

**UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES**

**RÉPONSES PHYSIOLOGIQUES, PERCEPTUELLES, COGNITIVES ET MOTRICES  
LORS DE L'EXPOSITION AU FROID EN HIVER CHEZ LES POMPIERS ET  
POMPIÈRES**

**COMME EXIGENCE PARTIELLE DE LA  
MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE (PROFIL AVEC MÉMOIRE)**

**PAR  
KAMILLE ROY**

**OCTOBRE 2023**

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

### Avertissement

L'auteur de ce mémoire, de cette thèse ou de cet essai a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire, de sa thèse ou de son essai.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire, cette thèse ou cet essai.

Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire, de cette thèse et de son essai requiert son autorisation.

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES  
MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE ( 3407 )

**Direction de recherche :**

Philippe Gendron

Prénom et nom

directeur de recherche

François Trudeau

Prénom et nom

codirecteur de recherche

**Jury d'évaluation**

Philippe Gendron

Prénom et nom

Directeur de recherche

Fonction du membre de jury

Claude Lajoie

Prénom et nom

Évaluateur

Fonction du membre de jury

Daniel Gagnon

Prénom et nom

Évaluateur

Fonction du membre de jury

# RÉSUMÉ

**Introduction :** Lors du combat contre l'incendie, les pompiers et pompières réalisent une ou plusieurs phases de travail d'environ 25 à 30 minutes munis de l'appareil de protection respiratoire individuelle autonome (APRIA). Ces phases de travail sont généralement intercalées ou suivies de phases de repos où ils/elle peuvent être affecté(e)s à des tâches moins exigeantes (p. ex. arrosage) ou même être peu mobiles pendant une longue période sans effort notable. En hiver, les pompiers et pompières en viennent à avoir très froid dans ces situations, ce qui peut avoir des effets délétères sur la santé et la sécurité des pompiers et pompières. En plus du risque d'hypothermie, l'exposition au froid peut augmenter la contrainte cardiaque et diminuer la performance aérobie, la force musculaire, la dextérité manuelle et la performance cognitive. Ce contexte problématique mérite de l'attention considérant qu'il fait froid plusieurs semaines par année au Québec et considérant les effets potentiels de l'exposition au froid lors du combat d'un incendie en hiver sur la santé et la sécurité des pompiers et pompières.

**Objectif :** Caractériser la variation 1) des réponses physiologiques, 2) des réponses perceptuelles, 3) des réponses cognitives et 4) des réponses motrices occasionnées par une exposition au froid lors d'une simulation de combat d'un incendie en hiver.

**Méthodes :** Trois rencontres contrebalancées ont permis d'exposer les participant(e)s, vêtus d'un équipement de protection individuelle, aux températures ambiantes A (17°C), B (0°C) et C (-17°C) dans une chambre environnementale au repos pendant 60 minutes,

durée réaliste du temps que les pompiers et pompières peuvent passer dans le froid lors d'une intervention. L'exposition au froid était précédée d'une simulation de travail d'une durée de 25 minutes, réalisée sur un tapis roulant qui a engendré des réponses physiologiques semblables à celles d'une simulation réalisée dans un bâtiment en présence d'un incendie.

**Résultats :** Dix-sept hommes et une femme (âge :  $25 \pm 3$  ans; IMC :  $25,0 \pm 3,3$  kg/m<sup>2</sup>;  $\dot{V}O_{2pic}$  :  $47,6 \pm 7,1$  mlO<sub>2</sub>·min<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>) ont complété toutes les visites. La variation de la température rectale entre le repos pré-simulation et la fin de l'exposition de 60 minutes n'était pas différente significativement entre les conditions (T17 :  $0,26 \pm 0,23^{\circ}C$ ; T0 :  $0,21 \pm 0,23^{\circ}C$ ; T-17 :  $0,09 \pm 0,33^{\circ}C$ ; interaction  $p = 0,112$ ). La variation de la température cutanée moyenne (T17 :  $-0,48 \pm 1,39^{\circ}C$ ; T0 :  $-2,87 \pm 0,98^{\circ}C$ ; T-17 :  $-5,64 \pm 1,53^{\circ}C$ ; interaction  $p < 0,001$ ) et la variation de la température des doigts (T17 :  $0,28 \pm 2,75^{\circ}C$ ; T0 :  $-13,53 \pm 4,62^{\circ}C$ ; T-17 :  $-24,14 \pm 4,24^{\circ}C$ ; interaction  $p < 0,001$ ) entre le repos pré-simulation et la fin de l'exposition de 60 minutes était différente significativement entre les conditions. La variation de la perception de la douleur aux doigts (interaction  $p < 0,001$ ), la variation de la sensation thermique (interaction  $p < 0,001$ ) et la variation de la perception de confort (interaction  $p < 0,001$ ) entre le repos pré-simulation et la fin de l'exposition de 60 minutes présentait une différence significative entre les conditions. La variation de temps entre le repos pré-simulation et la fin de l'exposition de 60 minutes à la tâche de dénomination (T17 :  $-0,65 \pm 2,83$  s; T0 :  $-3,22 \pm 9,14$  s; T-17 :  $0,10 \pm 1,40$  s; interaction  $p = 0,201$ ), à la tâche 2 de lecture (T17 :  $0,01 \pm 0,92$  s; T0 :  $-2,38 \pm 8,07$  s; T-

17 :  $-0,94 \pm 2,35$  s; interaction  $p = 0,254$ ), à la tâche d'inhibition (T17 :  $-1,86 \pm 3,87$  s; T0 :  $3,06 \pm 5,19$  s; T-17 :  $-2,66 \pm 5,07$  s; interaction  $p = 0,684$ ) et à la tâche d'inhibition/flexibilité (T17 :  $-3,93 \pm 3,92$  s; T0 :  $-1,99 \pm 10,50$  s; T-17 :  $-3,47 \pm 4,40$  s; interaction  $p = 0,651$ ) au test de performance cognitive ne présente pas de différence significative entre les 3 conditions expérimentales. La variation de temps de réalisation du test de dextérité manuelle (T17 :  $-6,66 \pm 15,78$  s; T0 :  $-6,44 \pm 17,05$  s; T-17 :  $3,77 \pm 16,22$  s; interaction  $p = 0,304$ ) et la variation des résultats de la force de préhension (T17 :  $-4,36 \pm 8,60$  kg; T0 :  $-1,86 \pm 5,95$  kg; T-17 :  $-3,30 \pm 10,18$  kg; interaction  $p = 0,675$ ) entre le repos pré-simulation et la fin de l'exposition de 60 minutes n'est pas différente significativement entre les conditions.

**Conclusion :** Ces résultats suggèrent qu'une exposition de 60 minutes au froid ( $-17^{\circ}\text{C}$ ) à la suite d'une phase de travail chez les pompiers/pompières tend principalement à diminuer la température moyenne de la peau et des doigts augmentant entre autres le risque d'engelure aux extrémités. Cependant, être exposé à un froid extrême dans ces conditions n'est pas associé à une diminution significative de la température corporelle interne et ne présente pas de risque d'hypothermie. La différence de variation de la douleur, de la sensation thermique et de la perception de confort entre les conditions n'était pas négligeable, mais ne semblent pas avoir été suffisante pour engendrer une diminution des performances cognitives. Enfin, cette exposition au froid semblable à ce que vivent les pompiers et pompières ne semblait pas être assez sévère pour diminuer la performance motrice.

# TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ .....	iii
TABLE DES MATIÈRES .....	vi
LISTE DES TABLEAUX .....	viii
LISTE DES FIGURES .....	ix
LISTE DES ABRÉVIATIONS .....	xi
REMERCIEMENTS .....	xii
INTRODUCTION.....	1
Mise en contexte.....	1
Problématique de recherche .....	2
CADRE THÉORIQUE.....	4
Exigences physiques et physiologiques du combat d'un incendie.....	4
Exigences physiques.....	4
Exposition à la chaleur .....	6
Exposition au froid .....	9
Thermorégulation au froid : mécanismes physiologiques.....	10
Vasoconstriction périphérique.....	12
Thermogenèse sans frisson .....	14
Thermogenèse avec frissons .....	15
Influence sur la performance .....	17

Performance physique .....	17
Dextérité manuelle .....	19
Cognition .....	20
Métabolisme .....	22
Risques pour la santé .....	23
Hypothermie .....	23
Engelure .....	24
Contrainte cardiovasculaire au froid.....	26
OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES .....	28
MÉTHODOLOGIE .....	30
RÉSULTATS .....	58
DISCUSSION .....	74
CONCLUSION GÉNÉRALE .....	87
RÉFÉRENCES .....	88
ANNEXE A .....	i
ANNEXE B .....	v
ANNEXE C .....	xxiii



## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Variables mesurées selon les visites.

Tableau 2. Caractéristiques individuelles des participant(e)s.

## LISTE DES FIGURES

Figure 1. Représentation schématique simplifiée du microenvironnement créé par le port d'un équipement de protection individuelle (ÉPI) lors d'un effort physique.

Figure 2. Schéma général des réponses typiques de la vasodilatation induite par le froid (CIVD).

Figure 3. Photographie illustrant l'emplacement des sondes sans fil et des électrodes sur un participant. Vue de face et d'arrière.

Figure 4. Photographie illustrant l'habillement complet d'un participant. Vue de face et d'arrière.

Figure 5. Chronologie des visites expérimentales illustrant les moments des prises de mesure de température rectale ( $T_{rec}$ ) et cutanée ( $T_{peau}$ ), de température et d'humidité relative dans l'ÉPI ( $T_{ÉPI}$ ), de gravité spécifique de l'urine (GSU), de masse corporelle (MC), de pression artérielle (PA), de fréquence cardiaque (FC), de perceptions de confort, de douleur et de sensation thermique (perceptions), de dextérité manuelle (DM), de préhension de la main (PM) et de performance cognitive (PC).

Figure 6. Sonde rectale télémétrique thermométrique.

Figure 7. Capteurs iButtons Hygrochron.

Figure 8. Capteur iButtons Hygrochron inséré dans une capsule de plastique pour mesurer la température et le taux d'humidité relative dans l'ÉPI.

Figure 9. Deux sections de tuyaux d'arrosage de 65 mm utilisées pour le test de dextérité manuelle.

Figure 10. Évolution de la température dans l'ÉPI au niveau de la poitrine (A), le taux d'humidité relative dans l'ÉPI au niveau de la poitrine (B), la température dans l'ÉPI au niveau de la cuisse (C), le taux d'humidité relative dans l'ÉPI au niveau de la cuisse (D) dans les trois conditions.

Figure 11. Évolution de la température rectale (A), la température cutanée moyenne (B) et la température moyenne des majeurs (C).

Figure 12. Évolution de la fréquence cardiaque.

Figure 13. Évolution de la pression artérielle systolique (A), la pression artérielle diastolique (B) et la pression artérielle moyenne (C).

Figure 14. Évolution du produit fréquence-pression.

Figure 15. Évolution de la perception de la douleur aux doigts.

Figure 16. Évolution de la perception de la sensation thermique au niveau du corps (A), des doigts (B) et du visage (C).

Figure 17. Évolution de la sensation de confort au niveau du corps (A), des doigts (B) et du visage (C).

Figure 18. Évolution de la performance cognitive (Stroop). Tâche 1 : dénomination (A), tâche 2 : lecture (B), tâche 3 : inhibition (C), tâche 4 : inhibition/ flexibilité (D).

Figure 19. Évolution de la dextérité manuelle.

Figure 20. Évolution de la force de préhension.

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

APRIA : Appareil de protection respiratoire individuel autonome

CNESST : Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail

EPI : Équipement de protection individuelle

$\dot{V}O_2$  : Consommation d'oxygène

$\dot{V}O_{2max}$  : Consommation d'oxygène maximale

## REMERCIEMENTS

Avec une profonde reconnaissance, je prends la plume aujourd'hui afin d'exprimer mes sincères remerciements à chacun d'entre vous qui a contribué de manière inestimable à la réussite de mon projet de recherche de maîtrise. Votre collaboration et votre précieux soutien ont été des piliers fondamentaux de ce périple académique.

Tout d'abord, je souhaite adresser mes plus sincères remerciements à mon directeur de recherche, le professeur Philippe Gendron. Ton expertise inégalée dans ce domaine de recherche, ton dévouement à l'excellence académique, ton sens de l'écoute profondément humain, ta compréhension de mes aspirations futures et ton engagement à me préparer pour les défis à venir sont d'une valeur très précieuse à mes yeux.

Je ne saurais non plus passer sous silence l'apport crucial de mon co-directeur, le professeur François Trudeau. Ta grande expertise complémentaire, ton engagement envers l'avancement des connaissances et ta disponibilité constante (vraiment à toute heure) ont grandement contribué à l'élaboration de mon projet de recherche. Ton rôle en tant que mentor me remplit de reconnaissance.

À tous mes collègues en recherche (Alex, Emy, Félix, Thomas, Philémon, Frédéric, Gabrielle et Nicolas), je souhaite exprimer toute ma reconnaissance pour les échanges

fructueux, les débats enrichissants mais surtout, pour la collaboration exceptionnelle que nous avons partagée. Vous avez été une motivation constante dans ce parcours et je suis fière de notre réussite collective.

Enfin, à ma précieuse famille et à mes amis, je souhaite vous rendre un hommage particulier. Votre amour inconditionnel, votre patience infinie et vos encouragements sans bornes ont été mon ancre dans les moments les plus difficiles. Pour tous les nombreux sacrifices à mon égard, merci de tout cœur.

# INTRODUCTION

## Mise en contexte

Le métier de pompier comporte des risques significatifs pour la santé et la sécurité des pompiers et pompières en raison de la grande demande physique et psychologique qui leur est imposée lors de situations d'urgence dont les incendies, les accidents (routiers, industriels, aériens, etc.), des catastrophes naturelles (inondations, tempête de verglas, tornades, etc.) ou même lors d'un effondrement de bâtiment. Ils/elle doivent aussi combattre les incendies au moyen de divers équipements et méthodes (haches, boyaux, extincteurs chimiques, échelles, véhicules, bateaux, etc.) (Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail, 2018). Kales et coll. (2007) rapportent d'ailleurs que seulement environ 1% de leur temps de travail est consacré au combat contre les incendies alors que 15% de celui-ci est attribué aux urgences médicales et celles sans incendies, notamment, prodiguer des premiers soins et porter secours aux victimes. Enfin, environ 65% du temps de travail est dédié aux tâches non urgentes et à celles effectuées en caserne et le reste du temps (12%) est consacré à la réponse aux alarmes et au retour des interventions. Malgré cette répartition de tâches qui n'est principalement pas attribuable aux situations d'urgence, les risques semblent notables et rendent vulnérables les pompiers et pompières. Ils/elle sont à risque de problèmes de santé lorsqu'ils/elle sont exposé(e)s à des risques biologiques (p. ex. maladies contagieuses ou infectieuses), des risques chimiques (p. ex. produits de combustion, produits pharmaceutiques et médicaux), des risques

ergonomiques (p. ex. posture contraignante, activités prolongées), des risques physiques (p. ex. effort physique excessif, port d'équipements lourds) et à des risques environnementaux (p. ex. températures extrêmes, contrainte thermique) (Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail, 2018).

## Problématique de recherche

Lors du combat contre un incendie, les pompiers et pompières sont souvent exposé(e)s à la chaleur. La documentation scientifique à ce sujet est abondante et la sensibilisation liée à l'exposition à la chaleur chez les pompiers et pompières est omniprésente. Toutefois, on oublie que les pompiers et pompières peuvent aussi être exposé(e)s à des températures froides plusieurs mois par année dans les régions nordiques, tel le Québec. Au début d'une intervention pour combattre un incendie, les pompiers et pompières réalisent généralement une ou quelques phases de travail d'environ 15 à 40 minutes pour l'attaque initiale dans le but de limiter le développement de l'incendie. Celles-ci devraient généralement être intercalées de périodes de repos d'un minimum de 10 à 20 minutes pour changer leur réservoir d'air et récupérer (NFPA 1584, 2022). À la suite de ces phases de travail et selon les stratégies employées pour combattre l'incendie, il est fréquent que les pompiers et pompières restent à l'extérieur du bâtiment en mode défensif pour réaliser différentes tâches qui sont généralement moins exigeantes et cela peut perdurer sur plusieurs minutes voire quelques heures. En hiver, les pompiers et pompières peuvent finir par avoir très froid dans ces situations.



Tel qu'il le sera décrit dans les prochaines sections, ces travailleurs et travailleuses pourraient alors être à risque de certains problèmes de santé liés à l'exposition au froid tels que l'hypothermie, l'apparition d'engelures et l'augmentation du risque d'évènements cardiaques. De plus, ces travailleurs et travailleuses pourraient avoir de la difficulté à réaliser les différentes tâches du travail et être en moins grande sécurité considérant que l'exposition au froid peut causer une diminution des aptitudes physiques et cognitives et donc leur capacité à réaliser les différentes tâches du métier. Cette situation devient d'autant plus préoccupante lorsque les pompiers et les pompières sont appelé(e)s à retourner effectuer des tâches complexes et exigeantes techniquement après cette longue exposition au froid.

# CADRE THÉORIQUE

## Exigences physiques et physiologiques lors du combat d'un incendie

### Exigences physiques

La lutte contre les incendies nécessite un niveau de condition physique élevé en raison des diverses tâches exigeantes. Sur les scènes d'urgence, les pompiers et pompières doivent procéder à l'extinction du feu, à la recherche/sauvetage d'une victime, à la création de ventilation pour le bâtiment, au transport et à l'utilisation de matériel et d'outils lourds, à la montée d'escaliers et d'échelles, à l'entrée par effraction, etc. Toutes ces tâches sont effectuées avec le port de l'équipement de protection individuelle (ÉPI) et de l'appareil de protection respiratoire individuel autonome (APRIA) qui augmente grandement l'exigence physique de celles-ci. L'ajout de cette charge pondérale d'environ 25 kg (Duggan, 1988), la diminution de la capacité/efficacité de mouvements (Teitlebaum et Goldman, 1972), la résistance mécanique du détendeur de l'APRIA à la respiration (Eves et coll., 2005) et les mouvements du thorax contraints par le harnais engendrant une diminution des mouvements respiratoires (Louhevaara et coll., 1985) sont à l'origine d'une plus grande demande énergétique et physique. Pour chaque kg de poids de vêtement de protection porté, le coût énergétique augmente d'environ 3% (Rintamäki, 2007). Holmer et Gavhed (2007) ont montré que lors d'une simulation de lutte contre un

incendie, le travail métabolique moyen des tâches (22 minutes) était de 960 watts ce qui représente une demande énergétique très élevée pour des travailleurs et travailleuses considérant que celui nécessaire pour courir un marathon en 2h10 (près du record mondial) est d'environ 1350 watts (Kenefick et coll., 2007). Le travail de pompier est principalement soutenu par la filière énergétique du système aérobie (Perroni et coll., 2010). Pour une charge de travail donnée à effort sous-maximal, les personnes présentant une capacité aérobie plus élevée, font face à une contrainte cardiovasculaire moins importante (Holmer et Gaved, 2007; Sheaff et coll., 2010). Diverses études ont identifié les valeurs de consommation maximale d'oxygène nécessaires à l'exécution des tâches inhérentes à cette profession. Ces valeurs ont été déterminées et basées sur la consommation moyenne d'oxygène des pompiers et pompières lors de simulations reproduisant des interventions en situation réelle. Les valeurs obtenues se situent entre 25 et 55  $\text{mlO}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  (Bilzon et coll., 2001; Gledhill et Jamnik, 1992; Holmer et Gavhed, 2007; Lemon et Hermiston, 1977; Von Heimburg et coll., 2006). Les disparités dans les valeurs obtenues peuvent découler des différentes tâches étudiées et des diverses méthodologies employées. Les directives de la National Fire Protection Association (NFPA) suggèrent que les pompiers et pompières présentent minimalement une capacité cardiorespiratoire de 12 METs ( $\dot{V}\text{O}_2\text{max} \geq 42 \text{ mlO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) afin qu'ils/elle puissent effectuer l'ensemble des tâches du métier (NFPA 1582, 2022). Lors de la réalisation des tâches du métier de pompier, la filière énergétique anaérobie est également sollicitée. En effet, Bilzon et coll. (2001) affirment que le métabolisme anaérobie, lors de simulation d'intervention, participe pour environ 30 à 40% de la production d'énergie. Il est probable

que la contribution supérieure du métabolisme anaérobie soit attribuable aux efforts répétés quasi maximaux. Finalement, selon des chercheurs, la meilleure prédiction de la performance dans des tâches spécifiques telles que le tirage de sections de tuyaux, le lever de l'échelle, l'entrée par effraction et le sauvetage d'une victime repose sur la combinaison de la capacité anaérobie et du  $\dot{V}O_2$ max absolu (Sheaff et coll., 2010).

### Exposition à la chaleur

Aucune étude, à ce jour, n'a fait mention de mesures de la température corporelle interne de pompiers et pompières enregistrées lors d'un réel incendie. Cependant, elle a été mesurée lors de simulations d'intervention de lutte contre un incendie (tâches spécifiques au métier, bâtiment en flamme et rythme réel) à l'aide d'une sonde rectale ou gastro-intestinale dans plusieurs études. Lors du combat contre un incendie, les pompiers et pompières voient leur température corporelle interne augmenter de façon considérable. Pour de courtes simulations d'interventions au feu allant de 12 à 24 minutes, plusieurs études rapportent que la température corporelle interne maximale des pompiers et pompières peut atteindre 38,1 à 38,8°C (Burgess et coll., 2012; Colburn et coll., 2011; Horn et coll., 2011; Horn et coll., 2015; Hostler et coll., 2016; Hunter et coll., 2017; Lane-Cordova et coll., 2015; Petruzzello et coll., 2016; Romet et Frim, 1987; Rossi, 2003; Smith et coll., 2011; Smith et coll., 2014a; Smith et coll., 2014b; Smith et coll., 2016b). De plus, Fernhall et coll. (2012) et Yan et coll. (2012) ont mesuré une augmentation de la température corporelle interne de 1,8°C atteignant 38,9°C à la suite de longs cycles de

travail de trois heures composées de 4-5 phases de travail de 15-25 minutes intercalées par des périodes de récupération de 10-15 minutes, représentant des conditions réelles.

Le travail de pompier engendre une grande production métabolique de chaleur en raison de l'exigence physique de celui-ci tel que discuté dans la section précédente. Lors d'un échange thermique, la conduction se produit par le biais d'un contact direct, la convection résulte du mouvement des fluides tels que l'eau ou l'air, tandis que le rayonnement englobe toutes les ondes électromagnétiques (Périard et coll., 2021). Afin de limiter l'élévation de la température corporelle interne, le corps dissipe sa chaleur notamment par convection, conduction et rayonnement. Pour chacun de ces trois mécanismes d'échanges thermiques, le gradient de température entre les différents milieux, du plus chaud au plus froid, joue un rôle déterminant (Cheung, 2010; Lim et coll., 2008). La conduction et la convection résultent en un transfert de chaleur vers le corps lorsque l'air ambiant est plus chaud, ou en une dissipation de chaleur si la température corporelle est supérieure à celle de l'environnement (Atha, 2013). Bien que l'ÉPI soit essentiel pour protéger les pompiers et pompières de la chaleur produite par les flammes, il limite la dissipation de la chaleur métabolique, qui s'accumule entre la peau et l'équipement. Par conséquent, la dissipation de la chaleur métabolique effectuée par convection, conduction et rayonnement est limitée en raison du gradient de température entre la peau et cet environnement qui n'est plus favorable. Ainsi, l'évaporation (transpiration), l'autre moyen de refroidissement chez l'humain, le plus efficace, devient le seul moyen d'échange thermique possible. Pour qu'il y ait dissipation de chaleur et refroidissement de la peau, la sueur produite par les glandes

sudoripares doit être évaporée. Lorsque la sueur s'évapore, le taux d'humidité entre la peau et l'ÉPI augmente de façon importante, créant un microclimat indépendant de l'environnement extérieur (Figure 1), ce qui réduit la capacité d'évaporation de la sueur produite (Cheung, 2010; McLellan et coll., 2013). Cela limite ensuite la capacité de l'organisme à évacuer la chaleur corporelle. En conséquence, une augmentation de la température corporelle est observée. Lors d'une intervention, les pompiers et pompières produisent une grande quantité de sueur. Plusieurs études ont mesuré diverses variables caractérisant les pertes liquidiennes des pompiers et pompières. En trop grande quantité, cela pourrait mener à un état d'hypohydratation. Des études ont montré une diminution moyenne du volume plasmatique lors d'une intervention de 18 minutes dans des conditions réelles : 4% (Smith et coll., 2014a), 8,3% (Smith et coll., 2014b) et 9% (Smith et coll., 2011). Horn et coll. (2012) ont mesuré, après un long cycle de travail de 3h que les pompiers ont perdu 1,9 L de sueur représentant 2,2% de leur masse corporelle.

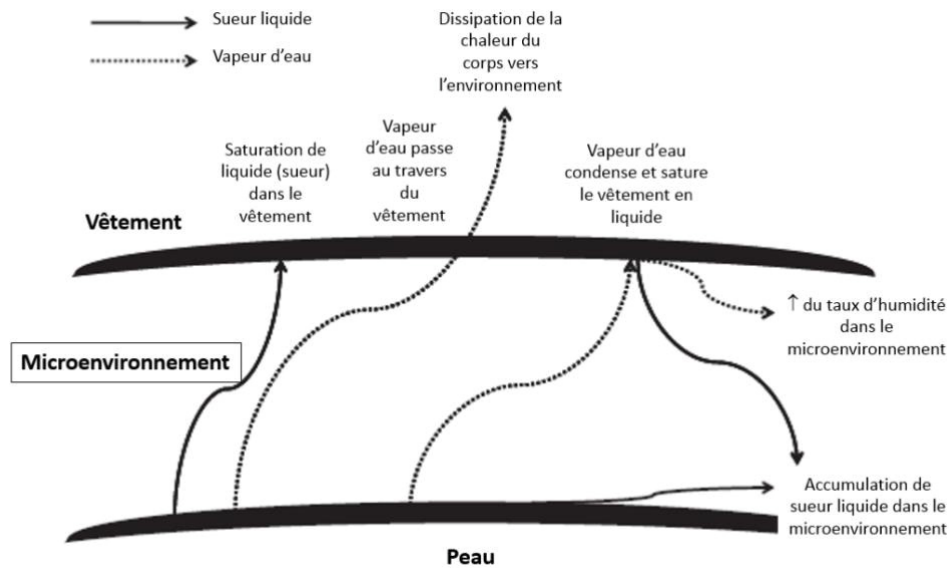


Figure 1. Représentation schématique simplifiée du microenvironnement créé par le port d'un ÉPI lors d'un effort physique. Adapté de Cheung (2010).

