



2 octobre 2019

ARTICLE

Seuils de température sécuritaires en milieux intérieurs : état des connaissances

Alexandra Paradis

M.D., M. Sc., Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

Patrick Poulin

Ph. D., conseiller scientifique spécialisé, Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

Benoit Levesque

M.D., M. Sc., FRCPC, médecin spécialiste, Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

Résumé

Dans le but de brosser un portrait des avenues méthodologiques utiles pour définir des seuils de température élevée sécuritaires en milieu intérieur pour le Québec, les auteurs du présent article ont réalisé une revue de la littérature scientifique portant sur l'identification de seuils de température élevée sécuritaires en milieu intérieur fondés sur des effets à la santé. Les résultats de cette recherche littéraire n'ont toutefois pas permis de cibler une avenue unique et consensuelle pouvant mener à la détermination d'un tel seuil. Cette dernière s'avère une démarche complexe et la réalisation d'études additionnelles s'avère nécessaire pour être en mesure de mener ce travail à terme. Il est à noter que cet article constitue une synthèse des résultats des travaux menés par une résidente (soit l'auteure principale) au cours d'un bref stage à l'INSPQ.

Mise en contexte

En raison des changements climatiques, il est attendu que les vagues de chaleur seront plus longues et que le nombre de nuits chaudes augmentera au cours des prochaines années au Québec (1). Ces projections sont préoccupantes pour les instances de santé publique, car les vagues de chaleur sont associées à une augmentation de la morbidité et de la mortalité (2–4). Certaines populations sont particulièrement vulnérables aux effets de la chaleur, notamment : les personnes âgées, les enfants, les personnes souffrant de certaines maladies chroniques ou dont la médication peut affecter la thermorégulation, les personnes isolées socialement, les habitants des milieux urbains ainsi que les occupants de logements accumulant davantage la chaleur (ex. : absence de ventilation mécanique ou d'air climatisé, logements situés aux étages supérieurs d'un immeuble) (4,5).

Actuellement, les vagues de chaleur extrême sont définies par des seuils de température extérieure. Par exemple, pour la région sociosanitaire de Montréal, une période de vague de chaleur extrême survient quand les moyennes mobiles des températures quotidiennes maximales et minimales atteignent respectivement au moins 33 °C et 20 °C, et ce, pendant au moins 3 jours consécutifs (3). Cependant, la plupart des Canadiens sont davantage exposés aux températures de leur résidence ou de leur logement : en effet, ces derniers passent environ 90 % de leur temps à l'intérieur (6). Or, les températures en milieu intérieur non climatisé peuvent être plus élevées qu'à l'extérieur en saison estivale. Dans une étude montréalaise réalisée en juillet 2005, les températures moyennes à l'intérieur de logements étaient supérieures d'environ 4 °C par rapport à la température mesurée à la station Dorval (26,7 °C, 22,7 °C) et la température intérieure maximale avait atteint 34,4 °C (32,3 °C à l'extérieur) (7).

Devant la problématique de la chaleur excessive ressentie dans certains milieux intérieurs en saison estivale, les intervenants de santé publique du Québec ont **exprimé le besoin d'obtenir des données probantes** qui pourraient servir à élaborer des recommandations sur des seuils de température sécuritaires en milieu intérieur.

Objectif

L'**objectif général de cet article consiste à établir un état des connaissances** sur la possibilité de définir des seuils de température élevée sécuritaires en milieu intérieur pour le Québec, au-delà desquels des risques imminents à la santé seraient susceptibles de survenir chez les occupants. Pour ce faire, les auteurs ont réalisé une revue de la littérature scientifique portant sur **l'identification de seuils de température élevée** sécuritaires en milieu intérieur fondés sur des effets à la santé.

Méthodologie

Afin d'atteindre l'objectif du présent article, une stratégie de recherche de la littérature révisée par les pairs a été élaborée au cours de l'automne 2018. Cette stratégie est en partie inspirée de celle utilisée pour la revue de la littérature de Anderson *et al.* dans leur article *Defining indoor heat thresholds for health in the UK* publié en 2013 (5). Cette recherche visait à recueillir des études faisant état de seuils de température élevée en milieu intérieur établis à partir de données sur le lien entre la température en milieu intérieur et des effets à la santé pour la population générale.

La recherche a été lancée à l'aide du moteur de recherche EBSCOhost dans les bases de données MEDLINE Complete et Environment Complete. Trois concepts associés à la question de recherche ont été définis afin d'établir une liste de mots-clés à rechercher, soit :

- un concept de seuil ou de valeur guide (guideline* OR guidance* OR limit* OR norm OR norms OR standard* OR threshold* OR index OR safety OR maxim*)
- un concept de chaleur (hot* OR thermal OR temperature OR heat* OR overheat* OR warmth)

- un concept référant au milieu intérieur (ambient OR indoor OR apartment* OR building* OR "day care" OR day-care OR domestic OR dwelling* OR facilit* OR home OR house* OR institution* OR kindergarten* OR multi-unit OR residen* OR school*)

*Troncature permettant de capter tous les termes associés.

