

ESTIMATION DES SÉCHERESSES AU NOUVEAU-BRUNSWICK, CANADA (1971-2020).

Guillaume FORTIN^{1,2}, Charlotte POIRIER², Vincent DUBREUIL³

¹ *Département d'histoire et de géographie, Université de Moncton, Canada -*

**guillaume.fortin@umoncton.ca*

² *Maîtrise en études de l'environnement, Université de Moncton, Canada - ecp5936@umoncton.ca*

³ *LETG-Rennes, Université Rennes 2, UMR 6554 CNRS, France - vincent.dubreuil@univ-rennes2.fr*

Résumé : Historiquement, les sécheresses estivales affectent principalement l'Ouest du Canada. La province du Nouveau-Brunswick, située à l'extrémité est du Canada, a récemment connu des épisodes de sécheresse intenses notamment à l'été 2020. Une analyse des relations entre les températures, les précipitations, les sécheresses et les vagues de chaleur pour la période de 1971 à 2020 à l'échelle du Nouveau-Brunswick est présentée dans cette étude. Il semble que les sécheresses les plus intenses ne surviennent pas nécessairement en même temps que les vagues de chaleur même si ces deux types de risques ont connu une hausse statistiquement significative depuis 1971.

Mots clés: indices, sécheresse, Nouveau-Brunswick, Canada

Summary: Historically, summer droughts have primarily affected Western Canada. The province of New Brunswick, located in the eastern part of Canada, has recently experienced intense drought events, particularly in the summer of 2020. An analysis of the relationship between temperature, precipitation, droughts, and heatwaves for the period 1971 to 2020 at the New Brunswick scale is presented in this study. It appears that the most intense droughts do not necessarily occur at the same time as heatwaves, although there has been a statistically significant increase in both since 1971.

Keywords: index, drought, New Brunswick, Canada

Introduction

Les sécheresses sont susceptibles d'affecter à la fois les activités humaines (agriculture, approvisionnement en eau, tourisme...) et les écosystèmes naturels (feux de forêt, habitats aquatiques...). L'analyse des sécheresses constitue un défi important car elles sont difficiles à définir, à détecter et à suivre autant sur le plan spatial que temporel (Wilhite 2000). Il existe plusieurs indices qui permettent de quantifier leurs principales caractéristiques dont leur fréquence, leur durée, leur intensité et leur répartition spatiale. Certains auteurs (Heim 2002 ; Mishra et Singh 2010) présentent des synthèses détaillées de ces divers indices dont la majorité utilisent uniquement les précipitations. Toutefois, les précipitations ne constituent qu'une seule variable parmi plusieurs qui contrôlent le stress hydrique dans les écosystèmes et la disponibilité des ressources en eau. C'est d'ailleurs pour cette raison que certains indices utilisent, par exemple, d'autres variables comme l'évaporation ou l'évapotranspiration. La prise en compte de variables supplémentaires mais aussi d'autres types de risques, telles que les vagues de chaleur, est tout à fait pertinente en regard de la hausse prévue des températures et du fait que les risques climatiques sont souvent concomitants.

Dans le cadre de cette étude nous avons utilisé deux indices de sécheresse soit : l'indice de précipitation normalisé (SPI) et l'indice de précipitation et d'évapotranspiration normalisé (SPEI) afin de caractériser les épisodes de sécheresse depuis 1971 pour une dizaine de stations météorologiques

réparties sur l'ensemble de la province du Nouveau-Brunswick (N.-B.). Il a été démontré que les risques hydroclimatiques, notamment dans le contexte du réchauffement climatique récent, peuvent se combiner et amplifier les impacts sur les écosystèmes et les sociétés (AghaKouchak et al. 2014). Dans cette étude nous présentons quelques exemples de relations possibles entre les précipitations, les températures, les indices de sécheresse et le nombre de vagues de chaleur à l'échelle de la province. Une analyse des tendances, réalisée avec le test non-paramétrique de Mann-Kendall, a également été faite pour les sécheresses. En général, les différents types de risques sont étudiés séparément ce qui peut conduire à une sous-estimation des impacts cumulatifs et réels susceptibles d'affecter les sociétés et les écosystèmes vulnérables d'où l'intérêt de combiner les risques tels que les sécheresses et les vagues de chaleur.

