

Effets de la chaleur sur la santé en milieux résidentiels

ÉTAT DES CONNAISSANCES

AVRIL 2025

ÉTAT DES CONNAISSANCES

AUTEURS ET AUTRICES (ordre alphabétique)

Clémentine Crouzier, conseillère scientifique
Marie-Eve Dubuis, conseillère scientifique spécialisée
Marie-Claude Lefebvre, conseillère scientifique
Stéphane Perron, médecin spécialiste
Patrick Poulin, coordonnateur de l'Équipe scientifique sur l'air
Margaux Sadoine, conseillère scientifique spécialisée
Direction de la santé environnementale, au travail et de la toxicologie

SOUS LA COORDINATION DE

Marie-Eve Levasseur, cheffe de secteur, Expertises thématiques
Jean-Bernard Gamache, chef d'unité, Unité Évaluation et soutien à la gestion des risques
Direction de la santé environnementale, au travail et de la toxicologie

COLLABORATION

Isabelle Goupil-Sormany, médecin spécialiste
Direction de la santé environnementale, au travail et de la toxicologie, Institut national de santé publique du Québec

Mélissa Généreux, médecin-conseil
Direction de santé publique de l'Estrie

Vana Ké, bibliothécaire
Roxanne Lépine, bibliothécaire
Magali Leverd, technicienne en documentation
Mahée Lacourse, bibliothécaire
Direction de la santé environnementale, au travail et de la toxicologie, Institut national de santé publique du Québec

Geneviève Grenier, conseillère scientifique
Secrétariat général, Institut national de santé publique du Québec

RÉVISION

Tarik Benmarhnia, professeur associé
Institut Scripps d'océanographie, Université de Californie, San Diego

Ray Bustinza, conseiller scientifique
Institut national de santé publique du Québec

Daniel Gagnon, professeur agrégé
École de kinésiologie et des sciences de l'activité physique, Université de Montréal

Glen Kenny, professeur titulaire
École des sciences de l'activité physique, Université d'Ottawa

Les réviseurs ont été conviés à apporter des commentaires sur la version préfinale de ce document et en conséquence, n'en ont pas révisé ni endossé le contenu final.

Les auteurs et autrices ainsi que les membres du comité scientifique et les réviseurs ont dûment rempli leurs déclarations d'intérêts et aucune situation à risque de conflits d'intérêts réels, apparents ou potentiels n'a été relevée.

RELECTURE ET MISE EN PAGE

Aurélié Franco, agente administrative
Direction de la santé environnementale, au travail et de la toxicologie

Ce document est disponible intégralement en format électronique (PDF) sur le site Web de l'Institut national de santé publique du Québec au : <http://www.inspq.qc.ca>.

Les reproductions à des fins d'étude privée ou de recherche sont autorisées en vertu de l'article 29 de la Loi sur le droit d'auteur. Toute autre utilisation doit faire l'objet d'une autorisation du gouvernement du Québec qui détient les droits exclusifs de propriété intellectuelle sur ce document. Cette autorisation peut être obtenue ou en écrivant un courriel à : droits.dauteur.inspq@inspq.qc.ca.

Les données contenues dans le document peuvent être citées, à condition d'en mentionner la source.

Dépôt légal – 3^e trimestre 2025
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
ISBN : 978-2-555-01703-0 (PDF)

© Gouvernement du Québec (2025)

REMERCIEMENTS

Les auteurs et autrices du présent document souhaitent d'abord adresser leurs remerciements à M. Glen Kenny pour le temps qu'il a consacré à partager son expertise avec les membres concernés de l'Équipe scientifique sur l'air. Les auteurs et autrices souhaitent également remercier Mme Lina-Rim Doualane qui a réalisé un stage dans le cadre de sa maîtrise en santé publique au sein de l'Équipe scientifique sur l'air ainsi qu'un groupe d'externes composé de Mme Stéphanie Leblanc, Mme Jeanne Lemay et M. Jimmy Mailloux, qui ont porté un premier regard critique sur la littérature disponible au sujet de l'établissement de température repère sécuritaire en milieu intérieur. Enfin, des remerciements tout spéciaux sont adressés aux collaboratrices et aux réviseurs du présent document qui ont soumis d'intéressants commentaires et propositions pour bonifier ce dernier.

AVANT-PROPOS

L'Institut national de santé publique du Québec est le centre d'expertise et de référence en matière de santé publique au Québec. Sa mission est de soutenir le ministre de la Santé et des Services sociaux dans sa mission de santé publique. L'Institut a également comme mission, dans la mesure déterminée par le mandat que lui confie le ministre, de soutenir Santé Québec, la Régie régionale de la santé et des services sociaux du Nunavik, le Conseil cri de la santé et des services sociaux de la Baie James et les établissements, dans l'exercice de leur mission de santé publique.

La collection *État des connaissances* rassemble sous une même bannière une variété de productions scientifiques qui synthétisent et communiquent ce que la science nous dit sur une question donnée à l'aide de méthodes rigoureuses de recension et d'analyse des écrits scientifiques et autres informations pertinentes.

Le présent document visait à réaliser une synthèse des connaissances sur les températures intérieures au-delà desquelles des effets physiologiques, cognitifs ou une perte de confort peuvent être observés. Ce document s'adresse d'abord au ministère de la Santé et des Services sociaux ainsi qu'aux directions régionales de santé publique qui voudraient consulter un survol des informations disponibles à ce sujet.

Il est à noter que les moyens pouvant être déployés pour maintenir des conditions thermiques dites confortables et sécuritaires en saison estivale dans les bâtiments résidentiels potentiellement concernés par le présent ouvrage n'ont pas été abordés par ses auteurs et autrices.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES	V
GLOSSAIRE	VI
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES	X
MESSAGES CLÉS	11
SOMMAIRE	12
1 INTRODUCTION	15
1.1 Effets physiologiques consécutifs à l'exposition à la chaleur	17
1.2 Effets cognitifs consécutifs à l'exposition à la chaleur	19
1.3 Confort lié aux conditions thermiques.....	20
1.4 Objectifs.....	21
2 MÉTHODOLOGIE	22
2.1 Stratégie de recherche documentaire et sélection des études.....	22
2.2 Révision par les pairs.....	23
3 RÉSULTATS	24
3.1 Portrait des études incluses.....	24
3.2 Effets physiologiques associés à une exposition à la chaleur issus des études recensées	27
3.2.1 Température corporelle, tympanique et cutanée.....	27
3.2.2 Effets cardiovasculaires.....	32
3.2.3 Effets respiratoires.....	36
3.2.4 Appels aux services d'urgences.....	37
3.3 Effets cognitifs associés à une exposition à la chaleur.....	38
3.4 Effets de la chaleur sur le sommeil	40
3.5 Autres effets physiologiques rapportés.....	41
3.6 Plages de confort thermique	42
3.7 Revues de la littérature	45
4 DISCUSSION	48
4.1 Constats sur les effets sur la santé de la température en milieu résidentiel	48
4.1.1 Effets physiologiques rapportés dans les études.....	48

4.1.2	Effets cognitifs rapportés dans d'autres revues de la littérature	50
4.1.3	Identification des populations vulnérables à la chaleur	51
4.1.4	Plage de confort.....	54
4.1.5	Adaptation physiologique à la chaleur et climatisation.....	54
4.1.6	Seuils établis par d'autres organismes	56
4.2	Biais et limites	58
4.3	Recherches futures.....	60
5	CONCLUSION.....	63
	BIBLIOGRAPHIE	64
ANNEXE 1	MOTS-CLÉS CONSIDÉRÉS DANS LA STRATÉGIE DE RECHERCHE DOCUMENTAIRE	79
ANNEXE 2	CRITÈRES DE SÉLECTION DES OUVRAGES RETENUS DANS LE CADRE DU PRÉSENT ÉTAT DES CONNAISSANCES.....	80
ANNEXE 3	DIAGRAMME DES RÉSULTATS DE LA RECHERCHE DOCUMENTAIRE.....	81
ANNEXE 4	ÉLÉMENTS DESCRIPTIFS DES ÉTUDES INCLUSES.....	82
ANNEXE 5	CONTINENT, PAYS, DEVIS ET TYPE DE CLIMAT DES ÉTUDES CONSULTÉES AYANT MESURÉ L'ACCEPTABILITÉ, LE CONFORT OU LA NEUTRALITÉ THERMIQUES ET AYANT FOURNI DES PLAGES DE TEMPÉRATURES	90
ANNEXE 6	RÉFÉRENCES DES ARTICLES RAPPORTÉS DANS LA FIGURE 7 (P. 39).....	91

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Schéma de réponse physiologique à la chaleur	19
Figure 2	Pays d'origine des études originales retenues	24
Figure 3	Catégories de populations étudiées dans les études originales	26
Figure 4	Nombre d'études originales par effet et devis.....	26
Figure 5	Plages d'acceptabilité, de confort et de neutralité thermiques des études observationnelles recensées.....	44
Figure 6	Plages d'acceptabilité, de confort et de neutralité thermiques et d'HR des études expérimentales recensées.....	44
Figure 7	Effets de la chaleur sur les différents paramètres physiologiques mesurés dans les études expérimentales consultées (effets respiratoires, températures corporelles, tympaniques et cutanées, et effets cardiovasculaires)	49
Figure 8	Estimation de la corrélation entre les performances cognitives et la température en milieu intérieur	51
Figure 9	Progression des effets théoriques associés à l'exposition à la chaleur en milieu résidentiel lorsque les personnes occupantes sont physiquement inactives.....	58

GLOSSAIRE

Acceptabilité thermique : selon l’American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), les conditions d’un environnement thermique acceptable sont celles pour lesquelles au moins 80 % des occupants et occupantes considèrent l’ambiance thermique confortable. En effet, en raison des différences de perceptions d’un individu à l’autre, il est impossible de déterminer une ambiance thermique qui soit satisfaisante pour tous et toutes (Charbonneau *et al.*, 2004).

Astreinte thermique due à la chaleur : lorsque la chaleur subie par le corps excède sa capacité à l’évacuer, la capacité de ce corps à éliminer la chaleur excessive est compromise et les températures internes commencent à augmenter. Le corps se trouve dès lors en situation d’astreinte à cause de la chaleur (Gouvernement du Canada, 2018).

Cognition : la cognition fait référence à une large gamme de processus mentaux liés à l’acquisition, au stockage, à la manipulation et à la récupération d’informations. Elle sous-tend la pratique de nombreuses activités quotidiennes, en matière de santé et de maladie, à tout âge. La cognition peut être divisée en plusieurs fonctions distinctes, dépendant des circuits cérébraux et des neuromodulateurs sollicités (Mak, 2015).

Confort thermique : le confort thermique se définit comme la satisfaction exprimée à l’égard de l’ambiance thermique du milieu environnant. Il dépend de plusieurs facteurs individuels (p. ex. la morphologie, le niveau d’activité physique, l’habillement) et environnementaux (p. ex. la température et la vitesse de l’air, le rayonnement thermique, l’humidité). Des conditions thermiques inconfortables ne présentent pas nécessairement un risque pour la santé, puisque l’organisme peut s’adapter (voir processus d’adaptation physiologique à la chaleur ou acclimatation) dans une certaine mesure aux fluctuations de l’ambiance thermique du milieu environnant (Charbonneau *et al.*, 2004).

Convection : transfert de chaleur entre un corps et l’air (ou un fluide ambiant) causé par le mouvement de cette masse d’air (Centre canadien d’hygiène et de sécurité au travail, s. d.).

Coup de chaleur : il existe deux types de coups de chaleur : le coup de chaleur classique, qui survient à la suite d’une exposition à la chaleur ambiante (et dont il est question dans le présent document), et le coup de chaleur à l’effort, lié à la pratique d’une activité physique intense. Un coup de chaleur survient lorsque la capacité des mécanismes de thermorégulation de l’organisme est dépassée. Il est associé à une hyperthermie majeure (température rectale supérieure à 40 °C) et à des troubles neurologiques graves (p. ex. délire, hallucinations, ataxie, convulsions, coma) (Bouchama et Knochel, 2002). Il s’agit d’une urgence médicale, associée à une morbidité et à une mortalité élevée (environ 50 %) (Armstrong *et al.*, 2007; Gauthier *et al.*, 2005).

Débit respiratoire : exprime la quantité d'air inspiré ou expiré par les poumons par unité de temps. Le débit respiratoire s'exprime en L/min. Le volume courant au repos est de 12 L/min chez l'adulte en bonne santé (Académie Saint-Bernard, s. d.).

Déshydratation : perte ou déficience en eau des tissus organiques à la suite de sudation, de vomissement ou de diarrhée. Une soif intense, des nausées et l'épuisement en sont les symptômes (Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail, s. d.).

Épisode de chaleur extrême : période pendant laquelle la température extérieure est élevée et inconfortable (GIEC, 2014). Ce terme inclut les canicules, les périodes de chaleur accablante et les vagues de chaleur.

Épuisement par la chaleur : état pathologique ayant pour origine une déshydratation sévère provoquée par une sudation importante. Il s'agit de la maladie liée à la chaleur la plus fréquente. Les signes cliniques sont peu spécifiques (p. ex. céphalées, nausées et vomissements, vertiges, perte de connaissance, faiblesse musculaire, crampes, hypotension, tachycardie, dyspnée) sans altération de l'état mental. L'épuisement par la chaleur se distingue du coup de chaleur par l'absence de signes neurologiques (Kenny *et al.*, 2018). Il peut progresser vers le coup de chaleur s'il n'est pas traité et que l'exposition à la chaleur persiste.

Fréquence cardiaque : correspond au nombre de contractions ventriculaires (partie du cœur) par minute. La fréquence cardiaque d'un adulte en bonne santé se situe entre 60 et 100 battements par minute au repos (Centre hospitalier universitaire vaudois, 2019b).

Fréquence respiratoire : exprime le nombre de respirations par unité de temps. La fréquence respiratoire s'exprime en respiration par minute. La fréquence respiratoire normale se situe entre 12 et 20 respirations par minute (Académie Saint-Bernard, s. d.).

Gradient thermique : différence de température se profilant entre deux milieux donnés. Dans cette revue, le concept de gradient thermique est principalement appliqué à la différence de température observée entre la température corporelle et cutanée (Hoet, 1985).

Humidité relative : rapport entre la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air et la valeur correspondante qui caractérise l'air saturé, à une température et une pression donnée (Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail, s. d.).

Métabolisme : ensemble de réactions biochimiques qui s'effectuent dans les cellules en réponse à l'absorption d'une substance par l'organisme, rendant possibles la synthèse et la dégradation de biomolécules (Office québécois de la langue française, 2023).

Neutralité thermique : température ressentie généralement considérée comme confortable du fait qu'elle n'est ni chaude ni froide et à laquelle le corps ne cherche pas à se réchauffer ni à se refroidir par les processus de thermorégulation (Arora, 2012).

Population vulnérable : groupe de personnes au sein de la population générale qui, en raison d'une susceptibilité accrue, peut courir un plus grand risque que la population générale de connaître des effets nocifs pour la santé dus à l'exposition à la chaleur.

Population à risque (d'être exposée) : groupe de personnes au sein de la population générale qui peut courir un risque accru d'être exposé à la chaleur en comparaison à la population générale.

Processus d'adaptation physiologique à la chaleur (ou acclimatation) : augmentation graduelle de la capacité d'adaptation physiologique et de la tolérance du corps à la température ambiante suivant une exposition répétée à la chaleur. L'acclimatation se manifeste par le maintien d'une température corporelle plus basse, d'une fréquence cardiaque plus lente et d'une transpiration plus abondante et subite. En général, la sueur devient plus diluée afin de limiter la perte d'ions (Taylor, 2014).

Rayonnement (thermique) : transfert de chaleur entre un corps chaud et un corps froid sans qu'il y ait contact entre les deux (Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail, s. d.).

Température corporelle (également appelée température centrale) : température résultant de l'équilibre entre la production et la perte de chaleur par le corps. Le processus de thermorégulation est géré par le système nerveux central. La température corporelle normale se situe entre 36 °C et 37,5 °C chez l'adulte; fenêtre de température qui assure le bon fonctionnement métabolique de l'organisme. Celle-ci varie selon l'environnement, l'activité physique ou le moment de la journée (elle est plus basse le matin au réveil et plus élevée au milieu de l'après-midi) (Centre hospitalier universitaire vaudois, 2019a).

Température cutanée : température de la peau, laquelle varie selon les différentes parties du corps, l'activité physique, le niveau d'hydratation, l'état émotionnel et les conditions environnementales (source de rayonnement infrarouge [soleil] et température ambiante) (Taylor *et al.*, 2014).

Température tympanique : température mesurée dans l'oreille. La mesure de la température tympanique est une manière peu invasive pour évaluer la température corporelle. Sa valeur est estimée comme normale lorsqu'elle se situe entre 35,8 °C et 38 °C (HealthLinkBC, 2021).

Tension artérielle : mesure de la pression qu'exerce le sang contre les parois des artères.

Tension artérielle systolique : pression exercée par le sang sur les artères lorsque le cœur se contracte et expulse le sang. Une tension systolique moyenne se situe en dessous de 120 mmHg.

Tension artérielle diastolique : pression exercée par le sang sur les artères entre deux battements de cœur. Une tension diastolique moyenne se situe en dessous de 80 mmHg. (Statistique Canada, 2021).

Thermorégulation : la thermorégulation est le maintien de la température physiologique centrale ou corporelle en équilibrant la génération de chaleur et la perte de chaleur. Un individu en bonne santé aura une température corporelle de $37 \pm 0,5$ °C ($98,6 \pm 0,9$ °F), la plage de température nécessaire au bon fonctionnement des processus métaboliques du corps (Hymczak *et al.*, 2021).

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BCCDC	British Columbia Centre for Disease Control
BPM	Battements par minute
CDC	Centers for Disease Control and Prevention
CHSCDL	Centre d'hébergement et de soins de longue durée
CIBSE	Chartered Institution of Building Services Engineers
CO ₂	Dioxyde de carbone
COV	Composé organique volatil
EPA	Environmental Protection Agency
ERMI	<i>Environmental Relative Moldiness Index</i>
FC	Fréquence cardiaque
HTA	Hypertension artérielle
HR	Humidité relative
IEA	International Energy Agency
MPOC	Maladie pulmonaire obstructive chronique
MSSS	Ministère de la Santé et des Services sociaux
NO ₂	Dioxyde d'azote
OMS	Organisation mondiale de la Santé
PM _{2,5}	Particules fines (<i>particulate matter</i>) de diamètre inférieur ou égal à 2,5 micromètres
ppm	Parties par million
RPA	Résidence privée pour personnes âgées
SpO ₂	Saturation en oxygène
TA	Tension artérielle
TAD	Tension artérielle diastolique
TAS	Tension artérielle systolique
°C	Degré Celsius

MESSAGES CLÉS

- La population passe près de 90 % de son temps en milieux intérieurs où la température peut fluctuer de façon différente de la température extérieure. La vulnérabilité des occupants et occupantes à la chaleur est également associée à différents déterminants physiologiques, sociaux ou environnementaux. De même, les caractéristiques structurales et mécaniques de ces milieux, dont les logements, peuvent contribuer à définir leur potentiel de surchauffe en période de chaleur.
- L'objectif de ce document est de rapporter les principaux éléments issus d'une synthèse des connaissances sur la température intérieure (en contexte résidentiel) au-delà de laquelle des effets physiologiques, cognitifs ou une perte de confort peuvent être observés chez les adultes.
- Cette synthèse a permis d'identifier certaines des conditions intérieures susceptibles de stimuler l'activation des mécanismes physiologiques de thermorégulation chez les individus exposés à la chaleur. Les premiers effets physiologiques, comme l'augmentation du rythme cardiaque, pourraient se manifester à partir de 26 °C selon certaines études. Dans un contexte où la température augmenterait davantage, d'autres effets pourraient être rapportés, tels qu'une baisse de la tension artérielle diastolique et une élévation de la température tympanique, à partir de 30 °C. Il est à noter toutefois que ces effets physiologiques se manifestent en lien avec des changements de température par rapport à des températures de référence qui diffèrent d'une étude à l'autre.
- D'autres effets complémentaires d'intérêt ont également été documentés par les autrices et auteurs consultés lorsque les températures, l'humidité relative et la durée d'exposition augmentent (p. ex. effets cognitifs indésirables, dégradation de la qualité du sommeil, augmentation de la température cutanée, tympanique et corporelle, diminution du confort).
- Les résultats de la présente analyse suggèrent qu'à partir de 26 °C, plus la température intérieure augmente, plus la probabilité d'observer des effets physiologiques augmente. Alors que les conséquences sanitaires consécutives à la manifestation des effets physiologiques s'avèrent difficilement quantifiables à l'heure actuelle, ces premières seraient vraisemblablement tributaires de l'influence de certains facteurs environnementaux auxquels s'ajoutent des facteurs de vulnérabilité ou de protection individuels.
- Les valeurs médianes des plages de confort thermique relevées dans les études sélectionnées se situent principalement entre 26 °C et 27,6 °C pour une humidité relative comprise entre 50 % et 60 %.
- Plusieurs des études ont été menées en Asie, sur de jeunes adultes en bonne santé, sur de courtes durées et n'ont pas considéré de façon systématique certaines problématiques de santé (p. ex. problèmes rénaux, santé mentale, etc.), ce qui limite la transposabilité des résultats au Québec.

SOMMAIRE

Introduction

En raison de l'intensification des changements climatiques, les vagues de chaleur devraient devenir plus fréquentes et intenses au cours des prochaines décennies. La quasi-totalité des décès associés à la chaleur survient en milieu intérieur. En effet, il est généralement admis que la population québécoise passe près de 90 % de son temps dans des milieux intérieurs. Certains milieux hébergent des groupes d'individus plus vulnérables à la chaleur (c.-à-d. personnes seules, âgées, atteintes de troubles de santé mentale, consommant de l'alcool ou des drogues ou souffrant de maladies cardiovasculaires ou respiratoires) qui disposent parfois d'accès limités à des mesures ou stratégie d'adaptation à la chaleur (p. ex. climatisation ou ventilateur sur pied) ou qui logent dans des bâtiments résidentiels à risque de surchauffe. C'est sur la base de ces prémices que les autrices et auteurs du présent document ont tenté de réaliser une synthèse des connaissances sur les températures intérieures en milieu résidentiel au-delà desquelles des effets physiologiques, cognitifs ou une perte de confort peuvent être observés afin de soutenir les autorités de santé publique dans leurs réflexions.

Méthodologie

Pour répondre aux objectifs, une revue de littérature narrative intégrant certaines approches systématisées a été privilégiée. Une stratégie de recherche a été développée avec le soutien des services documentaires intégrant trois concepts : l'environnement intérieur, la chaleur et les relations dose-réponse au regard des effets sanitaires. À partir de ces concepts, plusieurs mots-clés ont été définis et utilisés pour interroger les bases de données bibliographiques. Aucune limite en lien avec l'année de publication n'a été établie. La recherche documentaire a été lancée le 29 décembre 2022 en interrogeant les bases de données bibliographiques Medline (OVID), Environment Complete (EBSCOhost) et Embase (OVID), et en recensant tous les articles publiés jusqu'à cette date. Après le retrait de 525 doublons, 1 650 articles scientifiques ont été considérés dans le cadre de cette revue de littérature. À la suite de l'application d'une série de critères de sélection permettant de mieux circonscrire les documents potentiellement utiles pour répondre à la question de recherche, un total de 78 articles, soit 73 études originales et cinq revues de littérature, ont été retenus pour préparer cette synthèse.

Résultats

Parmi les 73 études originales retenues, 46 études se sont déroulées en Asie, 15 en Europe, huit en Amérique du Nord et quatre en Océanie. Les effets physiologiques associés à la chaleur rapportés par les auteurs et autrices de ces études sont la température corporelle, tympanique et cutanée, les effets cardiovasculaires, les effets respiratoires et les appels aux services d'urgences. Les effets cognitifs recensés ont, quant à eux, été évalués à partir de la performance à certains tests et des conditions du sommeil. Enfin, l'acceptabilité, le confort et la neutralité thermiques sont trois concepts analysés pour rapporter le confort thermique des personnes occupantes d'un bâtiment.

Une augmentation de la température corporelle, tympanique et cutanée pourrait être observée lorsque la température ambiante atteint respectivement 36 °C, 30 °C et 23 °C. Néanmoins, aucun résultat ou donnée d'étude ne permet d'observer des effets spécifiques pour des populations vulnérables à la chaleur; les études retenues ayant très largement été réalisées auprès d'adultes en bonne santé. De plus, à partir d'une température ambiante de 37 °C, l'humidité relative du milieu semble avoir un effet concourant sur les températures corporelles, tympaniques et cutanées.

Les résultats recensés montrent que des températures intérieures comprises entre 26 °C et 39 °C engendrent généralement une augmentation de la fréquence cardiaque des occupants et occupantes. Pour des températures intérieures supérieures à 30 °C, l'influence de l'humidité relative semble importante à considérer, surtout lorsque ce facteur passe de 50 % à 70 %. Bien que la majorité des études ait porté sur de jeunes adultes en bonne santé, les résultats assemblés ne semblent pas montrer de différence de fréquence cardiaque selon les groupes d'âge. Concernant la tension artérielle, une exposition à des températures intérieures entre 30 °C et 39 °C combinées à une humidité relative entre 43,6 % et 70 % pourrait induire une diminution de la tension artérielle diastolique, alors que les conditions environnementales pouvant conduire à de tels effets sur la tension artérielle systolique semblent plus hétérogènes.

Les auteurs et autrices des études retenues rapportent peu d'effets respiratoires liés à la chaleur. Les résultats d'une étude témoignent de l'augmentation du débit ventilatoire chez les individus exposés à une température intérieure de 37 °C et plus, couplée à une augmentation de l'humidité relative jusqu'à 70 %. Les auteurs et autrices des études de cohorte ont, pour leur part, rapporté une augmentation des symptômes associés à la chaleur chez les personnes souffrant de maladies pulmonaires obstructives chroniques sévères lors d'une augmentation de 5,6 °C de la température intérieure. Les résultats publiés par un groupe d'auteurs et autrices suggèrent que les individus aux prises avec des problèmes respiratoires (avec ou sans comorbidité) ou de diabète ont tendance à effectuer davantage d'appels aux services d'urgences lorsque la température du milieu intérieur dépasse environ 26 °C. Bien que ces auteurs et autrices aient également pris en compte les appels pour motif cardiaque, aucune augmentation significative de ces derniers n'a été observée pour la manifestation de symptômes cardiaques.

D'autres résultats semblent indiquer que la température intérieure pour laquelle les performances cognitives chez les adultes sont optimales se situe autour de 23 °C. Au-delà de celle-ci et à une augmentation concourante de l'humidité relative, l'exactitude d'exécution des tests cognitifs semble diminuer. Par ailleurs, les résultats des études référencées ont indiqué une perturbation de la qualité et de la durée du sommeil des personnes participantes lors de vagues de chaleur. Cependant, il est actuellement difficile d'établir des valeurs de température pour lesquelles des effets objectivables sur le sommeil sont rapportés, car les auteurs et autrices des études consultées ne précisent pas de température seuil au-delà de laquelle des perturbations sont susceptibles de se manifester.

À partir des résultats rapportés, les valeurs médianes des plages de températures associées à l'acceptabilité, au confort et à la neutralité thermiques pour 80 % à 90 % des individus se déclinent entre 26 °C et 27,6 °C, considérant une humidité relative comprise entre 50 % et 60 %. Si seules les cinq études menées dans des climats froids (similaires à celui retrouvé au Québec) sont considérées, il est possible d'en extrapoler une plage de température dite de confort comprise entre 23 °C et 28 °C et une humidité relative comprise entre 40 % et 50 %.

Discussion et conclusion

Les effets physiologiques et cognitifs documentés par le biais des études retenues peuvent être considérés à bien des égards comme non spécifiques à l'exposition à la chaleur intérieure. Il s'agit davantage d'un signal du déclenchement des phénomènes physiques de transfert de chaleur entre l'environnement immédiat et le corps et des mécanismes physiologiques protecteurs dont l'activation permet de maintenir la température corporelle dans des plages de valeurs dites normales.

À partir de 26 °C, une légère augmentation de la fréquence cardiaque est observée dans plusieurs des études analysées. Des effets d'intérêt ont également été documentés lorsque la température intérieure, l'humidité relative et la durée d'exposition augmentent (p. ex. effets cognitifs indésirables, dégradation de la qualité du sommeil, augmentation de la température cutanée, tympanique et corporelle, diminution du confort). Les résultats assemblés par l'entremise de la présente revue de littérature n'ont cependant pas permis de dégager un seuil de température intérieur à partir duquel l'ensemble de ces effets est observé. Ils suggèrent toutefois que lorsque la température du milieu excède 26 °C, plus cette dernière augmente, plus la manifestation d'effets physiologiques est susceptible d'être observée. Il est toutefois à noter que les effets statistiquement objectivables se manifestant à de telles températures doivent être interprétés à la lumière d'une température d'exposition de référence qui diffère d'une étude à l'autre. Par ailleurs, une hausse prononcée de la fréquence cardiaque pourrait représenter un signe précurseur d'éventuelles complications physiologiques, par exemple chez les personnes ayant déjà des problèmes cardiovasculaires.

Il est à noter que plusieurs des études ont été menées en Asie, sur de jeunes adultes en bonne santé, sur de courtes durées et n'ont pas considéré de façon systématique certaines problématiques de santé (p. ex. problèmes rénaux, santé mentale, etc.), ce qui limite la transposabilité des résultats au Québec. La littérature consultée ne permet pas d'observer d'excès de morbidité ou de mortalité aux températures pour lesquelles les premiers effets physiologiques peuvent être observés chez les occupantes et occupants de milieux résidentiels. Puisque de tels éléments n'ont pas été recensés, la mise en œuvre d'études additionnelles serait nécessaire pour mieux appuyer les données et les évidences rapportées dans cet ouvrage.

1 INTRODUCTION

En raison de l'intensification des changements climatiques, les épisodes de chaleur extrême devraient devenir plus fréquents et intenses au cours des prochaines décennies (Ouranos, 2024). Les anomalies de température observées pour l'ensemble du Québec, soit l'écart entre la température moyenne de l'année et la température normale au 20^e siècle a atteint 2,7 °C en 2023 (Institut de la statistique du Québec, 2024). Des épisodes de chaleur se manifestent même occasionnellement de façon précoce (printemps) ou tardive (automne), ce qui peut entraîner une variété de conséquences néfastes auprès des populations (Issa *et al.*, 2021).

Il est généralement admis que la population passe près de 90 % de son temps dans des milieux intérieurs (Leech *et al.*, 2002; Matz *et al.*, 2014) et que la température de ces derniers ne reflète pas nécessairement la température mesurée à l'extérieur. De plus, la vulnérabilité à la chaleur des individus est associée à différents déterminants. Une combinaison de certains aspects de sensibilité individuelle et communautaire des occupantes et occupants (dont le sexe et l'âge de ces derniers, leur état de santé, leur statut socioéconomique, leurs habitudes et leurs comportements, leur lieu de résidence, etc.) peut également offrir un portrait potentiellement plus précis de leur susceptibilité à la chaleur (Santé Canada, 2011). De plus, les caractéristiques structurales et mécaniques du bâtiment peuvent favoriser ou non la dispersion de la chaleur radiante dans le bâtiment (albédo), le maintien de la chaleur dans les aires habitées (isolation et étanchéité) de même que la capacité d'évacuation de la chaleur latente (notamment par le biais de la ventilation volontaire et passive). Ensemble, ces facteurs définissent le potentiel de surchauffe¹ du bâtiment en période de canicule (de Dear et Schiller Brager, 2001; White-Newsome *et al.*, 2012).

Certains groupes de la population ont accès à des milieux climatisés et peuvent éviter les inconforts et les risques sanitaires associés aux épisodes de chaleur. À l'opposé, certains milieux d'hébergements pour des groupes plus vulnérables à la chaleur disposent d'accès limités à la climatisation, par exemple les individus séjournant dans certaines résidences pour personnes âgées et centres de réadaptation. Par ailleurs, d'autres individus présentant des comorbidités habitent dans des bâtiments résidentiels à risque de surchauffe. Quelques publications font état de décès survenus dans la communauté et probablement associés à la chaleur, principalement chez des individus vulnérables à la chaleur (seules, âgées, atteintes de troubles de santé mentale, consommant de l'alcool ou des drogues ou souffrant de maladies cardiovasculaires ou respiratoires) (British Columbia Coroners Service, 2022; Price *et al.*, 2013).

