

37^e

Journées Nationales
de Santé au Travail
dans le BTP - Tours



Institut National de Recherche et de Sécurité

Nouveautés : stratégies de prévention innovantes

(vêtements rafraîchissants)

Karen REMINY *(PhD physiologie, responsable d'études à L'INRS à PMT Physiologie, Mouvement, Travail)*



Objectifs

1. Les recommandations essentielles qui existent face aux risques liés à la chaleur
- 2. Dernières innovations en matière de vêtements rafraîchissants, une solution pratique**



Recommandations existantes

- Aménagement des locaux (ventilation, climatisation) *R. 4213-7 CT*
- Surveillance et maintien d'une ventilation adéquate

- Mise à disposition d'eau potable et de boissons fraîches
- Vêtements rafraîchissants (gilets, combinaisons, accessoires etc...)

TECHNIQUES

Maintenir une ambiance neutre
Eviter le gain de chaleur

Prévoir une organisation du travail adaptée à l'activité (alternance travail/repos, réduire les cadences)

R. 4534-142-1 CT

Aménagement des horaires (débuter aux horaires les plus fraîches)

ORGANISATIONNELLES

Limiter la production/gain de chaleur



02

Nouveautés : actions de prévention individuelle

Les dispositifs et leurs effets

Stratégies de refroidissement

L'utilisation du froid permet de faciliter la dissipation de la chaleur, cette méthode est actuellement **la plus efficace** pour réduire rapidement la température interne du corps. Les techniques utilisées dans les domaines industriels et sportifs regroupent plusieurs systèmes utilisés à un différents moments :

Moment d'application :

1. Avant la période d'effort et/ou d'exposition (**pre-cooling**)
2. Pendant la période d'effort et/ou d'exposition (**per ou mid-cooling**)
3. Après l'effort afin d'optimiser la récupération (**post-cooling**)

Etude Banger et al., 2015, méta-analyse :

28 études (20 pré-cooling et 8 per-cooling) total de 323 participants

Pré-cooling (+5,7%) < per-cooling (+9,9%)

Les deux méthodes fournissent des effets bénéfiques sur les performances physiques

Stratégies de refroidissement

1. Pré-cooling : **avant** la période de travail ou d'exposition

Le but : est de prolonger la période avant l'atteinte de la limite critique de température centrale.

Changements physiologiques et physiques notables :

- Les réductions des températures centrale et cutanée
- L'amélioration du confort thermique

Limite :

Disparition potentielle des effets durant l'effort

2. Per-cooling : **pendant** la période de travail ou d'exposition

Le but : limiter l'accroissement de la température centrale.

Changements physiologiques et physiques notables :

- Amélioration de la capacité de travail
- Amélioration de la sensation et du confort thermique
- Maintien de la température au seuil critique

Limite :

Son efficacité dépend des techniques employées

Vêtements rafraîchissants : par évaporation

Ces systèmes sont basés sur le principe d'évaporation naturelle du corps, le refroidissement est activé soit par une quantité limitée d'eau ou soit par immersion du gilet dans l'eau fraîche, associée au flux d'air.



Ou



AVANTAGES

- ✓ **Simplicité d'usage** : activation rapide (trempage, essorage, port)
- ✓ **Réutilisable et écologique**
- ✓ Particulièrement **efficace en extérieur**, lorsque le taux d'humidité est faible (air sec)