## Exposition au froid

Au Québec, la température moyenne de décembre à mars est sous le point de congélation (environ de -5 à -13°C) avec des températures minimales moyennes de près de -15°C dans les principales aires urbaines (Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 1981-2010). Tel que décrit précédemment dans la problématique, les pompiers et pompières peuvent être affecté(e)s à des tâches moins exigeantes à l'extérieur du bâtiment en flammes à la suite des phases de travail effectuées en début d'intervention. Dans ces situations, en hiver, les pompiers et pompières peuvent

avoir très froid. La situation peut s'empirer lorsque la couche intérieure de leur ÉPI est mouillée en raison de l'importante quantité de sueur accumulée lors des phases de travail. Ceci pourrait accentuer l'échange de température avec le corps, provoquant ainsi une perte de chaleur corporelle plus rapide. Lors d'une exposition au froid, les molécules d'eau accumulées dans la couche interne se refroidissent, ce qui augmente le gradient de température avec la peau. La perte de chaleur corporelle vers les molécules d'eau est alors accentuée. Il est important de noter que l'échange de chaleur au contact de l'eau est environ 25 fois plus important qu'avec l'air (Toner et McArdle 2010).

### Thermorégulation au froid : mécanismes physiologiques

Pour la plupart, le froid ne représente généralement pas un réel danger ou une barrière à pratiquer des activités physiques ou faire de l'exercice. S'exposer au froid peut toutefois entraîner des blessures, des séquelles et même provoquer la mort en cas extrême. Dans certaines conditions d'exercice au froid, l'équilibre thermique du corps ne peut être maintenu, ce qui contribue à l'apparition de blessures qui peuvent s'avérer parfois très graves. Les changements de température corporelle sont causés par un déséquilibre entre la production de chaleur et sa dissipation. Au froid, la régulation thermique s'effectue selon deux mécanismes : la diminution des pertes de chaleur et/ou l'augmentation de la production de chaleur. Les thermorécepteurs sont des récepteurs spécialisés qui ont la capacité de repérer tout changement de température. Ces récepteurs se divisent en deux catégories distinctes : les thermorécepteurs périphériques et centraux. Les



thermorécepteurs périphériques sont des neurones sensitifs dont les extrémités axonales se retrouvent dispersées à travers la peau, à proximité des capillaires sanguins. Ils sont sensibles aux variations rapides de la température cutanée (Schepers et Ringkamp, 2010). Ces récepteurs sont composés en majorité de petites fibres nerveuses A $\delta$  myélinisées (Hall, 2016). La membrane de ces terminaisons nerveuses libres contient des canaux cationiques (sodium et calcium) à potentiel transitoire (Transient receptor potential : TRP). Ces canaux sont responsables de la conversion du stimulus thermique en un signal nerveux. Les récepteurs TRPM8 sont sensibles aux températures froides non douloureuses, détectant des températures allant de 7°C à 28°C, tandis que les récepteurs TRPA1 sont activés par des températures froides douloureuses (Tominaga, 2007). Les thermorécepteurs périphériques sensibles au froid sont situés dans l'épiderme. Lorsqu'ils captent les variations thermiques, ils transmettent les signaux au système nerveux central, où l'intégration se fait principalement dans la région antérieure de l'hypothalamus. Il existe aussi des thermorécepteurs centraux qui sont principalement localisés dans l'aire pré-optique antérieure de l'hypothalamus. Leur fonction consiste à détecter les variations de température qui surviennent au sein du système nerveux central (Boulant, 2006; Hammel et coll., 1960). L'aire pré-optique antérieure de l'hypothalamus serait aussi impliquée dans l'intégration des informations sensorielles périphériques et centrales, déclenchant ainsi une réponse efférente visant à activer les organes effecteurs responsables de la thermorégulation en limitant les pertes de chaleur (Gisolfi et Wenger, 1984; Nakamura, 2011). Le système nerveux autonome, agit en réponse aux ordres émis par le système nerveux central et est essentiellement responsable des fonctions corporelles

involontaires régulant l'équilibre thermique (Couture et coll., 2015). Il comprend le système nerveux sympathique et le système nerveux parasympathique. Le système nerveux sympathique module la vasoconstriction en libérant majoritairement de la noradrénaline. Il joue également un rôle dans la vasodilatation cutanée, notamment dans la voie qui régule les pertes de chaleur, en libérant de l'acétylcholine (Couture et coll., 2015; Widmaier et coll., 2008). Dans les prochaines sections, il sera question des mécanismes physiologiques qui limitent la diminution de la température corporelle en environnement froid.

#### Vasoconstriction périphérique

Lors d'une exposition à un environnement froid, une vasoconstriction périphérique aux extrémités du corps, principalement dans les régions cutanées acrales (par exemple, les faces palmaires des doigts et les plantes des pieds/orteils), se produit pour réduire le flux sanguin à ces endroits et ainsi limiter la perte de chaleur corporelle. Ce mécanisme physiologique permet de rediriger le sang au centre du corps, vers les organes vitaux. Par conséquent, la température de la peau diminue. La vasoconstriction cutanée, qui s'étend sur toute la périphérie du corps, débute lorsque la température de la peau atteint 35°C et est à son maximum lorsque celle-ci atteint 15°C (Curtis, 1995). À une température cutanée moyenne de 31°C, l'impression de confort ressenti est déjà qualifiée de « froid inconfortable ». En général, la main est plus sensible au froid que d'autres parties du corps en raison de sa vascularisation considérable et de sa surface relativement importante par

rapport à sa masse totale. La main présente un seuil de tolérance à la douleur au froid de 5°C où celle-ci est qualifiée d'intolérable (Bittel et Savourey, 2004).

La vasoconstriction est modulée par la vasodilatation induite par le froid (Figure 2), processus qui permet l'oscillation cyclique du flux sanguin aux extrémités après les 5 à 10 premières minutes de l'exposition locale des extrémités (Daanen, 2003). Ce phénomène se produit après une baisse initiale du débit sanguin et de la température de la peau lors d'une exposition locale au froid (Alba et Castellani, 2019). Bien que ce mécanisme de thermorégulation permette de diminuer les risques de lésions tissulaires, la vasoconstriction périphérique est associée aux blessures liées au froid tel que les engelures et aux pertes de dextérité manuelle discutées ultérieurement (Bittel et Savourey, 2004; Brajkovic, Ducharme et Frim, 1998).

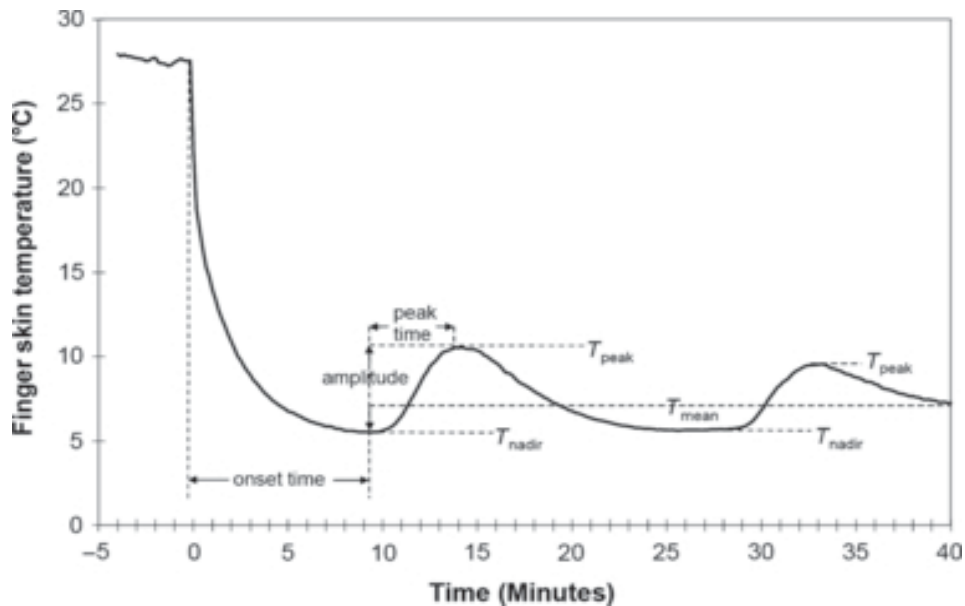


Figure 2. Schéma général des réponses typiques de la vasodilatation induite par le froid (CIVD). Température de la peau des doigts (°C) lors de 40 min d’immersion dans l’eau froide. Température minimale ( $T_{nadir}$ ) et température maximale ( $T_{peak}$ ) de la plus importante vague de vasodilatation induite par le froid (Cheung et Daanen, 2012).

### Thermogenèse sans frisson

La thermogenèse sans frisson est un mécanisme de thermorégulation qui permet d’augmenter la production de chaleur sans avoir recours à l’activité contractile musculaire en réponse à une baisse de la température corporelle induite par le froid. Lorsque l’exposition au froid n’est pas sévère, le corps ne produit pas de frissons thermiques (Vybiral et coll., 2000). Ce processus de thermorégulation est très variable entre les individus allant de 0 à 30% d’augmentation de la dépense énergétique de repos (van

Marken et Schrauwen, 2011). Les études ne semblent pas unanimes sur le sujet puisque les avis sur l'existence et sur les mécanismes impliqués sont encore partagés (Nedergaard et coll. 2007). Cependant, plusieurs articles soutiennent que le tissu adipeux brun joue un rôle important dans la production de chaleur lors d'une exposition à un froid doux, généralement défini aux alentours de 19 à 22°C, tout en tenant compte du fait que les participants étaient vêtus de vêtements légers (Saito et coll., 2009; van Marken et coll., 2009). En effet, à l'aide de différentes techniques d'imagerie médicale, plusieurs études ont confirmé la présence du tissu brun adipeux chez les adultes (Cohade et coll., 2003; Hany et coll., 2002). L'activité de celui-ci est en grande partie observée dans la région supraclaviculaire, du cou, médiastinale, paravertébrale et suprarénale (Nedergaard et Bengtsson, 2007). Lors d'une exposition au froid, la proportion de tissu brun adipeux activé est de 53% à 95% chez les jeunes adultes en santé (van Marken et coll., 2009). De plus, d'autres études montrent qu'en plus du tissu brun adipeux, les muscles squelettiques jouent un rôle dans la thermogénèse sans frisson (Wijers et coll., 2011). Le découplage mitochondrial, activé par le système nerveux sympathique, est à l'origine de l'implication du muscle squelettique dans le mécanisme de thermogénèse sans frisson (Wijers et coll., 2008).

#### Thermogénèse avec frissons

Les frissons sont des contractions involontaires induites par les muscles qui se répètent et débutent après quelques minutes ou dès le début de l'exposition au froid lorsque la

thermogenèse sans frisson ne parvient plus à maintenir la température corporelle à une température normale. Les contractions débutent dans les muscles du tronc, notamment dans le grand pectoral et le droit de l'abdomen, puis s'étendent vers les extrémités (muscles biceps brachial, brachio-radial, droit fémoral et gastrocnémiens) (Castellani et Young, 2006). L'intensité et la distribution des frissons varient en fonction de la gravité de la contrainte causée par le froid. La consommation d'oxygène systémique augmente en fonction de l'intensité des frissons, car davantage de muscles sont sollicités. Elle peut atteindre  $600-700 \text{ mlO}_2 \cdot \text{min}^{-1}$  lors de l'exposition au froid, au repos, contrairement à  $250 \text{ mlO}_2 \cdot \text{min}^{-1}$  au repos dans des conditions thermoneutres (Baele et van der Linden, 2001; Castellani et coll., 2006). La thermogenèse avec frissons est sous le contrôle du système nerveux sympathique qui est activé par les thermorécepteurs périphériques et centraux (Hemingway, 1963; Nakamura et Morrison, 2008; Tanaka et coll., 2006). Bien que les frissons puissent se produire pendant l'exercice physique, ils sont généralement plus fréquents à faible intensité. La production de chaleur métabolique nécessaire pour prévenir les frissons dépend de la sévérité de la contrainte thermique causée par le froid. À des intensités élevées d'exercice, le taux métabolique est normalement suffisamment élevé pour limiter la chute de la température corporelle interne, inhibant complètement le phénomène de frissons thermiques lors de l'exposition au froid (Young et Castellani, 2001). Hong et Nadel (1979) ont montré que lors d'un exercice sur vélo (30, 60, 90 et 120 W) où la température de l'air ambiant est à  $10^\circ\text{C}$ , la consommation d'oxygène et l'activité musculaire mesurée à l'aide d'un électromyogramme à la surface de la peau associées aux frissons thermiques diminuaient en fonction de l'augmentation de l'intensité de

l'exercice. D'autres auteurs ont également observé une plus grande consommation d'oxygène associée à la thermogenèse avec frissons à une charge de travail équivalente à 30% du  $\dot{V}O_2\text{max}$  dans un environnement plus froid (5°C, avec vent et vêtements mouillés), alors qu'il n'y avait pas de différence significative de consommation d'oxygène à une charge de travail équivalente à 60% du  $\dot{V}O_2\text{max}$  dans des conditions de froid par rapport à une exposition moins sévère (sans vent et avec vêtements secs) (Pugh, 1967; Weller et coll. 1997).

## Influence sur la performance

L'exposition à un environnement froid peut avoir un impact sur certains facteurs dont la performance physique et cognitive (Bergh, 1980). Celle-ci peut être altérée en raison de plusieurs facteurs dont une modification de la fonction cardiovasculaire, de la fonction neuromusculaire et de la perception d'effort (Castellani et Tipton, 2016). C'est donc pour cette raison qu'une fatigue précoce peut survenir, ce qui peut également augmenter le risque de blessures musculosquelettiques (Oksa, 2002).

## Performance physique

On décrit la performance physique selon plusieurs termes, notamment la force musculaire (dynamique et statique), l'endurance et les habiletés physiques (agilité, équilibre et vitesse) (Enander, 1989; Mäkinen, 2007). Il est bien connu dans la littérature qu'une température corporelle inférieure à la normale influence négativement les performances neuromusculaires (Bergh et Ekblom, 1979b; Blomstrand et coll., 1984). Bergh et Ekblom

(1979a) ont observé une diminution de 2% de la contraction volontaire maximale par degré de variation de la température musculaire entre 27 et 40°C. Toutefois, la force isométrique maximale semble rester relativement stable dans cette même étendue de température musculaire (Clarke et Royce, 1962). En général, la capacité à effectuer des exercices dynamiques semble plus facilement perturbée par le refroidissement des muscles que les exercices isométriques. Cependant, de manière uniforme dans la littérature, on rapporte qu'indépendamment du type d'exercice, la baisse de performance est d'environ 2 à 10%·°C<sup>-1</sup> de diminution de la température musculaire (Bergh, 1980; Sargeant, 1987). Autres que le facteur de contrainte thermique, la durée d'exposition, les différentes tâches effectuées ainsi que l'intensité des facteurs contraignants (bruit, pression temporelle, complexité de la tâche, etc.) influencent tout autant la performance (Hancock et coll., 2007). Patton et Vogel (1984) ont comparé les performances physiques sur ergocycle (programme exercice-repos; 17/3 minutes) de plusieurs sujets dans des conditions différentes (20 et -20°C) et ils ont montré que l'endurance sous-maximale (77,1 ± 1,4% (20°C) et 78,9 ± 2,0% (-20°C) du  $\dot{V}O_2$  max) jusqu'à épuisement de ceux-ci était réduite de 38% passant de 112 ± 23 min (20°C) à 67 ± 14 min (-20°C). De plus, on rapporte que la vitesse de contraction, diminuée par le refroidissement des muscles, influence majoritairement les mouvements rapides (Oksa et coll., 1995; Sargeant, 1987). Oksa et coll. (1997, 2002) ont montré que l'activité simultanée des muscles agonistes et antagonistes (extenseurs et fléchisseurs du poignet) à la suite d'une baisse de température musculaire était associée à une diminution de performance. Le muscle antagoniste montrait une plus grande activité contractile. À l'inverse, celle des muscles agonistes était



réduite. Finalement, la diminution de performance pourrait aussi s'expliquer par l'influence de la température sur la conduction nerveuse des nerfs moteurs et sensitifs entraînant une latence motrice distale. Cela peut affecter la coordination musculaire et la précision des mouvements à effectuer des gestes plus fin et précis (Mäkinen, 2007; Racinais et Oksa, 2010; Todnem et coll., 1989). De plus, la sensibilité des récepteurs cutanés diminue avec la baisse de la température, ce qui peut altérer la proprioception et la perception de la position des articulations et des membres (Mäkinen, 2007).

#### Dextérité manuelle

Selon plusieurs témoignages de pompiers et pompières du Québec, ils et elles finissent par avoir froid aux doigts en raison de la durée de l'exposition au froid lors de certaines interventions. Ainsi, leur performance au travail pourrait être affectée, notamment leur dextérité manuelle. En effet, le débit sanguin aux extrémités est diminué lors d'une exposition au froid (Havenith et coll., 1995). Heus et Daanen (1995) rapporte que la dextérité manuelle commence à se détériorer lorsque la température cutanée de la main et des doigts atteint 20°C et qu'elle diminue beaucoup plus rapidement lorsque la température des doigts est inférieure à 15°C. L'exposition au froid et la diminution de la température des doigts sont directement liées à l'altération de la mobilité des doigts, de la force de préhension, de la sensibilité tactile, de la proprioception, de la fonction musculaire ainsi qu'à la douleur. Plusieurs études montrent que la dextérité des doigts est plus affectée par l'exposition au froid que la dextérité de la main complète (Ray et coll., 2019). Muller et coll. (2010) ont montré que d'effectuer un exercice en continu et à

intervalle pendant 30 min à 5°C améliore la performance de la dextérité d'environ 25% comparé à celle obtenue au repos dans une chambre environnementale à la même température. Cependant, ces valeurs ne s'approchent pas des valeurs de base dans un environnement tempéré. En d'autres termes, bien que l'exercice en environnement froid ait conduit à une amélioration significative de la dextérité, les niveaux de performance obtenus dans ces conditions étaient encore inférieurs à ceux observés dans des conditions de température ambiante. Également, De Jong et ses collaborateurs (1966) ont montré qu'il n'y a pas seulement la température de la peau qui est à l'origine d'une perte de dextérité manuelle. L'exposition au froid diminue la conduction nerveuse de  $1,84 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$  lorsque la température du nerf se retrouve entre 36 et 23°C. Enfin, la perte de mobilité (rigidité) est aussi associée à une dégradation de la performance manuelle en raison du refroidissement du liquide synovial à l'intérieur de l'articulation. Le refroidissement du liquide synovial à l'intérieur des articulations peut augmenter sa viscosité et entraîner une diminution de la mobilité articulaire, affectant ainsi la dextérité et la performance manuelle (Chi et coll., 2012).

### Cognition

Dans des conditions de froid extrême, une diminution de la performance cognitive chez les pompiers et pompières pourrait mener à une augmentation du risque d'accident de travail ou tout simplement à une inefficacité à réaliser les tâches critiques et essentielles en situation d'urgence. Les tâches qui définissent la fonction cognitive sont la mémoire

(verbale, spatiale et de travail), l'attention et la fonction exécutive (Lezak, 2004). Lorsque la température ambiante est inférieure à 10°C, la performance mentale et cognitive est particulièrement affectée (Palinkas, 2001). En fait, cela pourrait s'expliquer par la théorie de la distraction qui stipule que l'attention et la performance cognitive sont perturbées par la présence d'un stimulus externe qui demande une attention concurrente à celle nécessaire pour accomplir une tâche cognitive (Teichner, 1958). On rapporte dans la littérature qu'une température ambiante légèrement froide (10°C) mène à une distraction sensorielle assez grande pour distraire les participants lors d'une tâche cognitive (Muller et coll., 2012). Selon Yang et collaborateurs (2021), l'exposition à des froids extrêmes (-30°C) diminue l'attention sélective de 16% et la mémoire à court terme de 33%. Cependant, les études semblent être mitigées sur le sujet. En effet, Mäkinen et coll. (2006) ont montré à la fois des améliorations de la fonction cognitive et des altérations dans des conditions spécifiques (-15°C). Une deuxième hypothèse suggère que l'éveil profiterait à cette fonction. Enander (1987) suggère que l'exposition à un environnement froid entraînant une baisse de la température corporelle interne provoquerait une contrainte qui serait perçue comme un défi par le corps, augmentant ainsi la vigilance, l'attention et améliorant les performances mentales jusqu'à la fin de la tâche. En contrepartie, le temps d'éveil, résultant d'une exposition au froid, doit être court puisqu'en cas de persistance cela peut conduire à une baisse de performance cognitive (Palinkas et coll., 2005).

## Métabolisme

Les performances physiques peuvent être réduites lorsque la température des muscles est diminuée et ainsi être affectées par une moins grande sollicitation du métabolisme aérobie et une plus grande sollicitation du métabolisme anaérobie (Bergh et Ekblom, 1979; Castellani et Tipton, 2016). Plusieurs études montrent un plus grand recours du métabolisme anaérobie au froid mesuré par une plus grande quantité de lactate dans le sang. Blomstrand et coll. (1984 et 1987) ont montré qu'à une haute intensité d'exercice et à des températures musculaires inférieures à la normale (28-29°C), le temps avant l'épuisement était réduit de 40%. Cette diminution était attribuable à un taux élevé de glucose-6-phosphate et de lactate dans les fibres de type 1 et 2. Il n'y a aucune évidence scientifique que l'homme, lorsqu'il est exposé au froid, utilise davantage les fibres musculaires à contraction rapide. En revanche, une étude sur les poissons a démontré que ceux-ci utilisent les fibres de type 2 au froid (Rome et coll., 1984). Cela pourrait expliquer le mécanisme de diminution de performance chez l'homme dans ces environnements puisque ce type de fibres se fatigue plus rapidement que celles de type 1. De plus, la diminution de l'efficacité et de l'économie d'effort au froid sont responsables d'une plus grande consommation d'oxygène et d'une diminution de la performance aérobie (Cheuvront et Haymes, 2001; Claremont et coll., 1975). On remarque tout de même une diminution de l'efficacité d'effort lorsque la température corporelle interne se maintient. C'est donc la thermogenèse sans frisson ainsi que la perte de force musculaire dues au refroidissement de ceux-ci qui semble en être la cause (Horvath et coll., 1955).

## Risques pour la santé

Selon la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST), le travail au froid peut être dangereux pour la santé des travailleurs et travailleuses, car le refroidissement des parties du corps est à l'origine de plusieurs blessures ou problèmes de santé. Cela peut se limiter à plusieurs parties du corps telles que les oreilles, le nez, les joues, les orteils et les doigts ou même être généralisé. Dans ce cas, une exposition prolongée au froid ou à un froid extrême peut engendrer des blessures ou problèmes de santé très graves, notamment l'hypothermie. La durée du stimulus au froid et la sévérité de celui-ci sont directement liées à la dangerosité de l'exposition et à la réponse du corps (CNESST, 2019).

## Hypothermie

L'hypothermie est la lésion au froid la plus grave, car elle résulte d'une diminution excessive de la température corporelle interne. Ainsi, elle peut être fatale. Lors d'une exposition au froid, la thermorégulation vise à conserver la température corporelle interne normale ( $37 \pm 2$  °C), c'est-à-dire au cerveau, au cœur, aux poumons et à la partie supérieure de l'abdomen (CNESST, 2019). Cette condition est considérée comme sévère lorsque la température corporelle interne est inférieure à 28°C. Elle peut mener à une perte de conscience, à une insuffisance cardiaque ou respiratoire, au coma et même, au décès. Lors d'une intervention en hiver, les pompiers et pompières québécois(es) sont confronté(e)s à effectuer des tâches à des températures très élevées, par exemple entre 71 et 82°C mesurés à 1,2 m du sol (Horn et coll., 2010; Smith et coll., 2011), suivis par du

travail à des températures très basses (-15°C dans les principales aires urbaines) et séparés par une très courte période de temps (Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 1981-2010). L'exercice physique suivi d'une exposition au froid pourrait accroître les risques d'hypothermie pour différentes raisons. D'abord, être exposé au froid directement après un effort physique pourrait accentuer les pertes de chaleur en raison du délai de changement de processus thermorégulateur de perte de chaleur vers la conservation de celle-ci. En effet, il se produit un décalage des réponses thermorégulatrices qui inhibe les réponses de maintien de la température corporelle au froid. Les réponses thermorégulatrices sont normalement responsables de faciliter la dissipation de la chaleur dans des conditions normales tempérées (Sawka, 1996) et lors d'une exposition au froid, de limiter la réduction de température corporelle. Deuxièmement, la perfusion dans les muscles squelettiques est considérablement augmentée (Thoden et coll., 1994) et celle-ci peut s'avérer élevée sur une période prolongée. Ainsi, une exposition au froid ultérieure augmenterait d'autant plus la dissipation locale de chaleur des muscles actifs durant l'exercice (Castellani et Tipton, 2016; Sawka et coll., 1984).

### Engelure

« Les engelures sont définies comme les dommages subis par les tissus lorsqu'ils sont soumis à des températures inférieures à leur point de congélation (environ -0,055°C). Il peut inclure les lésions sans gelure, où les tissus ne gèlent pas, mais sont soumis à un refroidissement prolongé et dommageable » (Tooke et Lowe, 1996). La température, la

durée de l'exposition, la profondeur ainsi que la quantité des tissus gelés sont proportionnellement liées à la gravité des lésions localisées (Murphy et coll., 2000). Les gelures comportent plusieurs degrés de blessures, débutant par des lésions tissulaires minimales à des nécroses tissulaires importantes pouvant même mener à de graves conséquences telles que l'amputation (Hallam et coll., 2010). Tel que mentionné précédemment, la réponse vasomotrice initiale, en réponse à la diminution de la température corporelle, réduit le flux sanguin et l'apport en oxygène et en nutriments aux tissus. Ce phénomène provoque une ischémie et un refroidissement neuronal conduisant à la perte de sensibilité (Carceller et coll., 2017). La température de l'air, la vitesse du vent et l'humidité sont les principaux déterminants du risque d'engelure. Le vent accroît les pertes de chaleur par convection et réduit l'efficacité des vêtements isolants (Castellani et Tipton, 2016; Freund et Sawka, 1996). Lorsqu'il n'y a pas de vent, l'activité physique permet d'augmenter la température de la peau couverte. En contrepartie, l'activité physique dans certaines conditions venteuses ne permettrait pas de maintenir la température des doigts couverts. Ainsi, on rapporte dans la littérature que, lors d'une exposition à une température de 5°C et à des vents de 5 m·s<sup>-1</sup>, la température des doigts augmente seulement de 3°C (de 10°C à 13°C) lors d'une activité physique à intensité légère à moyenne (marche sur tapis roulant à 2,8 et 4,8 km·h<sup>-1</sup>, respectivement) (Brajkovic et Ducharme, 2006; Gavhed et coll., 2003). On rapporte que le degré de la blessure causée par le froid augmente lorsque les températures descendent en dessous de -12°C et que la vitesse du vent dépasse 4,5 m·s<sup>-1</sup> (Mäkinen et Hassi, 2009).

