

Rapport synthèse

Cartographie de la vulnérabilité et de
l'exposition aux vagues de chaleur accablante
des populations vivant dans les logements
des communautés canadiennes



UNIVERSITÉ
LAVAL

Faculté de foresterie,
de géographie et de géomatique
Département de géographie



Canada

INTRODUCTION

Les changements climatiques sont inévitables et peuvent être constatés à l'échelle mondiale [1]. Au Canada, le taux de réchauffement estimé pour la période 1948-2016 est beaucoup plus important qu'à l'échelle mondiale (1,7 °C versus 0,8 °C) [2]. Ainsi, les impacts du réchauffement climatique se font ressentir fortement au pays, notamment avec l'augmentation de la fréquence des journées extrêmement chaudes [3]. Cette menace pèse sur la santé de la population alors que la chaleur accablante est associée à une augmentation de la mortalité et à la survenue de nombreux problèmes de santé [4-5]. La vulnérabilité et l'exposition de la population varient dans le temps et dans l'espace, faisant en sorte que certains groupes sont plus à risque. Les effets des vagues de chaleur sur la santé et le bien-être des communautés sont majoritairement modulés par la capacité des personnes à accéder à des ressources, notamment à un logement adéquat [6]. L'objectif principal de ce projet est d'élaborer une application cartographique interactive en ligne fournissant des informations valides sur la distribution géographique de la vulnérabilité et de l'exposition des populations de 156 régions urbaines du pays en spécifiant, à l'échelle de l'aire de diffusion, leur intensité. L'outil est destiné aux professionnels du milieu tout en demeurant accessible au grand public.

TERRITOIRE

Le territoire auquel s'est intéressé notre projet est composé de 156 régions urbaines: 42 régions métropolitaines de recensement (RMR) et 114 agglomérations de recensement (AR) canadiennes, soit 83,9% de la population canadienne ou plus de 31 millions de personnes [7]. Les indicateurs ont été calculés à l'échelle de l'aire de diffusion de 2021, soit la plus petite région géographique normalisée pour laquelle toutes les données du recensement canadien sont diffusées. Une aire de diffusion (AD) regroupe généralement entre 400 et 700 citoyens [8]. L'année de recensement 2021 a été retenue puisqu'il s'agit du recensement le plus récent. Également, puisque nous cherchions à représenter la vulnérabilité de la population à l'échelle la plus fine possible, soit l'environnement dans lequel résident les individus, une cartographie dasymétrique de l'écoumène a été appliquée sur les aires de diffusion pour déterminer les zones habitées et ne représenter que celles-ci.

CARTOGRAPHIE DASYMÉTRIQUE

Pour répondre à l'objectif du projet qui cherchait à représenter la vulnérabilité et l'exposition aux vagues de chaleur accablante des populations vivant dans les logements des communautés canadiennes, l'équipe de recherche a voulu élaborer une représentation cartographique fidèle de la distribution géographique des lieux résidentiels. Initialement, la totalité du territoire d'une RMR est découpée en aires de diffusion, ce qui représente à la fois des zones non-résidentielles et résidentielles. Afin d'identifier et de conserver uniquement les zones résidentielles, un découpage supplémentaire a été effectué à l'aide d'un fichier (GHS-BUILT-C Functional classification) produit par le Centre commun de recherche (JRC) de la Commission européenne [9].

La couche de données GHS a été validée pour s'assurer qu'elle représente adéquatement la réalité dans les grandes villes canadiennes. Un plan d'échantillonnage aléatoire stratifié a permis de valider un peu plus de 33 000 localisations présentes dans la couche de données géospatiales. Les résultats issus de la validation ont permis à l'équipe d'aller de l'avant avec l'utilisation de ces données pour produire les couches cartographiques. Dans une approche itérative, une chaîne de géotraitements appliqués sur la couche GHS a été élaborée. Celle-ci intègre, entre autres, des données de population du recensement ainsi qu'une grille hexagonale couvrant le territoire de chaque RMR et AR. Une couche de données géospatiales a ainsi été produite afin de couvrir le plus fidèlement les zones habitées à l'intérieur des grandes zones urbaines (figure 1). Les différents indices calculés ont ensuite été joints à cette couche cartographique.