Ces mots-clés ont été recherchés dans le titre et le résumé des documents indexés dans les bases de données interrogées. Un terme de restriction a également été utilisé pour circonscrire la recherche aux études menées sur des humains en excluant les études menées sur des animaux. De plus, seuls les documents **publiés après 1995 ont été retenus**. Le recul jusqu'à 1995 avait pour **but d'inclure des publications** qui auraient pu faire suite à la canicule de Chicago de 1995 ayant causé de nombreux décès (8).

Tous les articles proposant une ou des avenues **permettant d'établir des seuils de température intérieure** fondés sur des effets à la santé ainsi que ceux établissant un lien entre des températures plus élevées mesurées directement en milieu intérieur et des effets à la santé ont été retenus. Les articles portant sur le confort thermique, ainsi que ceux réalisés dans un contexte sportif, **d'exercice physique** ou pour le milieu du travail, ont été exclus. Les études de cas unique ont également été exclues.

Résultats

En date du 23 octobre 2018, le moteur de recherche EBSCOhost avait repéré 1886 articles par l'**entremise de la stratégie de recherche** utilisée. Après avoir rejeté les doublons de cette recherche, 1652 articles ont été considérés dans le processus de sélection. La majorité **d'entre eux** ont ensuite été rejetés sur la base de leur titre et/ou de leur résumé, si ces derniers laissaient croire **avec un niveau de certitude élevé qu'ils ne répondaient pas aux critères d'inclusion**.

Au final, neuf articles dans lesquels était mesurée la relation entre la chaleur en milieu intérieur et un ou des effets à la santé dans la population ont été retenus et sont présentés dans la section *Études faisant un lien entre la température élevée en milieu intérieur et des effets à la santé dans la population*. De plus, deux articles dans lesquels les auteurs proposaient une ou **des approches permettant d'établir des seuils de température intérieure** fondés sur des effets à la santé

ont été retenus. Les faits saillants de ces deux derniers articles, de même que deux autres documents qui **n'étaient** pas indexés dans les bases de données consultées initialement (soit un article-clé ainsi que le **plus récent rapport de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS)**), sont présentés dans la section *Revue de la littérature portant sur l'établissement de seuils de température élevée en milieu intérieur*.

Études faisant un lien entre la température élevée en milieu intérieur et des effets à la santé dans la population

Les effets sur la santé évalués dans les études relevées sont variés : problèmes cardio-respiratoires (9–11), agitation chez des patients déments (12), effets sur la tension artérielle (13–15), sur la température corporelle (13,16) et sur l'**indice** de masse corporelle (IMC) (17). La mesure **d'un** effet de seuil a été tentée dans quelques études seulement, tandis que dans **d'autres**, seul un effet linéaire était mesuré. La méthodologie employée dans les études relevées variait également beaucoup. Le tableau 1 résume les grandes lignes de ces études.

Revue de la littérature portant sur l'établissement de seuils de température élevée en milieu intérieur

Revue sur les approches pour déterminer des seuils de chaleur en milieu intérieur

Dans les deux revues de la littérature identifiées, les auteurs affirment que de nombreuses études se sont penchées sur l'**association** entre la température extérieure et la mortalité, permettant de bien établir des seuils de température extérieure au-delà desquels la mortalité augmente (5,19). Toutefois, ils ne recommandent pas **d'extrapoler** les mesures de la relation entre la température extérieure et la mortalité populationnelle pour établir la relation entre la température intérieure et la mortalité. En effet, les bâtiments modifient l'**exposition** à la température extérieure de façon importante, et ce, de manière très variable selon leurs différentes caractéristiques (environnementales, structurales, mécaniques, occupationnelles, etc.) affectant le gain et la rétention de la chaleur (19). De plus, dans les études épidémiologiques, la température extérieure utilisée est souvent celle prise à une station centrale ou à un aéroport. Or, cette température ne reflète pas les

variations géographiques **qu'il** peut y avoir en raison des îlots de chaleur urbains (19). La relation entre la température intérieure et la mortalité devrait donc être différente de celle entre la température extérieure et la mortalité. Les auteurs de ces revues de la littérature **n'ont** cependant relevé que quelques études ayant évalué directement l'**association** entre la chaleur en milieu intérieur et des effets à la santé; ils invitent donc les chercheurs à effectuer davantage de recherche sur cette question.

Considérations sur la manière de mesurer l'exposition à la chaleur

Anderson *et al.* (2013) (5) notent **qu'il** existe une grande variabilité dans la façon **d'évaluer l'exposition** à la chaleur en milieu intérieur. Selon les études, les auteurs peuvent utiliser la température moyenne, maximale, minimale ou encore une mesure de « température apparente » combinant température et humidité (ex. : l'**humidex** ou l'**indice** de chaleur). Il existe également des indices plus complexes pouvant intégrer **d'autres** mesures environnementales (ex. : la vitesse de l'**air**) ainsi que des données physiologiques (ex. : la dépense métabolique) pour évaluer la charge thermique à laquelle les individus sont soumis. Ces indices peuvent être développés entre autres à partir de modèles fondés sur des équations **d'équilibre** thermique.



Crédit photo : iStock.