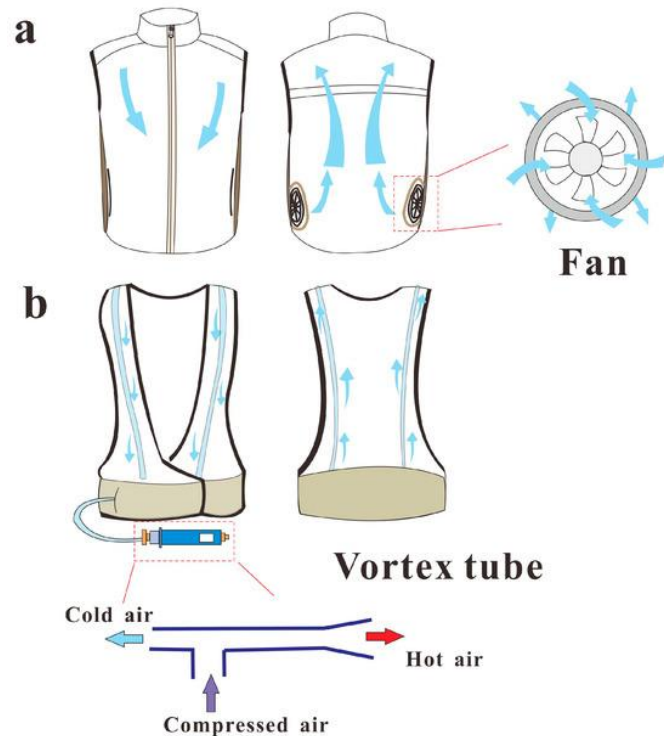
LIMITES

- ✗ **Efficacité réduite** en environnement humide ou confiné
- ✗ Nécessite un accès à l'eau
- ✗ Sensibilité à l'**exposition directe au vent** pour fonctionner pleinement
- ✗ **Risque d'inconfort** si le vêtement est mal essoré



Vêtements rafraîchissants : par convection

Les vêtements de refroidissement par air, améliorent la dissipation de chaleur par convection et par évaporation. Une convection forcée peut être introduite par des dispositifs électroniques tels que des ventilateurs (Figure a), des tubes vortex (Figure b).



AVANTAGES

- ✓ **Efficacité : diminution de 0,3 à 1°C de la T°**
- ✓ **Réutilisable**
- ✓ Efficace en milieux **fermés ou peu ventilés**
- ✓ **Léger** (selon les matériaux utilisés)

LIMITES

- ✗ **Dispositif électrique nécessaire**
- ✗ **Efficacité** peut être entravée par la **conception et les matériaux** (*tissu imperméable*)



Vêtements rafraîchissants : par conduction

Les vêtements rafraîchissants à changement de phase (VCP) : ces substances sont capables d'absorber, de stocker puis de libérer de grandes quantités de chaleur latente lors de leur passage d'un état physique à un autre,

généralement solide $\rightleftharpoons$ liquide (Yazdi et Sheikhzadeh 2014).

Les types :

Modèle composé de gel, formé par des cristaux après immersion

Modèle composé d'un MCP à base d'eau et de billes de polymère

Modèle composé MCP 0° C à base d'eau

Modèle composé MCP 14° C à base d'alcane

Modèle composé MCP 18° C, 100% biodégradable

Modèle adapté à la contrainte thermique de l'activité physique

AVANTAGES

- ✓ Efficacité : 1,8 à 3° C diminution de la T°
- ✓ Refroidissement passif, stable et prolongé
- ✓ Non électrique
- ✓ Réutilisable et écologique
- ✓ Efficace en milieux fermés ou peu ventilés

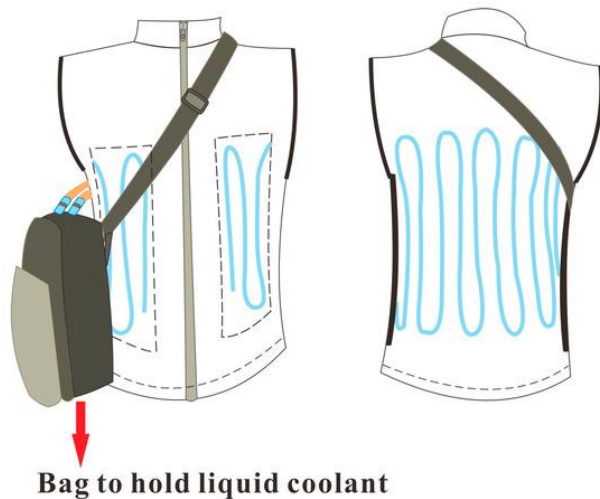
LIMITES

- × Durée limitée (1 à 4 h en moyenne)
- × Temps de recharge nécessaire
- × Peut être lourd
- × Coût élevé des matériaux et de la fabrication