Figure 1: Résultats de la représentation cartographique des zones résidentielles (couche dasymétrique). (A) Secteur de Calgary, Alberta. (B) Secteur de Toronto, Ontario. (C) Secteur de Québec, Québec. (D) Secteur de Halifax, Nouvelle-Écosse.

CONCEPTS

L'analyse géographique de la vulnérabilité et de l'exposition des populations favorise une meilleure compréhension des enjeux territoriaux et rend possible la conception de meilleures stratégies d'atténuation d'impacts. Au cours des dernières années, l'évaluation de la vulnérabilité aux vagues de chaleur a considérablement progressé et a inspiré diverses stratégies d'adaptation et de développement à l'échelle locale, régionale et nationale. Les études menées sur le sujet identifient divers facteurs (sociaux, économiques, physiques et environnementaux) comme étant des composantes de la vulnérabilité sociale. Il va sans dire que la localisation du logement dans lequel résident les personnes peut constituer un facteur prédominant dans la modulation de la capacité de protection qu'offre celui-ci pour faire face à la survenue d'une vague de chaleur accablante. Dans le cadre du projet, la vulnérabilité englobe deux dimensions : la sensibilité et la capacité à faire face. Également, à l'instar de ce qui a été fait dans le projet d'Atlas de la vulnérabilité [10], notre équipe a adopté une approche de cartographie par indicateurs pour représenter spatialement le phénomène à l'étude.

La sensibilité représente les caractéristiques socio-économiques inhérentes d'une population face à un aléa climatique. Il s'agit des « conditions intrinsèques d'un élément exposé qui le rend particulièrement vulnérable » [11]. Diverses conditions peuvent rendre une population plus susceptible de subir des conséquences lors d'une vague de chaleur, mais c'est surtout la combinaison de celles-ci qui va entraîner le plus d'impact. Dans le cadre de notre étude, la sensibilité recoupe des conditions qui contribuent à augmenter la vulnérabilité des personnes ou des infrastructures lors de périodes de vagues de chaleur.

La capacité à faire face est un élément essentiel dans l'analyse de la vulnérabilité aux vagues de chaleur, puisqu'elle permet de réduire les effets négatifs en renforçant la résilience de la population à cet aléa climatique [12-13]. Pour notre étude, la capacité à faire face représente la capacité d'une population à accéder à certains lieux pour se rafraîchir pendant et après une vague de chaleur. Il s'agit des conditions qui contribuent à diminuer la vulnérabilité des personnes lors de périodes de vagues de chaleur.

L'exposition aux vagues de chaleur accablante réfère à la situation où des individus, des communautés et des écosystèmes sont confrontés à des températures extrêmement élevées. Le phénomène d'îlots de chaleur urbains vient moduler ce niveau d'exposition en augmentant les

températures ressenties, aggravant ainsi les risques de surchauffe, de déshydratation et d'autres problèmes médicaux liés à la chaleur.

Il importe ici de préciser que ces données ne sont pas des cartes de risque de survenue d'une vague de chaleur sur le territoire puisque notre démarche ne s'est pas aventurée à évaluer quantitativement les effectifs des populations touchées ou encore l'intensité, la fréquence et la durée de l'aléa dans le calcul final des indices.

DÉMARCHE

À partir de données socio-économiques, démographiques et de caractérisation de l'environnement bâti et naturel associé à la vulnérabilité et à l'exposition de la population aux vagues de chaleur accablante, nous avons calculé quatre indices, soit un indice d'exposition, de sensibilité, de capacité à faire face et de vulnérabilité à l'échelle de l'aire de diffusion de 2021.

1 : INDICE DE SENSIBILITÉ

L'indice de sensibilité regroupe plusieurs informations démographiques et socio-économiques estimées à fine échelle. Les douze variables retenues sont toutes issues du recensement de la population 2021 de Statistique Canada. À l'instar d'autres études menées dans le domaine, des analyses en composantes principales (ACP) ont été utilisées pour l'élaboration des indices de sensibilité afin de synthétiser l'information (figure 2).

