

ÉQUIPEMENTS RAFRAÎCHISSANTS

Panorama mondial et étude
comparative des solutions
innovantes en période de
fortes chaleurs



Remerciements

Nous remercions l'Institut français du textile et de l'habillement (IFTH) pour sa collaboration sur ce rapport et l'étude réalisée.



OPPBTP

L'OPPBTP est l'Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux publics. Sa mission est de conseiller, former et informer les entreprises de ce secteur à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles et à l'amélioration des conditions de travail.

L'OPPBTP s'appuie sur des équipes réactives, engagées et professionnelles pour promouvoir et développer l'offre de services élaborée pour tous, quels que soient la taille de l'entreprise, son activité ou son niveau d'expertise en prévention. L'Organisme fait de la prévention un véritable levier de performance et de progrès et met à disposition sur son site www.preventionbtp.fr des publications, outils pratiques, fiches conseils, solutions, vidéos, ainsi que des articles d'actualité pour aider les entreprises dans leur gestion de la prévention.

ÉQUIPEMENTS RAFRAÎCHISSANTS

**Panorama mondial et étude
comparative des solutions innovantes
en période de fortes chaleurs**



PRÉFACE

Dans une situation de travail exposant aux fortes chaleurs, des actions de prévention organisationnelles, collectives et individuelles doivent être mises en place pour supprimer ou, à défaut, réduire les risques liés aux canicules. Ces mesures de prévention doivent intégrer une démarche globale. Les mesures collectives et organisationnelles (information et formation, aménagement des horaires, augmentation du nombre et de la durée des pauses, limitation ou report du travail physique, mise à disposition de locaux avec une température adaptée pour les pauses, possibilité de s'hydrater autant que de besoin...) sont largement détaillées dans le guide **Fortes chaleurs et effets caniculaires sur les chantiers**, édité par l'OPPBTP.

Dans le cadre d'un partenariat en faveur de la santé et la sécurité des salariés, l'OPPBTP, la FNTP, le ministère du Travail et l'Assurance maladie ont élaboré **un rétroplanning de la prévention des risques liés aux fortes chaleurs** afin d'aider les entreprises à anticiper les risques pour qu'elles soient prêtes au premier jour des fortes chaleurs.

Ce rétroplanning est structuré autour de cinq grandes thématiques :

- l'évaluation des risques liés aux fortes chaleurs ;
- les relations avec le donneur d'ordre ;
- les installations de chantier adaptées ;
- les EPI et vêtements de travail à prévoir ;
- la formation et la sensibilisation des travailleurs aux risques liés aux fortes chaleurs.

En complément des mesures précitées, des actions de prévention individuelles doivent être mises en œuvre : alimentation et hydratation adéquates, port d'une tenue vestimentaire adaptée à chaque salarié et à ses opérations permettant une régulation et un confort thermique efficient tout en prenant en compte les autres risques simultanés liés à la tâche exécutée (mécanique, chimique, électrique...).

L'intérêt porté aux vêtements rafraîchissants par le monde du travail, notamment le BTP, est de plus en plus présent, avec un foisonnement d'offres commerciales croissantes de plusieurs technologies de gilets rafraîchissants : par évaporation sèche ou humide, par changement de phase, par réaction chimique, par circulation de fluide ou d'air...

Ce rapport aborde les vêtements rafraîchissants et les solutions individuelles en offrant un panorama mondial, multisecteurs, des solutions innovantes existantes et commercialisées ainsi qu'une étude comparative.

Paul Duphil
Secrétaire général de l'OPPBTP

AVANT-PROPOS

Dans un contexte de changement climatique accentué, les épisodes de canicule sont amenés à devenir plus fréquents, plus intenses et plus précoces. Ces épisodes ont des impacts sanitaires et ont occasionné, indirectement, le décès de plus de 10 000 personnes¹ en France lors des canicules de l'été 2022.

Récemment, la France a connu fin juillet 2024 sa première vague de chaleur de l'année. Il s'agit de la 48^e vague de chaleur à l'échelle nationale depuis le début des mesures en 1947. La nuit du 30 au 31 juillet 2024 a été la 4^e nuit la plus chaude à l'échelle nationale depuis 1947. Le seuil des 40 °C a été franchi quotidiennement pendant quatre des cinq jours de la vague de chaleur (lundi, mardi, jeudi, vendredi).

Les risques liés aux fortes chaleurs touchent l'ensemble des populations, y compris les travailleurs.

Selon Météo France, la température moyenne annuelle sur la période de 1961 à 1990 était de 11,82 °C. Sur la période de 1991 à 2020, elle a progressé à 12,97 °C.

Afin d'anticiper les épisodes de canicule, l'OPPBTP a mis à disposition de la branche une boîte à outils et un guide de préconisations regroupant l'ensemble des solutions organisationnelles, collectives et individuelles.

Comme tout type de risque et conformément aux principes généraux de prévention, les équipements de protection individuelle (EPI) sont destinés à protéger les travailleurs contre un ou plusieurs risques professionnels. Leur utilisation n'est envisagée qu'en complément des autres mesures organisationnelles et collectives. C'est à partir de l'évaluation des risques menée dans l'entreprise que doivent être engagées la réflexion relative à l'utilisation des EPI et l'adaptation de ces derniers aux fortes chaleurs.

Dans ce contexte, l'OPPBTP propose un panorama international des équipements rafraîchissants et notamment une sélection des différentes technologies de refroidissement pour prévenir le stress thermique. Une analyse comparative sur plusieurs secteurs (métallurgie, militaire, sport, pétrolier...) et sur plusieurs régions géographiques (Canada, Japon, Asie, Moyen orient...) a été réalisée.

L'OPPBTP a fait le choix d'aborder uniquement les équipements individuels :

1. disponibles commercialement (maturité élevée ou TRL 8-9) ;
2. ayant « fait leurs preuves » et ayant été testés à grande échelle, pour certains, dans les conditions réelles d'utilisation.

¹ Santé publique France estime, dans son bilan consacré à la canicule, à 10 420 le nombre de décès en excès, toutes causes confondues (+ 6,1 %), en France métropolitaine (www.insee.fr).

SOMMAIRE



1. ÉQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELLE	9
1.1. Caractéristiques des EPI	9
1.2. EPI spécifiques aux fortes chaleurs et aux UV	10

2. ÉQUIPEMENTS RAFRAÎCHISSANTS INNOVANTS - SYNTHÈSE DE L'ÉTAT DE L'ART TECHNIQUE	20
2.1. Effets des fortes chaleurs	20
2.2. Solutions de rafraîchissement individuelles	21
2.3. Applications et cas d'usage	28
2.4. Évaluation de l'efficacité des solutions	48

3. SYNTHÈSE DES RÉSULTATS DES TESTS ET RECOMMANDATIONS	50
-----------------------------------------------------------	----

Bibliographie	54
Annexes	57

Les numéros entre crochets dans les pages suivantes renvoient aux mentions bibliographiques listées en pages 54 à 56.

1. ÉQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELLE

En période de fortes chaleurs, les équipements de protection individuelle (EPI) jouent un rôle crucial pour garantir la santé et la sécurité des travailleurs du BTP. Conçus pour protéger contre les risques, y compris ceux liés à la chaleur et aux rayonnements UV, les EPI doivent répondre à des normes de sécurité strictes. Face à des dangers invisibles, tels que les UV, il est primordial d'adopter des équipements adaptés et d'impliquer les salariés dans leur choix.

Un équipement de protection individuelle (EPI)² est un dispositif ou un moyen conçu pour être porté ou utilisé par une personne afin de la protéger contre un ou plusieurs risques pouvant menacer sa santé et sa sécurité³. Les EPI sont essentiels dans divers environnements de travail, notamment ceux présentant des risques mécaniques, électriques, chimiques, thermiques ou biologiques. Ils sont le dernier recours.

1.1. Caractéristiques des EPI

- **Conformité aux normes.** Tout EPI doit respecter des exigences de sécurité, attestées par un marquage CE et une déclaration de conformité.

- **Marquage CE des EPI selon leurs catégories**

Catégorie	Protection des...	Marquage CE
1	risques mineurs , sans conséquences irréversibles sur la santé	CE
2	risques importants potentiellement irréversibles mais non mortels	CE
2	risques graves et mortels	CE (+ numéro d'organisme notifié)



- **Analyse des risques.** Les EPI doivent être utilisés en complément d'autres mesures de prévention, telles que l'élimination des dangers à la source ou l'utilisation d'équipements de protection collective. La sélection des EPI appropriés

² Le guide des EPI, édité par l'OPPBTB.

³ Règlement (UE) 2016/425 du Parlement européen et du conseil du 9 mars 2016.

doit être basée sur une évaluation des risques tenant compte des spécificités de chaque tâche, son environnement de travail et ses risques.

Le port des EPI devient obligatoire lorsque l'évaluation des risques réalisée par l'employeur démontre que :

- les risques ne peuvent pas être éliminés à la source ;
- les mesures organisationnelles et collectives sont insuffisantes ou impossibles à mettre en place.

L'implication des salariés dans le choix des EPI est essentielle. Elle permet de prendre en compte les contraintes de l'activité de travail et les éventuelles sources d'inconfort ou de gêne de chacun et favorise ainsi leur utilisation.

C'est l'employeur qui met à la disposition des travailleurs les équipements de travail nécessaires, appropriés au travail à réaliser ou convenablement adaptés à cet effet, en vue de préserver leur santé et leur sécurité (article 4321-1 du Code du travail).

L'article R4321-4 du Code de travail précise que « l'employeur met à la disposition des travailleurs, en tant que de besoin, les équipements de protection individuelle appropriés et, lorsque le caractère particulièrement **insalubre ou salissant** des travaux l'exige, **les vêtements de travail** appropriés. Il veille à leur utilisation effective. »

✓ Qu'est-ce qu'un vêtement de travail ?

Les vêtements de travail, qui ne sont pas des vêtements de protection, ne constituent pas des équipements de protection individuelle. Selon leurs critères de choix, ils apportent néanmoins à l'utilisateur un confort et de bonnes conditions de réalisation du travail.

L'objectif principal d'un vêtement de travail est de protéger les vêtements personnels des salariés contre la saleté et l'usure normale liée au travail.

- Ils ne revendiquent aucune protection contre les risques mécanique, chimique, électrique...
- Ils ne sont pas soumis à des normes de sécurité spécifiques, ni au marquage CE.
- Ils offrent une protection basique contre la salissure et d'autres facteurs mineurs.
- Ils contribuent à l'image professionnelle.

1.2. EPI spécifiques aux fortes chaleurs et aux UV

Les périodes de fortes chaleurs et les niveaux élevés d'UV se produisent généralement en même temps, principalement pendant les mois d'été. En France, par exemple, de mai à septembre, l'indice UV atteint des niveaux élevés à extrêmes entre 12 heures et 16 heures⁴.

⁴ Rayons UV liés au soleil : quels risques pour les yeux ? Recosanté. Vos questions sur le soleil et les UV, www.soleil.info.



Un autre danger, invisible, mais tout aussi important, est lié aux rayons ultraviolets (UV). Ces rayons, bien qu'imperceptibles à l'œil nu, jouent un rôle crucial dans notre environnement et notre santé. Souvent associés aux journées ensoleillées et chaudes, les UV présentent des risques qui vont au-delà de la simple élévation de température.