Vêtements rafraîchissants : par conduction

Les vêtements rafraîchissants liquides assurent le refroidissement du corps par la circulation entraînée par une pompe d'un liquide froid ou glacé à l'intérieur des tubes encastrés dans le vêtement (eau ou mélange).



AVANTAGES

- ✓ Efficacité : diminution d'environ 1,2 à 2,5°C T°
- ✓ Refroidissement **prolongé**
- ✓ Réutilisable
- ✓ Efficace en milieux **fermés ou peu ventilés**

LIMITES

- × Peut être **lourd et encombrant**.
- × Nécessite un bon **ajustement corporel** pour être efficace
- × Risque pour la sécurité



Accessoires (application directe)

Collier ou tour de Cou :

Le collier de refroidissement du cou contient généralement des compartiments en plastique remplis de réactif de refroidissement (Black Ice) qui procure une sensation de fraîcheur sans irriter la peau. La plupart de ces colliers sont maintenus en place par une bande de néoprène avec un crochet et une boucle pour attacher autour du cou.



AVANTAGES

- ✓ Refroidissement **passif, stable et prolongé**
- ✓ **Non électrique** : pas besoin de batterie
- ✓ Réutilisable et **écologique**
- ✓ Efficace en milieux **fermés ou peu ventilés**
- ✓ Cible une zone d'intérêt

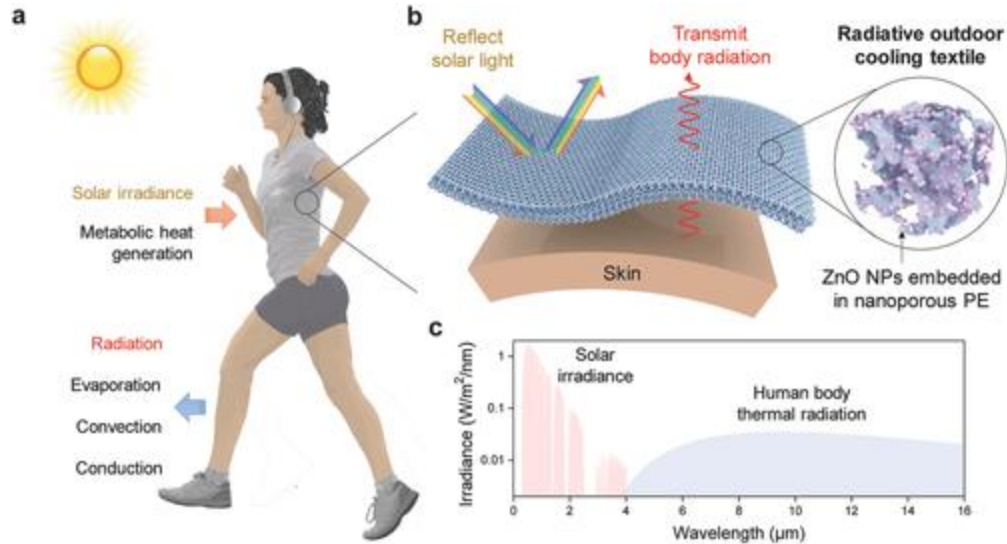
LIMITES

- × **Durée limitée** (1 à 4 h en moyenne)
- × Contact direct (**risque d'inconfort/d'irritation**)
- × **Peu de retours**



Vêtements spécifiques : textile radiatif

Haute réflexion solaire pour empêcher l'absorption de chaleur, grâce aux propriétés de rayonnement sélectives.