2 : INDICE DE CAPACITÉ À FAIRE FACE

L'indice de capacité à faire face est calculé à partir d'indicateurs de proximité à 10 différents lieux et services où il est possible de se réfugier lors d'une vague de chaleur accablante, comme les centres commerciaux, les parcs et les piscines publiques. Tout comme pour l'indice de sensibilité, les ACP ont été utilisées pour l'élaboration de l'indice de capacité à faire face (figure 2).

3 : INDICE DE VULNÉRABILITÉ

L'indice de vulnérabilité a été créé en combinant les valeurs numériques standardisées des indices de sensibilité et de capacité à faire face. Pour ce faire, le résultat de la capacité à faire face (facteurs qui rendent la population moins vulnérable) a été soustrait à celui de la sensibilité (facteurs qui rendent la population plus vulnérable). Les valeurs numériques de l'indice de vulnérabilité ont par la suite été mises en classes (quintiles) par provinces.

4 : INDICE D'EXPOSITION

L'indice d'exposition a été calculé en utilisant, entre autres, de l'information issue d'imagerie satellitaire sur la température et l'imperméabilité du sol, la végétation et le cadre bâti. Des données sur la proximité de l'eau, l'altitude et la localisation ont aussi été intégrées. Pour cet indice, l'algorithme d'apprentissage automatique « forêts aléatoires » a été utilisé.