## Contrainte cardiovasculaire au froid

Bien que des études aient des opinions divergentes sur le sujet, l'exposition à l'air froid pourrait avoir un impact sur la performance en raison des effets sur les régulations cardiovasculaires notamment sur la fréquence cardiaque, le volume d'éjection systolique, l'activité nerveuse sympathique, la résistance périphérique totale, la pression artérielle moyenne et les besoins en oxygène du myocarde (Castellani et Tipton, 2016). Il est connu toutefois que ces effets physiologiques pourraient aussi être à l'origine de l'augmentation du risque d'évènements cardiaques. Lors d'une exposition au froid, les thermorécepteurs stimule le système nerveux sympathique qui engendre de la vasoconstriction périphérique. Ce mécanisme de thermorégulation discuté précédemment engendre une augmentation de la résistance vasculaire périphérique et, par conséquent, une augmentation de la pression artérielle systolique (5-30 mmHg) et diastolique (5-15 mmHg), considérant que le débit cardiaque ne varie pas ou très peu lors d'une l'exposition au froid (Ikäheimo, 2018). De plus, le volume d'éjection systolique augmente lors de l'exposition au froid en raison du déplacement du sang de la circulation périphérique vers la circulation centrale, ce qui a pour effet d'augmenter la pression veineuse centrale et diminuer la fréquence cardiaque (Hintsala et coll., 2016; Mc Ardle et coll., 1976; Raven et coll., 1970). Dans certaines conditions d'exposition au froid, notamment lors de l'immersion de la main et de l'avant-bras dans l'eau froide (cold pressure test) et de l'inhalation d'air froid, une augmentation de la fréquence cardiaque peut être observée, principalement en raison de l'activation du système nerveux sympathique. Ces tests montrent également une augmentation de la pression artérielle systolique (Ikäheimo,



2018). L'exposition au froid peut donc provoquer une augmentation de la demande myocardique en oxygène qui peut être estimée par une augmentation du produit fréquence-pression (fréquence cardiaque  $\times$  pression artérielle systolique), marqueur du travail cardiaque (Kitamura, 1972).

Une proportion importante des pompiers et des pompières du Québec présente un ou plusieurs facteurs de risque de maladies cardiovasculaires, ce qui laisse croire qu'une proportion conséquente pourrait développer une maladie cardiovasculaire (Gendron et coll., 2018a; Gendron et coll., 2018b). Chez les personnes atteintes de coronaropathies, le risque d'événement cardiaque pourrait être augmenté si l'apport myocardique en oxygène n'est pas suffisant pour combler les besoins myocardiques en oxygène (Manou-Stathopoulou, 2015). Enfin, l'exposition au froid, particulièrement la zone du visage, a été observée comme étant pro arythmique (Manou-Stathopoulou et coll., 2015), ce qui pourrait augmenter davantage le risque d'événement cardiaque chez les pompiers et pompières souffrant d'une maladie coronarienne, notamment lors des phases de travail éloignées du feu sans équipement facial.

## OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES

L'exposition des pompiers et pompières au froid mérite de l'attention considérant qu'elle est fréquente au Québec et considérant ses effets potentiels sur la santé et la sécurité de ces travailleurs et travailleuses lors du combat d'un incendie en hiver. À notre connaissance, aucune étude n'a été menée pour évaluer les effets du froid lors d'une intervention chez les pompiers et pompières. Cette étude serait ainsi la première à caractériser les réponses physiologiques, perceptuelles, cognitives et motrices spécifiques à une intervention réalisée en hiver chez ces travailleurs et travailleuses.

Objectif : Caractériser la variation 1) des réponses physiologiques (thermorégulatoires et cardiovasculaires), 2) des réponses perceptuelles, 3) des réponses cognitives et 4) des réponses motrices occasionnées par une exposition au froid lors d'une simulation de combat d'un incendie en hiver.

Hypothèses : L'exposition au froid occasionnera une diminution importante de la température cutanée et une diminution moins importante de la température corporelle interne. Nous croyons qu'elle n'engendrera pas nécessairement de contrainte cardiovasculaire problématique par rapport à un exercice réalisé à la chaleur (combat de l'incendie). Les participant(e)s auront très froid et seront très inconfortables, ce qui pourrait expliquer en partie la réduction des performances cognitives et motrices.

Évidemment, plus la température ambiante sera basse, plus ces réponses seront importantes.

# MÉTHODOLOGIE

## Approbation éthique

Le projet a été approuvé par le comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'Université du Québec à Trois-Rivières (CER-22-292-07.02). Tous/toutes les participant(e)s ont fourni un consentement écrit (formulaire d'information et de consentement en annexe).

## Participant(e)s

Dix-huit (18) participant(e)s ont pris part à l'étude dont une femme. Ils/elle devaient être âgé(e)s entre 18 et 59 ans, pratiquer au moins 30 minutes d'activité physique à intensité moyenne ( $\geq 3$  METs) 3 jours par semaine depuis au moins 3 mois (ACSM, 2023) et pratiquer de l'activité physique à intensité élevée ( $\geq 6$  METs) au moins une fois 30 minutes par semaine. De plus, les participant(e)s ne devaient pas souffrir d'une maladie cardiovasculaire/métabolique et/ou présenter des signes et symptômes de ces maladies (ACSM, 2023). Ils/elle devaient avoir une fréquence cardiaque de repos inférieure à 100 bpm (SCPE, 2019), une pression artérielle de repos inférieure à 160/90 mmHg (SCPE, 2019), aucune contre-indication médicale à pratiquer de l'activité physique et aucune contre-indication à s'exposer à la chaleur (p. ex. grossesse). Enfin, le *Questionnaire Menez une vie plus active* (SCPE, 2021) devait être négatif.

## Conception expérimentale

Tous/toutes les participant(e)s ont complété quatre visites en laboratoire lors de quatre différentes journées séparées d'au moins 48 heures. Les expérimentations ont été menées à des heures similaires dans le but d'atténuer les perturbations sur la thermorégulation dues au rythme circadien. Lors de la première rencontre, les participant(e)s devaient réaliser un test incrémental jusqu'à effort maximal sur tapis roulant afin d'évaluer leur condition physique. Les trois autres rencontres (visites expérimentales) réalisées de manière contrebalancée ont permis d'exposer les participant(e)s à trois différentes températures ambiantes dans une chambre environnementale : 17°C (T17), 0°C (T0) et -17°C (T-17). Les participant(e)s étaient placé(e)s au repos dans la chambre environnementale pendant 60 minutes. L'exposition au froid était précédée d'une simulation d'intervention d'une durée de 25 minutes réalisée sur un tapis roulant à  $22,6 \pm 0,5^\circ\text{C}$  et à  $24,3 \pm 6,0\%$  d'humidité relative à l'extérieur de la chambre environnementale. Ces conditions de température et d'humidité relative peuvent représenter l'environnement à l'intérieur ou à proximité du bâtiment enflammé lors d'une intervention, bien que celles-ci varient considérablement dans la réalité. L'ensemble des participant(e)s a respecté les consignes préalables avant chacune des visites en laboratoire, se conformant ainsi à l'abstinence d'activité physique intense durant une période de 24 heures précédant chaque visite, à l'absence de consommation de drogues et d'alcool durant 12 heures, de caféine et des boissons énergisantes pendant 6 heures, ainsi que de tabac durant 2 heures. De plus, les participant(e)s devaient boire 250 ml d'eau la veille au soir et le matin précédant chacune des visites au laboratoire pour éviter d'arriver au laboratoire dans un état

d'hypohydratation (gravité spécifique de l'urine  $\geq 1,025$ ) (Kenefick et Cheuvront, 2012). Ils/elle ont consommé un repas léger deux heures avant leur arrivée au laboratoire, ont maintenu leurs habitudes de niveau d'activité physique tout au long de leur participation au projet, ont évité de participer simultanément à d'autres projets de recherche et ont veillé à bénéficier d'une nuit de sommeil adéquate avant chaque visite. Par ailleurs, une déclaration détaillée des médicaments, suppléments, produits naturels et/ou drogues utilisés a été fournie par les participant(e)s au besoin. L'ensemble de ces mesures minimisait les facteurs confondants potentiels et permettait de standardiser les conditions expérimentales.

### Première rencontre

En début de rencontre, les participant(e)s devaient remplir le formulaire d'information et de consentement, le formulaire de vérification des critères d'inclusion/exclusion ainsi que le *Questionnaire Menez une vie plus active* pour confirmer leur éligibilité à l'étude. Dans ce même début de rencontre, leur niveau de pratique d'activité physique était évalué et la gravité spécifique de l'urine, le poids corporel, la taille, le tour de taille et le pourcentage de graisse étaient mesurés. Par la suite, les participant(e)s ont été instrumenté(e)s afin de pouvoir mesurer la fréquence cardiaque à l'effort physique. Ensuite, vêtu(e)s du pantalon de l'équipement de protection individuelle (ÉPI), ils/elle se sont allongé(e)s pendant dix minutes en décubitus dorsal sur une table de traitement pour des mesures de repos. Par après, les participant(e)s se sont vêtu(e)s de l'ÉPI (cagoule, manteau, gants, bamas, bottes et pantalon) par-dessus leurs vêtements de sport (t-shirt et short de sport).

Le protocole du test incrémental par paliers à la marche jusqu'à effort maximal sur tapis roulant était le suivant : la vitesse de marche était de  $4,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  avec une augmentation progressive de l'inclinaison de 2% à chaque palier de 2 minutes à partir d'une pente initiale de 0%. Les participant(e)s respiraient à l'aide d'un masque branché à un analyseur métabolique mesurant les échanges gazeux. La fréquence cardiaque était mesurée à chaque palier. Le test incrémental prenait fin lorsque les participant(e)s atteignaient l'effort maximal.

### Visites expérimentales

En arrivant au laboratoire, les participant(e)s devaient fournir un échantillon d'urine en privé. Ils/elle devaient ensuite se peser nu(e)s et, toujours en privé, devaient s'insérer une sonde rectale. Des électrodes et une bande cardiofréquence-mètre ont ensuite été installées sur les participant(e)s. Huit sondes sans fil ont également été apposées sur leur peau à cinq endroits différents (poitrine, bras, cuisse, mollet et majeurs) lors de ces rencontres, ce qui a permis de mesurer la température et le taux d'humidité relative dans l'habit ainsi que la température de la peau (Figure 3). Par la suite, les participant(e)s se sont vêtus(e)s d'un ÉPI (cagoule, manteau, gants, bamas, bottes, pantalon et casque) et d'un appareil de protection respiratoire individuel autonome sans la partie faciale par-dessus leurs vêtements de sport (chandail à manches longues et pantalon long de sport) (Figure 4). Les vêtements sous l'ÉPI étaient les mêmes pour chacune des visites expérimentales. Ils/elle ont ensuite effectué un test de préhension de la main (mains gantées), un test de dextérité

manuelle (mains gantées) et un test de performance cognitive avant de procéder à la simulation d'intervention sur tapis roulant. Lors de la première rencontre des visites expérimentales, les participant(e)s ont été amené(e)s à se familiariser (1 seule fois) avec le test de dextérité manuelle en l'exécutant à 3 répétitions. Lors de cette même rencontre, ils/elle ont aussi été tenu(e)s de se familiariser avec le test de performance cognitive en effectuant la condition de pratique qu'une seule fois avant la prise de la première mesure.



Figure 3. Photographie illustrant l'emplacement des sondes sans fil et des électrodes sur un participant. Vue de face et d'arrière.





Figure 4. Photographie illustrant l'habillement complet (ÉPI et APRIA) d'un participant. Vue de face et d'arrière.

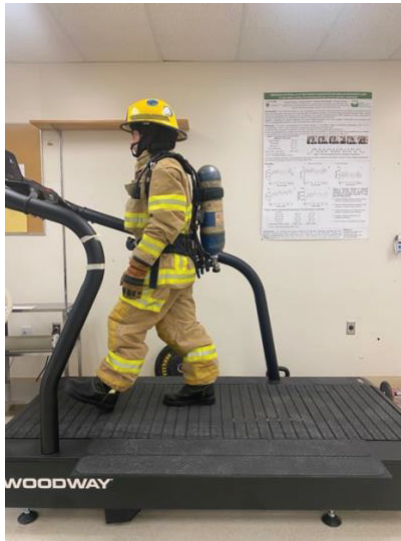
### Simulation d'intervention sur tapis roulant

L'avantage de cette méthodologie expérimentale est de contrôler l'intensité de l'exercice, car une même intervention est réalisée à chaque visite. Elle repose sur le fait que les pompiers et pompières effectuent normalement des périodes de travail d'environ 20 à 40 minutes en raison de l'autonomie que procure le réservoir d'air. De plus, elle respecte les cycles de travail-repos de 1 à 4 minutes qui sont généralement effectués lors d'une phase de travail (Horn et coll. 2013; Smith et coll. 2010). Les résultats d'une étude non-publiée (en rédaction) dans notre laboratoire indiquent que la demande physiologique observée chez de jeunes adultes en santé ( $n = 41$ ; âge :  $27 \pm 6$  ans;  $\dot{V}O_{2pic} : 48,3 \pm 6,7 \text{ mlO}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) pendant la simulation concorde avec les données de la littérature. Le pic de la

température rectale enregistrée pendant la simulation était de  $38,0 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ , en cohérence avec les valeurs documentées dans la littérature qui varient de  $38,1$  à  $38,8^{\circ}\text{C}$  (Burgess et coll., 2012; Colburn et coll., 2011; Horn et coll., 2011; Horn et coll., 2015; Hostler et coll., 2016; Hunter et coll., 2017; LaneCordova et coll., 2015; Petruzzello et coll., 2016; Romet et Frim, 1987; Rossi, 2003; Smith et coll., 2011; Smith et coll., 2014a; Smith et coll., 2014b; Smith et coll., 2016) lors de courtes interventions allant de 12 à 24 minutes. Le pic de  $\dot{V}\text{O}_2$  enregistré était de  $35,2 \pm 3,3 \text{ mlO}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ , concordant avec les résultats antérieurs qui se situent généralement entre  $36,6 \text{ mlO}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  et  $44 \text{ mlO}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  (Gledhill et Jamnik, 1992). Le  $\text{VO}_2$  moyen de  $20,8 \pm 1,7 \text{ mlO}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  observé dans cette étude correspond également aux valeurs typiquement rapportées, généralement comprises entre  $23,4 \text{ mlO}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  et  $29,1 \text{ mlO}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  (Ensari et coll., 2017; Elsner et Kolkhorst, 2008; Gledhill et Jamnik, 1992; Kesler et coll., 2018). La durée simulée, avec une utilisation de  $1184 \pm 204$  litres d'air comprimé, est représentative d'une réelle intervention considérant qu'un réservoir conventionnel est conçu pour être remplacé lorsqu'il atteint environ 20-25% sa capacité totale, soit environ 450-500 litres d'air restants sur la capacité totale de 1800 litres. Enfin, les tâches sont spécifiques au métier (Deakin et coll. 1996; Gledhill et coll. 1992; Todd Rogers et coll. 2014).

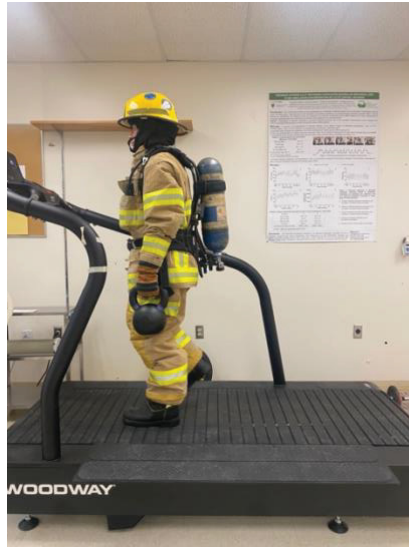
Voici les étapes de la simulation d'intervention :

1. 1 minute de marche à  $4,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  à une inclinaison de 1%.



2. 1 minute de marche à  $4,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  à une inclinaison de 1% en transportant avec la main droite un kettlebell de 18,2 kg (40 lbs) représentant le transport d'un diviseur de tuyau d'arrosage (voir photo tâche #3)

3. 1 minute de marche à  $4,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  à une inclinaison de 1% en transportant avec la main gauche un kettlebell de 18,2 kg (40 lbs) représentant le transport d'un diviseur de tuyau d'arrosage.



4. 1 minute de marche à  $4,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  à une inclinaison de 1% (voir photo tâche #1).

5. 1 minute de marche à  $4,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  à une inclinaison de 12% représentant l'ascension d'une échelle ou d'un escalier.



6. 1 minute de marche à  $4,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  à une inclinaison de 1% (voir photo tâche #1)

7. 1 minute de marche à  $4,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  à une inclinaison de 1% en transportant une barre de 13,7 kg (30 lbs) d'une longueur de 6 pi représentant le transport d'une échelle de 13,7 kg (30 lbs) d'une longueur de 12 pi.



8. 1 minute de marche à  $4,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  à une inclinaison de 1% (voir photo tâche #1).

9. 1 minute de marche à  $4,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  à une inclinaison de 1% en transportant contre la poitrine une plaque d'haltérophilie de 16 kg (35 lbs) représentant un tuyau de 65 mm (2,5 po) d'une longueur de 30 mètres (100 pi) enroulé et pesant 16,5 kg.



10. 1 minute de marche à  $4,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  à une inclinaison de 12% en transportant contre la poitrine une plaque d'haltérophilie de 16 kg (35 lbs) représentant un tuyau de 65 mm (2,5 po) d'une longueur de 30 mètres (100 pi) enroulé et pesant 16,5 kg. Cette tâche représente l'ascension d'un escalier en transportant un tuyau d'arrosage.



11. 1 minute de marche à  $4,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  à une inclinaison de 1% (voir photo tâche #1).



12. Sur le tapis roulant en arrêt, tirage à deux mains avec le tronc incliné (« bent over row ») d'un kettlebell de 18,2 kg (40 lbs) pour 20 répétitions sur 30 secondes.  
Cette tâche représente le tirage d'un tuyau d'arrosage.



13. 1 minute de pause debout sur le tapis roulant en arrêt.

14. Sur le tapis roulant en arrêt, tirage à deux mains avec le tronc incliné (« bent over row ») d'un kettlebell de 18,2 kg (40 lbs) pour 20 répétitions sur 30 secondes.  
Cette tâche représente le tirage d'un tuyau d'arrosage (voir photo tâche #12).

15. 1 minute de pause debout sur le tapis roulant en arrêt.

16. Sur le tapis roulant en arrêt, tirage à deux mains avec le tronc incliné (« bent over row ») d'un kettlebell de 18,2 kg (40 lbs) pour 20 répétitions sur 30 secondes. Cette tâche représente le tirage d'un tuyau d'arrosage (voir photo tâche #12).
17. 1 minute de marche à  $4,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  à une inclinaison de 12% en transportant contre la poitrine une plaque d'haltérophilie de 16 kg (35 lbs) représentant un tuyau de 65 mm (2,5 po) d'une longueur de 30 mètres (100 pi) enroulé. Cette tâche représente l'ascension d'un escalier en transport un tuyau d'arrosage (voir photo tâche #10).

18. En position debout sur le tapis roulant en arrêt, poussée vers le haut (« développé militaire ») de poids libres de 2,3 kg (5 lbs) pour 20 répétitions sur 30 secondes. Cette tâche représente le travail réalisé au-dessus des épaules (p. ex. briser un plafond avec une gaffe).



19. 1 minute de pause debout sur le tapis roulant en arrêt.

20. En position debout sur le tapis roulant en arrêt, poussée vers le haut (« développé militaire ») de poids libres de 2,3 kg (5 lbs) pour 20 répétitions sur 30 secondes. Cette tâche représente le travail réalisé au-dessus des épaules (p. ex. briser un plafond avec une gaffe) (voir photo tâche #18).

21. 1 minute de pause debout sur le tapis roulant en arrêt.
22. En position debout sur le tapis roulant en arrêt, poussée vers le haut (« développé militaire ») de poids libres de 2,3 kg (5 lbs) pour 20 répétitions sur 30 secondes. Cette tâche représente le travail réalisé au-dessus des épaules (p. ex. briser un plafond avec une gaffe) (voir photo tâche #18).
23. 1 minute de pause debout sur le tapis roulant en arrêt.
24. 1 minute de marche à  $4,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  à une inclinaison de 12% en transportant contre la poitrine une plaque d'haltérophilie de 16 kg (35 lbs) représentant un tuyau de 65 mm (2,5 po) d'une longueur de 30 mètres (100 pi) enroulé. Cette tâche représente l'ascension d'un escalier en transport un tuyau d'arrosage (voir photo tâche #10).
25. 1 minute de marche à  $4,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  à une inclinaison de 1%.
26. 1 minute de marche à  $4,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  à une inclinaison de 1% en transportant une barre de 13,7 kg (30 lbs) d'une longueur de 6 pi représentant le transport d'une échelle de (13,7 kg) 30 lbs d'une longueur de 12 pi (voir photo tâche #7).

27. 1 minute de marche à  $4,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  à une inclinaison de 1% en transportant contre la poitrine une plaque d'haltérophilie de 16 kg (35 lbs) représentant un tuyau de 65 mm (2,5 po) d'une longueur de 30 mètres (100 pi) enroulé pesant 16,5 kg (voir photo tâche #9).

28. 1 minute de marche à  $4,5 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$  à une inclinaison de 1% (voir photo tâche #1).

### Chambre environnementale

À la suite de la simulation d'intervention de 25 minutes, les participant(e)s prenaient 5 minutes pour retirer l'appareil de protection respiratoire individuel autonome et s'installer dans la chambre environnementale pour une période de 60 minutes en position assise pendant que le câblage des instruments de mesure était rebranché aux appareils en les passant par les trappes dans le mur de la chambre environnementale prévues à cet effet. À toutes les 10 minutes, des mesures de pression artérielle et de fréquence cardiaque étaient prises par l'expérimentateur à l'extérieur de la chambre froide. Après 15 minutes, les participant(e)s devaient réaliser un premier test de préhension de la main. Après 30 minutes, les participant(e)s devaient effectuer un second test de préhension de la main et un test de dextérité manuelle. Dans les 10 dernières minutes de l'exposition au froid, ils/elle devaient effectuer les mêmes tests (préhension de la main et test de dextérité manuelle) et un test de performance cognitive toujours à l'intérieur de la chambre environnementale. À la suite de ces tests et à l'atteinte des soixante minutes, les

participant(e)s sortaient de la chambre froide afin de procéder au retrait des instruments de mesure. En privé, ils/elle devaient finalement retirer leur sonde rectale.

Tableau 1. Variables mesurées selon les visites.

Variable	Évaluation de la condition physique	Visites expérimentales	
		Simulation d'intervention	Exposition au froid
	1h30	2h30-3h00	
Mesures anthropométriques	X		
Échantillon d'urine	X		X
Fréquence cardiaque	X		X
Pression artérielle			X
Échanges gazeux	X		
Perception(s)			X
Température rectale			X
Température de la peau			X
Température et humidité relative dans l'ÉPI			X
Test de préhension de la main			X
Test de dextérité manuelle			X
Performance cognitive			X

ÉPI : équipement de protection individuelle.

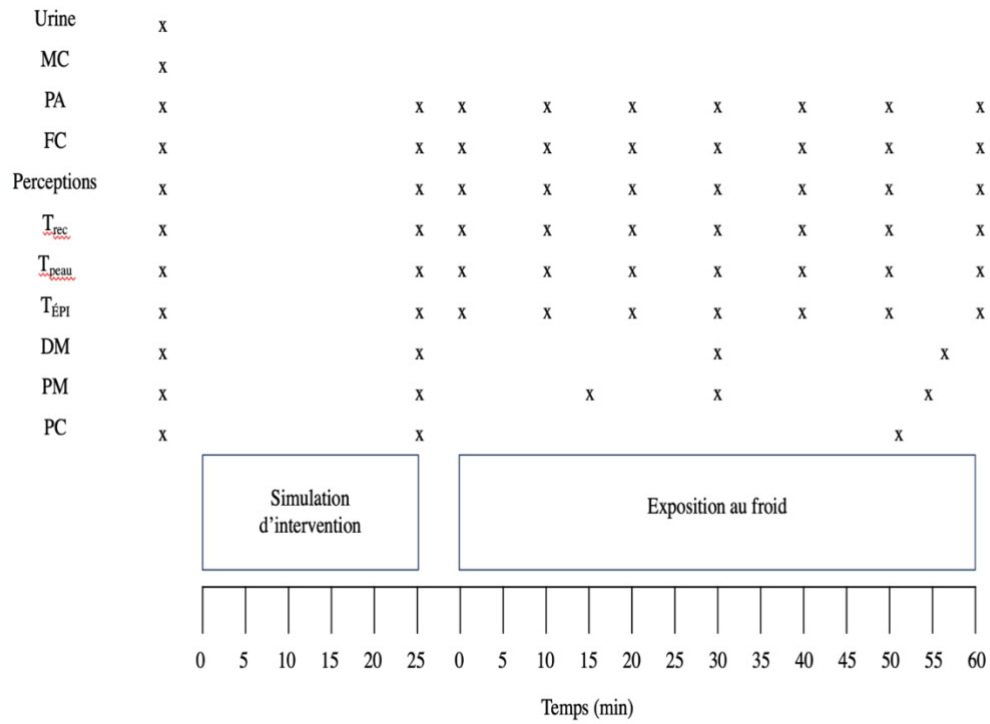


Figure 5. Chronologie des visites expérimentales illustrant les moments des prises de mesure de température rectale ( $T_{rec}$ ) et cutanée ( $T_{peau}$ ), de température et d'humidité relative dans l'équipement de protection individuelle ( $T_{ÉPI}$ ), de gravité spécifique de l'urine (GSU), de masse corporelle (MC), de pression artérielle (PA), de fréquence cardiaque (FC), de perception de confort, de douleur et de sensation thermique (perceptions), de dextérité manuelle (DM), de préhension de la main (PM) et de performance cognitive (PC).

## Instrumentation

### Niveau d'activité physique

Le GPAQ (Global Physical Activity Questionnaire) a été utilisé afin de déterminer le niveau d'activité physique des participant(e)s (Armstrong et Bull, 2006).