D'autres façons de mesurer l'**exposition** à la chaleur, moins explorées mais paraissant être prédictives de la mortalité, seraient la mesure de la variation quotidienne de la température (pouvant indiquer l'**absence** de répit de la chaleur durant la nuit) ainsi que la variation de la température **d'un** jour à l'autre (une variation plus grande pouvant généralement être associée à plus de mortalité) (5). Finalement, certains recommandent aussi **d'utiliser** des mesures de températures horaires pour

permettre **d'évaluer** les effets à très court terme de **l'exposition** à la chaleur, ces derniers étant probablement importants pour les populations vulnérables (19).

Ainsi, la comparaison des résultats des études utilisant différentes mesures **d'exposition** à la chaleur peut être difficile (5). De plus, il reste de **l'incertitude** sur la mesure qui serait la plus prédictive **d'effets** à la santé (19). Anderson *et al.* (5) recommandent donc de développer un indice permettant de mesurer la corrélation entre les conditions en milieu intérieur et les effets à la santé (ex. un indice de valeur « x » correspond à tels effets à la santé), en se basant par exemple sur des études empiriques de corrélation entre la température intérieure et des mesures physiologiques (voir **l'étude** de Basu et Samet [20]). Par ailleurs, si de nouveaux modèles ou indices de chaleur sont développés, Anderson *et al.* (5) recommandent que la température nocturne soit considérée avec une pondération importante comme **l'absence** de répit de chaleur, la moins bonne capacité de thermorégulation lors du sommeil et une pauvre qualité de sommeil pouvant mener à davantage de morbidité et de mortalité (19). En somme, la mesure de **l'exposition** à la chaleur et du stress thermique subi est complexe et mériterait davantage de réflexion.

Variabilité dans la réponse à la chaleur et les seuils à établir

En se fondant sur des études faisant le lien entre la température extérieure et les effets à la santé, Kenny *et al.* (19) listent plusieurs facteurs affectant le lien entre la chaleur et les effets à la santé. En raison de ces facteurs, il semble **qu'il** serait difficile **d'établir** un seuil de température intérieure qui puisse être valide en tout lieu, en tout temps et pour tous. Ainsi, en raison de **l'acclimatation** des individus, le lieu géographique a une influence : dans les endroits dont le climat est chaud, les seuils de chaleur ayant un effet sur la santé seraient plus élevés.

De même, la période de **l'année** peut avoir une influence, la relation entre chaleur et mortalité pouvant être différente si une vague de chaleur survient au début ou à la fin de la saison chaude. La durée de **l'exposition** à la chaleur doit aussi être considérée : un seuil de température à partir duquel la mortalité augmente peut être plus bas si **l'exposition** à la chaleur dure plus longtemps. Les seuils peuvent aussi être différents selon le type **d'effet** à la santé considéré. Finalement, la

variabilité individuelle amène une difficulté supplémentaire : des seuils **d'effets** à la santé varient selon certains facteurs physiologiques tels que **l'âge**, le sexe et **l'état** de santé. Ainsi, établir un seuil de température sécuritaire unique pour tous risque de surprotéger certaines populations tout en **n'en** protégeant pas suffisamment **d'autres**.

En raison des variations entre les lieux géographiques et selon la période de **l'année**, Kenny *et al.* (19) se demandent **s'il** serait plus approprié **d'utiliser** un seuil de « changement relatif par rapport à la normale ». Ils **n'ont** cependant pas trouvé de littérature sur **l'utilité** de ce genre **d'approche**.

Limites à **l'utilisation** des critères de confort thermique existants

Le confort thermique serait, selon le standard 55 de **l'American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)**, « **l'état d'esprit** exprimant de la satisfaction envers **l'environnement** thermique » (trad. libre, ASHRAE, 2004, dans Kenny *et al.* [19]). Plusieurs critères de confort thermique existent et seraient principalement étudiés dans le domaine de la construction et du bâtiment. Deux approches seraient principalement utilisées pour définir les plages de confort thermique. La première approche, soit la méthode du *predicted mean vote* (vote moyen prédit) et du *predicted percentage dissatisfied* (**pourcentage d'insatisfaits prédits**), **permet d'évaluer la réponse moyenne d'un** groupe de personnes aux conditions thermiques selon une échelle de sensation thermique, une ambiance thermoneutre (ni chaude, ni froide) étant associée à un plus grand nombre de personnes satisfaites (21). Cette méthode utilise des variables physiologiques ainsi **qu'une estimation de la contrainte thermique**. La seconde approche tient compte de la variabilité du **confort selon l'expérience récente de la température** ainsi que la possibilité **d'adopter des comportements** adaptatifs (ex. : aération nocturne, limitation de la cuisson d'aliments ou de l'utilisation de l'éclairage en milieu intérieur) (19).

Toutefois, les auteurs des revues consultées font plusieurs mises en garde quant à **l'utilisation** des seuils de confort thermique existants. **D'une part**, il **s'agit** de critères établis pour le confort et non pour des effets à la santé (5). Or, il **n'y** aurait que très peu **d'études** réalisées sur la relation entre le confort thermique et les effets à la santé (19). **D'autre part**, ces critères sont établis pour

une population en santé et ne tiennent pas compte des populations vulnérables (5). Finalement, certains critères, dérivés de modèles dits « adaptatifs », présentent des températures plus extrêmes en assumant que les occupants peuvent avoir certains comportements **d'adaptation**, par exemple ouvrir les fenêtres. Ces critères sont donc difficilement applicables dans les situations où les comportements adaptatifs peuvent être limités (ex. : limitation physique, bruit important à **l'ouverture** des fenêtres, introduction de polluants atmosphériques) (5).

