 2002) et de précipitations ajustées (Mekis et Hogg, 1999) qui nous permettent d'aller plus en profondeur pour caractériser les changements du climat. Un ajustement semblable sur les données de précipitations en territoires nordiques a aussi été réalisé en ex-URSS (Groisman *et al.* 2003). Dans la présente revue, nous nous intéresserons en premier lieu aux méthodes d'analyse de la variabilité des extrêmes climatiques. Les indicateurs les plus courants pour la température et les précipitations, les méthodes statistiques et quelques définitions ou critères seront présentés. Ensuite, nous présenterons les tendances des changements dans les extrêmes climatiques en passant de l'échelle globale à l'échelle régionale.

## *1. Méthodologie pour l'analyse de la variabilité et des extrêmes*

Jusqu'à tout récemment (début 2000), la très grande partie de la littérature sur les changements climatiques et la variabilité était basée sur l'analyse des observations de la température et de la précipitation (ex. Zhang *et al.*, 2001; Bonsal *et al.* 2001). La variabilité dans l'espace et le temps des indicateurs dérivés de ces données a reçu plus d'attention tout récemment (ex. Groisman *et al.*, 2003; Frich *et al.*, 2002, Vincent et Mékis, 2004). Easterling *et al.* (2000) recommandaient d'ailleurs une approche intégrée avec des indicateurs pour l'analyse de la variabilité du climat et des extrêmes. L'approche par indicateur a non seulement l'avantage de faire ressortir les impacts des changements climatiques sur les activités humaines, l'écologie et l'économie mais elle facilite aussi l'analyse à l'échelle globale.

### 1.1 Le choix d'indicateurs

WMO/CLL/CLIVAR Joint Working group on Climate Change Detection recommande qu'une liste de 10 indices prioritaires soit produite; la liste doit être accompagnée de la méthode pour développer les indices. Les indicateurs ne doivent pas être corrélés mais plutôt contenir des informations indépendantes et doivent être considérés sur une base régionale et comparés à l'intérieur et entre les régions (Frich *et al.*, 2002). La liste des indicateurs prioritaires retenus par quelques auteurs ou groupes de recherche est présentée dans le tableau 1. Afin d'avoir un aperçu des impacts sur l'environnement et sur les activités humaines pour une dizaine d'indicateurs couramment utilisés et adaptés aux régions nordiques, on pourra consulter Groisman *et al.* (2003).

Une séparation saisonnière classique (DJF, MAM, JJA, SON) semble être la plus fréquente pour les latitudes nordiques. Scott et Kaiser (2003) qui se sont intéressés aux précipitations neigeuses sur les États-Unis ont préféré définir une saison de chute de neige s'échelonnant de

octobre à mai. L'analyse la plus détaillée basée sur des indicateurs saisonniers et couvrant le territoire canadien a été publiée par Groisman *et al.* (2003). Pour leur part, Vincent et Mékis (2004) ne font pas de divisions saisonnières sauf pour les températures extrêmement chaudes en été.

Évidemment, une plus grande difficulté est rencontrée dans l'analyse des précipitations extrêmes. Nous mentionnerons ici quelques astuces qui ont été retenues pour les hautes latitudes. Les séries temporelles d'événements de précipitations extrêmes basées seulement sur quelques événements par saison ou par année ne sont pas assez robustes. Ainsi, sachant que l'occurrence des précipitations extrêmes est très peu homogène spatialement, l'utilisation de séries temporelles de stations individuelles n'est pas recommandée pour l'analyse de tendance. Cependant, on s'attend à ce que les tendances des précipitations extrêmes soient plus consistantes dans l'espace que les précipitations elles-mêmes. Zhang *et al.* (2001) recommandent donc de baser les indices extrêmes sur des regroupements de stations à l'intérieur de régions homogènes.

Dans les hautes latitudes, les données de précipitations sont biaisées à cause de la difficulté de faire des mesures de précipitations solides. Afin de contourner le problème, il est préférable de présenter les résultats d'analyse dans une forme sans dimension (pourcentage, nombre de jours, etc.) (Groisman, *et al.* 2003).

