

# L'INDICE ACTUARIEL CLIMATIQUE DÉVELOPPEMENT ET CONCEPTION



ACTUARIES CLIMATE INDEX  
INDICE ACTUARIEL CLIMATIQUE

# TABLE DES MATIÈRES

L'Indice actuariel climatique	1
Au sujet de l'Indice actuariel climatique	2
 Températures	4
 Précipitations	7
 Jours secs consécutifs	9
 Puissance éolienne	10
 Niveau de la mer	11
Regroupement des composantes	13
Carte des régions	15
Valeurs de l'Indice actuariel climatique	16
Annexe 1—Graphiques de l'IAC selon la région	18
Annexe 1a. États-Unis	18
Annexe 1b. Canada	18
Annexe 1c. Atlantique du Nord-Est	19
Annexe 1d. Atlantique du Centre-Est	19
Annexe 1e. Atlantique du Sud-Est	20
Annexe 1f. Forêts du Nord-Est	20
Annexe 1g. Midwest	21
Annexe 1h. Arctique Central	21
Annexe 1i. Plaines du Nord	22
Annexe 1j. Plaines du Sud	22
Annexe 1k. Alaska	23
Annexe 1l. Pacifique du Nord-Ouest	23
Annexe 1m. Pacifique du Centre-Ouest	24
Annexe 1n. Pacifique du Sud-Ouest	24

Annexe 2—Graphiques des régions de l'IAC selon la composante : moyenne sur cinq ans	25
Annexe 2a. États-Unis selon la composante	25
Annexe 2b. Canada selon la composante	25
Annexe 2c. Atlantique du Nord-Est selon la composante	26
Annexe 2d. Atlantique du Centre-Est selon la composante	26
Annexe 2e. Atlantique du Sud-Est selon la composante	27
Annexe 2f. Forêts du Nord-Est selon la composante	27
Annexe 2g. Midwest selon la composante	28
Annexe 2h. Arctique Central selon la composante	28
Annexe 2i. Plaines du Nord selon la composante	29
Annexe 2j. Plaines du Sud selon la composante	29
Annexe 2k. Alaska selon la composante	30
Annexe 2l. Pacifique du Nord-Ouest selon la composante	30
Annexe 2m. Pacifique du Centre-Ouest selon la composante	31
Annexe 2n. Pacifique du Sud-Ouest selon la composante	31
 Annexe 3—Définitions des régions	 32
 Annexe 4—Considérations prises en compte pour le développement de l'IAC	 33
 Annexe 5—Participants à la construction de l'indice	 36
 Annexe 6—Examen de l'Indice actuariel climatique par la National Oceanic and Atmospheric Administration	 37



L'Indice actuariel climatique

# DÉVELOPPEMENT ET CONCEPTION

L'Indice actuariel climatique™ (IAC) se veut un outil de surveillance utile, un indicateur semblable au document « Climate at a Glance » de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Il est le fruit de la collaboration de quatre organismes actuariels de l'Amérique du Nord—l'Institut canadien des actuaires, la Society of Actuaries, la Casualty Actuarial Society et l'American Academy of Actuaries—qui ont fait appel aux services de Solterra Solutions, un expert en recherche sur le climat.

L'IAC fera l'objet d'une mise à jour tous les trimestres. Statistiquement robuste, il est tout de même simple à comprendre. L'indice suit les variations dans un éventail de variables reliées au climat au fil du temps. Étant fondé sur des données historiques réelles, l'indice est de type rétrospectif et ne fait pas de projections sur les événements futurs.

Un second indice, l'Indice actuariel des risques climatiques (IARC), sera basé sur les corrélations historiques entre les pertes économiques, la mortalité et les préjudices, et les données de l'IAC, et il fera l'objet d'un rapport distinct.

Ces deux indices aideront les actuaires, les décideurs et le grand public à mieux comprendre les phénomènes météorologiques extrêmes et les risques qui y sont associés.

# Au sujet de l'Indice actuariel climatique

L'Indice actuariel climatique comporte six composantes, dont chacune est une série chronologique mensuelle commençant en 1961 et basée sur des mesures obtenues d'un réseau étendu de stations météorologiques et de stations de mesure du niveau de la mer, réparties un peu partout aux États-Unis et au Canada. Dans la mesure du possible, les composantes mesurent les valeurs extrêmes plutôt que les valeurs moyennes, car ce sont les premières qui ont le plus grand impact sur les populations et les biens. Toutes les données sont standardisées par rapport aux mesures effectuées sur la période de référence de 30 ans (1961 à 1990), soit la période de 30 ans la plus précoce qui était disponible et qui comportait de bonnes données, c'est-à-dire qu'il y avait moins de stations qui contrôlaient la qualité des données sources avant 1961. La principale mesure est une moyenne mobile sur cinq ans. Cette période de cinq ans a été choisie avec soin, car c'est celle qui réduit le mieux le bruit des données des séries chronologiques et permet aux utilisateurs de percevoir un signal climatique clair. À chaque trimestre, il est prévu de publier un indice saisonnier, ainsi que des indices mensuels, en rendant compte de la dernière saison météorologique disponible (période de trois mois finissant en février, mai, août et novembre) par rapport à la période de référence. L'indice sera lancé aux États-Unis et au Canada et sera hébergé sur un site Web. Les utilisateurs seront en mesure de suivre les variations de l'IAC saisonnier et de chacune de ses composantes, et ce, pour le Canada et les États-Unis séparément, pour le Canada et les États-Unis réunis ainsi que pour 12 sous-régions.

## Les six composantes mensuelles de l'Indice actuariel climatique sont :

1. Fréquence des températures supérieures au 90<sup>e</sup> percentile (*T90*);
2. Fréquence des températures inférieures au 10<sup>e</sup> percentile (*T10*);
3. Accumulation maximale de pluie sur cinq jours consécutifs (*P*);
4. Nombre maximal de jours secs consécutifs dans une année (*D*);
5. Fréquence des vents supérieurs au 90<sup>e</sup> percentile (*W*);
6. Variations du niveau de la mer (*S*).

Ces composantes ont été choisies parce qu'elles sont représentatives des répercussions principales du climat sur les personnes et l'économie.

L'IAC fait ressortir comment ces composantes peuvent être exprimées en termes de statistiques sur la météo et le niveau de la mer. Il est particulièrement intéressant d'observer comment la forme de la fonction de distribution des probabilités (FDP) d'une certaine composante varie au fil du temps. Souvent, l'examen du comportement des grandeurs moyennes est jugé suffisant. Toutefois, comme il s'avère que la fréquence ou l'intensité accrue des extrêmes climatiques est préjudiciable à la société (cf. chapitre 4 du *rapport de la phase I*<sup>1</sup>), l'IAC donne la priorité aux données qui tiennent compte de l'évolution des extrêmes.

La création d'un indice pour les États-Unis et le Canada ne constitue pas une indication que les changements dans cette région sont représentatifs des changements à l'échelle mondiale. Les déplacements des statistiques relatives au climat, y compris celles mesurées par l'IAC, varient de façon significative d'un endroit à l'autre. Les commanditaires et les développeurs de l'IAC espèrent que la portée géographique de l'indice peut être répétée et élargie afin qu'un plus grand nombre de régions soient combinées dans un indice mondial. Les données historiques nécessaires de bonne qualité existent dans de nombreuses autres parties du globe; l'intérêt démontré par les dirigeants d'autres organismes actuariels a encouragé les commanditaires et les développeurs à développer un indice actuariel climatique dans leurs régions.

<sup>1</sup> Solterra Solutions. « [Déterminer les répercussions du changement climatique sur le risque d'assurance et la communauté mondiale, Phase I : Principaux indicateurs](#) », 2012.



Les composantes des **Températures (T)** se définissent comme étant la fréquence des températures supérieures au 90<sup>e</sup> percentile et inférieures au 10<sup>e</sup> percentile, par rapport à la période de référence qui va de 1961 à 1990.

L'analyse des températures en surface utilisées par l'IAC se fonde sur un ensemble de données quotidiennes sur grille, soit GHCN-Daily<sup>2</sup>. Plus précisément, l'indice utilise la fréquence mensuelle des températures quotidiennes maximales (températures diurnes, généralement) et minimales (températures nocturnes, généralement) qui sont inférieures au 10<sup>e</sup> percentile ou supérieures au 90<sup>e</sup> percentile de la FDP, que fournit l'ensemble GHCNDEX correspondant (*Donat et coll.*<sup>3</sup>). Ces valeurs sont désignées par *TX10*, *TX90* (températures quotidiennes maximales) et par *TN10*, *TN90* (températures quotidiennes minimales); elles sont exprimées en pourcentage et représentées sous forme d'une série chronologique selon la station et la grille allant de 1951 à aujourd'hui<sup>4</sup>. Dans chaque grille, la moyenne des valeurs de l'indice GHCN est établie sur les grilles de cette région. Pour chaque région aux États-Unis et au Canada, nous calculons les valeurs moyennes de ces différences de percentiles sur la période de référence qui va de 1961 à 1990, ce qui donne 12 valeurs mensuelles. Dans chaque cas, et en conformité avec les définitions ci-dessus, les valeurs sont très près de 10 % (il existe de petites différences par rapport à la valeur nominale du fait de l'utilisation de méthodes d'échantillonnage robustes, c.-à-d. que les percentiles pour chaque jour sont basés sur la période de cinq jours environnante). Ensuite, les mêmes grandeurs sont calculées pour le mois correspondant de chaque élément de toute la série

<sup>2</sup> Le [Global Historical Climatology Network \(GHCN\)-Daily](#) du Satellite and Information Service de la NOAA est une base intégrée de données climatiques quotidiennes synthétisées par des stations terrestres réparties à la surface du globe. Chaque grille couvre une surface de 2,5 degrés (longitude) sur 2,5 degrés (latitude).

<sup>3</sup> Le [GHCNDEX](#) est un ensemble de données basé sur le GHCN Daily. Il fournit des indices selon la grille et les stations des extrêmes climatiques relatifs aux températures et aux précipitations, et a été mis au point par le Climate Change Research Centre et le Centre of Excellence for Climate System Science de l'Australian Research Council. (M. G. Donat, L.V. Alexander, H. Yang, I. Durre, R. Vose et J. Caesar, « [Global Land-Based Datasets for Monitoring Climatic Extremes](#) », *Bulletin of the American Meteorological Society*, juillet 2013.)

<sup>4</sup> Les graphiques de l'IAC ont pour origine l'année 1961, qui est le début de la période de référence.

chronologique. Enfin, nous calculons la différence entre chaque fréquence mensuelle de dépassement et la valeur de la période de référence (soit 10 % environ) du mois correspondant, et ce, à chaque point de grille.

Ces différences (anomalies) dans la fréquence de dépassement sont désignées comme suit :

$\Delta TX90$  (variation des températures diurnes chaudes);

$\Delta TN90$  (variation des températures nocturnes chaudes);

$\Delta TX10$  (variation des températures diurnes froides);

$\Delta TN10$  (variation des températures nocturnes froides).

De même qu'il existe une corrélation entre  $TX90$  et  $TN90$ , du fait que les journées chaudes et les nuits chaudes ont tendance à se suivre, de même il y a corrélation entre  $TX10$  (journées froides) et  $TN10$  (nuits froides). Par conséquent, l'indice comporte le terme suivant qui représente la variation des températures chaudes :

$$\Delta T90 = \frac{1}{2} (\Delta TX90 + \Delta TN90)$$

et le terme suivant qui représente la variation des températures froides :

$$\Delta T10 = \frac{1}{2} (\Delta TX10 + \Delta TN10)$$

Étant donné qu'on observe un réchauffement des températures aux États-Unis et au Canada au cours des dernières décennies,  $\Delta T10$  est généralement négative (cf. figure 1) puisqu'il y a moins de minimums sous la barre du  $T10$  de la période de référence. Vu qu'une diminution de  $\Delta T10$  et qu'une augmentation de  $\Delta T90$  représentent simultanément un déplacement de la FDP vers des températures plus chaudes, le signe de  $\Delta T10$  devrait être inversé afin qu'il indique bien la contribution de cette variable à ce changement. Autrement, dans la mesure où la FDP des températures est symétrique autour de la moyenne et que l'écart-type demeure inchangé, la superficie qui est retranchée sous la moitié froide de la courbe contrebalancerait la superficie qui est ajoutée à la moitié chaude, entraînant ainsi une sous-estimation importante de la grandeur du changement. Une valeur accrue de l'indice en raison de la réduction des froids extrêmes est compatible avec la fonte accrue du pergélisol et une augmentation de la propagation des maladies et à la prolifération des insectes et des parasites qui, auparavant, avaient moins de chances de survivre à des températures plus basses.

Il existe une autre façon utile de décrire la variation des températures ou de tout autre indicateur et elle consiste à comparer la variation depuis la période de référence,  $\Delta T$ , avec l'écart-type de la période de référence,  $\sigma_{ref}(T)$ . Plus précisément, en établissant le ratio de ces deux variables, nous obtenons une grandeur sans dimension appelée *anomalie standardisée* (cf. section 5.2 du *rapport de la phase I<sup>5</sup>*), une technique statistique courante pour combiner diverses grandeurs. L'anomalie standardisée mesure de façon constante le niveau de variation dans les lectures de moyennes qui soit significativement relative au niveau sous-jacent de variabilité pour chaque quantité au niveau de la région. Nous avons donc :

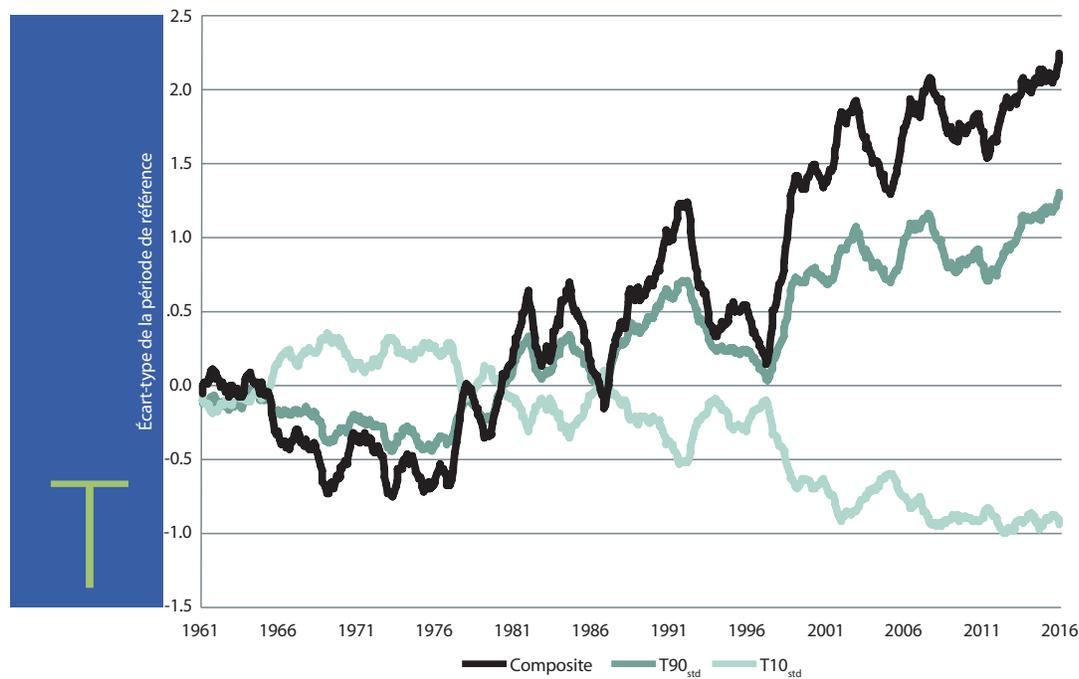
$$T90_{std} = 1/2(\Delta TX90 / \sigma_{ref}(TX90) + \Delta TN90 / \sigma_{ref}(TN90)),$$

et

$$T10_{std} = 1/2(\Delta TX10 / \sigma_{ref}(TX10) + \Delta TN10 / \sigma_{ref}(TN10))$$

La ligne noire dans la figure 1 représente  $T90_{std} - T10_{std}$ . Chaque ligne du graphique représente une moyenne mobile sur cinq ans.

**Figure 1. Anomalies standardisées saisonnières de la température**



<sup>5</sup> Solterra Solutions, op.cit.



## La composante des **Précipitations** (P) se définit comme étant l'accumulation maximale de pluie sur cinq jours consécutifs au cours du mois.

À la différence de la FDP des températures, la FDP des précipitations ne suit pas une loi normale, étant plutôt asymétrique à droite (parfois appelée distribution à « queue épaisse »). Il ne serait pas réaliste de procéder à un déplacement en bloc de la FDP des précipitations, vu que la queue gauche doit toujours être ancrée à zéro; mais la forme de la FDP peut encore évoluer. Afin de prendre en compte la partie gauche de la distribution, nous avons introduit dans le modèle une composante représentant la sécheresse météorologique, décrite plus loin. La variable *Rx5day* du GHCNDEX<sup>6</sup>, qui représente l'accumulation maximale de pluie sur cinq jours au cours du mois (exprimé en unités de millimètres de H<sub>2</sub>O), a été choisie pour représenter les variations dans la queue droite (valeurs élevées) de la FDP des précipitations.