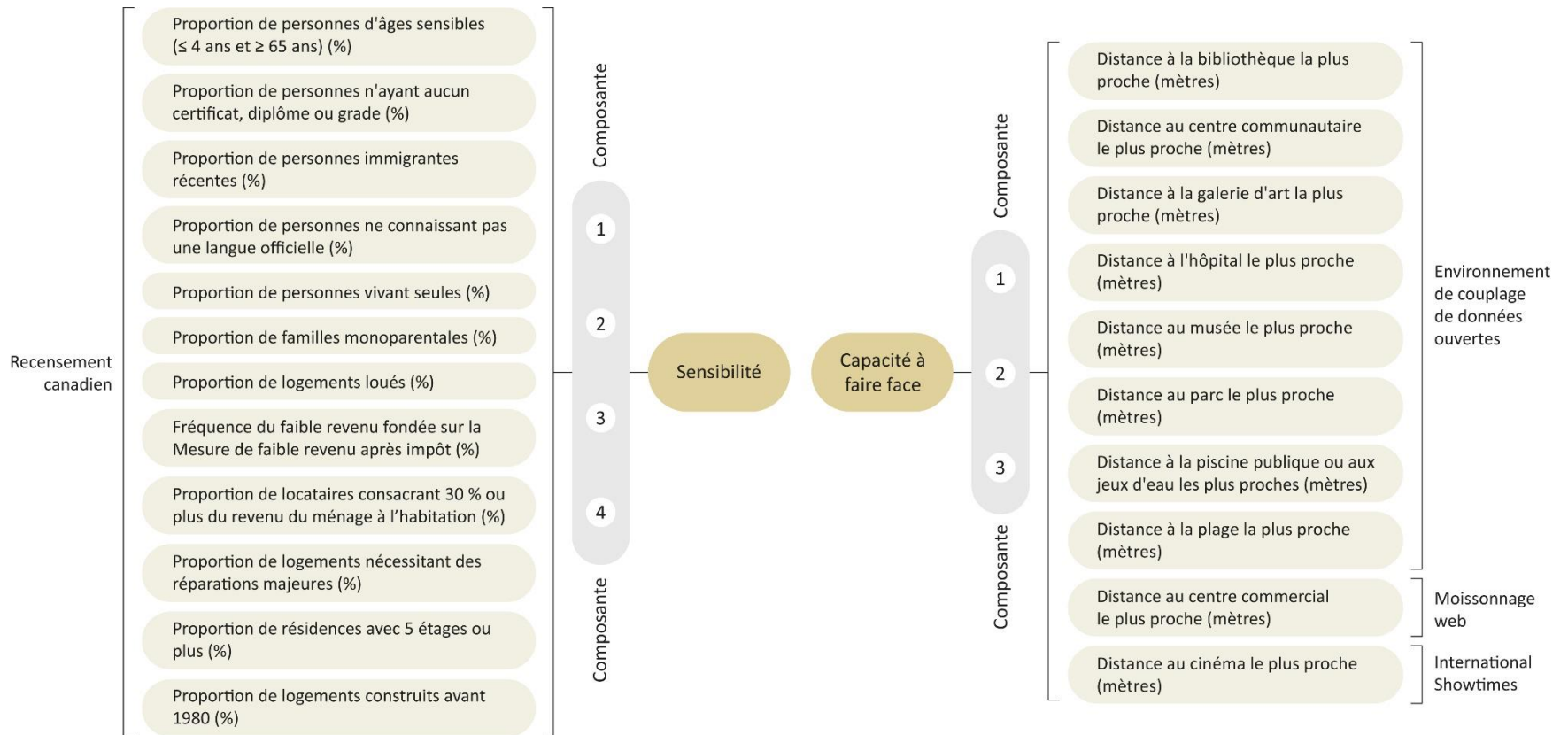


Figure 2: Schéma illustrant le calcul des indices de sensibilité et de capacité à faire face à l'aide de l'analyse en composantes principales

CARTOGRAPHIE DYNAMIQUE

Afin de diffuser nos résultats, les six couches de données géospatiales produites (sensibilité, capacité à faire face, vulnérabilité, exposition, vulnérabilité et exposition et flots de chaleur urbains) ont été cartographiées et implémentées dans le module *ArcGIS Experience Builder* (figure 3).