C'est d'ailleurs au regard de cet enjeu que l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) a tenté d'établir des seuils de chaleur jugés confortables et sécuritaires en milieux intérieurs, notamment destinés à la protection des populations davantage vulnérables². En effet, au début des années 1980, l'OMS avait émis certaines recommandations portant sur les plages de

¹ Voir le glossaire pour la définition.

² Par souci de simplification du texte, le terme « population vulnérable » réfère aux populations vulnérables à la chaleur.

températures intérieures qui présentaient un risque minimal à la santé pour les personnes dites sédentaires, soit de 18 °C à 24 °C (Ormandy et Ezratty, 2012; World Health Organization, 1984). Alors que la limite supérieure de cette plage de température n'a pas fait l'objet de révision pendant trois décennies, l'OMS a publié en 2018 des lignes directrices portant sur diverses mesures destinées au maintien de logements sains et incluant de nouvelles recommandations sur le contrôle de la chaleur (World Health Organization, 2018). Deux recherches ont alors été effectuées, dont une première en 2015, pour recenser les articles qui traitaient à la fois de la chaleur en milieu intérieur et de certains problèmes de santé jugés prioritaires par les auteurs et autrices, soit la mortalité (toutes causes confondues), le coup de chaleur, l'hyperthermie, la déshydratation et l'admission à l'hôpital. La seconde, effectuée en 2018, incluait pour sa part les troubles du sommeil, la santé générale, la tension artérielle, les maladies respiratoires et cardiovasculaires, la température corporelle, la santé mentale ainsi que les issues de grossesse. Huit études originales ont été retenues après la réalisation des démarches de recherche documentaire de 2015 et de 2018. Toutefois, aucune d'entre elles ne traitait exclusivement du confort thermique (World Health Organization *et al.*, 2018). Or, sur la base des informations présentées dans ces articles, les expertes et experts de l'OMS n'ont pas été en mesure d'établir un nouveau seuil maximal de température intérieure jugé sécuritaire. Ces derniers ont émis la recommandation suivante « [...] d'élaborer et de mettre en œuvre des stratégies visant à protéger les populations contre la chaleur excessive à l'intérieur des logements » (Organisation mondiale de la Santé, 2018). L'absence de recommandation relative à la température intérieure était ainsi justifiée par le manque de données probantes. Alternativement, l'OMS suggérait que des efforts de recherche devraient être déployés afin de mieux définir la relation directe entre la température en milieu intérieur et des effets sur la santé plutôt que de tenter de préciser la relation indirecte entre la température extérieure et les effets sanitaires populationnels considérant la grande variabilité des températures extérieures et intérieures (World Health Organization, 2018).

Un exercice similaire visant à broser un portrait des connaissances en lien avec les seuils de températures élevées en milieu intérieur pour le Québec a été réalisé à l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) en 2019. Les résultats de ces travaux, qui portaient sur l'ensemble des effets sur la santé possiblement associés à l'exposition à la chaleur, n'ont pas permis de cibler une avenue consensuelle pouvant mener à la détermination d'une température au-delà de laquelle des risques imminents à la santé seraient susceptibles de survenir chez les occupants (Paradis *et al.*, 2019).

Afin de compléter cet exercice, les auteurs et autrices du présent ouvrage souhaitaient consulter une littérature plus large, afin de constituer une revue des effets physiologiques, cognitifs et de perte de confort pouvant être engendrés lors d'une exposition à différentes températures en milieux intérieurs. De plus, les positions de différents organismes compétents au regard de la gestion de la chaleur en milieu intérieur ont été consultées et sont présentées dans la section 4.1.6.

1.1 Effets physiologiques consécutifs à l'exposition à la chaleur

Il est reconnu que l'organisme peut généralement maintenir une température corporelle constante d'environ 37 °C (soit entre 36,1 °C et 37,8 °C) assumant que des fluctuations de l'ordre de $\pm 0,5$ °C (selon le moment de la journée, le type d'activité physique exécuté et les conditions environnementales) demeurent normales (Kuht et Farmery, 2014). Lorsque la température ambiante s'élève, l'organisme active les deux mécanismes usuels de réponse à la chaleur dont il dispose. Le premier à être activé est la vasodilatation périphérique et lorsque la température dépasse un certain seuil, le second implique l'évapotranspiration. Ces deux mécanismes visent à évacuer l'excédent de chaleur afin de maintenir sa température corporelle dans une plage de valeur dite neutre, sans fournir d'efforts métaboliques marqués. Dès lors, le rythme cardiaque s'accélère et le débit sanguin cutané augmente tandis que les glandes sudoripares produisent davantage de sueur. Ces processus de contrôle de la température sont entre autres activés afin de préserver l'intégrité des cellules du corps dont certaines protéines sont susceptibles d'être endommagées par une chaleur corporelle trop élevée (Kuht et Farmery, 2014). Ce transfert de chaleur de l'organisme vers l'environnement limitrophe s'opère ainsi par l'activation de quatre phénomènes physiques, soit l'évaporation, la convection, la conduction et la radiation (Jacklitsch *et al.*, 2016; Kuht et Farmery, 2014) (voir figure 1 p. 19). Le maintien de la thermorégulation intégrale du corps humain est assuré par le système nerveux central, entre autres par l'hypothalamus. Plus spécifiquement, l'hypothalamus contribue à la régulation de la température corporelle de l'organisme et déclenche les réponses physiologiques appropriées pour la maintenir dans les limites de la normale³ (Jacklitsch *et al.*, 2016). Les organes devant être protégés de toute variation importante de température (Kuht et Farmery, 2014), cette dissipation de la chaleur vers le milieu externe est ensuite soutenue par le gradient thermique s'établissant entre les organes internes et la peau (Jacklitsch *et al.*, 2016), lequel est généralement de 3 °C, la température cutanée étant la plus basse (Baldwin *et al.*, 2023; Kosaka *et al.*, 2004).

Une exposition à la chaleur active également certains mécanismes physiologiques, à l'instar de tout mécanisme qui favorise la production de chaleur, comme la pratique d'exercice physique (voir figure 1 p. 19). À la suite de l'activation de la vasodilatation périphérique qui vise à assurer une perfusion sanguine adéquate des tissus, on observe une augmentation de la fréquence cardiaque. En outre, cette dernière tend à augmenter lorsque le volume sanguin diminue à cause de la déshydratation (Horstman et Horvath, 1973). Sans un apport en eau adéquat, ces mécanismes physiologiques peuvent engendrer une déshydratation ainsi qu'un déséquilibre dans la composition sanguine (J. Liu *et al.*, 2022, Desai *et al.*, 2023). De plus, la fréquence

³ Il importe de faire la distinction entre la fièvre et l'hyperthermie causée par un coup de chaleur. La fièvre est une élévation normale de la température corporelle à la suite d'un message de l'hypothalamus afin d'aider l'organisme à combattre une infection, notamment en retardant la reproduction des virus ou des bactéries, en favorisant la production de globules blancs et en activant des mécanismes inflammatoires protecteurs (Kuht et Farmery, 2014). L'hyperthermie causée par un coup de chaleur est une accumulation de chaleur d'origine exogène ou endogène et est consécutive à l'incapacité du corps à évacuer efficacement ce surplus de chaleur, malgré les signaux de l'hypothalamus de faire baisser la température corporelle. Source : <https://publications.msss.gouv.qc.ca/msss/fichiers/guide-garderie/chap5-fievre.pdf>

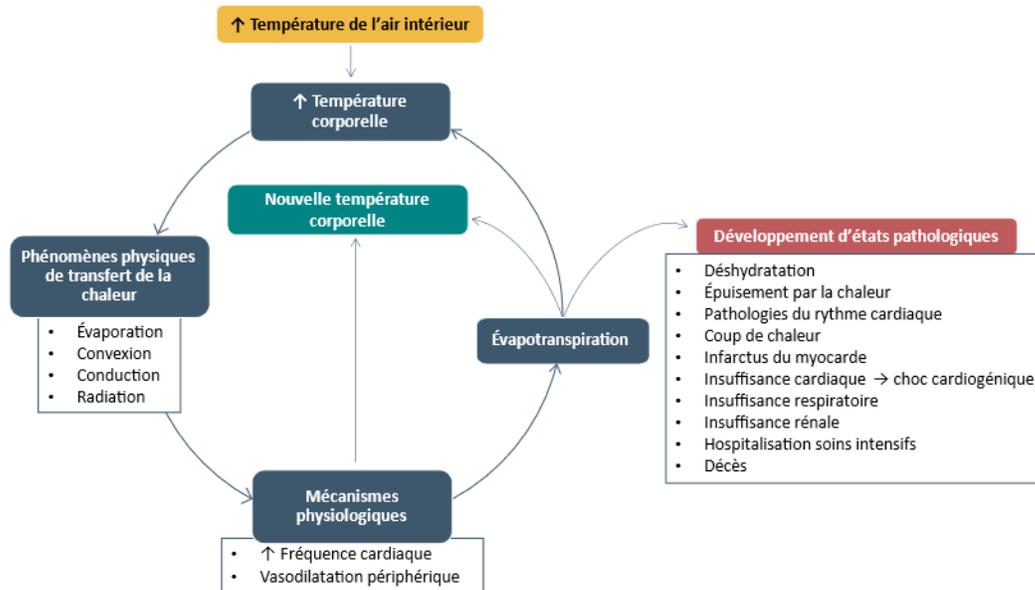
respiratoire augmente de manière directement proportionnelle à l'augmentation de la chaleur corporelle (Tsuji *et al.*, 2016).

Les individus ne souffrant pas de maladie chronique et qui présentent une bonne condition physique bénéficient d'une thermorégulation passive efficace lorsqu'ils sont exposés à des températures ambiantes élevées. De plus, la pratique d'activité physique régulière accroît la capacité du corps à évacuer les charges excédentaires de chaleur interne, ce qui rend les individus plus résilients lors d'une exposition à de la chaleur ambiante (Pryor *et al.*, 2019). À l'opposé, les personnes avec des maladies chroniques, qui sont plus âgées, qui sont déconditionnées ou qui possèdent une incapacité de se protéger (p. ex. personne manifestant un problème de santé mentale) s'avèrent plus vulnérables à ce type de stress et plus à risque de développer des effets délétères liés à la chaleur.

Chez tous les individus, et particulièrement chez ceux dont les mécanismes compensatoires sont sous-optimaux, l'augmentation de la température corporelle engendre un déséquilibre entre la production de chaleur endogène et son transfert vers l'environnement. Cette situation peut entraîner le développement d'un continuum d'états pathologiques (voir figure 1 p. 19), notamment un épuisement dû à la chaleur, un coup de chaleur, une insuffisance cardiaque, respiratoire et rénale, une hospitalisation aux soins intensifs, voire le décès (Bouchama et Knochel, 2002). Cependant, les décès par coup de chaleur semblent peu fréquents dans la population en général et l'exacerbation d'états pathologiques occasionnés par la présence de maladies chroniques préexistantes expliquerait davantage l'augmentation de la mortalité lors des épisodes de chaleur extrême (Agence française de sécurité sanitaire environnementale, 2004; Dixsaut, 2005; Quick, 2024). Notons que lors d'un coup de chaleur (qui n'est pas lié à l'activité physique, mais à l'exposition à une chaleur ambiante persistante), les individus ont généralement la peau chaude et sèche, ce qui pourrait indiquer une défaillance de l'organisme à évacuer la chaleur par l'entremise de l'évapotranspiration. Il est à noter qu'une élévation de la température corporelle au-delà de 40 °C cumulée ou non à d'autres facteurs tels qu'une déshydratation ou un effort physique peut engendrer un coup de chaleur. De plus, les résultats de plusieurs modèles théoriques suggèrent que les mécanismes de thermorégulation ne sont plus efficaces lors d'une exposition prolongée à une température égale ou supérieure à 35 °C sous des conditions de 100 % d'humidité relative (HR)⁴ (d'Ambrosio Alfano *et al.*, 2014; Jacklitsch *et al.*, 2016). L'HR peut donc être considérée comme une covariable de la température, puisque l'association entre ces deux paramètres peut influencer la réaction physiologique à la chaleur. Toutefois, d'après les résultats des modèles expérimentaux, ce constat devrait être modulé au regard d'autres variables telles que la vulnérabilité des individus exposés et des moyens d'adaptation dont ils disposent (Vecellio *et al.*, 2022).

⁴ Ces conditions environnementales (température égale ou supérieure à 35 °C combinée à une HR de 100 %) ne seraient pas retrouvées au Québec à l'heure actuelle.

Figure 1 Schéma de réponse physiologique à la chaleur



1.2 Effets cognitifs consécutifs à l'exposition à la chaleur

L'augmentation de la température corporelle à la suite d'une exposition à la chaleur environnementale entraîne généralement une élévation de la température du cerveau, qui joue un rôle clé dans la thermorégulation (Cramer *et al.*, 2022). Ainsi, en situation d'astreinte thermique, l'activité métabolique cérébrale augmente dans plusieurs régions du cerveau impliquées dans les réponses physiologiques à la chaleur (notamment l'hypothalamus et l'aire préoptique) et diminue dans d'autres (p. ex. l'insula) (Nunneley *et al.*, 2002).

Par ailleurs, lors d'une augmentation de la température corporelle, une réduction du flux sanguin cérébral peut également être observée en fonction du degré d'hyperthermie atteint (Bain *et al.*, 2014; Willie *et al.*, 2014). Cependant, les mécanismes de régulation augmentent l'extraction d'oxygène par les tissus cérébraux, assurant ainsi une disponibilité suffisante d'oxygène au niveau cérébral (Travers *et al.*, 2022). Ces changements métaboliques sont liés à l'intégration de signaux nerveux en réponse à l'élévation de la température corporelle, avec pour objectif de mettre en œuvre des mécanismes visant à freiner cette hausse et à maintenir une température corporelle adéquate. Ils assurent de surcroît le maintien des capacités cognitives lorsque la température corporelle augmente ou lors d'épuisement dû à la chaleur. Ainsi, les diminutions des performances cognitives qui pourraient être observées lorsque la température ambiante est trop élevée (par rapport à des températures dites confortables) ne seraient donc pas nécessairement dues à une atteinte directe du système nerveux central, mais plutôt possiblement à un état d'inconfort. Néanmoins, les mécanismes neurologiques impliqués sont complexes et il n'est pas encore possible d'estimer si ces derniers, ou si l'inconfort induisent un

changement ou une adaptation comportementale chez un individu lors d'une exposition à la chaleur.

Il est à noter qu'un des signes distinctifs du coup de chaleur est l'atteinte neurologique (confusion, délire, etc.) (Bouchama *et al.*, 2022). De tels symptômes neurologiques peuvent donc constituer un élément diagnostique clé pour identifier un coup de chaleur qui constitue une urgence médicale et peut entraîner des séquelles neurologiques à long terme. Les mécanismes sous-jacents à ces atteintes ne sont néanmoins pas encore bien élucidés (Bouchama *et al.*, 2022).

Effets de la chaleur sur le sommeil

Lors de vagues de chaleur, certains résultats de recherches témoignent que l'exposition à un stress thermique en période de repos est également susceptible de perturber le sommeil, et ce, tant en matière de durée que de qualité. À ce propos, les participantes et participants de plusieurs études rapportent qu'ils présentent des difficultés à s'endormir et voient la qualité de leur sommeil se dégrader lorsque la température ambiante est élevée (Ashe *et al.*, 2023; Okamoto-Mizuno et Mizuno, 2012; Zheng *et al.*, 2019). Néanmoins, et à l'instar des évaluations menées au regard d'autres enjeux associés à la chaleur, les auteurs et autrices de la plupart de ces études se basent sur des températures extérieures et non sur l'exposition individuelle appuyée par des mesures en milieu intérieur.

Soulignons que le sommeil est une composante importante de la santé, puisque sa qualité peut, entre autres, moduler le risque de développer des maladies cardiovasculaires, des troubles cognitifs et de l'humeur ou des troubles de santé mentale (Ramar *et al.*, 2021). De plus, le manque de sommeil augmente le risque d'accidents ou de blessures causés par la fatigue et la somnolence. Ainsi, il semble pertinent de porter attention aux conditions d'exposition diurne à la chaleur, mais également aux conditions d'exposition nocturne qui pourraient affecter la résilience à la chaleur de certains individus ne pouvant bénéficier, par la même occasion, d'un sommeil réparateur (Libert *et al.*, 1991).

1.3 Confort lié aux conditions thermiques

En complément des éléments théoriques relatant les mécanismes de réponse physiologique à la chaleur présentés ci-dessus, il est important de souligner que l'exposition à la chaleur peut également engendrer des inconforts dont l'intensité est susceptible de varier d'un individu à l'autre. Le confort thermique est d'ailleurs défini par l'American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) comme un « état d'esprit exprimant la satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique et évalué par une appréciation subjective » (ASHRAE, 2023). La température de l'air n'est d'ailleurs qu'un des nombreux facteurs qui modulent le confort ressenti. La chaleur dégagée par le corps humain (niveau métabolique interne) et les vêtements portés modulent également le confort. La présence ou non de rayonnement solaire, de courants d'air et d'humidité, le contact avec des surfaces froides ou chaudes, la stratification de l'air (différence de température au niveau des pieds et de la tête, par exemple) et la présence de

certaines processus convectifs (mouvement causé par les différences de températures) sont tous des facteurs qui influencent grandement le niveau de confort (ASHRAE, 2023).

L'ASHRAE définit d'ailleurs des seuils de chaleur intérieure basés sur des modèles de confort thermique dérivés des industries du bâtiment et de l'ingénierie (ASHRAE, 2023). S'appuyant sur la modélisation de Fanger, l'ASHRAE a élaboré une norme d'acceptabilité des occupantes et occupants (visant à satisfaire 80 % de ces derniers) qui s'applique à tous les groupes de la population, peu importe leur âge ou leur état de santé. Il est important de rappeler que ces seuils de confort thermique ne sont pas basés sur la manifestation d'effets sanitaires, mais sur des bilans thermiques théoriques appliqués à diverses situations d'exposition à la chaleur et au froid. Étant donné que ces seuils constituent des critères d'encadrement de l'occupation humaine, ceux-ci sous-tendent que les occupants et occupantes des milieux intérieurs sont en mesure de faire preuve d'une certaine adaptation (p. ex. en optant pour des tenues vestimentaires appropriées ou en utilisant un ventilateur sur pied) dans la mesure où ces conditions thermiques demeurent dans une fourchette favorable à la manifestation d'une réponse adaptative. Ces fourchettes de température sont d'ailleurs édictées par l'ASHRAE dans une perspective d'utilisation universelle pour une variété de contextes donnés.

1.4 Objectifs

L'objectif du présent document est de réaliser une synthèse des connaissances sur les températures intérieures en milieu résidentiel⁵ au-delà desquelles des effets physiologiques, cognitifs ou une perte de confort peuvent être observés. Ces informations permettront de soutenir les autorités de santé publique dans leurs réflexions.

⁵ Les milieux résidentiels font référence aux logements et aux milieux de vie privés, publics et institutionnels (p. ex. centres d'hébergement et de soins de longue durée, résidences pour personnes âgées ou encore les habitations à loyer modique). Néanmoins, ce présent avis ne s'adresse pas aux travailleurs et travailleuses, mais aux populations résidant dans les milieux de vie.

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 Stratégie de recherche documentaire et sélection des études

Pour répondre aux objectifs du projet, une revue de littérature narrative intégrant certaines approches systématisées a été privilégiée (Framarin et Déry, 2021). Une stratégie de recherche a été développée avec le soutien des services documentaires de l'INSPQ, laquelle combinait trois concepts : 1) l'environnement intérieur; 2) la chaleur; 3) les relations dose-réponse au regard des effets sanitaires. La stratégie de recherche complète (voir annexe 1) comprenait plusieurs mots-clés associés à ces concepts. Par souci d'exhaustivité, aucune limite en lien avec l'année de publication n'a été établie.

La recherche documentaire a été lancée le 29 décembre 2022 en interrogeant trois bases de données bibliographiques, soit Medline (OVID), Environment Complete (EBSCOhost) et Embase (OVID), et recense tous les articles publiés jusqu'à cette date. Aucune mise à jour de cette recherche n'a été effectuée par la suite.

La recherche documentaire a permis d'identifier 484 articles dans la base de données Medline, 1 028 dans EBSCOhost et 663 dans Ovid-Embase, pour un total de 2 175 articles. Après le retrait de 525 doublons, 1 650 articles ont été considérés dans le cadre de cette revue de littérature.

Dans le but de circonscrire les études pouvant apporter des éléments de réponse au regard de la question de recherche, plusieurs critères de sélection ont été identifiés par l'équipe de travail (voir annexe 2). Les études portant sur les travailleurs et travailleuses, et plus spécifiquement sur les milieux de travail, ont été exclues de la présente analyse. Alors que les travaux des auteurs et autrices ayant intégré des enfants dans leur échantillon ont été considérés dans la réalisation de la présente revue, aucune étude recensée par la stratégie de recherche ne rapportait de résultats spécifiques aux enfants.

Ces critères ont d'abord été appliqués en analysant les titres et les résumés des articles identifiés, ce qui a mené à l'exclusion de 1 383 articles. Par la suite, les documents complets ont été consultés; 187 d'entre eux ont été rejetés à la suite de cette analyse détaillée. Au total, 78 articles, soit 73 études originales et cinq revues de littérature, ont donc été retenus dans le cadre du présent ouvrage. La démarche de sélection des articles scientifiques est présentée dans le diagramme de flux (voir annexe 3). L'étape de premier tri (consultation du titre et du résumé) a été réalisée par un évaluateur et quatre évaluatrices de manière indépendante, qui ont ensuite discuté des articles pour lesquels des doutes persistaient quant à la pertinence de les inclure ou de les exclure de l'analyse. Par la suite, trois évaluateurs ont procédé à la lecture des articles retenus dans leur intégralité afin de procéder au second tri. Un quatrième évaluateur était également mobilisé pour déterminer si les articles soulevant des doutes devaient être retirés du registre ou conservés pour analyse ultérieure.

Les données de chaque publication ont ensuite été extraites à l'aide d'une grille d'extraction par trois professionnelles. Cette grille d'extraction des données brutes permettait de consigner les éléments suivants : la référence de l'étude, son objectif, le devis, l'effet de santé, le type de mesures (objectives, questionnaires, combinaison), la population étudiée, le nombre de personnes participantes, le pays, un résumé de la méthodologie, un résumé des résultats clés ainsi que les biais et les limites rapportés par les auteurs et autrices.

2.2 Révision par les pairs

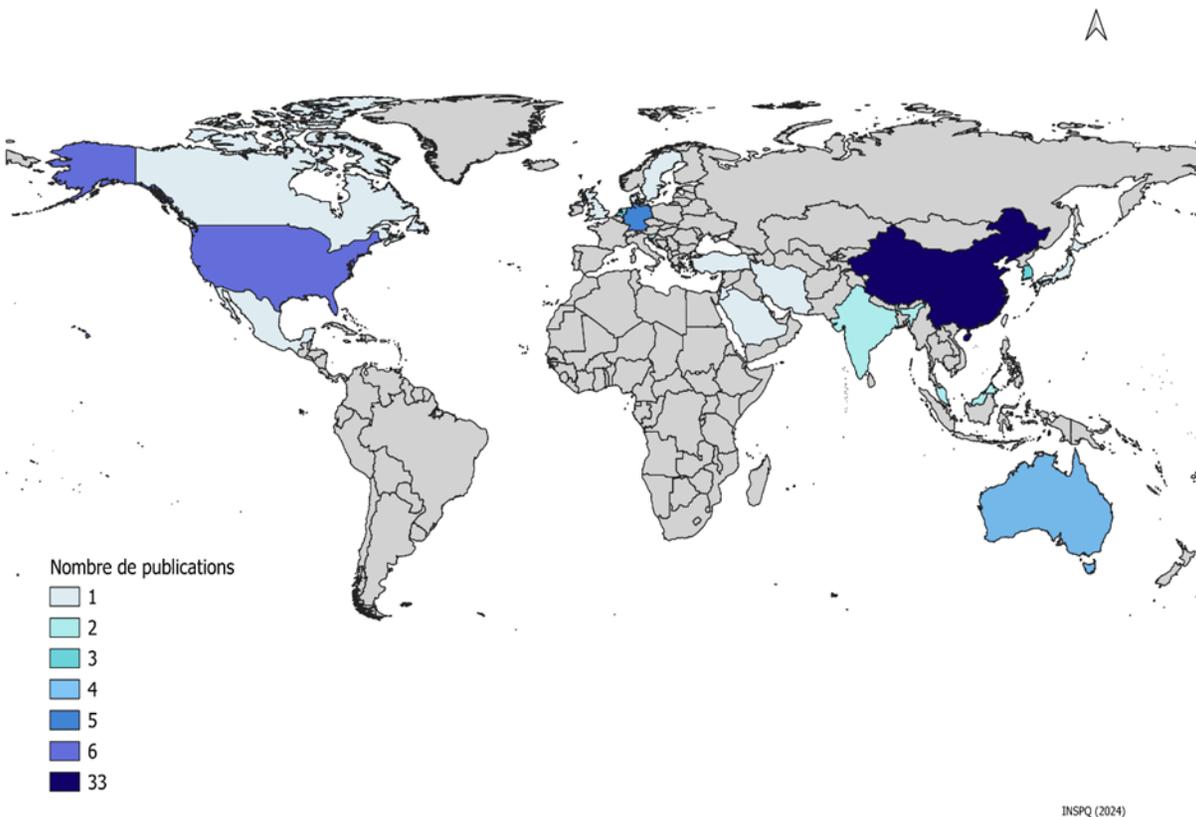
En conformité avec le *Cadre de référence sur la révision par les pairs des publications scientifiques* de l'INSPQ, une version préfinale du rapport a été soumise à des réviseurs externes. En prenant appui sur la grille institutionnelle (Robert et Déry, 2020), les réviseurs ont été conviés à valider l'exactitude du contenu du présent rapport, la pertinence des méthodes utilisées et le caractère approprié des conclusions. L'ensemble des commentaires et des suggestions présentés par ces derniers ont été considérés afin de produire la version finale de ce document.

3 RÉSULTATS

3.1 Portrait des études incluses

La période couverte par les études sélectionnées dans cette revue s'étend de 2002 à 2022. Les études retenues (n = 73, excluant les revues de la littérature) ont été menées dans 21 pays différents, bien que la plupart d'entre elles aient été effectuées en Asie (n = 46) (Arabie Saoudite, Corée, Chine, Inde, Iran, Japon, Jordanie, Malaisie, Taïwan et Turquie). Par ailleurs, la majorité de ces études ont été réalisées auprès de populations provenant de Chine (n = 33, figure 2). Quinze études ont été réalisées en Europe (Allemagne, Angleterre, Chypre, Danemark, Pays-Bas, Slovénie et Suède) et quatre en Océanie; toutes en Australie. Enfin, seulement huit études ont été menées dans le contexte nord-américain, soit six études aux États-Unis, une au Mexique et une au Canada. Aucune des études retenues n'a été réalisée en Afrique ou en Amérique du Sud.

Figure 2 Pays d'origine des études originales retenues



Globalement, les études retenues regroupent des revues de littérature (n = 5), des études physiologiques dites expérimentales (n = 27), épidémiologiques de type longitudinales (n = 32), transversales (n = 9), cas-témoins (n = 2) ou combinés, soit à l'aide de plusieurs devis (n = 1). Enfin, deux études ont combiné à la fois des données de type expérimentales et épidémiologiques.

Concernant les caractéristiques des populations étudiées, 34,2 % des études portaient sur de jeunes adultes de moins de 30 ans (n = 25) et 26 % sur des adultes de plus de 55 ans (n = 19 – figure 3 p. 26). Un faible nombre d'entre elles portait sur des participantes et participants âgés de 31 et 54 ans (n = 1) alors que la fraction complémentaire intégrait des personnes participantes de tous âges (n = 23) ou encore dont l'âge n'était pas précisé (n = 5). La taille des échantillons variait d'ailleurs de 12 (Lan *et al.* 2020) à 2 684 participants (Xiong *et al.* 2019). Bien que les auteurs et autrices de 11 études aient inclus des individus de moins de 18 ans, aucune étude n'a rapporté des résultats spécifiques pour les jeunes relevant de ce groupe (Ahmed *et al.*, 2022; Becerra-Santacruz et Lawrence, 2016; Djamila *et al.*, 2013; He *et al.*, 2016; Heidari et Sharples, 2002; Malik et Bardhan, 2022; Soebarto et Bennetts, 2014; Xiong *et al.*, 2019; Xu *et al.*, 2018, 2020; W. Yu *et al.*, 2017). L'étude de Heidari et Sharples (2002) est celle qui a inclus les individus les plus jeunes, soient des enfants âgés de 12 ans et plus.

La majorité des groupes de recherche ont étudié les effets physiologiques associés à une exposition à la chaleur, notamment la modulation de la température (corporelle, cutanée et tympanique), les changements de fréquence cardiaque, de tension artérielle de même que la performance à différents tests mesurant des effets cognitifs. Le confort thermique est l'effet associé à la chaleur qui a été le plus étudié (n = 58), majoritairement à partir d'études épidémiologiques (n = 33) et d'études expérimentales en conditions contrôlées (n = 23), mais aussi de devis combinés (n = 2) (figure 4 p. 26).

Bien que les devis méthodologiques utilisés par les groupes d'autrices et auteurs soient généralement hétérogènes, des tendances peuvent néanmoins être dégagées des résultats présentés par ces derniers, lesquelles sont décrites aux sections suivantes.

Figure 3 Catégories de populations étudiées dans les études originales

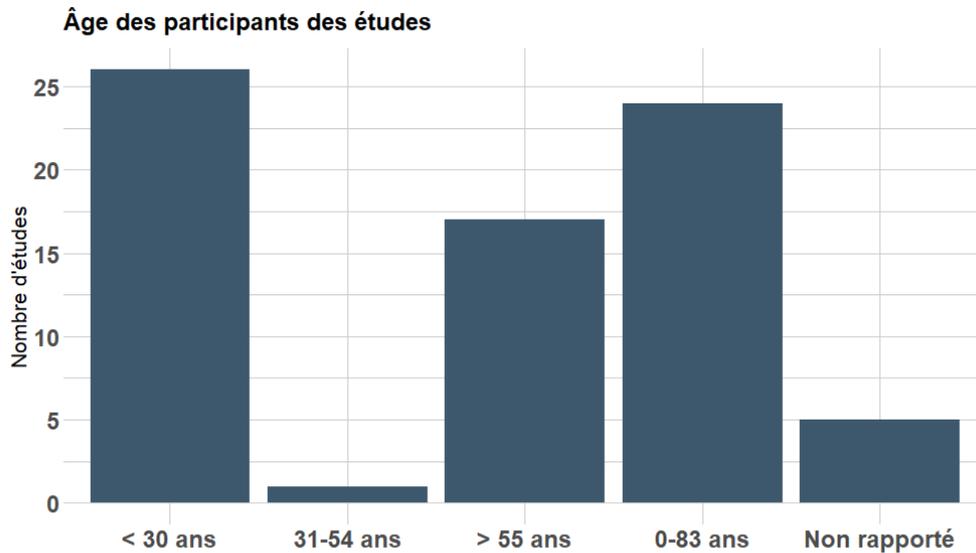
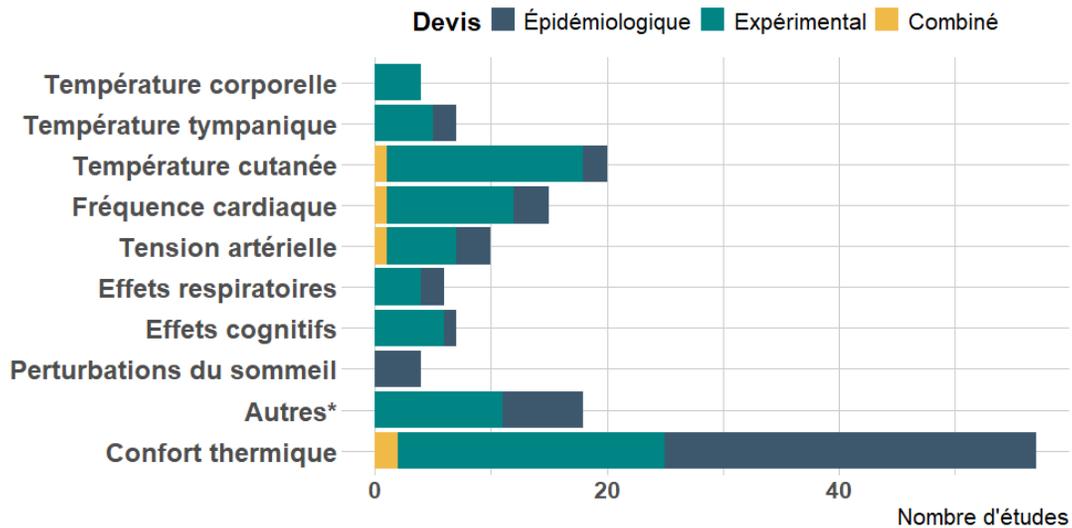


Figure 4 Nombre d'études originales par effet et devis



* Autres : appels aux services d'urgences pour cas cardiovasculaires (p. ex. condition cardiaque et arrêt cardiaque), respiratoires (p. ex. détresse respiratoire, asthme) ou liés au diabète (types 1 et 2), concentrations d'alpha-amylase salivaire, concentrations de S-IgE salivaires, activité électrique du cerveau, vitesse de la conduction nerveuse sensorielle, équilibre, vitesse de levée de la chaise, vitesse de marche habituelle, sudation, réponse galvanique cutanée, rotations cervicales, humidité de la peau, humeur et réponse au stress.