## 1.2 L'établissement des seuils

Pour l'établissement des seuils de définition des extrêmes climatiques, on opte pour deux méthodes : les centiles et les écarts à la moyenne. La première a une popularité clairement supérieure. Évidemment, on préfère les centiles pour éviter qu'une valeur « extrêmement extrême » ait un impact trop grand sur l'établissement du seuil tel que cela se produirait avec les écarts-types. Quelques méthodes sont précisées pour l'établissement des centiles : Bonsal *et al.* (2001) qui ont étudié les tendances pour les températures minimum et maximum quotidiens ont établi les 1<sup>er</sup>, 5<sup>ième</sup>, 10<sup>ième</sup>, 25<sup>ième</sup>, 50<sup>ième</sup>, 75<sup>ième</sup>, 90<sup>ième</sup>, 95<sup>ième</sup> et 99<sup>ième</sup> centiles sur une base saisonnière pour chaque année. La méthode de Beard est utilisée pour estimer les centiles en question (interpolation linéaire entre les valeurs). Cette méthode est préférable parce qu'elle est simple et évite l'hypothèse sur la forme de la distribution. Dans Vincent et Mékis (2004), les centiles pour les indices de température extrême sont obtenus à partir de 150 valeurs : 5 fenêtres également espacées centrées sur le calendrier de 1961 à 1990. Groisman *et al.* (2003) se démarquent et n'utilisent aucun centile, tous les extrêmes sont basés sur les écarts-types, en général, on prend  $2\sigma$ .

## 1.3 Tests statistiques

Dans leur analyse de la variation des extrêmes climatiques globaux durant la seconde partie du 20<sup>e</sup> siècle, Frich *et al.* (2002) ont choisi de comparer deux séries temporelles post 1946. Les séries individuelles sont divisées en deux séries multi-décadaires; la longueur des séries est déterminée en fonction de la longueur des enregistrements des stations individuelles. La comparaison entre les deux séries est ensuite effectuée à l'aide d'un test t.

La majorité des analyses sont plutôt basées sur des analyses de tendance. Dans la plupart des cas, on procède d'abord à une analyse par stations individuelles pour ensuite faire une analyse de tendance sur les stations regroupées en régions homogènes (ex. Vincent et Mékis, 2004, Groisman *et al.* 2003, Scott et Kaiser 2003, Kunkel *et al.* 1999). Frich *et al.* (2002) ont

effectué un regroupement de toutes les stations disponibles à l'échelle globale pour une période de temps suffisamment longue (50 ans). Le calcul des anomalies des indicateurs est fait par rapport à la période de base 1961-1990 (GIEC, 2001; Frich *et al.* 2002; Vincent et Mékis, 2004) puis un filtre de 10 ans supprime les fluctuations au-dessous de l'échelle de temps décennale. Frich *et al.* (2002) ajoutent les fonctions de distribution de probabilité pour les deux séries temporelles et ce, pour les 10 indicateurs d'extrêmes climatiques qu'ils ont analysés.

Le recours au test de Kendall-tau pour tester la robustesse de la tendance semble être très généralisée (ex. Vincent et Mékis, 2004; Bonsal *et al.* 2001, Kunkel *et al.* 1999). Ce test non-paramétrique est basé sur le nombre de paires de données avec des différences qu'elles soient positives ou négatives plutôt que sur la magnitude de la différence elle-même. La méthode est particulièrement recommandée pour les études d'extrêmes n'ayant pas une distribution normale puisqu'elle permet de réduire l'impact des ces derniers. Le niveau de confiance le plus largement répandu pour les tests de signification est de 95% (Vincent et Mékis 2004, Groisman *et al.*, 2003, Frich *et al.* 2002, Scott et Kaiser, 2003). Évidemment, un résultat significatif à un niveau de 99% sera mis en évidence (Groisman *et al.*, 2003).

Pour les données manquantes, Vincent et Mékis (2004) appliquent la règle 3/5 : si 3 jours consécutifs ou 5 jours aléatoires sont absents, le mois est rejeté. La tendance par station est calculée seulement si moins de 20% de l'année est manquante. Dans leur étude sur les précipitations aux Etats-Unis, Kunkel *et al.* (1999) utilisent un critère plus simple et rejettent les stations où plus de 5% des données sont manquantes pour la période d'intérêt.

#### 1.4 Quelques définitions et seuils

Bien que l'on reconnaisse l'importance de mettre les critères dans un contexte d'impact, le choix pour l'établissement de seuils est rarement justifié dans la littérature. Dans les études ciblant des problématiques et/ou territoire précis, on peut cependant adopter une telle démarche. Kunkel *et al.* (1999) vont dans ce sens et ciblent des critères qui sont reconnus pour avoir un impact sur les inondations pour les rivières de taille petite à moyenne : durée de 1 à 7 jours, récurrence de 1 an et plus. Pour les rivières drainant un plus grand bassin versant, des précipitations excessives durant une plus longue période devront être prises en considération. Perrier et Slivitzky (1999) s'intéressent uniquement aux pluies abondantes de juin à novembre puisque ces dernières sont reconnues pour engendrer des inondations violentes sur des bassins de 5000 km<sup>2</sup> à 10000 km<sup>2</sup>.