### Mesures anthropométriques

La taille a été mesurée avec un stadiomètre mural (Seca, Allemagne); la masse corporelle nue avec une balance numérique à haute précision (Themis-BP Atlas-JR Washown Bench Scales, Canada, précision :  $\pm 0,02$  kg); le tour de taille a été mesuré avec un ruban à mesurer (AMG Medical, QC) selon le protocole de la Société canadienne de physiologie de l'exercice (SCPE, 2019); le pourcentage de graisse a été estimé en utilisant une balance à bio-impédance (Modèle BC-418, Tanita Corporation, Japon) et la gravité spécifique de l'urine était mesurée avec un réfractomètre (PAL-10s, Atago, Japon).

### Réponses thermorégulatrices

La température corporelle interne a été mesurée en utilisant une sonde rectale (pilule) téléométrique thermométrique (CorTemp, HQ Inc, É.-U.) (voir figure 6) insérée juste au-delà du sphincter anal. La sonde était enveloppée dans un préservatif et attachée par un fil dentaire. Après avoir été stérilisées de manière appropriée, chaque pilule a été réutilisée pendant un maximum de 50 heures (Gosselin, 2019; Pancrate, 2020). Par conséquent, une pilule donnée était partagée par plusieurs participant(e)s. Au total, 9 pilules différentes



ont été utilisées au cours de l'étude. Les participant(e)s ont utilisé la même sonde pour toute la durée de l'étude. Chacune des pilules thermométriques sans fil a été calibrée avant les cueillettes de données par rapport à un thermomètre de haute précision (6410 Platinum High-Accuracy Freezer Thermometer with stainless-steel probe, Traceable, É.-U.) dans un bocal cylindrique en Pyrex™ où l'eau était chauffée à 36, 37, 38 et 39°C à l'aide d'un circulateur d'immersion (MX-CA11B, PolyScience, É.-U.). Les températures des pilules télémétriques ont ensuite été prédites à l'aide d'une droite de régression à 4 points construite pour chacune d'entre elles (Challis et Kolb, 2010). Des mesures locales de température cutanée ont été prises avec des capteurs iButtons Hygrochron (Maxim Integrated Products Inc., San José, CA, É.-U.) (voir Figure 7). Les capteurs étaient placés sur le côté droit du corps sur la poitrine, sur la partie supérieure du bras (deltoïde), sur la partie antérieure de la cuisse (droit antérieur), sur le mollet (partie charnue) et sur les doigts (face dorsale des phalanges proximales des majeurs gauche et droit). La température et le taux d'humidité relative entre la peau et l'ÉPI a également été mesurée à l'aide des capteurs iButtons Hygrochron. Ils étaient orientés vers la couche interne du manteau et étaient fixés au niveau de la poitrine et de la cuisse près des capteurs (à 1-2 cm) iButtons Hygrochron utilisés pour mesurer la température cutanée (voir figure 8).



Figure 6. Sonde rectale téléométrique thermométrique.



Figure 7. Capteurs iButtons Hygrochron pour mesurer la température cutanée.



Figure 8. Capteur iButtons Hygrochron inséré dans une capsule de plastique qui permet de maintenir le capteur à quelques millimètres de la peau pour mesurer la température et le taux d'humidité relative dans l'équipement de protection individuelle.

## Réponses cardiovasculaires

La fréquence cardiaque était mesurée avec une ceinture cardiaque H10 (Polar, Finlande) et la pression artérielle était mesurée par auscultation automatique de l'artère brachiale gauche (SunTech Medical, NC).

## Réponses cognitives

La flexibilité cognitive a été évaluée à l'aide d'un test de Stroop numérique sur papier. Il consistait en quatre tâches, à savoir la condition de dénomination (tâche 1), la condition de lecture des mots (tâche 2), la condition d'inhibition (tâche 3) et la condition d'inhibition/flexibilité (tâche 4). Pour chacune des conditions, à la première rencontre expérimentale, les participant(e)s effectuaient deux lignes de pratique avant de débiter le test. Ils/elles devaient effectuer les tâches le plus rapidement possible en faisant le moins d'erreurs possible. La durée des tâches, les erreurs corrigées et non corrigées étaient comptabilisées.

Condition de dénomination : Dans cette condition, les participant(e)s devaient nommer la couleur d'une série de carrés remplis d'une couleur différente.

Condition de lecture des mots : Dans cette condition, les participant(e)s devaient lire une série de mots (noms de couleurs).

Condition d'inhibition : Dans cette condition, les participant(e)s devaient nommer la couleur de l'encre d'une série de mots, sans les lire. Les mots étaient des noms de couleurs écrits dans des couleurs spécifiques (par exemple, « rouge » écrit en bleu).

Condition d'inhibition/flexibilité : Dans cette condition, les participant(e)s devaient effectuer la même tâche qu'à la condition précédente pour plusieurs mots sur la page, c'est-à-dire nommer la couleur de l'encre, sans lire les mots. Cependant, lorsque le mot était encadré, ils devaient plutôt lire le mot.

### Réponses perceptuelles

La sensation thermique a été mesurée à l'aide d'une échelle de 0 à 8, où 0 = froid insupportable et 8 = chaleur insupportable (Young et coll., 1987); la perception de confort a été mesurée avec une échelle de 1 à 7, où 1 = confortable et 7 = très inconfortable (Raccuglia et coll., 2018); la perception de la douleur a été mesurée à l'aide d'une échelle de 0 à 10, où 0 = pas mal et 10 = très très mal (Wong, 2003) (toutes les échelles sont à l'annexe C).

### Réponses motrices

Un test de préhension de la main a été réalisé avec un dynamomètre pour quantifier le changement de force musculaire (ADInstruments, Nouvelle-Zélande); la dextérité manuelle a été évaluée à l'aide du montage suivant : les participant(e)s devaient assembler

deux sections de tuyaux d'arrosage de 65 mm de diamètre l'une dans l'autre en les vissant et les dévissant trois fois (voir figure 9).



Figure 9. Deux sections de tuyaux d'arrosage de 65 mm de diamètre.

### Équipement de protection individuelle

Pour chaque visite en laboratoire, les participant(e)s portaient un équipement de protection individuelle ( $18,0 \pm 0,5$  kg) comprenant un manteau modèle Gemini, Crosstech, Nomex/PTFE, war glide 2-layer caldura (INNOTEX, QC), le pantalon du même modèle, les bottes en cuir modèle HAIX (Gore CROSSTECH, Allemagne) et des bamas (Ganka incorporation, QC), les gants de pompier PT-8TNSC (Pro-Tech 8 titan, PA), une cagoule ignifuge (Cobra firefighting Hoods, WI) et un casque Bullard modèle SGO 922 (Tenaquip, QC). Les participant(e)s ne portaient pas de casque lors du test

incrémental en raison du port du support pour le masque de l'analyseur métabolique. Plusieurs ÉPI étaient à notre disposition, chaque participant(e) réutilisait donc le même pour les 4 rencontres. En plus de l'ÉPI, les participant(e)s devaient porter l'appareil de protection respiratoire individuel autonome (Dräger, QC) sans la partie faciale lors du test incrémental et lors de la simulation d'intervention, L'appareil était retiré pour les 60 minutes dans la chambre environnemental. Chaque participant devait porter un pantalon et un chandail long de sport en dessous de l'équipement de protection individuelle (mêmes vêtements utilisés pour les 3 visites expérimentales). Toutefois, lors du test à effort maximal, ils/elle portaient un short et un chandail court de sport.

## Analyse de données

La température cutanée moyenne (°C) a été calculée à l'aide de la formule (Ramanathan, 1964) :  $0,3 \times (\text{température du bras} + \text{température de la poitrine}) + 0,2 \times (\text{température de la cuisse} + \text{température du mollet})$ . La pression artérielle moyenne a été calculée à l'aide de la formule :  $1/3 \times \text{pression artérielle systolique} + 2/3 \times \text{pression artérielle diastolique}$ . La force de préhension de la main a été calculée en faisant la somme du meilleur résultat des 2 essais de chacune des mains.

## Analyses statistiques

Une analyse de variances à un facteur a été réalisée afin de comparer le niveau d'hydratation au début de chacune des 3 conditions expérimentales. Des analyses de variances à deux facteurs avec mesures répétées (temps  $\times$  température) ont été réalisées dans le but de comparer les effets des différentes températures dans la chambre environnementale sur les réponses thermorégulatrices, cardiovasculaires, perceptuelles, cognitives et motrices (interaction). Le seuil de significativité statistique a été fixé à  $p < 0,05$ . Les logiciels Microsoft Excel et Prism version 9.5.1 (GraphPad Software Inc.) ont été utilisés.

## RÉSULTATS

Les 18 participant(e)s ont complété toutes les visites de l'étude. Le tableau 2 présente les caractéristiques individuelles des participant(e)s.

Variabiles	Moyenne $\pm$ ÉT	Étendue
Âge (années)	25 $\pm$ 3	22 – 28
Masse adipeuse (%)	17,4 $\pm$ 8,7	8,7 – 26,1
Poids (kg)	79,5 $\pm$ 10,0	69,5 – 89,5
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	25,0 $\pm$ 3,3	21,7 – 28,3
TT (cm)	86,2 $\pm$ 7,0	79,2 – 93,2
$\dot{V}O_2$ pic (mlO <sub>2</sub> ·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	47,6 $\pm$ 7,1	40,5 – 54,7
AP - intensité élevée (minutes/semaine)	263 $\pm$ 179	84 – 442
AP - intensité moyenne (minutes/semaine)	203 $\pm$ 167	36 – 370
AP - totale (minutes/semaine)	467 $\pm$ 243	224 – 710

IMC : indice de masse corporelle, TT : tour de taille,  $\dot{V}O_2$ pic : consommation pic d'oxygène, AP : niveau d'activité physique de loisir.



Le niveau d'hydratation était similaire à l'arrivée au laboratoire pour toutes les visites expérimentales, car la gravité spécifique de l'urine (T17 :  $1,012 \pm 0,008$  g/dL, T0 :  $1,011 \pm 0,007$  g/dL, T-17 :  $1,012 \pm 0,008$  g/dL,  $p = 0,943$ ), la fréquence cardiaque de repos (T17 :  $59 \pm 9$  bpm, T0 :  $59 \pm 8$  bpm, T-17 :  $60 \pm 8$  bpm,  $p = 0,712$ ) ainsi que la masse corporelle nue (T17 :  $80,06 \pm 9,38$  kg, T0 :  $79,95 \pm 9,70$  kg, T-17 :  $80,08 \pm 9,82$  kg,  $p = 0,842$ ) n'étaient pas différentes.

La figure 10 présente la température dans l'ÉPI au niveau de la poitrine (A) et de la cuisse (C) et le taux d'humidité relative dans l'ÉPI au niveau de la poitrine (B) et de la cuisse (D) en fonction du temps et de la température d'exposition. Entre le repos et la fin de l'exposition de 60 minutes dans la chambre environnementale, la variation de la température dans l'ÉPI au niveau de la poitrine (T17 :  $3,76 \pm 1,62^{\circ}\text{C}$ ; T0 :  $-0,67 \pm 2,09^{\circ}\text{C}$ ; T-17 :  $-4,71 \pm 4,01^{\circ}\text{C}$ ; interaction  $p < 0,001$ ), la variation de la température dans l'habit au niveau de la cuisse (T17 :  $0,59 \pm 2,69^{\circ}\text{C}$ ; T0 :  $-6,97 \pm 2,86^{\circ}\text{C}$ ; T-17 :  $-13,69 \pm 3,73^{\circ}\text{C}$ ; interaction  $p < 0,001$ ), la variation du taux d'humidité relative au niveau de la poitrine (T17 :  $53,01 \pm 9,51\%$ ; T0 :  $42,34 \pm 14,77\%$ ; T-17 :  $36,24 \pm 16,54\%$ ; interaction  $p = 0,004$ ) et la variation du taux d'humidité relative au niveau de la cuisse (T17 :  $34,15 \pm 12,86\%$ ; T0 :  $21,96 \pm 14,85\%$ ; T-17 :  $13,57 \pm 12,34\%$ ; interaction  $p < 0,001$ ) entre les 3 conditions présente une différence significative.

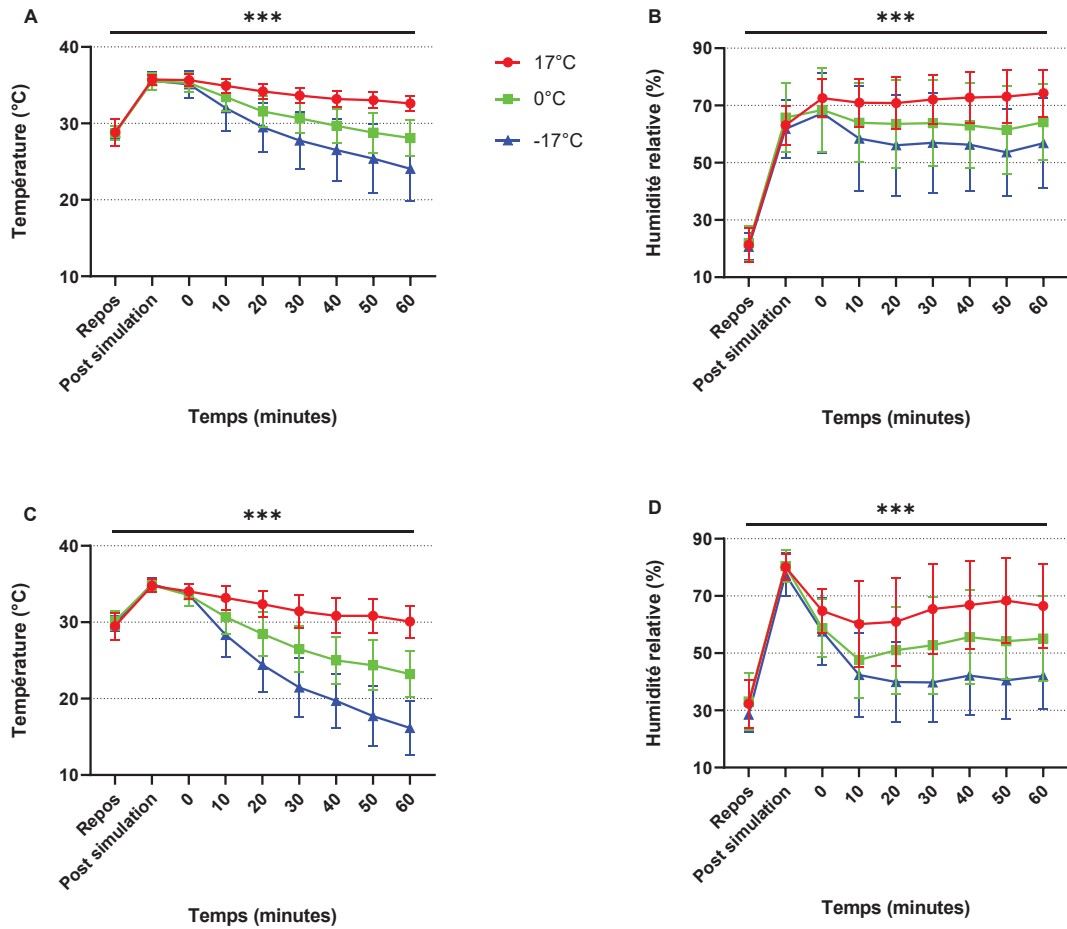


Figure 10. Évolution de la température dans l'ÉPI au niveau de la poitrine (A), taux d'humidité relative dans l'ÉPI au niveau de la poitrine (B), température dans l'ÉPI au niveau de la cuisse (C), taux d'humidité relative dans l'ÉPI au niveau de la cuisse (D).  
 Note : Les valeurs sont exprimées sous le format moyenne  $\pm$  écart-type. \*\*\* : interaction  $p < 0,001$ .

La figure 11 présente la température rectale (A), la température cutanée moyenne (B) et la température moyenne des majeurs (C) en fonction du temps et de la température

d'exposition. La température rectale a augmenté dans les trois conditions par rapport à la valeur de repos ( $p < 0,001$ ). Entre la valeur de repos et la fin de l'exposition de 60 minutes dans la chambre environnementale, la variation de la température rectale (T17 :  $0,26 \pm 0,23^{\circ}\text{C}$ ; T0 :  $0,21 \pm 0,23^{\circ}\text{C}$ ; T-17 :  $0,09 \pm 0,33^{\circ}\text{C}$ ; interaction  $p = 0,112$ ) entre les 3 conditions ne présente aucune différence significative. La variation de la température cutanée moyenne (T17 :  $-0,48 \pm 1,39^{\circ}\text{C}$ ; T0 :  $-2,87 \pm 0,98^{\circ}\text{C}$ ; T-17 :  $-5,64 \pm 1,53^{\circ}\text{C}$ ; interaction  $p < 0,001$ ) et la variation de la température des doigts (T17 :  $0,28 \pm 2,75^{\circ}\text{C}$ ; T0 :  $-13,53 \pm 4,62^{\circ}\text{C}$ ; T-17 :  $-24,14 \pm 4,24^{\circ}\text{C}$ ; interaction  $p < 0,001$ ) entre les 3 conditions présente une différence significative. La température finale des doigts dans la condition la plus froide ( $-17^{\circ}\text{C}$ ) variait entre 1,4 et  $11,5^{\circ}\text{C}$ .

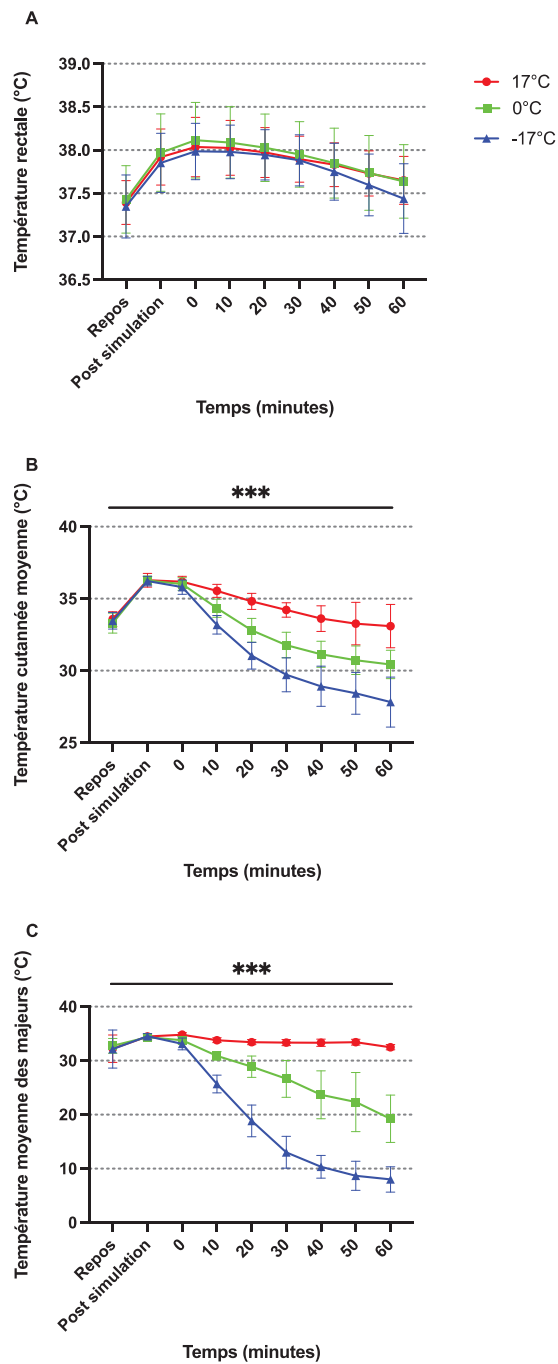


Figure 11. Évolution de la température rectale (A), température cutanée moyenne (B) et température moyenne des majeurs (C). Note : Les valeurs sont exprimées sous le format moyenne  $\pm$  écart-type. \*\*\* : interaction  $p < 0,001$ .

La figure 12 présente la fréquence cardiaque en fonction du temps et de la température d'exposition. La fréquence cardiaque a augmenté dans les trois conditions par rapport aux valeurs de repos ( $p < 0,001$ ). La variation de la fréquence cardiaque entre le repos et la fin de l'exposition dans la chambre environnementale (T17 :  $26 \pm 9$  bpm; T0 :  $13 \pm 10$  bpm; T-17 :  $13 \pm 8$  bpm; interaction  $p = 0,001$ ) entre les 3 conditions présente une différence significative.

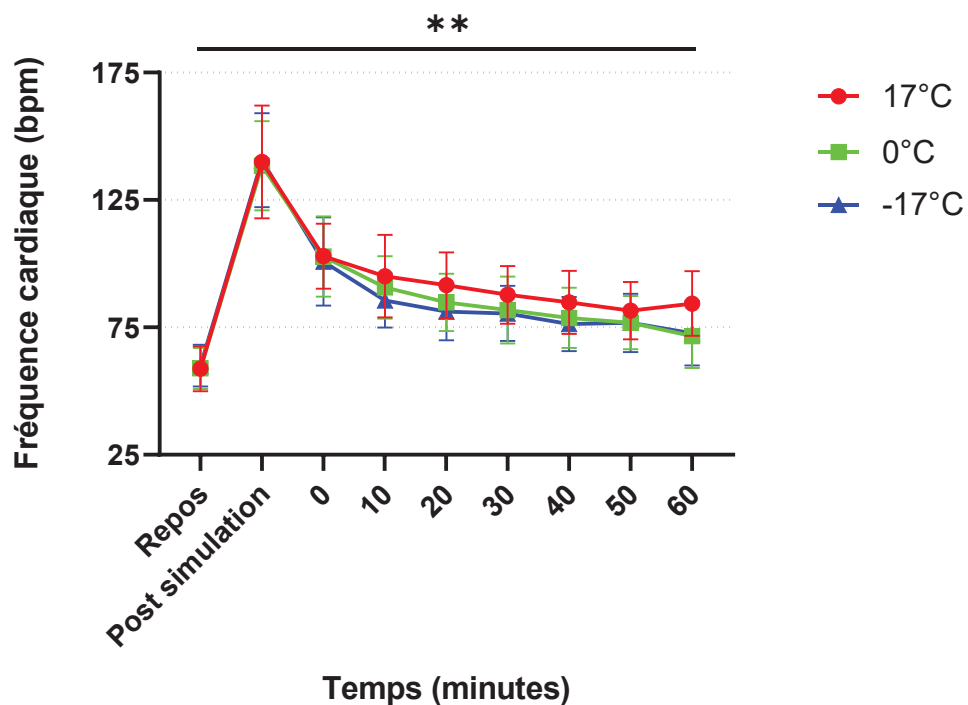


Figure 12. Évolution de la fréquence cardiaque. Note : Les valeurs sont exprimées sous le format moyenne  $\pm$  écart-type. \*\*: interaction  $p < 0,01$ .

La figure 13 présente la pression artérielle en fonction du temps et de la température d'exposition. La pression artérielle systolique, diastolique et moyenne ont augmenté par rapport aux valeurs de repos ( $p < 0,001$ ). La variation de la pression artérielle systolique entre le repos et la fin de l'exposition dans la chambre environnementale (T17 :  $14 \pm 12$  mmHg; T0 :  $23 \pm 14$  mmHg; T-17 :  $40 \pm 20$  mmHg; interaction  $p = 0,002$ ) entre les 3 conditions présente une différence significative. La variation de la pression artérielle diastolique (T17 :  $13 \pm 14$  mmHg; T0 :  $15 \pm 15$  mmHg; T-17 :  $20 \pm 16$  mmHg; interaction  $p = 0,747$ ) et moyenne (T17 :  $13 \pm 10$  mmHg; T0 :  $18 \pm 13$  mmHg; T-17 :  $27 \pm 14$  mmHg; interaction  $p = 0,051$ ) entre le repos et la fin de l'exposition dans la chambre environnementale entre les 3 conditions ne présente pas de différence significative.

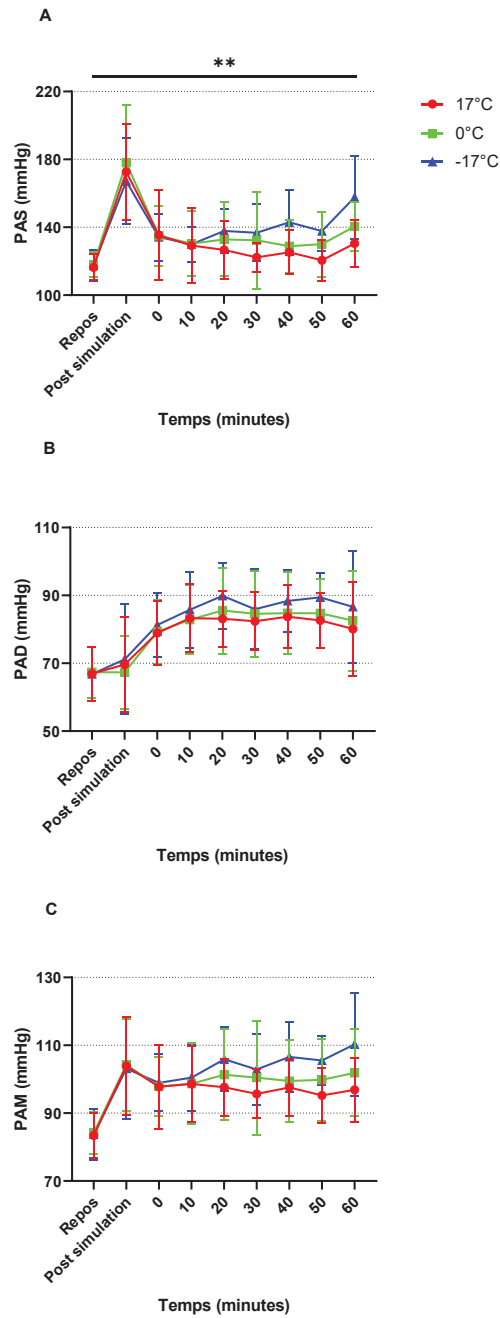


Figure 13. Évolution de la pression artérielle systolique (A), pression artérielle diastolique (B), pression artérielle moyenne (C). Note : Les valeurs sont exprimées sous le format moyenne  $\pm$  écart-type. \*\* : interaction  $p < 0,01$ .

La figure 14 présente le produit fréquence-pression (fréquence cardiaque × pression artérielle systolique) en fonction du temps et de la température d'exposition. Le produit fréquence-pression a augmenté par rapport aux valeurs de repos ( $p < 0,001$ ). La variation du produit fréquence-pression entre le repos et la fin de l'exposition dans la chambre environnementale (T17 :  $4074 \pm 1313$  bpm·mmHg; T0 :  $3094 \pm 1765$  bpm·mmHg; T-17 :  $4517 \pm 2717$  bpm·mmHg; interaction  $p = 0,259$ ) entre les 3 conditions ne présente pas de différence significative.