Les résultats rapportés ci-dessous traitent de certains effets associés à une exposition à la chaleur en milieux intérieurs. Afin de répondre plus spécifiquement aux objectifs de cet état des connaissances, les résultats considérés ont été divisés en deux catégories, soit ceux rapportant des effets physiologiques et ceux relatant des effets cognitifs. De plus, les constats issus des revues de littérature identifiées dans le cadre de la recension des écrits sont énoncés dans une section distincte (voir section 3.7). Bien que l'HR ne soit pas un paramètre qui ait spécifiquement fait l'objet de recherche documentaire dans cette revue narrative, certains des auteurs et autrices des études consultées ont documenté l'HR comme une variable complémentaire ou de contrôle. Il semble donc important de rapporter les principaux résultats associés à ce paramètre, puisqu'il est susceptible d'affecter le confort des individus exposés de même que leur réponse physiologique à la chaleur (voir sections 1.1 et 1.3). Un tableau synthèse (annexe 4) résume les devis employés par les groupes d'auteurs et autrices, de même que certains éléments descriptifs de la population étudiée (nombre de participants et participantes, âge, sexe et pays de résidence) et les conditions d'exposition sélectionnées (température, humidité relative et durée d'exposition).

3.2 Effets physiologiques associés à une exposition à la chaleur issus des études recensées

3.2.1 Température corporelle, tympanique et cutanée

SYNTHÈSE

Une hausse de la température intérieure semble être associée à une élévation des températures corporelle, cutanée et tympanique. Cependant, la température à partir de laquelle cette élévation est constatée de même que l'amplitude de cette hausse varient en fonction des méthodes de mesure de température corporelle utilisées par les auteurs et autrices. D'après les résultats assemblés, une hausse des températures corporelle, tympanique et cutanée pourrait être observée lorsque la température de l'air intérieur se situe respectivement entre 36 °C et 39 °C (plage de températures de référence de 26 °C à 36 °C), au-dessus de 30 °C (plage de températures de référence de 20 °C à 26 °C) et dès 23 °C (températures de référence de 16 °C à 26 °C). De plus, lorsque la température intérieure atteint 37 °C, les variations d'HR semblent avoir un effet sur les températures corporelle, tympanique et cutanée. Aucun résultat ou donnée d'étude ne permettent d'observer des effets spécifiques sur des populations vulnérables à la chaleur ou de tirer des conclusions pour l'ensemble de la population au regard de cet aspect. En effet, la plupart des groupes d'auteurs et autrices ont étudié les effets de la température sur de jeunes adultes en bonne santé.

Les groupes de recherche ayant évalué la température des personnes participantes à la suite d'une exposition à la chaleur ont employé diverses méthodes de mesure pour estimer la température corporelle, tympanique et cutanée.

3.2.1.1 Température corporelle

Parmi les 73 études originales retenues, les auteurs et autrices de seulement quatre d'entre elles ont évalué la température corporelle en lien avec une exposition à la chaleur et à une HR contrôlée (Chong *et al.*, 2019; Ivanova *et al.*, 2021; Schellen *et al.*, 2010; Tian *et al.*, 2021). Mis à part une étude qui combinait différents appareils de mesure (un thermomètre rectal pour le groupe d'individus de 22 à 25 ans et une sonde télémétrique pour les individus de 67 à 73 ans – Schellen *et al.*, 2010), les autres s'appuyaient sur l'usage de sondes télémétriques pour mesurer la chaleur corporelle (Chong *et al.*, 2019; Ivanova *et al.*, 2021; Tian *et al.*, 2021).

Deux études expérimentales ont montré une augmentation statistiquement significative de la température corporelle en utilisant une sonde télémétrique en contexte d'augmentation de la température et de l'HR intérieures (Tian *et al.*, 2021; Chong *et al.*, 2019). Les auteurs de la première étude ont observé une hausse de la température corporelle moyenne de 0,6 °C auprès d'un petit groupe de jeunes adultes en bonne santé (n = 48, âge moyen = 21 ans) après 85 à 130 minutes d'exposition à 39 °C et 70 % HR en comparaison à 26 °C et 70 % HR (37,7 °C contre 37,1 °C; p < 0,05) (Tian *et al.*, 2021). Dans un contexte différent, soit à la suite d'une exposition de trois jours aux conditions expérimentales, Chong *et al.* (2019) ont pour leur part observé que la température corporelle de jeunes étudiants et étudiantes en bonne santé (n = 110, âge moyen = 22 ans), également mesurée à l'aide d'une sonde télémétrique, augmentait en moyenne de 3,06 °C, de 2,95 °C et de 2,53 °C aux jours 2, 3 et 4 respectivement après 120 minutes de marche intermittente sur un tapis roulant (défilant à 4,3 km/h) à 36 °C et 70 % d'HR. Les résultats de cette étude indiquent que l'augmentation de la température corporelle était moins importante après trois jours d'acclimatation à la chaleur (Chong *et al.*, 2019). Néanmoins, puisque les personnes participantes effectuaient une activité physique modérée durant la période d'exposition, il est difficile de comparer ces résultats à ceux rapportés dans les autres études.

Les devis expérimentaux de deux autres études impliquant une variation progressive de la température du milieu de 17 °C à 25 °C et des HR fluctuant entre 40 % et 60 % sur des périodes de 6 h et de 8 h 30 n'ont, quant à elles, pas montré de changement statistiquement significatif de température corporelle (Ivanova *et al.*, 2021; Schellen *et al.*, 2010). Cette absence de différence concerne tous les groupes d'âge des études, aussi bien les groupes de 20-40 ans (Ivanova *et al.*, 2021) que les groupes de 22-35 ans et de 67-73 ans (Schellen *et al.*, 2010).

3.2.1.2 Température tympanique

Les auteurs et autrices de cinq études ayant évalué la température tympanique au moyen de thermomètres tympaniques avec technologie infrarouge ont été conduites en laboratoire, en conditions contrôlées expérimentales sur des groupes de 20 à 48 participants et participantes (Fan *et al.*, 2019; Lang *et al.*, 2022a; Stotz *et al.*, 2014; Tian *et al.*, 2021; Zuo *et al.*, 2021) alors que deux groupes d'auteurs et autrices complémentaires ont mené des études de cohorte sur des groupes de 20 à 69 participants et participantes (Childs *et al.*, 2020; Kim *et al.*, 2012).

Études expérimentales

Une augmentation significative de la température tympanique de l'ordre de 0,3 °C à 2,3 °C (pour des températures tympaniques initiales de 35,6 °C à 36,5 °C et après exposition à la chaleur, de 36,8 °C à 37,9 °C) en lien avec une augmentation de la température intérieure de 10 °C à 13 °C (entre 20 °C et 39 °C) a été mesurée dans quatre études expérimentales distinctes (Fan *et al.*, 2019; Lang *et al.*, 2022a; Stotz *et al.*, 2014; Tian *et al.*, 2021). Les auteurs et autrices de ces études ont exposé des participants et participantes pendant 60 à 175 minutes à des températures élevées tout en fixant le niveau d'HR entre 45 % et 70 %. Trois études intégraient de jeunes adultes (âgés en moyenne de 21 à 23 ans) (Fan *et al.*, 2019; Lang *et al.*, 2022a; Tian *et al.*, 2021) et une étude portait plus spécifiquement sur des femmes âgées de 70 ans et plus (Stotz *et al.*, 2014). À titre d'exemple, pour une hausse de température intérieure de 10 °C (20 °C vs 30 °C) à une HR relative stable entre 45 et 50 %, la température tympanique a augmenté de 0,3 °C (36,5 °C à 36,8 °C) (Stotz *et al.*, 2014). Par ailleurs, une hausse de 13 °C de la température intérieure (26 °C contre 39 °C) avec une variation d'HR à 39 °C de 50 % et 70 % a provoqué une augmentation de la température tympanique de 2,3 °C (de 35,6 °C à 37,4 °C puis 37,9 °C [Tian *et al.*, 2021] et de 1,5 °C (de 36,0 °C à 37,2 °C, puis 37,5 °C [Lang *et al.*, 2022a]).

Une autre étude expérimentale a mis en lumière qu'une hausse de l'HR (de 50 % à 70 %) à une température intérieure de 37 °C était associée à une augmentation significative de la température tympanique de 0,3 °C (de 37,2 °C à 37,5 °C) ($p = 0,001$). L'effet de fluctuation d'HR ne s'observait pas à 26 °C ou à 30 °C, puisque la température tympanique restait respectivement stable à 36 °C et à 36,5 °C (Zuo *et al.*, 2021).

Études de cohorte

Dans une étude de cohorte, chaque augmentation incrémentielle de 1 °C de la température intérieure (pour des températures initiales comprises entre 29,1 °C et 34,8 °C) était associée à une hausse de la température tympanique moyenne de 0,21 °C (IC 95 % = de 0,16 °C à 0,26 °C). Dans cette étude, l'HR variait peu et avoisinait les 70 % (Kim *et al.*, 2012).

Les résultats des travaux de recherche entrepris par Childs *et al.* (2020) auprès de participantes et participants atteints de démence ou non ($n = 69$, ≥ 60 ans) n'indiquent pas si les températures tympaniques observées (de 35,5 °C à 37,5 °C, moyenne 36,7 °C) variaient significativement en fonction des températures intérieures auxquelles ils étaient exposés (de 21,4 °C à 26,6 °C, moyenne 23,6 °C; HR de 32 % à 78 %; moyenne 51 %). Les auteurs et autrices ont toutefois observé une différence statistiquement significative de la température tympanique moyenne entre le groupe de participantes et participants atteints de démence et le groupe ne souffrant pas de démence ($p = 0,01$). Néanmoins, les deux groupes comparés étaient hétérogènes, ce qui rend difficile l'interprétation clinique des résultats (Childs *et al.*, 2020).

3.2.1.3 Température cutanée

Il est important de souligner que la température cutanée évaluée dans trois des études retenues représente une température moyenne pondérée de plusieurs sites corporels (Wang *et al.*, 2019; Wu *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2022), alors que deux autres groupes d'auteurs et autrices ont étudié des températures cutanées de parties ciblées du corps des participants et participantes (Bae *et al.*, 2017; Lan *et al.*, 2020). Certains auteurs et autrices ont noté une variation statistiquement significative de la température cutanée selon le site où celle-ci est mesurée (Bae *et al.*, 2017; Lan *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2019; Wu *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2022). Par exemple, à 18 °C, la température du dos de la main avoisine les 29,5 °C, alors que la poitrine est plus près de 34 °C (Zhang *et al.*, 2022).

Études expérimentales

Dix-neuf études expérimentales recensées portaient sur la mesure de la température cutanée selon les variations des températures intérieures sur des personnes au repos. Les participantes et participants de ces études étaient couverts de vêtements légers. Quatorze de ces études s'appuyaient sur la participation de jeunes adultes de moins de 30 ans dans des contextes contrôlés en laboratoire (Fan *et al.*, 2019; Jing *et al.*, 2013; Kong *et al.*, 2019; Lan *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2010a; Li *et al.*, 2018; Luo *et al.*, 2016; Tian *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2019; Wu *et al.*, 2022; Yu *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2016; Zuo *et al.*, 2021). Une des autres études portait sur des individus âgés de 20 à 40 ans (Ivanova *et al.*, 2021), une sur des personnes de 65 ans et plus (Bae *et al.*, 2017), une sur des femmes de 70 ans et plus (Stotz *et al.*, 2014) et deux sur des populations d'âge mixte (22-25 ans et 67-73 ans [Schellen *et al.*, 2010]; 22, 50 et 65 ans [Wu *et al.*, 2019]).

Une hausse significative de la température cutanée (de l'ordre de 0,05 °C à 4 °C) liée à une variation de la température intérieure de 4 °C à 13 °C (températures initiales de 18 °C à 26 °C et élevées de 25 °C à 39 °C HR comprise entre 40 % et 70 %) a été rapportée par les auteurs et autrices de six études (Fan *et al.*, 2019; Lan *et al.*, 2020; Stotz *et al.*, 2014; Tian *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2019; Wu *et al.*, 2019).

Tian *et al.* (2021) ont fait varier à la fois la température et l'HR d'un milieu intérieur contrôlé et ont observé que l'augmentation de la température cutanée était plus importante à 70 % d'HR qu'à 50 % pour une température de 39 °C (respectivement +4 °C et +3,3 °C) comparativement à la température initiale de 26 °C à 70 % HR (Tian *et al.*, 2021). Les auteurs et autrices d'une étude s'intéressant aux effets de fluctuations d'HR sur de jeunes adultes en bonne santé (n = 24, âge moyen = 22 ans) suivant des expositions de 195 minutes ont rapporté que la température cutanée augmentait significativement (de 36,3 °C à 36,8 °C) lorsque l'HR augmentait de 50 % à 70 % à une température constante de 37 °C (Zuo *et al.*, 2021). Toutefois, une exposition à des températures plus basses (26 °C et 30 °C) n'entraînait pas d'augmentation significative de température cutanée.

Les auteurs et autrices de quatre études de type expérimental ont évalué l'influence combinée de l'exposition à différents niveaux de température et d'HR (Jing *et al.*, 2013; Kong *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2016). Bien que tous ces auteurs et autrices aient noté une hausse de température cutanée des personnes participantes lors de l'augmentation de la température intérieure, l'effet concourant associé aux variations d'HR est incertain. Par exemple, chez de jeunes adultes de moins de 30 ans (n = 60) exposés à différentes conditions de températures et d'HR⁶, la température cutanée de ces derniers augmentait conjointement avec la hausse de la température intérieure. Toutefois, les fluctuations d'HR n'avaient pas d'influence sur la variation de la température cutanée. À 32 °C, peu importe le niveau d'HR, la température cutanée moyenne avoisinait les 35 °C (Zhang *et al.*, 2016). Contrairement à Zhang *et al.* (2016), Li *et al.* (2018) ont noté que différents niveaux d'HR (40 %, 60 % et 80 %) combinés à une température intérieure de 32 °C avaient une influence sur la température cutanée de jeunes adultes (de 20 à 30 ans, n = 20). Cependant, les fluctuations d'HR ne modulaient pas la température cutanée pour des températures intérieures inférieures, soit de 26 °C, 28 °C et 30 °C (Li *et al.*, 2018).

La température cutanée a été l'objet de mesures dans onze autres études et une tendance à la hausse a été observée, mais les auteurs et autrices de ces dernières n'ont pas rapporté de variation statistiquement significative au regard des plages de températures considérées (Bae *et al.*, 2017; Jing *et al.*, 2013; Kong *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2010a; Li *et al.*, 2018; Luo *et al.*, 2016; Schellen *et al.*, 2010; Wu *et al.*, 2022; Yu *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2016). Les auteurs et autrices de six de ces études n'ont pas pris en compte l'effet combiné de l'HR de l'air et ont maintenu ce paramètre à des niveaux constants compris entre 40 % et 70 % (Bae *et al.*, 2017; Luo *et al.*, 2016; Schellen *et al.*, 2010; Wu *et al.*, 2022; Yu *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2022). De plus, les auteurs et autrices de l'une de ces études ne précisent pas l'influence de l'HR sur la température cutanée (Li *et al.*, 2010a). Ainsi, pour ces études, il n'était pas possible d'extraire de données d'intérêt permettant d'évaluer l'influence de l'HR sur la température de la peau.

Les auteurs et autrices d'une seule étude n'ont pas identifié de différence de température cutanée lors de l'augmentation de la température intérieure ayant atteint 25 °C (Ivanova *et al.*, 2021). Enfin, les auteurs et autrices de deux études ayant analysé les effets de l'âge sur la température cutanée n'ont pas rapporté de différence entre les différents groupes d'âge (22-25 ans et 67-73 ans; 22 ans, 50 ans et 65 ans) exposés à des températures intérieures atteignant 25 °C et 34 °C (Schellen *et al.*, 2010; Wu *et al.*, 2019).

Études de cohorte

Deux groupes d'auteurs et autrices ayant mené des études de cohorte ont évalué l'influence de la température intérieure sur la température cutanée de personnes âgées de 65 ans et plus (Basu et Samet, 2002; Kim *et al.*, 2020). Les résultats de Kim *et al.* (2020) mettent en lumière qu'une augmentation de la température intérieure de 1 °C (lorsque les températures se situaient entre 22,9 °C et 38,3 °C, HR moyenne de 66,5 %) se traduisait par une augmentation de 0,05 °C de la température cutanée (IC 95 % = de 0,04 à 0,07 °C). Basu et Samet (2002) ont également mis en lumière qu'une augmentation de la température cutanée de 0,08 °C (IC 95 % = de

⁶ 20 °C, 23 °C, 26 °C et 29 °C à 50 % d'HR, 29 °C et 32 °C à 70 % d'HR.

0,028 °C à 0,139 °C) pouvait se manifester pour une augmentation de température intérieure de 0,555 °C (pour une température médiane de 32,78 °C). Néanmoins, aucune mesure d'HR n'a été associée à la température.

Les informations assemblées dans cette section indiquent que la température cutanée des personnes participantes augmente lors d'une exposition à des températures intérieures qui se situent entre 26 °C et 37 °C. L'influence de fluctuation d'HR sur la température cutanée est incertaine à des températures intérieures inférieures à 37 °C.

3.2.2 Effets cardiovasculaires

Les principaux effets physiologiques cardiaques identifiés dans le cadre de cette revue de littérature portaient sur les changements de la fréquence cardiaque et de la tension artérielle chez des participantes et participants exposés à la chaleur.

SYNTHÈSE

Les études expérimentales et de cohortes examinées dans cette revue montrent qu'une exposition à des températures intérieures comprise entre 26 °C et 39 °C, comparée à une plage de 18 °C à 26 °C, entraîne une augmentation de la fréquence cardiaque (FC). Cette hausse demeure légère et stable entre 26 °C et 30 °C par rapport aux températures de référence. Au-delà de 33 °C, une augmentation plus substantielle de la FC est observée. Pour des températures supérieures à 30 °C, l'influence des fluctuations d'HR semble importante à considérer, surtout lorsque ce facteur passe de 50 % à 70 %. Bien que la majorité des études aient porté sur de jeunes adultes en bonne santé, les résultats des études évaluées ne semblent pas montrer de différence de FC selon les groupes d'âge. De plus, aucune donnée au regard des variations de FC lors d'une exposition à la chaleur n'est disponible pour la population générale.

L'influence de l'augmentation de la température intérieure (et parfois de l'élévation du taux d'HR) sur la fréquence cardiaque (FC) a été évaluée dans 12 études expérimentales (Fan *et al.*, 2019; Ivanova *et al.*, 2021; Lan *et al.*, 2020; Lang *et al.*, 2022a; Luo *et al.*, 2016; Stotz *et al.*, 2014; Tian *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2019; Wu *et al.*, 2019; Wu *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2016; Zuo *et al.*, 2021) et deux études de cohorte (Fink *et al.*, 2015; Williams *et al.*, 2019).

Études expérimentales

Parmi les études expérimentales identifiées, 10 d'entre elles ont été effectuées sur de jeunes adultes en bonne santé (âgés en moyenne de 18 à 40 ans) (Fan *et al.*, 2019; Ivanova *et al.*, 2021; Lan *et al.*, 2020; Lang *et al.*, 2022a; Luo *et al.*, 2016; Tian *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2019; Wu *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2016; Zuo *et al.*, 2021), une sur des femmes âgées (médiane de 75,5 ans, min.-max. : 71-83 ans) (Stotz *et al.*, 2014) et une sur des individus d'âges variés (trois groupes d'âges moyens de 22, 50 et 65 ans) (Wu *et al.*, 2019).

Une hausse statistiquement significative de la fréquence cardiaque (FC) de l'ordre de 3 à 34 battements par minute (bpm) selon les études en lien avec une augmentation de la température intérieure (de 4 °C à 13 °C selon les études, pour des températures comprises entre 20 °C et 39 °C) a été observée par six groupes d'auteurs (Fan *et al.*, 2019; Lan *et al.*, 2020; Lang *et al.*, 2022a; Stotz *et al.*, 2014; Tian *et al.*, 2021; Wu *et al.*, 2022). Les taux d'HR mesurés dans toutes ces études variaient entre 40 % et 70 % et ces dernières intégraient de petits groupes de participants et participantes (n = de 12 à 48) (Fan *et al.*, 2019; Lan *et al.*, 2020; Lang *et al.*, 2022a; Stotz *et al.*, 2014; Tian *et al.*, 2021; Wu *et al.*, 2022). À titre d'exemple, une exposition de 275 minutes à des températures intérieures de 27 °C en comparaison à 23 °C (différence de 4 °C) et à une HR fixe d'environ 40 % était associée à une faible augmentation statistiquement significative de la FC de 6 bpm (environ de 77 bpm à 83 bpm; $p < 0,001$) (Lan *et al.*, 2020). De plus, Stotz *et al.* (2014) ont observé une augmentation statistiquement significative de la FC de l'ordre de 3 bpm après 60 minutes d'exposition lorsque la température intérieure était de 30 °C en comparaison à 20 °C (médiane de 68 contre 65 bpm; $p = 0,016$). Fan *et al.* (2019) rapportent une augmentation moyenne de 6, de 11 et de 25 bpm à des températures d'exposition de 30 °C, de 33 °C et de 37 °C, respectivement, par rapport à 26 °C. Enfin, deux groupes de recherche ont noté qu'une exposition de 140 minutes à une température intérieure fluctuant à la hausse de 13 °C (passant de 26 °C à 39 °C) combinée à une HR de 70 % était liée à une augmentation de la FC de 22 à 34 bpm (de 82 à 104 bpm; $p < 0,001$; [Lang *et al.*, 2022a], de 80 à 114 bpm; $p < 0,01$ [Tian *et al.*, 2021]).

Effectuée dans un environnement thermique stabilisé à 37 °C, une autre étude portant spécifiquement sur l'évaluation de l'effet de fluctuations d'HR sur la FC a permis d'observer que cette dernière augmentait de façon statistiquement significative lorsque l'HR de l'air ambiant augmentait de 50 % à 70 % (de 98 à 105 bpm; $p = 0,001$), alors qu'un tel effet n'était pas observé à 26 °C et 30 °C (Zuo *et al.*, 2021). Ivanova *et al.* (2021) n'ont toutefois pas constaté de différence statistiquement significative pour les mesures de FC entre une séance d'exposition à une température fixe (21 °C) et une séance à température variable (entre 17 °C et 25 °C). L'HR n'était pas contrôlée par les chercheurs et chercheuses, mais celle-ci variait entre 40 % et 60 % (Ivanova *et al.*, 2021).

Enfin, quatre études additionnelles portant sur la mesure de la FC ont montré une tendance à la hausse de ce paramètre pour des conditions d'exposition fluctuant entre 18 °C et 35 °C et des HR comprises entre 50 % et 70 %, mais les auteurs et autrices de celles-ci n'ont pas rapporté si les variations observées étaient statistiquement significatives ou non par rapport aux conditions expérimentales initiales (Luo *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2019; Wu *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2016).

Études de cohorte

Les deux études de cohorte ont été effectuées sur des individus de 55 ans et plus (Fink *et al.*, 2015; Williams *et al.*, 2019). Williams *et al.* (2019) ont mentionné que la température intérieure correspondant à la FC la plus basse se situait autour de 24 °C et que la FC augmentait significativement lorsque la température s'éloignait de cette valeur ($p < 0,001$). Dans l'étude de

Fink *et al.* (2015), une augmentation d'une unité de l'indice humidex (HI)⁷ a causé, en moyenne, une augmentation statistiquement significative de la variation relative de la FC de 3,6 % dans le groupe souffrant de maladies cardiovasculaires, alors que la variation relative de la FC était de 1,4 % dans le groupe sans problème cardiovasculaire (Fink *et al.*, 2015). La majorité des mesures d'indice humidex se situait entre 25 (entre 21 °C avec 70 % d'HR et 24 °C avec 40 % d'HR) et 34 (entre 24 °C avec 95 % d'HR et 33 °C avec 25 % d'HR).

3.2.2.1 Tension artérielle

SYNTHÈSE

Les résultats des études expérimentales indiquent qu'une exposition à des températures intérieures comprises entre 30 °C et 39 °C combinées à une HR entre 43,6 % et 70 % peut induire une diminution de la tension artérielle diastolique (TAD), alors que les conditions environnementales pouvant conduire à des effets sur la tension artérielle systolique (TAS) semblent moins claires. Les résultats des études de cohorte ne permettent pas davantage de déterminer de température à partir de laquelle d'importantes variations à la baisse de la TAS et de la TAD peuvent être observées.

Les auteurs et autrices de sept études expérimentales (Fan *et al.*, 2019; Ivanova *et al.*, 2021; Stotz *et al.*, 2014; Tian *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2019; Wu *et al.*, 2019; Zuo *et al.*, 2021) et trois études de cohorte (Fink *et al.*, 2015; Kim *et al.*, 2020; Kim *et al.*, 2012) présentent des résultats portant sur des variations de tension artérielle systolique (TAS) et diastolique (TAD)⁸ pour une exposition à des températures intérieures élevées combinées à différents niveaux d'HR.

Études expérimentales

Parmi les sept études expérimentales ayant permis d'évaluer l'influence de la chaleur intérieure et des fluctuations d'HR sur la TAS et la TAD, cinq d'entre elles portaient sur de jeunes adultes en bonne santé (40 ans ou moins) (Fan *et al.*, 2019; Ivanova *et al.*, 2021; Tian *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2019; Zuo *et al.*, 2021), une sur des femmes âgées (médiane de 75,5 ans, min.-max. : 71-83 ans) (Stotz *et al.*, 2014) et la dernière sur trois groupes d'individus d'âges variés (22, 50 et 65 ans en moyenne) (Wu *et al.*, 2019).

Pour les groupes de jeunes adultes, la TAD tend généralement à diminuer pour des augmentations de température intérieure de 8 °C à 13 °C (températures initiales de 17 °C à 26 °C et élevées de 25 °C à 39 °C) à des HR de 43,6 % à 70 %. Une diminution statistiquement significative de TAD de 2 mmHg (de 67 à 65 mmHg; 80 min d'exposition à 39 °C et 70 % HR) à 5 mmHg (de 67 mmHg à 62 mmHg; 60 min d'exposition à 37 °C et 70 % HR) a été observée par deux groupes d'auteurs et autrices (Tian *et al.*, 2021; Zuo *et al.*, 2021). Les autrices et auteurs d'une troisième étude ont également constaté une diminution statistiquement significative de la

⁷ L'indice humidex (HI) est un indicateur du confort thermique calculé en utilisant entre autres la température de l'air et l'HR. Celui-ci est exprimé sans unité.

⁸ Les mesures de pression artérielle systolique et diastolique ont été principalement effectuées à l'aide de tensiomètre électronique en position assise.

TAD (à 34 °C, HR non disponible), mais ces derniers n'ont pas spécifié les valeurs obtenues en mmHg (Wu *et al.*, 2019).

Pour les mêmes conditions expérimentales, la variation de la TAS est moins concluante. En effet, Wang *et al.* (2019) ont observé une diminution non statistiquement significative de 5 mmHg lors d'une exposition à la chaleur de 60 min à 30 °C (comparativement à 20 °C) alors que Tian *et al.* (2021) ont noté que la TAS augmentait significativement de 4 mmHg (de 102 à 106 mmHg, 80 minutes d'exposition) à 7 mmHg (de 103 à 110 mmHg, 130 min d'exposition) lorsque l'HR passait de 50 % à 70 %, pour une température de 39 °C. Enfin, la variation de la TAS et de la TAD à la suite d'expositions à la chaleur n'était pas significative dans deux de ces études (Fan *et al.*, 2019; Ivanova *et al.*, 2021).

En ce qui a trait aux personnes âgées, Stotz *et al.* (2014) ont observé une diminution statistiquement significative de 10 mmHg (de 143 à 133 mmHg) de TAS et de 8 mmHg (de 88 à 80 mmHg) de TAD pour une exposition de 60 min à 30 °C (comparativement à 20 °C) et 45 % HR. Aucune variation significative de la TAS et de la TAD n'a été obtenue pour les groupes d'âges de 50 et de 65 ans lors d'une exposition à 34 °C pendant 30 min (Wu *et al.*, 2019).

Études de cohorte

Les auteurs et autrices de trois études de cohorte ont tenté d'estimer les variations de TAS et de TAD lors d'une exposition à la chaleur intérieure de groupes de personnes âgées de 63 ans et plus (Fink *et al.*, 2015; Kim *et al.*, 2020; Kim *et al.*, 2012). Les membres de deux groupes de recherche ont comparé la réponse à la chaleur d'individus hypertendus et normotendus (n = 20 et 104) (Kim *et al.*, 2020; Kim *et al.*, 2012) alors que le troisième groupe a analysé les effets de la chaleur sur des personnes en bonne santé ou présentant des maladies cardiovasculaires (n = 77) (Fink *et al.*, 2015).

Les résultats d'une de ces études montraient une diminution statistiquement significative de la TAD de 0,44 mmHg chez les participantes et participants hypertendus pour une augmentation de température de 1 °C (température entre 22,9 °C et 38,3 °C, HR moyenne de 66 % et exposition de 19 jours). Toutefois, ces auteurs et autrices n'ont pas observé de variation statistiquement significative de la TAS chez les deux groupes de participants et participantes (Kim *et al.*, 2020). Dans une autre étude, bien qu'une diminution statistiquement significative de la TAD de 2,05 mmHg ait été observée chez l'ensemble des personnes participantes pour chaque augmentation de température de 1 °C (température entre 29,1 °C et 34,8 °C, HR moyenne de 74 %, exposition de 11 jours), aucune variation statistiquement significative de la TAS et de la TAD n'a été observée pour les groupes de personnes hypertendues et normotendues lorsque ces résultats ont été analysés séparément (Kim *et al.*, 2012). Enfin, la tension artérielle⁹ a diminué de façon plus importante pour le groupe présentant des maladies

⁹ Les auteurs et autrices utilisent la pression artérielle moyenne (*mean arterial pressure*, MAP) comme mesure plutôt que la TAS et/ou la TAD. Pour calculer la MAP, il suffit d'additionner la TAS et deux fois la TAD et de diviser cette somme par 3.

cardiovasculaires que le groupe en santé (8,6 % comparativement à 3,3 %, $p = 0,001$), et ce, considérant un indice humidex moyen de 29,2 °C (Fink *et al.*, 2015).

3.2.3 Effets respiratoires

SYNTHÈSE

Bien que les effets de la température intérieure sur la fréquence respiratoire soient mitigés, les chercheuses et chercheurs qui se sont intéressés au débit ventilatoire ont observé une hausse de celui-ci dans des milieux assujettis à des augmentations de température atteignant 37 °C et plus, associée à une augmentation de l'HR jusqu'à 70 % (température de référence à 26 °C).

L'augmentation des températures intérieures semble aussi associée à une hausse de la manifestation des symptômes et à l'utilisation accrue d'inhalateurs de secours chez les individus atteints de maladies pulmonaires obstructives chroniques (MPOC) modérées à sévères.