Une liste de quelques définitions et seuils est présentée ci-après. Cette liste ne se veut pas exhaustive mais sert surtout à donner quelques repères pour une utilisation future dans nos travaux. Ainsi, le recours aux critères de Groisman *et al.* (2003) et Vincent et Mékis (2004) particulièrement bien adaptés aux latitudes nordiques est fréquent.

##### a. Température

Fréquence des jours très chauds (très froids)

Jours où Tmax est au-dessus (en-dessous) de  $2\sigma$  du tmax saisonnier. Même chose pour les nuits (Groisman *et al.*, 2003).

Vincent et Mékis (2004) retiennent une valeur de 25°C pour les jours d'été très chauds et de 0°C pour les extrêmes froids.

#### Jours de dégel :

Jours avec neige au sol où la température quotidienne est au-dessus de  $-2^{\circ}\text{C}$  (Groisman et al, 2003).

#### Degrés jours de chaleur

Somme des anomalies positives de la température moyenne quotidienne basées sur la température de base ( $T_{\text{base}} - T_{\text{mean}}$ ). Groisman et al, (2003) utilise  $18^{\circ}\text{C}$  comme  $T_{\text{base}}$  ce qui est un compromis entre  $65\text{ F}$  utilisé aux E.U. et  $17^{\circ}\text{C}$  utilisé en Norvège.

#### Durée de la saison de croissance :

Groisman *et al* (2003) : Période durant laquelle la température moyenne quotidienne dépasse  $10^{\circ}\text{C}$ . On doit avoir un état stable d'au moins 5 jours pour le début. Le seuil de  $10^{\circ}\text{C}$  est fixé pour le climat continental des hautes latitudes où des températures quotidiennes atteignant  $5^{\circ}\text{C}$  peuvent être accompagnées de gel nocturne.

Vincent et Mékis (2004) : Période durant laquelle la température moyenne quotidienne dépasse  $5^{\circ}\text{C}$ . La période débute après 5 jours consécutifs rencontrant le critère et se termine après 5 jours consécutifs où la température moyenne quotidienne se situe sous  $5^{\circ}$ .

#### Vagues de chaleur et de (froid)

Vincent et Mékis (2004) : nombre maximum de journées consécutives avec une température maximum  $5^{\circ}\text{C}$  au-dessus de la normale quotidienne ( $5^{\circ}\text{C}$  en-dessous).

Frich et al. (2002) : comme Vincent et Mekis, à l'exception que la vague doit durer au minimum 5 jours.

### b. Précipitations

#### Événements extrêmes

Partie supérieure ( $2\sigma$ ) des précipitations mensuelles excédant  $0,5\text{ mm}$  et ce pour chaque mois pris individuellement. La valeur de  $\sigma$  est établie en se basant sur la distribution gamma mensuelle pour la période de référence 1961-1990. L'approche mensuelle a l'avantage de faire ressortir les événements « rares » sur toute l'année plutôt que de faire ressortir la saison humide seulement (Groisman *et al.*, 2003)

Aux Etats-Unis, Karl et Knight (1998) délimitent les événements de précipitations extrêmes par la partie supérieure du  $10^{\text{ième}}$  centile de la distribution (dans Kunkel *et al.*, 1999)

Easterling *et al.* (2000) suggèrent  $20\text{ mm/jour}$  comme seuil pour définir les précipitations abondantes dans le sud du Canada.

Vincent et Mékis (2004) utilisent  $10\text{ mm/jour}$  pour définir les « very wet days » au Canada et prennent aussi les jours où la précipitation totale est supérieure au centile 95 (basé sur la moyenne 1961-1990).

Kunkel *et al.* (1999) analyse multi-critères : événements de durée 1 à 7 jours, récurrence de 1 an et plus. Ces critères sont reconnus avoir une incidence sur les inondations des petites rivières du mid-ouest américain.

Dans leur recherche qui visait surtout à allonger la base de donnée sur les précipitations abondantes au Québec, Gosselin et Perrier (2001) ont défini plusieurs seuils :

- Sur les valeurs mensuelles :  $150\text{ mm}$  et plus par mois (ce qui représente de 50 à 100% de plus que les quantités normales mensuelles pour le sud du Québec)
- Sur les valeurs quotidiennes :  $40\text{ mm/jour}$  ;  $50\text{ mm/2 jours}$  ;  $75\text{ mm/3 jours}$  ;  $90\text{ mm/4 jours}$  ;  $100\text{ mm/5 jours}$  ;  $115\text{ mm/6 jours}$  ;  $125\text{ mm/7 jours}$ .

Environnement Canada émet un avertissement de pluie abondante à 50 mm/24 heures, en période hivernale, le critère est ramené à 30 mm/24 heures.