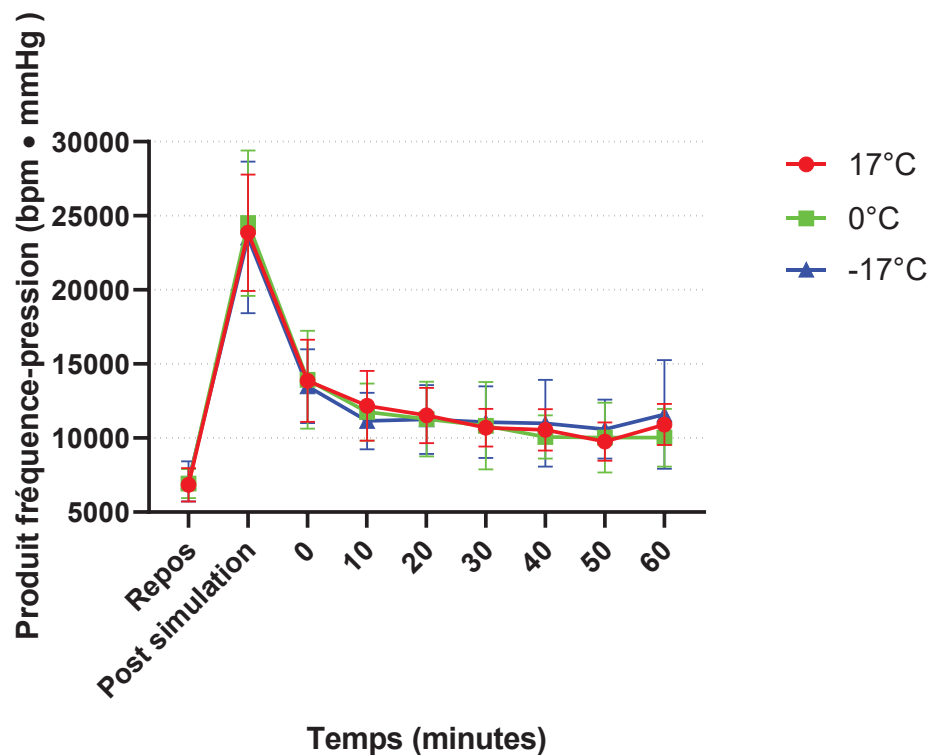


Figure 14. Évolution du produit fréquence-pression. Note : Les valeurs sont exprimées sous le format moyenne  $\pm$  écart-type.



La figure 15 présente les perceptions de la douleur, la figure 16, la sensation thermique et la figure 17, la perception de confort en fonction du temps et de la température d'exposition. La variation des perceptions de la douleur aux doigts entre le repos et la fin de l'exposition dans la chambre environnementale (interaction  $p < 0,001$ ), la variation de la sensation thermique au niveau du corps (A), des doigts (B) et du visage (C) (interaction  $p < 0,001$ ) et la variation de la perception de confort au niveau du corps (D), des doigts (E) et du visage (F) (interaction  $p < 0,001$ ) entre les 3 conditions présente une différence significative.

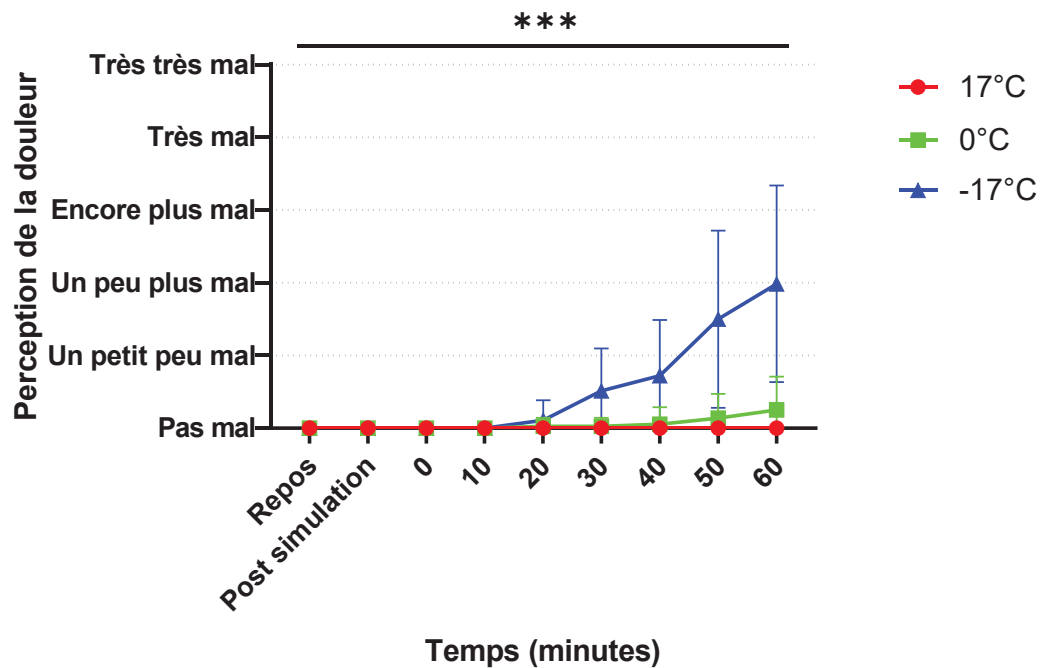


Figure 15. Évolution de la perception de la douleur aux doigts. Note : Les valeurs sont exprimées sous le format moyenne  $\pm$  écart-type. \*\*\* : interaction  $p < 0,001$ .

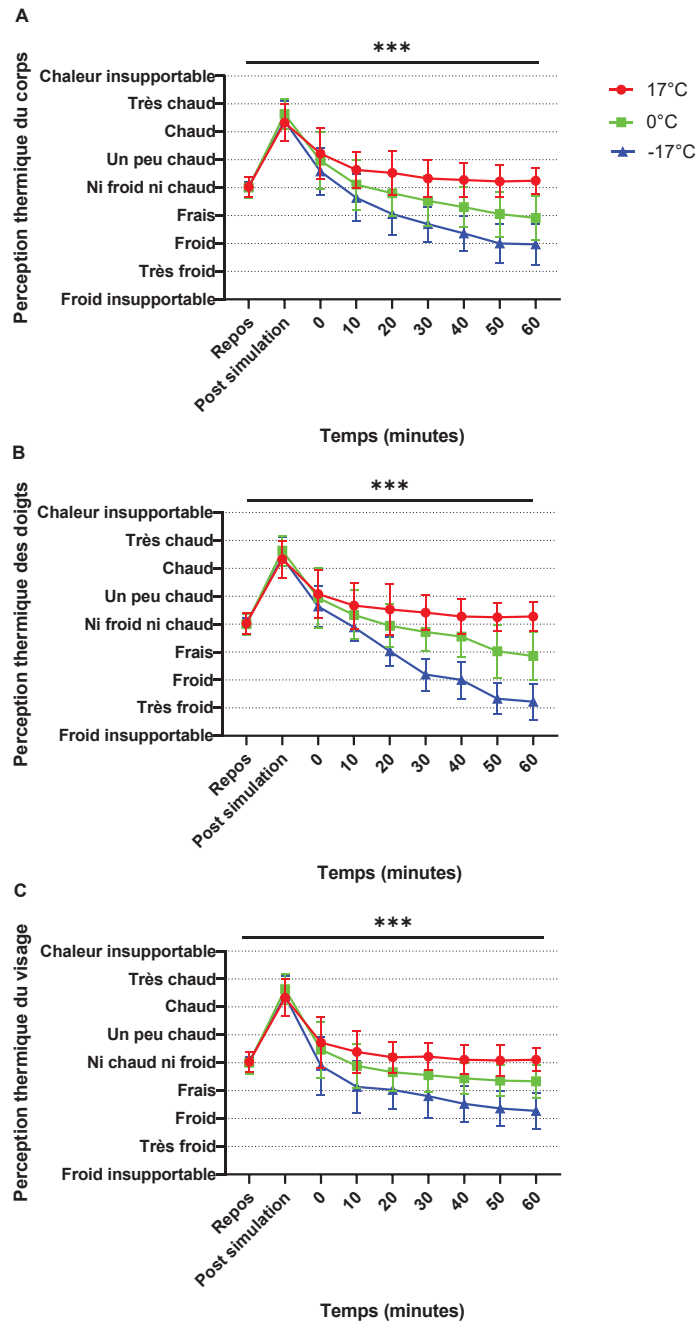


Figure 16. Évolution de la perception de la sensation thermique au niveau du corps (A), des doigts (B) et du visage (C). Note : Les valeurs sont exprimées sous le format moyenne  $\pm$  écart-type. \*\*\* : interaction  $p < 0,001$ .

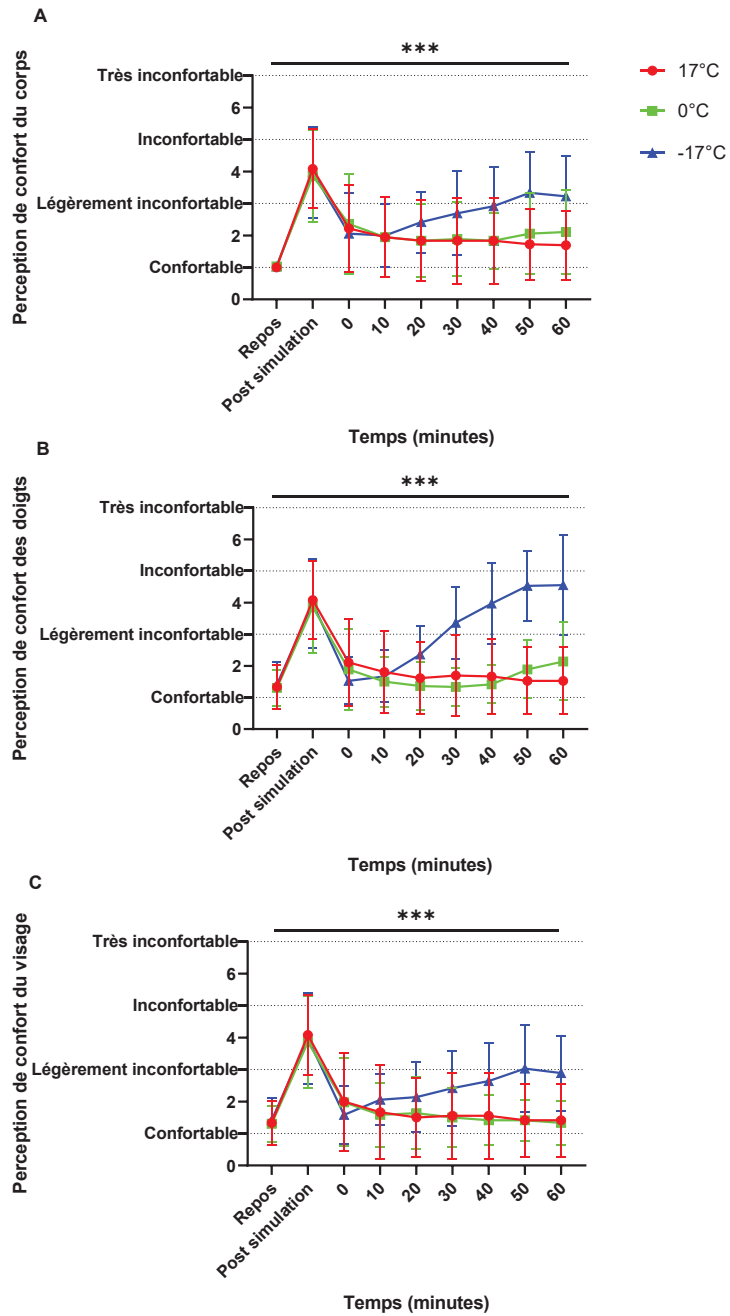


Figure 17. Évolution de la perception de la sensation de confort au niveau du corps (A), des doigts (B), du visage (C). Note : Les valeurs sont exprimées sous le format moyenne  $\pm$  écart-type. \*\*\* : interaction  $p < 0,001$ .

La figure 18 présente le temps de réalisation des différentes tâches du test de Stroop en fonction du temps et de la température d'exposition. La variation de temps à la tâche 1 : dénomination (A) entre le repos et la fin de l'exposition dans la chambre environnementale (T17 :  $-0,65 \pm 2,83$  s; T0 :  $-3,22 \pm 9,14$  s; T-17 :  $0,10 \pm 1,40$  s; interaction  $p = 0,201$ ), à la tâche 2 : lecture (B) (T17 :  $0,01 \pm 0,92$  s; T0 :  $-2,38 \pm 8,07$  s; T-17 :  $-0,94 \pm 2,35$  s; interaction  $p = 0,254$ ), à la tâche 3 : inhibition (C) (T17 :  $-1,86 \pm 3,87$  s; T0 :  $3,06 \pm 5,19$  s; T-17 :  $-2,66 \pm 5,07$  s; interaction  $p = 0,684$ ) et à la tâche 4 : inhibition/flexibilité (D) (T17 :  $-3,93 \pm 3,92$  s; T0 :  $-1,99 \pm 10,50$  s; T-17 :  $-3,47 \pm 4,40$  s; interaction  $p = 0,651$ ) ne présente pas de différence significative entre les 3 conditions expérimentales. Le temps requis pour effectuer la tâche 3 et 4 a diminué par rapport aux valeurs de repos dans les 3 conditions expérimentales ( $p = 0,003$  et  $p = 0,001$  respectivement). La variation du nombre d'erreurs corrigées (EC) et non-corrigées (ENC) et la somme des erreurs (SE) en fonction du temps et de la température d'exposition ont aussi été répertoriées. La variation d'erreurs à la tâche de dénomination (EC :  $p = 0,916$ ; ENC :  $p = 0,331$ ; SE :  $p = 0,769$ ), à la tâche de lecture (EC :  $p = 0,183$ ; ENC :  $p = 0,430$ ; SE :  $p = 0,207$ ), à la tâche d'inhibition (EC :  $p = 0,414$ ; ENC :  $p = 0,521$ ; SE :  $p = 0,396$ ) et à la tâche d'inhibition/flexibilité (EC :  $p = 0,896$ ; ENC :  $p = 0,429$ ; SE :  $p = 0,635$ ) ne sont pas différentes significativement entre les 3 conditions.

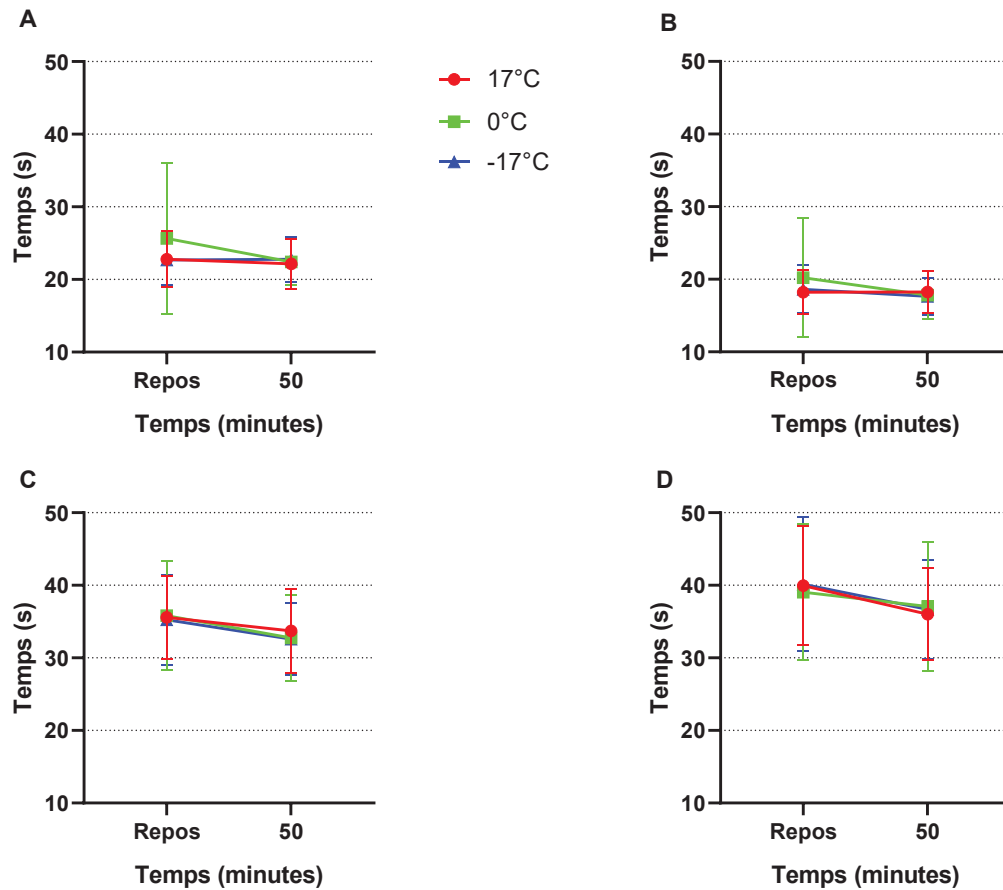


Figure 18. Évolution de la performance cognitive (Stroop) par la mesure du temps de réalisation des différentes tâches. Tâche 1 : dénomination (A), tâche 2 : lecture (B), tâche 3 : inhibition (C), tâche 4 : inhibition/ flexibilité (D). Note : Les valeurs sont exprimées sous le format moyenne  $\pm$  écart-type.

La figure 19 présente le temps de réalisation du test de dextérité manuelle en fonction du moment et de la température d'exposition. La variation de temps de réalisation du test de

dextérité manuelle entre le repos et la fin de l'exposition dans la chambre environnementale (T17 :  $-6,66 \pm 15,78$  s; T0 :  $-6,44 \pm 17,05$  s; T-17 :  $3,77 \pm 16,22$  s; interaction  $p = 0,304$ ) entre les 3 conditions ne présente pas de différence significative.

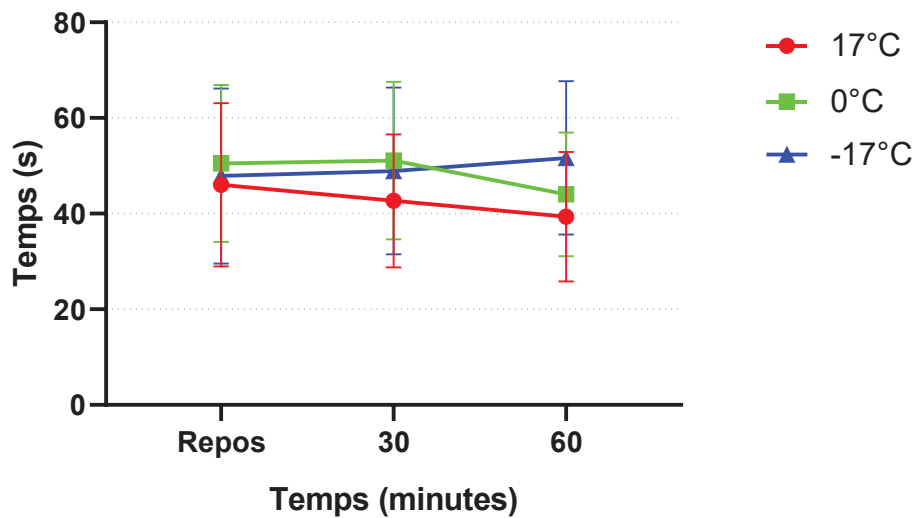


Figure 19. Évolution de la dextérité manuelle. Note : Les valeurs sont exprimées sous le format moyenne  $\pm$  écart-type.

La figure 20 présente la force de préhension en fonction du moment et de la température d'exposition. La variation des résultats de la force de préhension entre le repos et la fin de l'exposition dans la chambre environnementale (T17 :  $-4,36 \pm 8,60$  kg; T0 :  $-1,86 \pm 5,95$  kg; T-17 :  $-3,30 \pm 10,18$  kg; interaction  $p = 0,675$ ) entre les 3 conditions ne présente pas de différence significative.

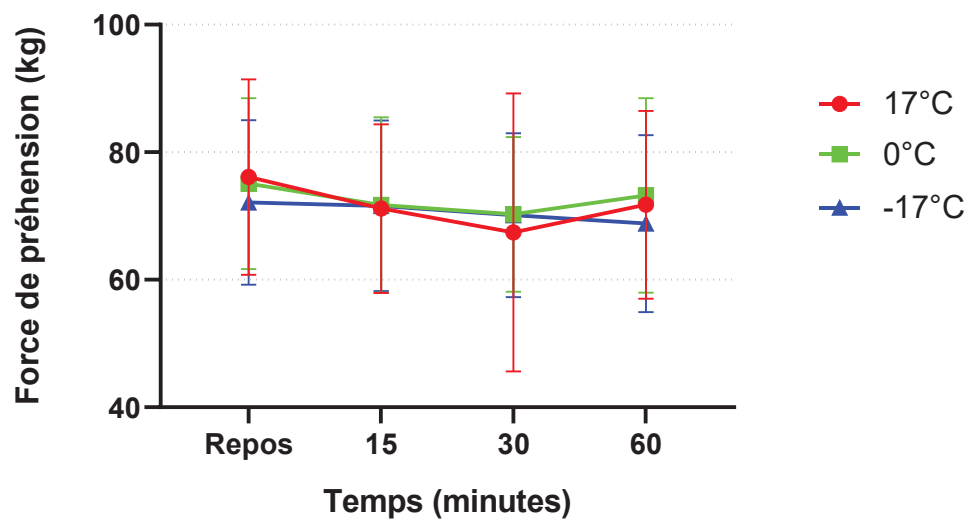


Figure 20. Évolution de la force de préhension. Note : Les valeurs sont exprimées sous le format moyenne  $\pm$  écart-type.

## DISCUSSION

La tolérance et la performance des travailleurs et travailleuses dans des conditions froides ont été beaucoup moins étudiées que dans des conditions chaudes malgré les risques non-négligeables pour la santé et la sécurité. Dans la littérature scientifique, l'étude menée par Castellani et Tipton (2016) constitue une revue de la littérature approfondie et englobe les résultats de multiples études qui documentent les effets du froid sur les individus dans différents contextes. Cependant, malgré cette analyse approfondie, aucune recherche scientifique spécifique, à notre connaissance, n'a fait l'objet de l'évaluation des effets du froid lors des interventions chez les pompiers et les pompières en hiver. Ainsi, notre recherche serait la première à caractériser les réponses physiologiques, perceptuelles, cognitives et motrices lors d'une exposition au froid dans un contexte de lutte contre un incendie.

Contrairement à notre hypothèse initiale, la variation de la température corporelle interne n'était pas significativement différente entre les conditions. Cependant, les résultats ont révélé une variation de la température des doigts, de la température moyenne de la peau et de la température dans l'équipement de protection individuelle significativement différente entre les conditions. Plus la température était basse dans la chambre environnementale, plus la température des doigts, la température cutanée et la température dans l'équipement de protection individuelle ont diminué. De plus, nous avons émis



l'hypothèse que l'exposition au froid ne susciterait pas de contraintes cardiovasculaires problématiques comparativement à un exercice réalisé en environnement chaud lors d'une simulation de lutte contre l'incendie. Bien que la fréquence cardiaque ait augmenté dans l'ensemble des conditions par rapport aux valeurs de repos, c'est à 17°C qu'elle était la plus prononcée. Inversement, concernant la pression artérielle systolique, c'est lors de l'exposition à -17°C qu'une élévation la plus marquée a été observée. En dépit de l'augmentation de la pression artérielle systolique, il convient de souligner que le produit fréquence-pression ne présentait pas de différence significative entre les 3 conditions expérimentales. De plus, malgré les différences significatives au niveau des perceptions de la douleur et de confort et au niveau de la sensation thermique, les résultats ne révèlent aucune différence significative des performances cognitives et motrices allant à l'encontre de notre hypothèse de départ.

## Réponses thermorégulatrices

L'hypothèse de départ avançait l'idée qu'une exposition au froid à une température ambiante telle que 0 et -17°C en moyenne dans une chambre environnementale induirait une diminution significative de la température corporelle interne, en comparaison aux valeurs de repos, à la suite d'une simulation de lutte contre un incendie sur tapis roulant. Cependant, les résultats de notre recherche n'ont pas démontré cette supposition. En effet, une légère augmentation de la température corporelle interne par rapport au repos dans les trois conditions expérimentales est observée. La durée de l'exposition ne semble pas avoir été suffisante pour entraîner une diminution de la température corporelle interne.

Une période d'exposition plus prolongée serait probablement nécessaire pour constater une diminution significative de cette variable. Il est possible d'observer que dans la condition la plus extrême (-17°C), la température corporelle interne tend à diminuer plus rapidement que dans les autres conditions dans les 30 dernières minutes dans la chambre environnementale. En outre, le risque d'hypothermie ne semble pas substantiel dans les conditions expérimentales mises en place.

La température cutanée réagit fortement aux baisses de températures environnantes (Li et coll., 2009), soulignant ainsi l'importance de cette variable dans l'étude des mécanismes de thermorégulation corporelle en condition de froid. Conformément à ces observations, notre étude a également mis en évidence une baisse significative de la température cutanée moyenne et de la température des doigts en réponse à une baisse de la température environnante lors des trois conditions expérimentales, corroborant notre hypothèse de départ. Dans des conditions plus extrêmes d'exposition, comme à 0 et à -17°C, le corps initie la vasoconstriction périphérique, mécanisme présenté précédemment, visant à préserver la température corporelle interne. Elle réduit le flux sanguin vers la périphérie, en particulier vers les extrémités comme les doigts, diminuant ainsi leur température dans des conditions plus froides. Une diminution de la température aux extrémités corporelles peut potentiellement augmenter le risque de survenue d'engelure, comme il a été possible de l'observer chez quelques participants. En effet, 5 participants ont atteint une température des doigts en dessous de 7°C.

## Réponses cardiovasculaires

Les réponses cardiovasculaires ont aussi été mesurées pendant la simulation de lutte contre un incendie et dans les différents environnements. La fréquence cardiaque a augmenté entre la valeur de repos et la fin de l'exposition aux différents environnements dans la chambre climatique, mais de façon significativement plus importante dans la condition à 17°C. Bien que la variation de la température corporelle interne n'ait pas présenté de différences significatives entre les trois conditions, il est essentiel de considérer l'influence de la température cutanée, qui présente des différences notables entre celles-ci. Dans un environnement froid, la fréquence cardiaque peut diminuer en raison d'une augmentation du volume d'éjection systolique. Cette augmentation du volume d'éjection systolique est causée par un meilleur retour veineux, conséquence directe de la vasoconstriction cutanée (Flore et coll., 1992).