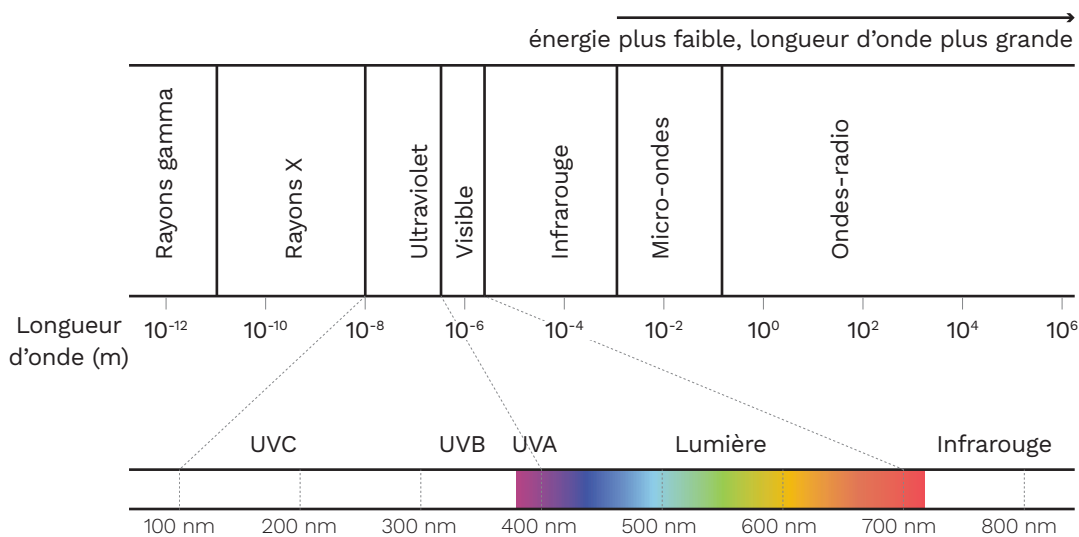
1.2.1. Rayons UV

Les rayons du soleil sont composés de puissants rayons ultraviolets (UV) qui se décomposent en :

- **UVA.** Ils ont une longueur d'onde de 320 à 400 nm : ce sont les UV les plus répandus. La cornée et le cristallin absorbent une grande partie de ces UV, mais pas la totalité. Ils sont très dangereux pour les yeux sur le long terme.
- **UVB.** Ils ont une longueur d'onde de 280 à 320 nm : ils sont absorbés par le cristallin chez l'adulte.
- **UVC.** Ils ont une longueur d'onde de 100 à 280 nm : ils sont très dangereux, mais quasi totalement arrêtés par l'ozone de l'atmosphère. Nous pouvons les rencontrer en altitude, par exemple.

i Pour les prévisions de l'indice UV quotidien, consulter la carte de prévisions de Météo France sur : <https://meteofrance.com/>

■ Spectre électromagnétique



L'exposition aux rayonnements ultraviolets (UV), du soleil ou artificiels (cabine UV), est le principal facteur des cancers de la peau. En atteignant la peau, les doses excessives d'UV agressent les cellules cutanées et peuvent provoquer des dommages irréversibles dans les gènes des cellules exposées. Selon l'Institut national du cancer⁵, **plus de 100 000 nouveaux cas sont recensés chaque année**. Les cancers de la peau sont les cancers les plus fréquents en France. La forme la plus

⁵Vêtements de protection solaire, Skin Cancer Foundation.

agressive, le mélanome, a vu son nombre de cas multiplié par cinq entre 1990 et 2018 pour atteindre 15 500 nouveaux cas par an. Le **mélanome cutané** est, quant à lui, beaucoup plus rare que le carcinome, mais il s'agit du plus grave des cancers cutanés, du fait de la formation de métastases.

Avec la peau, l'œil et le tissu cutané autour des yeux sont les organes les plus sensibles aux dommages occasionnés par les rayons du soleil.

Pour se protéger de ces rayons, il convient d'utiliser les EPI adaptés - avec la marque CE correspondante - suivants :

- vêtement de protection anti-UV ;
- lunette de protection anti-UV.

1.2.2. Vêtements de protection

Les vêtements de protection anti-UV doivent répondre à des normes spécifiques pour garantir la sécurité des utilisateurs. Ils peuvent inclure des protections d'autres risques, comme les risques mécaniques, électriques, les produits chimiques et des protections d'autres dangers potentiels rencontrés dans divers environnements de travail.

■ Catégories de protection

 Facteur de protection contre les UV	Protection	Blocage des UV en %	Notation
15 - 24	Bonne	93,3 - 95,8%	15, 20
25 - 39	Très bonne	96 - 97,4%	25, 30, 35
40 - 50 et plus	Excellente	97,5 - 98 % et plus	40, 45, 50 et plus

Les vêtements de protection anti-UV sont conformes à la norme NF EN 13758-2.

EN 13758-2 PROTECTION ULTRAVIOLETS



Vêtement de protection pour l'exposition au rayonnement solaire ultraviolet néfaste (UVA UVB), indiqué par la valeur UPF (Ultraviolet Protection Factor) pour réduire le risque de dommages cutanés. Cela permet ainsi aux professionnels concernés de s'exposer tout en étant protégés. La performance du vêtement repose sur la couleur, l'épaisseur et l'opacité du tissu du produit. Elle diminue au fur et à mesure de l'usure, des lavages et de la distension. Plus la valeur UPF est élevée, meilleure est la protection anti-UV.

Vrai - Faux

Est-il vrai que tous les vêtements anti-UV protègent du soleil ?

FAUX. Il existe différents niveaux de protection solaire. La conformité d'un vêtement à la norme NF EN 13758-2, via la présence du picto précité sur l'étiquette, permet de déterminer la proportion des rayons UV stoppés par ce vêtement.



Bien choisir son vêtement de protection anti-UV

Pour choisir un vêtement de protection adapté aux périodes de canicule, voici les principales recommandations à suivre.

■ Caractéristiques des vêtements

- Opter pour des vêtements amples et légers qui permettent une bonne circulation de l'air.
- Privilégier des matières naturelles et respirantes.
- Sélectionner des vêtements couvrant les parties exposées de la peau.
- Préférer des modèles couvrant une grande surface corporelle, comme les manches longues et les pantalons.
- Les couleurs foncées ou vives empêchent les rayons UV d'atteindre votre peau en les absorbant plutôt que les teintes plus claires (selon *Skin Cancer Fondation*).
- Les tissus au tissage dense sont plus protecteurs que les tissus transparents ou fins.
- Vérifier la protection solaire d'un tissu en le tenant à la lumière. S'il est possible de voir à travers, les rayons UV peuvent facilement pénétrer le tissu et atteindre la peau.



▲ Vêtements habituels des salariés du BTP au Japon.

■ Confort et praticité

- Opter pour des vêtements faciles à enfiler et à retirer.
- Choisir des tenues adaptées aux activités prévues, permettant une bonne liberté de mouvement.
- Les vêtements serrés peuvent s'étirer et réduire le niveau de protection offert, car les fibres s'éloignent les unes des autres et laissent passer plus de lumière UV.
- Prévoir plusieurs tenues légères pour pouvoir se changer si nécessaire.

■ Entretien

- Nettoyer régulièrement les vêtements selon les recommandations du fabricant pour maintenir leur efficacité protectrice (température de lavage et nombre de cycles à respecter).
- Inspecter régulièrement les vêtements pour détecter tout signe d'usure ou de dommage.
- Remplacer les vêtements de protection dès qu'ils montrent des signes de détérioration pour garantir une protection optimale.

En suivant les recommandations précitées, on peut optimiser l'efficacité et la durabilité des vêtements de protection et assurer ainsi une meilleure sécurité pour l'utilisateur.

✓ Pratiques commerciales

Attention à ne pas tomber dans le piège de la pratique commerciale trompeuse (article L. 121-2 du Code de la consommation).

- L'information accompagnant le produit doit être claire, dénuée d'ambiguïté (texte explicatif à la place d'une illustration ou photo).
- La protection annoncée doit être vérifiée par une tierce partie indépendante du fabricant.
- La notice d'utilisation doit indiquer le protocole d'essai utilisé pour contrôler la performance annoncée, si possible faire mention du laboratoire ayant contrôlé l'information.
- Sur demande, le fabricant doit être en mesure de présenter les résultats annoncés et la méthodologie utilisée.
- L'avantage revendiqué ne doit pas dégrader d'autres performances comme l'ergonomie du vêtement, sinon l'indiquer.
- La déclaration UE de conformité accompagnant l'EPI doit citer la protection annoncée (référentiels normatifs ou nom du protocole d'essai ayant servi à mesurer la performance).
- Ne pas indiquer « autocertification » pour une performance et l'ajouter à un EPI déjà certifié par un organisme notifié.

En cas de pratique commerciale trompeuse, des sanctions s'appliquent pour le metteur sur le marché : selon l'article L.132-2 du Code de la consommation, la peine principale est de deux ans d'emprisonnement et une amende de 300 000 euros.

Vrai - Faux

Est-il vrai qu'après lavage le niveau de protection solaire diminue ?

FAUX. Après utilisation, lorsque le vêtement anti-UV est porté puis lavé (conformément à la notice du fabricant), l'usure va créer des micropeluches au niveau de la matière. Ces micropeluches renforcent la densité du tissu et le niveau de protection solaire/filtration. Par conséquent, sauf déchirures ou trou apparent, **le niveau de protection solaire ne diminue pas après avoir placé le vêtement anti-UV à la machine à laver.**

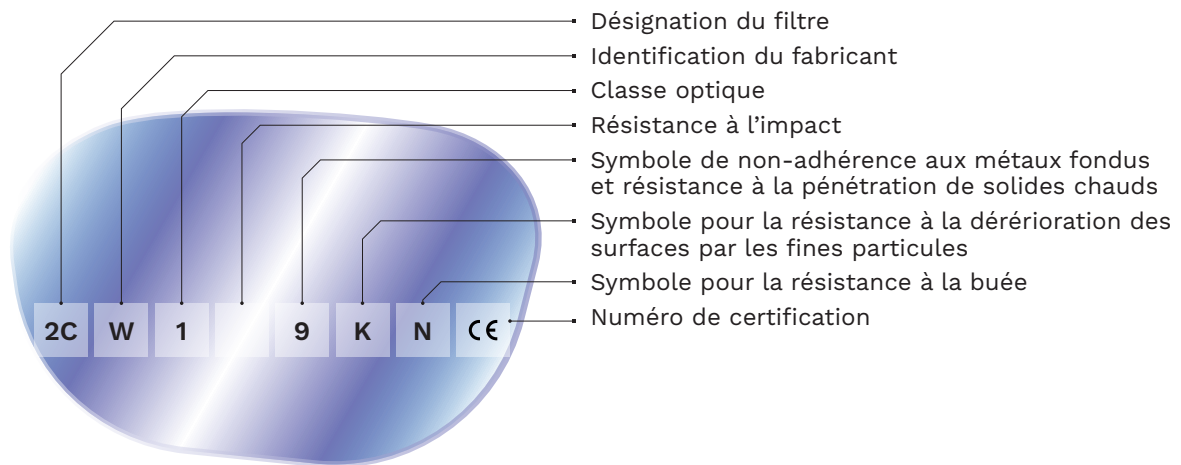
1.2.3. Lunettes de protection

Les lunettes de protection sont des EPI destinés à protéger les yeux contre divers risques professionnels (chocs et projections de particules, éclaboussures de liquides - produits chimiques, acides -, poussières...). Elles permettent aussi de protéger des rayonnements (UV, IR, laser).

