

Efficacité d'un gilet rafraîchissant sur les astreintes cardiaque et thermique lors du travail à la chaleur

AUTEURS :

B. Pierret, E. Turpin-Legendre, L. Claudon, B. Adam, département Homme au travail, et A. Aublet-Cuvelier, direction des Études et recherches, INRS.

EN RÉSUMÉ

Dans une entreprise de chauffage urbain, les salariés sont exposés à des températures élevées lors d'opérations de maintenance effectuées dans un réseau de canalisations souterraines. L'objectif de cette intervention était d'évaluer l'incidence du port d'un gilet rafraîchissant sur les astreintes subies par les opérateurs lors de leurs tâches habituelles. Le port du gilet a permis de réduire significativement l'astreinte cardiaque. Avec ou sans port de gilet, l'astreinte thermique était en moyenne inférieure à la limite acceptable, malgré certaines valeurs individuelles d'extrapulsations cardiaques thermiques dépassant ce seuil. Le port du gilet rafraîchissant réduisait néanmoins significativement l'astreinte thermique et les astreintes ressenties.

MOTS CLÉS

Travail à la chaleur / Astreinte thermique / Fréquence cardiaque

Bon nombre de professions s'exercent en ambiance thermique chaude. Les métiers du bâtiment et des travaux publics ou de l'agriculture sont exposés à des températures élevées pendant les périodes estivales, mais d'autres secteurs d'activité (aciéries, papeteries, verreries, fonderies, entreprises de plasturgie, blanchisseries, teintureries, cuisines...) y sont confrontés toute l'année. Que l'activité ait lieu en extérieur, soumise aux conditions climatiques et aux épisodes caniculaires de plus en plus fréquents, ou qu'elle se déroule en intérieur avec une contrainte thermique propre à l'activité professionnelle, l'exposition aux fortes chaleurs augmente le risque d'accidents du travail et constitue un danger pour la santé des salariés qui peut se manifester par les troubles suivants : dermatite de chaleur, œdème des extrémités, crampe de chaleur, syncope, syndrome d'épuisement et de déshydratation voire coup de

chaleur mettant en jeu le pronostic vital [1]. Le nombre de travailleurs potentiellement concernés par ces troubles n'est pas anecdotique : ils seraient 1 545 600 (6,2 %) exposés à des températures supérieures à 24 °C imposées par le processus de production [2]. Dans le Code du travail (CT), aucune limite de température au-delà de laquelle il est dangereux ou interdit de travailler n'est précisée. Néanmoins, la loi impose à l'employeur de prendre les mesures nécessaires pour assurer la sécurité et protéger la santé physique et mentale des travailleurs (article L. 4121-1 du CT). L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) considère qu'au-delà de 30 °C pour une activité sédentaire et de 28 °C pour un travail nécessitant une activité physique, la chaleur peut représenter un risque pour les salariés. Les températures extrêmes entrent dans le dispositif de prévention et de compensation des expositions à certains fac-

Efficacité d'un gilet rafraîchissant sur les astreintes cardiaque et thermique lors du travail à la chaleur

teurs de risque professionnels au titre de l'environnement physique agressif (articles L. 4161-1, D. 4161-1, D. 4163-2 du CT). Les salariés concernés sont ceux exposés plus de 900 heures par an à une température supérieure ou égale à 30 °C du fait de leur activité de travail, les températures extérieures n'étant pas prises en considération dans le cadre de ce dispositif [3].

Dans une situation de travail exposant à la chaleur, des actions de prévention doivent être menées afin de supprimer ou, à défaut, réduire les risques d'hyperthermie. Les mesures de prévention doivent s'inscrire dans une démarche globale. Les mesures techniques générales concernent notamment les actions sur la température de l'air, sa vitesse, auxquelles s'ajoutent des mesures organisationnelles (aménagement des horaires pour éviter le travail sous forte chaleur en extérieur, limitation ou report du

travail physique, augmentation du nombre et de la durée des pauses, mise à disposition de locaux avec une température adaptée pour les pauses, possibilité de s'hydrater autant que de besoin...). Il faut en outre informer et former les travailleurs et l'encadrement sur les risques liés au travail à la chaleur et leur prévention. En complément, des actions de prévention individuelle doivent être mises en œuvre (alimentation et hydratation adéquates, port d'une tenue vestimentaire adaptée à chaque salarié et à ses tâches, permettant une régulation thermique efficace) (**encadré 1**). Dans les années 1990, les forces armées canadiennes et américaines se sont intéressées à un équipement nouveau susceptible de réduire l'astreinte thermique de militaires exposés : le gilet rafraîchissant [6, 7]. Près de trois décennies plus tard, après avoir été expérimenté dans le milieu sportif [8, 9],

le gilet rafraîchissant suscite progressivement l'intérêt du monde du travail, avec une offre commerciale croissante (gilet rafraîchissant par évaporation sèche, par évaporation humide, par matériaux à changement de phase ou hybride). Les sujets équipés d'un gilet rafraîchissant par matériau à changement de phase ont augmenté la durée de leur effort de 56 % en moyenne (de 3,6 % à 188 %), lors d'exercices de marche [7, 10, 11], de vélo à bras ou jambes [12 à 14] ou lors de protocoles combinant la marche puis le port de charges [6, 15, 16], ce qui laisse supposer que le gilet rafraîchissant permet de prolonger l'effort en conditions acceptables. Son intérêt n'est toutefois pas d'augmenter l'efficacité d'un salarié pour produire davantage à durée de travail équivalente ou prolonger la durée de son effort, mais bien de diminuer l'astreinte thermique et d'améliorer le confort de travail.

Dans ce contexte, le service de prévention et de santé au travail (SPST) assurant le suivi des salariés d'une entreprise de chauffage urbain a souhaité mener, avec l'appui méthodologique et technique de l'INRS, une intervention pour étudier les astreintes cardiaque et thermique des salariés travaillant dans des conditions habituelles et évaluer l'incidence du port d'un gilet rafraîchissant sur ces astreintes et sur leur confort thermique.

CONTEXTE D'INTERVENTION

L'intervention s'est déroulée dans une entreprise de chauffage urbain. Cette entreprise fournit de la chaleur pour les besoins de chauffage et d'eau chaude des particuliers et des entreprises. Un réseau de canalisations souterraines achemine

↓ Encadré 1

> ADAPTATION PHYSIOLOGIQUE À LA CHALEUR

Homéothermes, les humains doivent maintenir leur température centrale constante autour de 37 °C, quelles que soient l'activité métabolique et la température ambiante. La thermorégulation permet à l'organisme de maintenir cette stabilité ; elle repose sur un équilibre entre la thermogénèse et la thermolyse. La thermogénèse permet à l'organisme de produire de la chaleur *via* le métabolisme de base (respiration, circulation sanguine), la digestion et l'activité physique. La thermolyse permet d'évacuer la chaleur de l'organisme *via* 4 mécanismes : le rayonnement, l'évaporation, la convection, la conduction. En ambiance chaude de travail, l'apport de chaleur au niveau du noyau central se fait soit par convection, lorsque la température de l'air est supérieure à la température cutanée ; soit par conduction, lorsqu'il existe un contact entre le corps et un solide à température plus élevée (mur, four...); soit par rayonnement thermique provenant de surfaces chaudes à distance (soleil, radiateur...). Dans les 3 cas, la

température cutanée augmente et entraîne un réchauffement de la température du noyau [4]. Pour évacuer la chaleur, l'organisme active les mécanismes de vasodilatation cutanée et de sudation, qui s'accompagnent d'une augmentation du débit cardiaque et d'une baisse de la pression diastolique. L'augmentation de la fréquence cardiaque (FC) due à l'astreinte thermique est en moyenne de 30 bpm par degré d'élévation de la température des parties profondes du corps humain [5]. Néanmoins, ce mécanisme de compensation a des limites ; en effet, si la température ambiante augmente excessivement, les échanges thermiques ne suffisent plus à préserver l'homéothermie, la chaleur n'est plus évacuée et la température centrale s'élève fortement : l'hyperthermie est là... En limitant l'élévation de la température centrale, le gilet rafraîchissant permettrait à l'organisme de réduire la redistribution du flux sanguin nécessaire au refroidissement et de contribuer ainsi à la diminution de la FC.