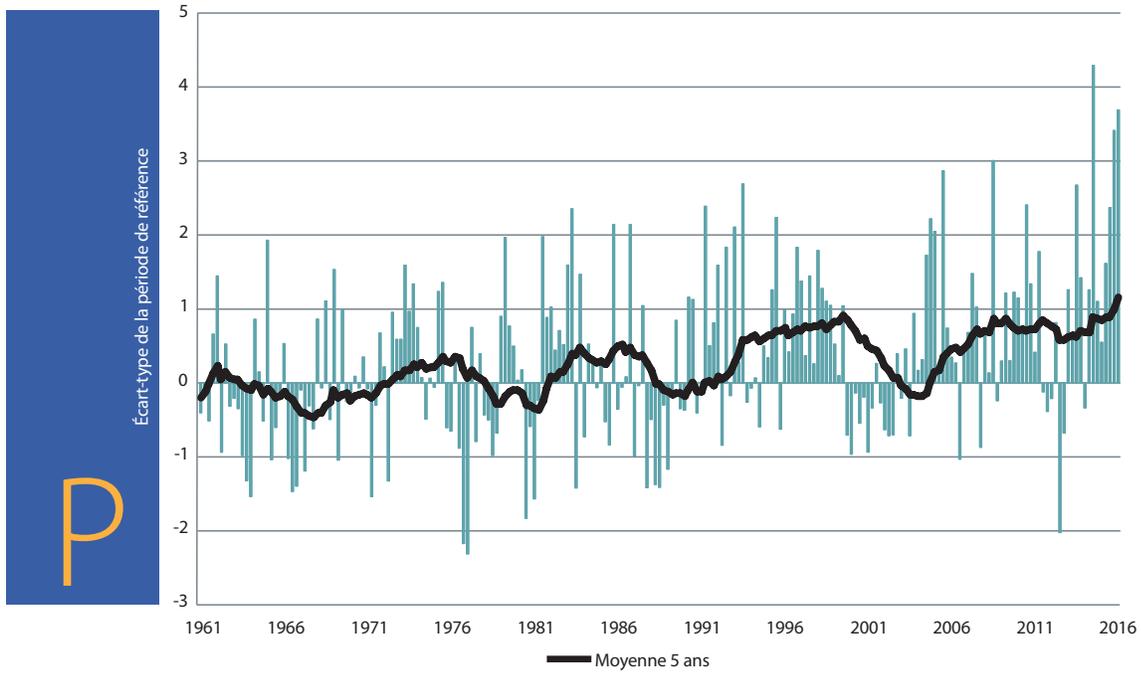
L'anomalie en pourcentage de *Rx5day* par rapport à la valeur de la période de référence pour un mois donné est donnée par :

$$\Delta P = [(Rx5day - Rx5day_{ref}) / Rx5day_{ref}]$$

Les valeurs positives de  $\Delta P$  expriment une augmentation des fortes précipitations sur plusieurs jours par rapport à la période de référence. Comme dans le cas des températures, nous avons converti  $\Delta P$  en anomalies standardisées, comme l'indique le graphique ci-dessous, qui représente la moyenne mobile sur cinq ans.

<sup>6</sup> [GHCNDEX](#), op. cit.

Figure 2. Anomalies standardisées saisonnières de l'accumulation maximale de pluie sur cinq jours

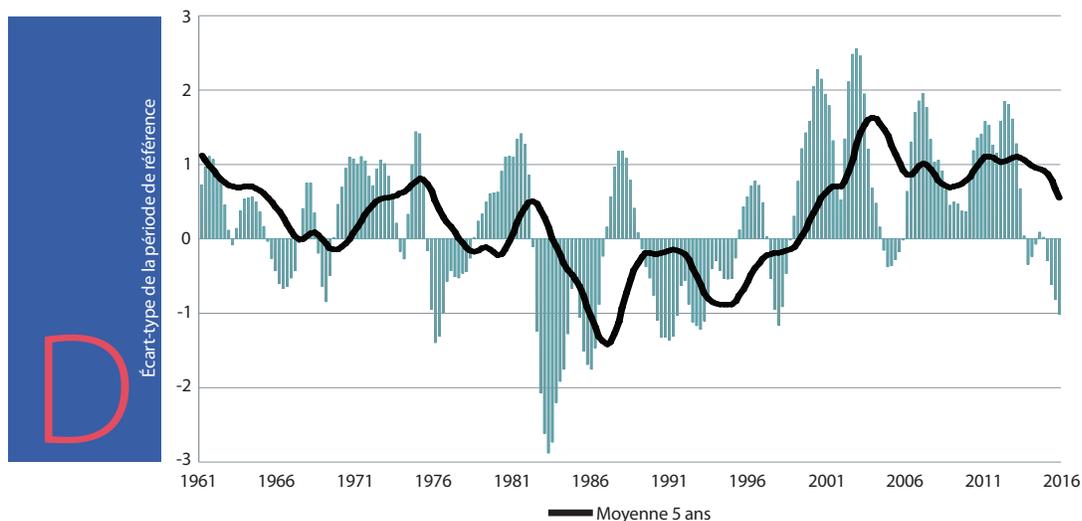




Les variations dans la queue gauche de la FDP des précipitations sont prises en compte dans l'indice des **Jours secs consécutifs** (D) du GHCNDEX, lequel indice se définit comme étant le nombre maximal de jours consécutifs dans une année durant lesquels les précipitations quotidiennes sont inférieures à 1 mm.

À la différence des composantes des températures et des précipitations de l'IAC, GHCNDEX ne comporte qu'une seule valeur par année. Les valeurs mensuelles sont obtenues par interpolation linéaire des valeurs annuelles. La conversion de jours secs consécutifs en anomalie en pourcentage (désignée par  $\Delta D$ ) a été réalisée de la même manière que pour les autres composantes, puis convertie en anomalie standardisée. La série chronologique de  $D_{std}$  est indiquée à la figure 3 ci-dessous.

Figure 3. Anomalies standardisées saisonnières du nombre de jours secs consécutifs





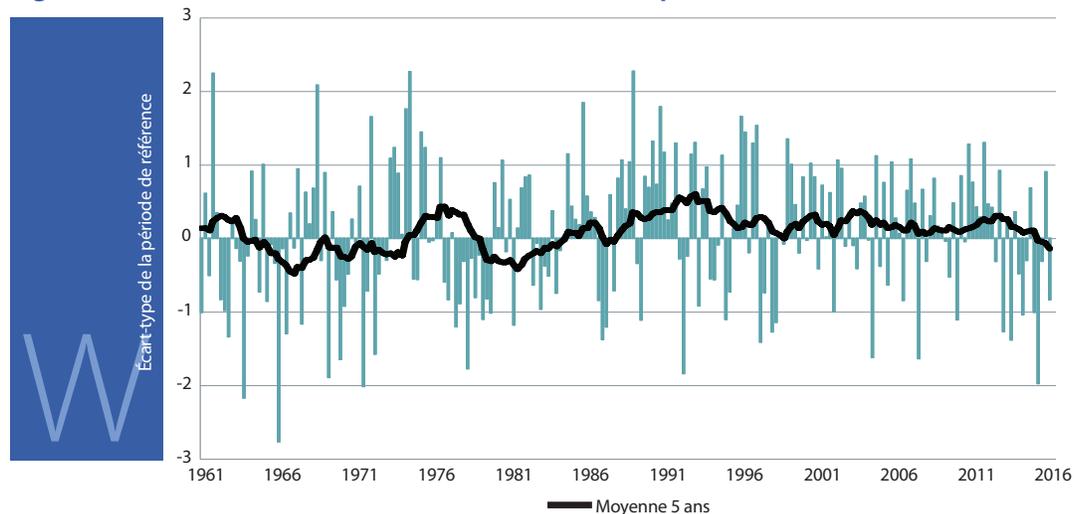
À l'exemple des précipitations, la FDP de la vitesse moyenne quotidienne du Vent ( $w$ ) est asymétrique à droite, et les variations qui nous intéressent sont celles situées dans la queue de la distribution, là où les valeurs sont élevées.

Les mesures quotidiennes de la vitesse du vent<sup>7</sup> sont converties en puissance éolienne  $WP$ , selon la formule  $WP = (1/2) \rho w^3$ , où  $w$  désigne la vitesse moyenne quotidienne du vent et  $\rho$  la densité de l'air (que nous supposons constante et égale à  $1,23 \text{ kg/m}^3$ )<sup>8</sup>. Nous utilisons la puissance éolienne, car il a été démontré que l'impact des vents forts (c.à-d. les dommages) était proportionnel à  $WP$ , plutôt qu'à  $w$  (cf. section 5.6 du *rapport de la phase I*<sup>9</sup>). Nous suivons la procédure GHCNDEX en trouvant le 90<sup>e</sup> percentile de la puissance éolienne,  $WP90$ , sur la période de référence, et ce, à chaque point de grille et chaque mois. Nous calculons ensuite, pour chaque mois et sur toute la période, la variation de la fréquence de la puissance éolienne supérieure à  $WP90$ , exprimée comme une anomalie en pourcentage. C'est-à-dire que nous calculons cet indice comme suit :

$$\Delta W = (\Delta WP90 / WP90_{ref})$$

La série chronologique de  $W_{std}$  est indiquée ci-dessous.

Figure 4. Anomalies standardisées saisonnières de la puissance éolienne



7 Les données de réanalyse du National Centers for Environmental Prediction (NCEP), en collaboration avec le National Center for Atmospheric Research (NCAR) (Kalnay et coll., « NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project », *Bulletin of the American Meteorological Society*, numéro 77, p. 437-470, 1996), sont fournies par la [Oceanic and Atmospheric Research/Earth System Research Laboratory Physical Sciences Division de la National Oceanic and Atmospheric Administration](#) à Boulder, Colorado, États-Unis.

8 Une constante de densité de l'air est utilisée étant donné que la variance dans la densité de l'air est insignifiante au plan statistique en comparaison avec les variations de la vitesse du vent cubique.

9 [Solterra Solutions](#), op.cit.



Les mesures du **Niveau de la mer (S)** sont effectuées mensuellement au moyen de marégraphes situés dans plus d'une centaine de stations côtières permanentes installées au Canada et aux États-Unis<sup>10</sup>.

Une procédure de contrôle de la qualité a permis d'éliminer un grand nombre de ces stations en raison de données incomplètes (les enregistrements débutent après 1970 et(ou) plus du tiers des valeurs mensuelles sont manquantes), ce qui laisse 76 stations permettant de produire des séries chronologiques fiables pour une analyse approfondie. Les marégraphes mesurent le niveau de la mer par rapport à la croûte terrestre, mais vu que celle-ci peut se déplacer, la composante du niveau de la mer de l'IAC mesure l'effet combiné sur les côtes des mers généralement montantes et de l'élévation ou de l'abaissement des terres.

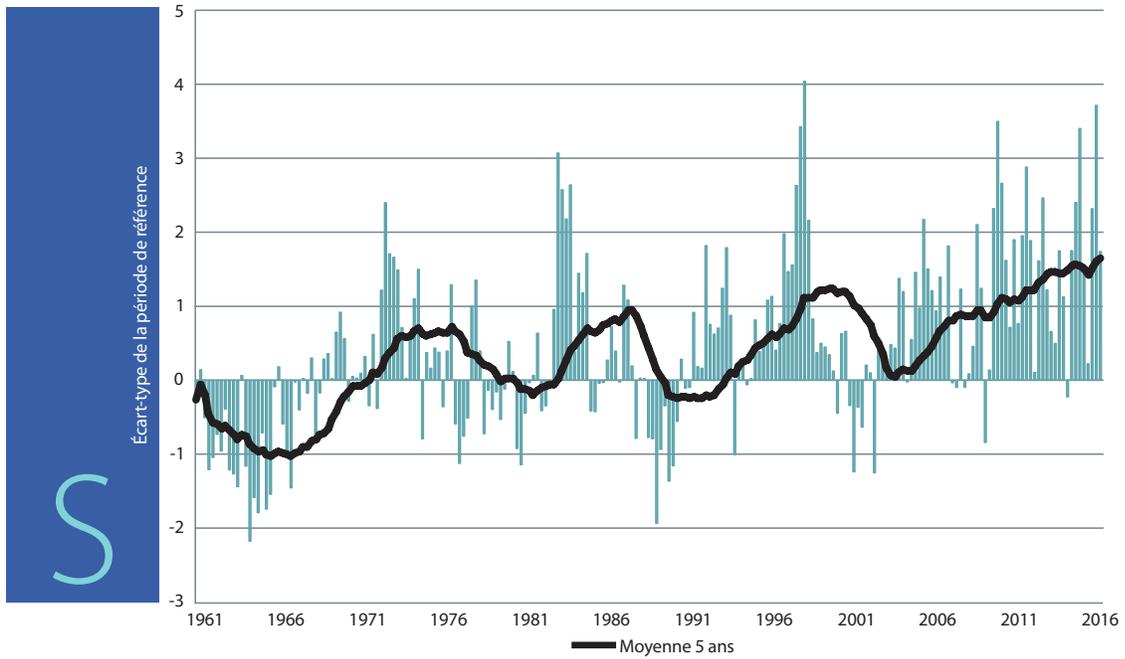
Comme c'est le cas des cinq autres composantes, les variations du niveau de la mer à chaque station côtière sont converties en anomalies standardisées, conformément à l'équation :

$$S_{std} = \Delta S / \sigma_{ref}(S)$$

Notons que  $\sigma_{ref}(S)$  est calculé mensuellement au moyen des valeurs de S de la période de référence (p. ex., 30 valeurs recueillies en janvier de 1961 à 1990). Le calcul de la moyenne de  $S_{std}$  sur l'ensemble des stations a permis de produire la série chronologique représentée à la figure 5 ci-dessous.

<sup>10</sup> Permanent Service for Mean Sea Level, « [Obtaining Tide Gauge Data](#) », consulté le 11 novembre 2016.

Figure 5. Anomalies standardisées saisonnières du niveau de la mer



# Regroupement des composantes

Lorsqu'il s'agit de regrouper les six composantes, l'utilisation d'anomalies standardisées offre un moyen efficace de regrouper ces indicateurs de façon simple et significative. Cette façon de faire permet de réunir en un seul indice des grandeurs qui diffèrent entre elles, tout en préservant la précision des composantes. Quel que soit l'indicateur individuel, l'anomalie standardisée indique dans quelle mesure la valeur mensuelle ou saisonnière est inhabituelle par rapport à la moyenne et à l'écart-type correspondants de la période de référence. Ainsi, chaque composante est exprimée en unités de l'écart-type de cette grandeur, suivant la stratégie adoptée par Hansen et coll. (1998) pour créer leur Common Sense Climate Index<sup>11</sup>.

À titre d'exemple, considérons la composante températures  $T90$ , qui décrit la queue supérieure de la distribution des températures quotidiennes. Vu que les températures (et aussi les dépassements représentés par  $T10$  et  $T90$ ) ont une distribution approximativement normale, dans près d'un tiers des cas on s'attend à ce que  $T90_{std}$  se situe à l'extérieur de l'intervalle  $\pm 1$ , et dans 1/6e des cas à ce qu'il soit supérieur à +1. Mais s'il dépasse +2, il s'agit là d'un phénomène rare, puisque cela ne devrait se produire que dans 2,5 % des cas. Il est très rare que les valeurs dépassent +3 et cela ne devrait arriver que dans environ 0,125 % des cas. Ainsi, la valeur de  $T90_{std}$  est un reflet direct de la rareté des phénomènes qu'il suit à la trace.

Pour ce qui est de l'IAC, construit comme une combinaison de ces six composantes, la probabilité qu'une valeur dépasse 1 ou qu'elle soit inférieure à -1 est beaucoup plus faible que dans le cas d'une composante individuelle, parce que l'écart-type de la période de référence pour les indices composites est d'environ 0,45 (selon la région), comparativement à 1 pour chacune des composantes. Néanmoins, pour faciliter la comparaison, l'IAC et la moyenne sur cinq ans sont montrés sur la même échelle que les composantes de la figure 6 (et des annexes 1 et 2). Le nombre d'écarts-types de l'IAC composite correspond à environ 2,2 fois le nombre (ou 1/0,45 du nombre) qui pourrait être lu sur l'échelle des composantes. Rappelez-vous que les probabilités de dépassement (tel qu'il est expliqué ci-dessus) diminuent beaucoup plus rapidement lorsque les valeurs se déplacent vers la queue de la distribution.

<sup>11</sup> J. Hansen, M. Sato, J. Glascoe et R. Ruedy. « A common-sense climate index: Is climate changing noticeably? », Proceedings of the National Academy of Sciences, avril 1998.