Risques d'atteinte des yeux en lien avec les UV

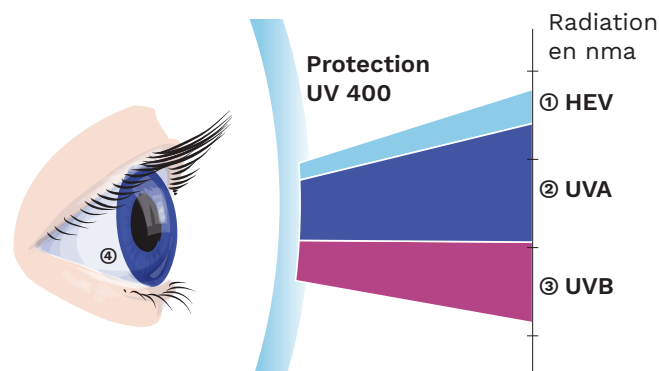
Une exposition trop intense aux UV peut déclencher une inflammation passagère de la cornée (kératite) et une cécité passagère (ophtalmie des neiges). Les UVA peuvent pénétrer jusqu'au cristallin et provoquer à long terme son opacification (cataracte).

L'atteinte de la rétine est rare et surtout liée à l'observation d'une source lumineuse intense, comme une éclipse solaire. Pour se protéger de ces rayons, il convient d'utiliser des protections adaptées.



▲ Marquage de l'oculaire.

Source : Norme européenne NF EN 166 « Protection individuelle de l'œil – Spécifications »



- ① HEV (lumière visible à haute énergie/lumière bleue)
- ② Rayons UVA
- ③ Rayons UVB
- ④ Protection de la peau autour des yeux

▲ Protection UV optimale.

Source : Norme européenne NF EN 166 « Protection individuelle de l'œil – Spécifications »

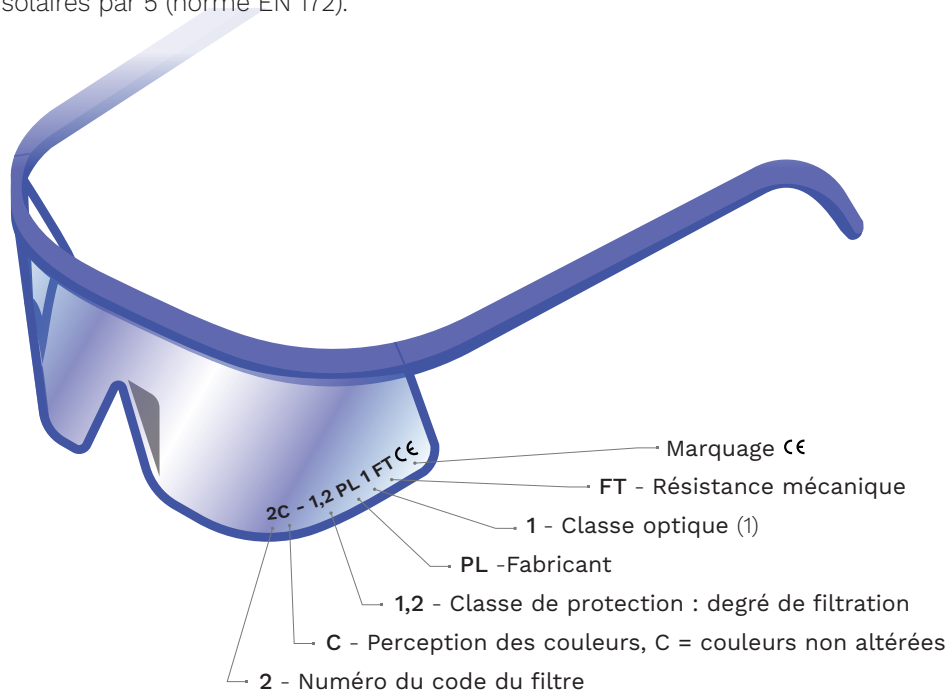
Lors du choix des lunettes de protection anti-UV, il convient de rechercher la marque CE et la catégorie adaptée à l'exposition. Afin de protéger aussi la zone sur le côté de l'œil, vers la tempe, il est conseillé de privilégier les modèles enveloppants.

• Désignation du filtre de l'oculaire

Les caractéristiques de facteur de transmission d'un filtre sont représentées par un numéro d'échelon. Ce numéro est une combinaison du numéro de code et de la classe de protection du filtre, les deux séparés par un tiret. Le marquage CE, placé après le numéro de code, indique, en outre, que la perception des couleurs est non altérée par le filtre.

Les numéros des filtres assurant une protection contre les ultraviolets commencent par 2 (norme EN 170) ; ceux assurant une protection contre les infra-

rouges commencent par 4 (norme EN 171) et, enfin, ceux concernant les filtres solaires par 5 (norme EN 172).



▲ Marquage des lunettes de protection.

Source : Norme européenne NF EN 166 « Protection individuelle de l'œil – Spécifications »

Vrai - Faux

Tous types de verres teintés permettent de se protéger des UV.

FAUX. Ce n'est pas la teinte qui protège contre les rayons ultraviolets du soleil. Seule la matière qui compose l'oculaire permet de filtrer les rayons ultraviolets invisibles et de protéger vos yeux. Certaines teintes vont, quant à elles, avoir l'avantage d'atténuer l'éblouissement et d'offrir un meilleur confort visuel. En effet, selon l'environnement dans lequel évolue le porteur (forte luminosité, faible luminosité ou alternance des deux) et les tâches à effectuer (travaux de précision, travaux extérieurs/intérieurs...), utiliser la teinte adaptée va diminuer le risque de fatigue oculaire, ce qui permet à l'utilisateur de rester attentif et concentré tout au long de la journée.



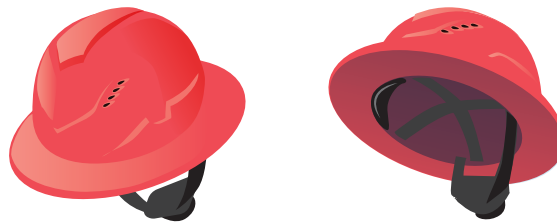
1.2.4. Casque de protection

Le casque de sécurité MSA-V-Gard C1™ utilise une technologie brevetée de barrière thermique ReflectIR™ pour garder l'intérieur du casque de sécurité jusqu'à 11 °C plus frais par temps ensoleillé (testé par rapport à des casques sans ReflectIR™). En plus de cette technologie, il offre :

- un bord complet avec une couverture 12 % supérieure, une ombre supplémentaire et une protection solaire ;
- de grandes ouvertures en option avec un placement stratégique permettant une meilleure circulation de l'air ;
- un bandeau antitranspiration de qualité supérieure avec rembourrage en mousse respirante pour un confort supplémentaire et une meilleure gestion de la transpiration.

Le casque de protection est conforme aux normes :

- ANSI/ISEA Z89.1-2014 (R2019), norme nationale américaine pour la protection de la tête dans l'industrie ;
- CSA Z94.1-15, norme nationale canadienne - Casque protecteur de type industriel - Performance, sélection, soins et utilisation.



▲ Casque de protection.

Vrai - Faux

Tous les casques offrent les mêmes avantages face aux fortes chaleurs.

FAUX. Les casques n'offrent pas tous les mêmes conditions pour protéger des fortes chaleurs. En effet, les casques les plus adaptés sont ceux :

- équipés de **trous de ventilation** sur la partie supérieure ou latérale. Cela permet de faciliter la circulation de l'air et de limiter l'accumulation de chaleur à l'intérieur du casque ;
- équipés de **coiffe intérieure avec bande antitranspiration**. Privilégier les casques avec une bande absorbante à l'intérieur (souvent en mousse ou en coton) pour retenir la sueur et éviter que celle-ci ne coule sur le visage ;
- équipés de **coiffes détachables et lavables**. Cela permet de garder une hygiène correcte en changeant ou nettoyant la coiffe régulièrement ;
- équipés pour accueillir des accessoires tels que les anti-UV et ceux protégeant des fortes chaleurs (comme les inserts rafraîchissants) ;
- permettant un bon ajustement qui maintient la stabilité du casque sur la tête sans glisser, malgré la transpiration.

Accessoires anti-UV pour casques de chantier

• Protège-nuque

La cape protège-nuque est un allié de la lutte contre les coups de chaud. Cette cape protège la nuque et les oreilles des intempéries et du rayonnement ultra-violet. Fabriquée en tissu léger et respirant, la cape se clipse à l'arrière du casque. Elle complète utilement la calotte rafraîchissante.



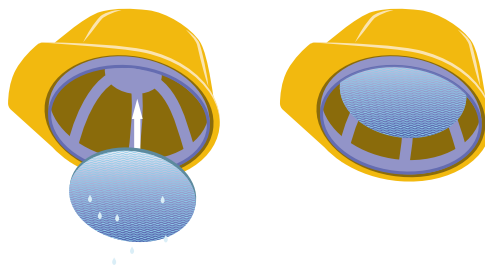
▲ Protège-nuque.

Cape protège-nuque : les atouts d'un accessoire performant

- 1/ Compatible avec les jugulaires 2 et 4 points ainsi qu'avec les coquilles antibruit et les appareils de protection respiratoire.
- 2/ Réutilisable jusqu'à 20 fois (lavage à 40 °C).

• Calotte rafraîchissante

Fixée à l'intérieur du casque de chantier, la calotte rafraîchissante permet d'isoler le haut de la tête. Le rafraîchissement se réalise par évaporation de l'eau grâce à un textile spécifique, qui absorbe l'eau et la diffuse.



▲ Calotte rafraîchissante.

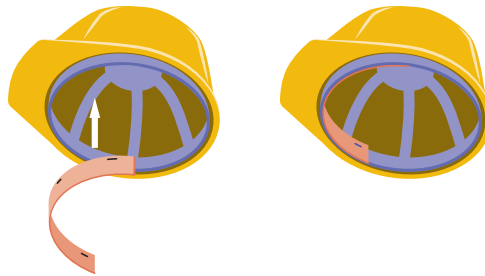


Calotte rafraîchissante : les atouts d'un accessoire performant

- 1/ S'adapte à la structure de tous les casques grâce à des attaches agrippantes.
- 2/ Se lave en machine (programme « à froid »).
- 3/ Réutilisable.
- 4/ Action rafraîchissante qui dure le plus longtemps possible.

• Basane adaptable aux casques

En complément, pour se protéger la tête, la basane antisueur s'adapte à tous les casques. Elle est conçue à partir de tissus rafraîchissant par évaporation.



▲ Basane antisueur.

Basane antisueur : les atouts d'un accessoire performant

- 1/ S'adapte à la structure de tous les casques grâce à des inserts.
- 2/ Se lave en machine (programme « à froid »).
- 3/ Réutilisable.
- 4/ Action rafraîchissante qui dure le plus longtemps possible.