Cai et al., 2018

AVANTAGES

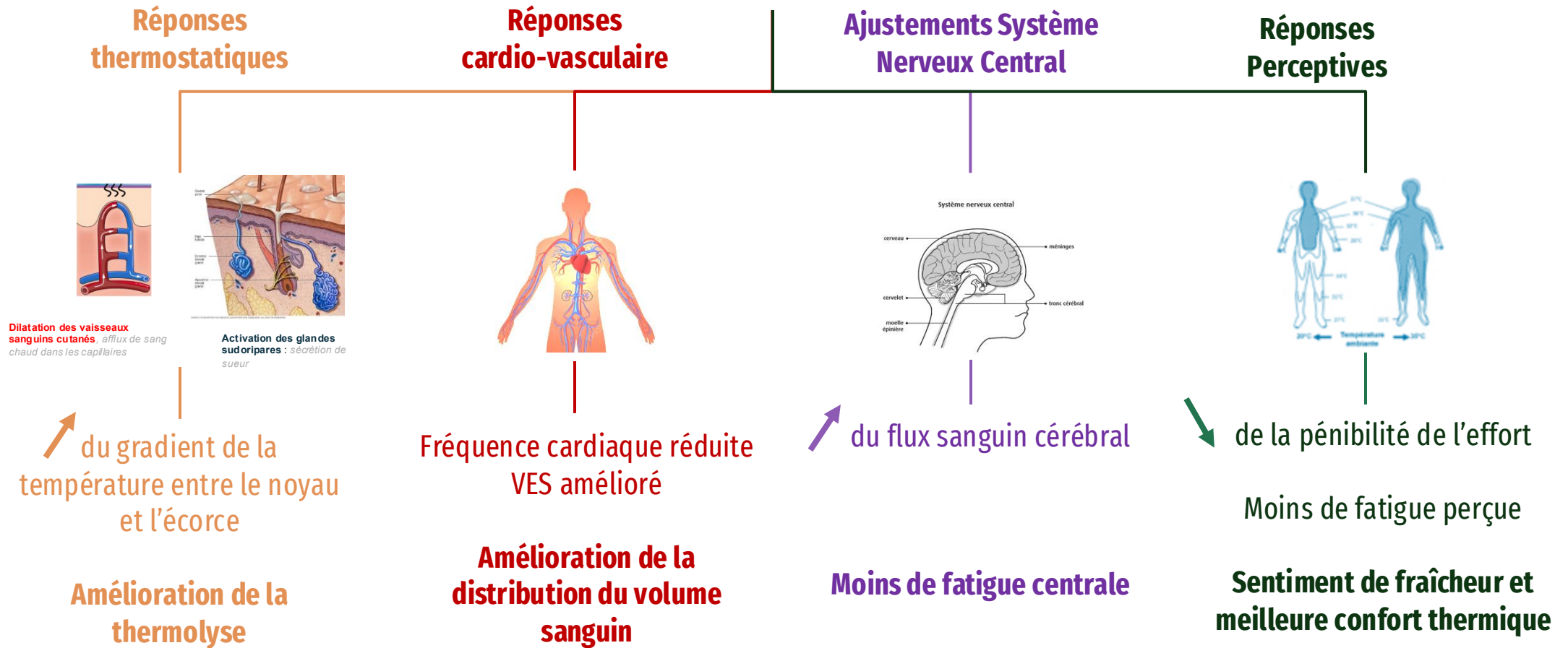
- ✓ **Aucune consommation d'énergie**
- ✓ **léger** et respirant
- ✓ Réutilisable et **écologique**

LIMITES

- ✗ Coût élevé des matériaux et de la fabrication



Approche multi-systémique



Régions refroidies

L'ampleur de l'effet dépend des régions refroidies (Douzi et al., 2019 méta-analyse).

Tronc :

Représente 3.3 % de la surface corporelle totale.

La grande vascularisation de cette zone qui permet le refroidissement de grandes quantités de sang (Shvartz 1976).