la vapeur ou l'eau chaude vers des postes de livraison chez le client. La température de la vapeur d'eau sous pression s'élève à plus de 200 °C. Pour éviter les déperditions thermiques, les canalisations et les vannes sont calorifugées avec des matelas isolants thermiques. Un second réseau de canalisations reconduit la vapeur refroidie et condensée en eau vers les unités de production. L'ensemble du réseau est divisé en tronçons délimités par des chambres situées en milieu souterrain urbain. Une trappe de visite en surface permet d'accéder au réseau souterrain à l'aide d'une échelle qui conduit directement à une chambre située 6 mètres sous terre. Les chambres sont équipées de déverseurs pour réguler la pression du réseau, de purgeurs pour évacuer le condensat et de vannes pour sectionner ou purger le réseau vapeur ou le retour d'eau. Les salariés de cette entreprise, qui travaillent en binôme, assurent les opérations de maintenance, le suivi des ouvrages ainsi que les arrêts et remises en service du réseau. Ils sont ainsi exposés au rayonnement des canalisations du réseau de vapeur d'eau en fonctionnement. En 2020-2021, une campagne de mesures (température, hygrométrie, vitesse de l'air) a été réalisée par l'entreprise. Il a été constaté que les températures élevées relevées dans plusieurs ouvrages engendraient des astreintes thermiques chez les opérateurs. Les mesures de prévention techniques et organisationnelles mises en place par l'employeur ont permis de diminuer ces astreintes, mais dans le but de les réduire davantage, l'entreprise a fait l'acquisition de plusieurs gilets rafraîchissants de type « Cryovest Industry » (CryoInnov) (encadré 2). Quelques années plus tôt, plusieurs salariés de l'entreprise avaient testé un autre modèle de gilet rafraîchis-

sant mais le ressenti était peu probant sur la réduction de l'astreinte thermique, les modalités d'utilisation peu adaptées et les mouvements limités. La conception et la technologie des gilets rafraîchissants évoluant constamment, l'entreprise a souhaité renouveler l'expérience avec un autre modèle plus facile d'emploi et offrant une liberté de mouvements plus importante.

MÉTHODOLOGIE

Cette intervention a été effectuée en situation réelle de travail lors des opérations de maintenance réalisées habituellement par les salariés. Elle s'est déroulée au dernier trimestre 2021 (2 demi-journées par salarié, espacées de 2 mois). Une pré-visite a été organisée en juin 2021 afin de repérer le lieu de l'intervention et finaliser le protocole. Deux conditions ont été évaluées pour chaque salarié, en respectant un ordre des tâches toujours identique :

- condition 1 : les salariés ont effectué les tâches de maintenance habituelles, sans gilet rafraîchissant ;
- condition 2 : les mêmes salariés ont réalisé des tâches identiques à celles effectuées dans la condition 1, mais en étant équipés d'un gilet rafraîchissant.

PARTICIPANTS

Neuf hommes volontaires, salariés de l'entreprise de chauffage urbain réalisant couramment les opérations de maintenance concernées et ayant une ancienneté d'au moins 6 mois au poste de travail, ont participé à l'intervention. Une visite médicale préalable, réalisée par le médecin du travail, a permis de s'assurer que les participants ne présentaient pas de

↓ Encadré 2

> DESCRIPTION DU GILET RAFFRAICHISSANT « CRYOVEST INDUSTRY »

La « CryoVest Industry » (Cryo'Innov) est un gilet rafraîchissant par matériau à changement de phase (figure 1). Les accumulateurs de froid, présentés sous la forme d'un sachet plastifié souple, sont composés de billes de polymère et d'eau. Au cours de la congélation, l'eau contenue dans les billes de polymère gèle et se cristallise jusqu'à former de la neige. Le froid ainsi apporté est constant et non-agressif, d'une durée maximale de 2 heures en conditions extrêmes (T > 50 °C). Le gilet compte 8 poches fermées par velcro (4 antérieures et 4 postérieures) permettant d'accueillir les accumulateurs de froid.

Figure 1: Gilet « CryoVest Industry » et accumulateur avant et après passage au congélateur.



pathologie cardiovasculaire, pulmonaire, musculaire, cutanée et/ou générale évolutive.

Les volontaires ont été informés du protocole d'intervention et leur consentement écrit, libre et éclairé, a été recueilli. Ils conservaient la possibilité de se retirer de l'intervention à tout moment.

ÉQUIPEMENTS

Dans les deux conditions, les participants portaient la tenue de travail suivante : sous-vêtements et t-shirt à manches courtes en coton,

Efficacité d'un gilet rafraîchissant sur les astreintes cardiaque et thermique lors du travail à la chaleur

1. Caractéristiques de la combinaison :
 74 % coton/25 % polyester/1 % fibres de carbone antistatiques;
 densité du tissu = 330 g.m⁻²;
 respirabilité = 4,16 RET
 (Resistance Evaporative Transfert).

combinaison de travail UTEXBEL 4807¹, casque de sécurité avec lampe frontale, gants en cuir à manchettes, chaussures de sécurité, détecteur de gaz portatif. Le gilet rafraîchissant porté dans la condition 2 avait pour référence « CryoVest Industry » (Cryo'Innov) (**encadré 2**). Avant utilisation pour les évaluations, les accumulateurs ont été placés dans un congélateur au siège de l'entreprise pendant 12 heures. Ils ont ensuite été déposés dans une glacière pour être acheminés sur le site de l'intervention situé à 20 minutes en fourgon. Les participants étaient équipés du gilet dès la phase de repos, soit 5 minutes avant de débuter l'activité. Le gilet était porté sur le t-shirt et sous la combinaison de travail. La taille du gilet était adaptée à la morphologie de chaque participant et les 4 sangles élastiques latérales permettaient d'ajuster le gilet, composé d'un tissu anti feu et pesant 1,9 kg.

TÂCHES EFFECTUÉES

Les participants ont effectué les mêmes tâches dans les conditions 1 et 2, telles que réalisées habituel-

Figure 2 : Ouverture de la vanne de sectionnement.



© INRS

lement lors d'opérations de maintenance :

- descente dans le réseau souterrain;
- dépose/pose de 7 matelas;
- dépose/pose d'un purgeur;
- dépose/pose de la boulonnerie d'une bride du déverseur;
- fermeture/ouverture de la vanne de sectionnement vapeur (76 fois 2 tours) (**figure 2**);
- remontée en surface.