Perrier et Slivitzky (1999) font remarquer que sur le plan hydrologique, l'analyse de quelques événements ponctuels a très peu de signification à l'échelle du bassin versant. Aussi, on préfère se référer à la valeur de hauteur-surface-durée des tempêtes.

#### Fréquence des précipitations

Vue la difficulté de mesurer des précipitations traces qui sont très fréquentes en territoire arctique, Groisman *et al* (2003) ont choisi d'analyser la fréquence des précipitations pour un seuil supérieur à 0,5 mm. Vincent et Mékis (2004) utilisent les précipitations trace pour cet indice.

#### Type de précipitations

Pour l'analyse du type de précipitations, Groisman *et al* (2003) utilisent la température pour séparer les précipitations solides et liquides en Eurasie alors qu'en Amérique du Nord, l'analyse porte sur la mesure de neige directe, cette dernière étant disponible.

#### Événements pluie sur neige

Critère officiel selon Groisman *et al* (2003) : nombre de jours avec précipitations  $\geq 1$  mm alors que la hauteur de neige  $\geq 3$  cm sans tenir compte « for ripening of snowpack »

En période de fonte des neiges, Environnement Canada utilise un seuil de 30 mm/24 heures pour émettre un avertissement de pluie abondante (Gosselin et Perrier, 2001).

Il ressort nettement de cette revue de critères que le plus difficile à définir demeure les précipitations extrêmes.

## 2. Résultats

Les tendances et changements dans les extrêmes climatiques sont présentés ici. On pourra trouver plus de détails sur les changements dans le temps et dans l'espace dans le tableau synthèse 2.

### 2.1 Température

#### a. Variabilité

Selon le GIEC (2001), la température moyenne globale a augmenté de 0,6°C depuis 1861, date la plus ancienne à partir de laquelle on a pu établir des tendances fiables. Sur les terres émergées, l'augmentation de la température de l'air se situe entre 0,4°C à 0,8°C depuis la fin du XIX<sup>e</sup> s (probable à >99%). La plus grande part du réchauffement de la planète est concentré sur deux périodes : de 1910 à 1945 et de 1976 à nos jours. Il est aussi très probable que les années 90 aient été la décennie la plus chaude depuis 1861. Pour les latitudes au nord de 60°N, la température annuelle a augmenté de 1,3°C depuis 1880; le degré de réchauffement varie selon les saisons, il est de 2,2°C en hiver et 0,6° en été. Deux périodes de réchauffement sont aussi identifiées : hausse de 1,5°C de 1920-40, baisse du même ordre de 1940-60 puis retour à une hausse régulière depuis (significatif à 99%, Groisman *et al*. 2003). Frich *et al* (2002) qui ont concentré leur analyse sur la période 1946-1999 ajoutent d'autres détails régionaux à ce portrait. Le suivant nous intéressera plus particulièrement : la

majeure partie de l'hémisphère nord et de l'Australie montrent un réchauffement de 1946 à 1999; une exception est cependant notable : le sud central des États-Unis, l'est du Canada, l'Islande et quelques parties de l'Asie. Selon Zhang et al (2000), l'absence de réchauffement dans l'est du Canada est surtout limitée à la partie nordique pour la période 1950-1998, alors que le sud et l'ouest du Canada se réchauffent.

Pour l'analyse sur un siècle, toujours en regard à la température moyenne annuelle, Bonsal *et al.* (2001) obtenaient un taux de réchauffement de 0,9°C au cours du dernier siècle dans le sud du Canada, la majeure partie du réchauffement ayant cours l'hiver et le printemps. Les stations canadiennes en latitudes nordiques étant trop rares à cette époque, on ne peut tirer de conclusions sur les plus hautes latitudes canadiennes.

À la surface de la mer, l'augmentation de la température est moins importante, elle est d'environ la moitié de celle au-dessus des zones émergées (GIEC, 2001). Concernant la variabilité, mentionnons finalement une diminution dans l'étendue de la variabilité intra-annuelle.

#### b. Extrêmes chauds et froids

En zone continentale, la température de l'air nocturne augmente deux fois plus vite que les températures diurnes depuis 1950 (0,2°C/10 ans et 0,1°C/10 ans respectivement) (GIEC, 2001). Selon Frich *et al.* (2002), ce sont les températures de nuit qui ont contribué à la majeure partie des variations de température entre les décennies. Pour l'ensemble du Canada, Vincent et Mékis (2004) montrent aussi clairement que les températures de nuits ont beaucoup plus changé que celles de jour. Depuis le début du 20<sup>e</sup> siècle, on connaît plus de nuits chaudes (18 jours en plus) et moins de nuits froides (30 jours en moins en un siècle). La chute des nuits froides est plus forte dans l'ouest canadien, elle est toutefois importante dans le sud du Québec. À l'exception des nuits chaudes, les extrêmes chauds ont peu changé.