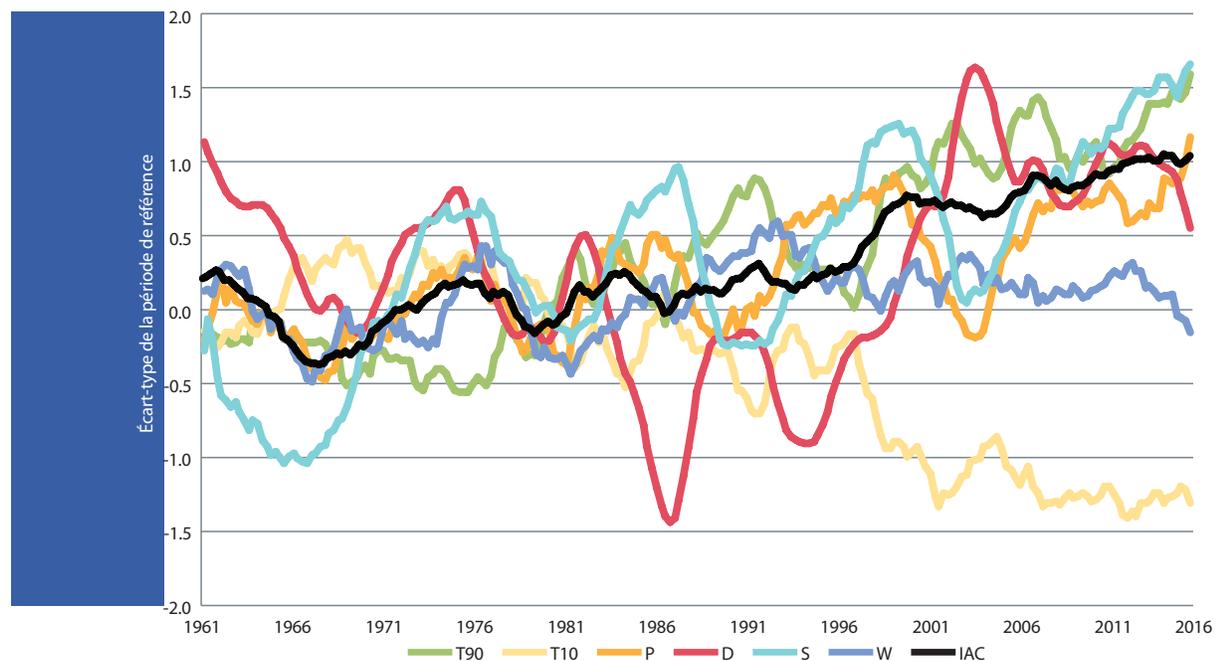
Quelle que soit la composante, une variation positive indique une augmentation des extrêmes liés au climat et donc une augmentation de la valeur de l'indice (sauf dans le cas de  $T10$ , dont le signe est inversé, comme nous l'avons vu précédemment). Dans forme définitive, l'IAC a donc pour expression :

$$IAC = \text{moyenne} (T90_{std} - T10_{std} + P_{std} + D_{std} + W_{std} + S_{std})$$

Veillez noter que la région de l'Arctique central (CAR) ne comporte pas de composante du niveau de la mer en raison d'un manque de données historiques complètes, et le Midwest ne comporte pas de composante du niveau de la mer parce que cette région n'a pas de littoral océanique. Pour ces régions, l'IAC est calculé comme étant la moyenne des cinq autres composantes.

La figure 6 ci-dessous montre chacune des composantes en tant qu'anomalie standardisée.

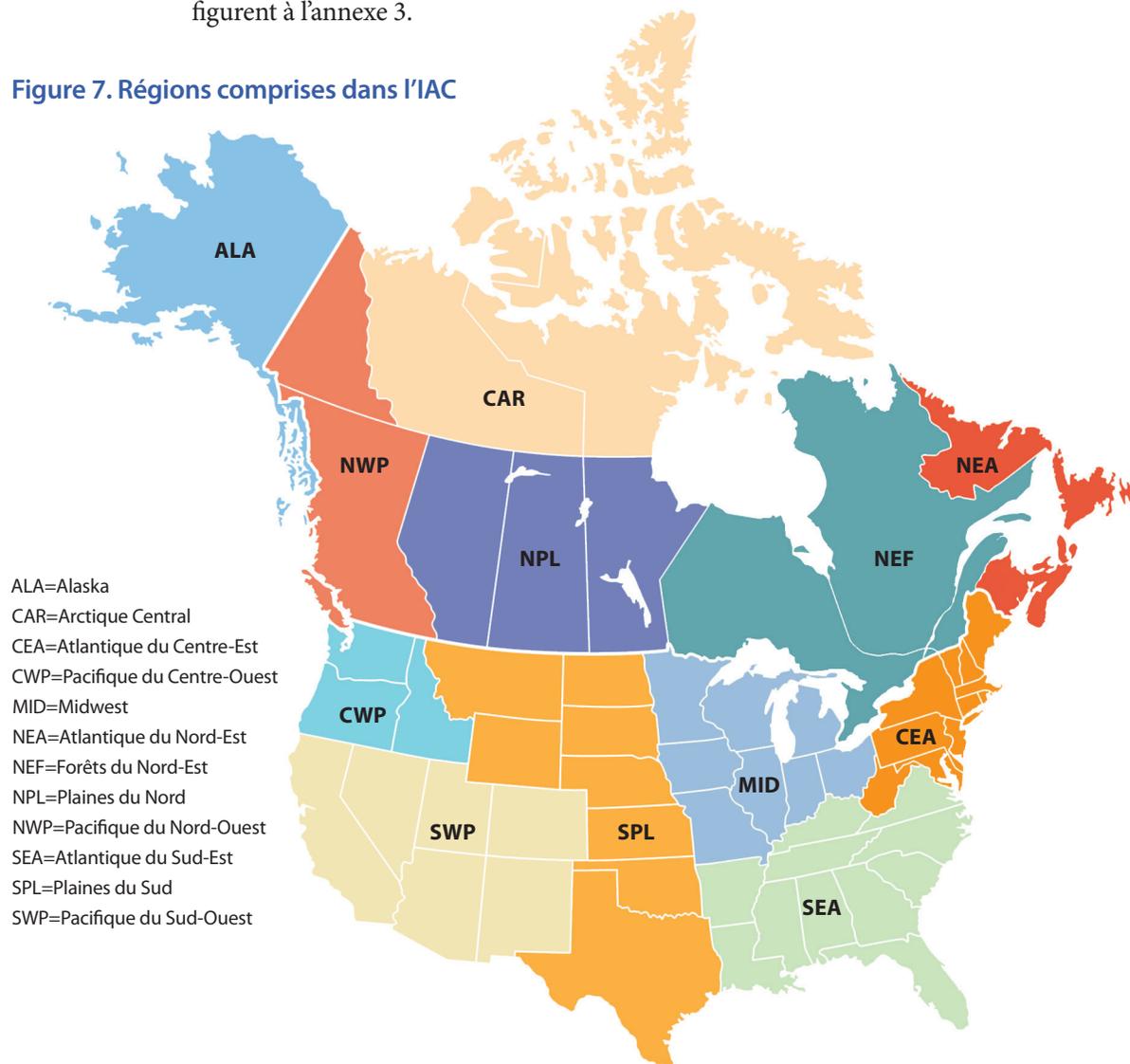
Figure 6. Moyennes saisonnières mobiles sur cinq ans des composantes de l'IAC



## Carte des régions

La figure 7 ci-dessous montre les 12 régions comprises dans l'IAC; ces régions sont définies en fonction des frontières des États américains et des provinces. Les définitions détaillées figurent à l'annexe 3.

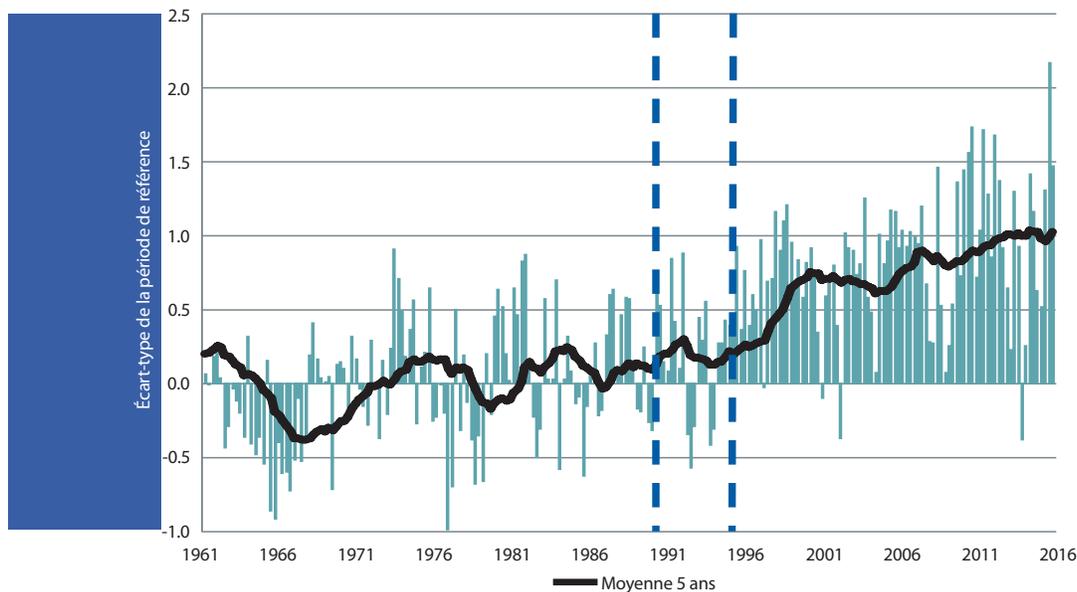
Figure 7. Régions comprises dans l'IAC



## Valeurs de l'Indice actuariel climatique

La figure 8 montre les résultats de l'IAC selon la saison pour le Canada et les États-Unis. La plus récente moyenne mobile sur cinq ans qui utilise des données allant jusqu'à l'hiver 2016 (février) se situe à près d'un écart-type au-dessus de la moyenne.

Figure 8. L'Indice actuariel climatique pour les États-Unis et le Canada



Par définition, l'IAC avoisine zéro en moyenne sur la période de référence qui va de 1961 à 1990. Le graphique montre que l'IAC moyen reste près de zéro jusqu'à environ 1995, après quoi il est positif, sauf pour quatre saisons. La droite pointillée vis-à-vis de l'année 1990 marque la fin de la période de référence. La droite pointillée vis-à-vis de l'année 1995 est le premier endroit où la moyenne mobile sur cinq ans se situe après la période de référence. À noter la fréquence des barres positives, qui indique une fréquence accrue des extrêmes climatiques après 1995.

Des graphiques sont présentés par région à l'annexe 1, à l'exemple du graphique précédent. Ils montrent que l'IAC a généralement été plus élevé au Canada qu'aux États-Unis depuis 2012. Au Canada, l'indice est poussé à la hausse principalement par le Nord-Est Atlantique (NEA) et le Nord-Ouest Pacifique (NWP). Aux États-Unis, les plus hautes valeurs de l'indice ont été constatées dans les États des Plaines du Sud (SPL) et de l'Atlantique Centre-

Est (CEA), alors que la région de l'Alaska (ALA) a enregistré des valeurs négatives de façon constante depuis 2008, principalement attribuables à la diminution du niveau de la mer, vu qu'à cet endroit les côtes remontent en raison de la fonte des glaciers.

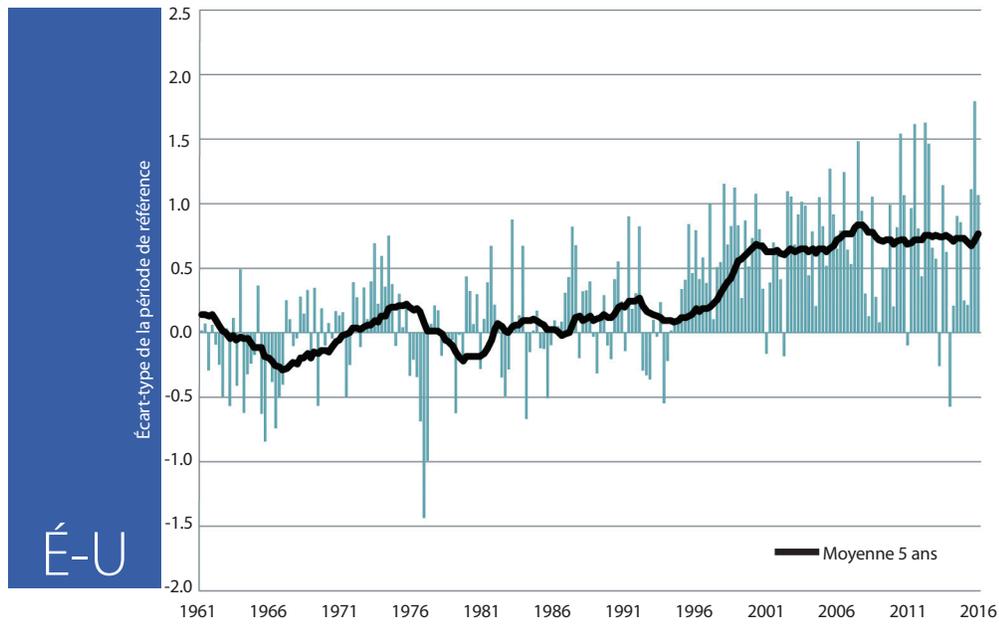
Notons que des indices par pays et pour l'ensemble des pays réunis sont calculés indépendamment des petites régions, en se fondant sur l'anomalie standardisée pour le pays ou pour l'ensemble des pays réunis. En raison de la variabilité climatique moyenne à l'échelle de ces grandes superficies, l'écart-type tend à être inférieur, ce qui produit des anomalies standardisées supérieures à ce qu'elles sont pour l'une ou l'autre des sous-régions individuelles. Par exemple, la dernière moyenne mobile sur cinq ans à la figure 8 est supérieure à celle de n'importe laquelle des sous-régions des annexes 1a à 1g. À noter également que l'Alaska est indiqué seulement pour l'ensemble des pays réunis; l'indice pour les États-Unis ne concerne que les 48 États contigus (Hawaii est exclu en raison de sa petite taille). De même, l'indice saisonnier est calculé indépendamment de l'indice mensuel et les écarts-types ont tendance à être plus faibles sur une base saisonnière que sur une base mensuelle. L'IAC saisonnier est donc généralement plus élevé que l'IAC mensuel, et les moyennes sur cinq ans sont toujours plus élevées pour l'IAC saisonnier que pour l'IAC mensuel depuis environ 1990.

Les graphiques selon la région et la composante, semblablement à la figure 6, sont présentés à l'annexe 2. Ces graphiques montrent que l'IAC a été poussé à la hausse ces 20 dernières années principalement par l'augmentation des températures chaudes ( $T90$ ) et la diminution des températures froides ( $T10$ ) dans presque toutes les régions, ainsi que la hausse du niveau de la mer (S), surtout le long des côtes de l'Atlantique (NEA, CEA, SEA) et du Golfe (SPL), compensé partiellement par la baisse du niveau de la mer en Alaska (ALA) et dans la Baie d'Hudson (NPL) en raison de la montée de la croûte terrestre à ces endroits. De fortes précipitations dans de nombreuses parties du Canada et une sécheresse dans de nombreuses parties des États-Unis ont également contribué à un indice plus haut.

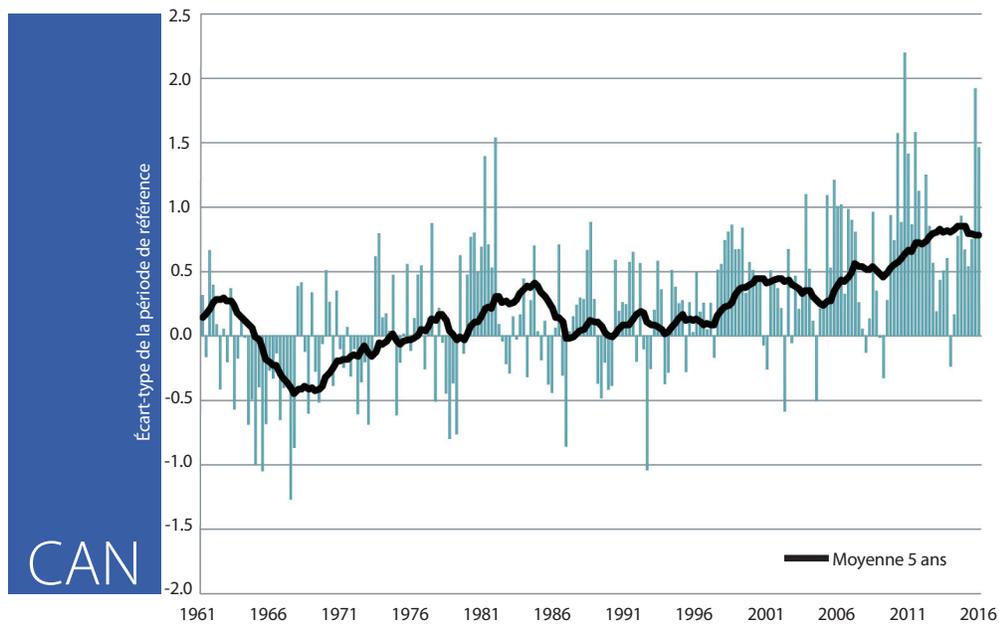
L'annexe 4 explique en profondeur les considérations prises en compte dans la méthode de construction de l'IAC, et l'annexe 5 énumère les participants au processus de construction de l'indice. L'annexe 6 résume l'examen des ensembles de données et de la méthodologie de l'IAC effectué par la NOAA. De plus amples détails concernant les calculs de l'indice se trouvent dans le document *Échantillons de calculs pour l'Indice actuariel climatique*, illustrant l'importance des valeurs selon la composante.