Les auteurs et autrices de quatre études expérimentales ont mesuré la fréquence et le débit respiratoires lors d'exposition à différentes températures intérieures sur de petits groupes de jeunes adultes en bonne santé ($n =$ de 12 à 48; âge moyen = de 18 à 30 ans) sur de courtes périodes (de 140 min à 275 min) (Fan *et al.*, 2019; Lan *et al.*, 2020; Tian *et al.*, 2021; Zuo *et al.*, 2021).

Ces quatre études portaient sur la mesure de la fréquence respiratoire à l'aide de moniteurs capnographiques. Deux d'entre elles ont permis d'observer une augmentation statistiquement significative de celle-ci (Lan *et al.*, 2020; Zuo *et al.*, 2021). Les auteurs et autrices de l'une de ces études n'ont noté une telle hausse qu'en situation d'augmentation de l'HR (passant de 50 % à 70 %), et après 135 minutes d'exposition à une température de 37 °C. La fréquence respiratoire des personnes participantes augmentait alors de 21 respirations par minute à 23,5 respirations par minute ($p = 0,009$; [Zuo *et al.*, 2021]). La variation de la fréquence respiratoire n'était toutefois pas significative à 26 °C et à 30 °C avec un taux d'HR variant entre 50 % et 70 %. L'équipe de Lan *et al.* (2020) a observé une augmentation d'environ 0,5 respiration par minute lorsque la température du milieu augmentait de 23 °C à 27 °C (à une HR constante) immédiatement après la réalisation de différentes tâches réalisées assises à un bureau, soit après 240 minutes d'exposition ($p < 0,05$). Les fréquences respiratoires observées auprès des participantes et participants au repos des deux autres études sont restées constantes à 20 respirations par minute lorsqu'ils étaient exposés à des températures comprises entre 26 °C et 39 °C et une HR comprise entre 50 % et 70 % (Fan *et al.*, 2019; Tian *et al.*, 2021).

Le débit ventilatoire a également été mesuré à l'aide d'un débitmètre par deux groupes de recherche (Tian *et al.*, 2021; Zuo *et al.*, 2021). Parallèlement à l'augmentation de la fréquence respiratoire, Zuo *et al.* (2021) ont observé une hausse statistiquement significative de 1,4 L/minute du débit respiratoire (débit initial moyen de 10,4 L/minute et débit final moyen de 11,9 L/minute) lorsque l'HR augmentait de 50 % à 70 % à une température de 37 °C ($p < 0,001$),

alors que la différence n'était pas significative à 26 °C et 30 °C. L'effet des fluctuations d'HR sur le débit respiratoire a aussi été rapporté par Tian *et al.* (2021); ces derniers ont observé que pour une augmentation de l'HR de 50 % à 70 %, à une température constante de 39 °C, le débit respiratoire moyen augmentait significativement (9,6 L/min contre 11,9 L/min; $p < 0,01$) après 130 minutes d'exposition. Cette augmentation était aussi observée lors de l'augmentation de température de 26 °C à 39 °C, à une HR constante de 70 % (8,8 L/min contre 11,9 L/min; $p < 0,01$).

Une étude de cohorte a permis d'analyser les effets respiratoires associés à une augmentation de la température intérieure en utilisant d'autres paramètres, soit le score de BCSS (*breathlessness, cough and sputum score* ou échelle d'essoufflement, de toux et de mucus) et l'utilisation des inhalateurs de secours (McCormack *et al.*, 2016). Chez 69 anciennes personnes fumeuses, âgées en moyenne de 69 ans et atteintes de MPOC modérée ou sévère, McCormack *et al.* (2016) ont remarqué qu'une augmentation de la température intérieure de 5,6 °C (10 °F) était associée à une augmentation de 0,38 du score BCSS (IC 95 % = de 0,01 à 0,67; $p = 0,01$) et de 0,23 de l'utilisation des inhalateurs de secours (IC 95 % = de 0,06 à 0,41; $p = 0,008$), après ajustement pour l'HR intérieure et pour les concentrations de particules fines de diamètre inférieur ou égal à 2,5 micromètres (PM_{2,5}) et de dioxyde d'azote (NO₂). Ces auteurs et autrices n'ont cependant pas mis en évidence de changement statistiquement significatif de la fonction pulmonaire mesurée à partir du volume expiratoire maximal par seconde. Les températures intérieures maximales moyennes dans cette étude étaient de 26,7 °C et l'HR moyenne 40,6 %.

La saturation en oxygène (SpO₂) a aussi été mesurée par différents groupes de recherche conjointement à d'autres paramètres physiologiques (Fan *et al.*, 2019; Lan *et al.*, 2020; Tian *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2019; Wu *et al.*, 2022). Celle-ci est restée stable autour de 97 % (+/- 1 %) dans toutes les études, même lors de changements substantiels de température et d'HR.

3.2.4 Appels aux services d'urgences

SYNTHÈSE

La hausse de température intérieure semble être liée à une augmentation des appels aux services d'urgences pour les personnes diabétiques ou présentant des problèmes respiratoires. Cette augmentation commencerait à se manifester lorsque les indices de chaleur des logements dépassent 26 (soit une température comprise entre 25 °C [avec 90 % d'HR] et 26 °C [avec 50 % d'HR]).

Un groupe d'auteurs et autrices a effectué deux études de type cas-témoins afin de déterminer si une exposition à une température intérieure élevée pouvait être associée à une augmentation des appels aux services d'urgences effectués par des personnes aux prises avec des problèmes respiratoires (p. ex. difficultés respiratoires, asthme) ou cardiaques (p. ex. arrêt cardiaque) vivant à New York ou à Atlanta (Uejio *et al.*, 2016, 2022). Dans ces études, les cas considérés étaient constitués d'appels aux services d'urgences spécifiquement émis pour des problèmes respiratoires ou cardiaques alors que les témoins relevaient d'appels pour tout autre type de

problème. La température et l'HR des logements étaient mesurées par le personnel ambulancier lors de leur arrivée aux domiciles des bénéficiaires; un indice de chaleur¹⁰ combinant ces deux variables a ensuite été calculé par les auteurs et autrices. Les températures intérieures observées dans les logements de New York variaient entre 12,8 °C et 33,5 °C (soit un indice compris entre environ 11,2 et 45,1) (Uejio *et al.*, 2016), mais ces dernières n'étaient pas précisées dans l'étude similaire menée à Atlanta (Uejio *et al.*, 2022). L'étude menée en 2016 à New York a mis en lumière que lorsque l'indice de chaleur dans le logement était de 26 (soit une température comprise entre 25 °C [avec 90 % d'HR] et 26 °C [avec 50 % d'HR]) ou plus, les appels pour détresse respiratoire augmentaient. Bien que les auteurs et autrices rapportent un rapport de cotes supérieur à 1, celui-ci n'était pas jugé statistiquement significatif même si les intervalles de confiance suggèrent que c'est par manque de puissance statistique plutôt qu'une absence d'effet (OR = 1,43; IC 95 % = de 0,97 à 2,10). Cependant, dans leur deuxième étude réalisée à Atlanta, pour une hausse de l'indice de chaleur de 34 à 35, les cotes de risque d'appel aux services d'urgences pour détresse respiratoire augmentaient significativement de 18 % (RC : 1,18; IC 95 % = 1,09–1,28). À l'opposé, les appels pour problèmes cardiovasculaires n'avaient pas augmenté de façon statistiquement significative (OR = 0,85; IC 95 % = de 0,55 à 1,31) (Uejio *et al.*, 2016). Pour les personnes diabétiques, lorsque l'indice de chaleur passe de 30 à 31, les auteurs et autrices rapportent une augmentation statistiquement significative de 12 % des risques d'appel (RC : 1,12; 95 % CI : 1,08–1,16) (Uejio *et al.*, 2022).

3.3 Effets cognitifs associés à une exposition à la chaleur

SYNTHÈSE

Les résultats des études expérimentales analysées dans le cadre de cette revue indiquent qu'une exposition à des températures entre 23 °C et 39 °C pendant 27 à 225 minutes ne permet pas d'évaluer si la vitesse d'exécution est affectée par une hausse de la température intérieure. Néanmoins, une diminution de l'exactitude des réponses fournies à certains tests cognitifs est observée dès que la température intérieure atteint 23 °C et lorsque l'HR augmente de 20 % (70 % comparativement à 50 %).

Les résultats de l'étude de cohorte indiquent plutôt qu'une température de 22-23 °C serait optimale pour la performance (vitesse d'exécution) au test cognitif utilisé, alors qu'elle diminuerait à des températures plus élevées ou plus basses.

La cognition touche la capacité de traitement de l'information. Celle-ci a été évaluée dans les études recensées par la vitesse d'exécution de tâches variées (ou temps de réaction) de même que par l'exactitude (*accuracy*) des réponses fournies par des participants et participantes ayant rempli des questionnaires. Les groupes d'auteurs et autrices ont employé plusieurs outils d'investigation distincts (p. ex. Stroop, Tsai-Partington, redirection, chevauchement, addition, multiplication et apprentissage visuel) afin d'évaluer ces deux paramètres.

¹⁰ L'indice de chaleur utilisé dans ces deux études est l'*U.S. National Weather Service heat index* qui combine la température et l'humidité d'un milieu en une seule valeur.

La manifestation d'effets cognitifs auprès de participantes et participants exposés à des conditions de chaleur et d'HR a été évaluée par le biais de six études expérimentales (Ahmed *et al.*, 2022; Fan *et al.*, 2019; Lan *et al.*, 2020; Lang *et al.*, 2022a; Lang *et al.*, 2022b; Tian *et al.*, 2021) et une étude de cohorte (Cedeno Laurent *et al.*, 2018).

Études expérimentales

Les participantes et participants des études expérimentales étaient tous âgés de moins de 30 ans (Ahmed *et al.*, 2022; Fan *et al.*, 2019; Lan *et al.*, 2020; Lang *et al.*, 2022a; Lang *et al.*, 2022b; Tian *et al.*, 2021). Seule l'étude d'Ahmed *et al.* (2022) incluait des personnes mineures (de 16 à 30 ans). Cinq études comprenaient des hommes et des femmes, seule l'étude d'Ahmed *et al.* (2022) incluait uniquement des femmes.

Une diminution statistiquement significative de l'exactitude des réponses fournies (souvent exprimée sous forme de pourcentage d'erreur) a été notée lors d'une augmentation de la température de 3 °C à 13 °C (pour des températures variant de 20 °C à 39 °C et des niveaux d'HR entre 38 % et 70 %) (Ahmed *et al.*, 2022; Fan *et al.*, 2019; Lan *et al.*, 2020; Lang *et al.*, 2022a; Tian *et al.*, 2021). L'influence de l'HR sur l'exactitude des réponses fournies a également été rapportée par Tian *et al.* (2021) et Lang *et al.* (2022a). En effet, les résultats montrent qu'une exposition de 175 min à une HR de 70 % (comparativement à 50 %) a provoqué une diminution statistiquement significative de l'exactitude aux tests pour toutes les températures testées (26, 30, 33 et 37 °C) alors qu'aucune différence significative n'a pas été notée entre les différentes températures d'exposition (Lang *et al.*, 2022b). Tian *et al.* (2021) ont également observé une diminution statistiquement significative de ce paramètre lors d'une exposition de 30 à 125 min à 39 °C et 70 % d'HR comparativement à 50 %.

Pour ce qui est de la vitesse d'exécution des tâches, les résultats de deux études indiquent que les participantes et participants étaient moins rapides lorsque soumis à des températures intérieures élevées. En effet, une hausse de 3 °C à 5 °C a entraîné une baisse de la vitesse d'exécution (pour des températures comprises entre 20 °C et 27 °C et des HR entre 38 % et 45 %) pour des durées d'exposition de 27 à 225 min (Ahmed *et al.*, 2022; Lan *et al.*, 2020). Concernant l'HR, les auteurs et autrices d'une autre étude ont noté une baisse de la vitesse d'exécution lors d'une hausse de 50 % à 70 % d'HR (exposition de 175 min), peu importe la condition de température testée (26, 30, 33 et 37 °C) (Lang *et al.*, 2022b). À l'opposé, Tian *et al.* (2021) ont observé une diminution du temps de réaction des personnes participantes au regard de certains tests lors d'une augmentation incrémentielle de la température de 13 °C (26 °C et 70 % d'HR comparativement à 39 °C à 50 % et 70 % d'HR; pour une durée d'exposition de 30 à 125 min). Les auteurs et autrices de cette même étude ont rapporté qu'à 39 °C, les temps de réaction pour deux tests étaient significativement plus faibles sous des conditions d'HR de 70 % par rapport à 50 % pour des expositions de 65 à 125 min (Tian *et al.*, 2021). Néanmoins, ces derniers auteurs et autrices émettent l'hypothèse que les participantes et participants éprouaient peut-être des inconforts lorsqu'ils étaient exposés à des températures élevées et que ce contexte défavorable les avait poussés à terminer les tests à réaliser le plus rapidement possible.

Pour analyser chacun de ces paramètres, plusieurs tests ont été menés. Il est important de souligner que les résultats présentés n'étaient pas toujours statistiquement significatifs pour une bonne partie des tests cognitifs utilisés par les auteurs et autrices. À titre d'exemple, les auteurs et autrices d'une seule étude ont noté une différence significative pour un des six tests utilisés et uniquement pour l'une des conditions testées (de 39 °C à 70 % d'HR comparativement à 26 °C également sous des niveaux d'HR de 70 %) (Lang *et al.*, 2022a).

Étude de cohorte

Cedeno-Laurent *et al.* (2018) ont pour leur part mené une étude de cohorte auprès d'étudiants et étudiantes (de 18 à 29 ans) incluant un groupe bénéficiant de climatisation dans leurs appartements ainsi qu'un autre qui n'en disposait pas. Les tests psychométriques ont été effectués avant et pendant une période de canicule. Les conditions de températures intérieures et d'HR moyennes étaient de 21,4 °C (de 17,5 °C à 25,0 °C) et 73,3 % (de 48 % à 91 %) pour le groupe avec air climatisé et de 26,3 °C (de 19,6 °C à 30,4 °C) et de 61,4 % (de 36 % à 88 %) pour le groupe sans air climatisé. Malgré ces expositions à des conditions environnementales distinctes, les auteurs et autrices n'ont pas noté de différence statistiquement significative entre les deux groupes. Ils ont observé que la distribution des résultats au test de Stroop¹¹ forme une courbe en U et qu'une performance optimale (vitesse d'exécution) est observée lorsque la température intérieure se situe près de 22-23 °C. Le temps de réaction des participants et participantes était plus élevé (c.-à-d. que l'exécution des tests était plus lente) lorsqu'il faisait plus chaud ou plus froid (Cedeno Laurent *et al.*, 2018).

3.4 Effets de la chaleur sur le sommeil

SYNTHÈSE

Le sommeil de certains individus semble être perturbé par une augmentation de la température intérieure aussi bien dans sa durée que dans sa qualité. Néanmoins, il est actuellement difficile de quantifier l'influence de la température intérieure sur la durée et la qualité du sommeil à partir des études répertoriées dans le cadre de la présente revue de littérature. Enfin, aucune évidence entre l'HR et le sommeil n'a été dégagée.

Cinq études de cohorte rapportaient des résultats relatifs à l'influence de la chaleur intérieure sur le sommeil. De ces études, une portait sur de jeunes adultes de moins de 30 ans (Cedeno Laurent *et al.*, 2018) alors que les quatre autres portaient sur des participants et participantes de 55 ans et plus (Kim *et al.*, 2020; Teyton *et al.*, 2022; van Loenhout *et al.*, 2016; Williams *et al.*, 2019). Les auteurs et autrices de deux études ont employé l'actigraphie¹² pour estimer la durée du sommeil et les mouvements des personnes participantes durant la nuit (Cedeno Laurent *et al.*, 2018; Williams *et al.*, 2019). Des questions simples portant sur le nombre d'heures de sommeil de la nuit précédente (Kim *et al.*, 2020), sur la perturbation (Teyton *et al.*, 2022;

¹¹ Le test de Stroop mesure à la fois la vitesse d'exécution et l'exactitude des réponses fournies.

¹² Un moniteur d'actigraphie est un capteur placé au poignet qui permet de mesurer les mouvements des bras.

van Loenhout *et al.*, 2016) et la qualité du sommeil (Cedeno Laurent *et al.*, 2018; Williams *et al.*, 2019) ont également été adressées aux personnes répondantes.

Concernant la durée du sommeil, les auteurs et autrices d'une seule étude ont identifié une diminution statistiquement significative de 2,74 minutes (CI : -2.77; -2.71 minutes; $p < 0,001$) pour une augmentation incrémentielle de la température intérieure de 1 °C (Cedeno Laurent *et al.*, 2018). Dans cette étude, l'étendue des températures observées variait entre 17,5 °C et 30,4 °C avec une HR moyenne comprise entre 61,4 % et 73,3 %. Kim *et al.* (2020) ont également observé une diminution du temps de sommeil des participants et participantes de 0,7 heure (42 minutes) pour des températures comprises entre 22,9 °C et 38,3 °C et 28 % à 85 % d'HR (durée initiale de 6,6 heures contre 5,9 heures lors de la période de vague de chaleur). Néanmoins, cette diminution n'était pas statistiquement significative, ce qui suggère une grande variation parmi les personnes participantes ou un manque de puissance statistique. Les auteurs et autrices de la dernière étude, qui portait sur la durée du sommeil, n'ont pas identifié d'association statistiquement significative entre cette variable et la température intérieure (Williams *et al.*, 2019).

Les autrices et auteurs des quatre études ayant analysé la qualité du sommeil ont tous observé une augmentation des perturbations du sommeil (p. ex. retournements, agitation) liée à l'augmentation de la température intérieure. Pour des températures variant entre 18 °C et 22 °C (HR non référencée), Teyton *et al.* (2022) ont observé une augmentation du risque des perturbations du sommeil (RR = 2,2; IC 95 % : de 1,6 à 3,2). Ces perturbations sont également rapportées par 40,6 % et 58,7 % des participants et participantes de deux études menées lors de vagues de chaleur (Kim *et al.*, 2020; van Loenhout *et al.*, 2016). Pour leur part, Williams *et al.* (2019) ont observé une hausse graduelle des mouvements, des retournements et de l'agitation dans le sommeil.

3.5 Autres effets physiologiques rapportés

Les auteurs et autrices de différentes études ont analysé les effets d'une température intérieure élevée sur des symptômes peu spécifiques. Deux études expérimentales menées sur des jeunes de moins de 30 ans ($n = 20$ et 48) (Tian *et al.*, 2021; Wu *et al.*, 2022) et une étude de cohorte regroupant des participantes et participants âgés de 60 ans et plus ($n = 277$) (Teyton *et al.*, 2022) ont rapporté une hausse statistiquement significative de la fatigue, de la gorge sèche, des céphalées, de la sensation de malaise et des nausées lors d'une augmentation de la température de 10 °C à 15 °C (températures initiales de 18 °C à 26 °C et températures finales de 33 °C à 39 °C) et une HR de 43 % à 70 %.

D'autres symptômes et paramètres physiologiques investigués ne semblent pas être associés à des effets sanitaires directs tributaires de l'exposition à la chaleur en milieu intérieur qui permettraient de répondre à la question de recherche initiale. Par conséquent, ils ne seront pas abordés dans les lignes suivantes, comme la réponse galvanique cutanée (Williams *et al.*, 2019), la vélocité de conduction nerveuse sensorielle (Li *et al.*, 2010a), les concentrations d'alpha-amylase salivaire (Lan *et al.*, 2020), les concentrations de S-IgE salivaires (Zhang *et al.*, 2022), les

modifications du rythme cardiaque¹³ (Fink *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2008; Yu *et al.*, 2012), les rotations cervicales (Yigit *et al.*, 2015) et la vitesse de marche habituelle (Lindemann *et al.*, 2017).

3.6 Plages de confort thermique

SYNTHÈSE

Il semblerait que les plages de température et d'HR associées à l'acceptabilité, au confort et à la neutralité thermiques se recoupent. En effet, les médianes de telles plages de température se situent entre 26 °C et 27,6 °C avec une HR comprise entre 50 % et 60 % pour tous les types de climats confondus. Par ailleurs, les études ayant été réalisées dans un climat similaire à celui présent au Québec proposent une plage de températures dite de confort, plus large, comprise entre 23 °C avec 40 % d'HR et 28 °C avec 50 % d'HR.

Sur les 78 études retenues dans le cadre de cette revue, 58 d'entre elles ont évalué l'acceptabilité, le confort, ou la neutralité thermiques exprimées par les participants et participantes. Les auteurs et autrices de 15 études n'ont toutefois pas présenté de plages de températures acceptables, confortables ou neutres (Ahmed *et al.*, 2022; Bae *et al.*, 2017; Childs *et al.*, 2020; Ibrahim *et al.*, 2021; Ivanova *et al.*, 2021; Lang *et al.*, 2022a; Lang *et al.*, 2022b; Li *et al.*, 2010b; Luo *et al.*, 2016; Schellen *et al.*, 2010; Wu *et al.*, 2019; Wu *et al.*, 2022; Xiong *et al.*, 2019; Yang *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2022). L'acceptabilité et la neutralité thermiques sont des mesures subjectives qui, lorsque combinées à d'autres facteurs individuels (p. ex. l'habillement), permettent d'estimer le confort thermique des individus.

Parmi les 43 études ayant présenté des plages de température, les auteurs et autrices de 14 d'entre elles ont utilisé un devis expérimental (Chong *et al.*, 2019; Fan *et al.*, 2019; Jing *et al.*, 2013; Kleber et Wagner, 2018; Kong *et al.*, 2019; Lan *et al.*, 2020; Lechner *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2008; Tian *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2019; Yu *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2016; Zuo *et al.*, 2021), neuf un devis transversal (Baizhan *et al.*, 2011; Dahlan *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2010; Wei *et al.*, 2022; Wong *et al.*, 2009; Xu *et al.*, 2018; Xystouris *et al.*, 2020; Ye *et al.*, 2006; Yu *et al.*, 2017), 19 un devis longitudinal (Becerra-Santacruz et Lawrence, 2016; Djamila *et al.*, 2013; He *et al.*, 2016; Heidari et Sharples, 2002; Hwang et Chen, 2010; Jiao *et al.*, 2017, 2020; Lai *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2010b; Loughnan *et al.*, 2015; Malik et Bardhan, 2022; Ozarisoy et Altan, 2021; Rawal *et al.*, 2022; Rijal *et al.*, 2019; Safarova *et al.*, 2022; Soebarto et Bennetts, 2014; Wang et Norback, 2022; Xu *et al.*, 2020; W. Zheng *et al.*, 2022) et le dernier groupe a combiné les devis transversaux et longitudinaux (Indraganti, 2010).

La plupart des études ont eu lieu en Asie, soit 25 en Chine, deux en Malaisie, deux en Inde, une en Iran, une au Japon et une à Taïwan. Six études ont été tenues en Europe, soit deux en

¹³ Dans ce rapport, les modifications du rythme cardiaque réfèrent au ratio LF/HF et PNN50 décrits dans trois études et qui semblent peu interprétables par les auteurs et autrices en regard aux effets physiologiques à la suite d'une exposition à la chaleur.

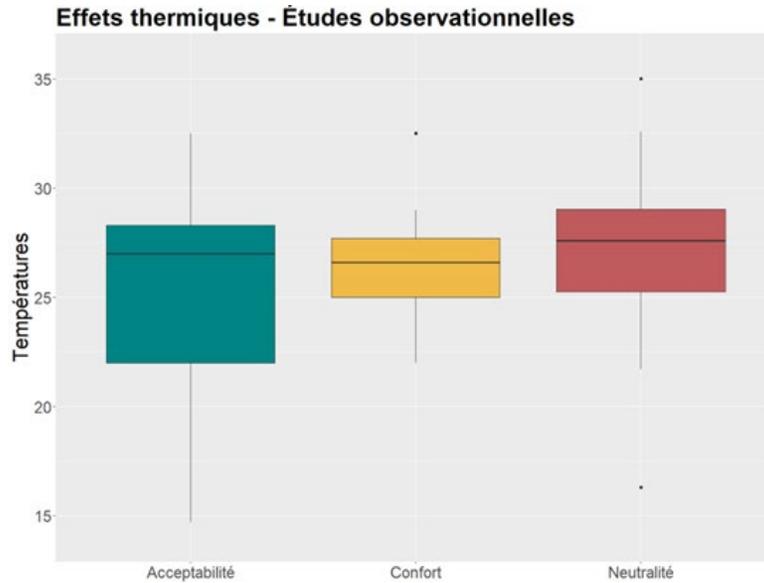
Allemagne, deux à Chypre, une au Danemark et une en Suède. Enfin, trois études ont été conduites en Australie et une au Mexique. Un portrait plus détaillé est disponible à l'annexe 5.

La classification de Köppen¹⁴ a été utilisée dans la présente revue afin de discriminer les différents types de climats régionaux en présence selon les lieux d'étude (annexe 4). La majorité des études ont été menées en climat humide (n = 33) (Baizhan *et al.*, 2011; Becerra-Santacruz et Lawrence, 2016; Dahlan *et al.*, 2008; Djamila *et al.*, 2013; Fan *et al.*, 2019; He *et al.*, 2016; Hwang et Chen, 2010; Indraganti, 2010; Jiao *et al.*, 2017, 2020; Jing *et al.*, 2013; Kleber et Wagner, 2018; Lan *et al.*, 2020; Lechner *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2010b; Li *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2008; Loughnan *et al.*, 2015; Malik et Bardhan, 2022; Rijal *et al.*, 2019; Safarova *et al.*, 2022; Tian *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2019; Wang et Norback, 2022; Wang *et al.*, 2010; Wei *et al.*, 2022; Wong *et al.*, 2009; Xu *et al.*, 2018, 2020; Ye *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2016; Zheng *et al.*, 2022; Zuo *et al.*, 2021), quatre en climat sec (Chong *et al.*, 2019; Heidari et Sharples, 2002; Soebarto et Bennetts, 2014; Xystouris *et al.*, 2020) et les six dernières dans des climats hétérogènes (Kong *et al.*, 2019; Lai *et al.*, 2021; Ozarisoy et Altan, 2021; Rawal *et al.*, 2022; Yu *et al.*, 2012; Yu *et al.*, 2017). Parmi les études classées en climat humide, cinq ont été réalisées dans un climat comparable à celui du Québec selon la classification de Köppen (Dfb/Dfc) (Kleber et Wagner, 2018; Lan *et al.*, 2020; Lechner *et al.*, 2021; Loughnan *et al.*, 2015; Wang et Norback, 2022).

Les plages d'acceptabilité, de confort, et de neutralité thermique établies par les auteurs et autrices des études retenues ont été synthétisées afin d'observer l'étendue des valeurs rapportées et les mesures de dispersion associées. Ces distributions sont présentées à la figure 5 (p. 44) pour les études longitudinales et transversales et à la figure 6 (p. 44) pour les études expérimentales.

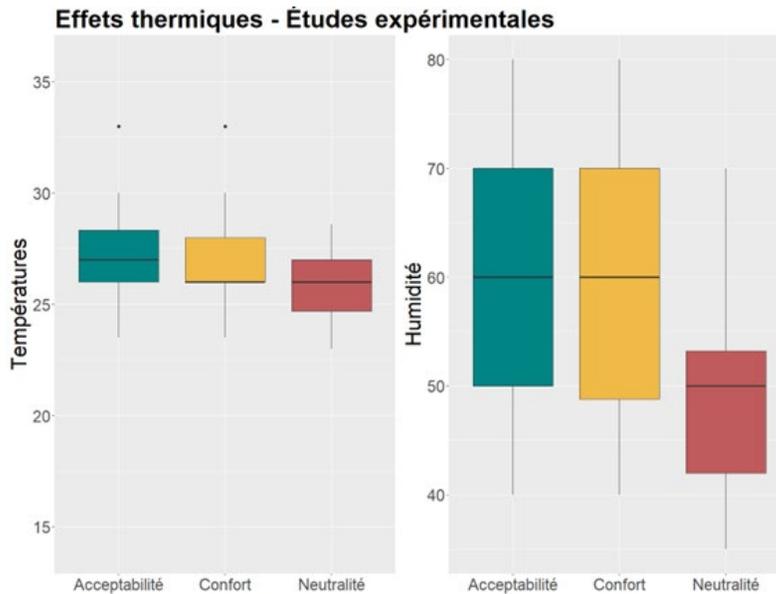
¹⁴ Af : climat équatorial humide; Am : climat de mousson; Aw : climat tropical humide-sec (savane); BS(h/k) : climat de steppe ou semi-aride; BW (h/k) : climat désertique ou aride; Csa : climat méditerranéen; Cfa/Cwa : climat subtropical humide; Cfb/Cwb : climat océanique; Dfb/Dwa/Dwb : climat continental humide.
Référence : <https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification/World-distribution-of-major-climatic-types>

Figure 5 Plages d'acceptabilité, de confort et de neutralité thermiques des études observationnelles recensées



Note : La barre centrale correspond à la médiane et les limites inférieures et supérieures des boîtes représentent les 25^e et 75^e percentiles de la distribution.

Figure 6 Plages d'acceptabilité, de confort et de neutralité thermiques et d'HR des études expérimentales recensées



Note : La barre centrale correspond à la médiane et les limites inférieures et supérieures des boîtes représentent les 25^e et 75^e percentiles de la distribution.

Les auteurs et autrices des études observationnelles ne proposent que des seuils d'acceptabilité, de confort et de neutralité à partir d'une température intérieure, sans proposer d'HR associée.

Pour tous les types de devis, les médianes relatives à l'acceptabilité, au confort et à la neutralité sont comprises entre 26 °C et 27,6 °C. Pour l'acceptabilité, la plage de température des études observationnelles est plus large (22 °C – 28,3 °C) que celle des études expérimentales (26 °C – 28,55 °C). L'étendue des valeurs d'HR se situe entre 50 % et 70 %, avec une médiane de 60 %. Les graphiques mettent en évidence que l'écart interquartile de température associé au confort thermique est le plus étroit des trois paramètres considérés. En effet, l'étendue de température des études observationnelles est comprise entre 25 °C et 27,7 °C (médiane à 26,6 °C) et celle des études expérimentales entre 26 °C et 28 °C (médiane à 26 °C). Néanmoins, la plage d'HR associée à cette dernière est la plus large (47,5 % à 70 %, médiane à 60 %). En ce qui a trait à la neutralité, la plage de température proposée par les auteurs et autrices des études expérimentales (24,7 °C – 27 °C) est moins élevée que celle des études observationnelles (25,2 °C – 29,2 °C). L'étendue des valeurs d'HR de la neutralité est la plus étroite (42 % – 53,2 %) avec une médiane de 50 %.

De nombreuses recherches se sont déroulées en Asie, ce qui limite la transposabilité des résultats au Québec en raison de disparités climatiques observées. Si l'on ne porte attention que sur les cinq études menées dans des climats similaires à celui retrouvé au Québec, les auteurs et autrices proposent une plage de températures dite de confort comprise entre 23 °C avec 40 % d'HR et 28 °C avec 50 % d'HR (Kleber et Wagner, 2018; Lan *et al.*, 2020; Lechner *et al.*, 2021; Loughnan *et al.*, 2015; Wang et Norback, 2022).

3.7 Revues de la littérature

Cinq revues de la littérature ont été retenues dans le cadre de la présente recension des écrits. Trois d'entre elles traitaient du confort thermique (Mishra *et al.*, 2016; Rupp *et al.*, 2015; Vellei *et al.*, 2021) alors que les auteurs et autrices des deux autres revues ont tenté d'identifier des seuils de chaleur en milieu intérieur protecteur pour certaines tranches de la population (Anderson *et al.*, 2013; Kenny *et al.*, 2019).

Rupp *et al.* (2015) ont effectué une revue de la littérature systématisée visant à relever les principaux aspects et enjeux associés au confort thermique dans le milieu bâti. Ils ont sélectionné 466 publications incluant des documents portant sur des normes standards, des articles scientifiques décrivant les résultats issus d'études expérimentales et de terrain. L'influence combinée de la ventilation, de la climatisation, de l'aménagement des milieux et de certaines caractéristiques individuelles (p. ex. âge, genre et comportement) susceptibles d'influencer le confort perçu est également abordée. Les auteurs et autrices précisent enfin que

le recours au conditionnement personnalisé¹⁵ de l'environnement thermique est probablement le meilleur moyen d'accroître l'acceptabilité des personnes utilisatrices.