En somme, Kenny *et al.* (19) ne considèrent pas le confort thermique comme un indicateur valide et fiable du stress thermique. Cependant, ils ne se prononcent pas sur **l'utilisation** de critères de confort thermique pour ce qui est du sommeil, pour lequel **l'association** entre confort et qualité du sommeil serait bien démontrée. La Chartered Institution of Building Services Engineers du Royaume-Uni suggérerait que la qualité du sommeil est affectée lorsque la température intérieure dépasse 24 °C et recommanderait que la température nocturne **d'une** chambre à coucher ne dépasse pas 26 °C en **l'absence** d'un ventilateur de plafond (19).

Seuils de température élevée en milieu intérieur selon l'OMS : revues de la littérature et recommandations

Au courant des années 80, l'OMS a émis des recommandations selon lesquelles **l'étendue** de température de 18 à 24 °C présenterait un risque minimal à la santé pour les personnes sédentaires (21). La limite de 24 °C **n'a** pas été modifiée par l'OMS **jusqu'en** 2018 (21,22). En effet, en 2018, l'OMS a publié un ensemble de lignes directrices pour des logements sains (*Housing and Health Guidelines*), incluant de nouvelles recommandations sur la chaleur en milieu intérieur (22). Ces nouvelles recommandations ont été formulées à la suite **d'une** revue de la littérature systématique dont **l'objectif** était **d'évaluer** si le fait de vivre dans un logement dont la température est supérieure à 24 °C est associé à un moins bon état de santé par rapport au fait de vivre à des températures moins élevées (22,23). Toutefois, seulement six études ont pu être incluses dans cette revue systématique, les conclusions de celles-ci ne permettant pas de répondre à la question de recherche. Des analyses complémentaires ont donc été effectuées afin **d'évaluer** **l'association** entre la température en milieu intérieur et les effets à la santé, mais ce, de façon indirecte, soit en

évaluant le lien entre les températures extérieures et les températures intérieures, ainsi que le lien entre les températures élevées à **l'extérieur** et les effets à la santé (22).

Malgré la réalisation de cette seconde revue de la littérature, **l'OMS n'a** pu émettre de recommandation plus précise que la suggestion « [...] **d'élaborer et de mettre en œuvre des stratégies visant à protéger les populations contre la chaleur excessive à l'intérieur des logements** » (24). Il est également précisé que les efforts de recherche devraient porter sur la relation directe entre la température en milieu intérieur et des effets à la santé plutôt que sur la relation indirecte « température milieu extérieur – température milieu intérieur – effets à la santé », étant donné la grande variabilité de la relation entre la température extérieure et la température intérieure (22).

Discussion

En résumé, la revue de la littérature sur les études ayant mesuré **l'association** entre des effets à la santé et la chaleur en milieu intérieur **n'a** pas permis de déterminer un seuil de température sécuritaire cohérent **d'une** étude à **l'autre**. En effet, les effets à la santé évalués, les populations sur lesquelles ces études ont été réalisées, ainsi que les devis employés étaient variés. De même, la façon de mesurer **l'exposition** à la chaleur différait entre les études. Seules certaines études ont fait état **d'analyses** statistiques permettant de déterminer un possible seuil à partir duquel les effets à la santé augmentaient. De plus, la façon de choisir les catégories de température utilisées différait également beaucoup **d'une** étude à **l'autre**.

Seuls Uejio *et al.* (11) ont testé des modèles utilisant différents seuils de chaleur, mais il aurait été intéressant **qu'ils** justifient davantage pourquoi ils **n'ont** retenu que celui utilisant un seuil **d'indice** de chaleur à 26 °C. De plus, leurs résultats, bien **qu'indicatifs d'une** augmentation des appels **d'urgence** pour des symptômes respiratoires lorsque **l'indice** de chaleur dépassait 26 °C, restaient non statistiquement significatifs. **L'étude** sur **l'asthme** chez les enfants a révélé un seuil de température de 27,6 °C, mais les plages de températures testées étaient étendues et ne permettaient pas de détecter un effet à 25 ou à 26 °C par exemple (9).

Tableau 1 Résumé des seuils de température identifiés dans la littérature ayant mesuré **l'association** de la température intérieure avec des effets à la santé