En ce qui concerne les vagues de chaleur, Frich et al (2002) notaient des changements : elles se font plus longues en Alaska, au Canada (en partie), dans le centre et l'est de l'Europe, la Sibérie et le centre de l'Australie alors qu'elles se font plus courtes dans le sud-est des États-Unis, l'est du Canada, l'Islande et le sud de la Chine. Les données canadiennes prises ensemble montrent peu de changements significatifs des vagues de chaleur. Seule les diminutions des périodes froides sont significatives pour la période 1900-2001 (donc données centrées sur le sud). La très grande part des stations ne montre aucun changement dans les vagues de chaleur (Vincent et Mekis, 2004) (Frich et al et Vincent et Mekis ont des critères très semblables pour définir les vagues de chaleur).

#### Longueur des saisons

On peut s'attendre à ce qu'une augmentation des températures de nuit ait une incidence sur la longueur des saisons. Le GIEC (2001) notait une augmentation de la longueur de la période sans gel pour les latitudes moyennes à élevées. Groisman *et al* (2003) chiffrait à 7% l'augmentation de la saison sans gel pour les latitudes nordiques, l'est du Canada possède un taux légèrement supérieur soit 8%. Vincent et Mékis (2004) obtenaient une augmentation de la saison sans gel de 15 à 20 jours pour plusieurs stations durant la période 1950-2001.

Bien que la saison de gel montre une nette diminution, Vincent et Mékis (2004) obtiennent une augmentation de la saison de croissance que pour quelques stations au pays (1950-2001).

Plus particulièrement pour la ville de Québec, Slonosky (2003) comparait le milieu des années 1700 à aujourd'hui. Par contre, pour la même période, Groisman *et al* (2003) montrent que la saison de croissance s'est nettement accrue en Alaska, dans l'ouest du Canada et en Russie. Il importe ici de noter que la définition de la saison de croissance diffère entre ces deux recherches tel que donnée précédemment.

Au portrait général que nous venons de tracer s'ajoute des détails saisonniers. Une analyse par saison à l'échelle canadienne pour les indices est en cours de réalisation par le groupe de Vincent et Mekis (2004). Des analyses saisonnières détaillées des changements de température à l'échelle du Canada ont déjà été publiées, nous noterons celles de Zhang *et al* (2000), Bonsal *et al* (2001). Des résultats de cette dernière sont synthétisés dans le tableau 2.

## 2.2 Précipitations

Avant de procéder à une analyse détaillée des changements dans le patron des précipitations, deux faits particuliers tirés de Frich *et al.*, (2002) méritent d'être mentionnés : 1) à l'échelle mondiale, on observe une tendance à l'augmentation dans les anomalies annuelles pour la plupart des indicateurs de précipitations et 2) par rapport à l'échelle globale, le Canada se démarque beaucoup moins en ce qui concerne les précipitations que en ce qui concerne les températures.

### a. Quantité et intensité

Le GIEC traçait un portrait clair en ce qui concerne les changements dans la quantité de précipitations : augmentation de la nébulosité, de la pluviosité et de la concentration totale de vapeur d'eau. Pour les moyennes et hautes latitudes de l'hémisphère nord, on a connu une hausse de 5 à 10% dans les précipitations depuis 1900, due pour la plus grande part aux phénomènes météorologiques sévères ou extrêmes (très probable, entre 90 et 99%). La diminution observée de la couverture neigeuse et le raccourcissement de la période de gel des lacs et des cours d'eau concordent avec la hausse des températures à la surface du sol dans l'hémisphère Nord.

Au Canada, Zhang *et al.* (2000) notent une augmentation du total des précipitations. Les points suivants ressortent par région : dans les Prairies, on a une augmentation des précipitations annuelles de 1960 à 2000 ; cette augmentation est surtout attribuable à une augmentation des précipitations de faible quantité (< 5 mm). Vincent et Mekis (2004) vont dans le même sens, l'augmentation de la quantité est surtout attribuable à l'augmentation des précipitations de faible quantité. D'ailleurs, les auteurs montrent que presque partout au pays, l'intensité des précipitations a diminué alors que la fréquence a augmenté.

Finalement en ce qui concerne les variations saisonnières dans les quantités de précipitations, Groisman *et al.* (2003) montrent que dans la région circumpolaire, l'augmentation des précipitations annuelles est surtout attribuable à la fraction liquide durant les saisons intermédiaires. Au Canada, des variations régionales sont données par Zhang *et al.* (2001) : dans l'est, les précipitations ont augmenté au printemps alors que dans le nord, les chutes de neige abondantes sont plus importantes en automne et en hiver.