Une augmentation significative de la pression artérielle systolique, diastolique et moyenne a été observée par rapport aux valeurs de repos. De plus, la pression artérielle systolique varie de façon différente entre les 3 conditions expérimentales. Cependant, la variation de la pression diastolique ne s'est pas avérée différente statistiquement entre celles-ci. Enfin, bien que l'augmentation de la pression artérielle moyenne ne soit pas significativement différente entre les conditions, les différences demeurent néanmoins près de la significativité (tendance). L'exposition au froid, tel que mentionné précédemment, induit une série de mécanismes physiologiques en réponse au refroidissement cutané, notamment la vasoconstriction périphérique (Wilson et coll.,

2007), visant à réduire la perte de chaleur corporelle via une diminution locale de la circulation sanguine en périphérie. Cette vasoconstriction engendre une augmentation notable de la résistance vasculaire systémique (Cui et coll., 2005) qui est à l'origine de l'augmentation de la pression artérielle (Ikäheimo, 2018).

Au cours de notre étude, nous avons observé une augmentation du produit fréquence-pression (fréquence cardiaque  $\times$  pression artérielle systolique) à la suite des 60 minutes dans la chambre environnementale, comparé aux valeurs de repos. Cette élévation n'était pas différente entre les 3 conditions expérimentales. Lorsque la fréquence cardiaque est élevée, le produit fréquence-pression est considéré comme l'un des indicateurs le plus fidèle de la consommation en oxygène du myocarde (Kitamura et coll., 1972). Des recherches antérieures ont mis en évidence une augmentation du produit fréquence-pression en réponse au froid, ce qui traduit une intensification du travail myocardique (Muller et coll., 2011). Cependant, cette augmentation du travail cardiaque en réponse au froid semble être bien moindre par rapport à celle observée pendant un effort physique intense. Les effets du froid ne semblent pas avoir été suffisamment importants pour générer un travail myocardique plus élevé dans nos conditions expérimentales.

## Réponses perceptuelles

Les données recueillies indiquent que les participant(e)s avaient plus froid et étaient plus inconfortables dans la condition à  $-17^{\circ}\text{C}$  par rapport aux deux autres conditions, ce qui

est tout à fait logique. L'inconfort peut constituer un facteur de distraction diminuant l'efficacité des tâches nécessitant concentration et vigilance, et peut augmenter le risque d'accidents et de blessures professionnelles. En présence d'un froid modéré, l'inconfort ressenti, l'intensification de la sensation de froid et la perception de la douleur peut se manifester (Mäkinen, 2007). En effet, notre étude révèle que la perception de la douleur aux doigts s'intensifie proportionnellement avec la durée de l'exposition dans la condition expérimentale à  $-17^{\circ}\text{C}$ . Ce constat est notablement rapporté dans les contextes professionnels, situations où le corps est chaud alors que les extrémités sont froides. Dans ce cas, le froid ressenti aux mains est souvent décrit comme source majeure d'inconfort (Enander et coll., 1979). Les thermorécepteurs cutanés exercent une fonction primordiale en matière de régulation autonome de la température, mais ils contribuent également à la perception consciente de la température et du confort thermique (Nielsen et Nielsen, 1984). Cela pourrait conduire à une diminution de la dextérité manuelle, un aspect qui sera abordé plus en détail dans la prochaine section.

## Réponses motrices et cognitives

### Dextérité manuelle et préhension de la main

Contrairement à notre hypothèse initiale, la dextérité manuelle est restée stable et n'a montré aucune variation notable entre les différentes conditions étudiées. Il convient de mentionner que la littérature scientifique présente des conclusions divergentes à ce propos

(Imamura et coll., 1998; Wiggen et coll., 2011). En effet, Orysiak et coll. (2022) ont observé une diminution des performances manuelles après environ 45 minutes d'exposition dans un environnement froid (5°C ou moins). Ces différences pourraient s'expliquer par la vasodilatation induite par le froid, réaction vasculaire paradoxale suivant une vasoconstriction initiale, facilitant l'augmentation transitoire du flux sanguin cutané pour prévenir les lésions induites par le froid. Cela pourrait contribuer à maintenir la dextérité manuelle et la fonction musculaire, malgré une baisse significative de la température des doigts (Cheung, 2015). Toutefois, une tendance est observée dans notre étude indiquant que le temps nécessaire pour effectuer le test de dextérité manuelle augmente lorsque les participant(e)s sont exposés à des températures extrêmes (-17°C). Il est concevable de penser que l'augmentation de la taille de l'échantillon aurait permis de déceler une différence significative entre les conditions expérimentales, considérant l'écart type important. De plus, la sensation thermique et la perception de la douleur peuvent aussi influencer la dextérité manuelle. La douleur possède un effet distrayant et provoque une perte d'attention (Heus et coll., 1995). Daanen (1993) a observé que lorsque la sensation thermique des mains était froide et inconfortable, il y avait une baisse de performance de 29% de la dextérité manuelle (*Purdue pegboard test*) par rapport à un environnement thermoneutre. Notre étude n'a pas révélé d'augmentation du temps requis pour accomplir le test qui indique une diminution de la dextérité manuelle. De plus, aucune différence significative n'a été observée entre les 3 conditions. Cette différence, qui contraste avec la littérature scientifique existante, pourrait s'expliquer par le fait que notre protocole de dextérité manuelle, conçu sur mesure, ne sollicitait pas de mouvement

nécessitant une dextérité fine. L'adoption de notre protocole sur-mesure pour le test de dextérité manuelle est justifiée par sa haute validité écologique, offrant une représentativité accrue des tâches réelles effectuées par ces travailleurs et travailleuses. Bien que divergent des protocoles conventionnellement reconnus par la littérature scientifique, cette méthodologie rejoint l'objectif d'obtenir des données fidèles à la réalité opérationnelle.

Dans un autre ordre d'idées, les analyses ont révélé qu'aucune différence significative n'a été observée dans la force de préhension des mains des participant(e)s entre les conditions expérimentales. Ces observations confirment l'hypothèse selon laquelle, les exercices isométriques ou avec très peu d'amplitude de mouvement sont moins dépendants de la température ambiante que les exercices réalisés en dynamique (Wakabayashi et coll., 2015). En effet, Clarke et coll. (1958) ont observé une très légère diminution ou aucun effet notable du froid sur la contraction volontaire maximale lors d'un exercice de force de préhension de la main. Certains auteurs soulèvent la diminution (11 à 19%) de la contraction maximale volontaire lors d'un exercice isométrique lorsque la température des muscles diminue en dessous de 27°C (Barnes, 1983; Buller et coll., 1984; Johnson et Leider, 1977). L'absence de mesure de la température musculaire dans notre étude ne permet pas d'inférer une diminution de la température musculaire malgré la forte baisse de la température de la peau à des conditions plus extrêmes.

## Test de performance cognitive

Il a été observé que pour certaines tâches (inhibition; inhibition/flexibilité), le temps requis pour accomplir le test a montré une diminution significative par rapport aux valeurs de repos dans les 3 conditions expérimentales. Cette observation pourrait s'expliquer par un effet d'apprentissage, où les participant(e)s deviennent plus adroits et efficaces dans l'exécution au fil des répétitions, indépendamment des diverses températures auxquelles ils/elle sont exposé(e)s. Toutefois, aucune différence significative n'a été observée entre les différentes conditions expérimentales malgré les différences de sensation thermique et de perception de confort. Ces variables ne semblent pas avoir impacté de manière significative la performance cognitive, potentiellement en raison de la position au repos des participant(e)s dans la chambre environnementale. On peut postuler qu'une sollicitation physique (simulation d'exercices représentant certaines tâches) conjointe à une exposition au froid aurait pu influencer cette performance, une hypothèse particulièrement pertinente en vue des spécificités du métier de pompier (Yang et coll., 2021). Selon nous, la complexité des tâches cognitives de notre protocole était suffisante pour déceler les effets des différents environnements sur la performance cognitive. La réalisation de tâches cognitives simples peut limiter la capacité à discriminer les effets d'un stimulus quelconque, par exemple le froid ou l'exercice, car elles peuvent être trop faciles pour révéler des variations subtiles lors de la performance cognitive.



## Forces et limites

Au meilleur de nos connaissances, cette étude est la première qui visait à caractériser les réponses physiologiques, perceptuelles, cognitives et motrices lors d'une exposition au froid qui simulait une intervention typique rencontrée en hiver chez les pompiers et pompières du Québec. Malgré l'originalité, quelques limites sont à considérer lors de l'interprétation des résultats. Premièrement, la combinaison d'exercices sur tapis roulant et de repos en position assise dans une chambre environnementale permettait de simuler une intervention de lutte contre un incendie en contexte hivernal. Toutefois, cette approche, bien que louable et réaliste du point de vue logistique, ne reproduit pas la diversité des situations d'intervention réelles, notamment lors de l'exposition au froid. Les conditions expérimentales de l'étude simulaient un état de repos d'une heure (stratégie défensive) pendant l'exposition au froid, ce qui peut se produire à l'occasion, mais pas nécessairement à chaque intervention. Il est possible par exemple que les pompiers et pompières réalisent certaines tâches un peu plus intenses lors de cette période qui peut durer plusieurs heures. La température est également un facteur à considérer. Elle oscille en moyenne entre environ -13 et -5°C de décembre à mars selon les régions du Québec avec des valeurs minimales moyennes pouvant aller de -19 à -12°C (Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 1981-2010). Nous avons modélisé un scénario représentant un juste milieu selon différentes régions du Québec (-17°C). Cela peut ne pas refléter les conditions les plus extrêmes ou prolongées auxquelles les pompiers et pompières peuvent être confrontés sur le terrain. Notons

d'ailleurs que selon certains témoignages de pompiers de carrière, ces professionnels sont amenés à effectuer des tâches d'arrosage dans le cadre de leurs interventions, une situation problématique en hiver en raison du risque de gel des vêtements. Il est important de noter que notre étude ne comprend pas de tâche d'arrosage contrairement à leur réalité sur le terrain. En outre, les conditions environnementales telles que le vent, la bruine et l'humidité peuvent accentuer la perte de chaleur corporelle et/ou influencer la façon dont le froid est ressenti. Aussi, en raison de l'arrosage, il est fréquent en hiver que l'EPI des pompiers et pompières gèle. Nous reconnaissons que ces variables sont importantes et que leur influence mériterait une attention particulière dans des études futures pour mieux représenter la réalité des conditions de travail de ces travailleurs/travailleuses en hiver. Deuxièmement, la généralisabilité des résultats est une préoccupation en raison de la sélection des participant(e)s. Bien que l'étude ait ciblé des individus jeunes en bonne santé et actifs, la population de pompiers et pompières est diverse en termes d'âge, de sexe, de condition physique et d'état de santé (Gendron et coll., 2018a; Gendron et coll., 2018b). Par conséquent, les résultats obtenus avec un échantillon aussi homogène pourraient ne pas être représentatifs des pompiers et pompières dans leur ensemble. Certains de ces facteurs pourraient influencer leur thermorégulation. Par exemple, Falk et coll. (1994) ont observé que chez les hommes plus âgés, la température rectale a diminué plus significativement que chez les hommes plus jeunes lorsqu'ils étaient exposés pendant 30 minutes au repos à une température ambiante de 5°C vêtus d'un chandail et d'un pantalon court de sport. De plus, la capacité aérobie peut être à l'origine d'une meilleure réactivité du système vasculaire cutanée (Lenasi et Strucl, 2004). Notre étude se limite à évaluer

l'impact immédiat de l'exposition au froid, mais elle ne tient pas compte des éventuels effets à plus long terme sur la capacité des pompiers et pompières à répondre efficacement à des situations d'incendie subséquentes. Il est donc possible que l'exposition au froid puisse influencer les différentes réponses mesurées dans cette étude dans un scénario où le/la pompier/pompière retourne au feu après avoir été exposé(e) au froid.

## Implications pratiques et contribution au domaine

L'étude entreprise sur l'exposition au froid à la suite d'une simulation d'intervention offre une perspective novatrice sur la physiologie et la performance des pompiers et pompières en conditions hivernales. Cette étude suggère des implications concrètes pour la santé et la sécurité des pompiers et pompières vivant dans des climats nordiques. La stratégie d'intervention pourrait être influencée par une meilleure compréhension des implications du froid. Par exemple, cela pourrait affecter la rotation des équipes, la durée des pauses ou la mise en place de moyens pour prévenir la diminution de la température corporelle. Reconnaître les signes d'engelures aux extrémités ou d'autres affections liées au froid, permettra d'entreprendre des mesures préventives et intervenir rapidement lorsque les symptômes se présentent. Par exemple, offrir des soins médicaux adaptés et efficace ou la mise à jour d'équipements spécifiquement adaptés aux conditions hivernales, garantissant à la fois une protection optimale contre le froid et le maintien des capacités fonctionnelles nécessaires. Il serait donc pertinent que les futurs protocoles intègrent la préparation des pompiers et pompières non seulement à répondre efficacement à des

situations d'urgence, mais aussi à gérer les conséquences post-intervention dans des conditions climatiques variées. Les résultats du projet permettront d'en connaître davantage sur cette problématique de santé et sécurité au travail et d'identifier des stratégies optimales pour réduire la contrainte thermique dans cette profession. Nous espérons proposer des recommandations aux écoles de formation, aux services de sécurité incendie, aux syndicats, à l'*Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail, secteur « secteur affaires municipales »* et à la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité au travail (CNESST) pour optimiser la prévention des multiples conséquences de l'exposition au froid lors d'une intervention contre un incendie. Enfin, les résultats du projet permettront aussi le développement de cet axe de recherche. Une telle étude pourrait stimuler davantage de recherches sur les répercussions physiologiques du froid, en particulier dans le contexte exigeant des interventions d'urgence.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

L'objectif de cette étude était de caractériser les réponses physiologiques, perceptuelles, cognitives et motrices lors d'une simulation d'intervention chez les pompiers et les pompières en conditions hivernales. Ce projet de recherche a permis de constater que d'être exposé à des températures ambiantes très froides vêtu d'un ÉPI pendant une heure à la suite d'une phase de travail intense n'est pas associé à une diminution de la température corporelle interne significative et ne présente pas de risque d'hypothermie. En revanche, on observe que la température des doigts et la température moyenne de la peau a diminué de façon importante dans ces conditions. Une diminution aussi marquée de ces variables pourrait être associée à un risque important d'engelure aux extrémités, notamment aux doigts. Les différences de sensation thermique, de perception de confort ainsi que de perception de douleur pendant l'exposition témoignent aussi des effets du froid, mais ne semblent pas avoir été suffisantes pour engendrer une diminution de la performance physique et cognitive dans nos conditions expérimentales. Enfin, les effets du froid ne semblent pas avoir été assez importants pour engendrer une contrainte cardiaque plus élevée que dans les autres conditions.

## RÉFÉRENCES

- Alba, B. K., Castellani, J. W. et Charkoudian, N. (2019). Cold-induced cutaneous vasoconstriction in humans: Function, dysfunction and the distinctly counterproductive. *Experimental Physiology*, 104(8), 1202-1214.
- Armstrong, T. et Bull, F. (2006). Development of the world health organization global physical activity questionnaire (GPAQ). *Journal of Public Health*, 14, 66-70.
- Atha, W. F. (2013). Heat-related illness. *Emergency Medicine Clinics*, 31(4), 1097-1108.
- Baele, P. et van der Linden, P. (2001). Transport de l'oxygène par le sang: notions de transport du CO<sub>2</sub> et des ions hydrogène.
- Barnes, W. S. (1983). Effects of heat and cold application on isometric muscular strength. *Perceptual and Motor Skills*, 56(3), 886-886.
- Bayles, M. P. (2023). *ACSM's exercise testing and prescription*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Bergh, U. (1980). Human power at subnormal body temperatures. *Acta Physiologica Scandinavica*, 478, 1-39.
- Bergh, U. et Ekblom, B. (1979a). Influence of muscle temperature on maximal muscle strength and power output in human skeletal muscles. *Acta Physiologica Scandinavica*, 107(1), 33-37.
- Bergh, U. et Ekblom, B. (1979b). Physical performance and peak aerobic power at different body temperatures. *Journal of Applied Physiology*, 46(5), 885-889.
- Bilzon, J. L., Scarpello, E. G., Smith, C. V., Ravenhill, N. A. et Rayson, M. P. (2001). Characterization of the metabolic demands of simulated shipboard Royal Navy fire-fighting tasks. *Ergonomics*, 44(8), 766-780.
- Bittel, J. et Savourey, G. (2004). Travail au froid. *EMC-Toxicologie-Pathologie*, 1(3), 124-139.
- Blomstrand, E., Bergh, U., Essén-Gustavsson, B. et Ekblom, B. (1984). Influence of low muscle temperature on muscle metabolism during intense dynamic exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 120(2), 229-236.

Blomstrand, E. et Essen-Gustavsson, B. (1987). Influence of reduced muscle temperature on metabolism in type I and type II human muscle fibres during intensive exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 131(4), 569-574.

Boulant, J. A. (2006). Neuronal basis of Hammel's model for set-point thermoregulation. *Journal of Applied Physiology*, 100(4), 1347-1354.

Brajkovic, D. et Ducharme, M. B. (2006). Facial cold-induced vasodilation and skin temperature during exposure to cold wind. *European Journal of Applied Physiology*, 96(6), 711-721.

Brajkovic, D., Ducharme, M. B. et Frim, J. (1998). Influence of localized auxiliary heating on hand comfort during cold exposure. *Journal of Applied Physiology*, 85(6), 2054-2065.

Buller, A. J., Kean, C. J., Ranatunga, K. W., & Smith, J. M. (1984). Temperature dependence of isometric contractions of cat fast and slow skeletal muscles. *The Journal of Physiology*, 355(1), 25-31.

Burgess, J. L., Duncan, M. D., Hu, C., Littau, S. R., Caseman, D., Kurzius-Spencer, M., ... et McDonagh, P. F. (2012b). Acute cardiovascular effects of firefighting and active cooling during rehabilitation. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 54(11), 1413.

Carceller, A., Avellanas, M., Botella, J., Javierre, C. et Viscor, G. (2017). Frostbite: management update. *Arch. med. deporte*, 345-352.

Castellani, J. W. et Tipton, M. J. (2016). Cold Stress Effects on Exposure Tolerance and Exercise Performance. *Comprehensive Physiology*, 6(1), 443-469.

Castellani, J. W., Young, A. J., Ducharme, M. B., Giesbrecht, G. G., Glickman, E. et Sallis, R. E. (2006). Prevention of Cold Injuries during Exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(11), 2012-2029.

Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail (CCHST). (2018). Fiches d'information Réponses SST.

Challis, G. G. et Kolb, J. C. (2010). Agreement between an ingestible telemetric sensor system and a mercury thermometer before and after linear regression correction. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 20(1), 53-57.

Cheung, S. S. et Daanen, H. A. (2012). Dynamic adaptation of the peripheral circulation to cold exposure. *Microcirculation*, 19(1), 65-77.

Cheung, S. S. (2010). *Advanced Environmental Exercise Physiology*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Cheung, S. S. (2015). Responses of the hands and feet to cold exposure. *Temperature*, 2(1), 105-120.

Cheuvront, S. N. et Haymes, E. M. (2001). Ad libitum fluid intakes and thermoregulatory responses of female distance runners in three environments. *Journal of Sports Sciences*, 19(11), 845-854.

Chi, C. F., Shih, Y. C. et Chen, W. L. (2012). Effect of cold immersion on grip force, EMG, and thermal discomfort. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42(1), 113-121.

Claremont, A. D., Nagle, F., Reddan, W. D. et Brooks, G. A. (1975). Comparison of metabolic, temperature, heart rate and ventilatory responses to exercise at extreme ambient temperatures (0 degrees and 35 degrees C.). *Medicine and Science in Sports*, 7(2), 150-154.

Clarke, D. H. et Royce, J. (1962). Rate of muscle tension development and release under extreme temperatures. *Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie einschließlich Arbeitsphysiologie*, 19, 330-336.

Clarke, R. S. J., Hellon, R. F., & Lind, A. R. (1958). The duration of sustained contractions of the human forearm at different muscle temperatures. *The Journal of Physiology*, 143(3), 454.

Cohade, C., Osman, M., Pannu, H. K. et Wahl, R. L. (2003). Uptake in supraclavicular area fat ("USA-Fat"): description on 18F-FDG PET/CT. *Journal of Nuclear Medicine*, 44(2), 170-176.

Colburn, D., Suyama, J., Reis, S. E., Morley, J. L., Goss, F. L., Chen, Y. F., ... et Hostler, D. (2011). A comparison of cooling techniques in firefighters after a live burn evolution. *Prehospital Emergency Care*, 15(2), 226-232.

Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité au travail (CNESST). (2019). Travailler au froid, prévenir et soigner les lésions dues au froid. 4<sup>e</sup> édition.



- Couture, R., Chorvatova, A. et Vaucher, E. (2015). Pharmacologie du système nerveux autonome. In V. P. P Beaulieu, J Desroches, P Du Souich (Ed.), (2e édition ed., pp. 271-291): Précis de Pharmacologie, Les Presses de l'Université de Montréal.
- Cui, J., Durand, S., Levine, B. D. et Crandall, C. G. (2005). Effect of skin surface cooling on central venous pressure during orthostatic challenge. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 289(6), H2429-H2433.
- Curtis, R. (1995). Hypothermia and cold weather injuries, outdoor action guide. *Princeton, NJ: Princeton University Outdoor Action Program*.
- Daanen, H. (1993). Thermoregulation of the hands of a subject with blood flow complainants. *Soesterberg, NL*.
- Daanen, H. A. M. (2003). Finger cold-induced vasodilation: a review. *European Journal of Applied Physiology*, 89(5), 411-426.
- De Jong, R. H., Hershey, W. N. et Wagman, I. H. (1966, Novembre). Nerve conduction velocity during hypothermia in man. In *The Journal of the American Society of Anesthesiologists*. 27(6), 805-810.
- Deakin, J. M., Pelot, R., Smith, J. T., Stevenson, J. M. et Wolfe, L. A. (1996). Development of a bona fide physical maintenance standard for CF and DND firefighters. Queen's University, Kingston, ON.
- Duggan, A. (1988). Energy cost of stepping in protective clothing ensembles. *Ergonomics*, 31(1), 3-11.
- Elsner, K. L. et Kolkhorst, F. W. (2008). Metabolic demands of simulated firefighting tasks. *Ergonomics*, 51(9), 1418-1425.
- Enander, A. (1987). Effects of moderate cold on performance of psychomotor and cognitive tasks. *Ergonomics*, 30: 1431-1445.
- Enander, A. E. (1989). Effects of thermal stress on human performance. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 27-33.
- Enander, A., Ljungberg, A. S. et Holmér, I. (1979). Effects of work in cold stores on man. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 195-204.
- Ensari, I., Motl, R. W., Klaren, R. E., Fernhall, B., Smith, D. L. et Horn, G. P. (2017). Firefighter exercise protocols conducted in an environmental chamber: developing a laboratorybased simulated firefighting protocol. *Ergonomics*, 60(5), 657-668.

- Eves, N. D., Jones, R. L. et Petersen, S. R. (2005). The influence of the self-contained breathing apparatus (SCBA) on ventilatory function and maximal exercise. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 30(5), 507-519.
- Falk, B., Bar-Or, O., Smolander, J. et Frost, G. (1994). Response to rest and exercise in the cold: effects of age and aerobic fitness. *Journal of Applied Physiology*, 76(1), 72-78.
- Fernhall, B., Fahs, C. A., Horn, G., Rowland, T. et Smith, D. (2012). Acute effects of firefighting on cardiac performance. *European Journal of Applied Physiology*, 112(2), 735-741.
- Flore, P., Therminarias, A., Oddou-Chirpaz, M. F. et Quirion, A. (1992). Influence of moderate cold exposure on blood lactate during incremental exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 64, 213-217.
- Freund, B. J. et Sawka, M. N. (1996). Influence of cold stress on human fluid balance. *Nutritional Needs in Cold and High-Altitude Environments: Applications for Military Personnel in Field Operations*, 161-180.
- Gavhed, D., Mäkinen, T., Holmér, I. et Rintamäki, H. (2003). Face cooling by cold wind in walking subjects. *International Journal of Biometeorology*, 47, 148-155.
- Gendron P, Lajoie C, Laurencelle L, Trudeau F (2018a). Cardiovascular disease risk factors in female firefighters. *Occupational Medicine*, 68(6), 412-414.
- Gendron P, Lajoie C, Laurencelle L, Trudeau F (2018b). Cardiovascular disease risk factors in Québec male firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 60(6), e300-e306.
- Gisolfi, C. V. et Wenger, C. B. (1984). Temperature regulation during exercise: old concepts, new ideas. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 12, 339-372.
- Gledhill, N. et Jamnik, V. K. (1992). Characterization of the physical demands of firefighting. *Canadian Journal of Sport Sciences*, 17(3), 207-213.
- Gosselin, J., Béliveau, J., Hamel, M., Casa, D., Hosokawa, Y., Morais, J. A. et Goulet, E. D. (2019). Wireless measurement of rectal temperature during exercise: Comparing an ingestible thermometric telemetric pill used as a suppository against a conventional rectal probe. *Journal of thermal biology*, 83, 112-118.

- Hallam, M. J., Cubison, T., Dheansa, B. et Imray, C. (2010). Managing frostbite. *British Medical Journal (Online)*, 341(7783), 1151-1156.
- Hall, J. E. (2016). Somatic sensations: II. Pain, Headache, and Thermal sensations. In *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology* (Thirteen ed., pp. 630-631): Elsevier, Inc.
- Hammel, H. T., Hardy, J. D. et Fusco, M. (1960). Thermoregulatory responses to hypothalamic cooling in unanesthetized dogs. *American Journal of Physiology-Legacy Content*, 198(3), 481-486.
- Hancock, P. A., Ross, J. M. et Szalma, J. L. (2007). A meta-analysis of performance response under thermal stressors. *Human Factors*, 49(5), 851-877.
- Hany, T. F., Gharehpapagh, E., Kamel, E. M., Buck, A., Himms-Hagen, J., et Von Schulthess, G. K. (2002). Brown adipose tissue: a factor to consider in symmetrical tracer uptake in the neck and upper chest region. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 29(10), 1393-1398.
- Havenith, G., Heus, R. et Daanen, H. A. (1995). The hand in the cold, performance and risk. *Arctic Medical Research*, 54, 37-47.
- Hemingway, A. (1963). Shivering. *Physiological Reviews*, 43(3), 397-422.
- Heus, R., Daanen, H. A. et Havenith, G. (1995). Physiological criteria for functioning of hands in the cold: a review. *Applied Ergonomics*, 26(1), 5-13.
- Hintsala, H. E., Kiviniemi, A. M., Tulppo, M. P., Helakari, H., Rintamäki, H., Mäntysaari, M., ... et Ikäheimo, T. M. (2016). Hypertension does not alter the increase in cardiac baroreflex sensitivity caused by moderate cold exposure. *Frontiers in Physiology*, 7, 204.
- Holmer, I. et Gavhed, D. (2007). Classification of metabolic and respiratory demands in fire fighting activity with extreme workloads. *Applied Ergonomics*, 38(1), 45-52.
- Hong, S. I. et Nadel, E. R. (1979). Thermogenic control during exercise in a cold environment. *Journal of Applied Physiology*, 47(5), 1084-1089.
- Horn, G. P., Gutzmer, S., Fahs, C. A., Petruzzello, S. J., Goldstein, E., Fahey, G. C., ... et Smith, D. L. (2011). Physiological recovery from firefighting activities in rehabilitation and beyond. *Prehospital Emergency Care*, 15(2), 214-225.