# ANNEXE 1—Graphiques de l'IAC selon la région

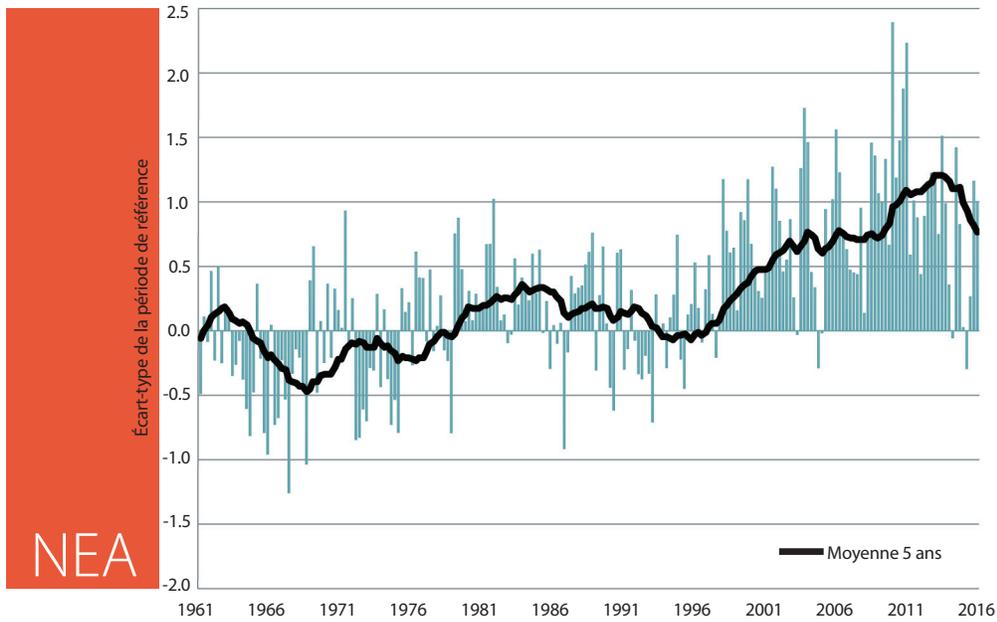
## Annexe 1a. Indice actuariel climatique—États-Unis



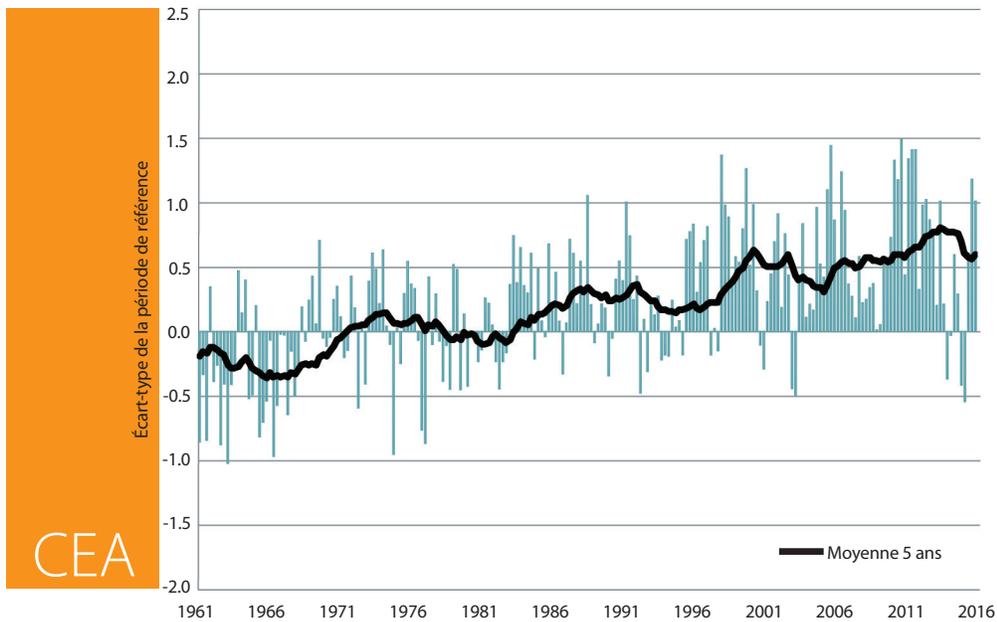
## Annexe 1b. Indice actuariel climatique—Canada



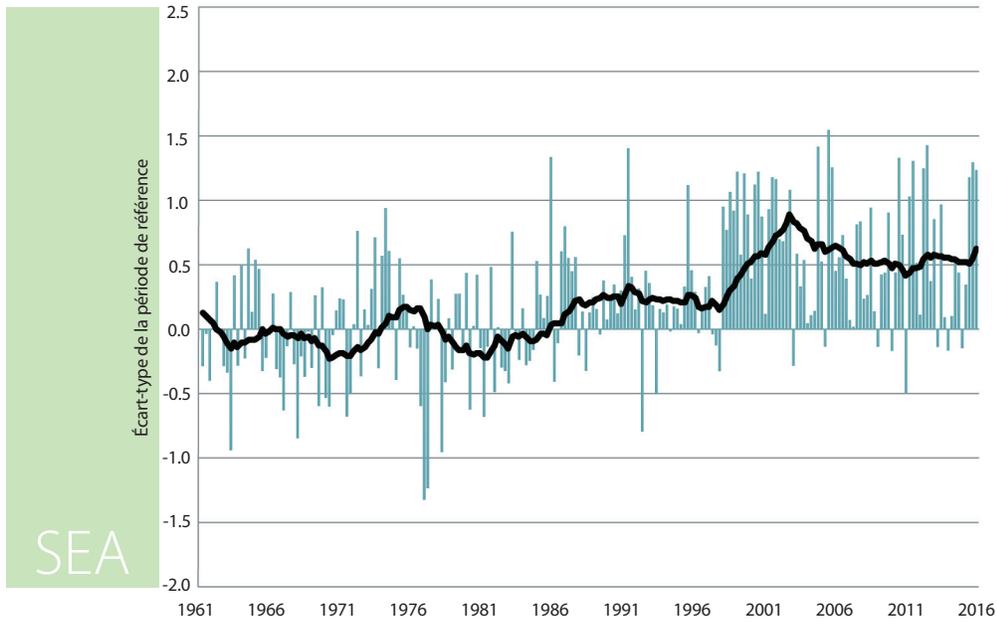
### Annexe 1c. Indice actuariel climatique–Atlantique du Nord-Est



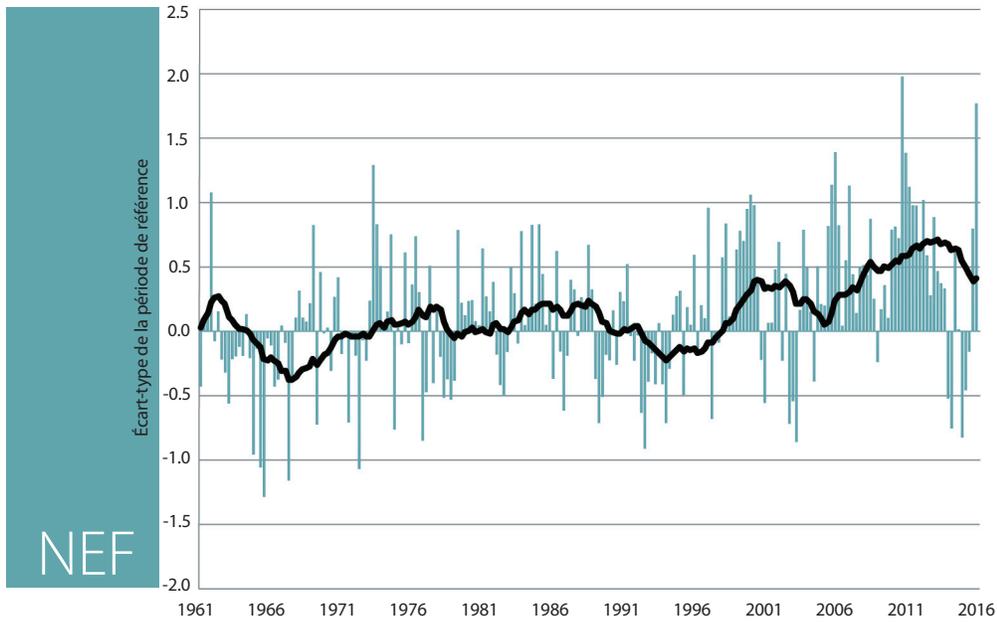
### Annexe 1d. Indice actuariel climatique–Atlantique du Centre-Est



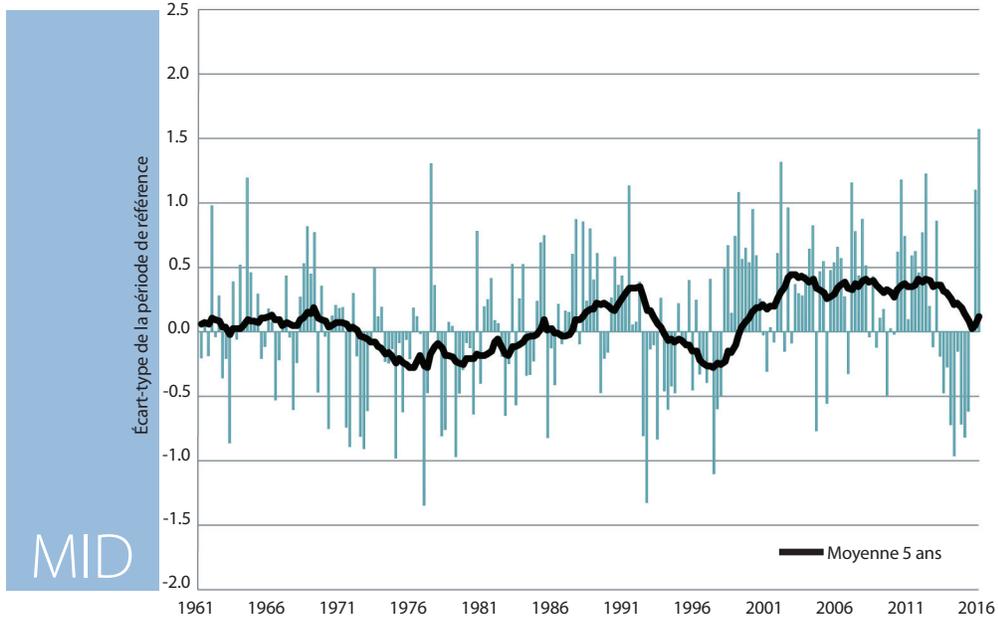
### Annexe 1e. Indice actuariel climatique–Atlantique du Sud-Est



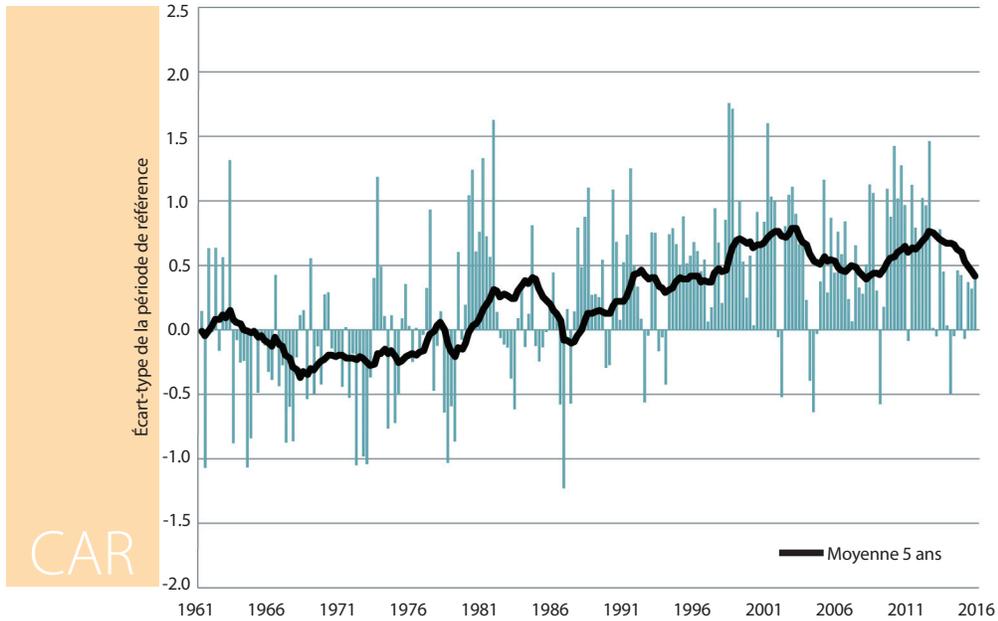
### Annexe 1f. Indice actuariel climatique–Forêts du Nord-Est



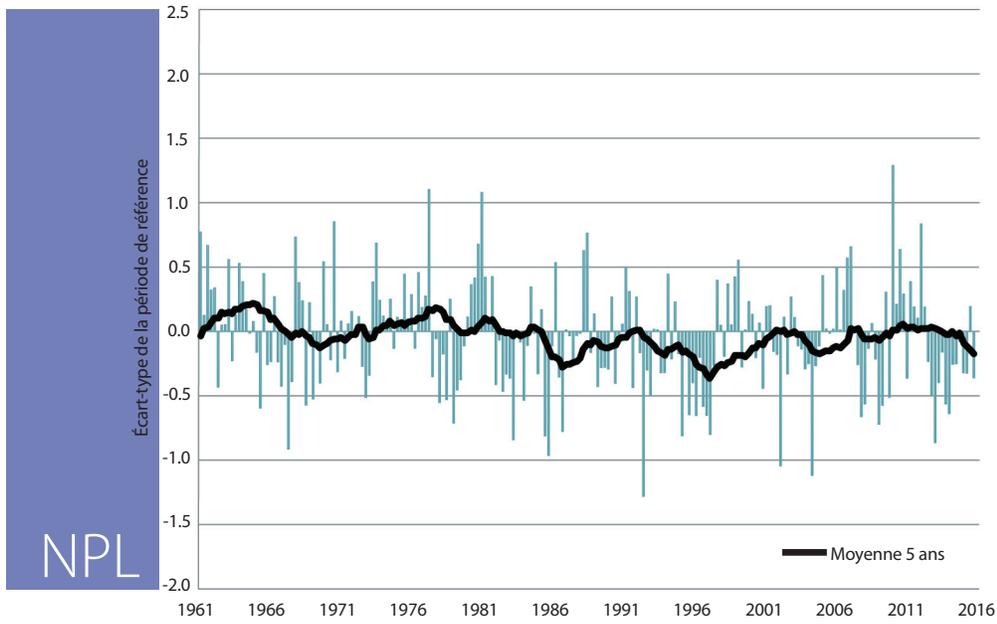
### Annexe 1g. Indice actuariel climatique–Midwest



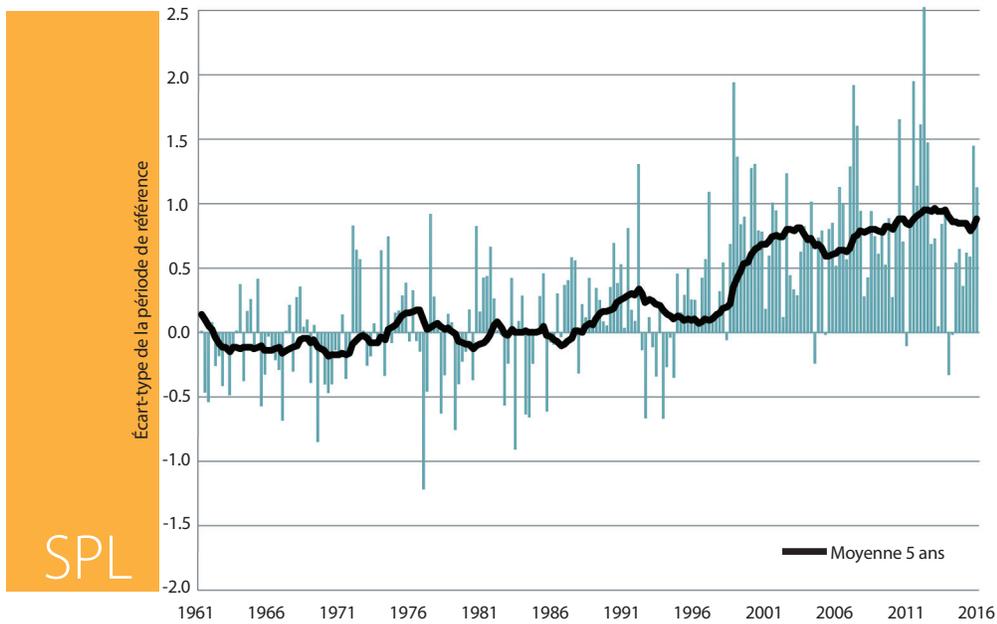
### Annexe 1h. Indice actuariel climatique–Arctique Central



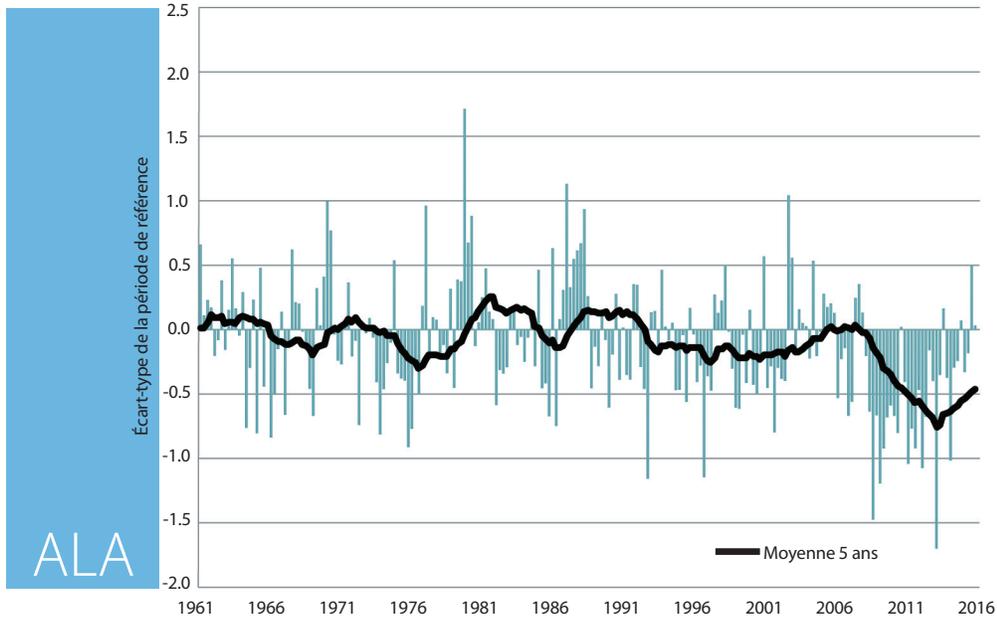
### Annexe 1i. Indice actuariel climatique–Plaines du Nord