### b. Type

Mekis et Hogg (1999) rapportent une augmentation des précipitations neigeuses annuelles au nord du 55°N en Amérique du Nord. Toutefois, cette variation ne ressort pas de l'analyse de Groisman et al. (2003), (latitudes au-dessus de 50°N ; 50 dernières années). Selon ces derniers, une redistribution entre la partie liquide et solide s'établit dans la partie humide de l'Arctique (au sud du 55°N, en A.N. et du 60°N en Eurasie) ainsi, bien qu'une augmentation soit présente, la fraction gelée n'a pas changé significativement.

Groisman et al (2003) observent une diminution significative des événements pluie sur neige au Canada en hiver (ordre de 50%) et au printemps. Au printemps, la diminution est surtout attribuable au retrait du couvert de neige. En effet, l'étendue du couvert de neige a diminué de 10% depuis la fin des années 1960 (GIEC, 2001) et ce principalement au printemps et en automne; en hiver, aucun changement significatif n'est noté.

Scott et Kaiser (2003) font une revue des constats aux États-Unis : sur une moyenne nationale, la variabilité inter-annuelle de quantité de neige a augmenté durant les années 1970 et 1980; les chutes de neige ont augmenté au centre du pays et, finalement, les dernières décennies ont connu des chutes plus abondantes à la marge des Grands-Lacs si on les compare à des périodes plus anciennes du 20<sup>e</sup> siècle. L'étude de Scott et Kaiser (2003) montre que le nombre de jours avec des précipitations neigeuses suit une tendance variable à travers les États-Unis. On observe une diminution claire de 15 à 20 jours durant les 50 dernières années dans l'ouest américain ; à la marge du lac Ontario, le nombre de jours avec chute de neige a augmenté.

Par contre, la tendance de la fraction neige/précipitations totales est négative pour la presque totalité des États-Unis. Dans les états limitrophes au Québec, les tendances sont peu significatives. Plus au nord, entre les latitudes 50° et 55°N de l'Amérique du Nord, Groisman *et al* (2003) observaient une diminution de la fraction solide/totale tout comme Vincent et Mékis (2004) pour les stations du Canada nordique. Ainsi, dans les hautes latitudes, bien que la quantité de neige ait augmenté, le rapport solide/liquide annuel tend à diminuer.

#### c. Fréquence

Groisman et al (2003) n'observent pas de changement dans la fréquence des précipitations supérieures à 0,5 mm pour l'Amérique du Nord, l'Europe et l'ouest de la Russie. Par contre, dans la partie est de la Russie, une diminution significative (7% ou 7 jours) est notée au cours des 50 dernières années. Cette diminution, déjà notée par Sun *et al.* (2001) dans la même région, s'accompagne d'une augmentation des précipitations intenses (tiré de Groisman, 2003). En territoire canadien, Vincent et Mékis (2004) montrent que les pluies sont plus fréquentes (augmentation de l'indice « days with rain »). C'est ce facteur et non les pluies abondantes qui est responsable de l'augmentation de la quantité de précipitations.

#### d. Extrêmes

L'augmentation de la fréquence d'événements avec précipitations abondantes a été observée en Eurasie pour la période 1950-2000; en Amérique du Nord, les changements ne sont pas significatifs (Groisman *et al.*, 2003). Aux États-Unis, Karl et Knight (1998) ont montré que l'augmentation de 8% des précipitations depuis 1910 était attribuable, en premier lieu, aux événements de précipitations abondantes et extrêmes (dans Kunkel *et al.*, 1999). Francis et Hengeveld (1998) ont examiné la variation des précipitations apportées par les événements abondants en comparaison aux événements non-abondants (dans Perrier et Slivitzky, 1999).

Alors que pour l'ensemble du territoire canadien on observe une augmentation, pour le sud, la tendance est plutôt à la baisse au cours de la dernière moitié du siècle.

Kunkel et al. (1999) ajoutent des détails en retenant uniquement les événements extrêmes de courte durée (1 à 7 jours) ayant une période de récurrence de plus de 1 an en territoire canadien et américain. Regroupés ensemble, la faible fréquence de la variabilité est la caractéristique temporelle dominante. Bien que montrant des tendances variables spatialement, le nombre ces événements a augmenté de 1931 à 1996. Au Canada, aucune tendance significative n'a été observé pour ces événements durant la période 1951-93.