Tête et cou :

Représentent que 10% de la surface totale du corps (Du Bois et Du Bois 1989).

Un refroidissement d'environ 60% de la surface corporelle (Kissen et al. 1971).

Grande densité de récepteurs thermiques sensibles au froid.

Visage :

La sensation de confort est due à une grande densité de thermorécepteurs sensibles au froid au niveau du visage.

Le refroidissement de cette zone entraîne moins de transpiration et d'inconfort thermique (deux à cinq fois plus puissant) que le refroidissement d'une zone corporelle de taille équivalente (Cotter et Taylor 2005).

Interne : *est un complément ou une alternative aux méthodes de refroidissement externe (gilets, poches de glace...etc.).*

Le sentiment de fraîcheur dû à l'ingestion de boissons froides résulte de la stimulation des récepteurs TRPM8 sensibles au froid et au menthol (Patel et al. 2007).

Des dispositifs prometteurs oui, mais attention !

- ✓ Le contact du froid provoque parfois de l'inconfort/l'irritation.
- ✓ Le poids supplémentaire *(Luomala et al. 2012) : le port des vêtements de 3 kg et 5 kg provoque une augmentation de la dépense énergétique (jusqu'à 5% et 9%), et peut également restreindre les mouvements des utilisateurs (Lcboratory 1978).*
- ✓ L'efficacité dépend des matériaux utilisés *(Kenny et al. 2011).*
- ✓ Les preuves existantes ne concernent qu'une partie de la population (jeunes hommes en bonne santé).
- ✓ L'efficacité observée provient essentiellement de milieux contrôlés (laboratoires).



03

Retour d'expérience

Utilisation des gilets rafraîchissants en entreprise et leurs effets

Contexte

Exploitation et développement d'un réseau de chaleur urbain

Contexte de l'étude

Activité professionnelle

1. Charge physique importante
2. Température ambiante élevée (vapeur proche de 200°C)
3. Les tenues réduisent l'évacuation de la chaleur



Participants

1. Salariés masculins, volontaires
2. 6 mois minimum d'ancienneté
3. Inclus après accord du médecin du travail de l'entreprise



Contexte



Lieu

Chambre d'environ 7m
Température ambiante 35.2 (1.2)
Taux d'humidité Relative 18.5 (4.7)
Vitesse de l'air 0.09 (0.03)

**Impose des
contraintes physiques
et thermiques**



Activité professionnelle

Maintenance (40min):
Posture : debout ou accroupie



L'objectif de l'étude : prévenir le risque d'astreinte thermique en utilisant un vêtement rafraîchissant (MCP)

Méthodologie

- **Condition 1 (témoin) :** les salariés ont effectué les tâches de maintenance habituelles, sans gilet rafraîchissant
Equipements (utilisés habituellement lors d'opérations de maintenance)
 - Combinaison de travail en coton
 - Casque de sécurité avec lampe frontale
 - Gants en cuir à manchette
 - Chaussures de sécurité
 - Détecteur de gaz portatif mesurant l'oxygène
- **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.



Contraintes environnementales :

Température ambiante

Taux d'HR

Vitesse de de l'air

Variables physiologiques :

FCrepos, FCmoyW, FCmaxW, CCA, EPCT

Subjectives :

Pénibilité de l'effort, confort et sensation thermique



Méthodologie

Contraintes environnementales

	T° de l'air en position accroupie (°C)	T° de l'air en position debout (°C)	Humidité relative de l'air (%)	Vitesse de l'air (m/s)
Moyenne (ET)	35,2 (1,2)	46,8 (0,9)	18,5 (4,7)	0,09 (0,03)
Min-Max	29,7-37,1	44,7-49,2	12,1-42,7	0,05-0,28

Caractéristiques physiques des salariés

	Moyenne (ET)	Minimum-Maximum
Age (année)	37,6 (8,5)	27-52
Taille (m)	1,77 (0,07)	1,69-1,86
Poids (kg)	82,3 (15)	62-106
IMC	26 (3,6)	21-33

IMC : léger surpoids (25-29,9)



Résultats

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

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 : extrapulsaion cardiaque thermique, en battements par minute

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



Résultats

Tableau II. Valeurs individuelles des indices d'astreintes cardiaque et thermique dans les deux conditions (condition 1 : sans gilet ; condition 2 : avec gilet)

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

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

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



Résultats

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).