Étude	Devis	Population	Effet à la santé	Mesure de la température	Seuil identifié	Commentaires
Uejio et al, 2016 (11)	Cas-témoin	Population de New York.	Intervention d'urgence par des paramédics pour des symptômes respiratoires et cardio-vasculaires.	Température et humidité relative moyenne pendant l'intervention des paramédics, combinés pour obtenir l'indice de chaleur ^A .	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Indice de chaleur^A ≥26 °C pour les appels d'urgence pour les symptômes respiratoires seulement. ▪ Pas d'augmentation de l'exposition à la chaleur pour les symptômes cardio-vasculaires. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rapports de cote plus grands que 1 pour les symptômes respiratoires compatibles avec une plus grande exposition à la chaleur, mais non statistiquement significatifs au seuil p<0,05. ▪ Résultats de modèles ayant utilisé des seuils de 25 et 27 °C non présentés.
Huang et al, 2016 (9)	Cas-témoin	Enfants de 1 à 8 ans à Shanghai.	Asthme diagnostiqué par un médecin.	Température moyenne d'une prise de mesure pendant 24 h.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Température de 27,6 °C dans la chambre des enfants. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rapports de cote pour la plage 27,6 °C à 31,8 °C augmentés avec p<0,05 par rapport à la plage de 6,7 à 16,3 °C. ▪ Autres plages de températures testées assez larges : un effet à une température plus basse a pu être manqué. ▪ Aucune correction pour les tests statistiques malgré le fait qu'un grand nombre de tests ait été effectué.
McCormack et al, 2016 (10)	Cohorte prospective	Anciens fumeurs atteints de MPOC dans la région de Baltimore.	Symptômes de MPOC et utilisation de bronchodilatateur de secours.	Température maximale atteinte durant la journée.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de seuil identifié, effet linéaire mesuré seulement. Augmentation des symptômes et de l'utilisation des bronchodilatateurs de secours avec l'augmentation de la température intérieure. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Résultats statistiquement significatifs au seuil de p<0,05.
Tartarini <i>et al.</i> , 2017 (12)	Cohorte prospective	Personnes âgées atteintes de démence, vivant dans une résidence pour personnes âgées en Australie.	Agitation.	Température moyenne pendant 14 jours.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fréquence de l'agitation et perturbation par l'agitation minimales à 22,6 et 22,5 °C. ▪ Fréquence de l'agitation augmente avec le pourcentage de temps cumulatif passé à >26 °C ou <20 °C. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Résultats statistiquement significatifs au seuil de p<0,05. Pour le temps cumulatif, seul le temps passé à l'extérieur de la plage de 20 à 26 °C a été considéré; aucune autre plage n'a été testée. ▪ Imprécision dans la mesure de l'exposition. Aucun facteur de confusion pris en compte dans les analyses.
Wang <i>et al.</i> , 2017 (15)	Méta-analyse	Adultes de 18 ans et plus.	Effet sur la tension artérielle.	Combinaison des résultats de plusieurs méthodes de mesure. Pour les études avec des températures intérieures, cela inclut des températures moyennes et des températures ponctuelles.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de seuil identifié, effet linéaire mesuré seulement. Pour les études en milieu intérieur : la pression artérielle systolique augmenterait de 0,38 millimètre de mercure (mmHg) pour chaque diminution de 1 °C. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La température moyenne dans les études incluses était de 20 °C : limite possible de l'application aux températures plus extrêmes. Résultats statistiquement significatifs au seuil p<0,05.

Étude	Devis	Population	Effet à la santé	Mesure de la température	Seuil identifié	Commentaires
Kunutsor et Powles, 2010 (14)	Transversale	Adultes du Ghana.	Effet sur la tension artérielle.	Température ponctuelle lors de la prise de la tension artérielle.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Pas de seuil identifié, effet linéaire mesuré seulement. Diminution de la tension artérielle avec augmentation de la température intérieure. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Résultats statistiquement significatifs au seuil $p < 0,05$. ■ Étude réalisée dans des conditions très chaudes seulement (températures intérieures toutes supérieures à 28 °C). ■ Imprécision de la mesure de l'exposition : depuis quand les patients étaient exposés à cette température?
Kim <i>et al.</i> 2012 (13)	Transversale	Personnes âgées de la Corée, vivant dans des bidonvilles.	Effet sur la tension artérielle et sur la température tympanique.	Température moyenne sur 75 min lors de la prise de la tension artérielle.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Pas de seuil identifié, effet linéaire mesuré seulement. Diminution de la tension artérielle avec élévation de la température. ■ Augmentation de la température tympanique de 0,21 °C pour chaque augmentation de la température intérieure de 1 °C. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Diminution de la tension artérielle systolique non statistiquement significative au seuil $p < 0,05$, mais significative pour la tension artérielle diastolique.
Lu et Dai, 2009 (16)	Transversale	Adultes et personnes âgées de Taiwan.	Effet sur la température orale.	Température ponctuelle lors de la prise de la température orale.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Pas de seuil identifié, effet linéaire mesuré seulement. Pour chaque augmentation de la température intérieure de 1 °C, élévation de la température orale de 0,243 °C pour l'ensemble de l'échantillon et de 0,311 °C pour les >65 ans ($p < 0,001$). 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Résultats statistiquement significatifs. Imprécision de la mesure de l'exposition : depuis quand les patients étaient exposés à cette température?
Lu et Dai, 2009 (16)	Transversale	Adultes et personnes âgées de Taiwan.	Effet sur la température orale.	Température ponctuelle lors de la prise de la température orale.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Pas de seuil identifié, effet linéaire mesuré seulement. Pour chaque augmentation de la température intérieure de 1 °C, élévation de la température orale de 0,243 °C pour l'ensemble de l'échantillon et de 0,311 °C pour les >65 ans ($p < 0,001$). 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Résultats statistiquement significatifs. Imprécision de la mesure de l'exposition : depuis quand les patients étaient exposés à cette température?
Daly, 2014 (17)	Transversale	Personnes de ≥ 16 ans, en Angleterre.	Effet sur l'IMC.	Température ponctuelle lors de la mesure de la taille et de la masse corporelle.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Température de >23 °C, associée à un IMC plus faible de manière statistiquement significative et robuste à la stratification selon la saison et selon les années du recrutement. ■ Température de 21,5 à 23 °C aussi associée de manière statistiquement significative mais non robuste à la stratification. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Comparaison avec la plage de température <19 °C. Causalité inverse possible : les personnes avec un IMC plus élevé pourraient maintenir la température de leur domicile plus fraîche, car ils seraient plus confortables à ces températures.