2. ÉQUIPEMENTS RAFRAÎCHISSANTS INNOVANTS - SYNTHÈSE DE L'ÉTAT DE L'ART TECHNIQUE

Les techniques de rafraîchissement recensées aujourd'hui, qu'elles soient individuelles ou hybrides, visent à offrir un refroidissement efficace et durable pour les travailleurs en période de chaleur. Ce chapitre propose une synthèse des cas d'application émanant du terrain ou testés en laboratoire.

2.1. Effets des fortes chaleurs

Les effets de la chaleur⁶ sur le corps humain sont multiples. Les notions associées à certains de ces effets sont définies comme suit.

- **Acclimatation** : augmentation, au fil du temps, de la capacité d'adaptation physiologique et de la tolérance du corps à la température ambiante.
- **Stress thermique/contrainte thermique** : réponse physiologique du corps visant à maintenir la température interne du corps entre 36 et 37 °C.
- **Stress dû à la chaleur / stress thermique dû à la chaleur** : charge nette de la chaleur que subit le corps lorsqu'il est exposé à des environnements extrêmement chauds, qui provoquent une augmentation de la température interne du corps. La charge thermique peut être source de divers effets sur la santé et niveaux d'inconfort.
- **Déshydratation** : la transpiration est le mécanisme naturel qui est enclenché par le corps pour évacuer la chaleur excessive. Elle est aussi l'une des principales causes de déshydratation et de perte en sodium. La déshydratation conduit à une réduction du volume sanguin et modifie la tension artérielle normale. Une déshydratation prolongée peut également conduire à des crampes musculaires, à des problèmes gastro-intestinaux et à un évanouissement.

⁶ Norme 55 – Conditions environnementales thermiques pour l'occupation humaine, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), 2010.



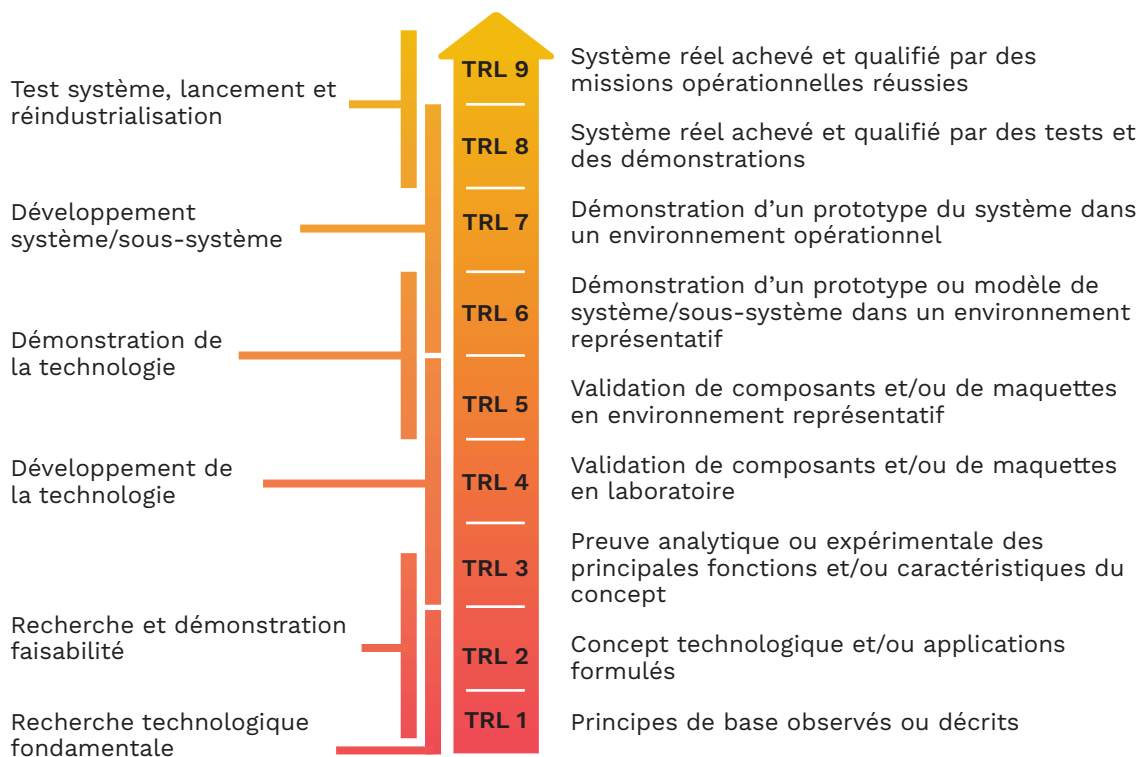
- **Coup de chaleur⁷** : il survient lorsque le corps n'est plus capable de réguler sa température interne. Il s'agit d'une urgence médicale absolue se caractérisant par une température centrale supérieure à 40 °C. Il peut être causé par un environnement chaud ou une évacuation déficiente de la chaleur générée par des mécanismes métaboliques. Les symptômes comprennent une température corporelle élevée, une rougeur de la peau ou une peau rougeâtre, une transpiration plus abondante et l'évanouissement ou la perte de conscience. Le coup de chaleur est mortel et pourrait ne pas être annoncé par les symptômes précités. Le risque de défaillance d'un organe et de décès est très élevé, les systèmes internes du corps étant incapables de récupérer après les dommages causés par un coup de chaleur grave.

2.2. Solutions de rafraîchissement individuelles

Dans la littérature scientifique sont recensées aujourd'hui plusieurs solutions de rafraîchissement, chacune se fondant sur différentes technologies [3].

Dans le cadre de ce rapport, les solutions sélectionnées ont un niveau de maturité technologique élevé (TRL : 8-9) afin de pouvoir être accessibles et éventuellement déployées rapidement sur les chantiers.

■ Échelle de maturité d'une innovation - TRL (*Technology Readiness Level*)



Source : Techniques de l'ingénieur – TRL

⁷ Recommandations visant à améliorer la préparation et la gestion des vagues de chaleur et des canicules extrêmes, Haut Conseil de la santé publique, www.hcsp.fr.

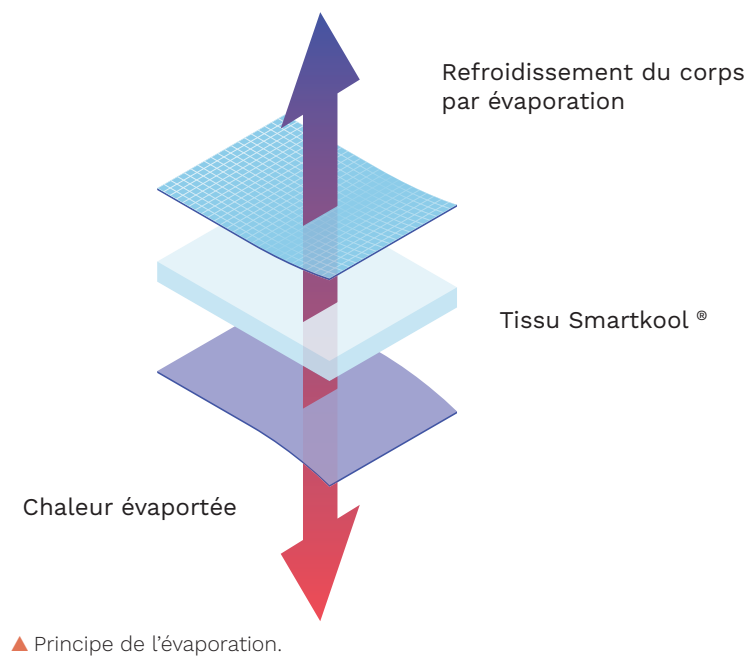
Les solutions de rafraîchissement sélectionnées sont les suivantes :

- rafraîchissement par évaporation ;
- rafraîchissement par des matériaux à changement de phase (PCM) ;
- rafraîchissement par circulation de liquide ;
- rafraîchissement par circulation d'air/ventilation ;
- rafraîchissement par effet électrocalorique (Peltier) ;
- rafraîchissement par réaction chimique endothermique.

2.2.1. Évaporation

Cette méthode utilise l'évaporation de l'eau pour abaisser la température d'une surface : les vêtements absorbent de l'eau, et la chaleur rayonnante provoque son évaporation, procurant ainsi un effet de refroidissement.

L'évaporation de l'eau à la surface est un phénomène endothermique qui est d'autant plus rapide que la vapeur d'eau formée est évacuée par un flux d'air.





2.2.2. Matériau à changement de phase (PCM)

Cette méthode repose sur des matériaux qui absorbent et libèrent de la chaleur lors de la transition entre les phases solides et liquides. Les PCM sont intégrés dans des vêtements pour fournir un refroidissement constant pendant plusieurs heures.

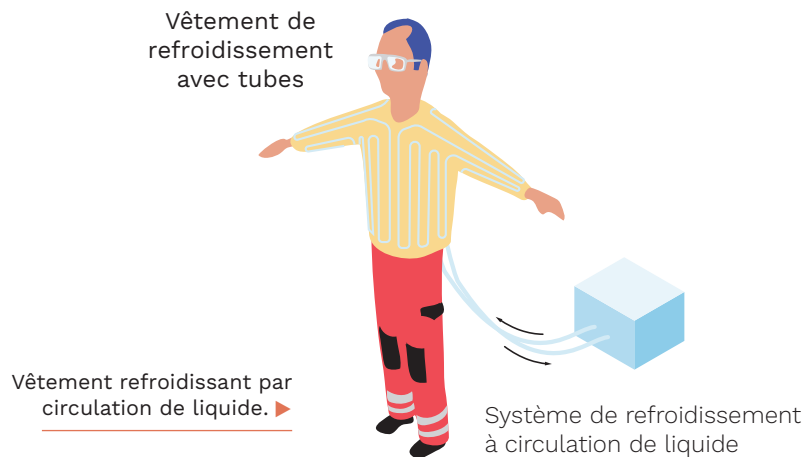
Par exemple, certains gilets en matériau **conducteur à changement de phase (PCM)** utilisent des blocs réfrigérants. Ces packs à changement de phase contiennent des liquides spécifiques qui se solidifient (comme de la cire) généralement entre 13 °C et 18 °C et durent généralement entre une et quatre heures en fonction de la charge thermique métabolique et de la température ambiante [4].



◀ Gilet réfrigérant.

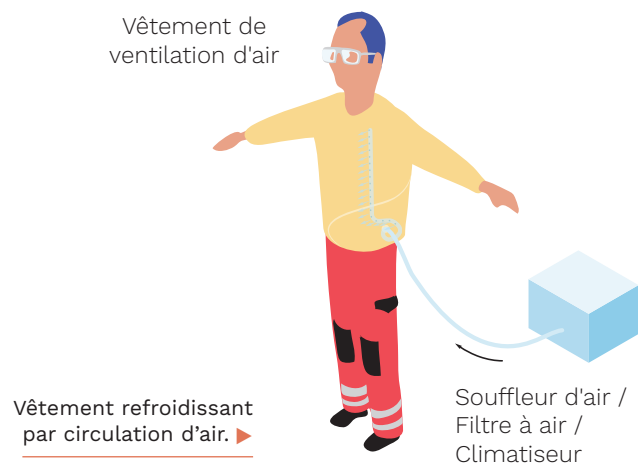
2.2.3. Circulation de liquide

Cette méthode implique des systèmes de tubes remplis de liquide refroidi circulant à travers un vêtement pour réduire la chaleur corporelle. Ces systèmes peuvent être alimentés par des packs de glace ou des dispositifs de refroidissement actifs.