1. Données et Méthodes

1.1. Zone d'étude

Le Nouveau-Brunswick couvre une superficie totale de près de 71 377,18 km² (Statistique Canada 2011) et se situe sur la côte est du Canada en bordure de l'océan Atlantique (Figure 1). Le climat régional varie principalement en fonction de l'altitude et de la distance à la mer (Fortin et Dubreuil 2020). Les normales climatiques (1981-2010) pour les précipitations totales sont réparties sur l'ensemble de l'année et varient entre 997,6 (Charlo) et 1295,5 mm (Saint-Jean) dont entre 20-30% est reçu sous forme de neige.

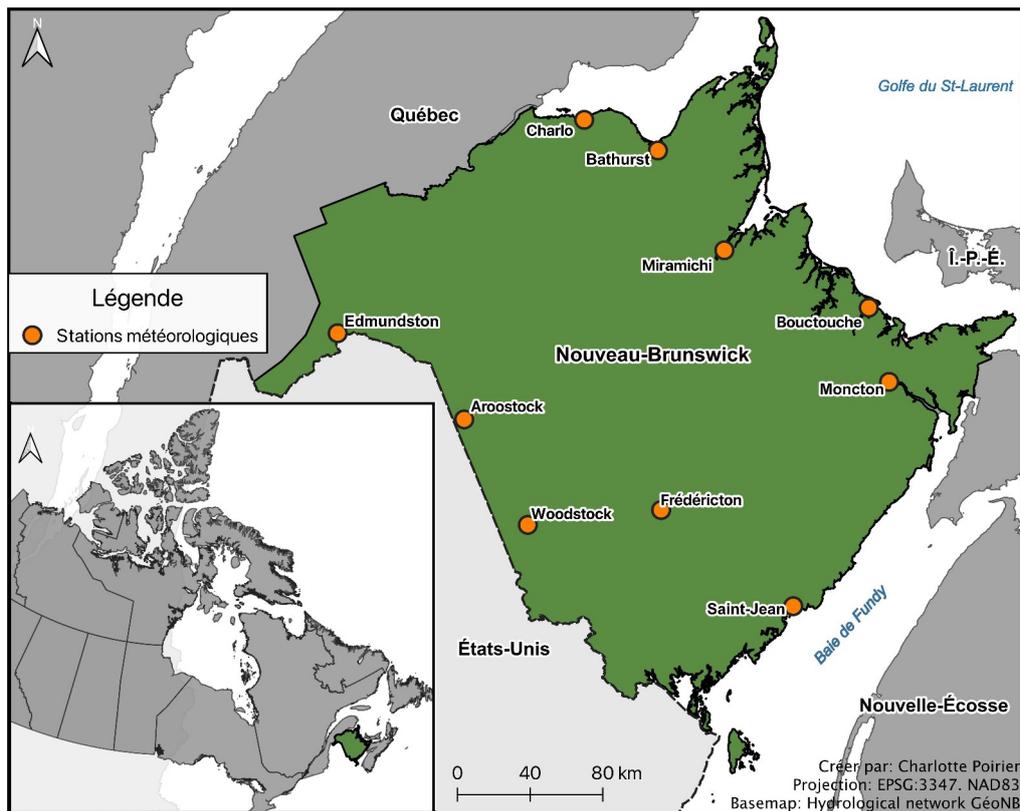


figure 1. Carte de localisation de la province du Nouveau-Brunswick et des stations retenues dans cette étude.