RECUEIL DE DONNÉES ET VARIABLES MESURÉES

Les caractéristiques individuelles des salariés (âge, masse, taille, état de santé déclaré, ancienneté...) ont été recueillies sur site par le médecin du travail de l'entreprise. La durée de la séquence de travail était mesurée pour chaque condition.

MESURES D'AMBIANCE THERMIQUE

Au sein de la chambre souterraine, la température sèche de l'air à deux hauteurs (0,6 m et 1,6 m), correspondant respectivement à la hauteur moyenne des voies respiratoires d'un participant en position accroupie et en position debout, et le taux d'humidité relative ont été mesurés le premier jour de l'intervention à l'aide d'une sonde Testo 480 et d'un thermomètre hygromètre Kimo HD 200. La température moyenne extérieure a été mesurée le premier jour de l'intervention.

MESURES PHYSIOLOGIQUES

La fréquence cardiaque (FC), exprimée en battements par minute (bpm), a été enregistrée en continu à l'aide d'un cardiofréquencemètre (émetteur H10, Polar®) et moyennée sur des périodes de 5 secondes. Chaque participant était équipé d'une ceinture thoracique et d'une montre Polar Unite au poignet

pour permettre aux observateurs de contrôler la FC en temps réel. Les données recueillies ont été analysées avec le logiciel d'exploitation Polar Flow SYNC.

Chaque recueil comportait 3 phases :

- une phase de repos pour enregistrer la fréquence cardiaque de repos (FCr);
- une phase d'activité, débutant dès la descente dans le réseau souterrain par l'échelle, pendant laquelle la FC du participant était enregistrée afin de calculer la fréquence cardiaque moyenne de travail (FCT) et la fréquence cardiaque maximale (FCmax);
- une phase de récupération de 5 minutes dans le fourgon au décours immédiat de la phase d'activité, permettant d'enregistrer la fréquence cardiaque de récupération à la 3^e, 4^e et 5^e minute (FCr3, FCr4, FCr5).

Pour chaque participant, la fréquence cardiaque maximale théorique (FCmax théorique) était calculée selon la formule (220 - âge) [17], permettant de calculer la valeur maximale théorique qu'il est recommandé de ne pas dépasser (85 % de la FCmax théorique) [18]. La charge physique de travail était déterminée par le coût cardiaque absolu (CCA, en bpm). Il correspond à la différence entre la fréquence cardiaque moyenne de travail et la fréquence cardiaque de repos propre à chaque participant :

$$CCA = FCT - FCr$$

Les CCA calculés ont été comparés à des valeurs de référence afin de déterminer le niveau de charge physique des salariés. Une valeur de CCA supérieure à 50 bpm indique la présence d'une astreinte cardiaque « élevée » et « très élevée » à partir 70 bpm [19]. Par ailleurs, une moyenne des valeurs de FCT proche de 120 bpm caractérise un travail modéré [20].

L'astreinte thermique était évaluée à partir des extrapulsoctions cardiaques thermiques (EPCT) qui correspondent à la différence entre la moyenne des fréquences cardiaques recueillies à la 3^e, 4^e et 5^e minute de récupération et la fréquence cardiaque de repos [21, 22]: $EPCT = (FCr3+FCr4+FCr5) / 3 - FCr$. Une valeur d'EPCT supérieure à 30 bpm indique la présence d'une astreinte thermique élevée [5].

ÉVALUATIONS SUBJECTIVES

La perception de l'effort des participants a été évaluée à l'aide de l'échelle subjective d'effort perçu (*Rating of Perceived Exertion-RPE*) de Borg (figure 3) pour l'ensemble du corps [23, 24]. Cinq échelles subjectives ont également été utilisées pour évaluer l'astreinte thermique et le confort : transpiration, respiration, état cutané, température générale ressentie et le confort lié à l'équipement [18, 25] (figure 4).

DÉROULEMENT DE L'INTERVENTION

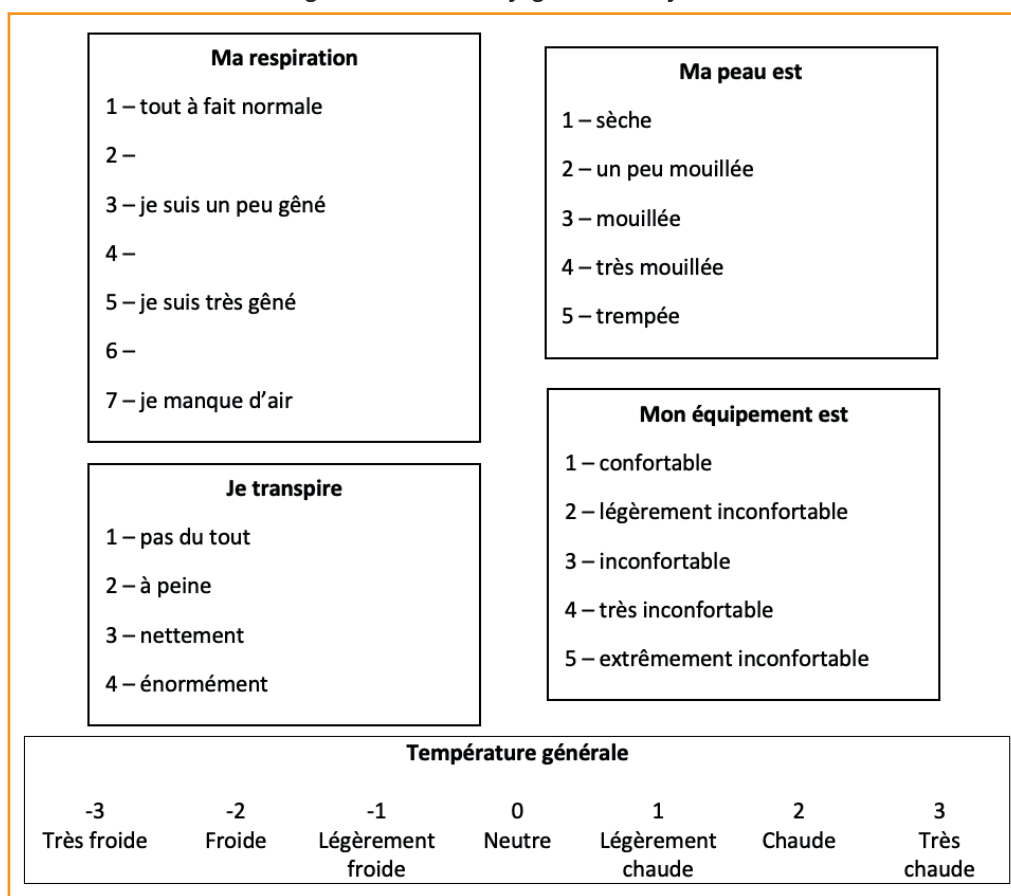
À leur arrivée sur site en début de demi-journée, les participants étaient installés individuellement à l'arrière de l'un des 2 fourgons de l'entreprise stationnés à proximité du lieu de l'intervention : ils y étaient équipés d'un cardiofréquencemètre. Le médecin du travail de l'entreprise procédait hors du fourgon au recueil des caractéristiques individuelles et présentait aux salariés les échelles d'évaluations subjectives de façon à ce qu'ils puissent les compléter de façon autonome après la phase de récupération. Les participants revenaient alors dans les fourgons pour effectuer une phase de repos de 5 minutes. Chaque participant était assis à l'avant, seul, les yeux fermés. Pour la condition 2, les participants étaient équipés du gilet rafraîchissant sorti de la

glacière juste avant de débiter la phase de repos. À l'issue de la période de repos, ils descendaient dans la chambre souterraine pour effectuer les tâches demandées, en binôme ou seuls si le nombre de participants pour la demi-journée d'évaluation était impair. Néanmoins, à chaque descente, le binôme ou le participant était systématiquement accompagné d'un observateur qui suivait l'activité et qui assurait la sécurité du ou des participants. Le rôle d'observateur était assuré soit par le médecin du travail, soit par le responsable Hygiène Sécurité Environnement de l'entreprise, soit par un responsable d'étude de l'INRS. À la fin de l'activité, les participants effectuaient une phase de récupération