2.2.4. Circulation d'air/ventilation

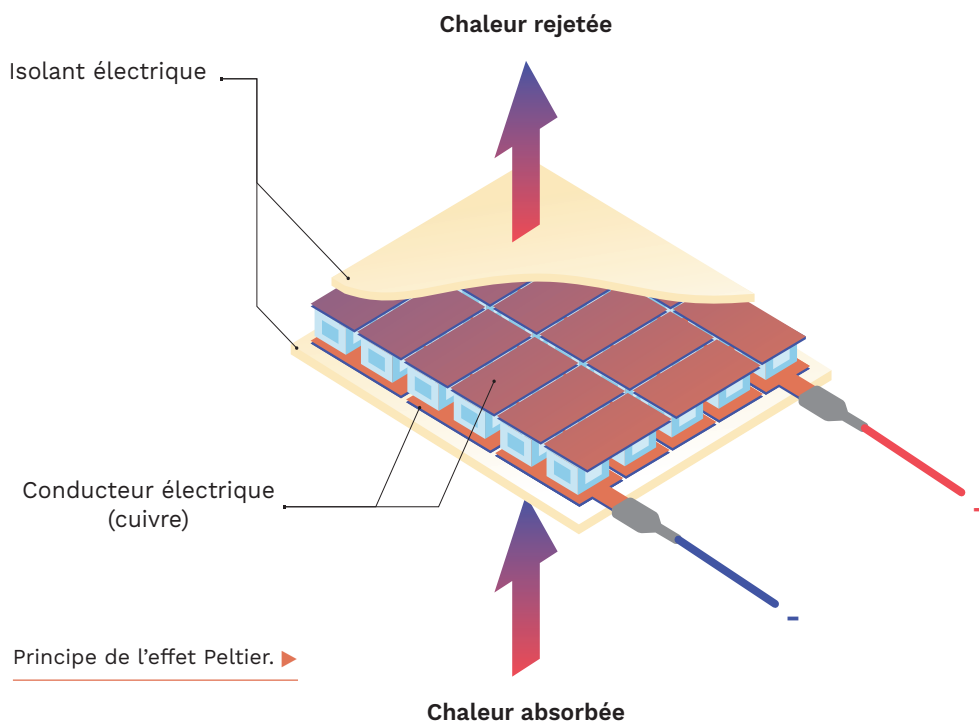
Le refroidissement par circulation d'air repose sur l'utilisation de vestes ou de vêtements équipés de ventilateurs intégrés qui créent un flux d'air constant autour du corps. Les ventilateurs sont souvent placés le long de la colonne vertébrale et dans le bas du dos, là où le refroidissement par évaporation est le plus efficace. L'air en mouvement aide à évaporer la sueur plus rapidement et à dissiper la chaleur corporelle, réduisant ainsi la température de la peau et améliorant le confort thermique.





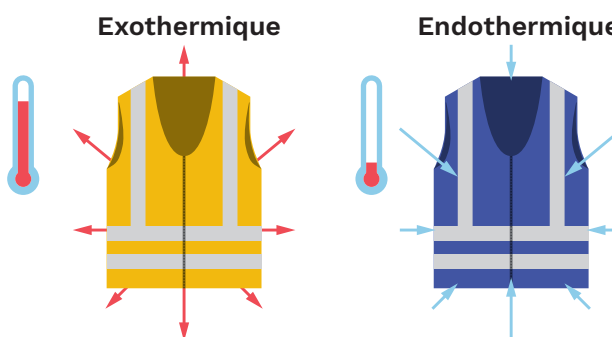
2.2.5. Effet Peltier

L'effet Peltier (aussi appelé effet thermoélectrique) est un phénomène physique de déplacement de chaleur en présence d'un courant électrique. L'effet se produit dans des matériaux conducteurs de natures différentes liés par des jonctions (contacts). L'une des jonctions se refroidit légèrement pendant que l'autre se réchauffe. Cet effet a été découvert en 1834 par le physicien Jean-Charles Peltier⁸.



2.2.6. Réaction chimique endothermique

Une réaction endothermique est un phénomène qui absorbe de l'énergie provenant de l'environnement ce qui, par conséquent, abaisse le degré énergétique du milieu. Lorsqu'une réaction chimique absorbe de la chaleur, la température du milieu environnant diminue (contrairement à une réaction exothermique).



▲ Réactions chimiques exothermique/endothermique.

⁸ Ali Nour Eddine. « Modélisation et optimisation d'un système de récupération d'énergie à l'échappement des moteurs de navires en utilisant la thermoélectricité (effet Seebeck) ». Thermique [physics. class-ph]. École Centrale de Nantes, 2017. HAL Id : tel-01887981, version 1.

2.2.7. Solution hybride

Les systèmes hybrides tentent de combiner les avantages de chaque technologie tout en essayant de compenser leurs limites respectives. Par exemple, la circulation de liquide peut fournir un refroidissement immédiat et puissant, tandis que les PCM prolongent l'effet de refroidissement et que l'évaporation fournit une sensation de fraîcheur constante.

2.2.8. Synthèse des technologies de rafraîchissement

■ **Tableau 1 - Synthèse du niveau de maturité des technologies de rafraîchissement (basée sur une évaluation de l'Institut français du textile et l'habillement, IFTH)**

TECHNOLOGIE	TRL	EFFICACITÉ	INTÉGRABILITÉ	PRIX
Évaporation d'eau	+++	+	+	+++
Matériaux à changement de phase (PCM)	+++	++	+++	+
Circulation de liquide	+++	+++	+++	+
Circulation d'air/ ventilation	+++	++	+++	++
Effet électrocalorique/ Peltier	+++	++	+++	++
Réaction chimique endothermique	++	+	-	+

TRL : niveau de maturité technologique



■ **Tableau 2 - Grille de lecture du tableau d'évaluation des technologies de rafraîchissement**

ÉVALUA-TION	TRL	EFFICACITÉ	INTÉGRABILITÉ	PRIX
+	Technologie au stade de recherche fondamentale, concept exploratoire.	Réduction modeste de la température corporelle, effet limité et temporaire.	Difficulté d'intégration avec d'autres équipements ou contraintes logistiques majeures.	Coût relatif élevé.
++	Technologie en développement, preuve de concept réalisée.	Réduction notable de la température corporelle, efficacité raisonnable pour une durée modérée.	Intégration possible avec des ajustements, compatibilité moyenne avec d'autres équipements.	Coût relatif modéré.
+++	Technologie mature, prête à être déployée sur le terrain ou disponible commercialement.	Réduction significative et durable de la température corporelle, haute efficacité dans des conditions extrêmes.	Intégration relativement facile, bonne compatibilité avec d'autres équipements.	Coût relatif faible.
-	Pas d'information.	Pas d'information.	Pas d'information.	Pas d'information.

■ **Tableau 3 - Le marché : exemple de solutions commerciales par technologie (liste non exhaustive recensée au 01/07/2024)**

TECHNOLOGIE	SOLUTION COMMERCIALE DISPONIBLE (LISTE NON EXHAUSTIVE)
Évaporation d'eau	<ul style="list-style-type: none"> • HyperKewl™ • Ergodyne Chill-Its 6685 • Inuqteq • G-Heat
Matériaux à changement de phase (PCM)	<ul style="list-style-type: none"> • CoolPax™ • Black Ice Cool Collar CCX • Isotherm Cool Vest • G-Heat
Circulation de liquide	<ul style="list-style-type: none"> • AlphaCool 7V • Compcooler
Circulation d'air/ventilation	<ul style="list-style-type: none"> • Vortec™ Cooling Vest • Cooling Vest by Kuchofuku™
Effet électrocalorique/Peltier	<ul style="list-style-type: none"> • Silaki@Cool, by Peltier LLC
Réaction chimique endothermique	<ul style="list-style-type: none"> • CAERvest™
Hybride	<ul style="list-style-type: none"> • HyperKewl™ et CoolPax™ • Glacier Gear Cooling Vest • CM 2000

2.3. Applications et cas d'usage

2.3.1. Synthèse des cas d'usage relevés













Le tableau 4 ci-après recense les cas d'application de solutions rafraîchissantes émanant du terrain ou testées en laboratoire.

Il présente une synthèse des tests effectués sur divers vêtements de refroidissement, tant en conditions réelles qu'en laboratoire. Ces tests, menés dans différents contextes géographiques et climatiques, visent à évaluer l'efficacité des solutions de refroidissement pour multisecteurs.


















■ Tableau 4 - Récapitulatif des conditions des tests et des essais considérés dans cette étude

TESTS EFFECTUÉS EN CONDITIONS RÉELLES


 Cooling vest keeps paint booth workers safe and comfortable - Vortec		
 Charlotte, Caroline du Nord, États-Unis 38 °C		
Détails	Produit	Résultats
Travail de peinture dans un atelier automobile.  NC	Vortec Cooling Vest.	Amélioration déclarée du confort des travailleurs. L'air en circulation est jusqu'à 15.5°C plus frais que la température ambiante rencontrée dans les cabines de peinture.
 Assessment of occupational heat strain and mitigation strategies in Qatar, ILO Project office for the State of Qatar, 2019		
 Qatar 45 °C 90 % d'humidité		
Détails	Produit	Résultats
Chantiers de construction, tests de combinaisons blanches et veste de refroidissement.  125 participants	Solution hybride : gilet rafraîchissant à circulation d'air (ventilateur intégré), col amovible, ainsi que des poignets et des poches pouvant être plongés dans de l'eau fraîche afin d'accroître la dissipation de la chaleur (évaporation).	Niveaux les plus bas d'effort thermique avec combinaisons blanches et vêtements conçus par le Supreme Committee for Delivery and Legacy (SC).
 Thousands of state-of-the-art cooling vests to workers building stadiums for the 2022 FIFA World Cup, 2018		
 Qatar, Stade de Lusail 40 °C		
Détails	Produit	Résultats
Chantiers de construction.  150 participants	Solution hybride - HyperKewl de Techniche : gilet rafraîchissant (PCM), col amovible, ainsi que des bracelets, serviettes et cache-cols refroidissants (évaporation).	Refroidissement de la température corporelle jusqu'à 15 °C. 93 % des travailleurs plus confortables.
 Safety and comfort for foundry workers, Vortec		
 Fonderie, Shelbyville, Kentucky, États-Unis 65 °C		
Détails	Produit	Résultats
Fabrication de billes d'aluminium.  NC	Vortec Cooling Vest.	Les salariés sont satisfaits. « <i>Étant donné le succès de notre utilisation de ce produit, je pense que je vais en commander davantage</i> », déclare la responsable de la sécurité d'entreprise d'Ohio Valley Aluminum.