Sur le territoire québécois, Gosselin et Perrier (2001) font l'analyse de cas de pluies abondantes au Québec dans le but de faire ressortir des analogies dans le comportement de l'atmosphère ce qui permettrait d'améliorer la prévision de ces événements. Bien que l'on note que les quantités mesurées pour les pluies abondantes de la période 1869-1912 soient inférieures à ce qu'on observe pour des périodes plus récentes, on ne peut conclure à une augmentation des événements extrêmes, la répartition des pluviomètres sur le territoire ayant trop changé depuis cette époque. En terme de stationnarité, Perrier et Slivitzky (2001) concluent qu'aucun changement n'est observé pour les événements de pluies abondantes de 1912 à 1981.

Ainsi, la preuve est loin d'être faite quant à l'augmentation des précipitations abondantes. Zhang et al. (2001) notaient de fortes variations décennales dans les précipitations extrêmes au sud du 70°N canadien.

Vincent et Mékis (2004) résumaient ainsi les tendances dans le patron canadien des précipitations « augmentation de la fréquence, diminution de l'intensité et pas de changements dans les extrêmes de 1900-2001 ».

### *Conclusion*

Ainsi, en ce qui a trait à la température, certaines tendances au Canada ressemblent à celles de l'échelle globale : augmentation des températures de nuit, diminution de la saison de gel et diminution dans l'étendue de la variabilité intra-annuelle. Le patron de changement dans les vagues de chaleur est moins simple : dans l'est du Canada, elles se font plus courtes alors que dans le centre et l'ouest, on les voit s'allonger. Le portrait global des vagues de chaleur affiche aussi de nombreuses disparités régionales.

Les indicateurs concernant les précipitations se résument ainsi pour l'échelle globale : augmentation de la quantité de pluie qui se traduira par une augmentation des précipitations extrêmes. Plus près du Canada, l'augmentation des événements de précipitations abondantes est aussi claire pour les États-Unis (Kunkel et al. 1999) et une bonne partie des latitudes nordiques (Groisman, 2003). Par contre, en territoire canadien, bien que l'on observe aussi une augmentation de la quantité de précipitations, il est plus juste d'attribuer l'augmentation à une plus forte fréquence de faibles précipitations qu'à une augmentation des précipitations abondantes.

Le recours aux indicateurs pour examiner les changements climatiques en est encore à ses débuts mais la méthode semble être prometteuse puisqu'elle permet de lier les changements aux impacts et permet de faire ressortir plus clairement les grandes tendances. Évidemment, la difficulté demeure dans la définition des termes et l'établissement de seuils. Au Canada

tout comme pour les latitudes nordiques, une attention particulière devra être apportée aux variations saisonnières qui ont été peu couvertes dans la littérature.

### *Bibliographie*

- Bonsal B.R., Zhang X., Vincent L.A. et Hogg W.D. (2001) Characteristics of daily and extreme temperatures over Canada. *Journal of Climate*, **14**: p.1959-1976.
- Easterling D.R., Evans J.L., Groisman P.Y., Karl T.R., Kunkel K.E. et Ambenje P. (2000) Observed variability and trends in extreme climate events: A brief review. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **81**: 417-425.
- Frich, P., Alexander L.V., Della-Marta P., Gleason B., Haylock M., Klein Tank, A.M.G. et Peterson, T. (2002) Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, **19**: p.193-212.
- Gosselin, D. et Perrier R. (2001) Survol des cas de pluie abondantes au Québec 1869-1912, Rapport scientifique SEC-Q01-01, Environnement Canada, 177 pp.
- GIEC (2001) *Climate change 2001 : The scientific basis*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Groisman P.Y., Sun B., Vose R.S., Lawrimore J.H., Whitfield P.H., Førland E., Hanssen-Bauer I., Serreze M.C., Razuvaev V.N. et Alekseev G.V. (2003) Contemporary climate changes in high latitudes of the northern hemisphere : daily time resolution, Conference de l'AMS.
- Karl, T.R. et Knight, R.W. (1998) Secular trends of precipitation amount, frequency, and intensity in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **79(2)**: 221-229.
- Kunkel, K.E., Andsager, K. et Easterling, D.R. (1999) Long-term trends in extreme precipitation events over the conterminous United States and Canada. *Journal of Climate*, **12**: p.2515-2527.
- Mekis, É. et Hogg, W.D. (1999) Rehabilitation and analysis of Canadian daily precipitation time series, *Atmosphere-Ocean*, **37**:53-85.
- Perrier, R. et Slivitzky, M. (1999) Survol des cas de pluies abondantes au Québec, Rapport scientifique SEC-Q99-02, Environnement Canada, 65 pp.
- Scott, D. et Kaiser, D. (2003) Changes in characteristics of United States snowfall over the last half of the twentieth century. Conference de l'AMS.
- Slonosky, V.C. (2002) The Meteorological Observations of Jean-François Gaultier, Québec, Canada : 1742-56, **16**: 2232-2247.
- Vincent, L. et Mekis, É. (2004) Variations and trends in climate indices for Canada, 14<sup>th</sup> conference on Applied Climatology, Seattle, janv.2004.
- Vincent, L. et Zhang, X. (2002) Homogeneization of daily temperatures over Canada, *Journal of Climate*, **15** : 1322-1334.
- Zhang, X., Hogg, W.D. et Mekis, É. (2001) Spatial and temporal characteristics of heavy precipitation events over Canada, *Journal of Climate*, **14**: 1923-1936.
- Zhang, X., Vincent, L.A., Hogg, W.D. et Niitsoo, A. (2000) Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century. *Atmos.-Ocean*, **38**: 395-429.