Figure 3: Échelle RPE de Borg



Figure 4: Échelles de jugements subjectifs



Efficacité d'un gilet rafraîchissant sur les astreintes cardiaque et thermique lors du travail à la chaleur

de 5 minutes au minimum, seuls dans un fourgon, en conservant le gilet rafraîchissant dans la condition 2. Les évaluations subjectives étaient effectuées après la phase de récupération pour les deux conditions.

TRAITEMENT STATISTIQUE

Les tests de comparaison des conditions 1 et 2 étaient des tests du χ^2 de McNemar pour les variables qualitatives binaires, des tests de Friedman pour les variables qualitatives à plus de 2 modalités et des tests de Wilcoxon des rangs signés pour les variables quantitatives. Ils prennent en compte les valeurs des variables pour les deux conditions par individu.

Le traitement des données personnelles a été réalisé dans le respect du règlement général sur la protection des données (RGPD).

RÉSULTATS

Afin de faciliter la compréhension, les résultats sont présentés sous la forme de moyennes (\pm écarts-types) pour les variables quantitatives.

CARACTÉRISTIQUES INDIVIDUELLES DES PARTICIPANTS

Les 9 participants avaient en moyenne un âge de 38 (\pm 8) ans, une taille de 1,77 (\pm 0,07) m, une masse de 83 (\pm 13) kg et un indice de masse corporelle de 26 (\pm 3) $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$. Ils se considéraient tous en très bonne santé, à l'exception d'un salarié qui jugeait son état de santé moyen. Leur ancienneté moyenne dans l'entreprise était de 11 (\pm 5) ans.

MESURES PHYSIQUES

Dans la chambre souterraine, la

température sèche de l'air était en moyenne de 35,2 (\pm 1,2) °C à 0,6 m de hauteur et de 46,8 (\pm 0,9) °C à 1,6 m de hauteur. L'humidité relative moyenne était de 18,5 (\pm 4,7) %.

Lors de la phase de récupération dans le fourgon, la température moyenne extérieure le premier jour a été mesurée à 14,5 °C.

DURÉE DE LA SÉQUENCE DE TRAVAIL

La durée moyenne de l'activité des participants était de 46 (\pm 6) minutes dans la condition 1 vs 39 (\pm 4) minutes dans la condition 2, la différence étant statistiquement significative ($p < 0,01$).

MESURES PHYSIOLOGIQUES

ASTREINTE CARDIAQUE

La moyenne des valeurs de FCt était proche de 120 bpm dans les deux conditions. Elle n'était pas significativement différente entre les conditions 1 et 2, bien que plus basse avec le port du gilet ([tableau I](#)).

La moyenne des valeurs de FCmax n'était pas significativement différente entre les conditions 1 et 2, toutes deux proches de 156 bpm ([tableau I](#)). Pour 5 participants dans la condition 1 et pour 6 participants dans la condition 2, la valeur limite théorique de FCmax fixée à 85 % de la FCmax théorique a été dépassée.

La valeur limite acceptable d'astreinte cardiaque (évaluée par le CCA) fixée à 50 bpm a été dépassée par la majorité des participants dans les deux conditions. Pour un travail d'une durée proche de 30 minutes, la moyenne des valeurs de CCA était de 61,1 bpm dans la condition 1 et de 53,7 bpm dans la condition 2. Néanmoins, la moyenne des valeurs de CCA était significativement plus basse avec le port du gilet ($p < 0,05$) ([tableau I](#)). De façon

plus détaillée, les valeurs de CCA de 7 participants sur 9, dans les deux conditions, étaient comprises entre 50 et 70 bpm. Un participant dans la condition 1 présentait un CCA de 85 bpm ([tableau II](#)).

ASTREINTE THERMIQUE

La moyenne des valeurs d'EPCT n'a pas dépassé la valeur limite acceptable d'astreinte thermique fixée à 30 bpm dans les deux conditions ([tableau I](#)). À noter toutefois que la moyenne des valeurs d'EPCT était significativement plus basse avec le port du gilet rafraîchissant ($p < 0,05$) ([tableau I](#)).

Pour 1 participant sur 9 dans les deux conditions et pour 2 autres participants dans la condition 1, les valeurs d'EPCT ont dépassé cette valeur limite acceptable ([tableau II](#)).

ÉVALUATIONS SUBJECTIVES

Les résultats des évaluations subjectives sont présentés dans le [tableau III](#).

Les participants ont évalué leur travail comme étant « un peu dur », sans différence significative entre les conditions 1 et 2.

Leur perception de l'astreinte respiratoire était quant à elle significativement différente entre les deux conditions. Ils considéraient être « un peu gênés » sans le gilet rafraîchissant et proches d'une condition sans gêne avec.

La sensation de transpiration ressentie par les participants était également significativement différente entre les deux conditions. Ils estimaient transpirer « nettement » dans la condition 1 et « à peine » dans la condition 2.

Les participants considéraient par ailleurs leur peau comme « mouillée » sans le gilet et « un peu mouillée » avec, sans différence significative entre les deux conditions. Ils ressentaient la température

↓ **Tableau I**

➤ **MOYENNES (ET ÉCARTS-TYPES) DES INDICES D'ASTREINTES CARDIAQUE ET THERMIQUE DANS LES DEUX CONDITIONS (CONDITION 1: SANS GILET; CONDITION 2: AVEC GILET)**

FCt: fréquence cardiaque de travail, en battements par minute

FCmax: fréquence cardiaque maximale de travail, en battements par minute

CCA: coût cardiaque absolu, en battements par minute

EPCT: extrapulsion cardiaque thermique, en battements par minute

*: différence statistiquement significative, calculée sur les médianes, entre les conditions 1 et 2 ($p < 0,05$)

	FCt (bpm)	FCmax (bpm)	CCA (bpm)	EPCT (bpm)
Condition 1	123,3 (± 10,0)	156,7 (± 9,6)	61,1 (± 11,2)	28,4 (± 7,0)
Condition 2	119,6 (± 7,4)	155,7 (± 12,3)	* 53,7 (± 9,7)	* 21,4 (± 8,7)

↓ **Tableau II**

➤ **VALEURS INDIVIDUELLES DES INDICES D'ASTREINTES CARDIAQUE ET THERMIQUE DANS LES DEUX CONDITIONS (CONDITION 1: SANS GILET; CONDITION 2: AVEC GILET)**

CCA: coût cardiaque absolu, en battements par minute (**en gras**: CCA ≥ 50; **en orange**: CCA ≥ 60; **en rouge**: CCA > 70)

EPCT: extrapulsion cardiaque thermique, en battements par minute (**en gras**: EPCT ≥ 30)