NC : non communiqué


 Body cooling under pressure protective equipment - Vortec		
 Alabama, États-Unis 38 °C		
Détails	Produit	Résultats
Recyclage d'équipement électronique.  NC	Vortec Cooling Vest.	Les salariés sont satisfaits. Utilisation de gilets Vortec depuis plus de trois ans.
 Testing the isotherm cool vest in the Texas heat! – Dustless blasting - Youtube		
 Texas, États-Unis 33 °C		
Détails	Produit	Résultats
Tests dans le cadre d'une revue journalistique.  NC	Bullard Isotherm Cooling Vest.	Veste utile pour le confort et amélioration de l'accomplissement de tâches.
 Experimental and numerical performance evaluation of a cooling vest subtending phase change material under the extremely hot and humid environment, 2021		
 Golfe Persique 40 °C 45 % d'humidité		
Détails	Produit	Résultats
Simulation de chambre climatique pour les conditions de l'industrie pétrolière et gazière.  19 participants	Standard Basic Cooling Vest.	Amélioration du confort thermique pendant 20 minutes, mais pas de refroidissement prolongé (revendication commerciale : 4 heures).
 The project - Workclimate 2.0 – Extreme temperatures and impacts on occupational health, safety and productivity: intervention strategies, information, training and technological solutions (consulté le 25/07/2024)		
 Viareggio, Italie		
Détails	Produit	Résultats
Essai de 100 vêtements rafraîchissants dans 14 entreprises positionnées sur divers secteurs.  NC	Différents types de vêtements rafraîchissants.	Gilets rafraîchissants par évaporation efficaces en extérieur, gilets PCM efficaces pour travaux de peinture.
 The fan cooling vest use reduces thermal and perceptual strain during outdoor exercise in the heat on a sunny summer day, 2024		
 Japon 32 °C		
Détails	Produit	Résultats
Tests de vestes de refroidissement par ventilateur sur des joueurs de baseball.  10 participants	Gilet de rafraîchissement - ventilation - Kuchofuku Co. Ltd.	Réduction de la contrainte thermique et de la perception pendant l'exercice en plein air.




TESTS EFFECTUÉS EN CONDITIONS DE LABORATOIRE


 A potential wearable solution for preventing heat strain in workplaces: The cooling effect and the total evaporative resistance of a ventilation jacket, 2022


 Climat sec (simulé) | 35 °C


Détails	Produit	Résultats
Tests standardisés dans une chambre climatique.  NC	Le vêtement de ventilation testé était un gilet en coton à manches courtes avec deux ventilateurs intégrés situés sur les côtés du bas du dos, d'un poids total de 0,75 kg.	Augmentation significative de la perte de chaleur par évaporation.


 Two isothermal challenges yield comparable physiological and subjective responses, 2020


 Climat désertique (simulé) | 34 °C | 20 % d'humidité


Détails	Produit	Résultats
Tests sur tapis roulant avec gilet ventilé.  9 participants	La ventilation a été réalisée en soufflant de l'air ambiant à travers des canaux parallèles creusés sur la face interne de la veste en mousse de polyuréthane et resserrés par contact avec le corps (chemise en laine mérinos entre les deux). Le poids de la veste ventilée, batteries comprises, était de 1,3 kg.	Amélioration des paramètres physiologiques et du confort thermique.


 Ventilated vest and tolerance for intermittent exercise in hot, dry conditions with military clothing, 2009

 Climat désertique (simulé) | 45 °C | 10 % d'humidité

Détails	Produit	Résultats
Tests avec vêtements de combat et gilet pare-balles.  8 participants	Veste ventilée au niveau du torse. Poids de la solution : 1,3 kg.	Durée d'exercice prolongée, réduction de la température cutanée.










 Heat stress reduction of helicopter crew wearing a ventilated vest, 2006




 Conditions de vol en hélicoptère (simulé) | 32 °C

Détails	Produit	Résultats
Tests dans un simulateur de vol avec pilotes d'hélicoptère.  6 participants	Veste ventilée.	Réduction significative de la température rectale, amélioration du confort thermique.

 Cooling effects of wearer-controlled vaporization for extravehicular activity, 2017		
 Test d'effort (Laboratoire)		
Détails	Produit	Résultats
Tests sur bicyclette ergométrique avec différents vêtements.  6 participants	Vêtement en spandex, avec un tube en vinyle ayant la même structure que le LCVG actuel pour l'eau courante tricoté à l'arrière du sous-vêtement. L'eau refroidie à 14 °C a circulé à un taux de 1,8 L - min ²¹ (240 lb - h ²¹) pendant l'exercice. Le tube était conçu non seulement pour le refroidissement à l'eau froide, mais aussi pour l'autosudation pour le refroidissement par évaporation et la vaporisation contrôlée par l'utilisateur.	Refroidissement liquide avec vaporisateur d'eau plus efficace pour abaisser la température de la peau.
 Comfort and performance improvement through the use of cooling vests for construction workers, 2022		
 Simulation (modèles mathématiques) 27 °C 50 % d'humidité		
Détails	Produit	Résultats
Simulation de divers niveaux d'activité physique.  NC	NA	Amélioration significative de la sensation thermique et réduction de la perte de performance.
 The hybrid personal cooling system (PCS) could effectively reduce the heat strain while exercising in a hot and moderate humid environment, 2015		
 Environnement chaud (simulé) 36 °C 59 % d'humidité		
Détails	Produit	Résultats
Tests avec systèmes personnels hybrides de refroidissement pendant l'exercice et la récupération.  8 participants	PCM à base de sel de Glauber.	Réduction significative de la température corporelle, de la température de la peau, de la fréquence cardiaque et de l'index de stress physiologique.
 Analytical model for thermoregulation of the human body in contact with a phase change material (PCM) cooling vest, 2022		
 Tests sur plaque chauffante		
Détails	Produit	Résultats
Tests en laboratoire avec packs PCM de différentes températures de fusion.  NC	PCM.	Puissance de refroidissement et durée analysées pour différentes configurations de PCM.



<p> Precooling and percooling (cooling during exercise) both improve performance in the heat: a meta-analytical review, 2014</p> <p> Meta-analyse > 30 °C</p>		
Détails	Produit	Résultats
<p>Comparaison des effets du précooling et du percooling sur la performance physique.</p> <p> 28 participants</p>	PCM.	Les deux stratégies améliorent significativement la performance, avec une légère différence en faveur du percooling.
<p> Ice cooling vest on tolerance for exercise under uncompensable heat stress, 2011</p> <p> Test d'effort (Laboratoire) 35 °C 65 % d'humidité</p>		
Détails	Produit	Résultats
<p>Marche sur tapis roulant avec combinaison NBC et veste de refroidissement par glace.</p> <p> 10 participants</p>	PCM.	Amélioration de la tolérance à l'exercice, réduction du stress thermique et de la sensation thermique.
<p> Cooling vest worn during active warm-up improves 5-km run performance in the heat, 2004</p> <p> Test d'effort (Laboratoire) 32 °C 50 % d'humidité</p>		
Détails	Produit	Résultats
<p>Course de 5 km sur tapis roulant avec et sans veste de refroidissement.</p> <p> 17 participants</p>	Neptune Wetsuits Australia, Smithfield West, Australia (neoprene avec 8 poches pour pack de glace, de 450 à 500 ml chacune.	Amélioration de la performance de 5 km, réduction de la tension thermique et cardiovasculaire.
<p> Effect of sportswear on performance and physiological heat strain during prolonged running in moderately hot conditions, 2023</p> <p> Test d'effort (Laboratoire) 35 °C 30 % d'humidité</p>		
Détails	Produit	Résultats
<p>Tests de différentes technologies de vêtements de sport sur la performance et la contrainte thermique.</p> <p> 20 participants</p>	Vêtements rafraîchissants.	Aucune différence significative entre les vêtements, mais certaines technologies ont montré une meilleure fonctionnalité de refroidissement.
<p> Cooling efficiency of vests with different cooling concepts over 8-hour trials, 2021</p> <p> Test sur mannequin (Laboratoire) 35 °C 35 % d'humidité</p>		
Détails	Produit	Résultats
<p>Tests sur mannequin thermique pour évaluer la capacité de refroidissement de différents gilets.</p> <p> NC</p>	Différents types de gilets rafraîchissants.	Les gilets de refroidissement actifs sont les plus efficaces, suivis des gilets PCM et évaporatifs.

 A potential wearable solution for preventing heat strain in workplaces: The cooling effect and the total evaporative resistance of a ventilation jacket, 2022		
 Test sur mannequin (Laboratoire)		
Détails	Produit	Résultats
Tests en chambre climatique sur mannequin transpirant avec différentes vitesses de ventilation.  NC	Ventilation.	Augmentation significative de la perte de chaleur par évaporation avec l'augmentation de la vitesse de ventilation.

2.3.2. Points saillants des cas d'application

Italie : l'initiative Workclimate

 **Principe de la technologie testée** : évaporation, matériaux à changement de phase

 **Conditions** : 40 °C, climat humide (intérieur), climat sec (extérieur)

Le projet Workclimate 2.0, lancé en Italie le 15 mai 2023 pour une durée prévue de 2 ans [8], a pour objectif d'**étudier l'impact des températures extrêmes sur la santé, la sécurité et la productivité au travail**.

Le principal objectif du projet est de recenser puis d'améliorer des outils et des stratégies d'intervention déjà disponibles et dédiés à des secteurs de travail spécifiques. Il vise également à développer de nouvelles solutions technologiques et des outils d'information pour améliorer la prévention et la gestion des risques dans les entreprises, au profit des travailleurs, des employeurs et des professionnels de la prévention (directeurs des services de prévention et de protection, représentants territoriaux de la sécurité des travailleurs, employeurs et médecins du travail).

100 vêtements testés dans 14 entreprises

Dans le cadre de ce projet, **100 vêtements rafraîchissants** ont été testés dans 14 entreprises en collaboration avec les services de prévention locaux [9].

Dans un premier temps, les essais ont porté sur des **gilets de travail réfrigérés à haute visibilité du type à changement de phase (PCM)** et refroidis à l'eau. Ce vêtement utilise des inserts constitués d'un gel ayant un point de fusion élevé, généralement compris entre 12 °C et 20 °C. La chaleur est absorbée lorsque le matériau passe de la phase solide à la phase liquide. Les inserts doivent être conservés au réfrigérateur avant d'être utilisés et remplacés toutes les deux ou trois heures.

Selon le rapport [9], ces vêtements sont **relativement chers** mais **conviennent particulièrement aux environnements chauds et fermés**, où les vêtements à évaporation sont généralement peu efficaces.

Par ailleurs, des **vêtements rafraîchissants par évaporation** (fabriqués dans un tissu qui absorbe rapidement l'eau et la libère très lentement par le mécanisme



de l'évaporation) ont été également testés. Le vêtement doit être trempé dans l'eau pendant quelques minutes avant d'être utilisé et pressé pour retirer l'excédent d'eau. Il faut également le laisser quelques minutes à l'air libre avant de le porter afin d'éliminer l'excès d'humidité. Les conclusions du rapport indiquent que ce type de vêtement est généralement **adapté au travail en extérieur**.