- Horn, G. P., DeBlois, J., Shalmyeva, I. et Smith, D. L. (2012). Quantifying dehydration in the fire service using field methods and novel devices. *Prehospital Emergency Care*, 16(3), 347- 355.
- Horn, G. P., Blevins, S., Fernhall, B. et Smith, D. L. (2013). Core temperature and heart rate response to repeated bouts of firefighting activities. *Ergonomics*, 56(9), 1465-1473.
- Horn, G. P., Kesler, R. M., Motl, R. W., Hsiao-Wecksler, E. T., Klaren, R. E., Ensari, I., ... et Rosengren, K. S. (2015). Physiological responses to simulated firefighter exercise protocols in varying environments. *Ergonomics*, 58(6), 1012-1021
- Horvath, S. M., Radcliffe, C. E., Hutt, B. K. et Spurr, G. B. (1955). Metabolic responses of old people to a cold environment. *Journal of Applied Physiology*, 8(2), 145-148.
- Hostler, D., Colburn, D., Rittenberger, J. C. et Reis, S. E. (2016). Effect of two work-to-rest ratios on cardiovascular, thermal, and perceptual responses during fire suppression and recovery. *Prehospital Emergency Care*, 20(6), 681-687.
- Hunter, A. L., Shah, A. S., Langrish, J. P., Raftis, J. B., Lucking, A. J., Brittan, M., ... et Graveling, R. (2017). Fire simulation and cardiovascular health in firefighters clinical perspective. *Circulation*, 135(14), 1284-1295.
- Ikäheimo, T. M. (2018). Cardiovascular diseases, cold exposure and exercise. *Temperature*, 5(2), 123-146.
- Imamura, R., Rissanen, S., Kinnunen, M. et Rintamaki, H. (1998). Manual performance in cold conditions while wearing NBC clothing. *Ergonomics*, 41(10), 1421-1432.
- Johnson, D. J. et Leider, F. E. (1977). Influence of cold bath on maximum handgrip strength. *Perceptual and Motor Skills*, 44(1), 323-326.
- Kales, S. N., Soteriades, E. S., Christophi, C. A. et Christiani, D. C. (2007). Emergency duties and deaths from heart disease among firefighters in the United States. *New England Journal of Medicine*, 356(12), 1207-1215.
- Kenefick, R. W., Chevront, S. N. et Sawka, M. N. (2007). Thermoregulatory function during the marathon. *Sports Medicine*, 37(4), 312-315.
- Kenefick, R. W. et Chevront, S. N. (2012). Hydration for recreational sport and physical activity. *Nutrition Reviews*, 70(suppl\_2), S137-S142.

- Kesler, R. M., Ensari, I., Bollaert, R. E., Motl, R. W., Hsiao-Wecksler, E. T., Rosengren, K. S., ... et Horn, G. P. (2018). Physiological response to firefighting activities of various work cycles using extended duration and prototype SCBA. *Ergonomics*, 61(3), 390-403.
- Kitamura, K., Jorgensen, C. R., Gobel, F. L., Taylor, H. L. et Wang, Y. (1972). Hemodynamic correlates of myocardial oxygen consumption during upright exercise. *Journal of Applied Physiology*, 32(4), 516-522.
- Lane-Cordova, A. D., Ranadive, S. M., Yan, H., Kappus, R. M., Sun, P., Bunsawat, K., ... et Fernhall, B. (2015). Effect of aspirin supplementation on hemodynamics in older firefighters. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(12), 2653-2659.
- Lemon, P. W. R. et Hermiston, R. T. (1977). The human energy cost of firefighting. *Journal of Occupational Medicine*, 558-562.
- Lenasi, H. et Strucl, M. A. R. T. I. N. (2004). Effect of regular physical training on cutaneous microvascular reactivity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(4), 606-612.
- Lezak, M. D. (2004). *Neuropsychological Assessment*. New York, NY: Oxford University Press.
- Lim, C. L., Byrne, C. et Lee, J. K. (2008). Human thermoregulation and measurement of body temperature in exercise and clinical settings. *Annals Academy of Medicine Singapore*, 37(4), 347.
- Li, Y., Alshaer, H. et Fernie, G. (2009). Blood pressure and thermal responses to repeated whole body cold exposure: effect of winter clothing. *European journal of Applied Physiology*, 107, 673-685.
- Louhevaara, V., Smolander, J., Tuomi, T., Korhonen, O. et Jaakkola, J. (1985). Effects of an SCBA on breathing pattern, gas exchange, and heart rate during exercise. *Journal of Occupational Medicine*, 27(3), 213-216.
- Mäkinen, T. M. (2007). Human cold exposure, adaptation, and performance in high latitude environments. *American Journal of Human Biology*, 19(2), 155-164.
- Mäkinen, T. M. et Hassi, J. (2009). Health problems in cold work. *Industrial Health*, 47(3), 207-220.

- Mäkinen, T. M., Palinkas, L. A., Reeves, D. L., Pääkkönen, T., Rintamäki, H., Leppäluoto, J. et Hassi, J. (2006). Effect of repeated exposures to cold on cognitive performance in humans. *Physiology & Behavior*, *87*(1), 166-176.
- Manou-Stathopoulou, V., Goodwin, C. D., Patterson, T., Redwood, S. R., Marber, M. S. et Williams, R. P. (2015). The effects of cold and exercise on the cardiovascular system. *Heart*, *101*(10), 808-820.
- McLellan, T. M., Daanen, H. A. et Cheung, S. S. (2013). Encapsulated environment. *Comprehensive Physiology*, *3*(3), 1363-1391.
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Normales climatiques du Québec 1981-2010. <https://www.environnement.gouv.qc.ca/climat/nor>
- Muller, M. D., Gao, Z., Drew, R. C., Herr, M. D., Leuenberger, U. A. et Sinoway, L. I. (2011). Effect of cold air inhalation and isometric exercise on coronary blood flow and myocardial function in humans. *Journal of Applied Physiology*, *111*(6), 1694-1702.
- Muller, M. D., Ryan, E. J., Bellar, D. M., Kim, C. H., Blankfield, R. P., Muller, S. M. et Glickman, E. L. (2010). The influence of interval versus continuous exercise on thermoregulation, torso hemodynamics, and finger dexterity in the cold. *European Journal of Applied Physiology*, *109*, 857-867.
- Murphy, J. V., Banwell, P. E., Roberts, A. H. et McGrouther, D. A. (2000). Frostbite: pathogenesis and treatment. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, *48*(1), 171.
- Nakamura, K. et Morrison, S. F. (2008). A thermosensory pathway that controls body temperature. *Nature Neuroscience*, *11*(1), 62-71.
- Nakamura, K. (2011). Central circuitries for body temperature regulation and fever. *American journal of Physiology-Regulatory, integrative and comparative Physiology*, *301*(5), R1207-R1228.
- National Fire Protection Association (NFPA) 1582. (2022). Standard on Comprehensive Occupational Medical Program for Fire Departments.
- National Fire Protection Association (NFPA) 1584. (2022). Standard on the Rehabilitation Process for Members during Emergency Operations and Training Exercises.

- Nedergaard, J., Bengtsson, T. et Cannon, B. (2007). Unexpected evidence for active brown adipose tissue in adult humans. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*.
- Nielsen, R. et Nielsen, B. (1984). Influence of skin temperature distribution on thermal sensation in a cool environment. *European Journal of Applied physiology and Occupational Physiology*, 53(3), 225-230.
- Oksa, J. (2002). Neuromuscular performance limitations in cold. *International Journal of Circumpolar Health*, 61(2), 154-162.
- Oksa, J., Rintamäki, H. et Rissanen, S. (1997). Muscle performance and electromyogram activity of the lower leg muscles with different levels of cold exposure. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 75(6), 484-490.
- Oksa, J., Rintamäki, H., Mäkinen, T., Hass, J. et Rusko, H. (1995). Cooling-induced changes in muscular performance and EMG activity of agonist. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 66(1), 26-31.
- Orysiak, J., Młynarczyk, M. et Irzmańska, E. (2022). The Impact of Protective Gloves on Manual Dexterity in Cold Environments—A Pilot Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1637.
- Palinkas, L. A. (2001). Mental and cognitive performance in the cold. *International Journal of Circumpolar Health*, 60 (3), 430–439.
- Palinkas, L. A., Mäkinen, T. M., Pääkkönen, T., Rintamäki, H., Leppäluoto, J. et Hassi, J. (2005). Influence of seasonally adjusted exposure to cold and darkness on cognitive performance in circumpolar residents. *Scandinavian Journal of Psychology*, 46(3), 239-246.
- Pancrate, T., Gosselin, J., Deshayes, T. A. et Goulet, E. D. (2020). Validity and Reliability of the CorTemp™ Telemetric Pill during 50 h of Reuse in a Circulating Water Bath. *Journal of Thermal Biology*, 93, 102737.
- Patton, J. F. et Vogel, J. A. (1984). Effects of acute cold exposure on submaximal endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16(5), 494-497.
- Perroni, F., Tessitore, A., Cortis, C., Lupo, C., D'artibale, E., Cignitti, L. et Capranica, L. (2010). Energy cost and energy sources during a simulated firefighting activity. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(12), 3457-3463.

- Petruzzello, S. J., Poh, P. Y., Greenlee, T. A., Goldstein, E., Horn, G. P. et Smith, D. L. (2016). Physiological, perceptual and psychological responses of career versus volunteer firefighters to live-fire training drills. *Stress and Health*, 32(4), 328-336.
- Périard, J. D., Eijsvogels, T. M. et Daanen, H. A. (2021). Exercise under heat stress: thermoregulation, hydration, performance implications, and mitigation strategies. *Physiological Reviews*.
- Pugh, L. G. (1967). Cold stress and muscular exercise, with special reference to accidental hypothermia. *British Medical Journal*, 2(5548), 333.
- Raccuglia, M., Pistak, K., Heyde, C., Qu, J., Mao, N., Hodder, S. et Havenith, G. (2018). Human wetness perception of fabrics under dynamic skin contact. *Textile Research Journal*, 88(19), 2155-2168.
- Racinais, S. et Oksa, J. (2010). Temperature and neuromuscular function. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20, 1-18.
- Ramanathan, N. L. (1964). A new weighting system for mean surface temperature of the human body. *Journal of Applied Physiology*, 19(3), 531-533.
- Raven, P. B., Niki, I., Dahms, T. E. et Horvath, S. M. (1970). Compensatory cardiovascular responses during an environmental cold stress, 5 degrees C. *Journal of Applied Physiology*, 29(4), 417-421.
- Ray, M., King, M. et Carnahan, H. (2019). A review of cold exposure and manual performance: Implications for safety, training and performance. *Safety Science*, 115, 1-11.
- Rintamaki, H. E. (2007). Performance and energy expenditure in cold environments. *Alaska Medicine*, 49(2), 245.
- Rome, L. C., Loughna, P. T. et Goldspink, G. E. O. F. F. R. E. Y. (1984). Muscle fiber activity in carp as a function of swimming speed and muscle temperature. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 247(2), R272-R279.
- Romet, T. T. et Frim, J. (1987). Physiological responses to firefighting activities. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56(6), 633-638.
- Rossi, R. (2003). Firefighting and its influence on the body. *Ergonomics*, 46(10), 1017-1033.



Saito, M., Okamatsu-Ogura, Y., Matsushita, M., Watanabe, K., Yoneshiro, T., Nio-Kobayashi, J., ... et Tsujisaki, M. (2009). High incidence of metabolically active brown adipose tissue in healthy adult humans: effects of cold exposure and adiposity. *Diabetes*, 58(7), 1526-1531.

Sargeant, A. J. (1987). Effect of muscle temperature on leg extension force and short-term power output in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56(6), 693-698.

Sawka, M. N. (1996). Thermoregulatory responses to acute exercise-heat stress and heat acclimation. *Handbook of Physiology. Environmental Physiology*, 157-185.

Sawka, M. N., Gonzalez, R. R., Drolet, L. L. et Pandolf, K. B. (1984). Heat exchange during upper-and lower-body exercise. *Journal of Applied Physiology*, 57(4), 1050-1054.

Sheaff, A. K., Bennett, A., Hanson, E. D., Kim, Y. S., Hsu, J., Shim, J. K., ... et Hurley, B. F. (2010). Physiological determinants of the candidate physical ability test in firefighters. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(11), 3112-3122.

Smith, D. L., Liebig, J. P., Steward, N. M. et Fehling, P. C. (2010). *Sudden cardiac events in the fire service: understanding the cause and mitigating the risk*. Skidmore College, Health and Exercise Sciences, First Responder Health and Safety Laboratory.

Smith, D. L., Horn, G. P., Petruzzello, S. J., Fahey, G., Woods, J. et Fernhall, B. O. (2014a). Clotting and fibrinolytic changes following firefighting activities. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 46(3), 448-454.

Smith, D. L., Horn, G. P., Petruzzello, S. J., Freund, G. G., Woods, J. A., Cook, M. D., ... et Fernhall, B. (2014b). Effect of obesity on acute hemostatic responses to live-fire training drills. *The American Journal of Cardiology*, 114(11), 1768-1771.

Smith, D. L., Horn, G. P., Woods, J., Ploutz-Snyder, R. et Fernhall, B. (2016). Effect of aspirin supplementation on hemostatic responses in firefighters aged 40 to 60 years. *The American Journal of Cardiology*, 118(2), 275-280.

Smith, D. L., Petruzzello, S. J., Goldstein, E., Ahmad, U., Tangella, K., Freund, G. G. et Horn, G. P. (2011). Effect of live-fire training drills on firefighters' platelet number and function. *Prehospital Emergency Care*, 15(2), 233-239.

Société canadienne de physiologie de l'exercice (SCPE). (2019). Manuel de ressource La santé par la pratique d'activités physiques, 2e édition.

Société canadienne de physiologie de l'exercice (SCPE). (2021). *Questionnaire Menez une vie plus active*, repéré en ligne à <https://scpe.ca/2021/06/02/questionnaire-menezunevieplusactive/>.

Tanaka, M., Owens, N. C., Nagashima, K., Kanosue, K. et McAllen, R. M. (2006). Reflex activation of rat fusimotor neurons by body surface cooling, and its dependence on the medullary raphe. *The Journal of Physiology*, 572(2), 569-583.

Teichner, W. H. (1958). Reaction time in the cold. *Journal of Applied Psychology*, 42(1), 54.

Teitlebaum, A. et Goldman, R. F. (1972). Increased energy cost with multiple clothing layers. *Journal of Applied Physiology*, 32(6), 743-744.

Thoden, J., Kenny, G., Reardon, F., Jette, M. et Livingstone, S. (1994). Disturbance of thermal homeostasis during post-exercise hyperthermia. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 68(2), 170-176.

Todd Rogers, W., Docherty, D. et Petersen, S. (2014). Establishment of performance standards and a cut-score for the Canadian Forces Firefighter Physical Fitness Maintenance Evaluation (FF PFME). *Ergonomics*, 57(11), 1750-1759.

Todnem, K., Knudsen, G., Riise, T., Nyland, H. et Aarli, J. A. (1989). The non-linear relationship between nerve conduction velocity and skin temperature. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 52(4), 497-501.

Tominaga, M. (2007). Frontiers in Neuroscience The Role of TRP Channels in Thermosensation. In W. B. Liedtke & S. Heller (Eds.), *TRP Ion Channel Function in Sensory Transduction and Cellular Signaling Cascades*. Boca Raton (FL): CRC Press/Taylor & Francis Taylor & Francis Group, LLC. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK5244/>. Consulté en septembre 2023.

Toner, M. M. et McArdle, W. D. (2010). Human thermoregulatory responses to acute cold stress with special reference to water immersion. *Comprehensive Physiology*, 379-397.

Tooke, J. E. et Lowe, G. D. O. (Eds.). (1996). *A Textbook of Vascular Medicine*. Arnold.

van Marken Lichtenbelt, W. D. et Schrauwen, P. (2011). Implications of nonshivering thermogenesis for energy balance regulation in humans. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 301(2), R285-R296.

van Marken Lichtenbelt, W. D., Vanhomerig, J. W., Smulders, N. M., Drossaerts, J. M., Kemerink, G. J., Bouvy, N. D., ... et Teule, G. J. (2009). Cold-activated brown adipose tissue in healthy men. *New England Journal of Medicine*, 360(15), 1500-1508.

Vybiral, S., Lesna, I., Jansky, L. et Zeman, V. (2000). Thermoregulation in winter swimmers and physiological significance of human catecholamine thermogenesis. *Experimental Physiology*, 85(3), 321-326.

Von Heimburg, E. D., Rasmussen, A. K. R. et Medbø, J. I. (2006). Physiological responses of firefighters and performance predictors during a simulated rescue of hospital patients. *Ergonomics*, 49(2), 111-126.

Wakabayashi, H., Oksa, J. et Tipton, M. J. (2015). Exercise performance in acute and chronic cold exposure. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 4(2), 177-185.

Weller, A. S., Millard, C. E., Stroud, M. A., Greenhaff, P. L. et Macdonald, I. A. (1997). Physiological responses to a cold, wet, and windy environment during prolonged intermittent walking. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 272(1), R226-R233.

Widmaier, E.P., Raff, H. et Strang, K. T. (Eds.). (2008). *Human physiology: the mechanisms of body function* (11 ed.). New York: Michelle Watnuck, McGraw-Hill.

Wiggen, Ø. N., Heen, S., Færevik, H. et Reinertsen, R. E. (2011). Effect of cold conditions on manual performance while wearing petroleum industry protective clothing. *Industrial Health*, 49(4), 443-451.

Wijers, S. L., Schrauwen, P., Saris, W. H. et van Marken Lichtenbelt, W. D. (2008). Human skeletal muscle mitochondrial uncoupling is associated with cold induced adaptive thermogenesis. *PloS one*, 3(3), e1777.

Wijers, S. L., Schrauwen, P., van Baak, M. A., Saris, W. H. et van Marken Lichtenbelt, W. D. (2011).  $\beta$ -adrenergic receptor blockade does not inhibit cold-induced thermogenesis in humans: possible involvement of brown adipose tissue. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 96(4), E598-E605.

Wilson, T. E., Sauder, C. L., Kearney, M. L., Kuipers, N. T., Leuenberger, U. A., Monahan, K. D. et Ray, C. A. (2007). Skin-surface cooling elicits peripheral and visceral vasoconstriction in humans. *Journal of Applied Physiology*, 103(4), 1257-1262.

Wong, D. (2003). Translation of Wong-Baker FACES Pain Rating Scale. *Nursing Care of Infants and Children*, 1905-1907.

Yan, H., Fahs, C. A., Ranadive, S., Rossow, L. M., Lane, A. D., Agiovlasitis, S., ... et Fernhall, B. (2012). Evaluation of carotid wave intensity in firefighters following firefighting. *European Journal of Applied Physiology*, 112(7), 2385-2391.

Yang, L., Wu, J., Hu, Z., Gao, F. et Hu, X. (2021). Effects of workload on human cognitive performance of exposure to extremely cold environment. *Physiology & Behavior*, 230, 113296.

Young, A. J. et Castellani, J. W. (2001). Exertion-induced fatigue and thermoregulation in the cold. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 128(4), 769-776.

Young, A. J., Sawka, M. N., Epstein, Y., Decristofano, B. A. R. R. Y. et Pandolf, K. B. (1987). Cooling different body surfaces during upper and lower body exercise. *Journal of Applied Physiology*, 63(3), 1218-1223.

## ANNEXE A

### Échelles de perceptions

# ÉCHELLE DE SENSATION THERMIQUE

---

<b>0.0</b>	<b>FROID INSUPPORTABLE</b>
<b>0.5</b>	
<b>1.0</b>	<b>TRÈS FROID</b>
<b>1.5</b>	
<b>2.0</b>	<b>FROID</b>
<b>2.5</b>	
<b>3.0</b>	<b>FRAIS</b>
<b>3.5</b>	
<b>4.0</b>	<b>NI FROID NI CHAUD</b>
<b>4.5</b>	
<b>5.0</b>	<b>UN PEU CHAUD</b>
<b>5.5</b>	
<b>6.0</b>	<b>CHAUD</b>
<b>6.5</b>	
<b>7.0</b>	<b>TRÈS CHAUD</b>
<b>7.5</b>	
<b>8.0</b>	<b>CHALEUR INSUPPORTABLE</b>

# ÉCHELLE DE PERCEPTION DE CONFORT

---

**1            CONFORTABLE**

**2**

**3            LÉGÈREMENT INCONFORTABLE**

**4**

**5            INCONFORTABLE**

**6**

**7            TRÈS INCONFORTABLE**

# ÉCHELLE DE DOULEUR

---

0	PAS MAL
1	
2	UN PETIT PEU MAL
3	
4	UN PEU PLUS MAL
5	
6	ENCORE PLUS MAL
7	
8	TRÈS MAL
9	
10	TRÈS TRÈS MAL



## ANNEXE B

### Formulaire d'information et de consentement

## FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT

---

Invitation à participer au projet de recherche :

### **Réponses physiologiques, perceptuelles, cognitives et motrices lors de l'exposition au froid en hiver chez les pompiers et pompières**

Chercheure principale

Kamille Roy, B.Sc | Étudiante  
Département des sciences de l'activité physique  
Université du Québec à Trois-Rivières

Chercheur principal

Philippe Gendron, PhD | Professeur  
Département des sciences de l'activité physique  
Université du Québec à Trois-Rivières

François Trudeau, PhD | Professeur  
Département des sciences de l'activité physique  
Université du Québec à Trois-Rivières

## Préambule

Votre participation à la recherche, qui vise à caractériser le travail des pompiers et pompières lors d'une simulation d'intervention sur tapis roulant et dans une chambre froide, serait grandement appréciée. Cependant, avant d'accepter de participer à ce projet et de signer ce formulaire d'information et de consentement, veuillez prendre le temps de lire ce formulaire. Il vous aidera à comprendre ce qu'implique votre éventuelle participation à la recherche de sorte que vous puissiez prendre une décision éclairée à ce sujet.

Ce formulaire peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles au chercheur responsable de ce projet de recherche ou à un membre de son équipe de recherche. Sentez-vous libre de leur demander de vous expliquer tout mot ou renseignement qui n'est pas clair. Prenez tout le temps dont vous avez besoin pour lire et comprendre ce formulaire avant de prendre votre décision.

## Financement du projet de recherche

Fonds pour la recherche clinique de l'Université du Québec à Trois-Rivières.

## Objectifs et résumé du projet de recherche

Les interventions de lutte contre les incendies au Québec sont à l'origine d'expositions à la chaleur et au froid. En effet, dans les principales aires urbaines, les pompiers sont exposés à des températures froides plusieurs mois par année avec des températures minimales moyennes de près de  $-20$  à  $-24^{\circ}\text{C}$ . Les risques sont notables pour la santé des pompiers et des pompières. En effet, ces travailleurs et travailleuse sont à risque d'hypothermie et d'apparition d'engelure.

L'objectif de cette étude sera donc de caractériser chez des adultes de 18 à 59 ans les changements physiologiques (thermorégulateurs et cardiovasculaires) et perceptuels et les changements sur les fonctions cognitives et motrices occasionnés par une exposition au froid lors d'une simulation de combat d'un incendie en hiver.

## Nature et durée de votre participation

Votre participation à ce projet de recherche consiste à vous présenter en laboratoire (Laboratoire de physiologie de l'exercice – 4209AT) à 4 reprises selon vos disponibilités. La première visite sera d'une durée d'environ 1h30 et les 3 autres de 3h00. Elles seront séparées d'au moins 48 heures.



Voici la description détaillée des visites :

Visites #1 : Évaluation de la condition physique cardiovasculaire sur tapis roulant

Vous devrez être vêtu d'un short et d'un t-shirt. En arrivant au laboratoire, vous devrez fournir un échantillon d'urine en privé. Vous remplirez ensuite un questionnaire pour évaluer votre niveau d'activité physique et vos mesures anthropométriques seront prises (poids corporel nu en privé, taille et tour de taille). Des électrodes, une courroie autour de la poitrine et un brassard seront ensuite installés sur vous pour mesurer la fréquence cardiaque et la pression artérielle. Vous vous allongerez par la suite sur le dos sur un lit pour prendre des mesures de repos. Vous serez ensuite vêtu d'un équipement de protection individuelle de pompier (bottes, pantalon, manteau, gants, cagoule et appareil de protection respiratoire individuelle autonome) par-dessus vos vêtements de sport pour le test progressif par paliers à la marche jusqu'à effort maximal sur tapis roulant. La vitesse de marche sera de 4,5 km/h avec une augmentation progressive de l'inclinaison de 2% à chaque palier de 2 minutes à partir d'une pente initiale de 0% (la marche devrait durer environ entre 8 et 22 minutes). Vous respirerez à l'aide d'un masque branché à un analyseur métabolique qui mesure les échanges gazeux. La fréquence cardiaque et la pression artérielle seront mesurées pendant le test.

Visites #2-3-4 : Simulation d'intervention sur tapis roulant et exposition au froid

En arrivant au laboratoire, vous devrez fournir un échantillon d'urine en privé. Vous vous pèserez nu ensuite en privé. Toujours en privé, vous installerez une sonde rectale (que vous garderez pour toute la durée de l'intervention sur tapis roulant et en transportant des charges, soit 25 minutes et lors de l'exposition au froid dans la chambre froide, soit 60 minutes) et vous mettrez des vêtements de sport (vous devrez porter des vêtements longs) et des bas chauds (exactement les mêmes vêtements pour les 3 visites). Des électrodes, une courroie autour de la poitrine et un brassard seront ensuite installés sur vous pour mesurer la fréquence cardiaque et la pression artérielle. Des sondes seront aussi collées sur votre peau pour mesurer la température de votre peau. Vous vous allongerez par la suite sur le dos sur un lit pour prendre des mesures de repos. Vous serez ensuite vêtu d'un équipement de protection individuelle de pompier (gants, pantalon, manteau, cagoule, bottes et appareil de protection respiratoire individuelle autonome) pour le test de dextérité manuelle, le test de préhension de la main, les tests d'équilibre, le test de Stroop, le test de simulation d'intervention sur tapis roulant et l'exposition dans la chambre froide représentant certaines tâches du métier de pompiers.