^A L'indice de chaleur fournit une approximation de la « température ressentie » en intégrant la mesure de la température de l'air ainsi que de l'humidité relative (18). Il est utilisé aux États-Unis pour des fins d'alertes de vagues de chaleur. Cet indice serait une simplification d'un autre index plus complexe, la température apparente, qui a été développé à partir de l'équation sur l'équilibre thermique humain (18).

L'**approche** de Tartarini *et al.* (12) **s'est** avérée intéressante en présentant à la fois une température à laquelle les symptômes des patients étaient minimales (22,5 °C ou 22,6 °C) et en démontrant une augmentation des symptômes en-dehors **d'une** plage de confort thermique existante (20 à 26 °C). Toutefois, **l'agitation** chez les personnes démentes **n'est** peut-être pas le principal effet à la santé que les instances de santé publique cherchent à prévenir. Il en est de même pour **l'étude** ayant identifié un effet sur l'IMC à partir de 23 °C. Celle-ci présentait en plus un problème de possible causalité inverse, **c'est-à-dire** que les personnes avec un IMC plus faible maintiennent peut-être la température de leur domicile plus élevée (17). Par ailleurs, il **s'est** avéré difficile **d'interpréter** les études présentant uniquement des mesures **d'effet** linéaire.

Cette absence de seuil facilement identifiable par le biais **d'études** épidémiologiques a été confirmée dans les revues de la littérature présentées dans la section *Revues sur les approches pour déterminer des seuils de chaleur en milieu intérieur*. Ainsi, les auteurs de ces revues **n'ont** identifié que très peu **d'études** faisant le lien entre la chaleur en milieu intérieur et des effets à la santé (5,19). Les auteurs de ces revues ont noté que la comparaison des résultats des études existantes était limitée par la variabilité dans la façon de mesurer la chaleur. La sélection **d'une** mesure valide de la chaleur et du stress thermique nécessiterait donc la tenue de recherches supplémentaires. Anderson *et al.* (5) recommandent même la création **d'un** nouvel indice fondé sur des mesures physiologiques chez des personnes plus vulnérables. De plus, dans les deux revues de la littérature consultées, il est suggéré **qu'une** attention particulière soit portée à la température nocturne, la qualité du sommeil étant également associée à des effets à la santé (5,19).

Par ailleurs, il a été soulevé que la variabilité dans la réponse à la chaleur, notamment selon le lieu géographique, le période de **l'année**, le type **d'effet** à la santé considéré ainsi que les facteurs individuels (ex. : âge, sexe, état de santé), rend fort complexe la tâche de déterminer un seuil de température sécuritaire universel. Également, les auteurs de ces deux revues de la littérature ont discuté de **l'utilisation** du confort thermique. Bien que ce sujet **n'ait** été que peu approfondi dans ce rapport, il est principalement ressorti de la revue de Kenny *et al.* (19) que les critères de confort thermique existants ne semblaient pas

appropriés. Finalement, les dernières recommandations de l'OMS reflètent également la difficulté **d'établir** un seuil de température élevée sécuritaire en milieu résidentiel fondé sur des données probantes sur la santé.

Limites et approches non abordées

Bien que la réalisation de cette revue ait permis de relever de nombreuses informations pertinentes en vue de parvenir à définir des seuils de températures élevées sécuritaires en milieu intérieur, plusieurs limites doivent être considérées. Notamment, la sélection des articles et **l'extraction de données n'ont été réalisées que par une** seule personne, sans validation par un deuxième auteur.

De plus, **d'autres** approches pour établir des seuils de température auraient pu être approfondies. Par exemple, **l'utilisation** de simulation à **l'aide** de modèles de thermorégulation et **d'équilibre** thermique **n'a** été **qu'évoquée**. Pareils modèles, comme celui de Deng *et al.* (25), pourraient être intéressants : ces auteurs ont utilisé un modèle de thermorégulation afin de prédire le temps avant **qu'un** coup de chaleur (défini comme **l'atteinte d'une** température corporelle de 40,6 °C) ne survienne. Ils ont ainsi développé un « indice de stress intérieur » qui permet de calculer la durée **d'exposition** avant **l'apparition d'un** coup de chaleur. Ce modèle ne considère cependant pas les effets de **l'âge** et de **l'état** de santé sur la thermorégulation. Il est prévu que des études subséquentes tiendront compte de ces facteurs pour étudier **l'effet** à la santé des températures élevées à **l'intérieur** des résidences à **l'échelle** de la population générale.