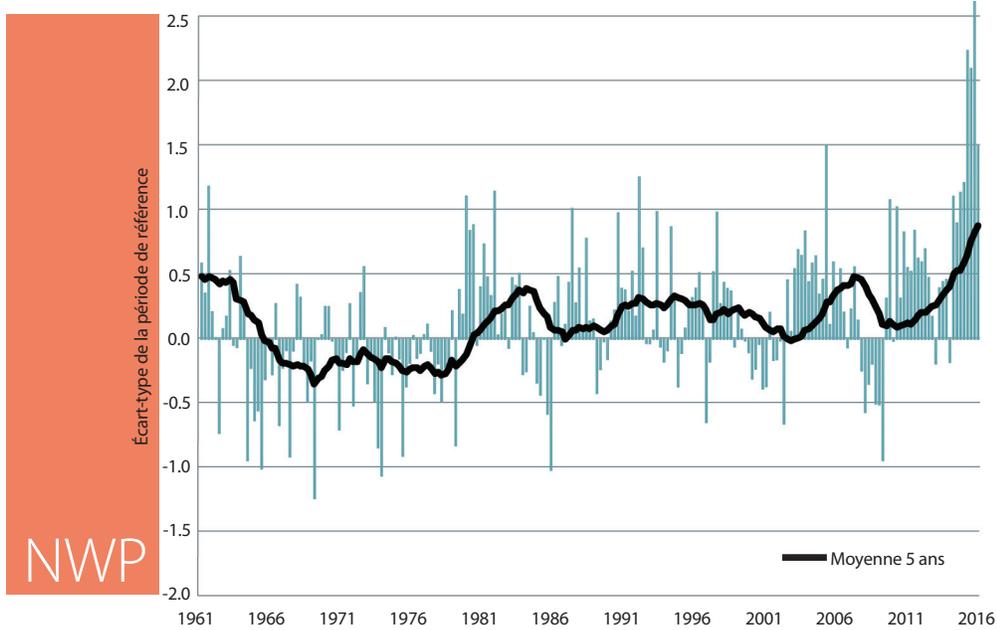
### Annexe 1j. Indice actuariel climatique–Plaines du Sud



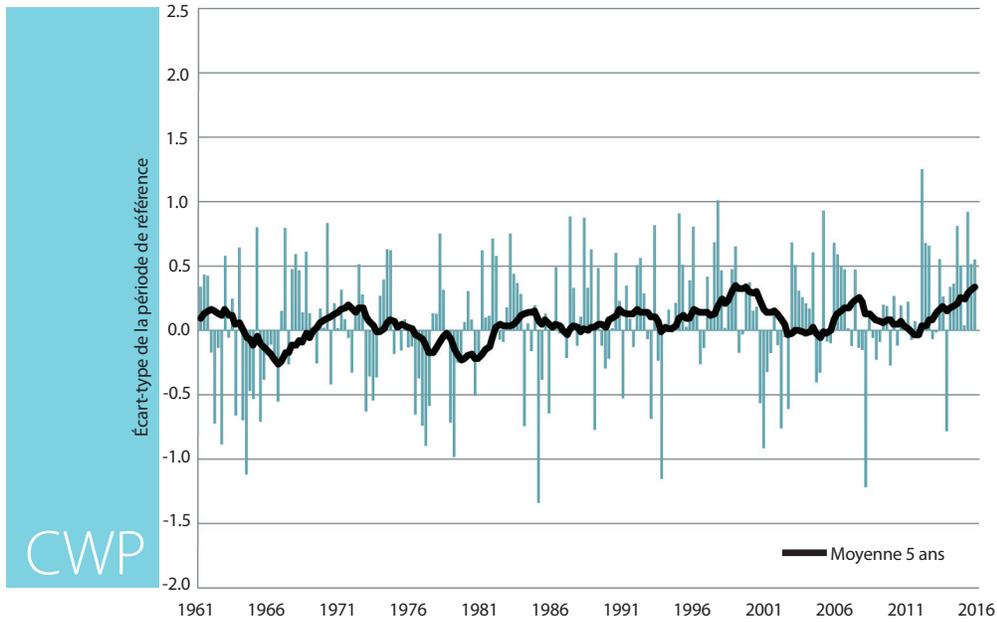
### Annexe 1k. Indice actuariel climatique–Alaska



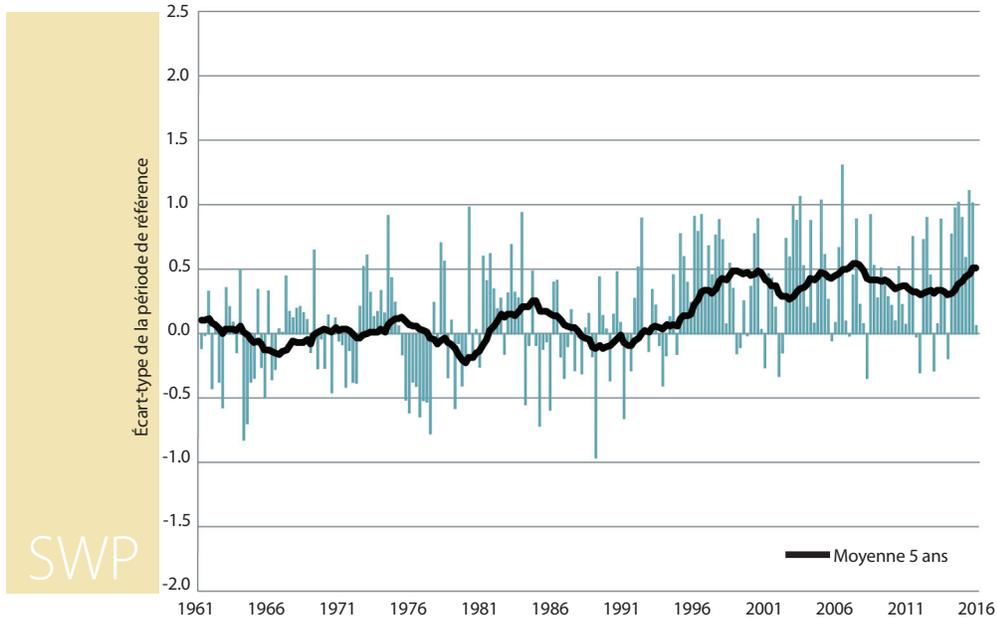
### Annexe 1l. Indice actuariel climatique–Pacifique du Nord-Ouest



### Annexe 1m. Indice actuariel climatique–Pacifique du Centre-Ouest

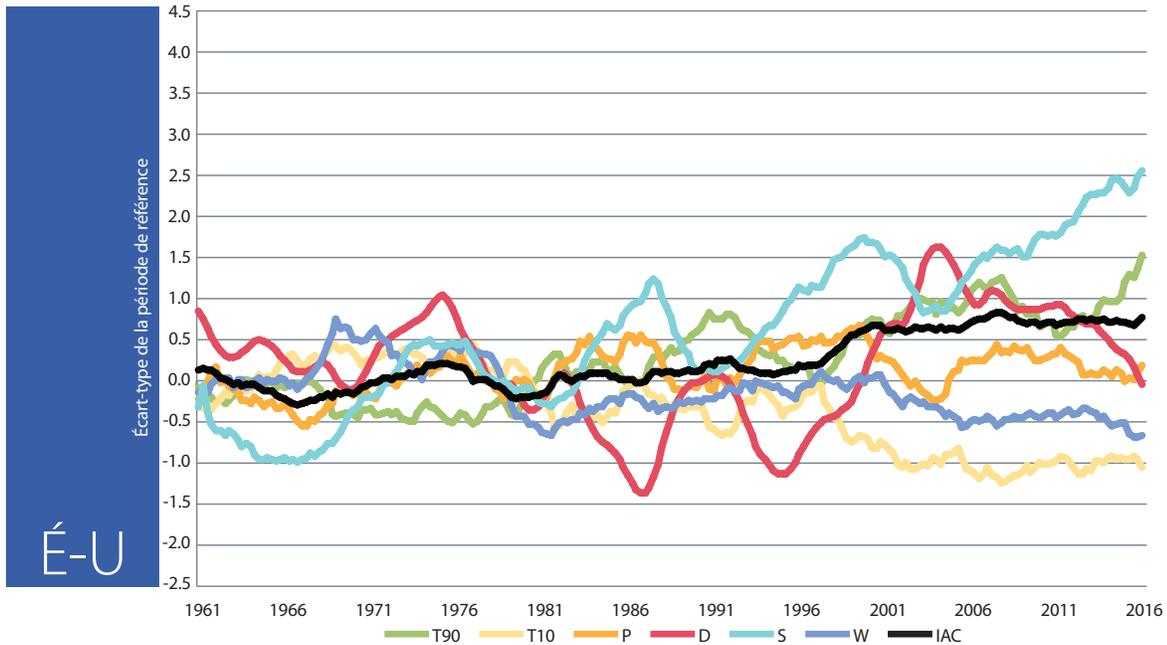


### Annexe 1n. Indice actuariel climatique–Pacifique du Sud-Ouest

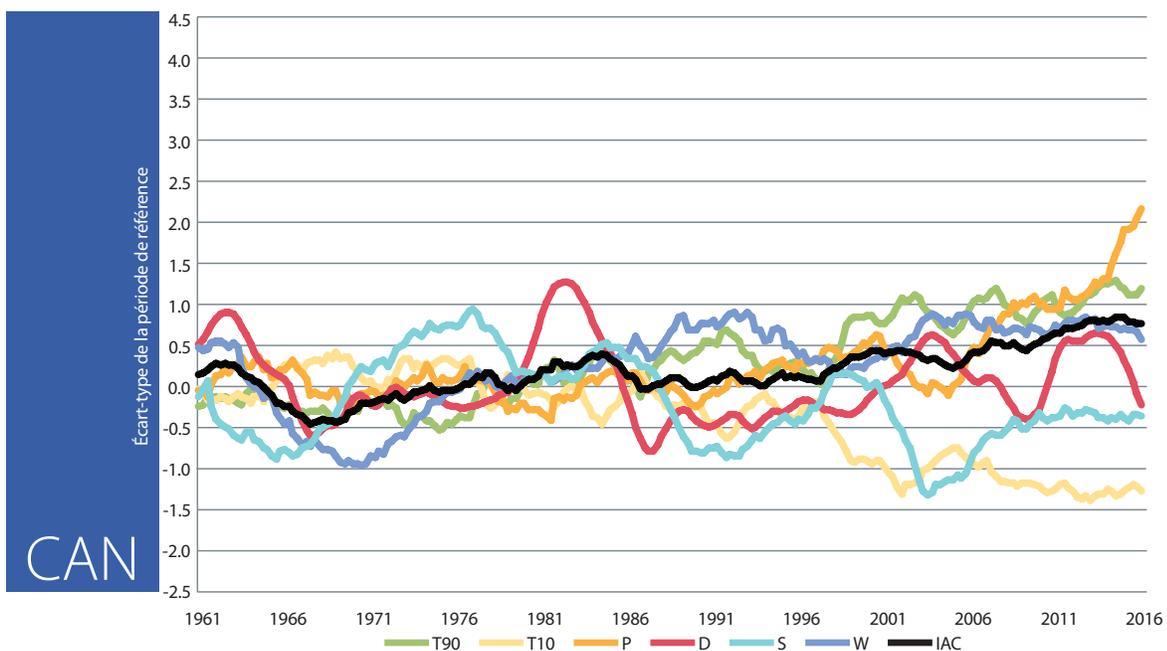


## Annexe 2—Graphiques des régions de l'IAC selon la composante : moyenne sur cinq ans

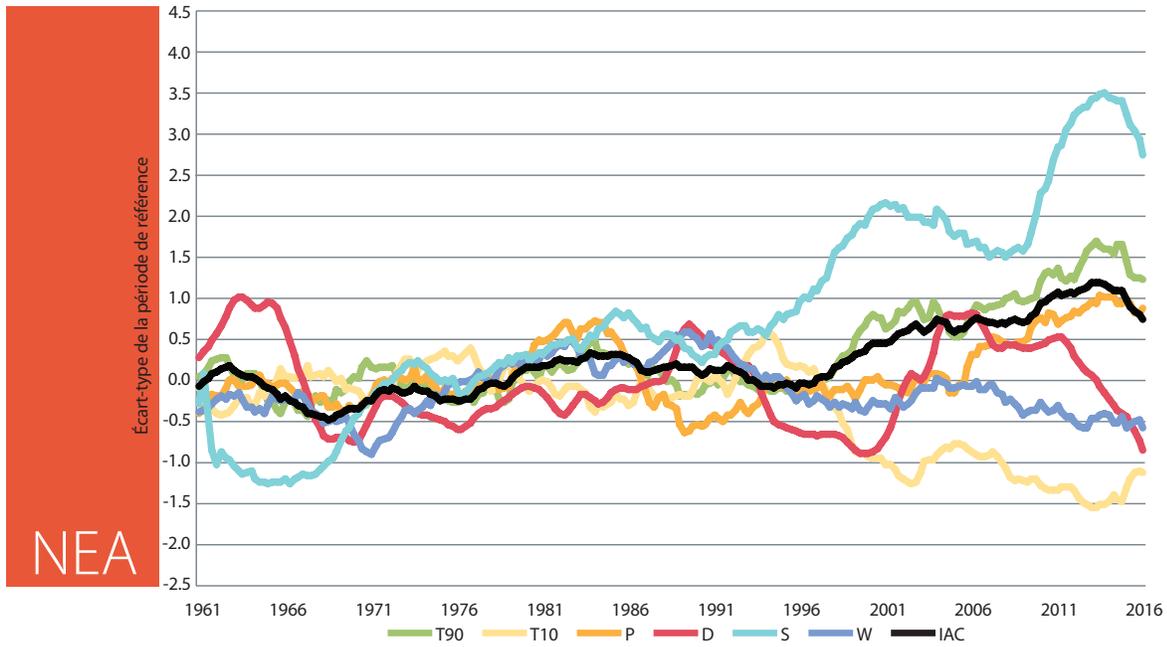
### Annexe 2a—Indice actuariel climatique—États-Unis selon la composante



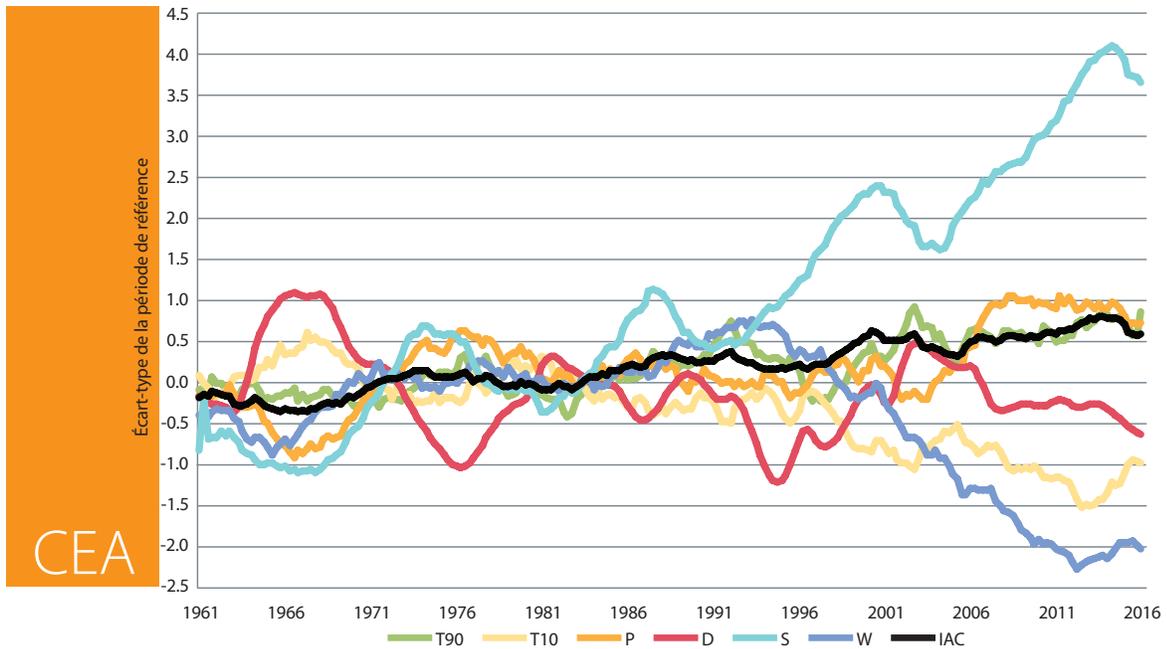
### Annexe 2b—Indice actuariel climatique—Canada selon la composante