	RPE (6 à 20)	Respiration (1 à 7)	Transpiration (1 à 4)	Etat cutané (1 à 5)	T générale (-3 à +3)	Equipement (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)

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



Conclusion

1. Le gilet rafraîchissant apparaît comme un moyen d'améliorer le sentiment de confort et diminue les contraintes physiologiques.
2. Le gilet rafraîchissant est une solution de prévention à n'envisager qu'en complément de la mise en œuvre de mesures collectives.
3. 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 pour une utilisation plus large.



Vers une démarche d'application

Informations disponibles

- ✓ Méthodes efficaces surtout pour une charge de travail modérée
- ✓ Amélioration du confort, thermique facilement observable
- ✓ Attention au risque de déshydratation !
- ✓ Tenir compte de l'isolation des vêtements de travail
- ✓ Données disponibles surtout chez des jeunes hommes en bonne santé
- ✓ L'humidité et la chaleur rayonnante sont des facteurs majeurs agissant sur l'efficacité des méthodes

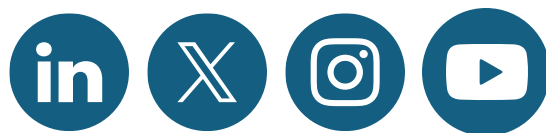
Actions potentielles

1. Dresser une liste des tâches physiquement exigeantes
2. Prendre en compte les conditions environnementales avant de choisir sa méthode
3. Prendre en compte les exigences vestimentaires des salariées
4. Connaître les durées d'efficacité des méthodes pour appliquer les plus appropriées selon les tâches
5. Se renseigner sur l'encombrement des dispositifs
6. Prendre en compte dans la mesure du possible les caractéristiques démographiques de votre effectif (p. ex., âge, sexe, état de santé)

Toujours privilégier la prévention collective et encourager la combinaison d'actions de protection