1.2. Données

Les températures minimales et maximales mensuelles moyennes et les précipitations totales mensuelles, provenant du réseau de stations météorologiques d'Environnement et Changement Climatique Canada (ECCC, 2022a), sont utilisées pour calculer deux indices de sécheresses soit l'indice normalisé des précipitations (SPI) et l'indice normalisé des précipitations et de l'évapotranspiration (SPEI). Les données concernant la fréquence (nombre de jours par année) des vagues de chaleur proviennent du portail Donneesclimatiques.ca (ECCC, 2022b). Ces données comportent des variables issues d'observations et de modèles climatiques. L'ensemble des données des modèles climatiques CMIP5 ont été ramenées à une échelle plus fine et corrigées des biais à l'aide de la méthode BCCAQv2, qui permet de réaliser une mise à l'échelle statistique des sorties de modèles climatiques (Cannon et al. 2015).

1.3. Méthodes

Le SPI a été décrit et utilisé abondamment (McKee et al., 1993; Labudová et al., 2017), il se base sur une distribution de probabilité des précipitations en utilisant la distribution gamma. Le package `R_SPEI` a été utilisé pour calculer les indices SPI et SPEI. Des pas de temps variables (1, 3, 6 et 12 mois) ont été utilisés pour les calculs mais seuls ceux correspondant aux mois d'été (juin, juillet et août) ont été retenus aux fins d'analyse pour cette étude.

Rappelons que le SPI utilise uniquement les précipitations mensuelles, ce qui offre l'avantage d'être simple à calculer et il peut être facilement applicable dans divers types de climats. Cependant, puisqu'il n'utilise pas les températures, il ne permet pas d'estimer l'évapotranspiration et les modifications de celle-ci dans un contexte de réchauffement climatique. C'est pour cette raison que l'utilisation du SPEI peut s'avérer utile et complémentaire.

Le SPEI représente une version améliorée du SPI, il est basé sur l'équation du bilan hydrique (précipitations moins évapotranspiration potentielle) et il prend en considération la température (Beguería et al., 2014; Labudová et al., 2017; Vicente-Serrano et al., 2010).

La définition des niveaux de sécheresse avec les indices SPI et SPEI peut se faire en fonction de valeurs obtenues (entre 2 et -2) qui peuvent être positives (dans le cas de périodes bien arrosées) ou négatives (dans le cas de sécheresses). Les valeurs pour les sécheresses peuvent être réparties en quatre niveaux : (1) D0 = près de la normale (entre 0 et -0,99) ; (2) D1 = modérément sec (-1,0 à -1,49) ; (3) D2 = très sec (-1,5 à -1,99) ; (4) D3 = extrêmement sec ($\geq 2,0$).

Les vagues de chaleur peuvent être caractérisées en fonction de leur durée, leur fréquence et leur intensité en se basant sur divers seuils. Dans le cadre de cette étude nous avons retenu l'indice de vague de chaleur qui calcule le nombre de vagues de chaleur lorsque cinq jours consécutifs et plus dépassent le seuil de 30°C (Cannon et al. 2015; ECCC, 2022b). Cet indice permet ensuite de départager les données obtenues selon le 10^e, 50^e et 90^e percentiles.

2. Résultats et discussion

La classification en ordre croissant des données estivales pour les précipitations moyennes et les températures maximales (Tmax), tel que présenté dans les figures 2a et b, montrent que l'été 2020 se démarque car il était chaud (Tmax = 25,17°C) et sec (54,6 mm). En fait, il a reçu presque trois fois moins de précipitations que l'été 2011 qui était au contraire le plus arrosé (147,3 mm). Cependant, les températures minimales moyennes (Tmin) de l'été 2020 arrivent au 15e rang (11,43°C) et au 3e rang en ce qui concerne les températures moyennes (Tmoy, 18,3°C). À l'opposé l'année 2011, bien que très arrosée, se démarque par des températures relativement basses mais qui ne se situent pas complètement à l'extrémité de la courbe de distribution. En effet, les valeurs thermiques pour

l'année 2011 se classent respectivement au 42^e, 12^e et 30^e rangs pour les Tmax, Tmin et Tmoy (Figure 2b).