Pour leur part, Mishra *et al.* (2016) ont réalisé une revue de littérature narrative portant sur les déterminants du confort thermique dans un contexte d'exposition à des conditions environnementales évolutives ou changeantes ou encore en présentant des microclimats créés par les occupants et occupantes. L'examen des études, des normes et des standards retenus portant sur l'effet des facteurs non thermiques sur le confort révèle la nécessité d'uniformiser la qualité globale des milieux intérieurs en termes de gradient thermique, de qualité de l'air intérieur (notamment au regard de l'HR), de l'aménagement intérieur ainsi que de l'éclairage pour favoriser le confort des personnes occupantes. Ce groupe de chercheurs et chercheuses rappelle aussi la nécessité d'adapter le confort thermique des locaux aux besoins individuels dans un contexte de changements climatiques.

Vellei *et al.* (2021) ont, quant à eux, procédé à l'élaboration d'une recension systématique des articles traitant des variations diurnes au regard de la perception du confort thermique exprimée par les participants et participantes. Ils ont tenté par le fait même de comprendre la relation entre ces variations diurnes et la régulation thermique physiologique de même que le rythme circadien. Les auteurs et autrices ont ainsi analysé les résultats de 21 études (15 expérimentales et six observationnelles). Selon certaines études, les personnes participantes semblent préférer des températures plus élevées en début de soirée en comparaison aux autres moments de la journée. Toutefois, Vellei *et al.* (2021) rapportent que ces résultats sont contredits par les travaux de quatre groupes de recherche. Par ailleurs, les individus semblent néanmoins préférer des températures plus fraîches au cours de la nuit. De plus, les variations diurnes sont généralement plus perceptibles par les hommes que par les femmes. Malgré les évidences recensées, les autrices et auteurs n'ont pas été en mesure de dégager de tendance claire concernant les variations diurnes de perception du confort thermique. Ils ont identifié de nombreux biais pouvant limiter la compréhension des patrons de température diurnes, dont les différences individuelles dans les phases du rythme circadien, le contrôle de la lumière, le contrôle de la phase menstruelle chez les femmes en âge de procréer, l'étude de conditions thermiques autres que la neutralité, les périodes de transition dans le cycle circadien et la distinction entre les températures distales et proximales de la peau.

Anderson *et al.* (2013) ont publié les résultats d'une revue de la littérature dont le principal objectif portait sur l'identification de données probantes de différentes natures (p. ex. effet de la chaleur sur la santé, vulnérabilité de certains groupes, risque de surchauffe du milieu bâti, etc.) justifiant la nécessité de préciser des seuils de chaleur en milieu intérieur au Royaume-Uni. À la suite de l'analyse de 96 articles, rapports et recommandations, ces auteurs et autrices ont notamment noté que peu de données concluantes étaient disponibles pour élaborer de tels

¹⁵ Le conditionnement personnalisé de l'environnement thermique est la création d'un microclimat autour d'un individu qui choisit son environnement thermique (climatisation, chauffage et ventilation) afin de satisfaire son propre confort thermique et réduire la consommation d'énergie.

seuils de façon rigoureuse et fondée et que davantage de travaux portant sur cette question devaient être développés.

Pour faire suite à l'analyse d'Anderson *et al.* (2013), la revue réalisée par Kenny *et al.* (2019) avait également comme objectif de discuter de la nécessité d'établir un seuil de température intérieure susceptible de protéger la santé. Au moyen d'une revue narrative de la littérature, les auteurs et autrices se sont d'abord intéressés au lien entre les températures extérieures et les effets sur la santé, en particulier pour les populations vulnérables. Ensuite, ils ont tenté de définir la relation entre les températures intérieures et extérieures. Enfin, ils ont référencé les seuils et les recommandations de températures édictés par les organismes sanitaires compétents afin de dégager un consensus de températures intérieures protégeant la santé de la population. Les auteurs et autrices ont identifié les personnes âgées, les enfants, les personnes seules ou ayant un diabète de type 2 comme groupes d'individus vulnérables à la chaleur. Bien que de nombreux organismes et institutions aient préconisé un seuil limite de température intérieure de 26 °C pour ces populations vulnérables, les éléments de preuve référencés demeurent somme toute peu nombreux. De plus, Kenny *et al.* (2019) concluent leur revue en expliquant que, malgré l'augmentation des savoirs sur les interactions entre les températures intérieures et extérieures, des lacunes persistent au regard des caractéristiques environnementales qui jouent un rôle dans l'exposition des personnes vulnérables à la chaleur. Les auteurs et autrices soulignent également le manque actuel de données pour établir un seuil de température protecteur unique, puisque celui-ci dépend de facteurs environnementaux (la région, le climat, la saison ou encore l'habitat) ou de caractéristiques individuelles (âge, sexe, état de santé, niveau d'adaptation ou comportements).

4 DISCUSSION

4.1 Constats sur les effets sur la santé de la température en milieu résidentiel

4.1.1 Effets physiologiques rapportés dans les études

Il est important de noter que les effets physiologiques et cognitifs ayant été documentés par le biais des études retenues peuvent être considérés à bien des égards comme non spécifiques à l'identification d'effets sanitaires indésirables consécutifs à l'exposition à la chaleur en milieux résidentiels. À titre d'exemple, l'élévation de la température cutanée, interne ou de la FC témoigne d'une perte d'équilibre pouvant être reliée à une exposition à la chaleur sans toutefois constituer un signal de stress thermique significatif cliniquement objectivable. Il s'agit davantage d'un signal du déclenchement des phénomènes physiologiques de transfert de chaleur et des mécanismes protecteurs de thermorégulation dont l'activation permet de maintenir la température corporelle dans des plages de valeurs normales¹⁶. De tels phénomènes sont d'ailleurs couramment observés, par exemple, lors de la production de chaleur endogène engendrée par la pratique d'activité physique.

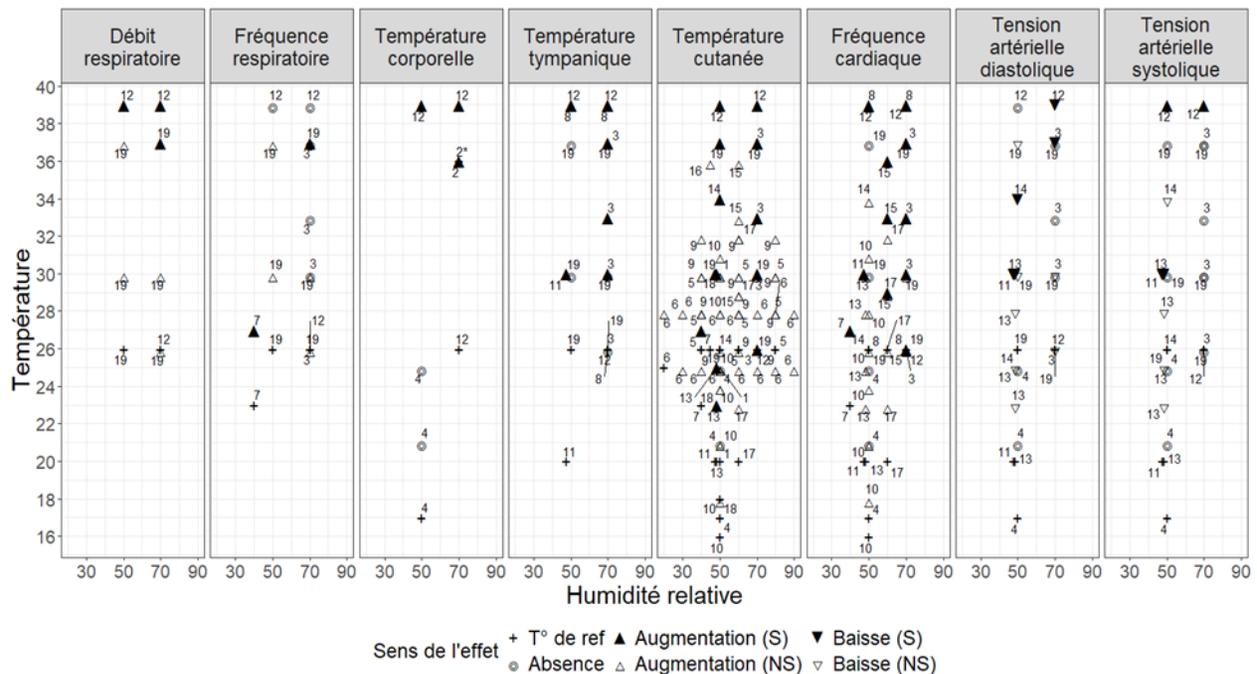
La figure 7 (p. 49) présente de manière synthétique les résultats des études expérimentales recensées (chaque numéro référant à une étude donnée – voir annexe 6 pour les références). Elle résume de manière graphique les effets physiologiques rapportés selon les conditions expérimentales utilisées par les différentes équipes de recherche. Il est néanmoins important de souligner que l'ampleur des variations physiologiques (p. ex. l'augmentation du nombre de battements cardiaque par minute) n'est pas indiquée à la figure 7 (p. 49), mais que les amplitudes des effets sont rapportées à la section 3.2. Chaque groupe d'auteurs et autrices a exposé les participants et participantes à un environnement thermique (température et HR) de référence pour ensuite augmenter la température intérieure ainsi que l'HR du milieu dans certains cas. À partir de cette figure, il est possible d'observer que les premiers effets physiologiques détectables associés à l'exposition à la chaleur sont l'augmentation de la température cutanée, l'augmentation de la FC et l'augmentation de la fréquence respiratoire lorsque la température du milieu atteint respectivement 23 °C, 26 °C et 27 °C, par rapport à des températures de référence respectives de 20 °C, 26 °C et 23 °C. Au regard de l'ensemble des effets documentés, il semble pertinent de noter que bien que les premiers effets apparaissent aux environs de 26 °C, la plupart des effets physiologiques rapportés par les études se modifient de manière significative à des températures plus élevées. Une baisse statistiquement significative de la TAD et une élévation de la température tympanique sont observées à partir de 30 °C. Une augmentation de la température corporelle et du débit respiratoire est également notée lorsque la température de l'air intérieur atteint respectivement 36 °C et 37 °C. En somme,

¹⁶ Certains experts et expertes estiment que les modifications cliniquement significatives sont observées lors de changements de 0,3 °C ou plus de température corporelle ou 5 battements ou plus par minute pour la FC (Kenny *et al.*, 2024; Morris *et al.*, 2019).

au-delà de 26 °C, plus la température intérieure augmente, plus on observe d'effets physiologiques chez les individus exposés.

Il est à noter que plusieurs de ces paramètres ne sont pas en soi des indicateurs d'effets délétères, puisqu'ils n'entraînent pas nécessairement de changements physiologiques significatifs susceptibles d'altérer la santé des individus. Pour certains paramètres, comme l'augmentation de la fréquence cardiaque, une hausse prononcée pourrait toutefois entraîner des effets pathologiques chez les personnes déjà aux prises avec des problèmes cardiaques (Custodis *et al.*, 2013). En Amérique du Nord, les maladies cardiovasculaires sont d'ailleurs la première cause des décès attribuables à la chaleur (Gasparrini *et al.*, 2015) et le risque est d'autant plus élevé lorsque la température extérieure augmente (Alahmad *et al.*, 2023; Gasparrini *et al.*, 2015).

Figure 7 Effets de la chaleur sur les différents paramètres physiologiques mesurés dans les études expérimentales consultées (effets respiratoires, températures corporelles, tympaniques et cutanées, et effets cardiovasculaires)



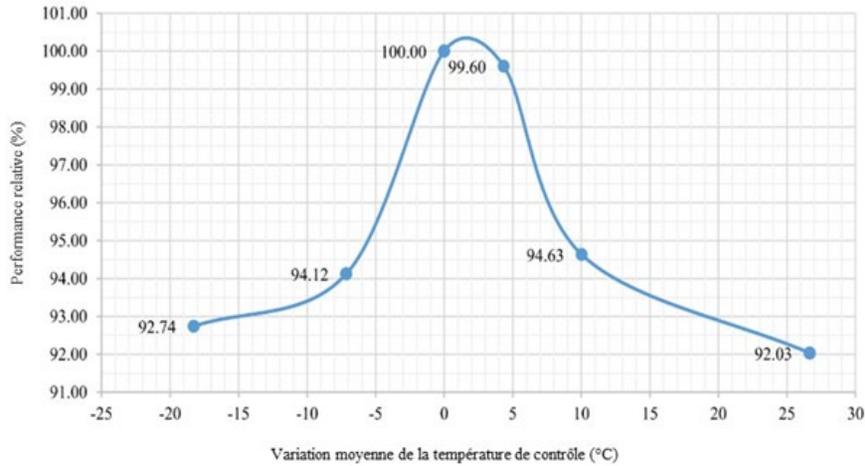
Note : S : significatif; NS : non significatif. Les croix représentent l'environnement thermique (température et HR) de référence et les triangles le sens de l'association. Lorsque les résultats sont significatifs, les triangles sont pleins. Articles référencés à l'annexe 5.

4.1.2 Effets cognitifs rapportés dans d'autres revues de la littérature

Au moment de rédiger cet état des connaissances, les données relatives aux effets cognitifs consécutifs à une exposition à la chaleur en milieu résidentiel s'avéraient fort limitées. De plus, la cognition est un processus mental multidimensionnel difficile à circonscrire sur la base des résultats d'un seul test et, qui plus est, potentiellement modulé par une variété de déterminants individuels. Néanmoins, selon les résultats des études recensées, la température intérieure optimale pour favoriser la performance à des tests cognitifs serait située entre 22 °C et 23 °C.

Les auteurs et autrices d'une méta-analyse ont indiqué que les effets de la chaleur sur la cognition demeurent d'une amplitude modérée, même lors d'épisodes de chaleur extrême lors desquels la température des milieux intérieurs peut s'éloigner de la température dite neutre (voir figure 8 p. 51 et section 3.3). En effet, lors d'une fluctuation de la température de l'ordre de 25 °C (positive ou négative) par rapport à une température de référence (entre 18,13 °C et 25,75 °C), les performances cognitives diminuent seulement d'environ 8 % (Yeganeh *et al.*, 2018). La diminution des performances cognitives s'accroît davantage en s'éloignant de la température de référence, avant de s'atténuer au gré de l'évolution des températures ambiantes (figure 8 p. 51). Néanmoins, selon les tâches à effectuer et le niveau d'attention requis, les auteurs et autrices ont noté que l'influence de la chaleur sur la cognition peut varier d'un individu à l'autre. Ces observations s'appuient sur les résultats d'études menées auprès d'individus effectuant des tâches légères effectuées en position assise dans des environnements contrôlés. Or, les auteurs et autrices précisent qu'en conditions non contrôlées (c'est-à-dire, rencontrées au quotidien dans leur milieu de vie), les individus adoptent généralement des comportements pouvant pallier leur inconfort associé à une exposition à la chaleur, comme le port de vêtements appropriés ou la mise en marche d'un ventilateur sur pied (Yeganeh *et al.*, 2018). Une des limites de cette méta-analyse réside dans le fait que les personnes participantes étaient majoritairement de jeunes hommes en santé, ce qui ne permet pas la généralisation des résultats à d'autres groupes de population.

Figure 8 Estimation de la corrélation entre les performances cognitives et la température en milieu intérieur



Note : figure adaptée de l'article de Yeganeh *et al.* (2018) (page 713).

Les résultats des études recensées dans le présent document suggèrent que la qualité et la durée du sommeil peuvent également être perturbées lors de chaudes nuits d'été. Cependant, il est actuellement difficile d'établir une plage étroite de température et d'HR pour laquelle les résultats d'études soutiendraient la manifestation d'effets négatifs sur le sommeil. Les auteurs et autrices d'une récente revue de la littérature portant sur le sommeil et la chaleur ont d'ailleurs souligné le même manque d'informations à cet effet. Toutefois, il est raisonnable d'affirmer que l'exposition à la chaleur diminue la qualité et la durée du sommeil, notamment chez les personnes âgées (Chevance *et al.*, 2024).

4.1.3 Identification des populations vulnérables à la chaleur

À partir des résultats colligés par l'entremise de cet état des connaissances et des effets physiologiques rapportés en lien avec la chaleur, il n'est actuellement pas possible de définir des groupes de populations vulnérables à ce déterminant environnemental. Considérant que peu des études retenues portaient sur des personnes aux prises avec des comorbidités, les résultats assemblés ne permettent pas de déterminer les conditions physiologiques qui pourraient prédisposer les individus à développer des états pathologiques en réponse à la chaleur. Néanmoins, certains des éléments relevés dans la littérature permettent d'identifier des populations vulnérables à la chaleur.

Comme précisé en introduction (voir section 1.1), l'élévation de la température corporelle entraîne une augmentation de la FC ainsi que du débit cardiaque afin d'intensifier la circulation sanguine cutanée périphérique, de favoriser la dissipation de la chaleur par convection et évapotranspiration dans l'optique de réduire la température corporelle (Bouchama et Knochel, 2002). Aussi, toute pathologie qui affecte les vaisseaux sanguins périphériques, comme le

diabète par exemple, pourrait affecter cette vasodilatation et entraîner une réponse adaptative moins efficace de l'organisme lors d'une exposition environnementale à la chaleur (Kenny *et al.*, 2016). De plus, les personnes souffrant de diabète sont généralement plus enclines à présenter d'autres problèmes d'ordre cardiovasculaire (Leon et Maddox, 2015). Par ailleurs, les effets de la chaleur sur les individus aux prises avec une condition cardiovasculaire préexistante ont déjà été documentés et rapportés dans trois revues de littérature (Arsad *et al.*, 2022; Kenny *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2022). Les auteurs et autrices de celles-ci ont mis en évidence que les personnes avec des comorbidités telles que l'insuffisance cardiaque, l'arythmie, l'hypertension ou autres sont plus impactées lors d'épisode de chaleur extrême que les personnes ne présentant pas de tels facteurs de comorbidités.

La manifestation d'effets respiratoires est souvent combinée à l'observation d'effets cardiovasculaires (Rai *et al.*, 2023). À l'instar des autres effets physiologiques rapportés, l'augmentation de la fréquence et du débit respiratoires n'est pas susceptible d'engendrer d'effets délétères chez les individus en bonne santé (Hayashi, 2015). Les personnes atteintes de MPOC sévères comptent parmi les groupes qui pourraient néanmoins souffrir de difficultés respiratoires lors d'une exposition à la chaleur. Les mécanismes de décompensation respiratoire opérant dans de telles circonstances s'avèrent cependant peu clairs et sont souvent combinés à des effets cardiovasculaires (Rai *et al.*, 2023). Lors du « dôme de chaleur » survenu en Colombie-Britannique en 2021, 28 % des décès attribuables à la chaleur souffraient d'ailleurs de MPOC (British Columbia Coroners Service, 2022). Pour ce qui est de l'épisode de chaleur extrême ayant affecté le secteur de Montréal en 2010, 13,6 % des individus décédés présentaient une comorbidité respiratoire (Price *et al.*, 2013). Ainsi, lors de la survenue de vagues de chaleur estivales, les risques de décès et d'hospitalisations chez les personnes atteintes de maladies respiratoires augmentent (Cheng *et al.*, 2019; Silveira *et al.*, 2023; Weilhammer *et al.*, 2021).

Les personnes âgées semblent aussi davantage vulnérables à la chaleur. En effet, les auteurs et autrices d'une méta-analyse ont estimé que chaque augmentation de 1 °C de température extérieure entraînerait une hausse de 2,32 % (95 % CI = 2,02-2,62) de la mortalité liée à une cause respiratoire chez les personnes de 65 ans et plus (Bunker *et al.*, 2016). Cette population est également définie comme un groupe vulnérable dans la revue de littérature d'Anderson *et al.* (2013). Cette vulnérabilité peut être expliquée par la présence de multiples facteurs de comorbidités (Anderson *et al.*, 2013). De plus, les auteurs et autrices d'une étude – ayant analysé le potentiel de vasodilatation et de sudation de la peau chez des personnes âgées – ont observé une atténuation de ces réponses physiologiques primaires à la chaleur au sein de ce groupe (Smith *et al.*, 2013). La diminution observée pourrait faire entrave à la capacité d'adaptation à la chaleur des personnes âgées. Ces résultats font également écho à ceux présentés dans la revue de Kenny *et al.* (2019), qui identifient aussi les personnes âgées (65 ans et plus) comme un groupe vulnérable à la chaleur, sans toutefois établir de seuil de température protecteur. Comme rapporté par de nombreux groupes d'auteurs et autrices (Mason *et al.*, 2023; Price *et al.*, 2013; Santé publique France, 2024; Schaffer *et al.*, 2012), les personnes âgées de 75 ans et plus ont également davantage recours aux services d'urgences (appels et consultations) en période

de vagues de chaleur, ce qui peut suggérer une vulnérabilité accrue des individus relevant de ce groupe d'âge.

Si les conséquences d'une modulation des performances cognitives en lien avec une exposition à la chaleur en milieu contrôlé sont difficiles à traduire en termes de dégradation de la santé populationnelle, l'altération de la cognition chez certains sous-groupes de la population souffrant de problèmes de santé mentale pourrait cependant s'avérer plus délétère que pour des groupes de populations ne présentant pas de troubles de la santé mentale. Les auteurs d'une revue de littérature ont d'ailleurs rapporté que le stress généré par la chaleur peut provoquer des symptômes psychologiques comme de l'irritabilité, une diminution de la motivation et une agitation. Néanmoins, ces effets sont exacerbés par les effets physiologiques généralement engendrés par l'exposition à la chaleur tels que la déshydratation ou la fatigue (Rony et Alamgir, 2023). L'adoption de comportements protecteurs lors d'une exposition à la chaleur (p. ex. hydratation adéquate, port de vêtements légers, application d'une ventilation, etc.) pourrait alors réduire les effets psychologiques observés. Par ailleurs, les auteurs et autrices des ouvrages consultés n'ont pas étudié l'altération du jugement, lequel pourrait limiter l'adoption de comportements adaptatifs. De plus, le fait de vivre seul, d'être confiné au lit ou dans son domicile constitue un facteur de risque additionnel qui semble affecter les personnes plus vulnérables à la chaleur (Ebi *et al.*, 2021; Rony et Alamgir, 2023). Lors du « dôme de chaleur » qui a touché la Colombie-Britannique en 2021, 64 % des personnes décédées présentaient une maladie chronique pouvant potentiellement affecter la cognition, notamment des troubles de l'anxiété et de l'humeur, une démence ou de la schizophrénie (British Columbia Coroners Service, 2022). Lors de la survenue de vagues de chaleur, il est également documenté que le nombre de suicides augmente (Thompson *et al.*, 2018) suggérant l'exacerbation de la détresse psychologique de certains individus dans de tels contextes.

De plus, la consommation de substances psychoactives (p. ex. cocaïne et opioïdes) et d'alcool pourrait aussi perturber la capacité de réponse et d'adaptation à la chaleur. En effet, la prise de certaines substances et molécules actives peut altérer les capacités de sudation, de vasodilatation ou encore impacter le système de thermorégulation globale ainsi qu'entraver les comportements favorables à la santé lors d'épisodes de chaleur extrême. La prise de médicaments¹⁷ (p. ex. antidépresseur, tranquillisant, antidiabétique et antipsychotique) pourrait aussi avoir un impact sur la réponse à la chaleur (Ebi *et al.*, 2021). Cependant, le contrôle de la maladie sous-jacente semble être un facteur plus important dans la réponse à la chaleur que la prise de médicaments. En outre, la méta-analyse de Bouchama *et al.* (2007) montre que les personnes sous médication psychotrope présentaient des taux de mortalité plus faibles que celles ayant un trouble de santé mentale.

Finalement, les enfants sont parfois considérés dans la littérature comme étant vulnérables aux effets de la chaleur. Toutefois, les résultats colligés dans la présente revue ne permettent pas

¹⁷ Il est important de noter que les effets de tous les types de médicaments lors d'exposition à la chaleur n'ont pas été analysés. Des études complémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre les liens entre l'usage de médicaments et les mécanismes de thermorégulation.

d'apporter un éclairage à cet égard, puisque les travaux recensés n'exploraient pas les effets associés à une exposition à la chaleur auprès de cette sous-population. Des recherches et des recensions plus approfondies sur les effets de l'exposition à la chaleur sur le confort, la cognition et les capacités d'apprentissage des enfants semblent pertinentes à réaliser pour approfondir la question de la vulnérabilité des enfants à la chaleur.

4.1.4 Plage de confort

La plage de températures intérieures jugées confortables rapportée par les auteurs et autrices des études consultées (comprise entre de 26 °C à 27,6 °C, voir section 3.6) pourrait être compatible au contexte québécois, puisqu'elle est incluse dans l'étendue des valeurs rapportée par les auteurs et autrices ayant mené des études dans des climats comparables à celui du Québec. Cependant, étant donné que le nombre de ces études est peu important (n = 5) et qu'elles s'appuient sur des devis fort hétérogènes, la réalisation de recherches complémentaires semble nécessaire pour proposer une plage de température de confort (considérant l'effet de l'HR qui est généralement élevée en période estivale dans l'Est du Canada) adaptée au climat québécois et à sa population.

En comparaison, l'ASHRAE propose une plage de température de confort estivale comprise entre 24 °C et 26 °C avec 60 % d'HR (ASHRAE, 2023). Alors que cette étendue est plus large que celle identifiée par le biais des études consultées, les recommandations de l'organisme américain, élaborées à partir d'un modèle théorique, sont généralement utilisées à titre indicatif. Les deux plages proposées peuvent être modulées en fonction de la demande métabolique, des vêtements portés par les occupants et occupantes du milieu et des courants d'air présents dans le bâtiment (Albatayneh *et al.*, 2021; ASHRAE, 2023). L'ASHRAE propose également une telle plage de température et d'HR dans l'optique d'offrir une avenue de gestion de la climatisation (Albatayneh *et al.*, 2021). Par ailleurs, de nombreux autres paramètres influencent le confort thermique des personnes occupantes de milieux intérieurs tels que l'habillement, la période de la journée (le matin, le midi, le soir ou la nuit), le métabolisme et les capacités d'adaptation de ces dernières. Ces éléments ont d'ailleurs été rapportés dans trois revues de la littérature identifiées par le biais la stratégie de recherche documentaire.

4.1.5 Adaptation physiologique à la chaleur et climatisation

Les inconforts ressentis ou exprimés en contexte de chaleur (et ce, surtout par les individus vulnérables à la chaleur) peuvent s'avérer un signal d'intérêt à considérer, puisque c'est cette perception qui mènera généralement l'individu à adopter des comportements adaptés pouvant limiter les effets indésirables concourants. Contrairement au milieu extérieur, l'humain dispose généralement de divers leviers adaptatifs dans son milieu de vie pour se protéger, notamment en faisant usage de la ventilation ou la climatisation pour en extraire les charges thermiques excédentaires.

La climatisation compte parmi les moyens les plus efficaces pour maintenir des conditions thermiques jugées confortables en contexte de chaleur. Elle ne constitue toutefois qu'une solution temporaire pour pallier les inconforts, car les effets physiologiques induits par l'exposition à la chaleur réapparaissent rapidement lorsque les personnes quittent ces zones de fraîcheur (Government of Canada, 2022; McGarr *et al.*, 2023; Meade *et al.*, 2023). Une récente étude réalisée en Ontario, impliquant des personnes âgées, rapporte une augmentation de la température corporelle lors d'une exposition de 9 h à une température de 40 °C et à une HR de 9 %. Néanmoins, malgré une pause de deux heures dans un lieu climatisé à 23 °C, la température corporelle des personnes participantes retrouvait rapidement son état initial lors d'une exposition subséquente à 40 °C et à une HR de 9 %. Cette nouvelle augmentation rapide de la température corporelle peut s'expliquer par la présence de chaleur résiduelle accumulée dans le corps. Ainsi, dans l'optique de limiter l'augmentation de la température corporelle, l'exposition momentanée à des milieux climatisés peut être une solution pertinente à considérer, mais il est important que la période de répit soit d'au moins une heure. Ces résultats suggèrent dès lors que des mesures d'intervention supplémentaires pourraient être mises en place lors du retour des personnes âgées dans un environnement chaud, comme l'adaptation vestimentaire ou le maintien de l'ombre dans le logement (Meade *et al.*, 2023).

Par ailleurs, et en accord avec les résultats des articles analysés, il semblerait peu utile, pour des raisons de santé ou de confort, de climatiser lors d'une exposition à des températures intérieures inférieures à 26 °C. Par souci d'économie d'énergie et considérant l'actuel contexte climatique, limiter l'usage de la climatisation peut contribuer à réduire la consommation d'électricité et les émissions de gaz à effet de serre associées (là où des sources d'énergies renouvelables ne sont pas accessibles). Dans leurs plans de sobriété énergétique respectifs, la France et la Chine ont d'ailleurs adopté une température intérieure minimale de 26 °C pour la climatisation (Gouvernement de la République française, 2023; Lefebvre et Leclerc, 2022; Yang et Zhang, 2008).

Bien que les éléments portant sur l'adaptation à la chaleur n'aient pas été explicitement rapportés dans la section résultats, les auteurs et autrices de certaines des études consultées y font néanmoins référence. Il est ainsi rapporté que l'adaptation peut être d'ordre individuel, circonscrite dans le temps (p. ex. au début ou à la fin de la période estivale) ou dans l'espace (zone climatique/de rusticité plus chaude). L'adaptation peut alors exercer une influence sur la réponse physiologique et limiter les états pathologiques décrits dans les sections présentées ci-dessus. Par exemple, Chong *et al.* (2019) ont rapporté que des participantes et participants exposés pendant trois jours consécutifs à une température de 36 °C (et à 70 % d'HR) présentaient une hausse moins prononcée de leur température corporelle par rapport au premier jour d'exposition. Le niveau d'adaptation physiologique atteint par les individus dépend toutefois de nombreux facteurs dont la forme physique initiale, le sexe, l'astreinte thermique expérimentée, les comorbidités, la masse corporelle, le niveau d'hydratation et l'âge (Cramer *et al.*, 2022; Jacklitsch *et al.*, 2016; Meade *et al.*, 2020). De plus, il est généralement admis que la pratique d'activité physique de manière régulière et modérée, en dehors des épisodes de chaleur extrême, accroît la tolérance du corps à la chaleur. Ainsi, lorsque l'individu doit fournir

des efforts physiques dans un contexte d'exposition à des contraintes thermiques, l'adoption de périodes de repos combinées à l'exposition à des températures plus basses est recommandée pour limiter les états pathologiques (Jacklitsch *et al.*, 2016; Règlement sur la santé et la sécurité du travail, 2023).

À cet égard, selon les auteurs et autrices de certaines études originales incluses dans la présente revue, les vagues de chaleur hâtives semblent causer plus de décès que celles qui surviennent plus tardivement au courant de la saison chaude (Kenny *et al.*, 2019), comme le suggère les excès de mortalité observés dans plusieurs régions du Québec au cours des dernières années (Issa *et al.*, 2021; Lebel *et al.*, 2022). Soulignons toutefois que les effets de la chaleur sur la mortalité et la morbidité varient selon les climats étudiés (Ebi *et al.*, 2021; Kenny *et al.*, 2019).

Enfin, les individus peuvent également adapter leurs comportements et leur environnement pour se protéger de la chaleur en faisant usage de la climatisation, en diminuant l'intensité des efforts physiques à fournir ou en augmentant leur niveau d'hydratation (Kenny *et al.*, 2019). L'adaptation volontaire à la chaleur a non seulement des vertus pour la santé, mais elle est également pratiquée et encouragée dans certains contextes culturels (p. ex. saunas dans les pays scandinaves et hammam au Maghreb) (Hussain et Cohen, 2018).

Néanmoins, les bénéfices associés à l'adoption de comportements adaptatifs à la chaleur ne sont pour l'heure pas encore démontrés par des études épidémiologiques (Sanderson *et al.*, 2017).

4.1.6 Seuils établis par d'autres organismes

À partir des données épidémiologiques collectées à l'échelle populationnelle (et parfois aussi par l'entremise d'études en environnement contrôlé pour lesquelles les autrices et auteurs se sont intéressés aux effets physiologiques de la chaleur), certains organismes ont édicté des seuils de température maximum en milieux intérieurs pour la population générale.