Certains écrits **d'intérêt** sont également issus du milieu de la santé au travail. Certains seuils de température dans ce domaine ont été élaborés initialement à partir **d'études** sur des travailleurs soumis à différentes conditions environnementales et de travail métabolique (26,27). Les seuils correspondaient alors aux conditions dans lesquelles **l'équilibre** thermique était rompu, **c'est-à-dire** que la température corporelle commençait à augmenter. Il existe également des méthodes plus complexes pour évaluer **l'exposition** à la chaleur. **À l'aide d'une** modélisation de la contrainte thermique et de la réponse physiologique, la norme ISO 7933:2004 permet **de calculer la limite de durée d'exposition à la contrainte thermique afin d'éviter de dépasser une température** rectale de 38 °C, ou de dépasser une valeur de perte

hydrique maximale (28). Des outils plus simples pour évaluer l'exposition à la chaleur ont également été développés par la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST) (29).

Finalement, malgré les limites de la littérature, certaines autorités de santé publique ont pris position au regard de la présente question de recherche. Notamment, le Toronto Public Health a formulé des recommandations pour adopter un seuil de température maximale de 26 °C dans les immeubles résidentiels à logements multiples (30). Au Royaume-Uni, les autorités sanitaires recommandent également de maintenir des aires de rafraîchissement dans les hôpitaux et les résidences pour personnes âgées à une température inférieure à 26 °C.

Conclusion

Dans le cadre de cette recherche littéraire, il n'a pas été possible de déterminer un seuil de température élevée dit sécuritaire en milieu intérieur pour la population en général. La détermination d'un tel seuil s'avère une démarche complexe et plusieurs avenues doivent encore être explorées avant d'être en mesure de mener ce travail à terme. Ce projet a toutefois permis de dégager plusieurs pistes d'intérêt à considérer. À cet égard, il pourrait s'avérer utile de poursuivre la réflexion en s'inspirant des différentes considérations soulevées dans les revues de la littérature rapportées dans ce projet. De plus, il serait pertinent de se pencher sur différents aspects qui n'ont malheureusement pas été couverts par la présente revue de la littérature, dont :

- les méthodes développées en santé au travail pour établir des limites d'exposition à la chaleur et pour évaluer cette exposition;
- les modélisations sur le maintien de l'équilibre thermique provenant de la littérature sur le confort thermique ainsi que sur des effets à la santé;
- les argumentaires développés par les instances ayant pris position sur un seuil de température sécuritaire en milieu intérieur, tels que le Toronto Public Health.

Pour toute correspondance

Patrick Poulin
 Direction de la santé environnementale et de la toxicologie
 Institut national de santé publique du Québec
 945, avenue Wolfe, Québec (Québec) G1V 5B3
 Courriel : patrick.poulin@inspq.qc.ca

Références

1. **Ouranos. Vers l'adaptation.** Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec Édition 2015. Partie 1 : Évolution climatique du Québec [En ligne]. Montréal : Ouranos; 2015. Disponible : Partie 1 : <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/SynthesePartie1.pdf>
2. Arbuthnott KG, Hajat S. The health effects of hotter summers and heat waves in the population of the United Kingdom: a review of the evidence. *Environmental health : a global access science source*. 2017;16(Suppl 1):119.
3. Lebel G, Dubé M, Bustinza R. Analyse des impacts des vagues régionales de chaleur extrême sur la santé au Québec de 2010 à 2015 [En ligne]. Québec : Institut national de santé publique du Québec; 2017. Disponible : <https://www.inspq.qc.ca/publications/2221>
4. Li M, Gu S, Bi P, Yang J, Liu Q. Heat waves and morbidity: current knowledge and further direction-a comprehensive literature review. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*. 2015;12(5):5256-83.
5. Anderson M, Carmichael C, Murray V, Dengel A, Swainson M. Defining indoor heat thresholds for health in the UK. *Perspectives In Public Health*. 2013;133(3):158-64.
6. Leech JA, Nelson WC, Burnett RT, Aaron S, Raizenne ME. **It's about time: A comparison of Canadian and American time-activity patterns.** *Journal Of Exposure Analysis And Environmental Epidemiology*. 2002;12:427.
7. Smargiassi A, Fournier M, Griot C, Baudouin Y, Kosatsky T. Prediction of the indoor temperatures of an urban area with an in-time regression mapping approach. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*. 2008;18(3):282-8.