Pour les indices de sécheresse (SPI et SPEI) la figure 3 présente la proportion moyenne (il s'agit d'un indice régional qui correspond à la valeur moyenne des dix stations) du nombre de sécheresses par classe pour les deux indices (SPI et SPEI). On constate qu'il y a peu de différence entre les deux indices. Le SPEI indique qu'il y a une proportion égale entre le nombre de périodes humides et sèches tandis que le SPI compte 4% de plus de périodes humides (2 années) ainsi qu'une année supplémentaire qui est considérée comme modérément sèche (été 1985). Toutefois pour les deux indices on compte deux années pouvant être qualifiées de très sèches et aucune comme étant extrêmement sèche. Les deux années les plus sèches sont respectivement 2001 (SPI = -1,96; SPEI = -1,94) et 2020 (SPI = -1,89; SPEI = -1,93). On remarque que l'été 2001 se situe très près de la limite inférieure de la classe (-1,99) au-delà de laquelle l'été aurait été qualifié d'extrêmement sec.

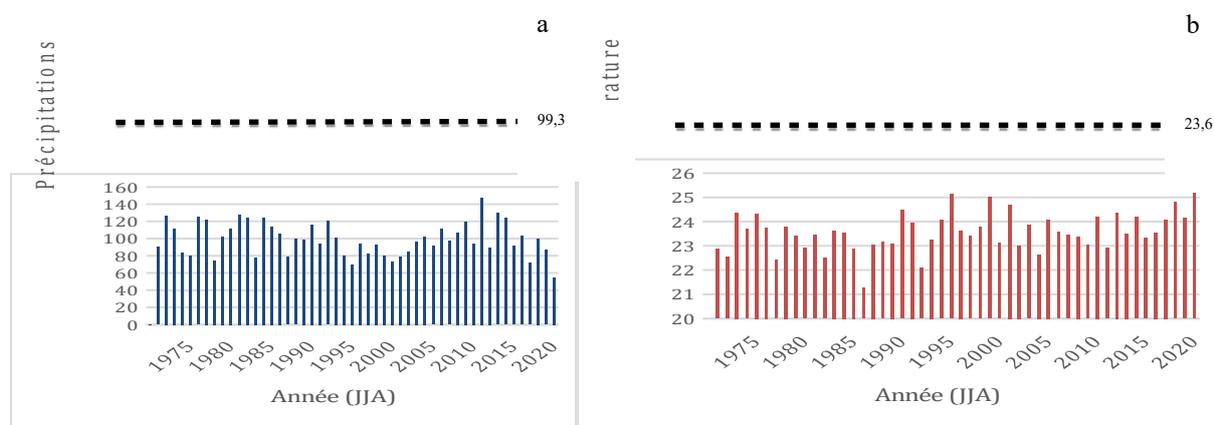


figure 2. Indice régional (moyenne de l'ensemble des stations) des valeurs estivales (JJA) classées en ordre chronologique pour la période de 1971 à 2020. (a) précipitations (mm) et; (b) températures maximales (°C). La ligne pointillée représente la moyenne.

Une analyse des tendances (test de Mann Kendall) réalisée sur les séries du SPI et du SPEI (calculé pour chacune des dix stations) indique que 9 des 10 stations présentent une tendance négative, dont 7 sont statistiquement significatives, entre 1971 et 2020. Une seule station indique une tendance positive qui est très faible et non significative. On remarque que les trois années les plus sèches (2001, 2020 et 2004) sont toutes survenues depuis le début du XXe siècle. Cependant, plusieurs années récentes peuvent aussi être qualifiées d'humides, par exemple 2005, 2008 et 2018, ce qui pose la question de la fréquence des événements extrêmes (secs vs humides) qui pourrait s'accroître?