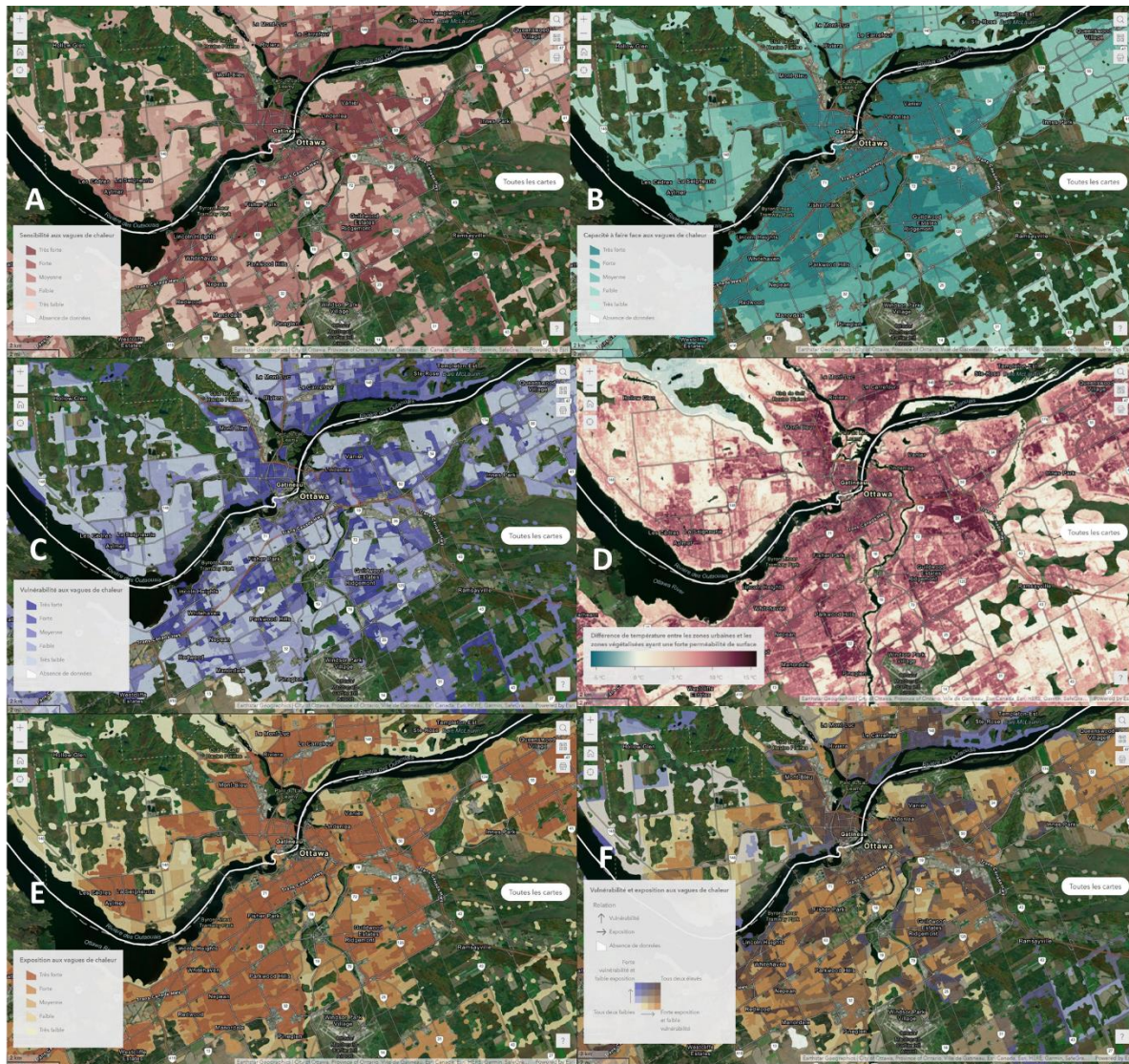


Figure 3 : Représentation cartographique de : (A) l'indice de sensibilité; (B) l'indice de capacité à faire face; (C) l'indice de vulnérabilité; (D) les flots de chaleur urbains; (E) l'indice d'exposition et (F) la carte bariée de la vulnérabilité et de l'exposition

Pour les indices de **sensibilité** et de **capacité à faire face**, la valeur numérique des indices obtenus a fait l'objet d'une classification en 5 quintiles, par province. Les classes ainsi obtenues ont par la suite été étiquetées comme suit : très faible, faible, moyenne, forte, très forte.

En ce qui concerne l'indice de **vulnérabilité**, une normalisation entre 0 et 1 des indices de sensibilité et de capacité à faire face a été appliquée, puis une opération arithmétique a été effectuée pour créer le nouvel indice, faisant en sorte que la plage des valeurs possibles de l'indice s'étende de 0 à 2. Ce nouveau résultat a été classé en 5 quintiles pour chaque province puis étiqueté.

Pour la carte des **îlots de chaleur urbains**, afin de représenter cartographiquement le phénomène, une mise en classes (n=22) à intervalles égaux des valeurs prédites de température relative a été effectuée sur les pixels chevauchant la zone couverte par le modèle.

Pour l'**exposition**, la démarche cartographique a consisté à agréger par la moyenne, les valeurs prédites de température relative aux zones habitées des aires de diffusion de Statistique Canada. Les données vectorielles ont par la suite fait l'objet d'une mise en classe par quintiles.

Finalement, l'équipe de recherche a eu recours à l'utilisation d'une **carte bivariée** pour représenter sur un même écran les indices de vulnérabilité et d'exposition. Une carte bivariée est une carte thématique qui permet de représenter simultanément deux variables en utilisant des couleurs ou des motifs différents. La méthode de classification des données utilisée est celle d'un croisement des quartiles estimés à l'échelle de la province pour les indices de vulnérabilité et d'exposition.