Les vêtements rafraîchissants ont été testés dans 14 entreprises des secteurs suivants :

- Activités portuaires (Viareggio, Carrara, Piombino) : ouvriers de chantier et de cale.
- Construction navale (Viareggio) : ouvriers peintres.
- *Green Maintenance* (Viareggio, Siena) : jardiniers.
- Construction (Viareggio).
- Livraisons de motos (Viareggio).

Des **questionnaires de satisfaction** ont été distribués ensuite aux employés.


Analyse du cas

L'expérimentation préliminaire - telle qu'elle a été rapportée par les opérateurs concernés - révèle les éléments suivants.

- Il serait nécessaire d'avoir une **taille spécifique** et non des tailles groupées (par exemple L+XL), comme c'est souvent le cas pour les vêtements de travail et, en l'occurrence, pour les gilets évaporateurs testés, car la fonctionnalité des vêtements dépend beaucoup de leur ajustement : les vêtements trop amples sont encombrants et fonctionnent moins bien.
- Les **vêtements évaporatifs** sont particulièrement efficaces dans des conditions météorologiques extérieures critiques, lorsque le risque de stress thermique est élevé. Des résultats positifs ont été obtenus dans le domaine de la construction et de l'agriculture, ainsi que pour les travaux de jardinage en plein soleil.
- Les **vêtements à évaporation** ne sont pas très confortables ni efficaces dans les environnements partiellement confinés où l'humidité est assez élevée et où il n'y a pas de lumière directe du soleil, par exemple dans les cales des navires porte-conteneurs.
- Il est essentiel d'utiliser/activer correctement les vêtements à évaporation, en suivant scrupuleusement les **instructions du fabricant**, afin d'éviter d'éventuelles gouttes gênantes et impactant négativement le confort des travailleurs.
- Des problèmes ont été rencontrés lorsque les **gilets évaporatifs** étaient excessivement mouillés, car ils n'étaient pas activés correctement. Les fabricants suggèrent de les essorer après trempage avant l'utilisation.
- Les **gilets à changement de phase** se sont généralement révélés très efficaces et appréciés par les travailleurs effectuant des travaux de peinture dans des hangars. Ils sont particulièrement recommandés pour le travail dans des environnements intérieurs chauds, où les vêtements à évaporation sont d'une efficacité limitée, et les activités à bord de véhicules et d'engins.

Canada : réduire l'impact des EPI sur l'augmentation du stress thermique

 **Principe de la technologie testée** : gilets à glace et systèmes de refroidissement par circulation d'air ou de liquide

 **Conditions** : 45 °C, climat sec (extérieur)

Note Triste record de chaleur dans la région de Vancouver avec des dizaines de personnes mortes subitement ; une surmortalité directement attribuée, par les autorités, aux températures caniculaires qui ont atteint 49,5 °C en juin 2021, un record absolu pour le pays.

Dans son *Heat Stress Awareness Guide* de 2024 [11], le gouvernement canadien indique que les **vêtements de refroidissement auxiliaires**, comme les **systèmes de gilets à glace** et les **systèmes de refroidissement par circulation d'air ou de liquide**, peuvent être utilisés lorsque d'autres aménagements ne sont pas possibles, notamment lorsque la tâche effectuée nécessite le port d'EPI.

Le Canada est un pays ayant régulièrement expérimenté ce type de solutions. Dans le document *Criteria for a Recommended Standard Occupational Exposure to Heat and Hot Environments* [12], le ministère de la Santé et des Services sociaux, les centres de contrôle et de prévention des maladies et le National Institute for Occupational Safety & Health (NIOSH) canadien ont évalué les données scientifiques sur le stress thermique professionnel et les environnements chauds, ainsi que sur les blessures, les maladies, la baisse de productivité et les décès qui en résultent.

Le risque de maladies liées à la chaleur peut être amplifié par des facteurs de santé personnels, comme la consommation de drogues, d'alcool, l'obésité et une hydratation insuffisante, mais également, selon le NIOSH, par le port de certains EPI.

Les systèmes de refroidissement auxiliaires ou personnels peuvent venir contrer cet effet.

Enfin, les systèmes de refroidissement doivent s'adapter au métier de l'utilisateur. En 2019, le chercheur Ngô et son équipe ont tenté de créer une **matrice d'évaluation de la pertinence des gilets rafraîchissants pour l'industrie minière**, en déclarant : « *La récolte de métaux précieux à plus faible profondeur expose les mineurs à des contraintes thermiques. Un gilet de refroidissement peut réduire le stress thermique chez les travailleurs (Guo et al. 2017 ; Reinertsen et al. 2008), mais les particularités de l'exploitation minière en profondeur et en ultraprofondeur, les températures et l'humidité élevées, rendent difficile l'utilisation de gilets de refroidissement conventionnels (Al Sayed et al. 2016). Récemment, une étude exploratoire a été menée pour déterminer les contraintes et les exigences auxquelles les mineurs souterrains sont confrontés dans les mines d'or du Québec. En utilisant les informations issues des revues de littérature, des entretiens semi-dirigés avec les mineurs et des observations de travail, Ngô et al. (2017) ont pu construire une matrice d'utilisabilité contenant 16 critères (Tableau 1). Les critères ont été séparés en deux catégories, l'utilisateur et la conception.* »



■ Critères « d'utilisabilité » d'une veste rafraîchissante pour le minage en profondeur

UTILISATEUR	CONCEPTION
Ajustement	Efficacité
Robustesse	Risques en arrière-plan
Accrochage	Environnement de travail
Poids	Dépense énergétique
Entrave	Maintenance
Facilité de mouvement/mobilité	Coût
Confort	Conformité aux lois, règlements et normes existants
Esthétique du design	
Utilisabilité/convivialité	

Source : *Validation of a cooling vest's usability matrix for deep and ultra-deep mining environments*

Analyse du cas

Le NIOSH relève les limites des systèmes de refroidissement individuels suivantes :

- La température des gilets de glace ne peut être contrôlée et ne reste souvent pas fraîche assez longtemps pour être pratique.
- Les vêtements refroidis à l'eau exigent que le travailleur soit attaché à un système qui fait circuler l'eau fraîche, ce qui limite le champ d'action de la personne.
- Certains systèmes de refroidissement individuels portables peuvent être trop lourds ou trop encombrants pour être pratiques dans un environnement de travail.

Japon : démocratisation des vestes avec ventilation intégrée

⚙️ **Principe de la technologie testée** : ventilateurs intégrés.

☀️ **Conditions** : 36 °C, climat sec (extérieur).

Un guide récent publié par le ministère japonais de l'Infrastructure [39] et portant sur la gestion du stress thermique chez les ouvriers du bâtiment conseille l'utilisation de vestes rafraîchissantes⁹. Le Japon est pionnier dans l'utilisation de ce type de solution, dont les plus populaires se basent sur le principe de ventilateurs portables intégrés.

■ Solution de rafraîchissement avec ventilateur intégré



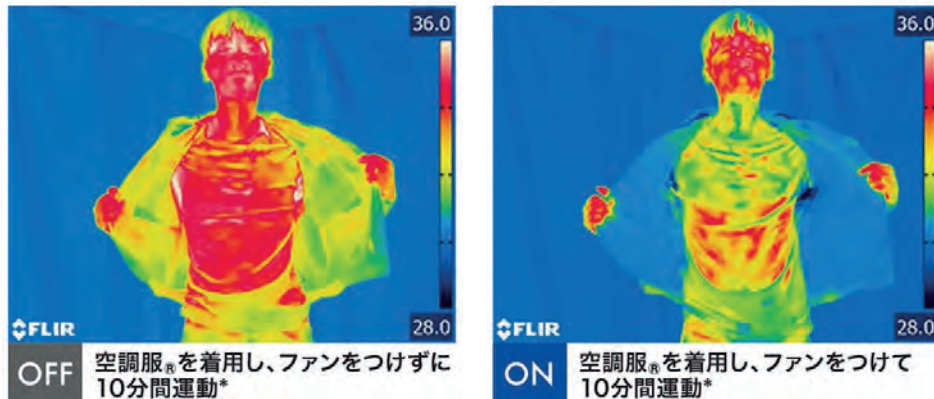
© DR - www.sciencedirect.com

Source : A potential wearable solution for preventing heat strain in workplaces: The cooling effect and the total evaporative resistance of a ventilation jacket.

⁹ The fan cooling vest use reduces thermal and perceptual strain during outdoor exercise in the heat on a sunny summer day. Int J Biometeorol, 2024 Aug.

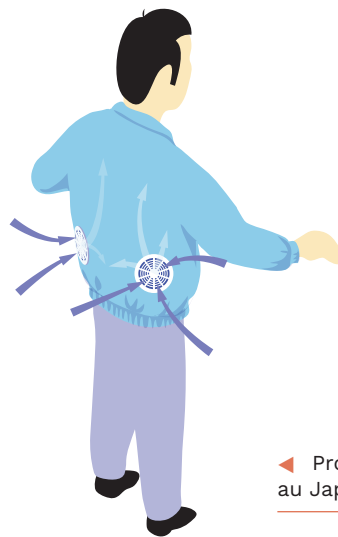


Concernant ces solutions de rafraîchissement par des ventilateurs portables, la plupart des études recensées emploient des prototypes fabriqués pour les besoins de l'étude. Toutefois, l'étude réalisée par Otani et al. (2024) [40] teste la solution du fabricant japonais Kuchofuku Co. Ltd.



▲ Effets d'un vêtement rafraîchissant révélés par imagerie thermique.
Source : article « L'histoire du Japonais qui inventa le vêtement climatisé », Amano Hisaki.

Ce résultat est cohérent avec les travaux de Yamazaki et al. (2018) [41] qui ont montré de leur côté que les vêtements ventilés augmentaient le **confort** et la **sensation de fraîcheur des travailleurs en chantier extérieur** au Japon.



◀ Produit commercialisé au Japon depuis 2021.

Analyse du cas

Le test effectué dans le cadre de l'étude, réalisé sur dix joueurs de baseball, semble indiquer que ce type de solution peut réduire les risques liés à la chaleur. Il met également en exergue l'effet psychologique que peuvent avoir ces solutions de rafraîchissement : même sans réel effet physiologique, le rafraîchissement a un impact psychologique qui améliore les performances des athlètes.

États-Unis : les applications industrielles

 **Principe de la technologie testée** : circulation d'air.

 **Conditions** : 35 °C, climat humide.

Dans un atelier de peinture Cadillac à Charlotte, en Caroline du Nord (USA), des peintres ont utilisé la solution Vortec Cooling Vest pour faire face à la chaleur dans l'atelier. Un **gilet Vortec, associé à un tube de refroidissement (VCV)**, se connecte à une ligne d'air comprimé et peut être utilisé par-dessus une combinaison de protection ou des vêtements de soudeur.

L'air circulant jusqu'à 15 °C est plus frais que la température ambiante, ce qui permet aux travailleurs de rester au frais.

La technologie de Vortec fonctionne grâce à l'air comprimé, qui est forcé à travers une chambre de génération. Celle-ci fait tourner l'air à une vitesse élevée (1 000 000 tr/min) pour former un tourbillon. **L'air à grande vitesse**

se réchauffe en tournant le long des parois internes du tube vers la valve de contrôle, où un pourcentage de l'air chaud à grande vitesse est autorisé à sortir par la valve. Le reste de l'air, désormais plus lent, est forcé de s'écouler à contre-courant à travers le centre du flux d'air à grande vitesse, dans un second tourbillon. L'air plus lent dégage de l'énergie et se refroidit en remontant le tube. Il passe par le centre de la chambre de génération et sort finalement par le tube dans le gilet sous forme d'air extrêmement froid.