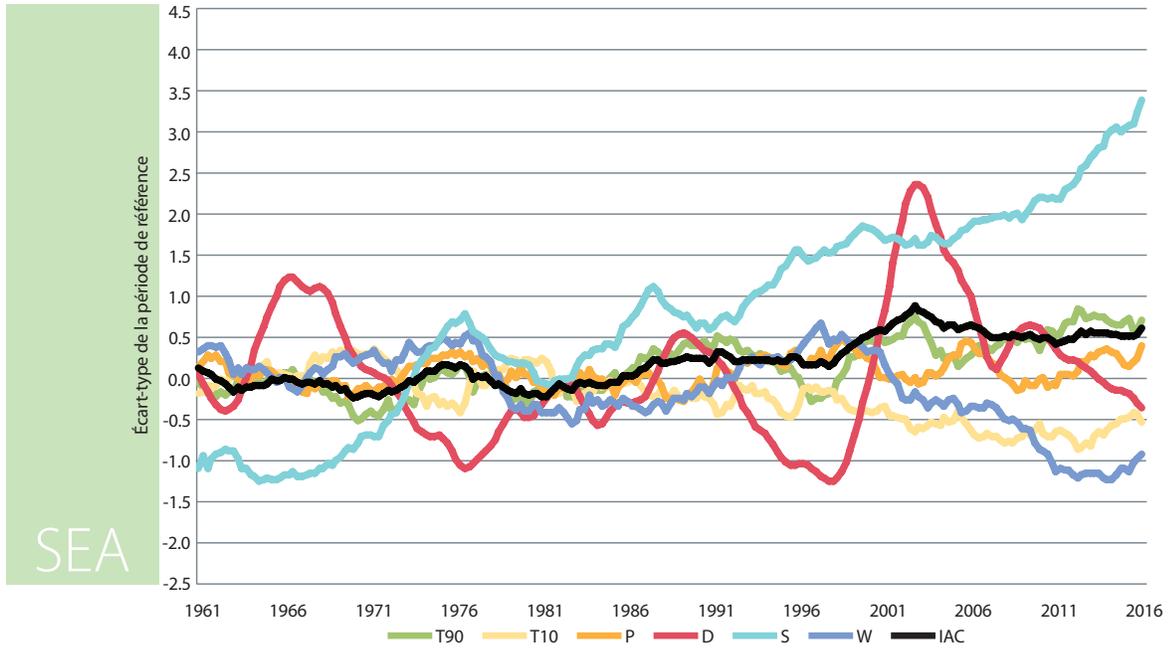
## Annexe 2c–Indice actuariel climatique–Atlantique du Nord-Est selon la composante



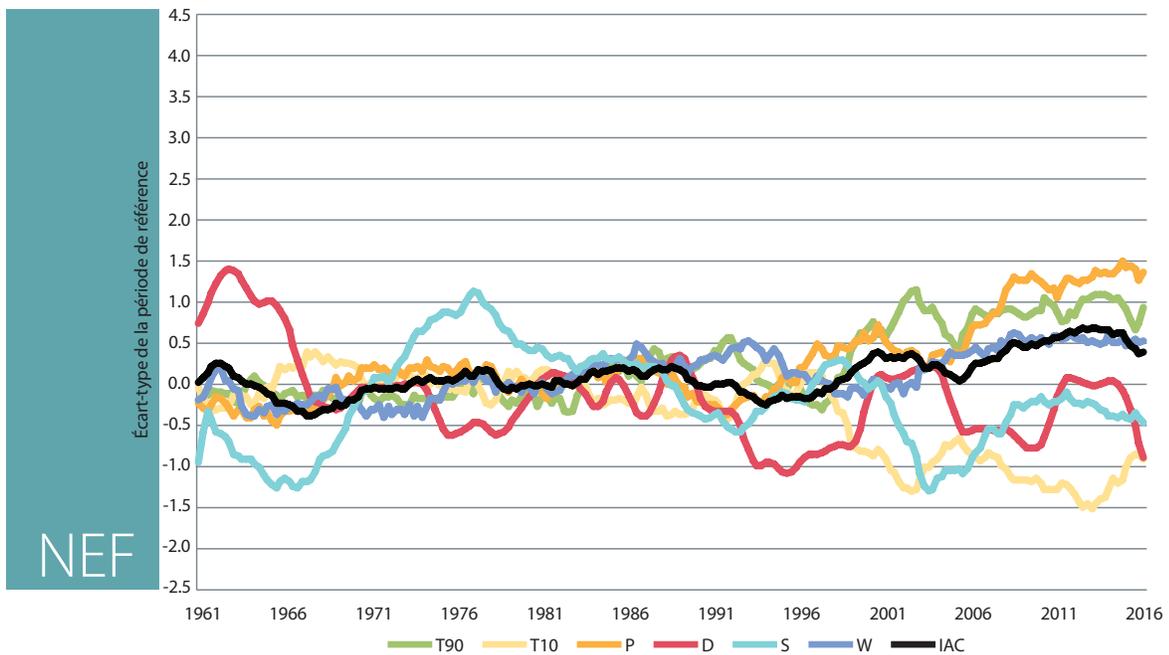
## Annexe 2d–Indice actuariel climatique–Atlantique du Centre-Est selon la composante



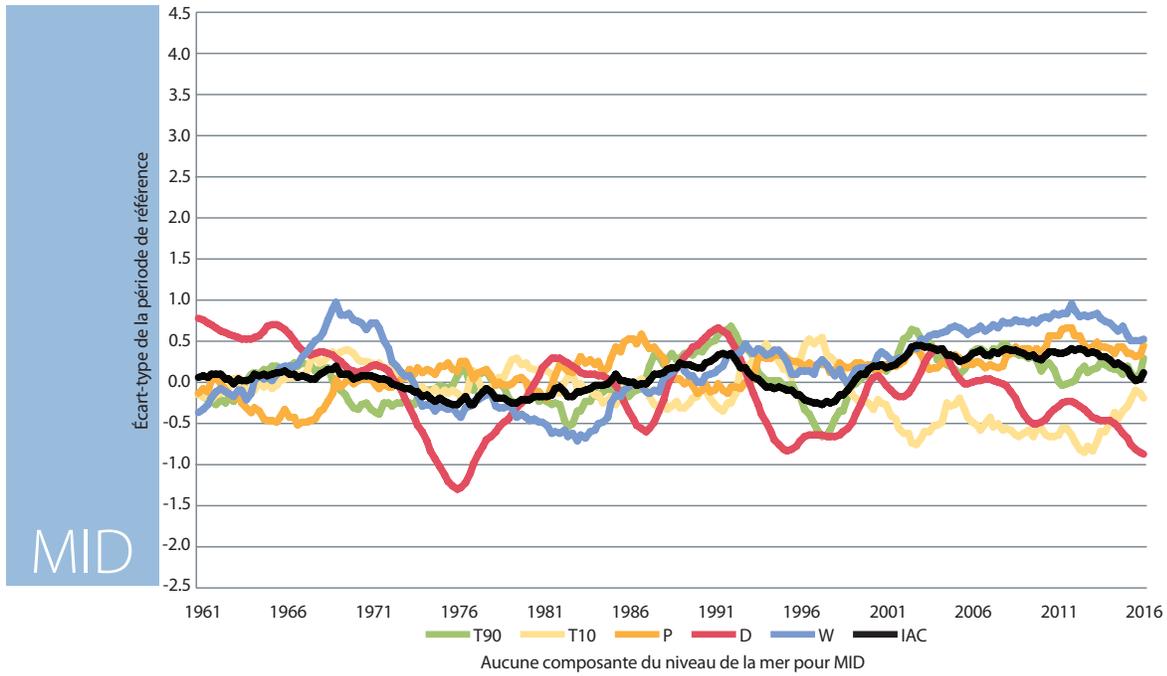
## Annexe 2e–Indice actuariel climatique–Atlantique du Sud-Est selon la composante



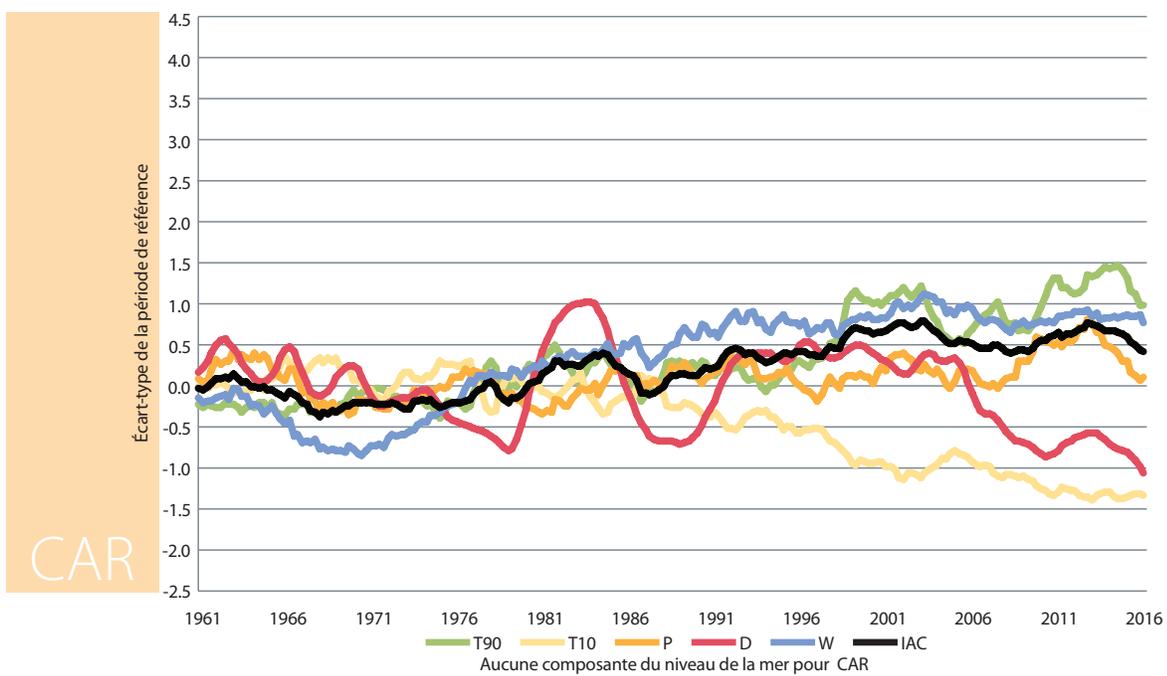
## Annexe 2f–Indice actuariel climatique–Forêts du Nord-Est selon la composante



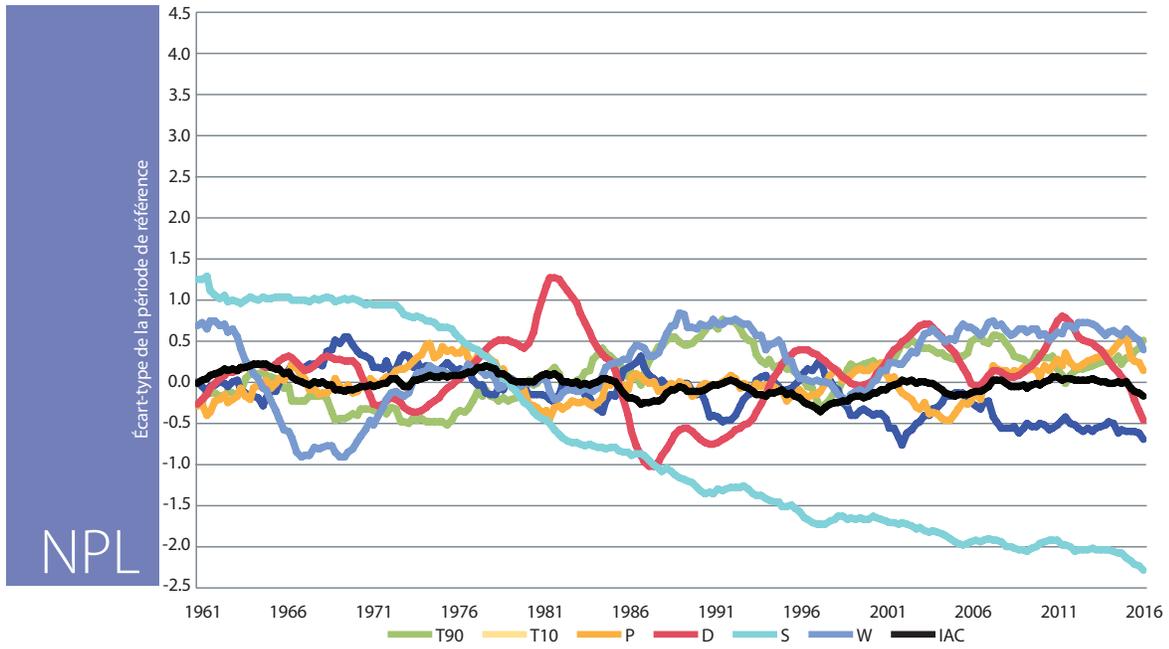
## Annexe 2g–Indice actuariel climatique–Midwest selon la composante



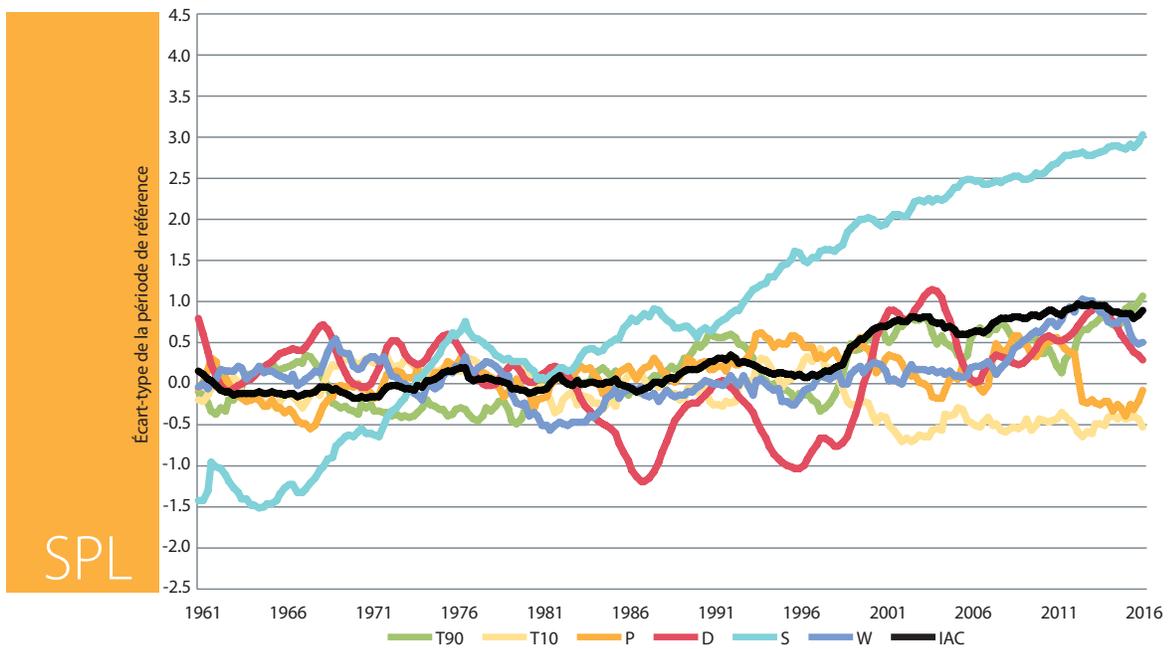
## Annexe 2h–Indice actuariel climatique–Arctique Central selon la composante



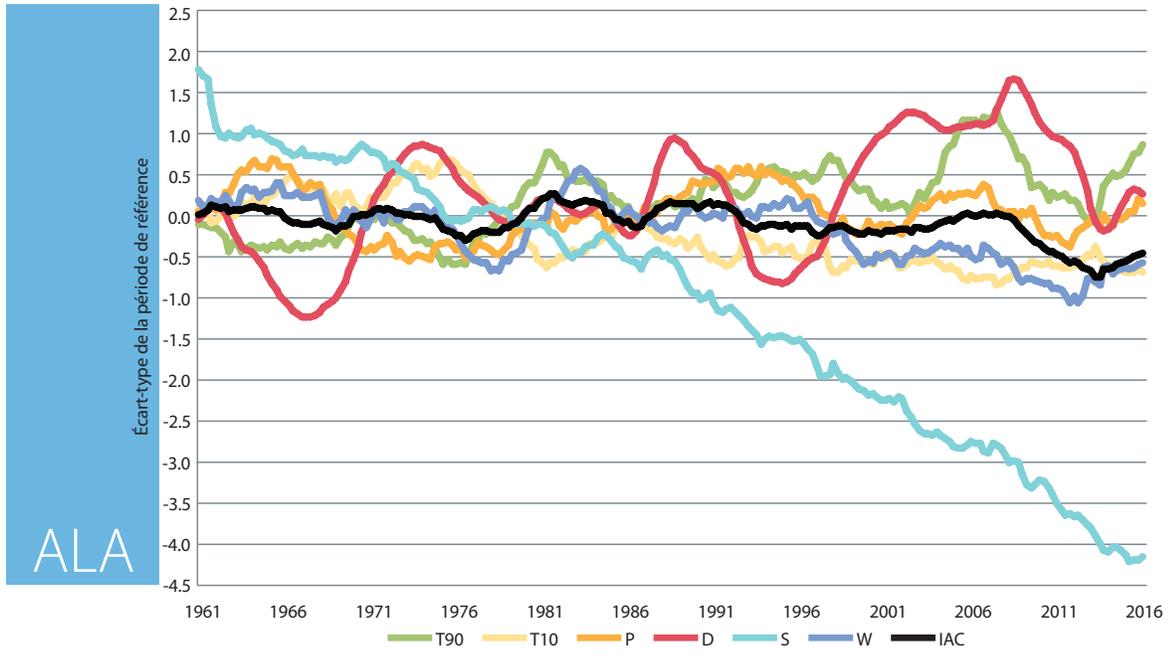
## Annexe 2i–Indice actuariel climatique–Plaines du Nord selon la composante