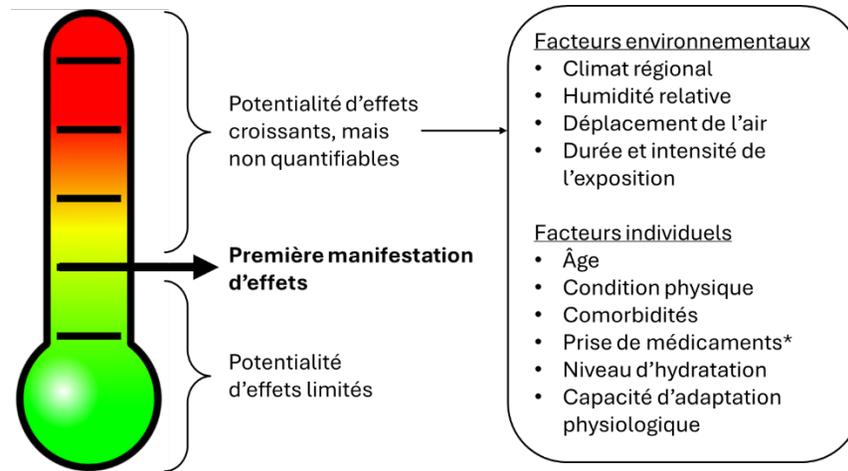
À défaut de disposer d'un consensus clair au regard des températures jugées sécuritaires en milieux intérieurs, le gouvernement du Canada a publié une page Web faisant état des principales conclusions des études menées par les groupes de recherche de l'Université d'Ottawa. « Ils ont constaté qu'une exposition d'une seule journée à des températures de 26 °C ne poserait probablement pas de problèmes aux personnes âgées. Cependant, une exposition prolongée à des températures supérieures à 26 °C, mais inférieures à 31 °C peut présenter un risque pour la santé de certains adultes. Dans la mesure du possible, une exposition prolongée à des températures de 31 °C ou plus doit être évitée pour les personnes sensibles à la chaleur. » (Government of Canada, 2022; Meade *et al.*, 2024).

Pour sa part, une équipe du British Columbia Centre for Disease Control (BCCDC) a étudié l'effet de vagues de chaleur ayant affecté la population de la Colombie-Britannique sur la mortalité de cette dernière. Ils ont déterminé la vulnérabilité à la chaleur de différentes communautés établies dans certaines régions de la province en modélisant la relation entre la température

extérieure et la mortalité. Ces travaux ont même permis d'établir des seuils d'alerte pouvant soutenir les interventions de santé publique à l'échelle régionale (Henderson *et al.*, 2013; Ho *et al.*, 2017; McLean *et al.*, 2018). Dans cette province, il est recommandé que les individus surveillent la température de leur logement dans le cadre du plan d'urgence de chaleur extrême (comme lors du « dôme de chaleur » en 2021), lorsque les températures extérieures atteignent le seuil d'alerte (entre 28 °C et 35 °C selon les régions de la Colombie-Britannique) et que les températures continuent d'augmenter au cours des trois jours consécutifs à l'alerte (British Columbia Centre for Disease Control, 2023). De plus, sur la base des travaux menés par ces groupes de recherche (Henderson *et al.*, 2013; Ho *et al.*, 2017; McLean *et al.*, 2018), les autorités de certaines régions et provinces canadiennes ont développé des outils de communication afin de protéger leur population en cas de vague de chaleur. À titre d'exemple, le BCCDC mentionne que « une exposition soutenue à des températures de 26 °C à 31 °C peut engendrer des risques pour les personnes vulnérables » et « si vous êtes à risque et que vous vivez dans un bâtiment ou une résidence qui devient très chaud, avec des températures internes soutenues de 31 degrés ou plus, prévoyez d'aller ailleurs pendant une urgence de chaleur extrême » (British Columbia Centre for Disease Control, 2024, s. d.). Les personnes vulnérables visées par les seuils de chaleur établis par les autorités compétentes sont principalement les personnes âgées de 65 ans et plus, celles vivant seules, ayant des comorbidités, des troubles de la santé mentale ou des restrictions de mobilité de même que les personnes qui consomment des substances psychoactives (British Columbia Centre for Disease Control, s. d.; Government of Canada, 2022).

Bien que certains organismes aient déjà établi que l'exposition à des températures supérieures à 31 °C serait délétère pour les personnes vulnérables (British Columbia Centre for Disease Control, 2024; Government of Canada, 2022), cette valeur ne semble pas soutenue pour le moment par des résultats d'études s'appuyant sur des devis épidémiologiques (Kenny *et al.*, 2024). Les résultats collectés dans cette revue ne permettent d'ailleurs pas d'apprécier un corpus d'information suffisamment robuste pour préciser une température protectrice pour l'ensemble de la population ne présentant pas de facteur de vulnérabilité particulier à la chaleur. Néanmoins, à partir de 26 °C, les résultats de la présente analyse suggèrent qu'en somme, plus la température intérieure augmente, plus la probabilité d'observer des effets physiologiques augmente (voir figure 9 p. 58). Alors que l'amplitude de ces effets s'avère difficilement quantifiable au moment de rédiger ce document, elle serait vraisemblablement tributaire de l'influence de certains facteurs environnementaux auxquels s'ajoutent des facteurs de vulnérabilité ou de protection individuels.

Figure 9 Progression des effets théoriques associés à l'exposition à la chaleur en milieu résidentiel lorsque les personnes occupantes sont physiquement inactives



* À la discrétion du clinicien, une vigilance accrue doit être observée pour certains médicaments.

Source du modèle de thermomètre : [Pixabay](#).

4.2 Biais et limites

Cette revue systématique de la littérature comporte certains biais et limites. D'entrée de jeu, il est à noter que cette revue s'inscrit dans un domaine de recherche qui évolue rapidement et que de nouvelles études ont été publiées depuis que la recherche documentaire a été initiée en 2022. Ainsi, cette revue de la littérature offre uniquement un aperçu des travaux complétés avant cette date. Ensuite, les articles présentant le terme *ambient temperature* (ou température ambiante) dans leurs titres et leurs résumés ont été exclus de la présente analyse si aucune information sur l'exposition à la chaleur par le biais du milieu intérieur n'était précisée. Certains articles pertinents peuvent ainsi avoir été exclus. De plus, les résultats présentés rapportent les données dans les mêmes unités de mesure que celles utilisées par les auteurs et autrices (HR et degrés Celsius). Ces unités ont leurs propres limites et ne permettent pas de rapporter de manière exhaustive les caractéristiques des conditions environnementales d'exposition.

Par ailleurs, aucune des études retenues ne rapportait les effets de la température intérieure observés spécifiquement chez les enfants (moins de 18 ans) ni ne proposait d'analyses stratifiées selon les sexes. Les études portant sur les travailleurs et travailleuses ont également été exclues de la présente analyse, bien que les résultats de plusieurs études expérimentales retenues pourraient être transposables au personnel œuvrant dans des bureaux ou d'autres milieux de travail de ce type. La plupart de ces études de laboratoire portaient d'ailleurs sur de jeunes adultes en bonne santé. De plus, aucune étude identifiée à partir de la stratégie de recherche n'a évalué les effets de la chaleur sur les problèmes rénaux, les effets sur la santé mentale ou les issues de grossesse. Les personnes vivant seules, cumulant plusieurs facteurs de comorbidité, aux prises avec des limitations physiques ou cognitives, ou qui font usage de médicaments ou de substances psychoactives n'ont, elles non plus, pas été considérées dans bon nombre des études recensées.

Il est important de noter que peu d'études réalisées à l'échelle populationnelle ont été incluses dans le cadre de cette synthèse de connaissances. Cette sélection s'explique notamment par le fait que ce type de devis sous-tend l'utilisation de données d'exposition indirectes, soit des mesures de températures extérieures ou des températures intérieures simulées ou documentées à la suite de la survenue des événements de santé ayant fait l'objet d'un suivi. Par ailleurs, assumant que ce type d'étude ne s'appuie pas sur des données robustes d'exposition à la chaleur en milieu intérieur, ces travaux ont été exclus de la présente analyse.

Il convient par ailleurs de souligner qu'une des principales limites de la caractérisation de la chaleur sur les effets respiratoires populationnels est la prise en considération de la présence concomitante de polluants de l'air ambiant. En effet, le rayonnement solaire (et la chaleur associée) peut contribuer à augmenter la pollution atmosphérique, en particulier l'ozone dans les milieux urbains. De plus, l'exposition simultanée à des températures élevées ainsi qu'à certains polluants atmosphériques (p. ex. ozone, PM_{2,5} et NO₂) pourrait engendrer des effets additifs sur la santé (Rai *et al.*, 2023; Zafeiratou *et al.*, 2023). Néanmoins aucune des études rapportées n'a pris en compte les polluants de l'air comme variable additionnelle.

Il est également difficile de comparer les résultats issus des devis observationnels à ceux développés sur la base de devis expérimentaux, puisque dans ces derniers, les types d'environnements associés sont constitués d'espaces de laboratoire uniformes et contrôlés. Les milieux résidentiels sont d'emblée non homogènes, présentent des dimensions et des aménagements variés et sont assujettis à des fluctuations de température qui ne sont pas toujours contrôlées par les personnes occupantes. De plus, contrairement aux études expérimentales, les participants et participantes des études observationnelles peuvent modifier leur niveau d'activité, leurs comportements, leurs tenues vestimentaires et leur exposition au soleil pour limiter les effets de la chaleur. Ces réponses comportementales sont parfois mobilisées avant même l'activation ou la sollicitation des mécanismes d'adaptation physiologique à la chaleur (par exemple, le choix d'une tenue vestimentaire en prévision de températures élevées). Bien que très peu étudiées, ces réponses comportementales semblent être davantage influencées par des récepteurs neuronaux périphériques que centraux. Cependant, la recherche dans ce domaine crucial en est encore à ses débuts (Romanovsky, 2018).

Dans les études observationnelles, les participants et participantes peuvent également modifier la température de leur domicile par divers comportements, tels que l'utilisation de la ventilation naturelle ou mécanique (c.-à-d. renouveler l'air en ouvrant les fenêtres ou en utilisant un échangeur d'air), ou encore par des équipements comme les ventilateurs (de plafond ou sur pied), les déshumidificateurs ou les climatiseurs. Ces facteurs constituent autant de déterminants susceptibles de moduler les conditions environnementales des milieux résidentiels qui n'ont généralement pas été pris en compte dans les études observationnelles. Il en est de même au regard de l'usage d'équipements ménagers qui génèrent de la chaleur (p. ex. grille-pain, cuisinière, sècheuse). Quelques auteurs et autrices d'études expérimentales ont néanmoins contrôlé l'effet de certains de ces dispositifs sur les paramètres sanitaires examinés.

Bien entendu, la rapidité et l'intensité avec lesquelles se manifestent les effets sanitaires indésirables rapportés par les auteurs et autrices des études recensées (p. ex. cardiovasculaires ou respiratoires) ne sont pas uniformes d'une personne participante à l'autre. Les effets documentés et leur intensité respective se déclinent en fonction d'une variété de facteurs de vulnérabilité individuelle, dont l'adaptation à la chaleur, l'âge ou la condition physique. De plus, la manifestation de certains effets (p. ex. augmentation de la FC ou diminution de la TAD) n'a été évaluée que sur de courtes périodes ainsi que sous des conditions thermiques stables dans les études retenues. Il est cependant présumé que les occupantes et occupants d'un bâtiment puissent être exposés plus longtemps à la chaleur et que la température du milieu puisse varier lors d'un épisode de chaleur. Les effets sanitaires importants s'expriment ainsi généralement de façon progressive et synergique en conditions réelles. Certains d'entre eux sont même observés à la suite d'une certaine période de latence consécutive à l'exposition (répétée ou non) à des températures élevées.

La plupart des auteurs et autrices des études consultées ont comparé les effets se manifestant à la suite d'une exposition à une température élevée à ceux observés sous l'influence d'une température de référence. Ces études offrent donc davantage d'informations relativement aux effets pouvant être engendrés à la suite d'une variation circonscrite de la température entre deux points de repère plutôt qu'au regard de l'expression de certains effets pouvant être observés à partir d'une température donnée. Il est à noter que l'ampleur de ces variations (c.-à-d. les différences observées entre les deux températures données) n'était pas constante entre les études et pourrait conditionner l'observation ou non de certains effets physiologiques. Il aurait été intéressant de pouvoir bénéficier des résultats d'études qui auraient porté sur l'évaluation des effets observables dans un contexte d'exposition à des températures croissantes à partir d'une température initiale similaire entre les études. Bien que contraignant (voire préjudiciable) pour les personnes participantes volontaires, il aurait aussi été intéressant d'accéder à des résultats d'exposition à la chaleur sur de plus longues périodes (incluant des périodes nocturnes) et impliquant des individus vulnérables à la chaleur.

4.3 Recherches futures

À l'heure actuelle, il n'existe que très peu de données populationnelles au regard de l'influence de la chaleur en milieu intérieur (incluant les milieux résidentiels) sur la santé des occupants et occupantes. Il serait ainsi pertinent d'effectuer ce type de recherche en incluant des populations vulnérables telles que les personnes âgées, seules, consommatrices de médicaments ou ayant des comorbidités respiratoires, cardiaques ou des comorbidités multiples. La réalisation d'autres recherches pourrait aussi s'avérer nécessaire pour caractériser les effets respiratoires pouvant être observés auprès d'individus associés à différents groupes d'âge, à différentes origines ethniques et sur la base de plus longues périodes d'exposition. En outre, il serait intéressant de connaître l'impact de divers facteurs de comorbidités pulmonaires telles que la MPOC ou l'asthme sur les effets respiratoires pouvant être exprimés lors d'une exposition prolongée à la chaleur en milieu résidentiel. Au-delà des populations vulnérables, la caractérisation des effets retardés liés à la chaleur peut être explorée par l'entremise d'études longitudinales qui intègrent

non seulement les variations de température journalières (jour et nuit), mais aussi celles des saisons et, si possible, l'influence additive possible de la pollution atmosphérique. La réalisation d'un plus grand nombre d'études menées à l'échelle locale ou régionale portant sur les décès et l'évaluation des conditions résidentielles en période de chaleur, telles que publiées par Uejio *et al.* (2016, 2022), pourrait également s'avérer utile, puisqu'elles permettent de lier les conditions thermiques à un effet physiologique. Un des aspects clés à considérer lors de l'élaboration d'un tel devis est l'évaluation précise de l'exposition à la chaleur des individus participants volontaires au cours des épisodes de chaleur extrême, mais également au cours des jours précédents ceux-ci, voire au cours de l'entièreté de la saison estivale si possible.

Pour être en mesure de tirer des observations généralisables à l'échelle populationnelle, un plus large accès à des études réalisées sur un nombre plus important de participantes et participants fractionné en différents groupes d'âge (p. ex. jeunes, âge moyen et adultes âgés), selon différents facteurs socioéconomiques (p. ex. revenus, état civil et origine ethnique) et plusieurs comorbidités (p. ex. surpoids, diabète, problèmes cardiorespiratoires) demeure nécessaire. En outre, plusieurs caractéristiques des études retenues rendent difficile la transposition des résultats sur la population québécoise ou nord-américaine. Bien qu'une étude ait été réalisée au Canada et un petit nombre d'entre elles en Europe ainsi qu'aux États-Unis, la majorité a été menée dans des pays dont le climat est fort différent de celui du Québec, comme la Chine, l'Inde ou l'Arabie Saoudite. Puisque les personnes participantes de ces dernières sont présumées adaptées à des conditions climatiques distinctes, il s'avère hasardeux de se prononcer sur une température unique (ou une fenêtre étroite de température) pouvant s'avérer protectrice et confortable pour la population québécoise en général. Par ailleurs, aucune étude portant sur les populations adaptées aux rigueurs d'un climat froid et humide (tel qu'observé au Québec) n'a été identifiée au moment où a été rédigée cette synthèse de la littérature. Il apparaît dès lors pertinent de se questionner sur l'influence de températures plus chaudes en milieu résidentiel sur des populations habituellement exposées à des températures généralement fraîches. Ces observations soulèvent également un nouveau questionnement relativement au rôle de l'adaptation à des températures ambiantes élevées et les facteurs complémentaires à considérer tels l'amplitude et la durée de l'exposition à la chaleur.

Dans un autre ordre d'idées, il serait intéressant de développer un registre provincial des décès par coup de chaleur et de documenter les conditions des milieux résidentiels (température et HR) lors de l'intervention du personnel ambulancier (ou autres individus intervenants de première ligne) et d'intégrer ces informations au système de surveillance du ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS). Il serait également intéressant d'effectuer un suivi de la température et de l'HR des milieux résidentiels institutionnels (p. ex. CHSLD¹⁸ ou RPA¹⁹), en continu dans différentes pièces afin non seulement de surveiller les conditions thermiques, mais aussi d'analyser les effets rapportés par les personnes occupantes qui sont souvent plus fragiles. Au-delà de la température, l'évaluation des principales caractéristiques des bâtiments résidentiels et institutionnels hébergeant des populations sensibles (p. ex. isolation, ventilation,

¹⁸ Centre d'hébergement et de soins de longue durée.

¹⁹ Résidence privée pour personnes âgées.

climatisation, etc.) ainsi que l'adoption de comportements d'adaptation (gestion des rideaux et utilisation des appareils domestiques générant de la chaleur) peuvent être analysées pour mieux comprendre le lien entre les températures extérieures et intérieures tel qu'abordé dans les études d'Indraganti *et al.* (2010) ou Kim *et al.* (2020). De plus, la capacité des bâtiments à retenir la chaleur semble être une variable d'intérêt, puisque dans la plupart des régions ayant un climat froid (comme au Québec), les logements ont été conçus pour conserver la chaleur (Allen *et al.*, 2018).

5 CONCLUSION

La présente revue de la littérature a permis de mettre en lumière une série d'effets physiologiques et cognitifs qui se manifestent lors d'exposition à la chaleur. Par exemple, au-delà de 26 °C, une légère augmentation de la FC est observable dans plusieurs des études analysées. D'autres effets d'intérêt ont également été documentés par les auteurs et autrices des ouvrages consultés lorsque la température intérieure, l'HR et la durée d'exposition augmentent (p. ex. effets cognitifs indésirables, dégradation de la qualité du sommeil, augmentation de la température cutanée, tympanique et corporelle, diminution du confort), mais les résultats assemblés n'ont pas permis de dégager un seuil de température intérieur à partir duquel l'ensemble de ces effets est observé. Avec les éléments d'intérêt identifiés par le biais de la revue de littérature effectuée, il semble également qu'au-dessus de 26 °C, plus la température intérieure augmente, plus la manifestation d'effets physiologiques est observable. Les effets de type cardiovasculaire (la FC en particulier) seraient les principaux effets précurseurs de potentiels problèmes de santé chez certaines populations vulnérables à la chaleur. À des températures plus élevées, l'augmentation de l'HR entraînerait également des effets physiologiques plus marqués. Ce constat est cohérent avec les propositions d'autres organisations sanitaires (BCCDC et Santé Canada). Qui plus est, cette température de 26 °C serait considérée comme confortable selon les résultats de cette revue de littérature. Celle-ci représente également une opportunité d'élargir la réflexion au thème de la sobriété énergétique en limitant la climatisation de certains bâtiments publics, à l'instar de la France et de la Chine. Des recherches complémentaires demeurent nécessaires afin de confirmer une température ou une plage de températures susceptible de réduire la morbidité ou la mortalité associée à l'exposition à la chaleur en milieu intérieur.

BIBLIOGRAPHIE

- Académie Saint-Bernard. (s. d.). *Définition : fréquence respiratoire normale*. Académie Saint-Bernard. <https://academiesb.com/fr/lexique/frequence-respiratoire-normale>
- Agence française de sécurité sanitaire environnementale. (2004). *Impacts sanitaires des installations de climatisation – Domicile des particuliers, habitat collectif, habitat individuel*. <https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2003et3907Ra-2.pdf>
- Ahmed, R., Mumovic, D., Bagkeris, E. et Ucci, M. (2022). Combined effects of ventilation rates and indoor temperatures on cognitive performance of female higher education students in a hot climate. *Indoor air*, 32(2), e13004. <https://doi.org/10.1111/ina.13004>
- Albatayneh, A., Jaradat, M., Alkhatib, M. B., Abdallah, R., Juaidi, A. et Manzano-Agugliaro, F. (2021). The significance of the adaptive thermal comfort practice over the structure retrofits to sustain indoor thermal comfort. *Energies*, 14, 2946. <https://doi.org/10.3390/en14102946>
- Allen, J., Williams, A., Oulhote, Y., Zanobetti, A. et Spengler, J. D. (2018). *Extreme heat linked with reduced cognitive performance among young adults in non-air-conditioned buildings*. Harvard T.H. Chan - School of Public Health. <https://www.preventionweb.net/news/extreme-heat-linked-reduced-cognitive-performance-among-young-adults-non-air-conditioned>
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2023). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy (Standard 55-2023)*.
- Anderson, M., Carmichael, C., Murray, V., Dengel, A. et Swainson, M. (2013). Defining indoor heat thresholds for health in the UK. *Perspectives in public health*, 133(3), 158-164. <https://doi.org/10.1177/1757913912453411>
- Arsad, F. S., Hod, R., Ahmad, N., Ismail, R., Mohamed, N., Baharom, M., ... Tangang, F. (2022). The impact of heatwaves on mortality and morbidity and the associated vulnerability factors : a systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23), 16356. <https://doi.org/10.3390/ijerph192316356>
- Ashe, N., Wozniak, S., Conner, M., Ahmed, R., Demetres, M. R., Makarem, N., ... Ghosh, A. (2023). Association of extreme heat events with sleep and cardiovascular health : a scoping review. *Research Square*, rs.3.rs-3678410. <https://doi.org/10.1186/s13643-024-02742-7>
- Bae, C., Lee, H. et Chun, C. (2017). Predicting indoor thermal sensation for the elderly in welfare centres in Korea using local skin temperatures. *Indoor and Built Environment*, 26(8), 1155-1167. <https://doi.org/10.1177/1420326X16664563>
- Bain, A. R., Morrison, S. A. et Ainslie, P. N. (2014). Cerebral oxygenation and hyperthermia. *Frontiers in Physiology*, 5, 92. <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00092>
- Baizhan, L., Wei, Y., Meng, L. et Nan, L. (2011). Climatic strategies of indoor thermal environment for residential buildings in Yangtze River Region, China. *Indoor and Built Environment*, 20(1), 101-111. <https://doi.org/10.1177/1420326X10394495>

- Baldwin, J. W., Benmarhnia, T., Ebi, K. L., Jay, O., Lutsko, N. J. et Vanos, J. K. (2023). Humidity's role in heat-related health outcomes : a heated debate. *Environmental Health Perspectives*, 131(5), 55001. <https://doi.org/10.1289/EHP11807>
- Basu, R. et Samet, J. M. (2002). An exposure assessment study of ambient heat exposure in an elderly population in Baltimore, Maryland. *Environmental health perspectives*, 110(12), 1219-1224.
- Becerra-Santacruz, H. et Lawrence, R. (2016). Evaluation of the thermal performance of an industrialised housing construction system in a warm-temperate climate : Morelia, Mexico. *Building & Environment*, 107, 135-153. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.07.029>
- Bouchama, A., Abuyassin, B., Lehe, C., Laitano, O., Jay, O., O'Connor, F. G. et Leon, L. R. (2022). Classic and exertional heatstroke. *Nature Reviews. Disease Primers*, 8(1), 8. <https://doi.org/10.1038/s41572-021-00334-6>
- Bouchama, A., Dehbi, M., Mohamed, G., Matthies, F., Shoukri, M. et Menne, B. (2007). Prognostic factors in heat wave related deaths : a meta-analysis. *Archives of Internal Medicine*, 167(20), 2170-2176. <https://doi.org/10.1001/archinte.167.20.ira70009>
- Bouchama, A. et Knochel, J.P. (2002). Heat Stroke. *New England Journal of Medicine*, 346(25), 1978-1988. <https://doi.org/10.1056/NEJMra011089>
- British Columbia Centre for Disease Control. (2023). *BC Provincial Heat Alert and Response System (BC HARS) : 2023*.
- British Columbia Centre for Disease Control. (2024). *BC Provincial Heat Alert and Response System (BC HARS) : 2024*. <http://www.bccdc.ca/resource-gallery/Documents/Guidelines%20and%20Forms/Guidelines%20and%20Manuals/Health-Environment/Provincial-Heat-Alerting-Response-System.pdf>
- British Columbia Centre for Disease Control. (s. d.). *Preparing for Heat Events*. <http://www.bccdc.ca/health-info/prevention-public-health/preparing-for-heat-events>
- British Columbia Coroners Service. (2022). *Extreme heat and human mortality : a review of heat-related deaths in b.c. in summer 2021*. https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/birth-adoption-death-marriage-and-divorce/deaths/coroners-service/death-review-panel/extreme_heat_death_review_panel_report.pdf
- Bunker, A., Wildenhain, J., Vandenberg, A., Henschke, N., Rocklöv, J., Hajat, S. et Sauerborn, R. (2016). Effects of air temperature on climate-sensitive mortality and morbidity outcomes in the elderly; a systematic review and meta-analysis of epidemiological evidence. *EBioMedicine*, 6, 258-268. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2016.02.034>
- Cedeno Laurent, J. G., Williams, A., Oulhote, Y., Zanobetti, A., Allen, J. G. et Spengler, J. D. (2018). Reduced cognitive function during a heat wave among residents of non-air-conditioned buildings : an observational study of young adults in the summer of 2016. *PLoS medicine*, 15(7), e1002605. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002605>

- Centre hospitalier universitaire vaudois. (2019a). *Fiche technique. Température : mesure*.
https://www.chuv.ch/fileadmin/sites/dso/documents/Methodes_de_soins/MDS_Temperature_DSO-FT_Adultes-062_1.0_.pdf
- Centre hospitalier universitaire vaudois, D. des soins et M. de soins. (2019b). *Fiche technique. Fréquence cardiaque : mesure*.
https://www.chuv.ch/fileadmin/sites/dso/documents/Methodes_de_soins/MDS_Frequence_cardiaque_DSO-FT_Adultes-023_1.0_.pdf
- Cheng, J., Xu, Z., Bambrick, H., Prescott, V., Wang, N., Zhang, Y., ... Hu, W. (2019). Cardiorespiratory effects of heatwaves : a systematic review and meta-analysis of global epidemiological evidence. *Environmental Research*, 177, 108610. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108610>
- Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail. (s. d.). *Exposition à la chaleur – Effets sur la santé et premiers soins*. https://www.cchst.ca/oshanswers/phys_agents/heat/heat_health.html
- Chevance, G., Minor, K., Vielma, C., Campi, E., O'Callaghan-Gordo, C., Basagaña, X., ... Bernard, P. (2024). A systematic review of ambient heat and sleep in a warming climate. *Sleep Medicine Reviews*, 75, 101915. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2024.101915>
- Childs, C., Elliott, J., Khatab, K., Hampshaw, S., Fowler-Davis, S., Willmott, J. R. ... Ali, A. (2020). Thermal sensation in older people with and without dementia living in residential care : new assessment approaches to thermal comfort using infrared thermography. *International journal of environmental research and public health*, 17(18). <https://doi.org/10.3390/ijerph17186932>
- Chong, D., Zhu, N., Luo, W. et Zhang, Z. (2019). Broadening human thermal comfort range based on short-term heat acclimation. *Energy*, 176, 418-428.
- Cramer, M. N., Gagnon, D., Laitano, O. et Crandall, C. G. (2022). Human temperature regulation under heat stress in health, disease, and injury. *Physiological Reviews*, 102(4), 1907-1989. <https://doi.org/10.1152/physrev.00047.2021>
- Custodis, F., Reil, J.-C., Laufs, U. et Böhm, M. (2013). Heart rate : a global target for cardiovascular disease and therapy along the cardiovascular disease continuum. *Journal of Cardiology*, 62(3), 183-187. <https://doi.org/10.1016/j.jicc.2013.02.018>
- Dahlan, N. D., Jones, P. J., Alexander, D. K., Salleh, E. et Dixon, D. (2008). Field measurement and subjects' votes assessment on thermal comfort in high-rise hostels in Malaysia. *Indoor and Built Environment*, 17(4), 334-345. <https://doi.org/10.1177/1420326X08094585>
- d'Ambrosio Alfano, F. R., Malchaire, J., Palella, B. I. et Riccio, G. (2014). WBGT index revisited after 60 years of use. *The Annals of Occupational Hygiene*, 58(8), 955-970. <https://doi.org/10.1093/annhyg/meu050>
- de Dear, R. et Schiller Brager, G. (2001). The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment. *International Journal of Biometeorology*, 45(2), 100-108. <https://doi.org/10.1007/s004840100093>

- Dixsaut, G. (2005). *Vague de chaleur et climatisation, revue bibliographique*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/bise/vague-de-chaleur-et-climatisation-revue-bibliographique>
- Djamila, H., Chu, C.-M. et Kumaresan, S. (2013). Field study of thermal comfort in residential buildings in the equatorial hot-humid climate of Malaysia. *Building & Environment*, 62, 133-142. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.01.017>
- Ebi, K. L., Capon, A., Berry, P., Broderick, C., Dear, R. de, Havenith, G., ... Jay, O. (2021). Hot weather and heat extremes : health risks. *The Lancet*, 398(10301), 698-708. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01208-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01208-3)
- Fan, X., Liu, W. et Wargocki, P. (2019). Physiological and psychological reactions of sub-tropically acclimatized subjects exposed to different indoor temperatures at a relative humidity of 70. *Indoor air*, 29(2), 215-230. <https://doi.org/10.1111/ina.12523>
- Fink, R., Erzen, I. et Medved, S. (2017). Symptomatic response of the elderly with cardiovascular disease during the heat wave in Slovenia. *Central European Journal of Public Health*, 25(4), 293-298. <https://doi.org/10.21101/cejph.a4496>
- Fink, R., ErZen, I., Medved, S. et Kastelec, D. (2015). Experimental research on physiological response of elderly with cardiovascular disease during heat wave period. *Indoor and Built Environment*, 24(4), 534-543. <https://doi.org/10.1177/1420326X13519348>
- Framarin, A. et Déry, V. (2021). *Les revues narratives : fondements scientifiques pour soutenir l'établissement de repères institutionnels*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2780>
- Gasparrini, A., Guo, Y., Hashizume, M., Lavigne, E., Zanobetti, A., Schwartz, J., ... 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)
- Gouvernement de la République française. (2023). *Plan de sobriété énergétique : la mobilisation se poursuit*. https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/22152_Plan-sobriete_DP-2023-if-2.pdf
- Gouvernement du Canada. (2018). *Le stress thermique dans les lieux de travail*. <https://www.canada.ca/fr/emploi-developpement-social/services/sante-securite/rapports/stress-thermique-lieux-travail.html>
- Government of Canada. (s. d.). *It's getting hot in here! – Protecting the most vulnerable from indoor heat*. <https://science.gc.ca/site/science/en/blogs/science-health/its-getting-hot-here-protecting-most-vulnerable-indoor-heat>
- He, Y., Li, N., Zhang, W. et Peng, J. (2016). Overall and local thermal sensation & comfort in air-conditioned dormitory with hot-humid climate. *Building & Environment*, 101, 102-109. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.02.025>