Participant	CCA (bpm)		EPCT (bpm)	
	Condition 1	Condition 2	Condition 1	Condition 2
1	59	60	37	38
2	64	52	22	11
3	65	58	38	28
4	85	62	35	24
5	65	58	19	19
6	62	57	26	26
7	50	36	23	11
8	47	40	25	19
9	53	54	29	17

↓ **Tableau III**

➤ **MOYENNES (ET ÉCARTS-TYPES) DE LA PERCEPTION DE L'EFFORT (RPE), DE L'ASTREINTE THERMIQUE (RESPIRATION, TRANSPIRATION, ÉTAT CUTANÉ, TEMPÉRATURE GÉNÉRALE) ET DU CONFORT DE L'ÉQUIPEMENT (ÉQUIPEMENT) SELON LES PARTICIPANTS DANS LES DEUX CONDITIONS (CONDITION 1: SANS GILET; CONDITION 2: AVEC GILET)**

*: différence statistiquement significative, calculée sur les médianes, entre les conditions 1 et 2 ($p < 0,05$)

	RPE (6 à 20)	Respiration (1 à 7)	Transpiration (1 à 4)	État cutané (1 à 5)	T générale (-3 à +3)	Équipement (1 à 5)
Condition 1	12,6 (± 1,5)	2,8 (± 1,1)	2,8 (± 0,7)	2,6 (± 0,5)	1,2 (± 0,4)	1,6 (± 0,7)
Condition 2	12,0 (± 1,3)	* 1,6 (± 0,8)	* 2,0 (± 0,8)	2,1 (± 0,9)	* 0,7 (± 0,5)	1,3 (± 0,5)

Efficacité d'un gilet rafraîchissant sur les astreintes cardiaque et thermique lors du travail à la chaleur

générale comme « légèrement chaude » dans les deux conditions, avec néanmoins un ressenti de température significativement plus faible dans la condition 2 par rapport à la condition 1.

Enfin, les participants évaluaient leur tenue de travail comme « légèrement inconfortable » dans la condition 1 et « confortable » dans la condition 2, sans différence significative.

SYNTHÈSE DES PRINCIPAUX RÉSULTATS

La moyenne des valeurs de CCA, supérieure à 50 bpm dans les deux conditions, correspond à une activité considérée comme « élevée ». Les valeurs individuelles étaient supérieures à 50 bpm pour 7 participants sur 9 dans les deux conditions, et supérieures à 60 bpm respectivement pour 5 participants sur 9 et 2 participants sur 9 dans les conditions 1 et 2.

La moyenne des valeurs d'EPCT était inférieure à la limite acceptable de 30 bpm dans les deux conditions. Néanmoins, les valeurs individuelles ont dépassé cette limite pour un tiers des participants dans la condition 1 et pour 1 participant sur 9 dans la condition 2.

La moyenne des valeurs d'astreintes cardiaque et thermique était significativement plus basse avec le port du gilet rafraîchissant. Le travail était jugé par les participants comme « un peu dur » dans les deux conditions. Les participants considéraient leur équipement plus confortable et leur peau moins humide avec le gilet, sans différence significative pour autant entre les deux conditions.

Le gilet rafraîchissant a permis de réduire significativement l'astreinte respiratoire perçue, la sen-

sation de transpiration et la température ressentie.

DISCUSSION

DURÉE DE RÉALISATION DES TÂCHES

La durée moyenne de la séquence de travail avec le gilet rafraîchissant était de 39 minutes, soit inférieure à la préconisation de durée d'utilisation maximale du gilet fixée par le constructeur à 2 heures en conditions extrêmes ($T > 50\text{ °C}$). Les participants ont ainsi pu bénéficier pleinement du refroidissement généré par les accumulateurs de froid au regard des conditions d'utilisation préconisées. Lorsque les salariés portaient le gilet rafraîchissant pour effectuer des tâches identiques à celles réalisées sans gilet, la durée moyenne de travail a été réduite de 18 %. Le ressenti positif du port du gilet par les salariés a pu contribuer à la réduction du temps de réalisation des tâches.

EFFETS D'UN GILET RAFFRAÎCHISSANT SUR LES ASTREINTES MESURÉES ET RESENTIES

ASTREINTE CARDIAQUE

Lors d'une activité professionnelle, la FC des salariés varie, notamment en fonction des tâches exécutées. La FCmax d'un homme au travail ne devrait pas dépasser 140 bpm sur un poste de 8 heures, valeur limite définissant souvent des épreuves de travail sous-maximales [20]. À titre préventif, il est recommandé de limiter les pics de FC à la valeur seuil de 85 % de la FCmax théorique des salariés [18]. Deux études ont été menées il y a plusieurs années dans cette même entreprise de chauffage urbain par Meyer [26] et Laroudie [27]. Dans la première

étude, la valeur moyenne de FCmax des opérateurs assurant la maintenance de vannes était de 124 bpm ; celle des salariés en charge du décalorifugeage de conduites de vapeur d'eau était de 157 bpm en condition chaude et de 185 bpm en condition très chaude. Dans l'étude de Laroudie [27], des pics de FC à 182 bpm ont été relevés, notamment lors de la remontée d'échelle ou lors de problèmes techniques (panne sur un tuyau d'air, remontée de sacs). Toutes les valeurs moyennes de FCmax mesurées dans ces études auprès de salariés exerçant dans une ambiance thermique supérieure à 40 °C dépassaient la valeur limite de 140 bpm, avec une valeur de FCmax d'autant plus élevée que la température augmentait dans l'étude de Meyer [26]. Dans cette intervention avec les gilets rafraîchissants, les valeurs individuelles de près de 2/3 des participants étaient supérieures au seuil de 85 % de la FCmax théorique. Le port du gilet rafraîchissant n'a eu aucune incidence sur la réduction des valeurs de FCmax durant l'activité, celles-ci étant vraisemblablement attribuables à l'astreinte physique. Ces résultats nécessitent de la part de l'employeur de mettre en œuvre des mesures techniques et organisationnelles permettant de réduire aussi la charge physique à laquelle les salariés sont soumis.

Concernant la CCA, la moyenne calculée dans cette intervention permet d'objectiver une charge physique de travail « élevée » [19], quelle que soit la condition (61,1 bpm en condition 1 et 53,7 bpm en condition 2 ; $T = 46,8\text{ °C}$; $HR = 18,5\%$). Dans l'étude de Meyer [26], la moyenne des valeurs de CCA d'opérateurs assurant la maintenance de vannes était de 21 bpm ($T = 28,7\text{ °C}$; $HR = 48\%$) et celle de salariés en charge du décalorifugeage de conduites de vapeur d'eau était

de 35 bpm en condition chaude ($T = 40,3\text{ °C}$; $HR = 24\%$) et de 54 bpm en condition très chaude ($T = 51\text{ °C}$; $HR = 15\%$), la moyenne des valeurs de CCA augmentant nettement avec la température ambiante. Dans l'étude de Laroudie [27], la moyenne des valeurs de CCA d'opérateurs chargés du désamiantage sur le réseau en fonctionnement était de 48 bpm ($T = 42\text{ °C}$; HR non communiquée). La moyenne des valeurs de CCA calculée dans la condition 1 de l'intervention décrite ici était supérieure aux valeurs retrouvées dans ces deux études, tout en restant relativement proche. La durée d'activité des participants (46 min) était nettement supérieure à celle des salariés intervenant dans les conditions chaude (21 min) et très chaude (13 min) dans l'étude de Meyer [26]. Les différences observées peuvent être attribuées à la variabilité des tâches dans les différentes études et à leur durée ainsi qu'aux conditions ambiantes (température, hygrométrie). Ces résultats de CCA reflètent la réponse physiologique forte liée à la charge physique de travail et à la température ambiante chaude. Le CCA peut également être impacté par les contraintes mentales dues aux incidents perturbant le travail, notamment avec le stress induit par les risques de fuites de vapeur d'eau sous pression [27].