**Tableau 1 Le Coeur des indicateurs de changements climatiques retenus dans la littérature**

	INDICE	DÉFINITION	Unit	STARDEX	Frich <i>et al.</i> ,2002	ClimDex (ÉU-NCDC)	Vincent et Mékis	Groisman et al, 2003
<b>PRÉCIPITATIONS</b>								
<b>Extrêmes</b>	Prec90p	90th percentile of rainday amounts	mm/day	X				
	606 R10	No. of days with precipitation $\geq 10$ mm/day	Days		X	X	X	X Thresh= $2\sigma$
	644 R5d	Maximum 5-days precipitation total	0,1 mm	X	X	X	X T, R, S	
	691 R90T	% of total rainfall from events > long-term P90		X				
	692 R90N	No. of events > long-term 90 <sup>th</sup> percentile of raindays		X				
		Days with total prec > 95 <sup>th</sup> percentile					X	
	695 R95T	Fraction of annual total precip due to events exceeding the 1961-1990 95 <sup>th</sup> percentile	%		X	X		
<b>Intensité</b>	646 SDII	simple daily intensity index : annual total/number of $R_{day} \geq 1$ mm/day	0,1 mm/day	X	X	X	X T et R	
		Ratio of snowfall to total precip					X	X
<b>Fréquence</b>	005 Prcp	Number of Days Prcp $\geq$ threshold	days			X	X (T, R, S) Thres=trace	X Thre=0,5 mm
	641 CDD	Maximum number of consecutive dry days ( $R_{day} < 1$ mm)	Days	X	X	X	X	

*TEMPÉRATURE*

<i>TEMPÉRATURE</i>								
<b>Extrêmes froids</b>		Cold wave duration index : maximum number of consec. days with Tmin<5°C above the 1961-1990 daily Tmin normal					X	
	Tmin10p	Tmin 10th percentile		X				
	125 Fd	Number of frost days Tmin<0°C	days	X	X	X	X	X
	191 Tx10	Percent of Time Tmax < 10th Percentile of Daily Maximum T°	% of time			X	X	Unité = jour
	193 Tn10	Percent of Time Tmin < 10th Percentile of Daily Minimum T°	% of time			X	X	Unité = jour
	002 TxLE	Number of Days Tmax ≤ user defined threshold	days			X		
	004 TnLE	Number of Days Tmin ≤user defined threshold				X		X Threshold= 2σ
<b>Extrêmes chauds</b>	144 HWDI	Heat wave duration index : maximum number of consec. days with Tmax> 5°C above the 1961-1990 daily Tmax normal	days	X	X	X	X	
	Tmax90p	Tmax 90th percentile		X				
	192 Tx90	Percent of Time Tmax > 90th Percentile of Daily Maximum Temperature	% of time			X	X	Unité = jour
	194 Tn90	Percent of time Tmin>90 <sup>th</sup> percentile of daily minimum T°	% of time		X	X	X	Unité = jour
	001 TxGE	Number of Days Tmax ≥user defined threshold	days			X	X	Thresh=25° C

<b>Longueur des saisons</b>		Frost free season : maximum number of days with $T^{\circ}\text{min} > 0^{\circ}\text{C}$					X	X
		Heating degree-days						X Thresh= $18^{\circ}\text{C}$
	143	GSL Growing season length : period between when $T_{\text{day}} > 5^{\circ}\text{C}$ for $>5\text{d}$ and $T_{\text{day}} < 5^{\circ}\text{C}$ for $>5\text{d}$	days		X	X	X	X
		Day-to-day variability					X	X
	141	ETR Intra-annual extreme temperature range : difference between the highest temperature observation of any given calendar year and the lowest temperature reading of the same calendar year ( $T_h - T_l$ )	0,1 K		X	X	X	