8. Semenza JC, Rubin CH, Falter KH, Selanikio JD, Flanders WD, Howe HL, *et al.* Heat-related deaths during the July 1995 heat wave in Chicago. *N Engl J Med.* 1996;335(2):84-90.
9. Huang C, Wang X, Liu W, Cai J, Shen L, Zou Z, *et al.* Household indoor air quality and its associations with childhood asthma in Shanghai, China: On-site inspected methods and preliminary results. 2016;151:167.
10. McCormack MC, Belli AJ, Waugh D, Matsui EC, Peng RD, Williams DL, *et al.* Respiratory Effects of Indoor Heat and the Interaction with Air Pollution in Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Annals Of The American Thoracic Society.* 2016;13(12):2125-31.
11. Uejio CK, Tamerius JD, Vredenburg J, Asaeda G, Isaacs DA, Braun J, *et al.* Summer indoor heat exposure and respiratory and cardiovascular distress calls in New York City, NY, U.S. *Indoor Air.* 2016;26(4):594-604.
12. Tartarini F, Cooper P, Fleming R, Batterham M. Indoor Air Temperature and Agitation of Nursing Home Residents With Dementia. *American Journal Of Alzheimer's Disease And Other Dementias.* 2017;32(5):272-81.
13. Kim Y-M, Kim S, Cheong H-K, Ahn B, Choi K. Effects of heat wave on body temperature and blood pressure in the poor and elderly. *Environmental Health And Toxicology.* 2012;27:e2012013-e2012013.
14. Kunutsor SK, Powles JW. The effect of ambient temperature on blood pressure in a rural West African adult population: a cross-sectional study. *Cardiovascular Journal Of Africa.* 2010;21(1):17-20.
15. Wang Q, Li C, Guo Y, Barnett AG, Tong S, Phung D, *et al.* Environmental ambient temperature and blood pressure in adults: A systematic review and meta-analysis. *Science of the Total Environment.* 2017;575:276-86.
16. Lu S-H, Dai Y-T. Normal body temperature and the effects of age, sex, ambient temperature and body mass index on normal oral temperature: a prospective, comparative study. *International Journal Of Nursing Studies.* 2009;46(5):661-8.
17. Daly M. Association of ambient indoor temperature with body mass index in England. *Obesity.* 2014;22(3):626-9.
18. Mcgregor GR, Vanos JK. Heat: a primer for public health researchers. *Public Health.* 2018;161:138-46.
19. Kenny GP, Flouris AD, Yagouti A, Notley SR. Towards establishing evidence-based guidelines on maximum indoor temperatures during hot weather in temperate continental climates. *Temperature.* 2018;1-26.
20. Basu R, Samet JM. An exposure assessment study of ambient heat exposure in an elderly population in Baltimore, Maryland. *Environmental Health Perspectives.* 2002;110(12):1219-24.
21. Ormandy D, Ezratty V. Health and thermal comfort: From WHO guidance to housing strategies. *Energy Policy.* 2012;49(C):116-21.
22. Organisation mondiale de la Santé. WHO housing and health guidelines [En ligne]. Organisation mondiale de la Santé; 2018. Disponible : <https://apps.who.int/iris/handle/10665/276001>
23. Organisation mondiale de la Santé, Head K, Clarke M, Bailey M, Livinski A, Ludolph R, *et al.* WHO Housing and health guidelines: web annex D: report of the systematic review on the effect of indoor heat on health [En ligne]. Organisation mondiale de la Santé; 2018. Disponible : <https://apps.who.int/iris/handle/10665/275842>
24. Organisation mondiale de la Santé. Lignes directrices de l'OMS relatives au logement et à la santé : résumé d'orientation [En ligne]. Organisation mondiale de la Santé; 2018. Disponible : <https://apps.who.int/iris/handle/10665/279601>
25. Deng Q, Zhao J, Liu W, Li Y. Heatstroke at home: Prediction by thermoregulation modeling. *Building & Environment.* 2018;137:147-56.
26. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Heat stress and strain. American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 2009.

27. Jacklitsch B, Williams W, Musolin K, Coca A, Kim J-H, Turner N. Criteria for a Recommended Standard : Occupational Exposure to Heat and Hot Environments, Revised Criteria 2016 [En ligne]. The National Institute for Occupational Safety and Health; 2016. Disponible : <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2016-106/default.html>
28. Organisation internationale de normalisation. Norme internationale ISO 7933:2004 Ergonomie des ambiances thermiques – Détermination analytique et interprétation de la contrainte thermique fondées **sur le calcul de l'astreinte** thermique prévisible. Suisse : Organisation internationale de normalisation; 2004. Disponible : <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:7933:ed-2:v1:fr>
29. Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail [En ligne]. Québec; Gouvernement du Québec; 2019. Évaluer votre niveau de risque de subir un coup de chaleur. Disponible : https://www.csst.qc.ca/prevention/theme/coup_chaleur/Pages/evaluer-niveau-risque.aspx
30. Medical Officer of Health. Update on Extreme Heat and Maximum Indoor Temperature Standard for Multi-unit Residential Buildings [En ligne]. 2015. Disponible : <https://www.toronto.ca/legdocs/mmis/2015/hl/bgrd/backgroundfile-85835.pdf>
31. Gouvernement du pays de Galles. Heatwave Plan for Wales: A Framework for Preparedness and Response [En ligne]. 2012. Disponible : <https://gov.wales/docs/phhs/publications/120629heatwaveen.pdf>
32. Public Health England. Heatwave plan for England: Supporting vulnerable people before and during a heatwave – Advice for health and social care professionals [En ligne]. 2015. Disponible : https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/429627/Heatwave-Advice_for_Health_Professionals.pdf
33. Public Health England. Heatwave plan for England: Protecting health and reducing harm from severe heat and heatwaves [En ligne]. 2018. Disponible : https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/711503/Heatwave_plan_for_England_2018.pdf