Le port du gilet rafraîchissant a permis de limiter significativement l'astreinte cardiaque des participants en réduisant en moyenne le CCA de 7,4 bpm et la FCt de 3,7 bpm. Une étude menée dans une entreprise auprès de rondsiers intervenant pendant 1 heure 15 minutes dans une zone de production de chaleur ($T = 50\text{ °C}$) confirme cette tendance avec une baisse moyenne de FC de 6 bpm lorsque les salariés étaient équipés de la Cryovest [28]. Néanmoins, afin de prévenir les risques

cardiovasculaires, la valeur limite de CCA à ne pas dépasser, préconisée pour un travail occasionnel d'environ 30 minutes, est de 50 bpm en moyenne [19]. Or, dans la présente intervention, le port du gilet rafraîchissant n'a pas suffi à réduire la moyenne du CCA observée (53,7 bpm) sous cette valeur limite. Le CCA y était même supérieur pour la grande majorité (7/9) des porteurs du gilet. Ce résultat est d'autant plus important à considérer que les salariés interviennent dans ces conditions plusieurs fois par jour.

ASTREINTE THERMIQUE

Dans les deux conditions, la moyenne des valeurs d'EPCT de l'échantillon était inférieure à la limite d'astreinte thermique admissible au travail [5]. Cependant, sur un plan individuel, cette limite a été franchie à 4 reprises, 3 fois (avec des valeurs de 35, 37 et 38 bpm) dans la condition 1 et 1 fois (avec une valeur de 38 bpm) dans la condition 2. L'activité réalisée était bien responsable d'une astreinte thermique dans les deux conditions pour plusieurs salariés.

Dans l'étude de Meyer [26], la moyenne des valeurs d'EPCT d'opérateurs assurant la maintenance de vannes était de 14 bpm et celle de salariés en charge du décalorifugeage de conduites de vapeur d'eau était de 17 bpm en condition chaude et de 18 bpm en condition très chaude, la moyenne des valeurs d'EPCT ayant tendance à augmenter avec la température ambiante. Dans l'étude de Laroudie, 30 % des opérateurs en charge du désamiantage sur le réseau en fonctionnement subissaient une astreinte thermique [27].

La moyenne des valeurs d'EPCT calculée dans la condition 1 (28,4 bpm) était supérieure aux valeurs retrouvées dans les conditions

chaude et très chaude de l'étude de Meyer [26], respectivement de 11 et de 10 bpm. La température ambiante mesurée dans cette étude ($T = 46,8\text{ °C}$) était comprise entre les températures mesurées dans les conditions chaude ($T = 40,3\text{ °C}$) et très chaude ($T = 51\text{ °C}$) de l'étude de Meyer [26]. Les durées d'intervention, les conditions environnementales et la nature des tâches réalisées par les opérateurs variaient entre ces études ; ces paramètres pourraient être des facteurs explicatifs des différences observées entre les valeurs d'EPCT, même si la température ambiante reste le facteur principal de survenue d'EPCT.

Par ailleurs, comparativement à la condition 1 sans gilet, le nombre de participants ayant subi une astreinte thermique était plus faible dans la condition 2, de même que la moyenne des valeurs individuelles d'EPCT. Le port du gilet rafraîchissant s'est accompagné d'une réduction significative de l'astreinte thermique moyenne des participants de 7 bpm, en limitant probablement la hausse de la température corporelle. La réduction de la température corporelle des sujets équipés d'un gilet rafraîchissant par matériau à changement de phase a effectivement déjà été constatée dans la littérature [14, 16, 29 à 31]. Le gilet rafraîchissant faciliterait donc la thermorégulation (*encadré 1 p. 56*).

ÉVALUATIONS SUBJECTIVES

Dans la présente intervention, les participants ont perçu leur travail « un peu dur », dans les deux conditions. Le port du gilet n'a pas permis de réduire l'effort perçu par les participants. Par ailleurs, la moyenne des valeurs de CCA objective une charge physique de travail d'intensité « élevée » dans les deux conditions [19]. L'effort perçu par les participants semble ainsi sous-

Efficacité d'un gilet rafraîchissant sur les astreintes cardiaque et thermique lors du travail à la chaleur

évalué. Ce ressenti pourrait être lié à l'habitude des opérateurs de réaliser les tâches demandées, induisant une adaptation à l'exercice, ou à une banalisation de leur effort, ou encore au fait de minimiser la difficulté dans un milieu professionnel très masculin susceptible de valoriser l'effort et la résistance physique [32]. Dans l'étude de Meyer [26], les opérateurs assurant la maintenance de vannes ont jugé la charge physique « légère » et ceux réalisant du décalorifugeage de conduites de vapeur en condition chaude et très chaude l'ont jugé « dure ». Les salariés ayant participé à cette intervention ont exprimé un ressenti plus éprouvant de leur travail que les opérateurs assurant la maintenance de vannes, possiblement en raison de la différence de température (46,8 °C dans cette intervention vs 28,7 °C dans l'étude de Meyer [26]). En revanche, ils ont ressenti leur travail moins éprouvant que les salariés affectés au décalorifugeage dans l'étude de Meyer [26], probablement du fait que le décalorifugeage est une activité particulièrement exigeante physiquement.

Concernant la température ambiante ressentie dans le réseau souterrain, sa cotation était significativement plus faible avec le gilet rafraîchissant, même si elle pouvait être qualifiée de « légèrement chaude » (proche de 1 sur l'échelle d'auto-évaluation) dans les deux conditions. Ce résultat est en accord avec celui d'une autre étude menée chez des roudiers, dans laquelle un sentiment de moindre inconfort lié à la chaleur avait aussi été observé lors du port d'un gilet rafraîchissant [28]. Au-delà de l'effet lié au port du gilet rafraîchissant, l'évaluation de la température comme « légèrement chaude » au regard de la température de l'air réellement mesurée (46,8 °C) a

été sous-estimée, éventuellement pour les mêmes raisons qu'exprimées ci-dessus. Par comparaison, dans l'étude de Meyer [26], la température ambiante était jugée « assez chaude » par les opérateurs assurant la maintenance de vannes ($T = 28,7$ °C) et par les salariés réalisant le décalorifugeage en condition chaude ($T = 40,3$ °C), et « très chaude » par les salariés chargés du décalorifugeage en condition très chaude ($T = 51$ °C). Le ressenti des salariés était cohérent avec les mesures objectives de température de l'air. Certains paramètres d'ambiance thermique (vitesse de l'air, hygrométrie ; paramètres non mesurés dans l'étude de Meyer [26]) ou une forte habitude à travailler en ambiance chaude, pourraient en partie expliquer ce résultat dans l'intervention décrite ici.