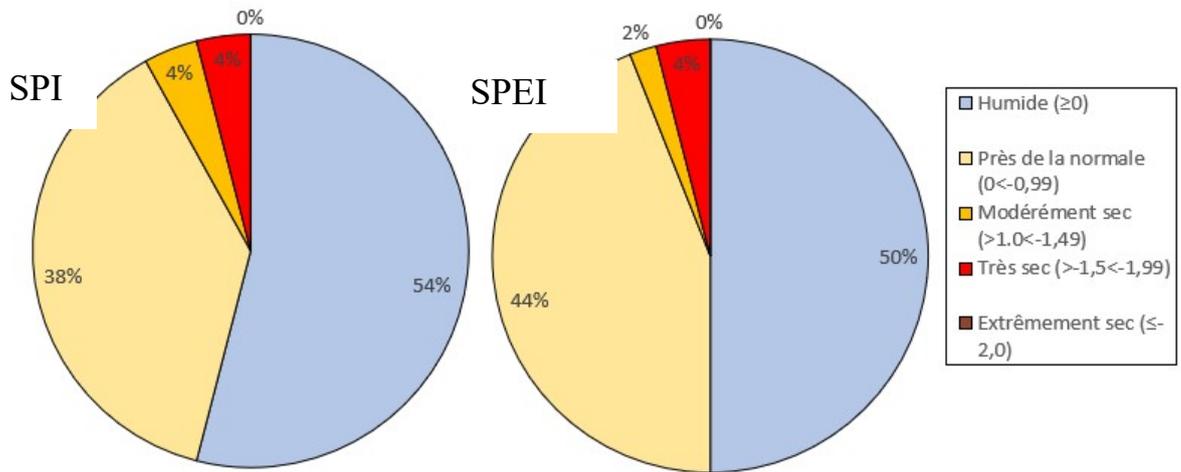


figure 3. Distribution de la proportion de sécheresse (en %) selon les quatre classes (D0 à D3) pour les indices SPI et SPEI (pour la période de 1971 à 2020).

Concernant les vagues de chaleur on remarque que leur nombre a presque doublé entre le début des années 1971 et 2020 (Figure 4), la moyenne au cours de cette période est de 7,29 jours et le nombre maximal ayant été atteint en 2016 avec 22,8 jours en moyenne (le maximum enregistré est de 28 jours pour Fredericton). Pour les deux années les plus chaudes et sèches on constate que 2001 a compté 5,38 jours (-1,91) ce qui se situe légèrement en-dessous de la moyenne tandis que pour 2020 le nombre de jours de vagues de chaleur est de 8,88 (+ 1,59 jours) au-dessus de la moyenne pour la période historique. La hausse observée entre 1971 et 2020 devrait se poursuivre jusque vers 2050 puis se stabiliser à des valeurs légèrement supérieures à ce qui a été enregistré en 2020 (Figure 4) pour le scénario RCP2.6. Toutefois pour le RCP 8.5 la hausse prévue est quatre fois supérieure. Cela signifie que nous pourrions passer d'une dizaine de jours à la fin de la décennie 2020 à près d'une soixantaine en 2050 selon le pire scénario. Néanmoins, outre la fréquence, d'autres caractéristiques importantes des vagues de chaleur devraient également être considérées telles que la durée (longueur en jours des vagues de chaleur) ou l'intensité (la température moyenne au-dessus du seuil local durant les vagues de chaleur en °C).