Merci de votre attention



Notre métier,
rendre le vôtre plus sûr

www.inrs.fr

REFERENCES

- Ashtekar, Shirish, SukhDev Mishra, Vishal Kapadia, Pranab Nag, et Gyanendra Singh. 2019. « Workplace Heat Exposure Management in Indian Construction Workers Using Cooling Garment ». *Workplace Health & Safety* 67(1):18-26. doi:[10.1177/2165079918785388](https://doi.org/10.1177/2165079918785388).
- Butts, Cory L., Cody R. Smith, Matthew S. Ganio, et Brendon P. McDermott. 2017. « Physiological and perceptual effects of a cooling garment during simulated industrial work in the heat ». *Applied Ergonomics* 59:442-48. doi:[10.1016/j.apergo.2016.10.001](https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.10.001).
- Chan, Albert P. C., Wenfang Song, et Yang Yang. 2015. « Meta-analysis of the effects of microclimate cooling systems on human performance under thermal stressful environments: Potential applications to occupational workers ». *Journal of Thermal Biology* 49-50:16-32. doi:[10.1016/j.jtherbio.2015.01.007](https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2015.01.007).
- Cleary, Michelle A., Michelle G. Toy, et Rebecca M. Lopez. 2014. « Thermoregulatory, Cardiovascular, and Perceptual Responses to Intermittent Cooling During Exercise in a Hot, Humid Outdoor Environment ». *The Journal of Strength & Conditioning Research* 28(3):792. doi:[10.1519/JSC.0b013e3182a20f57](https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a20f57).
- Daanen, Hein A. M., Sebastien Racinais, et Julien D. Périard. 2018. « Heat Acclimation Decay and Re-Induction: A Systematic Review and Meta-Analysis ». *Sports Medicine (Auckland, N.z.)* 48(2):409-30. doi:[10.1007/s40279-017-0808-x](https://doi.org/10.1007/s40279-017-0808-x).
- Dorman, Lucy E., et George Havenith. 2009. « The Effects of Protective Clothing on Energy Consumption during Different Activities ». *European Journal of Applied Physiology* 105(3):463-70. doi:[10.1007/s00421-008-0924-2](https://doi.org/10.1007/s00421-008-0924-2).
- Exercise under heat stress: thermoregulation, hydration, performance implications, and mitigation strategies. s. d. <https://journals.physiology.org/doi/epdf/10.1152/physrev.00038.2020>.
- Gao, Chuansi, Kalev Kuklane, Per-Olof Östergren, et Tord Kjellstrom. 2018. « Occupational Heat Stress Assessment and Protective Strategies in the Context of Climate Change ». *International Journal of Biometeorology* 62(3):359-71. doi:[10.1007/s00484-017-1352-y](https://doi.org/10.1007/s00484-017-1352-y).
- Van de Kerkhof, Tessa M., Coen C. W. G. Bongers, Julien D. Périard, et Thijs M. H. Eijssvogels. 2024. « Performance Benefits of Pre- and Per-Cooling on Self-Paced Versus Constant Workload Exercise: A Systematic Review and Meta-Analysis ». *Sports Medicine* 54(2):447-71. doi:[10.1007/s40279-023-01940-y](https://doi.org/10.1007/s40279-023-01940-y).
- Maley, Matthew J., Geoffrey M. Minett, Aaron J. E. Bach, Kelly L. Stewart, et Ian B. Stewart. 2020. « Extending work tolerance time in the heat in protective ensembles with pre- and per-cooling methods ». *Applied Ergonomics* 85:103064. doi:[10.1016/j.apergo.2020.103064](https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103064).
- McEntire, Serina J., Joe Suyama, et David Hostler. 2013. « Mitigation and Prevention of Exertional Heat Stress in Firefighters: A Review of Cooling Strategies for Structural Firefighting and Hazardous Materials Responders ». *Prehospital Emergency Care* 17(2):241-60. doi:[10.3109/10903127.2012.749965](https://doi.org/10.3109/10903127.2012.749965).
- Stevens, Christopher J., Lee Taylor, et Ben J. Dascombe. 2017. « Cooling During Exercise: An Overlooked Strategy for Enhancing Endurance Performance in the Heat ». *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)* 47(5):829-41. doi:[10.1007/s40279-016-0625-7](https://doi.org/10.1007/s40279-016-0625-7).
- Wang, Lijuan, Yufei Tian, Jungsoo Kim, et Haiguo Yin. 2019. « The key local segments of human body for personalized heating and cooling ». *Journal of Thermal Biology* 81:118-27. doi:[10.1016/j.jtherbio.2019.02.013](https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.02.013).
- Wang, Lijuan, Hui Yin, Yuhui Di, Yanfeng Liu, et Jiaping Liu. 2016. « Human local and total heat losses in different temperature ». *Physiology & Behavior* 157:270-76. doi:[10.1016/j.physbeh.2016.02.018](https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2016.02.018).