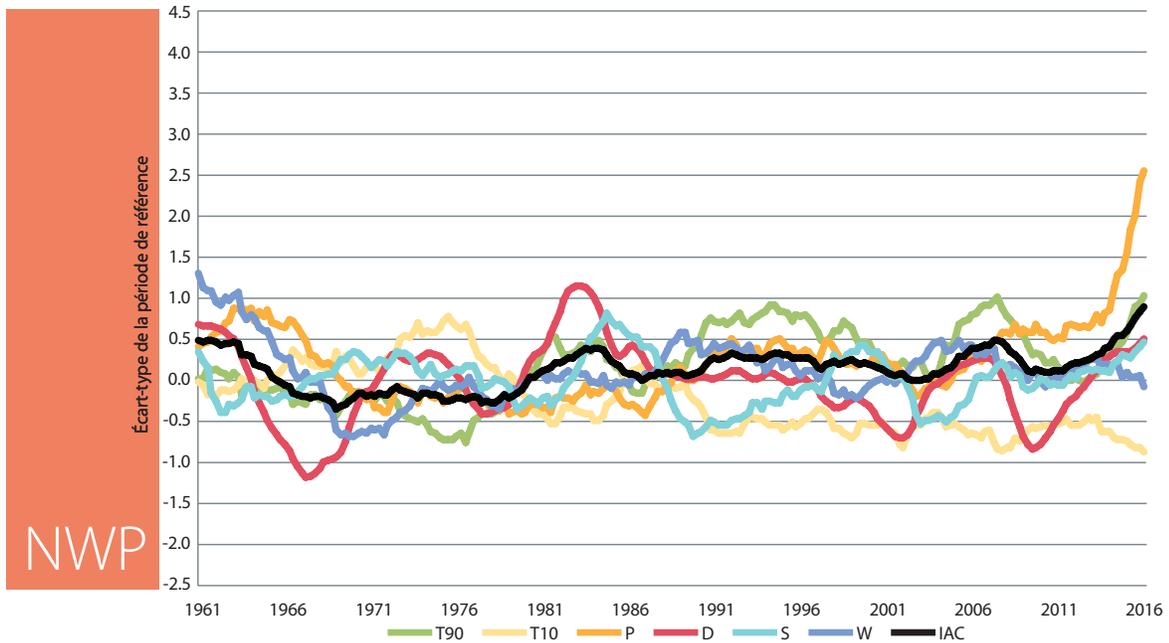
## Annexe 2j–Indice actuariel climatique–Plaines du Sud selon la composante



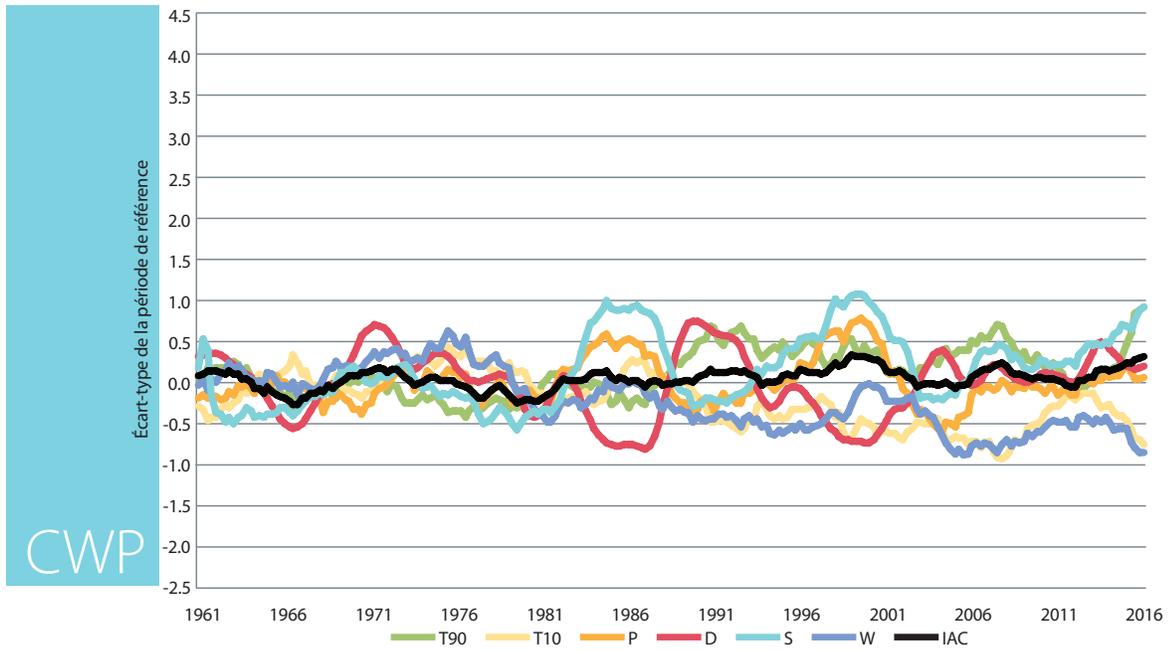
### Annexe 2k-Indice actuariel climatique-Alaska selon la composante



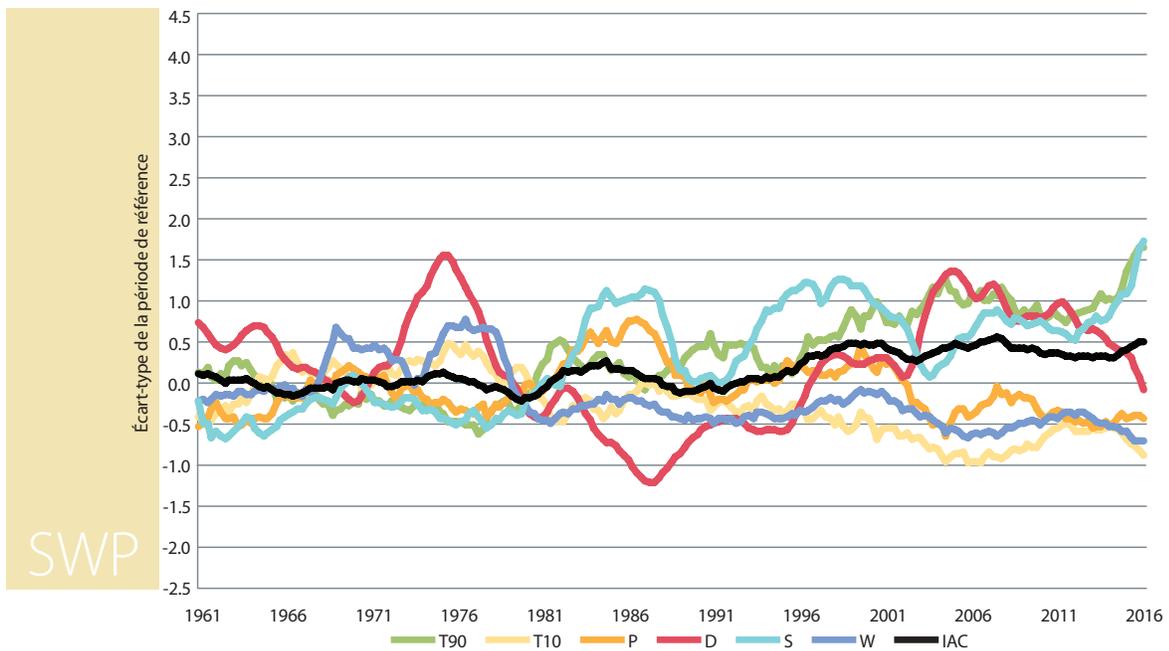
### Annexe 2l-Indice actuariel climatique-Pacifique du Nord-Ouest selon la composante



## Annexe 2m–Indice actuariel climatique–Pacifique du Centre-Ouest selon la composante



## Annexe 2n–Indice actuariel climatique–Pacifique du Sud-Ouest selon la composante



## Annexe 3—Définitions des régions

RÉGION	DESCRIPTION	ÉTATS/PROVINCES
<u>ÉTATS-UNIS</u>		
ALA	Alaska	AK
CEA	Atlantique du Centre-Est	CT, DC, DE, MA, MD, ME, NH, NJ, NY, PA, RI, VT, WV
CWP	Pacifique du Centre-Ouest	ID, OR, WA
MID	Midwest	IA, IL, IN, MI, MN, MO, OH, WI
SEA	Atlantique du Sud-Est	AL, AR, FL, GA, KY, LA, MS, NC, SC, TN, VA
SPL	Plaines du Sud	KS, MT, ND, NE, OK, SD, TX, WY
SWP	Pacifique du Sud-Ouest	AZ, CA, CO, NM, NV, UT
<u>CANADA</u>		
CAR	Arctique Central	NT, NU
NEA	Atlantique du Nord-Est	NB, NL, NS, PE
NEF	Forêts du Nord-Est	ON, QC
NPL	Plaines du Nord	AB, MB, SK
NWP	Pacifique du Nord-Ouest	BC, YT

Les régions sont celles utilisées dans le [National Climate Assessment](#) des États-Unis, où les noms ont été modifiés à des fins de cohérence interne et où on se fonde sur des critères semblables au Canada.

Les valeurs pour chaque région se fondent sur des calculs réalisés à l'échelle des grilles, où la taille de chaque grille est de 2,5 degrés (latitude) sur 2,5 degrés (longitude) (à l'intérieur des terres et des régions côtières des États-Unis et du Canada, de 25 à 75 degrés de latitude Nord et de 50 à 170 degrés de longitude Ouest). À l'équateur, une grille couvre une surface d'environ 275 km par 275 km; à 50 degrés de latitude, environ la latitude moyenne du Canada et des États-Unis, une grille couvre une surface de 275 km en latitude par 180 km en longitude. Les valeurs pour chaque grille sont fondées sur la moyenne des stations météorologiques ou des stations d'observation de la marée à l'intérieur de la grille.

## Annexe 4—Considérations prises en compte pour le développement de l'IAC

Au moment de définir la méthode de développement de l'IAC, nous avons débattu longuement d'un certain nombre de considérations. Nous allons ici en faire une synthèse et expliquer les décisions s'y rapportant.

### Le besoin pour la communauté actuarielle d'ajouter un indice climatique à la liste de ceux déjà en usage

La section 5 du rapport de la phase I (cf. note de bas de page 1) cite plusieurs indices climatiques qui sont actuellement en usage, dont un qui porte sur les extrêmes climatiques aux États-Unis, le Climate Extremes Index (CEI)<sup>12</sup>. Malgré des sources de données similaires, nous avons décidé que l'IAC devait être formulé de façon très différente de celle du CEI. Accessoirement, nous voulions créer un indice flexible pouvant être mis en application à l'extérieur des États-Unis et du Canada.

### L'accent sur les États-Unis et le Canada

À l'origine, l'idée de créer un ensemble d'indices mondiaux était intéressante. La stratégie que nous avons finalement retenue consiste à se centrer sur les pays d'origine des organismes commanditaires, mais de telle manière que les associations actuarielles internationales puissent facilement créer un IAC adapté à leur région particulière, lorsque des données similaires existent. Les données historiques nécessaires existent dans de nombreuses autres parties du globe, bien que la qualité et les échelles de temps varient selon l'emplacement.

### Création d'indices par pays et d'indices globaux indépendamment des indices par région

Plutôt que de faire la moyenne ou la moyenne pondérée des IAC régionaux, nous calculons directement les indices globaux au moyen des anomalies standardisées, et ce, pour toutes les grilles dans ces grandes régions. Tel qu'il est indiqué à la page 16, ce calcul peut générer des valeurs de l'indice (anomalies standardisées) qui sont plus élevées pour les régions réunies que pour l'une ou l'autre des sous-régions. Bien qu'il fasse expliquer cette particularité en détail aux utilisateurs, celle-ci est cohérente avec la façon dont les indices régionaux sont calculés.

<sup>12</sup> Pour un aperçu, veuillez consulter la [page d'accueil](#) du Climate Extremes Index des États-Unis.

### Retranchement de *T10* du calcul de l'IAC

Il a été question d'éliminer *T10* de la formule ou de l'inclure, marquée du signe positif plutôt que du signe négatif. Vu que les températures froides sont à la baisse dans la même mesure que les températures chaudes sont à la hausse, le fait de les ajouter ensemble aurait presque éliminé les effets de la température sur l'indice, alors que la réduction de *T10* (queue gauche) et l'augmentation de *T90* (queue droite) indiquent toutes deux un déplacement vers la droite de toute la distribution des températures. La diminution des températures froides a des conséquences néfastes importantes, telles que la réduction de la mortalité des insectes et la fonte accrue du pergélisol, et cette diminution pourrait aussi exacerber l'incidence de l'augmentation des températures chaudes. La diminution des températures froides comporte également quelques aspects bénéfiques, mais en considérant le tout il a été conclu qu'une diminution des températures froides devrait faire augmenter l'indice, comme c'est le cas des cinq autres composantes, qui ont toutes tendance à faire augmenter l'indice lorsque les impacts négatifs sont en augmentation.

### Exclusion des effets de l'humidité du sol

Des versions de l'IAC comportant une septième composante, l'humidité du sol, ont été produites dans les premiers stades du développement. Cette composante est aujourd'hui retranchée de l'indice, du fait que les données étaient très variables et n'allaient pas toujours dans un sens cohérent avec les variations des températures et des précipitations. Il a été jugé que la prise en compte des jours secs consécutifs couvrait adéquatement le risque de sécheresse.

### Définition de la composante du vent

Les ouragans et les tornades sont l'un des phénomènes les plus préjudiciables à la société, et pourtant la définition de vents extrêmes qui a été retenue prévoit des vents qui sont beaucoup moins destructeurs. La principale raison pour ne pas inclure spécifiquement une mesure de la fréquence de ces vents destructeurs est que ce sont des phénomènes localisés et de courte durée par rapport à l'échelle de temps saisonnier et aux grandes régions utilisées dans l'IAC. Il a aussi été question de la sélection d'un percentile supérieur, par exemple le 95<sup>e</sup> au lieu du 90<sup>e</sup>, mais cela aurait accru la variabilité de la composante du vent. Dans tous les cas, vu que cette composante tient compte de la fréquence des vents qui sont supérieurs au 90<sup>e</sup> percentile de la période de référence, ces fréquences augmenteront s'il y a plus d'épisodes de vents extrêmes.

## **L'utilisation d'anomalies standardisées, qui augmente la complexité de l'IAC et le rend plus difficile à comprendre aux yeux des profanes**

Nous avons utilisé les anomalies standardisées parce que les échelles des six composantes différaient de beaucoup (températures basses et élevées, fortes précipitations, jours secs consécutifs, puissance éolienne et niveau de la mer); la comparaison de chaque anomalie et de son écart-type produit des mesures par composante qui pourraient très bien faire l'objet d'une moyenne. L'anomalie standardisée est une technique statistique couramment utilisée dans ces situations.

## **Le calendrier des révisions trimestrielles des données par saison**

Les données de base des indices sont révisées à diverses fréquences, ce qui veut dire que les données de base complètes de chaque composante, qui vont jusqu'à la fin de la dernière saison, ne seront pas toujours disponibles. Par exemple, l'indice des jours consécutifs secs n'est actualisé qu'une fois par an, et les autres données de base ne sont pas toutes révisées suivant le même calendrier. Le processus de révision de l'IAC suppose que les dernières données disponibles resteront constantes pendant les saisons où les données sont manquantes, puis il y aura correction des points de données antérieurs lorsque les données réelles seront disponibles.

## Annexe 5—Participants à la construction de l'indice

### **Solterra Solutions :**

Charles Curry, Ph.D.

Andrew Weaver, Ph.D.

Ed Wiebe, M.Sc.

### **Groupe de travail sur l'Indice actuariel climatique :**

Gwen Anderson, ACAS, MAAA

Denise Cheung, FCAS, MAAA

Doug Collins, FCAS, MAAA

Stacey Gotham, FCAS, MAAA

Frank Grossman, FICA, FSA

Yves Guérard, FICA, FSA

Steve Kolk, ACAS, MAAA

Neil Leibowitz, FCAS, MAAA

Caterina Lindman, FICA, FSA (présidente)

Karen Lockridge, FICA, FSA

Vijay Manghnani, FCAS, MAAA

Stuart Mathewson, FCAS, MAAA

Tom Strickland, FICA, FSA

Tom Taylor, EA, FSA, MAAA

### **Personnel de liaison des organismes commanditaires :**

L'American Academy of Actuaries : David J. Nolan; Bill Rapp

La Casualty Actuarial Society : Cheri Widowski

L'Institut canadien des actuaires : Les Dandridge

La Society of Actuaries : Dale Hall FSA, MAAA; Ronora Stryker ASA, MAAA

#### Note :

ACAS = Associé de la Casualty Actuarial Society

ASA = Associé de la Society of Actuaries

EA = Enrolled Actuary/actuaire inscrit

FCAS = Fellow de la Casualty Actuarial Society

FICA = Fellow de l'Institut canadien des actuaires

FSA = Fellow de la Society of Actuaries

MAAA = Membre de l'American Academy of Actuaries

## Annexe 6—Examen de l'Indice actuariel climatique par la National Oceanic and Atmospheric Administration

Une équipe de scientifiques<sup>13</sup> aux National Centers for Environmental Information de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) s'est vue demander d'examiner une version antérieure de ce document. L'accent convenu de leur examen consistait à évaluer les ensembles de données et les méthodes utilisées pour créer l'indice. Le document résumant leur examen suit cette introduction.