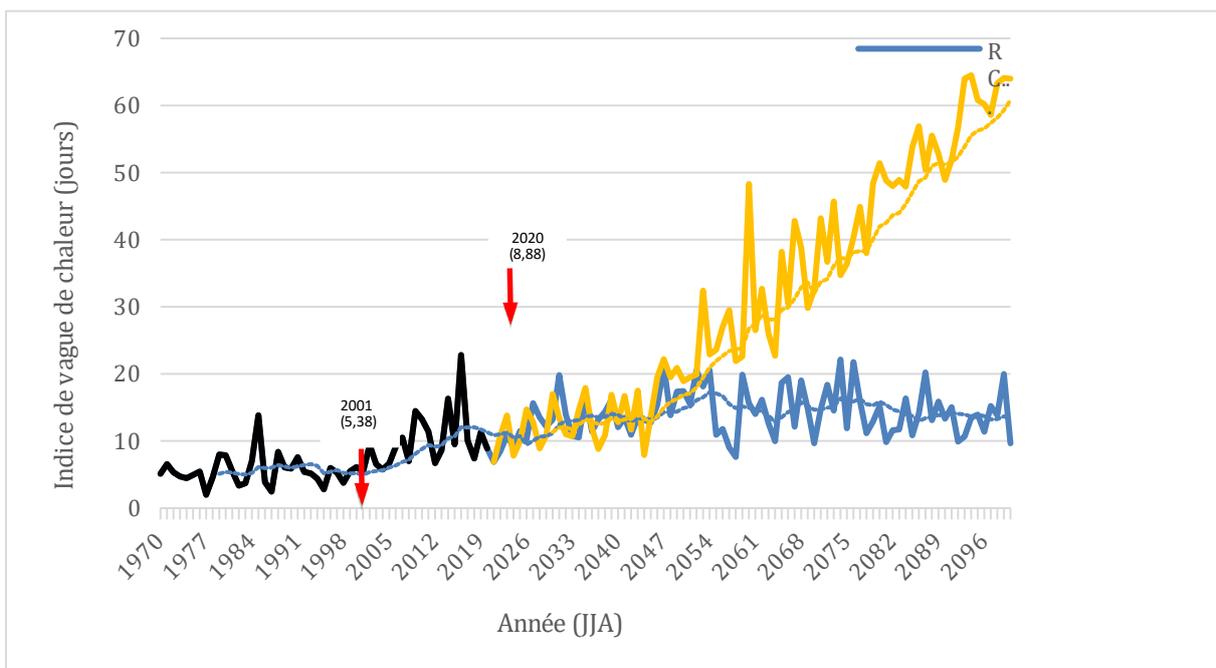


figure 4. Nombre de vagues de chaleur (en noir = période historique, en bleu pour le RCP2.6 et en orange pour RCP8.5). Les lignes pointillées représentent les moyennes mobiles sur 10 ans.

Au cours des années à venir une hausse des températures de plus de 5°C (en 2080 selon le RCP 8.5) est prévue et elle devrait s'accompagner d'une augmentation des précipitations (moins de 5%) pour la saison estivale au N.-B. (Roy et Huard, 2016). Malgré la hausse probable des précipitations il n'est pas impossible que des épisodes de sécheresses puissent survenir au cours des années à venir. Zhao et al. (2020) ont comparé deux grands ensembles de modèles (CanESM2 et CESM1) sous le scénario RCP 8.5 pour estimer les sécheresses estivales futures, par rapport à la période de référence de 1980-2009 pour l'Amérique du Nord. Ces auteurs ont observé qu'il existe de grandes différences (voire des signaux contradictoires) pour la fréquence des sécheresses estivales futures pour la région de l'Est du Canada. De plus, la faible occurrence de ce type d'aléa peut se traduire par une mauvaise préparation de la société et par des impacts socio-économiques majeurs qui peuvent alors découler de ce manque de préparation. Ce fût le cas pour d'autres types d'aléas climatiques récemment comme pour la crise du verglas qui a durement frappé le nord-est du N.-B. en 2017 (GNB, 2017) ou les inondations majeures qui ont affectées plusieurs régions dans la province aux printemps 2018 et 2019 (Fortin et al., 2019).

Conclusion

Dans un premier temps nos résultats indiquent qu'au cours de la période de 1971 à 2020 les années les plus chaudes (2001 et 2020) sont également les années les plus sèches en se basant sur les indices SPI et SPEI. C'est un peu moins évident pour les années bien arrosées qui, bien que présentant des températures plus froides que les moyennes ne se classent pas nécessairement à l'extrémité du spectre thermique. D'autre part, bien qu'il soit tout à fait plausible que les sécheresses et les vagues de chaleur puissent survenir en même temps, ce qui pourrait amplifier les impacts socio-environnementaux, nos résultats préliminaires n'indiquent pas que les années les plus sèches soient également celles où le nombre de vagues de chaleur soit le plus élevé. Toutefois, d'autres caractéristiques des vagues de chaleur (durée, fréquence, intensité) devraient être prises en considération dans le cadre de travaux futurs.