*\*Prenez note que vous ne porterez pas le masque pendant la simulation d'intervention tel qu'indiqué sur les photos qui suivent.*

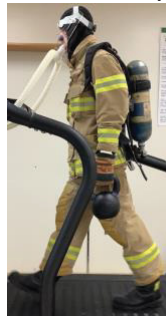
Voici les différentes étapes de la simulation d'intervention :

29. 1 minute de marche à 4,5 km/h à une inclinaison de 1%.



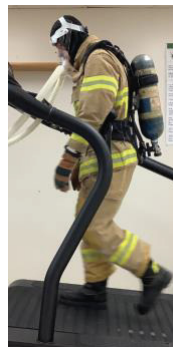
30. 1 minute de marche à 4,5 km/h à une inclinaison de 1% en transportant avec la main droite un kettlebell de 18,2 kg (40 lbs) représentant le transport d'un diviseur de tuyau d'arrosage (voir photo tâche #3).

31. 1 minute de marche à 4,5 km/h à une inclinaison de 1% en transportant avec la main gauche un kettlebell de 18,2 kg (40 lbs) représentant le transport d'un diviseur de tuyau d'arrosage.



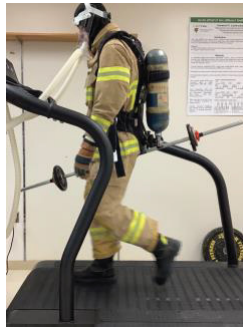
32. 1 minute de marche à 4,5 km/h à une inclinaison de 1% (voir photo tâche #1).

33. 1 minute de marche à 4,5 km/h à une inclinaison de 12% représentant l'ascension d'une échelle ou d'un escalier.



34. 1 minute de marche à 4,5 km/h à une inclinaison de 1% (voir photo tâche #1)

35. 1 minute de marche à 4,5 km/h à une inclinaison de 1% en transportant une barre de 13,7 kg (30 lbs) d'une longueur de 6 pieds représentant le transport d'une échelle de 13,7 kg (30 lbs) d'une longueur de 12 pieds.



36. 1 minute de marche à 4,5 km/h à une inclinaison de 1% (voir photo tâche #1).

37. 1 minute de marche à 4,5 km/h à une inclinaison de 1% en transportant contre la poitrine une plaque d'haltérophilie de 16 kg (35 lbs) représentant un tuyau de 65 mm (2,5 po) d'une longueur de 30 mètres (100 pieds) enroulé et pesant 16,5 kg.



38. 1 minute de marche à 4,5 km/h à une inclinaison de 12% en transportant contre la poitrine une plaque d'haltérophilie de 16 kg (35 lbs) représentant un tuyau de 65 mm (2,5 po) d'une longueur de 30 mètres (100 pieds) enroulé et pesant 16,5 kg. Cette tâche représente l'ascension d'un escalier en transportant un tuyau d'arrosage.



39. 1 minute de marche à 4,5 km/h à une inclinaison de 1% (voir photo tâche #1).
40. Sur le tapis roulant en arrêt, tirage à deux mains avec le tronc incliné (« bent over row ») d'un kettlebell de 18,2 kg (40 lbs) pour 20 répétitions sur 30 secondes. Cette tâche représente le tirage d'un tuyau d'arrosage.



41. 1 minute de pause debout sur le tapis roulant en arrêt.
42. Sur le tapis roulant en arrêt, tirage à deux mains avec le tronc incliné (« bent over row ») d'un kettlebell de 18,2 kg (40 lbs) pour 20 répétitions sur 30 secondes. Cette tâche représente le tirage d'un tuyau d'arrosage (voir photo tâche #12).
43. 1 minute de pause debout sur le tapis roulant en arrêt.
44. Sur le tapis roulant en arrêt, tirage à deux mains avec le tronc incliné (« bent over row ») d'un kettlebell de 18,2 kg (40 lbs) pour 20 répétitions sur 30 secondes. Cette tâche représente le tirage d'un tuyau d'arrosage (voir photo tâche #12).
45. 1 minute de marche à 4,5 km/h à une inclinaison de 12% en transportant contre la poitrine une plaque d'haltérophilie de 16 kg (35 lbs) représentant un tuyau de 65 mm (2,5 po) d'une longueur de 30 mètres (100 pieds) enroulé. Cette tâche représente l'ascension d'un escalier en transport un tuyau d'arrosage (voir photo tâche #10).

46. En position debout sur le tapis roulant en arrêt, poussée vers le haut (« développé militaire ») de poids libres de 2,3 kg (5 lbs) pour 20 répétitions sur 30 secondes. Cette tâche représente le travail réalisé au-dessus des épaules (p. ex. briser un plafond avec une gaffe).



47. 1 minute de pause debout sur le tapis roulant en arrêt.
48. En position debout sur le tapis roulant en arrêt, poussée vers le haut (« développé militaire ») de poids libres de 2,3 kg (5 lbs) pour 20 répétitions sur 30 secondes. Cette tâche représente le travail réalisé au-dessus des épaules (p. ex. briser un plafond avec une gaffe) (voir photo tâche #18).
49. 1 minute de pause debout sur le tapis roulant en arrêt.
50. En position debout sur le tapis roulant en arrêt, poussée vers le haut (« développé militaire ») de poids libres de 2,3 kg (5 lbs) pour 20 répétitions sur 30 secondes. Cette tâche représente le travail réalisé au-dessus des épaules (p. ex. briser un plafond avec une gaffe) (voir photo tâche #18).
51. 1 minute de pause debout sur le tapis roulant en arrêt.
52. 1 minute de marche à 4,5 km/h à une inclinaison de 12% en transportant contre la poitrine une plaque d'haltérophilie de 16 kg (35 lbs) représentant un tuyau de 65 mm (2,5 po) d'une longueur de 30 mètres (100 pieds) enroulé. Cette tâche représente l'ascension d'un escalier en transport un tuyau d'arrosage (voir photo tâche #10).
53. 1 minute de marche à 4,5 km/h à une inclinaison de 1%.
54. 1 minute de marche à 4,5 km/h à une inclinaison de 1% en transportant une barre de 13,7 kg (30 lbs) d'une longueur de 6 pieds représentant le transport d'une échelle de (13,7 kg) 30 lbs d'une longueur de 12 pieds (voir photo tâche #7).
55. 1 minute de marche à 4,5 km/h à une inclinaison de 1% en transportant contre la poitrine une plaque d'haltérophilie de 16 kg (35 lbs) représentant un tuyau de 65 mm (2,5 po) d'une longueur de 30 mètres (100 pieds) enroulé pesant 16,5 kg (voir photo tâche #9).
56. 1 minute de marche à 4,5 km/h à une inclinaison de 1% (voir photo tâche #1).



Exposition au froid dans la chambre froide :

À la suite de cette période d'effort de 25 minutes, vous vous installerez dans la chambre froide pour une période de 60 minutes en position assise. Vous ne pourrez pas vous distraire avec de la musique, de la lecture ou un appareil électronique, car il y aura plusieurs mesures prises pendant la période de 60 minutes (à fréquence élevée) et ça pourrait influencer les résultats (pression artérielle, fréquence cardiaque, variabilité de la fréquence cardiaque, dextérité manuelle, perceptions, etc.). Toutefois, une personne responsable du projet restera dans la chambre avec vous tout au long de la période de 60 minutes. Vous pourrez boire la quantité d'eau voulue. Après 60 minutes, vous devrez effectuer plusieurs tests (préhension de la main, test d'équilibre, test de dextérité manuelle et test de Stroop) dans le laboratoire, à l'extérieur de la chambre froide. À la suite de ces tests, tous les instruments de mesure seront enlevés et nous vous demanderons de vous peser nu, en privé et de fournir un échantillon d'urine.



**Tableau des variables mesurées selon les visites.**

Variables	Évaluation de la condition physique	Simulation d'intervention	Exposition au froid
	1h30	3h00	
Mesures anthropométriques	X		
Échantillon d'urine	X		X
Fréquence cardiaque	X		X
Pression artérielle	X		X
Échanges gazeux	X		
Perception(s)	X		X
Poids corporel nu	X		X
Température rectale			X
Température de la peau			X
Test de préhension de la main			X
Test d'équilibre			X
Test de dextérité manuelle			X
Test de Stroop			X

### Description des mesures

Taille : Votre taille sera mesurée à l'aide d'un stadiomètre.

Tour de taille : Votre tour de taille sera mesurée à l'aide d'un ruban à mesurer.

Échantillon d'urine : Vous devrez fournir un échantillon d'urine pour que l'on puisse mesurer votre niveau d'hydratation. Nous vous fournirons un récipient en plastique pour que vous puissiez fournir un échantillon en privé.

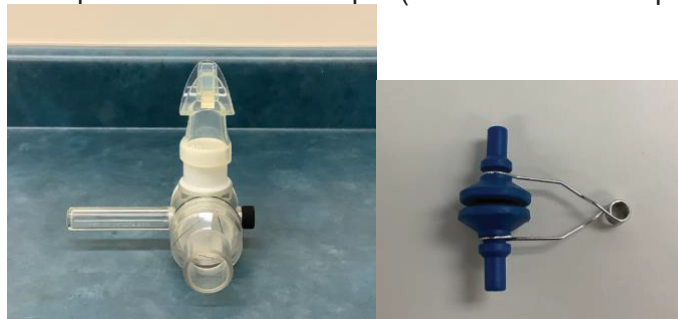
Fréquence cardiaque : Des électrodes seront collées sur la peau de votre poitrine pour mesurer votre fréquence cardiaque à l'aide d'un électrocardiogramme. Il est possible que l'on soit obligé de raser votre peau à l'aide d'un rasoir jetable pour assurer un bon contact entre les électrodes et la peau. Une courroie ajustable sera également placée autour de la poitrine pour mesurer votre fréquence cardiaque.



Pression artérielle : Un brassard sera placé sur votre bras pour mesurer votre pression artérielle à l'aide d'un tensiomètre automatique.



Échanges gazeux : Vos échanges gazeux seront mesurés à l'aide d'un analyseur métabolique. Vous aurez un pince-nez et vous respirerez dans un masque (similaire à un tuba pour la plongée en apnée).



Perception de l'effort, perception de confort et sensation thermique : Nous vous demanderons de juger votre effort, votre confort et votre sensation thermique. Des échelles numériques vous seront présentées et vous devrez pointer le chiffre correspondant à votre degré d'effort, de confort et de sensation thermique.

Poids corporel nu : Votre poids corporel nu sera mesuré à l'aide d'un pèse-personne de haute précision. Vous serez seul dans un local pour cette mesure.



Pourcentage de graisse : Votre pourcentage de graisse sera estimé à l'aide d'un pèse-personne impédancemètre.



Température rectale : Afin de mesurer la température interne de votre corps, vous devrez, en privé, vous insérer dans le rectum une petite sonde enveloppée dans un préservatif taillé au ciseau avec l'anneau retiré et attaché avec une soie dentaire. Des instructions propres à l'insertion de la sonde vous seront expliquées. Pour fournir une mesure valide de la température interne, la sonde doit se retrouver dans le rectum passé le sphincter anal. Vous retirerez vous-même la sonde rectale à la fin des visites en privé en tirant sur la soie dentaire. Des gants et des ciseaux vous seront fournis pour que vous puissiez, en privé, couper le préservatif et redonner la sonde au responsable.



Température de la peau : Des capteurs (8) seront apposés sur votre peau à l'aide de ruban adhésif (mollet droit, cuisse droite (×2), épaule droite, grand pectoral droit (×2) et majeurs droit et gauche (doigts)). Ces capteurs permettent de mesurer la température de la peau. Il est possible que l'on soit obligé de raser votre peau à l'aide d'un rasoir jetable pour assurer un bon contact entre les capteurs et la peau.



Test de dextérité manuelle : Elle sera évaluée à l'aide d'un montage maison. Les participants devront assembler des sections de boyaux d'arrosage (utilisées lors d'une réelle intervention) l'une dans l'autres.

Test d'équilibre : Vous devrez effectuer deux tests afin d'évaluer l'équilibre statique et dynamique (SCPE 2019).

Test de préhension de la main : Afin de quantifier le changement de force musculaire lors du protocole, vous devrez effectuer un test de préhension de la main à l'aide d'un dynamomètre.

Test de Stroop : Un test de temps de réaction en situation de choix sera réalisé pour quantifier le niveau attentionnel, le traitement de l'information et la réponse motrice. La flexibilité cognitive sera également évaluée à l'aide d'un test de Stroop contenant des blocs de dénomination, de comptage, d'inhibition et d'alternance.

### Collaboration du participant

Pour assurer votre bien-être lors de votre participation à l'étude et pour ne pas influencer les résultats du projet, nous vous demandons de suivre les consignes suivantes :

- Ne pas faire d'activité physique intense (24 heures), ne pas consommer de l'alcool (12 heures), de la caféine (6 heures), ou des boissons énergisantes (6 heures) et ne pas fumer (12 heures) avant les visites.
- Vous assurez d'être bien hydraté, en consommant 250 ml d'eau le soir précédent, ainsi que le matin avant chacune des visites au laboratoire.
- Consommer un repas léger, 2 heures avant de vous rendre au laboratoire.
- Maintenir vos habitudes pour la durée de votre participation au projet en évitant de modifier votre niveau d'activité physique.
- Éviter de participer simultanément à d'autres projets de recherche.
- Obtenir une bonne nuit de sommeil avant chaque visite au laboratoire.
- Déclarer et apporter une liste de tous les médicaments, suppléments, produits naturels et/ou drogues que vous utilisez.

### Risques et inconvénients

**Inconvénient** : Votre participation à ce projet de recherche nécessite 4 visites, de 1h30 à 3h00 chacune, au laboratoire de physiologie de l'exercice de l'UQTR pour un total d'environ 10h30 à 12 heures. Vous devrez donc vous y rendre et consacrer du temps pour participer à l'étude. Pour votre information, les frais de stationnement seront assumés par l'équipe de recherche.

**Risques** : Vous réaliserez des efforts physiques importants et une exposition au froid à une température basse (-20°C). Des risques sur le plan physique sont présents.

Effort physique :

L'effort physique important peut engendrer certains inconforts comme ressentir des étourdissements, une fatigue ou tout autre malaise et peut augmenter le risque de subir et décéder d'un événement cardiovasculaire, ce qui est toutefois très rare chez des personnes sans maladie cardiovasculaire. Si vous éprouvez une douleur, un malaise ou tout autre symptôme pendant ou aussitôt après un test, vous devez en informer les intervenant(e)s. Vous savez également que vous pouvez interrompre le test si vous le désirez, et que l'intervenant(e) peut y mettre fin s'il/elle observe des symptômes de malaise ou des réactions anormales. Les chercheurs/chercheuses prendront les précautions et apporteront les soins nécessaires pour éviter tout inconfort lors des séances de test. Tout au long du test, les chercheurs/chercheuses se positionnent près du tapis roulant pour intervenir rapidement si vous ne pouvez pas réaliser la tâche demandée.

Exposition à la chaleur :

L'effort physique important avec le port de l'équipement de protection individuelle engendreront une augmentation de la température corporelle interne. Certains inconforts peuvent accompagner l'augmentation de la température corporelle interne. Vous aurez peut-être très chaud, serez en sueur, ressentirez des étourdissements, une fatigue ou tout autre malaise. L'augmentation de la température corporelle augmente le risque de perte de conscience. Toutefois, votre température corporelle interne sera continuellement surveillée lors des visites et elle n'atteindra jamais des niveaux dangereux (supérieure à 39°C). Si vous ressentez des étourdissements, une fatigue ou tout autre malaise ou si vous n'êtes plus en mesure de tolérer l'exposition à la chaleur, le test prend fin immédiatement, l'équipement de protection individuelle est rapidement retiré et vous serez installé sur une chaise dans le laboratoire (température d'environ 21°C) où de l'eau et des boissons froides, des serviettes mouillées ainsi qu'un ventilateur seront disponibles. Si nécessaire une douche d'eau froide est aussi facilement accessible dans le local voisin au laboratoire.

Déshydratation :

Une grande production de sudation accompagnera l'augmentation de la température corporelle interne. Il est donc possible que vous ayez certains inconforts liés à la déshydratation tels que la soif, des étourdissements, de la fatigue et des crampes musculaires. Vous pourrez boire de l'eau selon vos besoins tout au long des expérimentations (sauf pendant le test d'évaluation de la condition physique cardiovasculaire et pendant les périodes d'effort dans les simulations d'intervention) et après les expérimentations. De plus, l'état d'hydratation avant chaque visite sera mesuré. Vous devrez donc être bien hydraté avant chaque test.

Contrainte cardiaque :

L'effort physique, l'augmentation de la température corporelle interne ainsi que la déshydratation augmentent la contrainte cardiaque et, par conséquent, le risque d'événement cardiaque (p. ex. infarctus du myocarde). Vous pourriez alors ressentir l'augmentation de votre fréquence cardiaque, de la douleur/inconfort (p. ex. poitrine, bras, mâchoire, cou), des étourdissements, de la fatigue ou tout autre malaise. Les critères d'inclusion et d'exclusion limitent de façon très importante le risque de malaise

cardiaque lors des expérimentations (actif, aucune maladie cardiovasculaire/cardiométabolique et/ou symptômes, etc.). Il est aussi important de prendre note que, en cas d'urgence, les principaux chercheurs et étudiant(e)s effectuant les expérimentations ont une formation en RCR-Professionnel de la santé (DEA-C) et qu'un défibrillateur externe automatisé (DEA) est disponible dans le laboratoire. Il est important de noter qu'il y aura toujours 2 personnes responsables en laboratoire lors des expérimentations et qu'un plan d'urgence a été développé par le laboratoire et la sécurité publique (UQTR).

#### Sonde rectale :

L'insertion de la sonde rectale (en privé) peut causer de l'inconfort et de l'irritation, mais ces sensations passent rapidement une fois la sonde en place (15-30 secondes). Des instructions détaillées propres à l'insertion de la sonde seront fournies. De plus, des sachets de lubrifiant sera mis à disposition pour limiter l'inconfort et l'irritation.

Exposition au froid : L'exposition au froid comporte certains risques pour la santé puisque le corps se refroidit. Le risque d'hypothermie est augmenté (température corporelle interne inférieure à 35 degrés C). Nous mesurerons en continu la température corporelle interne. Si votre température corporelle interne atteint 35,5 degrés C, nous mettrons fin à l'exposition au froid. L'exposition au froid pourrait aussi engendrer un inconfort comme de la douleur aux extrémités ou des risques de gelures. Toutefois, le risque de subir une gelure est très faible dans les trois conditions de notre étude (-20, 0 et 15 degrés C sans vent). Si vous éprouvez une douleur, un inconfort insupportable ou tout autre symptôme pendant ou aussitôt après l'exposition au froid dans la chambre froide, vous devez en informer les intervenant(e)s. Vous savez également que vous pouvez interrompre l'exposition au froid si vous le désirez et que l'intervenant(e) peut y mettre fin s'il/elle observe des symptômes de douleur trop intense ou des réactions anormales. Les chercheurs/chercheuses prendront les précautions et apporteront les soins nécessaires pour éviter tout inconfort lors des séances d'exposition au froid. À noter que les intervenants seront présents pendant toute la durée de l'exposition au froid, c'est-à-dire pendant 60 minutes consécutives. Afin de diminuer l'inconfort relié à l'exposition au froid, vous pourrez placer vos mains ou vos pieds nu sur une autre partie de votre corps (contact peau contre peau). Une fois sorti de la chambre froide, vous aurez aussi accès à des couvertures une fois l'équipement de protection individuel retiré et votre corps séché à l'aide des serviettes détenues en laboratoire. Enfin, vous aurez accès à des boissons chaudes au besoin (eau, tisane, thé, etc.).

### **Avantages ou bénéfiques**

La contribution à l'avancement des connaissances au sujet du métier de pompier et aux différents environnements auxquels ils sont exposés est le bénéfice principal prévu à leur participation.

Vous aurez aussi la chance d'en connaître davantage sur votre condition physique (tests de laboratoire). Si vous en faites la demande, nous vous fournirons les résultats qui vous intéressent par courriel.

### **Compensation ou incitatif**

La compensation financière est de 30\$ pour la rencontre 1 et 40\$ pour la rencontre 2-3-4, pour un total de 150\$.

## Confidentialité

Les données recueillies par cette étude sont entièrement confidentielles et ne pourront en aucun cas mener à votre identification. Votre confidentialité sera assurée par un code numérique. Les résultats de la recherche, qui pourront être diffusés sous forme d'articles, de présentations et de rapports ne permettront pas de vous identifier. Les données seront détruites (déchiquetage, effacées et formatées des ordinateurs) cinq ans après la fin de la récolte des données (au plus tard le 06-2028).

Les données recueillies seront conservées dans une base de données protégée par un mot de passe. Les seules personnes qui y auront accès seront le professeur Philippe Gendron ainsi que les étudiant(e)s qui travailleront sur ce projet de recherche. Toutes ces personnes doivent signer un engagement à la confidentialité. Les données seront détruites en déchiquetant les feuilles de données et en supprimant les fichiers informatiques lorsque les articles et les rapports seront rédigés. Les données ne seront pas utilisées à d'autres fins que celles décrites dans le présent document.

## Participation volontaire

Votre participation à cette étude se fait sur une base volontaire. Vous êtes entièrement libre de participer ou non, de refuser de répondre à certaines questions ou de vous retirer en tout temps sans préjudice et sans avoir à fournir d'explications. Le consentement donné pour participer au projet ne vous prive d'aucun droit au recours judiciaire en cas de préjudice lié à la recherche.

Si vous vous retirez de l'étude, êtes-vous d'accord que les données déjà récoltées soient utilisées?

Oui  Non

### *Retrait d'un participant*

Le chercheur se réserve aussi la possibilité de retirer un participant en lui fournissant des explications sur cette décision.

### **Participation à des études ultérieures**

Acceptez-vous que le chercheur responsable du projet ou un membre de son personnel de recherche reprenne contact avec vous pour vous proposer de participer à d'autres projets de recherche? Bien sûr, lors de cet appel, vous serez libre d'accepter ou de refuser de participer aux projets de recherche proposés.  Oui  Non

## Responsable de la recherche

Pour obtenir de plus amples renseignements ou pour toute question concernant ce projet de recherche, vous pouvez communiquer avec le professeur Philippe Gendron à l'adresse courriel suivante : [philippe.gendron@uqtr.ca](mailto:philippe.gendron@uqtr.ca) ou avec l'étudiante Kamille Roy à l'adresse courriel suivante : [kamille.roy@uqtr.ca](mailto:kamille.roy@uqtr.ca).



## Surveillance des aspects éthique de la recherche

Cette recherche est approuvée par le comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'Université du Québec à Trois-Rivières et un certificat portant le numéro CER-22-292-07.02 a été émis le 11 novembre 2022.

Pour toute question ou plainte d'ordre éthique concernant cette recherche, vous devez communiquer avec la secrétaire du comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec à Trois-Rivières, par téléphone (819) 376-5011, poste 2129 ou par courrier électronique [CEREH@uqtr.ca](mailto:CEREH@uqtr.ca).

## CONSENTEMENT

### Engagement de la chercheuse ou du chercheur

Moi, Kamille Roy, m'engage à procéder à cette étude conformément à toutes les normes éthiques qui s'appliquent aux projets comportant la participation de sujets humains.

### Consentement du participant

Je, \_\_\_\_\_, confirme avoir lu et compris la lettre d'information au sujet du projet **RÉPONSES PHYSIOLOGIQUES, PERCEPTUELLES, COGNITIVES ET MOTRICES LORS DE L'EXPOSITION AU FROID EN HIVER CHEZ LES POMPIERS ET POMPIÈRES**. J'ai bien saisi les conditions, les risques et les bienfaits éventuels de ma participation. On a répondu à toutes mes questions à mon entière satisfaction. J'ai disposé de suffisamment de temps pour réfléchir à ma décision de participer ou non à cette recherche. Je comprends que ma participation est entièrement volontaire et que je peux décider de me retirer en tout temps, sans aucun préjudice.

De plus, je consens (initiales : \_\_\_\_\_) au prélèvement d'échantillons d'urine pour les mesures précédemment décrites dans ce formulaire.

Ces échantillons seront détruits la journée même lorsque les mesures seront prises (quelques minutes après la fin de la visite du (de la) participant(e) en laboratoire. L'urine sera jetée à la toilette.

De plus, je consens (initiales : \_\_\_\_\_) au port de la sonde rectale pour une durée d'environ 2 heures 30 minutes à la visite #2-3-4 (mesures de repos, test sur le tapis roulant et exposition au froid).

Finalement, je consens (initiales : \_\_\_\_\_) au port du masque pour mesurer la consommation d'oxygène pour la durée de l'effort physique sur le tapis roulant lors de la première visite.

**J'accepte donc librement de participer à ce projet de recherche.**

<b>Participant</b>	<b>Chercheur</b>
Signature :	Signature :
Nom :	Nom :
Date :	Date :

ANNEXE C

Certification éthique



### CERTIFICAT D'ÉTHIQUE DE LA RECHERCHE AVEC DES ÊTRES HUMAINS

En vertu du mandat qui lui a été confié par l'Université, le Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains a analysé et approuvé pour certification éthique le protocole de recherche suivant :

**Titre :** **Réponses physiologiques, perceptuelles, cognitives et motrices lors de l'exposition au froid en hiver chez les pompiers et pompières**

**Chercheur(s) :** Kamille Roy  
Département des sciences de l'activité physique

**Organisme(s) :** UQTR, Fonds pour la recherche clinique volet projet

**N° DU CERTIFICAT :** CER-22-292-07.02

**PÉRIODE DE VALIDITÉ :** Du 11 novembre 2022 au 11 novembre 2023

**En acceptant le certificat éthique, le chercheur s'engage à :**

- Aviser le CER par écrit des changements apportés à son protocole de recherche avant leur entrée en vigueur;
- Procéder au renouvellement annuel du certificat tant et aussi longtemps que la recherche ne sera pas terminée;
- Aviser par écrit le CER de l'abandon ou de l'interruption prématurée de la recherche;
- Faire parvenir par écrit au CER un rapport final dans le mois suivant la fin de la recherche.

Me Richard LeBlanc  
**Président du comité**

Fanny Longpré  
**Secrétaire du comité**

*Décanat de la recherche et de la création*

**Date d'émission :** 11 novembre 2022