Nous apprécions grandement le temps et l'expertise fournis par l'équipe d'examen, ainsi que leurs nombreuses suggestions utiles à des fins d'améliorations.

En réponse à l'examen de la NOAA, les modifications suivantes ont été apportées à la méthodologie ou sont actuellement en cours de considération :

- La composante du niveau de la mer dans la version examinée par la NOAA comportait un ajustement visant à éliminer les mouvements des croûtes terrestres des données des marégraphes. Cet ajustement a été éliminé.
- L'utilisation de l'ensemble des données de la NOAA en tant que source des données sur le niveau de la mer est en cours de considération.
- Des sources de données alternatives pour la composante de la sécheresse sont en cours de considération.

<sup>13</sup> L'examen était dirigé par Karin Gleason, co-auteure du [U.S. Climate Extremes Index](#), qui comporte certaines similitudes avec l'IAC.

## Examen des données et des méthodes du document Développement et conception de l'Indice actuariel climatique

par Karin L. Gleason, météorologue à la Monitoring Branch, Derek S. Arndt, chef de la Monitoring Branch, Michael A. Palecki, gestionnaire des projets scientifiques auprès du U.S. Climate Reference Network, et David R. Easterling, chef de l'Observations and Data Records Branch

National Centers for Environmental Information (NCEI) de la NOAA  
Soumis en avril 2016

Version finale en date de mai 2016

### I. PORTÉE ET MANDAT

Les scientifiques des National Centers for Environmental Information (NCEI) de la NOAA ont été invités à évaluer le document intitulé *Indice actuariel climatique – Développement et conception*, qui décrit les motifs à la base de l'élaboration de cet indice, des données et des méthodes utilisées pour créer chaque composante, et de la justification et de la méthode qui sous-tendent la construction d'un indice composite. L'équipe chargée de cet examen a été invitée à évaluer les ensembles de données utilisés pour construire les composantes de cet indice afin de garantir leur suffisance pour ce type d'analyse, de même que les méthodes servant à créer l'indice proprement dit. L'équipe d'examen n'a pas été invitée à évaluer l'efficacité de l'indice ni à l'appuyer de quelque façon que ce soit. Elle a néanmoins formulé plusieurs recommandations pour améliorer l'Indice actuariel climatique (IAC) et(ou) tout autre indice qui pourrait lui succéder. La version du document décrivant cet indice qui a été soumise à l'examen de l'équipe portait la date « février 2016 ». Les modifications apportées par la suite à ce document n'ont pas été prises en compte dans l'examen.

Dans le document, l'expression « équipe d'élaboration » désigne le groupe qui a construit l'IAC. Elle est affiliée à l'Institut canadien des actuaires, à la Society of Actuaries, à la Casualty Actuarial Society et à l'American Academy of Actuaries. L'expertise et les travaux de recherche sont fournis par Solterra Solutions. L'expression « équipe d'examen » désigne les scientifiques des NCEI reconnus comme les auteurs du présent document. L'examen ne constitue nullement une reconnaissance de l'efficacité, de l'utilité ou de la valeur de l'indice, et il ne doit pas être perçu ou annoncé comme tel.

## II. CONSTATATIONS

L'IAC semble suivre l'évolution d'un certain nombre de variables climatiques au fil du temps, plutôt que d'établir un lien entre l'augmentation des risques engendrés par les changements climatiques. L'équipe d'élaboration a indiqué que l'Indice actuariel des risques climatiques (IARC) permettra de mieux analyser la relation entre les changements climatiques et les risques qui y sont associés.

### A. Source des données

Six composantes climatiques constituent l'IAC. L'ensemble de données GHCNDEX<sup>14</sup> est utilisé pour calculer quatre des six composantes, notamment les deux composantes de température, soit les pluies extrêmes et le nombre de jours secs consécutifs. Chacune des variables comprises dans cet ensemble de données est appliquée à une grille de longitude de 2,5° et de latitude de 2,5°. La composante température, qui analyse la température maximale et minimale, repose sur l'ensemble de données GHCNDaily (GHCN-D) de la NOAA, qui est fondé sur les stations d'observation. Plus particulièrement, ces composantes déterminent la fréquence quotidienne des températures maximales et minimales, qui sont observées sous le 10e et au-delà du 90e percentiles de la fonction de distribution des probabilités (FDP). Les données de température découlant de cet ensemble de données affichent une bonne cohérence spatiale et permettent une couverture complète du domaine pour cet indice.

<sup>14</sup> Donat, M.G., et coll. « Global Land-Based Datasets for Monitoring Climatic Extremes », *Bulletin of the American Meteorological Society*, juillet 2013, p. 997-1006, doi:10.1175/BAMS-D-12-00109.1.

Les précipitations maximales sur cinq jours du GHCNDEX sont utilisées pour représenter des épisodes de précipitations abondantes. Cet ensemble de données peut constituer un détecteur raisonnable du potentiel d'inondations, mais il ne permet pas de saisir les inondations réelles découlant de précipitations abondantes sur une période relativement courte et qui endommagent les infrastructures et engendrent d'autres pertes. Par ailleurs, cette variable ne saisira pas nécessairement les périodes de fortes pluies qui s'étendent sur plusieurs semaines et qui sont responsables des plus imposantes inondations à l'échelle spatiale.

Le nombre de jours secs consécutifs (CDD) du GHCNDEX est utilisé pour déterminer l'évolution de la sécheresse météorologique. La création de valeurs mensuelles de la composante qui représente le nombre de jours secs consécutifs par interpolation entre les valeurs annuelles est préoccupante. La propension de jours secs et leurs répercussions varient selon la saison. Par exemple, une période de 30 jours secs consécutifs sans précipitations dans le sud de la Californie est tout à fait normale en juin, mais fort inhabituelle en décembre et des plus nuisibles pour nombre d'éléments, notamment l'approvisionnement en eau, la végétation naturelle et l'agriculture. Dans le Midwest, les jours sans précipitations au printemps sont bénéfiques dans une certaine mesure pour les agriculteurs qui préparent les sols en prévision des semailles; ils deviennent importants au-delà d'un certain seuil, lorsque le sol est trop sec pour l'ensemencement.

Les données utilisées dans la composante de la puissance éolienne semblent raisonnables uniquement pour l'observation des changements au chapitre de la mesure du vent. Les mesures quotidiennes de la vitesse des vents sont obtenues du Earth System Research Laboratory (ESRL) de la NOAA et elles sont converties en puissance éolienne, car des grands vents sont synonymes de puissance éolienne. Toutefois, le vent n'est pas mesuré exclusivement dans le cas de dommages qu'il cause. On pourrait créer une composante « conditions météorologiques violentes » d'après le dénombrement des régions touchées par des orages violents, des chutes de grêle, des tornades et des ouragans qui touchent terre. Il est bien connu que la fréquence et l'ampleur des tempêtes qui génèrent d'imposantes réclamations d'assurance ont augmenté au cours des dernières décennies et à elle seule, une composante fondée sur l'état moyen au plan des vents ne tient pas compte de cette situation.

Les données du Permanent Service for Mean Sea Level sont utilisées pour déterminer les mesures du niveau de la mer dans 76 stations côtières permanentes le long de la côte canado-américaine; ces données produisent un relevé fiable et de longue durée. Elles ne sont pas mises à jour à la fréquence souhaitée pour produire des analyses saisonnières de l'IAC. Un autre ensemble de données à prendre en compte est offert par l'entremise de la NOAA<sup>15</sup> et il est mis à jour à plus grande fréquence (latence d'environ un mois). Il tient compte du cycle saisonnier moyen, ce qui est souhaitable, et il renferme des données relatives locales qui englobent le mouvement des sols à l'échelle locale. Ces données ne sont produites que pour la côte américaine.

### **B. Application de la méthodologie**

Pour chaque composante, une valeur historique moyenne est calculée (dans le cas présent, de 1961 à 1990). Les valeurs relatives à chaque période de temps sont comparées à cette moyenne historique et une valeur de différence, ou delta, est établie. Les valeurs delta positives correspondent à une augmentation observée de cette composante, tandis que les valeurs négatives indiquent une diminution de la composante observée. Les valeurs delta sont ensuite comparées à l'écart-type de la période de référence et une anomalie normalisée adimensionnelle est calculée pour la période à l'étude.

Lors du jumelage des résultats de plusieurs indicateurs, il est important de pouvoir combiner facilement les composantes individuelles en utilisant des échances comparables. L'uniformisation des résultats de chaque composante avant le jumelage à l'IAC composite permet une comparaison uniforme significative et un contraste entre les composantes. En outre, l'IAC représente la moyenne des anomalies uniformisées de l'indicateur, ce qui facilite aussi le calcul des résultats. Une valeur d'IAC supérieure à 1 sous-entend que les extrêmes observés sont « inhabituels » et des valeurs supérieures à 2 indiquent que les extrêmes sont « très inhabituels ». Pour les utilisateurs qui ne connaissent pas très bien la statistique, ces définitions peuvent être expliquées facilement et les résultats deviennent accessibles à tous les utilisateurs. Même si l'examen a permis de relever certaines préoccupations au sujet de la représentativité de composantes individuelles (voir ci-après), les composantes de l'IAC se marient dans l'indice composite d'une manière qui semble cohérente avec l'intention de l'équipe d'élaboration, à une exception près : la composante des extrêmes de faible température.

15 NOAA, [Sea Level Trends](#) de « Tides and Currents », consulté le 11 novembre 2016.

La façon dont une diminution de la fréquence des extrêmes de faible température semble se traduire par une augmentation des risques au Canada et aux États-Unis n'est pas conforme aux résultats de bien des études. Nous reconnaissons que ce changement puisse engendrer une augmentation des risques dans certaines régions, mais aussi que bon nombre de régions peuvent profiter d'une baisse du nombre de périodes de froid extrême, plus particulièrement en ce qui concerne la mortalité/morbidité des humains victimes de maladies et d'accidents en hiver. De plus, le cycle saisonnier est important dans la détection des risques imputables à des températures extrêmes. Les risques découlant de températures minimales et maximales extrêmes varient selon la saison, plus particulièrement entre l'été et l'hiver. Par exemple, un épisode de température du 90<sup>e</sup> percentile au cours de l'été pose de bien plus grands risques qu'un épisode similaire pendant l'hiver. Cette composante serait plus utile si les variantes saisonnières étaient prises en compte plutôt qu'une approche globale pour tous les mois dans toutes les régions.

La composante des précipitations, qui tient compte des variations mensuelles des précipitations maximales sur cinq jours, est quelque peu inefficace pour mesurer les fortes précipitations causées par des événements hydrologiques qui endommagent l'infrastructure et engendrent d'autres pertes. Cet ensemble de données serait peut-être efficace à titre d'indicateur général d'inondations probables. Toutefois, des périodes calmes et des périodes sèches sont incluses dans la moyenne mobile et elles éliminent le signal d'épisodes de fortes précipitations. Il serait préférable d'associer des mesures comme la fréquence de fortes précipitations ou le pourcentage de précipitations totales dans le cours d'épisodes de fortes précipitations qui causent des dommages aux cultures et à l'infrastructure, et à la morbidité humaine (accidents de transport causés par des épisodes de fortes précipitations et des crues soudaines).

En examinant de plus près la composante sécheresse météorologique, nous constatons qu'il n'existe qu'une valeur de CDD par année dans le GHCNDEX. À partir de ces valeurs, les valeurs mensuelles sont obtenues en appliquant une interpolation linéaire aux valeurs annuelles. Comme nous l'avons déjà mentionné, ce point est préoccupant en raison du caractère saisonnier des jours secs sans précipitations dans certaines régions. Pour une mesure plus précise de la sécheresse et de son évolution dans le temps, il est recommandé d'utiliser le North American Drought Monitor (NADM). Des cartes mensuelles du NADM sont dressées et elles peuvent être utilisées de concert avec la technologie de systèmes d'information géographique (SIG) pour calculer les zones de sécheresse dans chaque région et sous-région. La conversion des CDD en pourcentage d'anomalie et son uniformisation semblent raisonnables et cohérentes avec d'autres composantes.

La composante puissance éolienne semble caractériser l'état de base du vent et son évolution dans le temps plutôt que les vents qui pourraient être observés dans le cours d'un épisode de temps extrême. Une augmentation de l'état moyen du vent ne pose pas nécessairement un risque. En effet, de nombreux avantages sont associés à la hausse du débit de base. Si le but du présent indice consiste à classer les composantes climatiques qui peuvent être reliées aux risques, il conviendrait d'envisager un ensemble de données différent, peut-être un ensemble qui a trait à des épisodes de temps extrême, notamment l'intensité/la fréquence d'une tornade, les vents lors d'orages, les tempêtes tropicales qui touchent terre, les ouragans et des événements semblables.

Le niveau de la mer ne change pas rapidement; il semble donc passablement constant dans le temps. Si cette composante est uniformisée, elle représente une variation encore moindre du niveau de la mer, ce qui est souhaitable pour l'indice à l'étude. L'équipe d'examen remet en question la justification d'accorder un poids égal à cette composante lorsqu'elle est jumelée à d'autres composantes, plus particulièrement parce que les risques liés aux côtes ont très peu d'impact sur les régions continentales intérieures. Les effets des affaissements de terrain sont délibérément supprimés de cette composante. L'équipe d'examen s'attendrait à ce que les affaissements de terrain soient pris en compte parce que le but de cette composante semble produire une mesure des inondations en zones côtières, auxquels contribuent des éboulements, tels ceux enregistrés dans les régions du delta, en Louisiane et le long des États du centre du littoral de l'Atlantique.

### III. RECOMMANDATIONS

L'équipe d'élaboration de l'IAC devrait envisager la préparation d'une grille de l'indice, ce qui permettrait de modifier l'indice, de sorte que les variables à effets accrus (moindres) pourraient être inclus (exclus) dans des zones différentes. Par exemple, la pondération du niveau de la mer est actuellement effectuée par longueur du littoral, plutôt qu'en fonction de l'effet sur la démographie et l'activité économique de chaque région. En outre, une diminution de la fréquence du froid extrême dans les diverses régions du Canada se traduit par un risque accru en raison du dégel du pergélisol. Ce n'est pas le cas aux États-Unis, où on observe une diminution des risques pouvant être attribués à ces mêmes conditions. Ces suggestions peuvent dépasser l'objectif de départ, mais elles pourraient donner lieu à un indice plus utile.

L'équipe d'examen recommande fortement d'étalonner les composantes des extrêmes en fonction de l'indice global par saison, car plusieurs extrêmes sont avantageux au cours d'une saison et nuisibles durant une autre. Il conviendrait de consulter des experts de la climatologie appliquée, de la santé humaine, de l'infrastructure, de l'agriculture, du commerce et des secteurs rattachés aux risques découlant des changements climatiques. Cette solution permettrait d'optimiser le jumelage des composantes, des coefficients de pondération, des variations saisonnières et de l'envergure des répercussions.

L'IAC repose en grande partie sur les données du GHCNDEX. Même s'il est commode, nous estimons que l'IAC gagnerait en valeur si chacune de ses composantes provenait de données brutes qui représentent plus efficacement une relation entre le climat et l'augmentation des risques issus des changements climatiques.

Chacune des six composantes qui constituent l'IAC reçoit une pondération égale lorsqu'elle est jumelée aux autres pour former l'IAC. Deux des six composantes ont trait aux changements de température et deux autres (niveau de la mer et puissance éolienne) affichent au mieux de faibles tendances au fil du temps. L'équipe d'examen est d'avis que cet indice peut profiter de l'application de coefficients de pondération inégaux pour certaines composantes, pour tenir compte des facteurs qui contribuent davantage aux risques jumelés découlant des changements climatiques.

Le remplacement de la composante niveau de la mer par une composante des inondations (nuisance) côtières ou un facteur du genre pourrait constituer une meilleure mesure des répercussions des changements climatiques à long terme. Les travaux en la matière sont encore bien nouveaux, pourtant les inondations (nuisance) sont directement liées à de nombreux risques rattachés aux zones côtières.

L'équipe d'examen recommande d'envisager l'application du NADM pour mesurer plus directement les changements liés aux sécheresses météorologiques et hydrologiques<sup>16</sup>. La catégorie D1 ou supérieure pour le pourcentage des États-Unis, du Canada ou de toute autre région peut facilement en être extraite et analysée.

<sup>16</sup> Pour obtenir un aperçu, veuillez consulter le [North American Drought Portal](#).

Les mathématiques de l'IAC supposent qu'une réduction des épisodes de froid extrême est d'une envergure égale et tout aussi risquée qu'une augmentation des épisodes de chaleur extrême. Même si cette question dépasse la portée d'un examen méthodologique, elle n'est pas non plus conforme aux travaux de recherche pertinents. Il convient de faire preuve de prudence pour garantir qu'il s'agit d'une représentation appropriée d'un risque accru, plutôt qu'une simple mesure des changements climatiques.

#### **IV. ADDENDA**

Pour tout indice ou produit créé à partir de données qui ne proviennent pas de sources internes, il convient de veiller à ce que les données soient acquises du fournisseur d'origine, plutôt que d'une tierce partie. Même si ce n'est pas de façon délibérée, les valeurs peuvent être modifiées; dans ce cas, la qualité des résultats d'un indice fondé sur de telles données serait moindre.



ACTUARIES CLIMATE INDEX  
INDICE ACTUARIEL CLIMATIQUE

**[INDICEACTUARIELCLIMATIQUE.ORG](http://INDICEACTUARIELCLIMATIQUE.ORG)**