Remerciements

Ce projet a été réalisé grâce à l'appui financier de l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF) dans le cadre du programme de *Projets interuniversitaires de solidarité dans les Amériques (PRISA)* et par le Fonds en fiducie pour l'environnement du Nouveau-Brunswick. Nous remercions toutes les étudiantes, étudiants et collègues qui ont participé au projet.

Bibliographie

- AghaKouchak A., Cheng L., Mazdidasni O., Farahmand A., 2014: Global warming and changes in risk of concurrent climate extremes: Insights from the 2014 California drought. *Geophysical Research Letters*, **41**(24), 8847-8852.
- Beguiría S., Vicente-Serrano S. M., Reig F., Latorre, B., 2014: Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *International Journal of Climatology*, **34**(10), 3001-3023.
- Cannon A. J., Sobie S. R., Murdock T. Q. 2015: Bias correction of GCM precipitation by quantile mapping: How well do methods preserve changes in quantiles and extremes? *Journal of Climate*, **28**(17), 6938-6959.
- Environnement et changement climatique Canada (2022a). Conditions météorologiques et climatiques passées. https://climat.meteo.gc.ca/historical_data/search_historic_data_f.html
- Environnement et changement climatique Canada (2022b). Portail DonnéesClimatiques.ca <https://donneesclimatiques.ca/telechargement/>
- Fortin, G. Dubreuil, V. 2020: A geostatistical approach to create a new climate types map at regional scale: a case study of New Brunswick, Canada. *Theoretical and Applied Climatology*, **139**(1-2), 323-334.

- Fortin G., Poirier C., Duhamel F., Germain D. 2019 : Risques d'inondation et vulnérabilité : l'exemple du bassin versant de la rivière Kennebecasis, Nouveau-Brunswick, Canada. *IdeAs. Idées d'Amériques*, **15**, en ligne [<https://journals.openedition.org/ideas/7999>].
- Gouvernement du Nouveau-Brunswick 2017 : Analyse de la tempête de verglas Nouveau-Brunswick, janvier 2017. Fredericton, 185 p. Disponible en ligne: [ice_storm_review-f.pdf](#) (gnb.ca)
- Heim R. R. Jr., 2002: A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **83**, 1149-1166.
- Labudová L., Labuda M., Takáč J. 2017: Comparison of SPI and SPEI applicability for drought impact assessment on crop production in the Danubian Lowland and the East Slovakian Lowland. *Theoretical and Applied Climatology*, **128**(1-2), 491-506.
- McKee T. B., Doesken N. J., Kleist J. 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, **17**(22), 179-183.
- Mishra A. K., Singh V. P., 2010: A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, **391**(1-2), 202-216.
- Roy P., Huard D., 2016: *Future Climate Scenarios – Province of New Brunswick*. Montréal : Ouranos. 46 p. + Appendices
- Statistique Canada (2011) *Perspectives géographiques*. Disponible en ligne : Série « Perspective géographique », Recensement de 2011 - Province du Nouveau-Brunswick (statcan.gc.ca), page consultée le 31 janvier 2022.
- Vicente-Serrano S.M., Beguería S., López-Moreno J.I. 2010: A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI. *Journal of Climate*, **23**(7), 1696-1718.
- Wilhite D. A., 2000: *Drought as a natural hazard: concepts and definitions*. In Wilhite, D.A. (Ed.) *Drought: A Global Assessment*, pp. 3–18 (London: Routledge, 2000).
- Zhao C., Brissette F., Chen, J., Martel J. L., 2020: Frequency change of future extreme summer meteorological and hydrological droughts over North America. *Journal of Hydrology*, **584**, 124316.