Par ailleurs, les participants ont ressenti une diminution significative de l'astreinte respiratoire avec le gilet rafraîchissant. En effet, ils considéraient être « un peu gênés » sans gilet rafraîchissant et proches d'une condition sans gêne avec. Ce ressenti de la gêne respiratoire était jugé plus faible que dans l'étude de Meyer [26]. En effet, la gêne respiratoire était considérée comme « modérée » par les opérateurs assurant la maintenance de vannes et par les salariés réalisant du décalorifugeage en condition chaude, et « très élevée » par les salariés en charge du décalorifugeage en condition très chaude. Sans exclure l'impact de la charge physique sur la perception de l'astreinte respiratoire, la gêne respiratoire ressentie par les salariés était plus importante dans les situations les plus chaudes.

Enfin, la sensation de transpiration était elle aussi significativement améliorée par le port du gilet rafraîchissant. Les participants estimaient que leur peau était « mouillée » sans gilet rafraîchissant, et

« un peu mouillée » avec gilet. Le ressenti des participants sur la sensation de transpiration et sur l'état cutané est vraisemblablement lié à une réduction de la sudation induite par le port du gilet rafraîchissant. Ce constat a été objectivé dans une étude de terrain par la pesée des salariés au retour de leur ronde afin d'estimer la perte hydrique liée à la sudation [28]. Le gilet, en refroidissant les zones couvertes, semble ainsi contribuer à la thermorégulation.

Au regard des résultats objectifs et subjectifs rapportés ci-dessus, le port d'un gilet rafraîchissant semble donc apporter un certain nombre de bénéfices aux utilisateurs. Il convient toutefois de rappeler que cette solution n'est à envisager qu'en complément de la mise en œuvre de mesures de prévention techniques et organisationnelles, et après une analyse de l'activité réelle de travail qui permettra notamment d'identifier les phases critiques justifiant d'en proposer l'usage et les éventuels freins (aisance de mouvements, poids, volume, durée, compatibilité avec d'autres équipements...). Son acceptabilité et son acceptation doivent faire l'objet d'un accompagnement spécifique des salariés susceptibles de l'utiliser en tenant compte d'un ensemble de critères objectifs et subjectifs.

LIMITES DE CETTE INTERVENTION

Les participants étaient tous des hommes, jeunes (38 (± 8) ans), avec un indice de masse corporelle de 26 (± 3) kg.m², se considérant pour 8 d'entre eux en très bonne santé et affichant une ancienneté non négligeable au poste (11 (± 5) ans). Cette population homogène ne reflète pas la diversité des salariés susceptibles d'intervenir dans ces conditions. L'effet du port du gilet

rafraîchissant sur les astreintes cardiaque et thermique reste à explorer pour des salariés de sexe féminin, ou considérés comme vulnérables, d'âges plus avancés, présentant des antécédents cardiovasculaires, ou encore nouvellement embauchés. De plus, seuls 9 sujets ont participé à cette intervention. Même si cet effectif a permis de mettre en évidence des différences significatives entre les conditions avec et sans port de gilet rafraîchissant sur certaines variables, réaliser des évaluations avec un effectif plus important permettrait de consolider certains résultats avec des tests statistiques paramétriques et de renforcer la validité des résultats. Des évaluations sur des périodes plus longues d'activité et dans des conditions de travail à la chaleur diversifiées paraissent également pertinentes. Par ailleurs, dans la chambre souterraine, les mesures de la température de l'air et du taux d'humidité relative étaient soumises aux variations fréquentes induites par le fonctionnement du réseau et par les fuites éventuelles, impliquant un contrôle relatif de ces paramètres qui n'étaient donc pas strictement identiques d'une intervention à une autre. De même, les stratégies d'intervention ont pu varier modérément, induisant des dépenses énergétiques non strictement identiques. Des expérimentations en conditions contrôlées sur l'ensemble de ces paramètres permettraient de conforter les résultats obtenus lors de l'intervention.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette intervention réalisée dans une entreprise de chauffage urbain

a permis de montrer que les opérateurs subissaient une astreinte cardiaque considérée comme « élevée », que ce soit avec ou sans gilet rafraîchissant. L'astreinte thermique était quant à elle en moyenne inférieure à la limite acceptable de 30 bpm, mais les valeurs individuelles d'EPCT de plusieurs salariés ont dépassé ce seuil. Le port du gilet rafraîchissant a permis de réduire significativement les astreintes mesurées (cardiaque et thermique) et ressenties (astreinte respiratoire, sensation de transpiration et température générale). Sans constituer une gêne à leur activité, le port du gilet a même amélioré le confort des participants.

Les résultats de cette intervention apparaissent prometteurs dans une perspective de promouvoir le port d'un gilet rafraîchissant en ambiance chaude de travail pour réduire les astreintes thermiques. Le gilet rafraîchissant ne peut toutefois être considéré comme une solution suffisante pour réduire les astreintes cardiaque et thermique des salariés, même s'il y contribue. Une analyse approfondie est à mener en amont, à la recherche de pistes de solutions techniques et organisationnelles pour agir prioritairement sur les causes, à des fins de prévention primaire.

En parallèle, pour aller plus loin en matière d'évaluation de l'efficacité de ces dispositifs sur le terrain, il serait intéressant de diversifier les contextes de travail à la chaleur pour lesquels la question de l'usage d'un gilet rafraîchissant pourrait se poser, avec des effectifs plus importants et représentatifs de la population en âge de travailler dans ces conditions. Il serait également judicieux d'évaluer les durées limites d'exposition des salariés sans risque pour leur santé et de tester d'autres gilets rafraîchissants. Enfin, il pourrait aussi être envisagé

de mener une étude en laboratoire afin de mieux contrôler les différents paramètres d'ambiance thermique et de charge physique.

Les auteurs remercient les salariés, l'entreprise et le médecin du travail pour leur participation. Ils adressent également leurs remerciements à Laurence Robert, du département Ingénierie des procédés à l'INRS, pour la réalisation des mesures d'ambiance thermique présentées dans cet article.

POINTS À RETENIR

- Le gilet rafraîchissant apparaît comme un moyen de réduire les astreintes cardiaque et thermique des salariés, tout en améliorant leur confort.
- Le gilet rafraîchissant est une solution de prévention à n'envisager qu'en complément de la mise en œuvre de mesures collectives, techniques et organisationnelles.
- Le port du gilet rafraîchissant requiert un accompagnement des salariés susceptibles d'en faire usage.
- Les résultats encourageants de cette intervention demandent à être confortés dans des contextes diversifiés de travail à la chaleur et avec un effectif plus important de salariés.