L'application cartographique a quant à elle été intégrée au site web du projet :

vaguesdechaleur.ffgg.ulaval.ca

RÉFÉRENCES

[1]

Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J. B. R., Maycock, T. K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R., & Zhou, B. (dir.). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

[2]

Bush, E., & Lemmen, D.S. (2019). *Rapport sur le climat changeant du Canada*. Gouvernement du Canada. <https://doi.org/10.4095/314614>

[3]

Zhang, X., Flato, G., Kirchmeier-Young, M., Vincent, L., Wan, H., Wang, X., Rong, R., Fyfe, J., Li, G., & Kharin, V. V. (2019). Les changements de température et de précipitations pour le Canada. Dans E. Bush et D. S. Lemmen (dir), *Rapport sur le climat changeant du Canada* (p. 113-193). Gouvernement du Canada. <https://doi.org/10.4095/314614>

[4]

Gasparrini, A., Guo, Y., Hashizume, M., Lavigne, E., Zanobetti, A., Schwartz, J., Tobias, A., Tong, S., Rocklöv, J., Forsberg, B., Leone, M., De Sarios, M., Bell, M. L., Guo, Y.-L. L., Wu, C.-F., Kan, H., Yi, S.-M., Coelho, M. S. Z. S., Saldiva, P. H. N., ...Armstrong, B. (2015). Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *The Lancet*, 386 (9991), 369-375. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62114-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62114-0)

[5]

Martin, S. L., Cakmak, S., Hebborn, C. A., Avramescu, M. L., & Tremblay, N. (2012). Climate change and future temperature-related mortality in 15 Canadian cities. *International Journal of Biometeorology*, 56(4), 605-619. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0449-y>

[6]

Berry, P., Blagden, P., Campagna, C., Egyed, M., Enright, P., Gosselin, P., Harper, S., Hayes, K., Atkinson, D., Stout, R., Halseth, R., Greenwood, M., Ogden, N., Schnitter, R., & Takaro, T. T. (2022). *La santé des Canadiens et des Canadiennes dans un climat en changement : faire progresser nos connaissances pour agir*. Santé Canada. <https://doi.org/10.4095/329546>

[7]

Statistique Canada (2022d). *Glossaire illustré – Région métropolitaine de recensement (RMR) et agglomération de recensement (AR)*. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/92-195-x/2021001/geo/cma-rmr/cma-rmr-fra.htm>

[8]

Statistique Canada (2022c). *Glossaire illustré – Aire de diffusion (AD)*.
<https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/92-195-x/2021001/geo/da-ad/da-ad-fra.htm>

[9]

Schiavina, M., Melchiorri, M., Pesaresi, M., Politis, P., Freire, S., Maffenini, L., Florio, P., Ehrlich, D., Goch, K., Tommasi, P. & Kemper, T. (2022). *GHSL Data Package 2022*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/19817>

[10]

Barrette, N., Vandersmissen, M.-H., Roy, F., Mercier, G., Brousseau, Y., Berthold, E., Guilbert, E., Lalonde, B., Beaudoin, Y., Genois, A., Bustinza, R., Thibault, M., Bleau, N., Tanguay, L.-P., Dionne, M., Aubin, L., Chartrand, M., Déry, J.-S., Dovonou, P., ... Turcotte, S. (2018). *Atlas web de la vulnérabilité de la population Québécoise aux aléas climatiques : Rapport de recherche*. Université Laval – Département de géographie. <https://atlas-vulnerabilite.ulaval.ca/wp-content/uploads/2022/03/RapportBarrette2018.pdf>

[11]

ADEME (2013). Indicateurs de vulnérabilité d'un territoire au changement climatique. République Française, 64 pages.

[12]

Matthies, F., Bickler, G., Hales, S., & Marín, N. C. (2008). *Heat-health action plans: guidance*. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789289071918>

[13]

Bélanger, D., Berry, P., Bouchet, V., Charron, D., Clarke, K.-L., Doyon, B., Fleury, M., Furgal, C., Gosselin, P., Lamy, S., Lindsay, L. R., McBean, G., Ogden, N., Séguin, J., Schuster, C. J., & Soskolne, C. L. (2008). *Human health in a changing climate: a Canadian assessment of vulnerabilities and adaptive capacity*. Santé Canada.
https://publications.gc.ca/collections/collection_2008/hc-sc/H128-1-08-528E.pdf