02

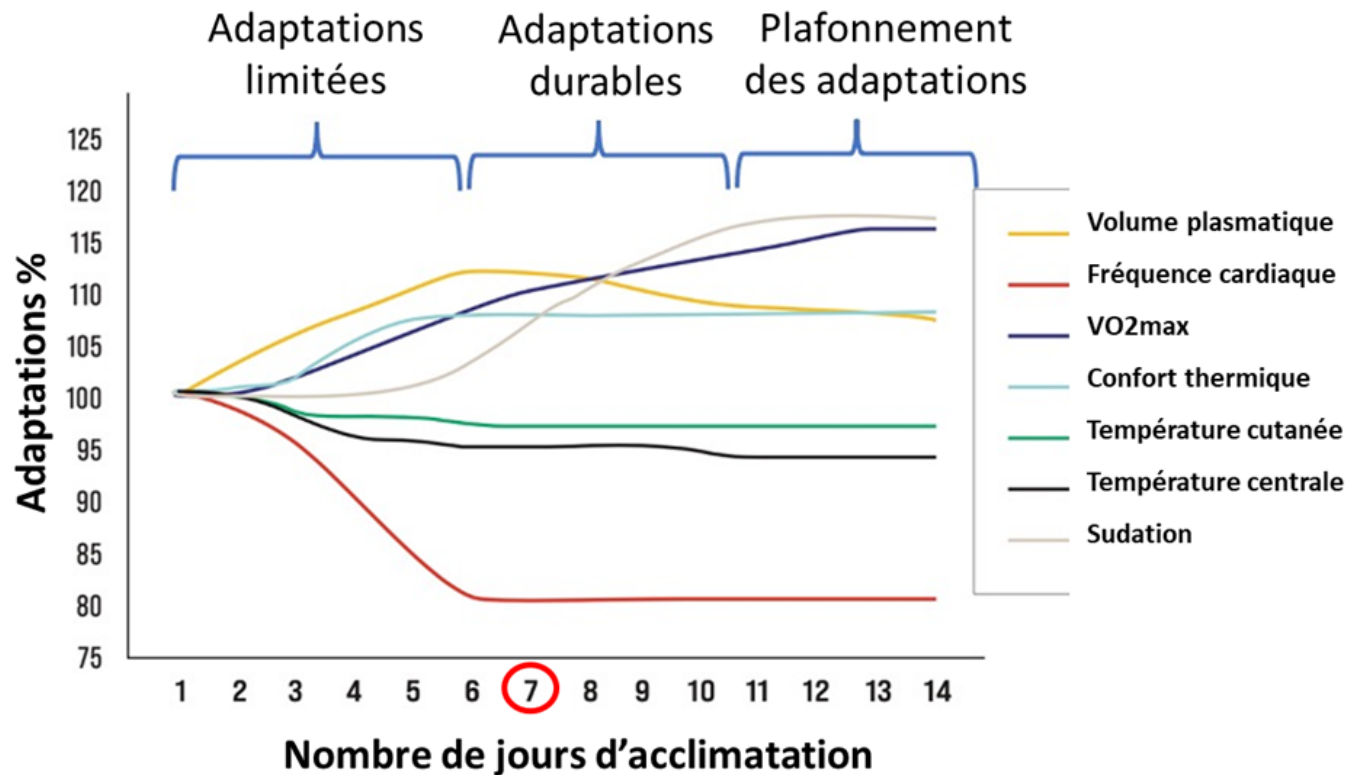
Processus d'acclimatation

Adaptations physiologiques

Processus d'acclimatation à la chaleur et ses effets

L'acclimatation, fait référence à l'ensemble des processus d'ajustement physiologique qui se mettent en place pour permettre à l'organisme de s'adapter à son nouvel environnement (Taylor, 2014)

Une séance d'acclimatation à la chaleur : au moins 60 min/jour (Racinais et al. 2015)



Panorama des technologies disponibles

Des technologies basées sur les grands principes d'échange thermique



Par évaporation

Amélioration de l'évaporation de la sueur

- Vêtements imbibés d'eau
- Tissus spécifiques



Par convection

Source d'énergie nécessaire améliorant l'échange entre la peau et l'environnement

- Combinaisons ventilées



Par conduction

Transfert de chaleur par contact

- Vêtements comprenant des matériaux à changements de phases
- Poches de glace
- Circulation de liquide



(a)



Par rayonnement

Tissus de couleurs ou de matériaux qui réfléchissent la lumière et réduit l'absorption