- HealthLinkBC. (2021). *Comment prendre la température: enfants et adultes*.
<https://www.healthlinkbc.ca/sites/default/files/documents/healthfiles/hfile99-f.pdf>
- Heidari, S. et Sharples, S. (2002). A comparative analysis of short-term and long-term thermal comfort surveys in Iran. *Energy & Buildings*, 34(6), 607. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00011-7](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00011-7)
- Henderson, S. B., Wan, V. et Kosatsky, T. (2013). Differences in heat-related mortality across four ecological regions with diverse urban, rural, and remote populations in British Columbia, Canada. *Health & place*, 23, 48-53.
- Ho, H. C., Knudby, A., Walker, B. B. et Henderson, S. B. (2017). Delineation of spatial variability in the temperature–mortality relationship on extremely hot days in greater Vancouver, Canada. *Environmental health perspectives*, 125(1), 66-75.
- Hoet, T. (1985). *Gradient thermique*. Office québécois de la langue française.
<https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/17566277/gradient-thermique>
- Horstman, D. H. et Horvath, S. M. (1973). Cardiovascular adjustments to progressive dehydration. *Journal of Applied Physiology*, 35(4), 501-504. <https://doi.org/10.1152/jappl.1973.35.4.501>
- Hussain, J. et Cohen, M. (2018). Clinical effects of regular dry sauna bathing : a systematic review. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2018, e1857413.
<https://doi.org/10.1155/2018/1857413>
- Hwang, R. L. et Chen, C. P. (2010). Field study on behaviors and adaptation of elderly people and their thermal comfort requirements in residential environments. *Indoor Air*, 20(3), 235-245.
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2010.00649.x>
- Hymczak, H., Gołąb, A., Mendrala, K., Plicner, D., Darocha, T., Podsiadło, P., ... Kosiński, S. (2021). Core temperature measurement—Principles of correct measurement, problems, and complications. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(20), 10606.
<https://doi.org/10.3390/ijerph182010606>
- Ibrahim, A., Ali, H., Zghoul, A. et Jaradat, S. (2021). Mood state and human evaluation of the thermal environment using virtual settings. *Indoor and Built Environment*, 30(1), 70-86.
<https://doi.org/10.1177/1420326X19880325>
- Indraganti, M. (2010). Adaptive use of natural ventilation for thermal comfort in Indian apartments. *Building & Environment*, 45(6), 1490-1507. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.12.013>
- Institut de la statistique du Québec, (s. d.). *Anomalies de température*.
<https://statistique.quebec.ca/fr/produit/publication/indicateurs-progres-anomalies-temperature>
- Issa, M. A., Chebana, F., Masselot, P., Campagna, C., Lavigne, É., Gosselin, P. et Ouarda, T. B. M. J. (2021). A heat-health watch and warning system with extended season and evolving thresholds. *BMC Public Health*, 21(1), 1479. <https://doi.org/10.1186/s12889-021-10982-8>

- Ivanova, Y. M., Pallubinsky, H., Kramer, R. et van Marken Lichtenbelt, W. (2021). The influence of a moderate temperature drift on thermal physiology and perception. *Physiology & behavior*, 229(p72, 0151504), 113257. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2020.113257>
- Jacklitsch, B., Williams, W., Musolin, K., Coca, A., Kim, J.-H. et Turner N. Cincinnati. (2016). *Criteria for a recommended standard : occupational exposure to heat and hot environments (2016-106)*. Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2016-106/pdfs/2016-106.pdf>
- Jiao, Y., Yu, H., Wang, T., An, Y. et Yu, Y. (2017). Thermal comfort and adaptation of the elderly in free-running environments in Shanghai, China. *Building & Environment*, 118, 259-272. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.03.038>
- Jiao, Y., Yu, H., Yu, Y., Wang, Z. et Wei, Q. (2020). Adaptive thermal comfort models for homes for older people in Shanghai, China. *Energy & Buildings*, 215, 109918. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109918>
- Jing, S., Li, B., Tan, M. et Liu, H. (2013). Impact of relative humidity on thermal comfort in a warm environment. *Indoor & Built Environment*, 22(4), 598-607.
- Kenny, G. P., Flouris, A. D., Yagouti, A. et Notley, S. R. (2019). Towards establishing evidence-based guidelines on maximum indoor temperatures during hot weather in temperate continental climates. *Temperature (Austin, Tex.)*, 6(1), 11-36. <https://doi.org/10.1080/23328940.2018.1456257>
- Kenny, G. P., Sigal, R. J. et McGinn, R. (2016). Body temperature regulation in diabetes. *Temperature: Multidisciplinary Biomedical Journal*, 3(1), 119-145. <https://doi.org/10.1080/23328940.2015.1131506>
- Kenny, G. P., Tetzlaff, E. J., Journeay, W. S., Henderson, S. B. et O'Connor, F. K. (2024). Indoor overheating : a review of vulnerabilities, causes, and strategies to prevent adverse human health outcomes during extreme heat events. *Temperature: Multidisciplinary Biomedical Journal*, 11(3), 203-246. <https://doi.org/10.1080/23328940.2024.2361223>
- Kenny, G. P., Yardley, J., Brown, C., Sigal, R. J. et Jay, O. (2010). Heat stress in older individuals and patients with common chronic diseases. *CMAJ*, 182(10), 1053-1060. <https://doi.org/10.1503/cmaj.081050>
- Kim, S., Kim, S.-Y., Oh, J., Chae, Y., Park, J., Kim, D. et Kim, Y.-M. (2020). Effects of the 2018 heat wave on health in the elderly : implications for adaptation strategies to climate change. *Environmental analysis, health and toxicology*, 35(4), e2020024-0. <https://doi.org/10.5620/eaht.2020024>
- Kim, Y.-M., Kim, S., Cheong, H.-K., Ahn, B. et Choi, K. (2012). Effects of heat wave on body temperature and blood pressure in the poor and elderly. *Environmental health and toxicology*, 27(101570455), e2012013. <https://doi.org/10.5620/eh.2012.27.e2012013>
- Kleber, M. et Wagner, A. (2018). Investigation of indoor thermal comfort in warm-humid conditions at a German climate test facility. *Building & Environment*, 128, 216-224. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.11.018>

- Kong, D., Liu, H., Wu, Y., Li, B., Wei, S. et Yuan, M. (2019). Effects of indoor humidity on building occupants' thermal comfort and evidence in terms of climate adaptation. *Building & Environment*, 155, 298-307. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.02.039>
- Kosaka, M., Yamane, M., Ogai, R., Kato, T., Ohnishi, N. et Simon, E. (2004). Human body temperature regulation in extremely stressful environment : epidemiology and pathophysiology of heat stroke. *Journal of Thermal Biology*, 29(7), 495-501. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2004.08.019>
- Kuht, J. et Farmery, A. D. (2014). Body temperature and its regulation. *Royal College of Anaesthetists CPD, Anaesthesia and Intensive care medicine*(15:6).
- Lai, D., Liu, J., Wu, Z., Pei, J., Qi, Y., Zhang, H. et Yoshino, H. (2021). Thermal comfort diversity in Chinese urban residential buildings across various climates. *Energy & Buildings*, 231, 110632. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110632>
- Lan, L., Xia, L., Hejjo, R., Wyon, D. P. et Wargocki, P. (2020). Perceived air quality and cognitive performance decrease at moderately raised indoor temperatures even when clothed for comfort. *Indoor air*, 30(5), 841-859. <https://doi.org/10.1111/ina.12685>
- Lang, X., Wang, Z., Tian, X., Wu, Y., Zhu, S. et Liu, W. (2022a). The effects of extreme high indoor temperature on EEG during a low intensity activity. *Building & Environment*, 219, 109225. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109225>
- Lang, X., Wargocki, P. et Liu, W. (2022b). Investigating the relation between electroencephalogram, thermal comfort, and cognitive performance in neutral to hot indoor environment. *Indoor Air*, 32(1), e12941. <https://doi.org/10.1111/ina.12941>
- Label, G., Dubé, M., Bustinza, R. et Lamothe, F. (2022). *Surveillance des impacts des vagues de chaleur extrême sur la santé au Québec à l'été 2018*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/surveillance-impacts-vagues-chaleur-extreme-sur-sante-quebec-l-ete-2018>
- Lechner, S., Moosmann, C., Wagner, A. et Schweiker, M. (2021). Does thermal control improve visual satisfaction? Interactions between occupants' self-perceived control, visual, thermal, and overall satisfaction. *Indoor air*, 31(6), 2329-2349. <https://doi.org/10.1111/ina.12851>
- Leech, J. A., Nelson, W. C., Burnett, R. T., Aaron, S. et Raizenne, M. E. (2002). It's about time : a comparison of Canadian and American time-activity patterns. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 12(6), 427-432. <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500244>
- Lefebvre, M.-C. et Leclerc, J.-M. (2022). *Impacts de la climatisation des milieux intérieurs sur la santé et le confort thermique*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/3251>
- Leon, B. M. et Maddox, T. M. (2015). Diabetes and cardiovascular disease : epidemiology, biological mechanisms, treatment recommendations and future research. *World Journal of Diabetes*, 6(13), 1246-1258. <https://doi.org/10.4239/wjd.v6.i13.1246>

- Li, B., Du, C., Tan, M., Liu, H., Essah, E. et Yao, R. (2018). A modified method of evaluating the impact of air humidity on human acceptable air temperatures in hot-humid environments. *Energy & Buildings*, 158, 393-405. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.062>
- Li, B., Li, W., Liu, H., Yao, R., Tan, M., Jing, S. et Ma, X. (2010a). Physiological expression of human thermal comfort to indoor operative temperature in the non-HVAC environment. *Indoor and Built Environment*, 19(2), 221-229. <https://doi.org/10.1177/1420326X10365213>
- Li, B., Tan, M., Liu, H., Ma, X. et Zhang, W. (2010b). Occupant's perception and preference of thermal environment in free-running buildings in China. *Indoor and Built Environment*, 19(4), 405-412. <https://doi.org/10.1177/1420326X10377545>
- Libert, J. P., Bach, V., Johnson, L. C., Ehrhart, J., Wittersheim, G. et Keller, D. (1991). Relative and combined effects of heat and noise exposure on sleep in humans. *Sleep*, 14(1), 24-31. <https://doi.org/10.1093/sleep/14.1.24>
- Lindemann, U., Stotz, A., Beyer, N., Oksa, J., Skelton, D. A., Becker, C., ... Klenk, J. (2017). Effect of indoor temperature on physical performance in older adults during days with normal temperature and heat waves. *International journal of environmental research and public health*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/ijerph14020186>
- Liu, J., Varghese, B. M., Hansen, A., Zhang, Y., Driscoll, T., Morgan, G., ... Bi, P. (2022). Heat exposure and cardiovascular health outcomes : a systematic review and meta-analysis. *The Lancet Planetary Health*, 6(6), e484-e495. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00117-6](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00117-6)
- Liu, W., Lian, Z. et Liu, Y. (2008). Heart rate variability at different thermal comfort levels. *European journal of applied physiology*, 103(3), 361-366. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0718-6>
- Loughnan, M., Carroll, M. et Tapper, N. J. (2015). The relationship between housing and heat wave resilience in older people. *International journal of biometeorology*, 59(9), 1291-1298. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0939-9>
- Luo, M., Zhou, X., Zhu, Y. et Sundell, J. (2016). Revisiting an overlooked parameter in thermal comfort studies, the metabolic rate. *Energy & Buildings*, 118, 152-159. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.041>
- Mak, Y. (2015). *What is cognition?* Cambridge Cognition. <https://cambridgecognition.com/what-is-cognition/>
- Malik, J. et Bardhan, R. (2022). Thermal comfort perception in naturally ventilated affordable housing of India. *Advances in Building Energy Research*, 16(3), 385-413. <https://doi.org/10.1080/17512549.2021.1907224>
- Mason, H. M., King, J. C., Peden, A. E., Watt, K., Bosley, E., Fitzgerald, G., ... Franklin, R. C. (2023). Determining the impact of heatwaves on emergency ambulance calls in Queensland : a retrospective population-based study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/ijerph20064875>

- Matz, C. J., Stieb, D. M., Davis, K., Egyed, M., Rose, A., Chou, B. et Brion, O. (2014). Effects of age, season, gender and urban-rural status on time-activity : Canadian human activity pattern survey 2 (CHAPS 2). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(2), 2108-2124. <https://doi.org/10.3390/ijerph110202108>
- McCormack, M. C., Belli, A. J., Waugh, D., Matsui, E. C., Peng, R. D., Williams, D. L... Hansel, N. N. (2016). Respiratory effects of indoor heat and the interaction with air pollution in chronic obstructive pulmonary disease. *Annals of the American Thoracic Society*, 13(12), 2125-2131.
- McGarr, G. W., Meade, R. D. et Kenny, G. P. (2023). Indoor overheating influences self-reported symptoms and mood-state in older adults during a simulated heatwave : effects of mid-day cooling centre use. *Physiology & Behavior*, 271, 114335. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2023.114335>
- McLean, K. E., Stranberg, R., MacDonald, M., Richardson, G. R., Kosatsky, T. et Henderson, S. B. (2018). Establishing heat alert thresholds for the varied climatic regions of British Columbia, Canada. *International journal of environmental research and public health*, 15(9), 2048.
- Meade, R. D., Akerman, A. P., Notley, S. R., Kirby, N. V., Sigal, R. J. et Kenny, G. P. (2024). Effects of daylong exposure to indoor overheating on thermal and cardiovascular strain in older adults : a randomized crossover trial. *Environmental Health Perspectives*, 132(2), 27003. <https://doi.org/10.1289/EHP13159>
- Meade, R. D., Akerman, A. P., Notley, S. R., McGinn, R., Poirier, P., Gosselin, P. et Kenny, G. P. (2020). Physiological factors characterizing heat-vulnerable older adults : a narrative review. *Environment International*, 144, 105909. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105909>
- Meade, R. D., Notley, S. R., Akerman, A. P., McCormick, J. J., King, K. E., Sigal, R. J. et Kenny, G. P. (2023). Efficacy of cooling centers for mitigating physiological strain in older adults during daylong heat exposure : a laboratory-based heat wave simulation. *Environmental Health Perspectives*, 131(6), 067003. <https://doi.org/10.1289/EHP11651>
- Mishra, A. K., Loomans, M. G. L. C. et Hensen, J. L. M. (2016). Thermal comfort of heterogeneous and dynamic indoor conditions –An overview. *Building & Environment*, 109, 82-100. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.09.016>
- Morris, N. B., English, T., Hospers, L., Capon, A. et Jay, O. (2019). The effects of electric fan use under differing resting heat index conditions : a clinical trial. *Annals of Internal Medicine*, 171(9), 675-677. <https://doi.org/10.7326/M19-0512>
- Nunneley, S. A., Martin, C. C., Slason, J. W., Hearon, C. M., Nickerson, L. D. H. et Mason, P. A. (2002). Changes in regional cerebral metabolism during systemic hyperthermia in humans. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 92(2), 846-851. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00072.2001>
- Office québécois de la langue française. (s. d.). *Métabolisme*. <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/17027727/metabolisme>
- Okamoto-Mizuno, K. et Mizuno, K. (2012). Effects of thermal environment on sleep and circadian rhythm. *Journal of Physiological Anthropology*, 31(1), 14. <https://doi.org/10.1186/1880-6805-31-14>

- Organisation mondiale de la Santé. (2018). *Lignes directrices de l'OMS relatives au logement et à la santé : résumé d'orientation*. <https://iris.who.int/handle/10665/279601>
- Ormandy, D. et Ezratty, V. (2012). Health and thermal comfort : from WHO guidance to housing strategies. *Energy Policy*, 49, 116-121. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.003>
- Ouranos. (s. d.). *Températures – Changements projetés*. <https://www.ouranos.ca/fr/phenomenes-climatiques/temperatures-changements-projetes>
- Ozarisoy, B. et Altan, H. (2021). Regression forecasting of « neutral » adaptive thermal comfort : a field study investigation in the south-eastern Mediterranean climate of Cyprus. *Building & Environment*, 202, 108013. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108013>
- Paradis, A., Poulin, P. et Lévesque, B. (2019). *Seuils de température sécuritaires en milieux intérieurs : état des connaissances*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/bise/seuils-de-temperature-securitaires-en-milieux-interieurs-etat-des-connaissances>
- Prévost, H. (2022, 18 juillet). *Plus de 50 % des chambres de CHSLD toujours sans climatisation*. Radio-Canada. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1899008/chsld-climatisation-aqrp-etude>
- Price, K., Perron, S. et King, N. (2013). Implementation of the Montreal heat response plan during the 2010 heat wave. *Canadian Journal of Public Health = Revue Canadienne De Sante Publique*, 104(2), e96-100. <https://doi.org/10.1007/BF03405667>
- Pryor, J. L., Pryor, R. R., Vandermark, L. W., Adams, E. L., VanScoy, R. M., Casa, D. J., ... Maresh, C. M. (2019). Intermittent exercise-heat exposures and intense physical activity sustain heat acclimation adaptations. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(1), 117-122. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.06.009>
- Quick, M. (2024). *Les répercussions des événements de chaleur extrême sur la mortalité dont les causes sont d'origine non accidentelle, cardiovasculaire et respiratoire : Une analyse de 12 villes canadiennes, de 2000 à 2020*. Statistique Canada. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/fr/pub/82-003-x/2024006/article/00001-fra.pdf?st=RLIzmcZG>
- Rai, M., Stafoggia, M., de' Donato, F., Scortichini, M., Zafeiratou, S., Vazquez Fernandez, L., ... Breitner, S. (2023). Heat-related cardiorespiratory mortality : effect modification by air pollution across 482 cities from 24 countries. *Environment International*, 174, 107825. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107825>
- Ramar, K., Malhotra, R. K., Carden, K. A., Martin, J. L., Abbasi-Feinberg, F., Aurora, R. N., Kapur, V. K., ... Trotti, L. M. (2021). Sleep is essential to health : an American Academy of Sleep Medicine position statement. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 17(10), 2115-2119. <https://doi.org/10.5664/jcsm.9476>
- Rawal, R., Shukla, Y., Vardhan, V., Asrani, S., Schweiker, M., de Dear, R., ... Somani, G. (2022). Adaptive thermal comfort model based on field studies in five climate zones across India. *Building & Environment*, 219, 109187. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109187>

- Gouvernement du Québec. (2023). *S-2.1, r. 13 – Règlement sur la santé et la sécurité du travail*. <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/s-2.1,%20r.%2013>
- Rijal, H. B., Humphreys, M. A. et Nicol, J. F. (2019). Adaptive model and the adaptive mechanisms for thermal comfort in Japanese dwellings. *Energy & Buildings*, 202, 109371. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109371>
- Robert, O. et Déry, V. (2020). *Cadre de référence sur la révision par les pairs des publications scientifiques de l'Institut national de santé publique du Québec*. <http://www.deslibris.ca/ID/10105464>
- Romanovsky, A. A. (2018). The thermoregulation system and how it works. *Handbook of Clinical Neurology*, 156, 3-43. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63912-7.00001-1>
- Rony, M. K. K. et Alamgir, H. M. (2023). High temperatures on mental health : recognizing the association and the need for proactive strategies – A perspective. *Health Science Reports*, 6(12), e1729. <https://doi.org/10.1002/hsr2.1729>
- Rupp, R. F., Vásquez, N. G. et Lamberts, R. (2015). A review of human thermal comfort in the built environment. *Energy & Buildings*, 105, 178-205. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.047>
- Safarova, S., van Hoof, J., Law, L., Zander, K. K. et Garnett, S. T. (2022). Thermal comfort in a tropical savanna climate : the case of home occupants in Darwin, Australia. *Energy & Buildings*, 266, 112074. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112074>
- Sanderson, M., Arbuthnott, K., Kovats, S., Hajat, S. et Falloon, P. (2017). The use of climate information to estimate future mortality from high ambient temperature : a systematic literature review. *PLOS ONE*, 12(7), e0180369. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180369>
- Santé Canada. (2011). *Communiquer les risques des périodes de chaleur accablante pour la santé*. <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/sante-environnement-milieu-travail/rapports-publications/changement-climatique-sante/communiquer-risques-periodes-chaleur-accablante-sante-trousse-intention-responsables-sante-publique-gestion-urgences-sante-canada-2011.html>
- Santé publique France. (2024). *Canicule et santé. Bulletin de santé publique, bilan de l'été 2023*. <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/climat/fortes-chaleurs-canicule/documents/bulletin-national/canicule-et-sante.-bulletin-de-sante-publique-bilan-de-l-ete-2023>
- Schaffer, A., Muscatello, D., Broome, R., Corbett, S. et Smith, W. (2012). Emergency department visits, ambulance calls, and mortality associated with an exceptional heat wave in Sydney, Australia, 2011 : a time-series analysis. *Environmental Health*, 11(1), 3. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-11-3>
- Schellen, L., van Marken Lichtenbelt, W. D., Loomans, M. G. L. C., Toftum, J. et de Wit, M. H. (2010). Differences between young adults and elderly in thermal comfort, productivity, and thermal physiology in response to a moderate temperature drift and a steady-state condition. *Indoor air*, 20(4), 273-283. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2010.00657.x>

- Silveira, I. H., Cortes, T. R., Bell, M. L. et Junger, W. L. (2023). Effects of heat waves on cardiovascular and respiratory mortality in Rio de Janeiro, Brazil. *PLOS ONE*, 18(3).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283899>
- Soebarto, V. et Bennetts, H. (2014). Thermal comfort and occupant responses during summer in a low to middle income housing development in South Australia. *Building & Environment*, 75, 19-29.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.01.013>
- Statistique Canada. (2021). *Tension artérielle des adultes, 2016-2019*.
<https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/82-625-x/2021001/article/00001-fra.htm>
- Stotz, A., Rapp, K., Oksa, J., Skelton, D. A., Beyer, N., Klenk, J., ... Lindemann, U. (2014). Effect of a brief heat exposure on blood pressure and physical performance of older women living in the community—a pilot-study. *International journal of environmental research and public health*, 11(12), 12623-12631.
<https://doi.org/10.3390/ijerph111212623>
- Taylor, N. A. S., Tipton, M. J. et Kenny, G. P. (2014). Considerations for the measurement of core, skin and mean body temperatures. *Journal of Thermal Biology*, 46, 72-101.
<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2014.10.006>
- Teyton, A., Tremblay, M., Tardif, I., Lemieux, M. A., Nour, K. et Benmarhnia, T. (2022). A longitudinal study on the impact of indoor temperature on heat-related symptoms in older adults living in non-air-conditioned households. *Environmental Health Perspectives*, 130(7), 077003.
<https://doi.org/10.1289/EHP10291>
- Thompson, R., Hornigold, R., Page, L. et Waite, T. (2018). Associations between high ambient temperatures and heat waves with mental health outcomes : a systematic review. *Public Health*, 161.
<https://doi.org/10.1016/j.puhe.2018.06.008>
- Tian, X., Fang, Z. et Liu, W. (2021). Decreased humidity improves cognitive performance at extreme high indoor temperature. *Indoor Air*, 31(3), 608-627. <https://doi.org/10.1111/ina.12755>
- Tsuji, B., Hayashi, K., Kondo, N. et Nishiyasu, T. (2016). Characteristics of hyperthermia-induced hyperventilation in humans. *Temperature: Multidisciplinary Biomedical Journal*, 3(1), 146-160.
<https://doi.org/10.1080/23328940.2016.1143760>
- Uejio, C. K., Joiner, A. P., Gonsoroski, E., Tamerius, J. D., Jung, J., Moran, T. P. et Yancey, A. H. (2022). The association of indoor heat exposure with diabetes and respiratory 9-1-1 calls through emergency medical dispatch and services documentation. *Environmental Research*, 212, 113271.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113271>
- Uejio, C. K., Tamerius, J. D., Vredenburg, J., Asaeda, G., Isaacs, D. A., Braun, J., ... Freese, J. P. (2016). Summer indoor heat exposure and respiratory and cardiovascular distress calls in New York City, NY, U.S. *Indoor Air*, 26(4), 594-604. <https://doi.org/10.1111/ina.12227>
- van Loenhout, J. A. F., le Grand, A., Duijm, F., Greven, F., Vink, N. M., Hoek, G. et Zuurbier, M. (2016). The effect of high indoor temperatures on self-perceived health of elderly persons. *Environmental Research*, 146, 27-34. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.12.012>

- Vecellio, D. J., Wolf, S. T., Cottle, R. M. et Kenney, W. L. (2022). Evaluating the 35°C wet-bulb temperature adaptability threshold for young, healthy subjects (PSU HEAT Project). *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 132(2), 340-345. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00738.2021>
- Vellei, M., Chinazzo, G., Zitting, K.-M. et Hubbard, J. (2021). Human thermal perception and time of day : a review. *Temperature (Austin, Tex.)*, 8(4), 320-341. <https://doi.org/10.1080/23328940.2021.1976004>
- Wang, D., Chen, G., Song, C., Liu, Y., He, W., Zeng, T. et Liu, J. (2019). Experimental study on coupling effect of indoor air temperature and radiant temperature on human thermal comfort in non-uniform thermal environment. *Building & Environment*, 165, 106387. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106387>
- Wang, J. et Norback, D. (2022). Subjective indoor air quality and thermal comfort among adults in relation to inspected and measured indoor environment factors in single-family houses in Sweden-the BETSI study. *The Science of the total environment*, 802(uj0, 0330500), 149804. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149804>
- Wang, Z., Zhang, L., Zhao, J. et He, Y. (2010). Thermal comfort for naturally ventilated residential buildings in Harbin. *Energy & Buildings*, 42(12), 2406-2415. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.08.010>
- Wei, D., Zhao, G., Liu, S. et Yang, L. (2022). Indoor thermal comfort in a rural dwelling in southwest China. *Frontiers in Public Health*, 10, 1029390. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1029390>
- Weilhammer, V., Schmid, J., Mittermeier, I., Schreiber, F., Jiang, L., Pastuhovic, V., ... Heinze, S. (2021). Extreme weather events in Europe and their health consequences – A systematic review. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 233, 113688. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113688>
- White-Newsome, J. L., Sánchez, B. N., Jolliet, O., Zhang, Z., Parker, E. A., Dvonch, J. T. et O'Neill, M. S. (2012). Climate change and health : indoor heat exposure in vulnerable populations. *Environmental research*, 112, 20-27. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.10.008>
- Williams, A. A., Spengler, J. D., Catalano, P., Allen, J. G. et Cedeno-Laurent, J. G. (2019). Building vulnerability in a changing climate : indoor temperature exposures and health outcomes in older adults living in public housing during an extreme heat event in Cambridge, MA. *International journal of environmental research and public health*, 16(13). <https://doi.org/10.3390/ijerph16132373>
- Willie, C. K., Tzeng, Y.-C., Fisher, J. A. et Ainslie, P. N. (2014). Integrative regulation of human brain blood flow. *The Journal of Physiology*, 592(5), 841-859. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2013.268953>
- Wong, L. T., Fong, K. N. K., Mui, K. W., Wong, W. W. Y. et Lee, L. W. (2009). A field survey of the expected desirable thermal environment for older people. *Indoor and Built Environment*, 18(4), 336-345. <https://doi.org/10.1177/1420326X09337044>
- World Health Organization. (2018). *WHO housing and health guidelines*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241550376>
- World Health Organization, Head, K., Clarke, M., Bailey, M., Livinski, A., Ludolph, R. et Singh, A. (2018). *WHO Housing and health guidelines : web annex D: report of the systematic review on the effect of indoor heat on health*. <https://iris.who.int/handle/10665/275842>

- World Health Organization. Regional Office for Europe. (1984). *The effects of the indoor housing climate on the health of the elderly – Report on a who working group: Graz, Austria, 20-24 September 1982*. <https://books.google.ca/books?id=8T8Rg38niicC>
- Wu, Y., Liu, H., Li, B., Kosonen, R., Kong, D., Zhou, S. et Yao, R. (2019). Thermal adaptation of the elderly during summer in a hot humid area : psychological, behavioral, and physiological responses. *Energy & Buildings*, 203, 109450. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109450>
- Wu, Z., Li, N. et Schiavon, S. (2022). Experimental evaluation of thermal comfort, SBS symptoms and physiological responses in a radiant ceiling cooling environment under temperature step-changes. *Building & Environment*, 224, 109512. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109512>
- Xiong, Y., Liu, J. et Kim, J. (2019). Understanding differences in thermal comfort between urban and rural residents in hot summer and cold winter climate. *Building & Environment*, 165, 106393. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106393>
- Xu, C., Li, S. et Zhang, X. (2020). Energy flexibility for heating and cooling in traditional Chinese dwellings based on adaptive thermal comfort : a case study in Nanjing. *Building & Environment*, 179, 106952. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106952>
- Xu, C., Li, S., Zhang, X. et Shao, S. (2018). Thermal comfort and thermal adaptive behaviours in traditional dwellings : a case study in Nanjing, China. *Building & Environment*, 142, 153-170. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.06.006>
- Xystouris, K. S., Fokaides, P. A., Antoniadou, P. et Papadopoulos, A. M. (2020). Indoor thermal comfort conditions in summer under subtropical climate conditions. *International Journal of Sustainable Energy*, 39(4), 396-411. <https://doi.org/10.1080/14786451.2019.1701472>
- Yang, W. et Zhang, G. (2008). Thermal comfort in naturally ventilated and air-conditioned buildings in humid subtropical climate zone in China. *International Journal of Biometeorology*, 52(5), 385-398. <https://doi.org/10.1007/s00484-007-0133-4>
- Yang, Y., Bai, Y., Zhang, R. et Zhu, X. (2022). The effect of thermal environment on stress and thermal comfort of college students under acute stress. *Indoor and Built Environment* (31)9. <https://doi.org/10.1177/1420326X221086193>
- Ye, X. J., Zhou, Z. P., Lian, Z. W., Liu, H. M., Li, C. Z. et Liu, Y. M. (2006). Field study of a thermal environment and adaptive model in Shanghai. *Indoor air*, 16(4), 320-326.
- Yeganeh, A. J., Reichard, G., McCoy, A. P., Bulbul, T. et Jazizadeh, F. (2018). Correlation of ambient air temperature and cognitive performance : a systematic review and meta-analysis. *Building and Environment*, 143, 701-716. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.07.002>
- Yigit, A., Atmaca, I., Arslanoglu, N. et Sivrioglu, K. (2015). Experimental investigation of the effect of thermal comfort parameters on cervical range of motion. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 50, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2015.08.009>

- Yu, J., Ouyang, Q., Zhu, Y., Shen, H., Cao, G. et Cui, W. (2012). A comparison of the thermal adaptability of people accustomed to air-conditioned environments and naturally ventilated environments. *Indoor Air*, 22(2), 110-118. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2011.00746.x>
- Yu, W., Li, B., Yao, R., Wang, D. et Li, K. (2017). A study of thermal comfort in residential buildings on the Tibetan Plateau, China. *Building & Environment*, 119, 71-86. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.04.009>
- Zafeiratou, S., Samoli, E., Analitis, A., Gasparri, A., Stafoggia, M., de' Donato, F. K., ... Katsouyanni, K. (2023). Assessing heat effects on respiratory mortality and location characteristics as modifiers of heat effects at a small area scale in Central-Northern Europe. *Environmental Epidemiology*, 7(5), e269. <https://doi.org/10.1097/EE9.0000000000000269>
- Zhang, X., Hu, S., Ji, Y., Ma, H. et Liu, G. (2022). Comfortable and partial warm environment increases salivary S-IgE concentration in healthy adults. *Energy & Buildings*, 256, 111686. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111686>
- Zhang, Y., Chen, H., Wang, J. et Meng, Q. (2016). Thermal comfort of people in the hot and humid area of China-impacts of season, climate, and thermal history. *Indoor Air*, 26(5), 820-830. <https://doi.org/10.1111/ina.12256>
- Zheng, G., Li, K. et Wang, Y. (2019). The effects of high-temperature weather on human sleep quality and appetite. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(2), 270. <https://doi.org/10.3390/ijerph16020270>
- Zheng, W., Shao, T., Lin, Y., Wang, Y., Dong, C. et Liu, J. (2022). A field study on seasonal adaptive thermal comfort of the elderly in nursing homes in Xi'an, China. *Building & Environment*, 208, 108623. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108623>
- Zuo, C., Luo, L. et Liu, W. (2021). Effects of increased humidity on physiological responses, thermal comfort, perceived air quality, and Sick Building Syndrome symptoms at elevated indoor temperatures for subjects in a hot-humid climate. *Indoor Air*, 31(2), 524-540. <https://doi.org/10.1111/ina.12739>

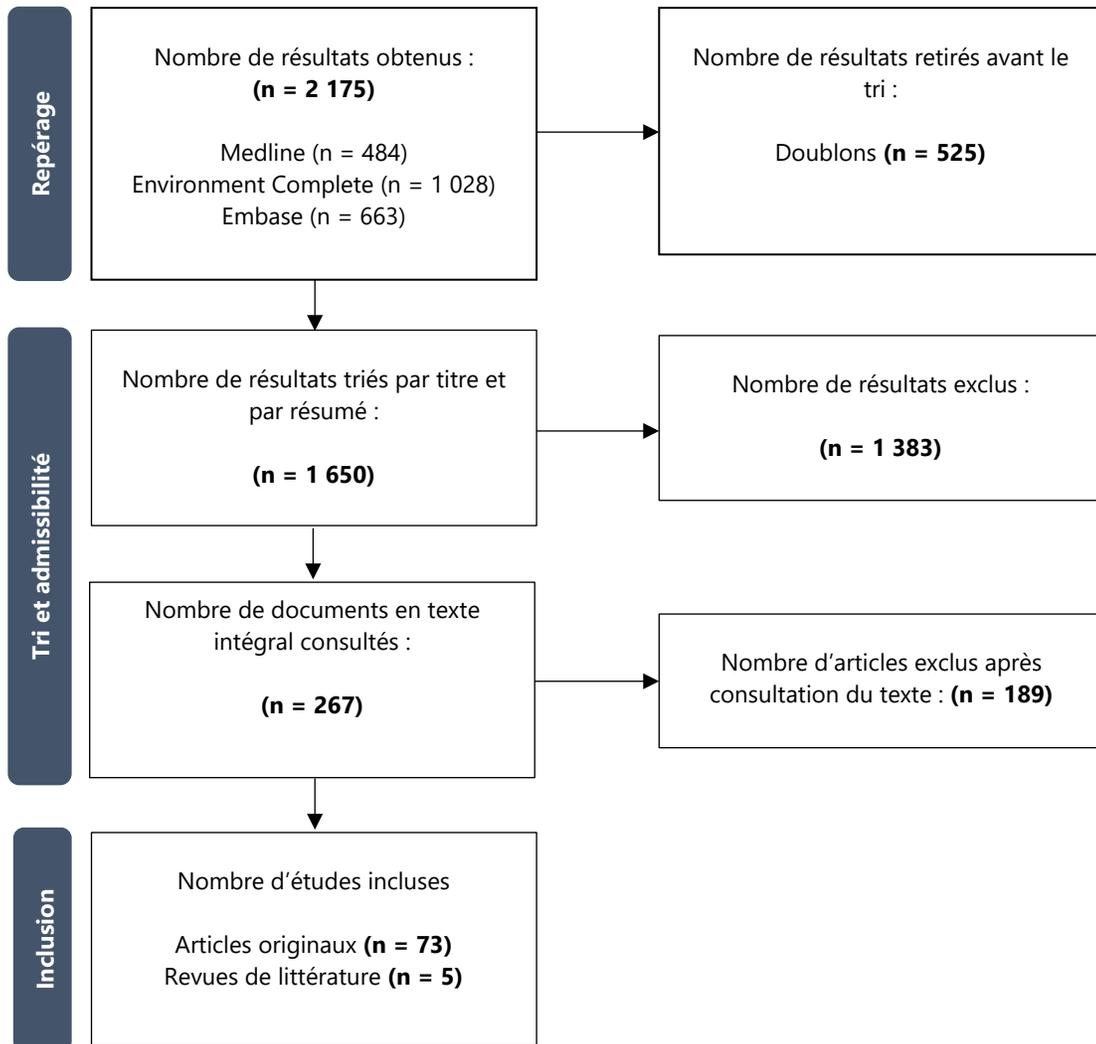
ANNEXE 1 MOTS-CLÉS CONSIDÉRÉS DANS LA STRATÉGIE DE RECHERCHE DOCUMENTAIRE

Concept 1 : environnement intérieur	Concept 2 : chaleur	Concept 3 : effets sanitaires
((indoor* or interior).ti,ab,kf. or housing/)	((heat or heatwave or ((high* or extreme or increas* or index or indices) adj2 temperature*) or (hot not « hot spot* ») or hotter or hottest or "extreme weather" or (thermal adj (comfort or environment)) or warm or warmth).ti,kf. or *hot temperature/ or *extreme heat/ or *heat stroke/ or *heat stress disorders/ or *heat-shock response/ or *heat exhaustion/)	((diabet* or respiratory or cardiovascular* or hypertension or arrhythmia or "blood pressure" or influenza or "heart failure" or cognitive or cognition or morbidit* or comorbidit* or mortalit* or death* or health or disease* or illness* or symptom* or threshold* or "Dose-response" or "Dose effect" or "thermal comfort").ti,ab,kf.)