BIBLIOGRAPHIE
PAGE SUIVANTE



Efficacité d'un gilet rafraîchissant sur les astreintes cardiaque et thermique lors du travail à la chaleur

BIBLIOGRAPHIE

- 1 | **AUBRY C, SIANO B** - Trop chaud ou trop froid, quels effets sur la santé? In: Aubry C, Siano (Eds) - Travailler dans des ambiances thermiques chaudes ou froides: Quelle prévention? Dossier DO 29. *Hyg Secur Trav.* 2020; 259: 43-48, 36-66.
- 2 | **MATINET B, ROSANKIS E, LÉONARD M** - Les expositions aux risques professionnels. Les contraintes physiques. *Synth Stat.* 2020; 33: 1-225.
- 3 | **SHETTLÉ J** - Ambiances thermiques: Que prévoit la réglementation? In: Aubry C, Siano (Eds) - Travailler dans des ambiances thermiques chaudes ou froides: Quelle prévention? Dossier DO 29. *Hyg Secur Trav.* 2020; 259: 64-66, 36-66.
- 4 | **TURPIN-LEGENDRE E** - Physiologie des échanges thermiques du corps humain. In: Aubry C, Siano (Eds) - Travailler dans des ambiances thermiques chaudes ou froides: Quelle prévention? Dossier DO 29. *Hyg Secur Trav.* 2020; 259: 38-42, 36-66.
- 5 | Évaluation de l'astreinte thermique par mesures physiologiques. Norme française homologuée NF EN ISO 9886. Juillet 2004. Indice de classement X 35-207. Saint-Denis La Plaine: AFNOR; 2004: 24 p.
- 6 | **BAIN B** - Effectiveness of Ice-Vest Cooling in Prolonging Work Tolerance Time During Heavy Exercise in the Heat for Personnel Wearing Canadian Forces Chemical Defence Ensembles. DCIEM n° 91-06. ADA235273. Defence and Civil Institute of Environmental Medicine. Defense Technical Information Center (DTIC®), 1991 (<https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA235273>).
- 7 | **HAGAN RD, HUEY KA, BENNETT BL** - Cool Vest Worn Under Firefighting Ensemble Increase Tolerance to Heat. Report n° 94-6. ADA294495. Naval Health Research Center, Naval Medical Research and Development Command. Defense Technical Information Center (DTIC®), 1994 (<https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA294495>).
- 8 | **HUNTER I, HOPKINS JT, CASA DJ** - Warming up with an ice vest: core body temperature before and after cross-country racing. *J Athl Train.* 2006; 41 (4): 371-74.
- 9 | **TEGEDER AR, HUNTER I, MACK GW, HAGER R** - Long-Distance Interval Training Following Pre-Cooling With an Ice Vest. *Int J Sports Sci Coach.* 2008; 3 (2): 269-75.
- 10 | **BENNETT BL, HAGAN RD, HUEY KA, MINSON C ET AL.** - Comparison of two cool vests on heat-strain reduction while wearing a firefighting ensemble. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1995; 70 (4): 322-28.
- 11 | **KENNY GP, SCHISSLER AR, STAPLETON J, PIAMONTE M ET AL.** - Ice cooling vest on tolerance for exercise under uncompensable heat stress. *J Occup Environ Hyg.* 2011; 8 (8): 484-91.
- 12 | **HASEGAWA H, TAKATORI T, KOMURA T, YAMASAKI M** - Wearing a cooling jacket during exercise reduces thermal strain and improves endurance exercise performance in a warm environment. *J Strength Cond Res.* 2005; 19 (1): 122-28.
- 13 | **WEBBORN N, PRICE MJ, CASTLE P, GOOSEY-TOLFREY VL** - Cooling strategies improve intermittent sprint performance in the heat of athletes with tetraplegia. *Br J Sports Med.* 2010; 44 (6): 455-60.
- 14 | **LUOMALA MJ, OKSA J, SALMI JA, LINNAMO V ET AL.** - Adding a cooling vest during cycling improves performance in warm and humid conditions. *J Therm Biol.* 2012; 37 (1): 47-55.
- 15 | **MUIR IH, BISHOP PA, RAY P** - Effects of a novel ice-cooling technique on work in protective clothing at 28 degrees C, 23 degrees C, and 18 degrees C WBGTs. *Am Ind Hyg Assoc J.* 1999; 60 (1): 96-104.
- 16 | **BUTTS CL, SMITH CR, GANIO MS, McDERMOTT BP** - Physiological and perceptual effects of a cooling garment during simulated industrial work in the heat. *Appl Ergon.* 2017; 59 (Pt A): 442-48.
- 17 | **ASTRAND PO, RYHMING I** - A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during sub-maximal work. *J Appl Physiol.* 1954; 7 (2): 218-21.
- 18 | **TURPIN-LEGENDRE E, MEYER JP** - Intérêt des mesures physiologiques et subjectives pour quantifier l'astreinte thermique. Cas particulier du port de combinaisons étanches. Grand angle TC 141. *Réf Santé Trav.* 2012; 131: 19-32.
- 19 | **MONOD H, KAPITANIAK B** - Ergonomie. Abrégés de médecine. Paris: Masson; 2009: 286 p.
- 20 | **SCHERRER J** - Précis de physiologie du travail. Notions d'ergonomie. Paris: Masson; 1981: 585 p.
- 21 | **VOGT JJ, METZ B** - Ambiances thermiques. In: Scherrer J - Précis de physiologie du travail. Notions d'ergonomie. Paris: Masson; 1981: 217-63, 585 p.
- 22 | **MEYER JP, TURPIN-LEGENDRE E, GINGEMBRE L, HORVAT F ET AL.** - Évaluation des astreintes thermiques à l'aide de la fréquence cardiaque: les extrapulsations cardiaques thermiques (EPCT). Pratiques et métiers TM 34. *Réf Santé Trav.* 2014; 140: 83-94.
- 23 | **BORG G** - Borg's Perceived exertion and pain scales. Champaign: Human Kinetics; 1998: 104 p.
- 24 | **MEYER JP** - Évaluation subjective de la charge de travail. Utilisation des échelles de Borg. Pratiques et métiers TM 33. *Réf Santé Trav.* 2014; 139: 105-22.
- 25 | Ergonomie des ambiances thermiques. Evaluation de l'influence des ambiances thermiques à l'aide d'échelles de jugements subjectifs. Norme française homologuée NF EN ISO 10551. Juin 2001. Indice de classement X 35-209. Saint-Denis La Plaine: AFNOR; 2001: 28 p.
- 26 | **MEYER JP** - Astreinte physiologique lors d'opérations de retrait d'amiante. Etudes ergonomiques TL 21. *Doc Méd Trav.* 1997; 69: 19-26.
- 27 | **LARODIE S, VUILLAUME M** - Apport de la cardiofréquence-métrie sur des chantiers de désamiantage sous contrainte thermique. Études et enquêtes TF 176. *Doc Méd Trav.* 2008; 116: 513-20.
- 28 | **SCHMIT C, BOURGEOIS B, BOUGANT Y** - La CryoVest® préserve-t-elle les fonctions cognitives de travailleurs lors de rondes sous forte chaleur? Etude Cryovest-Arcelor Mittal. Cryoinnov (<https://www.cryoinnov.com/content/la-cryovest-preserve-t-elle-les-fonctions-cognitives-de-travailleurs-lors-de-rondes-sous>).
- 29 | **GAO C, KUKLANE K, WANG F, HOLMÉR I** - Personal cooling with phase change materials to improve thermal comfort from a heat wave perspective. *Indoor Air.* 2012; 22 (6): 523-30.
- 30 | **HOUSE JR, LUNT HC, TAYLOR R, MILLIGAN G ET AL.** - The impact of a phase-change cooling vest on heat strain and the effect of different cooling pack melting temperatures. *Eur J Appl Physiol.* 2013; 113 (5): 1223-31.
- 31 | **CHAEN Y, ONITSUKA S, HASEGAWA H** - Wearing a Cooling Vest During Half-Time Improves Intermittent Exercise in the Heat. *Front Physiol.* 2019; 10: 711.
- 32 | **BOUFFARTIGUE P, PENDARIÈS JR, BOUTELLIER J** - La perception des liens travail/santé. Le rôle des normes de genre et de profession. *Rev Fr Sociol.* 2010; 51 (2): 247-80.