ANNEXE 2 CRITÈRES DE SÉLECTION DES OUVRAGES RETENUS DANS LE CADRE DU PRÉSENT ÉTAT DES CONNAISSANCES

Critères	Inclusion	Exclusion
Type de document	Article scientifique présentant des données originales	Lettre, éditorial, résumé de conférence et essai
Révision par les pairs	Publication révisée par les pairs	Publication non révisée par les pairs
Méthodologie	Article dont la méthodologie est détaillée	Méthodologie absente
Langue de publication	Français ou anglais	Langue autre que le français ou l'anglais
Effet de la chaleur	Variable dépendante se rapportant à la mortalité; des hospitalisations; des consultations aux urgences; des consultations autres (p. ex. transport ambulancier); des effets cardiovasculaires; des effets respiratoires; des effets neurocognitifs; des issues de grossesse; d'autres pathologies; des effets physiologiques (température corporelle, fréquence cardiaque, tension artérielle, sudation); du confort; combinaison de plusieurs effets	Les effets liés à la chaleur, tels que définis dans les critères d'inclusion, associés à des variables indépendantes (variable explicative possédant une portée secondaire)
Type d'exposition	Chaleur en milieu intérieur Trois saisons (printemps, été, automne) Exposition individuelle mesurée à la température	Chaleur extérieure exclusivement Chaleur en milieu intérieur durant la saison hivernale Refroidissement et climatisation (incluant ouverture fenêtre et ventilation) Dispositifs spécifiques de production de la chaleur (lampes et radiateurs)
Type de milieu	Environnements intérieurs résidentiels (incluant les résidences pour aînés) Chambre d'expérimentation	Milieux de travail ou commercial Milieux mixtes (services de garde et écoles)
Population	Humains – Population générale	Animaux (incluant insectes) Microorganismes Humain – Travailleur(-euse)s (exclusivement)
Résultats liés aux objectifs et aux conclusions	Article dont les résultats sont liés aux objectifs de l'étude et les conclusions aux résultats	Article présentant une inadéquation entre les objectifs, les résultats et les conclusions

ANNEXE 3 DIAGRAMME DES RÉSULTATS DE LA RECHERCHE DOCUMENTAIRE



ANNEXE 4 ÉLÉMENTS DESCRIPTIFS DES ÉTUDES INCLUSES

Auteur(-trice)s (année)	Type de devis	Pays	Nombre de participant(e)s	Âge	Sexe	Température (°C)	Humidité relative (%)	Durée d'exposition
Ahmed <i>et al.</i> (2020)	Expérimental	Arabie-Saoudite	499	De 16 à 23 ans	499 femmes	20; 23; 25	De 39 à 45	60 minutes
Bae <i>et al.</i> (2017)	Expérimental et observationnel	Corée du Sud	324	65 ans et plus	125 hommes et 198 femmes	20; 25; 30	50	100 minutes
Baizhan <i>et al.</i> (2011)	Transversal	Chine	189	ND	ND	ND	ND	6 mois
Basu et Samet (2002)	Longitudinal	États-Unis	42	De 65 à plus de 85 ans	6 hommes et 36 femmes	De 29,4 à 39,4	50	2 jours
Becerra-Santacruz et Lawrence (2016)	Longitudinal	Mexique	386	De 12 à 74 ans; âge moyen de 30 ans; âge médian de 28 ans	Ratio 3 femmes pour 1 homme	Températures maximales moyennes : 32,07 Températures minimales moyennes : 23,42	ND	42 jours
Cedeno Laurent <i>et al.</i> (2018)	Cohorte	États-Unis	Groupe sans climatisation : 20 Groupe avec climatisation : 24	Groupe sans climatisation : de 18 à 39 ans; 20,3 ± 2,4 ans Groupe avec climatisation : de 18 à 23 ans; âge moyen de 20,1 ± 0,1 ans	Groupe sans climatisation : 11 hommes et 9 femmes Groupe avec climatisation : 12 hommes et 12 femmes	De 21,4 à 26,3	De 61,4 à 73,3	12 jours

Éléments descriptifs des études incluses (suite)

Auteur(-trice)s (année)	Type de devis	Pays	Nombre de participant(e)s	Âge	Sexe	Température (°C)	Humidité relative (%)	Durée d'exposition
Childs <i>et al.</i> (2020)	Cohorte	Royaume-Uni	60	De 60 à plus de 90 ans	Groupe avec démence : 10 hommes et 24 femmes Groupe sans démence : 12 hommes et 23 femmes	Groupe avec démence : température moyenne de 23,1 ± 0,2 Groupe sans démence : température moyenne de 24,1 ± 0,17	Groupe avec démence : HR moyenne de 49,0 ± 1,1 Groupe sans démence : HR moyenne de 52,1 ± 1,6	12 mois
Chong <i>et al.</i> (2019)	Expérimental	Chine	110	De 18 à 25 ans; âge moyen de 22 ± 1,8 ans	90 hommes et 20 femmes	36	70	3 expositions de 120 minutes chacune
Dahlan <i>et al.</i> (2008)	Transversal, rétrospectif et cas-témoins	Malaisie	208	De 18 à 26 ans	208 femmes	Chambre 1 : de 27 à 31 Chambre 2 : de 26 à 41	De 49,3 à 80,4	1 mois
Djamila <i>et al.</i> (2013)	Longitudinal	Malaisie	890	De 15 à 80 ans	373 hommes et 517 femmes	Température moyenne de 30,74 ± 1,47	ND	12 mois
Fan <i>et al.</i> (2019)	Expérimental	Chine	32	Hommes : âge moyen de 23 ± 2 ans Femmes : âge moyen de 22 ± 1 ans	16 hommes et 16 femmes	26; 30; 33; 37	70	175 minutes
Fink <i>et al.</i> (2015)	Longitudinal	Slovénie	Groupe avec maladie cardiovasculaire : 50 Groupe sans maladie cardiovasculaire : 27	Groupe avec maladie cardiovasculaire : âge moyen de 84 ans Groupe sans maladie cardiovasculaire : âge moyen de 83 ans	Groupe avec maladie cardiovasculaire : 23 hommes et 27 femmes Groupe sans maladie cardiovasculaire : 13 hommes et 14 femmes	De 22 à 33,6	ND	3 mois

Éléments descriptifs des études incluses (suite)

Auteur(-trice)s (année)	Type de devis	Pays	Nombre de participant(e)s	Âge	Sexe	Température (°C)	Humidité relative (%)	Durée d'exposition
Fink <i>et al.</i> (2017)	Longitudinal	Slovénie	Groupe avec maladie cardiovasculaire : 50 Groupe sans maladie cardiovasculaire : 27	Groupe avec maladie cardiovasculaire : âge moyen de 84 ans Groupe sans maladie cardiovasculaire : âge moyen de 83 ans	Groupe avec maladie cardiovasculaire : 23 hommes et 27 femmes Groupe sans maladie cardiovasculaire : 13 hommes et 14 femmes	De 22 à 33,6	46	80 jours
He <i>et al.</i> (2016)	Transversal	Chine	467	De 17 à 20 ans; de 21 à 25 ans; de 25 ans et plus	193 hommes et 274 femmes	De 20,6 à 29,3	De 46 à 91; HR moyenne de 64,62	3 mois
Heidari et Sharples (2002)	Longitudinal	Iran	891	De 12 à 75 ans, âge moyen de 36 ans	448 hommes et 443 femmes	De 15,4 à 32,7; température moyenne de 30	ND	29 jours
Hwang et Chen (2010)	Longitudinal	Taiwan	87	De 60 à 82 ans; âge moyen de 71 ans	37 hommes et 50 femmes	De 13,8 à 35,2	De 43 à 92	4 mois
Ibrahim <i>et al.</i> (2021)	Expérimental	Jordanie	44	De 18 à 22 ans	22 hommes et 22 femmes	De 15; 21; 27	De 30 à 50	60 minutes
Indraganti <i>et al.</i> (2010)	Transversal et longitudinal	Inde	113	De 35 à 50 ans	32 hommes et 61 femmes	De 30,3 à 39,3	De 14 à 76	3 mois
Ivanova <i>et al.</i> (2021)	Expérimental	Pays-Bas	16	De 20 à 40 ans	16 hommes	De 17 à 25	49,04 ± 10,28	510 minutes
Jiao <i>et al.</i> (2017)	Longitudinal	Chine	672	De 70 ans et plus	ND	De 25,6 à 32,3	De 40,3 à 83,2	12 mois
Jiao <i>et al.</i> (2020)	Longitudinal	Chine	1 040	De 70 ans et plus	107 hommes et 223 femmes	De 25,6 à 32,3	De 40,3 à 83,2	28 mois
Jing <i>et al.</i> (2013)	Expérimental	Chine	20	Hommes : âge moyen de 23,5 ans Femmes : âge moyen de 23,9 ans	10 hommes et 10 femmes	26; 28; 30	40; 60; 80	90 minutes
Kim <i>et al.</i> (2012)	Cohorte	Corée	20	Âge moyen de 74,3 ± 8,1 ans	15 hommes et 5 femmes	De 29,1 à 34,8	70	11 jours
Kim <i>et al.</i> (2020)	Cohorte	Corée	104	De 65 à 96 ans	29 hommes et 75 femmes	De 22,9 à 38,3	66,5	19 jours

Éléments descriptifs des études incluses (suite)

Auteur(-trice)s (année)	Type de devis	Pays	Nombre de participant(e)s	Âge	Sexe	Température (°C)	Humidité relative (%)	Durée d'exposition
Kleber et Wagner (2018)	Expérimental	Allemagne	136	De 18 à 32 ans; de 50 ans et plus	Hommes et femmes, mais pas de précisions sur le nombre	26; 28; 30	50; 65; 80	360 minutes
Kong <i>et al.</i> (2019)	Expérimental	Chine	24	De 22 à 24 ans	12 hommes et 12 femmes	25; 28	De 20 à 90	180 minutes
Lai <i>et al.</i> (2021)	Longitudinal	Chine	ND	De 23 à 67 ans	Entre 44 % et 55 % d'hommes. Entre 45 % et 56 % de femmes	De 17 à 34	De 26 à 75	12 mois
Lan <i>et al.</i> (2020)	Expérimental	Danemark	12	De 18 à 30 ans	6 hommes et 6 femmes	23; 27	De 35 à 42	240 minutes
Lang <i>et al.</i> (2022a)	Expérimental	Chine	48	Âge moyen de 21,6 ± 1,7 ans	24 hommes et 24 femmes	26; 39	50; 70	140 minutes
Lang <i>et al.</i> (2022b)	Expérimental	Chine	32	Âge moyen de 23 ± 2 ans	16 hommes et 16 femmes	26; 30; 33; 37	50; 70	175 minutes
Lechner <i>et al.</i> (2021)	Expérimental	Allemagne	61	De 18 à 32 ans; de 50 à 70 ans	33 hommes et 28 femmes	20; 25; 30	ND	8 expositions de 180 minutes
Li <i>et al.</i> (2010a)	Expérimental	Chine	388	Femmes : âge moyen de 26,2 ± 1,5 ans Hommes : âge moyen de 22,2 ± 1,5 ans	194 hommes et 194 femmes	De 6,6 à 36,3	De 40,2 à 93	60 à 120 minutes
Li <i>et al.</i> (2010b)	Longitudinal	Chine	1 829	< 20 ans; De 20 à 30 ans	709 hommes et 1 120 femmes	Année entière : de 9,1 à 34,1 Été : de 24 à 34,1	Année entière : de 40 à 88 Été : de 45 à 81	11 mois
Li <i>et al.</i> (2018)	Expérimental	Chine	20	Âge moyen de 23,7 ± 1,2 ans	10 hommes et 10 femmes	26; 28; 30; 32	40; 60; 90	90 minutes
Lindemann <i>et al.</i> (2017)	Longitudinal	Allemagne	81	Âge moyen de 80,9 ans	13 hommes et 68 femmes	< 22; 22 à 23,9; 24 à 25,9; 26 à 27,9; > 27,9	ND	30 minutes une fois par semaine toutes les quatre semaines
Liu <i>et al.</i> (2008)	Expérimental	Chine	33	Âge moyen de 23,9 ± 0,4 ans	21 hommes et 12 femmes	21; 24; 26; 28; 29; 30	De 41,4 à 71,9	40 minutes
Loughnan <i>et al.</i> (2015)	Longitudinal	Australie	26	De 55 à 90 ans	15 hommes et 11 femmes	De 18,8 à 37,5	De 34 à 60	2 mois

Éléments descriptifs des études incluses (suite)

Auteur(-trice)s (année)	Type de devis	Pays	Nombre de participant(e)s	Âge	Sexe	Température (°C)	Humidité relative (%)	Durée d'exposition
Luo <i>et al.</i> (2016)	Expérimental	Chine	30	De 17,4 à 22 ans	ND	16; 18; 21; 24; 26; 28; 31	ND	60 minutes
Malik et Bardhan (2022)	Longitudinal	Inde	175	> 16 ans	49 hommes et 126 femmes	De 28,1 à 34,2	De 54,2 à 79,0	Un mois
McCormack <i>et al.</i> (2016)	Longitudinal	États-Unis	69	Âge moyen de 69 ans	39 hommes et 30 femmes	Maximum journalier de 27,7	Moyenne journalière de 40,8	36 mois
Ozarisoy et Altan (2021)	Longitudinal	Chypre	ND	ND	ND	De 25,4 à 34,1	De 31,1 à 75	1 mois
Rawal <i>et al.</i> (2022)	Longitudinal	Inde	2 179	De 19 à 62 ans	994 hommes et 1 185 femmes	De 7 à 37	De 20 à 95	30 jours
Rijal <i>et al.</i> (2019)	Longitudinal	Japon	244	ND	119 hommes et 125 femmes	Étendue des moyennes de 18 à 27,3	Moyenne de 48 à 56	60 mois
Safarova <i>et al.</i> (2022)	Longitudinal	Australie	69	De 25 ans et plus	Plus de femmes que d'hommes	De 25,4 à 34,4	De 38 à 79	11 mois
Schellen <i>et al.</i> (2010)	Expérimental	Pays-Bas	16	De 22 à 25 ans; de 67 à 73 ans	16 hommes	De 17 à 25	Moyenne de 43,2 ± 2,3	480 minutes
Soebarto <i>et al.</i> (2016)	Longitudinal	Australie	17	16 ans et plus	ND	De 11,4 à 39,7	De 9 à 98	3 mois
Stotz <i>et al.</i> (2014)	Expérimental	Allemagne	26	70 ans et plus	26 femmes	20; 30	De 45 à 50	60 minutes
Tartarini <i>et al.</i> (2017)	Cohorte	Australie	21	De 61 à 92 ans	14 hommes et 7 femmes	De 16,2 à 33,6	ND	10 mois
Tian <i>et al.</i> (2021)	Expérimental	Chine	48	Âge moyen de 21,4 ± 1,6 ans	24 hommes et 24 femmes	26; 39	50; 70	140 minutes
Uejio <i>et al.</i> (2022)	Cas-témoins	États-Unis	914	De 2 à 100 ans	375 hommes et 539 femmes	De 15 à 40	ND	5 mois
Uejio <i>et al.</i> (2016)	Cas-témoins	États-Unis	1 100	De 0 à 98 ans	560 hommes et 540 femmes	De 13,5 à 33,5	ND	2 mois
Van Loenhout <i>et al.</i> (2016)	Longitudinal	Pays-Bas	113	65 ans et plus	51 hommes et 62 femmes	De 15,7 à 30,2	ND	4 mois

Éléments descriptifs des études incluses (suite)

Auteur(-trice)s (année)	Type de devis	Pays	Nombre de participant(e)s	Âge	Sexe	Température (°C)	Humidité relative (%)	Durée d'exposition
Wang <i>et al.</i> (2010)	Transversal	Chine	423	De 20 à 60 ans; âge moyen de 40,5 ans	177 hommes et 246 femmes	De 20,7 à 31,9	De 38,6 à 81,2	3 mois
Wang <i>et al.</i> (2019)	Expérimentale	Chine	20	De 20 à 25 ans	10 hommes et 10 femmes	20; 23; 25; 28; 30	De 43,6 à 53,2	60 minutes
Wang et Norback (2022)	Longitudinal	Suède	1160	De 19 à 90 ans	596 hommes et 564 femmes	De 10,5 à 25,4	De 19,0 à 57,1	2 mois
Wei <i>et al.</i> (2022)	Transversal	Chine	216	Hommes : âge moyen de 58,3 ans Femmes : âge moyen de 42,1 ans	87 hommes et 129 femmes	Moyenne de 29,24	Moyenne de 78,76	1 mois
Williams <i>et al.</i> (2019)	Cohorte	États-Unis	51	55 ans et plus	22 hommes et 29 femmes	18; 24; 30	ND	3 mois
Wong <i>et al.</i> (2009)	Transversal	Chine	440	De 60 à 97 ans; âge moyen de 78 ans	137 hommes et 303 femmes	De 21,1 à 30,1; moyenne de 25,4	40-72 %	Été 2006
Wu <i>et al.</i> (2019)	Expérimental et transversal	Chine	Groupe terrain milieux résidentiels : 333 Groupe terrain maisons de repos : 119 Groupe laboratoire : 24	Groupe terrain milieux résidentiels : de 60 à 94 ans; âge moyen de 70,05 ans Groupe terrain maisons de repos : de 60 à 100 ans; âge moyen de 77,36 ans Groupe laboratoire : âge moyen de 22 ± 1 ans; âge moyen de 50 ± 5 ans; âge moyen de 65 ± 3 ans	Groupe terrain milieux résidentiels : ND Groupe terrain maisons de repos : ND Groupe laboratoire : 12 hommes et 12 femmes	Groupe terrain milieux résidentiels : de 22,0 à 36,2; moyenne de 28,97 Groupe terrain maisons de repos : de 25,2 à 32,9; moyenne de 28,31 Groupe laboratoire : 26 à 34	Groupe terrain milieux résidentiels : de 43,4 à 91,3; moyenne de 66,22 Groupe terrain maisons de repos : de 52,8 à 94,5; moyenne de 67,09 Groupe laboratoire : 43,4 à 94,5	Groupe terrain milieux résidentiels : 3 mois Groupe terrain maisons de repos : 3 mois Groupe laboratoire : 30 minutes
Wu <i>et al.</i> (2022)	Expérimental	Chine	20	ND	9 hommes et 11 femmes	26; 29; 33; 36	60	120 minutes

Éléments descriptifs des études incluses (suite)

Auteur(-trice)s (année)	Type de devis	Pays	Nombre de participant(e)s	Âge	Sexe	Température (°C)	Humidité relative (%)	Durée d'exposition
Xiong <i>et al.</i> (2019)	Transversal	Chine	Rural : 2 171 Urbain : 513	De 14 à 74 ans	Rural : 49,7 % d'hommes et 50,3 % de femmes Urbain : 58,1 % d'hommes et 41,9 % de femmes	Rural : de 25,0 à 34,8; moyenne de 29,7 Urbain : de 26,4 à 36,1; moyenne de 31,3	Rural : de 55,6 à 92,7; moyenne de 73,8 Urbain : de 32,9 à 81,8; moyenne de 63,9	Rural : 1 mois Urbain : 2 mois
Xu <i>et al.</i> (2018)	Transversale	Chine	Groupe 1 : 234 Groupe 2 : 161	De 15 à 74 ans	Groupe 1 : 120 hommes et 114 femmes Groupe 2 : 85 hommes et 76 femmes	De 27,4 à 34,2	ND	2 mois
Xu <i>et al.</i> (2020)	Longitudinale	Chine	923	ND	ND	De 25 à 34	ND	4 mois
Xystouris <i>et al.</i> (2020)	Transversal	Chypre	52	ND	ND	De 25,5 à 33,5	ND	2 mois
Yang <i>et al.</i> (2022)	Expérimental	Chine	20	De 19 à 23 ans; âge moyen de 21,2 ans	10 hommes et 10 femmes	22,3; 25,2; 28	50	65 minutes
Ye <i>et al.</i> (2006)	Transversal	Chine	1 768	De 18 à 42 ans; âge moyen de 28,7 ans	ND	De 5 à 37	ND	20 mois
Yigit <i>et al.</i> (2015)	Expérimental	Turquie	25	Âge moyen de 22,9 ± 2,09 ans	25 hommes	20; 22; 24; 26	40; 60; 80	120 minutes
Yu <i>et al.</i> (2012)	Expérimental	Chine	20	Groupe 1 : âge moyen de 24,2 ± 3,9 ans Groupe 2 : âge moyen de 26,6 ± 2,9 ans	20 hommes	26; 36	45	60 minutes
Yu <i>et al.</i> (2017)	Transversal	Chine	1 182	De 16 à 68 ans; âge moyen de 33 ans	579 hommes et 603 femmes	De 13,5 à 30	De 14 à 74	2 périodes de 2 mois
Zhang <i>et al.</i> (2022)	Expérimentale	Chine	10	De 22 à 25 ans; âge moyen de 23,7 ans	5 hommes et 5 femmes	18; 24; 30	50	30 minutes
Zhang <i>et al.</i> (2016)	Expérimentale	Chine	60	De 20 à 22 ans	30 hommes et 30 femmes	20; 23; 26; 29; 32	De 50 à 70	60 minutes

Éléments descriptifs des études incluses (suite)

Auteur(-trice)s (année)	Type de devis	Pays	Nombre de participant(e)s	Âge	Sexe	Température (°C)	Humidité relative (%)	Durée d'exposition
Zheng <i>et al.</i> (2022)	Longitudinale	Chine	213	De 60 à 96 ans	95 hommes et 118 femmes	De 25,2 à 35,4	De 23 à 100	12 mois
Zuo <i>et al.</i> (2021)	Expérimental	Chine	24	De 21 à 24 ans	12 hommes et 12 femmes	26; 30; 37	50; 70	195 minutes

ANNEXE 5 CONTINENT, PAYS, DEVIS ET TYPE DE CLIMAT DES ÉTUDES CONSULTÉES AYANT MESURÉ L'ACCEPTABILITÉ, LE CONFORT OU LA NEUTRALITÉ THERMIQUES ET AYANT FOURNI DES PLAGES DE TEMPÉRATURES

Continent	Pays	Devis	Type de climat selon la classification de Köppen	Articles
Asie	Chine	Expérimental	Humide (Cfa et Cwa/Dwa)	(Fan <i>et al.</i> , 2019; Jing <i>et al.</i> , 2013; Li <i>et al.</i> , 2018; Liu <i>et al.</i> , 2008; Tian <i>et al.</i> , 2021; Wang <i>et al.</i> , 2019; Zhang <i>et al.</i> , 2016; Zuo <i>et al.</i> , 2021)
			Sec (BS)	(Chong <i>et al.</i> , 2019)
			Hétérogène	(Kong <i>et al.</i> , 2019; Yu <i>et al.</i> , 2012)
		Transversal	Humide (Cfa, Dwa et Cw/Cwa)	(Baizhan <i>et al.</i> , 2011; Wang <i>et al.</i> , 2010; Wei <i>et al.</i> , 2022; Wong <i>et al.</i> , 2009; Xu <i>et al.</i> , 2018; Ye <i>et al.</i> , 2006)
			Hétérogène (Cwb/Dwb/BSk)	(W. Yu <i>et al.</i> , 2017)
		Longitudinal	Humide (Cfa et Dwa)	(He <i>et al.</i> , 2016; Jiao <i>et al.</i> , 2017, 2020; Li <i>et al.</i> , 2010b; Xu <i>et al.</i> , 2020; Zheng <i>et al.</i> , 2022)
	Hétérogène (Bwk/Dwa/Cfa/Cwb)		(Lai <i>et al.</i> , 2021)	
	Malaisie	Transversal	Humide (Af/Am/Aw)	(Dahlan <i>et al.</i> , 2008)
		Longitudinal	Humide (Af/Am/Aw)	(Djamila <i>et al.</i> , 2013)
	Inde	Longitudinal	Humide (Af/Am/Aw)	(Malik et Bardhan, 2022)
			Hétérogène (BSh/Aw/Cwa/Cwb)	(Rawal <i>et al.</i> , 2022)
		Longitudinal et transversal	Humide (Af/Am/Aw)	(Indraganti, 2010)
	Iran	Longitudinal	Sec (Csa)	(Heidari et Sharples, 2002)
Japon	Longitudinal	Humide (Cfa)	(Rijal <i>et al.</i> , 2019)	
Taïwan	Longitudinal	Humide (Af/Am/Aw)	(Hwang et Chen, 2010)	
Europe	Allemagne	Expérimental	Humide (Cfb)	(Kleber et Wagner, 2018; Lechner <i>et al.</i> , 2021)
	Chypre	Transversal	Sec (Csa)	(Xystouris <i>et al.</i> , 2020)
		Longitudinal	Hétérogène (Cfa/Bsh)	(Ozarisoy et Altan, 2021)
	Danemark	Expérimental	Humide (Cfb)	(Lan <i>et al.</i> , 2020)
Suède	Longitudinal	Humide (Cfb/Dfb)	(J. Wang et Norback, 2022)	
Océanie	Australie	Longitudinal	Humide (Cfb, Af/Am/Aw)	
			Sec (Csa)	(Soebarto et Bennetts, 2014)
Amérique centrale	Mexique	Longitudinal	Humide (Cw/Cwa)	(Loughnan <i>et al.</i> , 2015; Safarova <i>et al.</i> , 2022; Soebarto et Bennetts, 2014)

ANNEXE 6 RÉFÉRENCES DES ARTICLES RAPPORTÉS DANS LA FIGURE 7 (P. 49)

Numéro dans la figure 7	Article	Auteur(-trice)s et année
1	Predicting indoor thermal sensation for the elderly in welfare centres in Korea using local skin temperatures	(Bae <i>et al.</i> , 2017)
2	Broadening human thermal comfort range based on short-term heat acclimation	(Chong <i>et al.</i> , 2019)
3	Physiological and psychological reactions of sub-tropically acclimatized subjects exposed to different indoor temperatures at a relative humidity of 70	(Fan <i>et al.</i> , 2019)
4	The influence of a moderate temperature drift on thermal physiology and perception	(Ivanova <i>et al.</i> , 2021)
5	Impact of Relative Humidity on Thermal Comfort in a Warm Environment	(Jing <i>et al.</i> , 2013)
6	Effects of indoor humidity on building occupants' thermal comfort and evidence in terms of climate adaptation	(Kong <i>et al.</i> , 2019)
7	Perceived air quality and cognitive performance decrease at moderately raised indoor temperatures even when clothed for comfort	(Lan <i>et al.</i> , 2020)
8	The effects of extreme high indoor temperature on EEG during a low intensity activity	(Lang <i>et al.</i> , 2022a)
9	A modified method of evaluating the impact of air humidity on human acceptable air temperatures in hot-humid environments	(Li <i>et al.</i> , 2018)
10	Revisiting an overlooked parameter in thermal comfort studies, the metabolic rate	(Luo <i>et al.</i> , 2016)
11	Effect of a brief heat exposure on blood pressure and physical performance of older women living in the community-a pilot-study.	(Stotz <i>et al.</i> , 2014)
12	Decreased humidity improves cognitive performance at extreme high indoor temperature	(Tian <i>et al.</i> , 2021)
13	Experimental study on coupling effect of indoor air temperature and radiant temperature on human thermal comfort in non-uniform thermal environment	(Wang <i>et al.</i> , 2019)
14	Thermal adaptation of the elderly during summer in a hot humid area: Psychological, behavioral, and physiological responses	(Wu <i>et al.</i> , 2019)
15	Experimental evaluation of thermal comfort, SBS symptoms and physiological responses in a radiant ceiling cooling environment under temperature step-changes	(Wu <i>et al.</i> , 2022)
16	A comparison of the thermal adaptability of people accustomed to air-conditioned environments and naturally ventilated environments	(Yu <i>et al.</i> , 2012).
17	Thermal comfort of people in the hot and humid area of China-impacts of season, climate, and thermal history	(Zhang <i>et al.</i> , 2016)
18	Comfortable and partial warm environment increases salivary S-IgE concentration in healthy adults	(Zhang <i>et al.</i> , 2022)
19	Effects of increased humidity on physiological responses, thermal comfort, perceived air quality, and Sick Building Syndrome symptoms at elevated indoor temperatures for subjects in a hot-humid climate	(Zuo <i>et al.</i> , 2021)

Centre d'expertise et
de référence en santé publique

www.inspq.qc.ca