Une valve de contrôle, qui ajuste le pourcentage d'air chaud autorisé à s'échapper, permet d'**ajuster la température de refroidissement**. Cette valve est conçue pour être manipulée facilement avec des gants de sécurité ou de travail.

Par ailleurs, si le besoin de se détacher de la conduite d'air comprimé se fait sentir, les porteurs peuvent le faire rapidement grâce au raccord rapide de type échangeur industriel. Le raccord rapide est placé sur le côté de la veste.

La veste de refroidissement nécessite toutefois un **branchement à une source d'air comprimé** qui, dans ce cas, est fournie par un compresseur rotatif à vis qui alimente la veste de refroidissement, ainsi que tous les outils pneumatiques utilisés dans le centre de collision.

Vortec affirme que les travailleurs qui ont testé la veste pendant des travaux de peinture en atelier ont déclaré une amélioration de leur confort depuis l'implémentation du produit. Plusieurs entreprises de fonderie, de soudage, de peinture en atelier auraient, pour cette raison, commandé ces solutions.



© Vortec

▲ Solution Vortec Cooling Vest.

Analyse du cas

Si le rafraîchissement apporté par ces solutions est important, elles sont principalement conseillées pour les intérieurs, notamment les espaces confinés et les endroits où la climatisation de l'installation n'est pas conseillée. La source d'air comprimé pourrait gêner les mouvements et réduire la mobilité. Enfin, le coût énergétique et de remplacement des bouteilles d'air comprimé peut s'avérer élevé.



Dubaï et La Mecque : les applications à usage unique (réaction chimique endothermique)

 **Principe de la technologie testée** : réaction chimique endothermique

 **Conditions** : 50 °C, climat sec

Note Les températures ont atteint jusqu'à 52 °C à La Mecque, en Arabie saoudite, et sur d'autres sites aux alentours, du vendredi 14 au mercredi 19 juin 2024. Le pèlerinage a tourné au drame en raison de la canicule ; le nombre total de morts a dépassé les 1 000.



▲ Gilet CAERvest.


Le **gilet CAERvest**, développé par Bodychillz Ltd, fait désormais partie de l'arsenal des **secouristes** et **premiers intervenants** à Dubaï [42] ainsi qu'à La Mecque durant les mois de pèlerinage [43]. Selon une interview accordée par la Dubai Corporation of Ambulance Services à la presse, la capacité de la veste à abaisser la température corporelle de 42 °C à 37 °C en l'espace d'une demi-heure a été un facteur déterminant dans la décision d'en équiper 90 ambulances.

L'association a déclaré : « *Un patient s'est effondré avec une température corporelle de 42,1 °C - fatale - et nous l'avons refroidi à 37 °C en un peu plus d'une demi-heure, et il s'est complètement rétabli.* »

Analyse du cas

Le gilet ne nécessite pas de refroidissement préalable ni de chargement. Une fois pressé, un dispositif en forme de torche rouge libère un liquide dans les compartiments du gilet. Le fluide déclenche une **réaction chimique endothermique** sûre qui fait geler le liquide.

Qatar : évaluation du stress thermique subi par les ouvriers sur les chantiers

 **Principe de la technologie testée** : hybride. Gilet rafraîchissant à circulation d'air (ventilateur intégré), col amovible, ainsi que des poignets et des poches pouvant être plongés dans de l'eau fraîche afin d'accroître la dissipation de la chaleur (évaporation).

 **Conditions** : 40-45 °C, climat humide.

Durant l'été 2019, une importante campagne d'évaluation du stress thermique subi par les ouvriers, commandée par le gouvernement qatari et l'International Labour Organization (ILO), a été menée [2].

La campagne a porté sur **125 ouvriers** travaillant sur le chantier d'un stade destiné à accueillir des matchs de la Coupe du Monde 2022, pour un total de 5 500 heures de travail. Par ailleurs, les conditions de 40 travailleurs dans une petite exploitation agricole ont également été étudiées.

Ces recherches de terrain ont permis de recueillir des données sur des indicateurs environnementaux, de travail, physiologiques et perceptuels (psycholo-

giques/subjectifs) de différentes équipes de travail, dont une pilotée pendant la période normalement interdite (décision ministérielle n° 16 de 2007) de 11 h 30 à 15 heures.

Chacun des 125 travailleurs ayant participé à l'étude a testé quatre stratégies différentes :

- *Business as usual* (BAU) : travailler comme à l'accoutumée sans disposition particulière.
- *Hydration strategy* : une stratégie fondée sur l'hydratation, dans le cadre de laquelle les travailleurs se sont vu apporter de l'eau (au lieu de devoir marcher jusqu'au poste d'eau) et ont été invités à en boire 750 ml toutes les heures, du début à la fin de leur poste de travail. Cette consommation d'eau était complétée par une cuillère à soupe de sel afin d'éviter l'hyponatrémie. Les travailleurs ont été également aspergés d'eau sur le visage, le cou et les bras (s'ils portaient un t-shirt) afin d'augmenter le refroidissement par évaporation et de limiter le taux de déshydratation.
- *Clothing strategy* : une stratégie vestimentaire basée sur des vêtements légers et respirants ainsi que des vestes de refroidissement.
- *Work-rest ratio strategy* : ratio travail-repos, durant lequel les travailleurs sont incités à prendre une pause de dix minutes toutes les heures. Il est à noter que les résultats de cette stratégie étaient moins probants parmi les ouvriers en construction, en mesure de suivre leur propre rythme de travail, que parmi les travailleurs agricoles (n'ayant pas cette liberté dans ce contexte).

■ **Proportion (en pourcentages) de la période de travail passée à différents niveaux d'hyperthermie selon les stratégies testées**

Les données indiquent les pourcentages combinés de tous les travailleurs.

Stratégie	NIVEAUX D'HYPERTHERMIE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE CORPORELLE			
	Normothermie (36,5 à 37,4°C)	Hyperthermie limite (37,4 à 37,9°C)	Hyperthermie (38 à 38,4°C)	Hyperthermie élevée (≥ 38,5)
Travail standard	60 %	35 %	5 %	0 %
Stratégie d'hydratation	71 %	27 %	2 %	0 %
Stratégie vestimentaire	60 %	37 %	3 %	0 %
Ratio travail-repos	63 %	35 %	2 %	0 %
Moyenne	63 %	34 %	3 %	0 %

Source : ILO

Cette étude se présente comme la première et la plus poussée jamais effectuées dans la région du Golfe.



• Méthodologie de la stratégie vestimentaire

Dans le cadre de la stratégie vestimentaire, les travailleurs ont testé leurs vêtements habituels (combinaisons de couleur foncée), contre deux ensembles de combinaisons blanches (coton et mélange coton/polyester), une combinaison (maillot et pantalon) fabriquée à partir d'un matériau léger et respirant développé par le *Supreme Committee for Delivery and Legacy* (SC), et une veste de refroidissement avec des ventilateurs alimentés par des panneaux solaires.

Le document n'offre pas de précisions quant à la marque de la veste et sa disponibilité commerciale, toutefois le SC, organisme en charge du développement de ce produit, affirme travailler depuis 2018 avec le fournisseur britannique Techniche [2][6][7].


Avant le début du test, les travailleurs ont assisté à une démonstration sur la manière de maximiser l'utilisation des trois ensembles vestimentaires.


La combinaison du SC comportait également un col amovible, ainsi que des poignets et des poches pouvant être plongés dans de l'eau fraîche afin d'accroître la dissipation de la chaleur. Cependant, l'effet de tous les ensembles vestimentaires était souvent annulé par le port d'un tee-shirt ou d'un gilet sous le haut. Certains travailleurs ont déclaré avoir mouillé le col et les poignets de la combinaison SC au début du poste ou par intermittence pendant le poste, mais peu d'entre eux l'ont fait systématiquement tout au long du poste.

Analyse du cas

Le rapport conclut que la stratégie vestimentaire testée a été jugée « modérément acceptable ». Concrètement, **l'International Labour Organization ne recommande pas l'utilisation de la solution vestimentaire testée comme stratégie unique d'atténuation de la chaleur**. En effet, l'adoption des combinaisons blanches et des vêtements conçus par le SC apporte de meilleurs résultats lorsqu'ils sont combinés avec d'autres stratégies d'atténuation de la chaleur - plus efficaces - déjà mises en œuvre (à savoir l'évaluation du stress thermique professionnel OH par WBGT, la stratégie d'hydratation testée, ainsi que le plan global d'atténuation de la chaleur utilisé par le SC).

Qatar : construction du stade de Lusail

 **Principe de la technologie testée** : Hybride StayQool ou HyperKewl™ / CoolPax™ de Techniche : gilet rafraîchissant, bracelets, serviettes et cache-cols (évaporatifs) associés à des emplacements prévus pour insérer des plaques rafraîchissantes PCM).

 **Conditions** : 40 °C, climat humide.

Dans un communiqué de presse [6], le *Supreme Committee for Delivery and Legacy* (SC) a déclaré avoir passé « deux ans à étudier la meilleure façon d'utiliser divers produits de refroidissement ». Le Comité a par ailleurs annoncé que beaucoup de solutions n'étaient tout simplement pas adaptées à l'environnement du Qatar.

Dans une interview accordée au Time [7], Mahmoud Qutub, directeur du SC a déclaré : « Les vestes de refroidissement équipées de poches de glace étaient trop encombrantes ; le tissu mèche de haute technologie conçu pour les condi-

tions californiennes ne fonctionnait pas dans l'humidité élevée du Qatar, et les vêtements de sport de haute performance n'étaient pas assez robustes pour un chantier de construction. »

Selon le *Time*, le Comité a donc sollicité la société britannique Techniche pour développer une solution adaptée, en collaboration avec des scientifiques de l'université Hamad Bin Khalifa du Qatar.

La solution, baptisée « **StayQool** », utilise une étoffe en maille orange avec des matériaux à changement de phase pour absorber et retenir la chaleur corporelle, ainsi que des composants pouvant être plongés dans l'eau pour refroidir les points stratégiques du corps. Ces combinaisons auraient la possibilité de réduire la température de la peau des travailleurs de 6 à 8 °C.

Pour la construction du stade de Lusail en particulier, le SC a communiqué sur la distribution de 3 500 gilets de ce type à des monteurs d'acier, des charpentiers, des maçons, des contremaîtres, des échafaudeurs, des ouvriers d'entretien et des excavateurs [6]. Au total 55 000 combinaisons ont été distribuées aux ouvriers travaillant sur les chantiers de la Coupe du Monde 2022 [7].



© Techniche

▲ Veste rafraîchissante de sécurité haute visibilité.

Analyse du cas

À l'issue des tests, le SC a affirmé : « Les essais et le développement réalisés au cours de l'année écoulée ont montré que les gilets améliorent le confort du porteur, sa concentration et sa capacité à travailler efficacement dans des conditions de chaleur » [6].

La version commercialisée aujourd'hui de la combinaison revendique jusqu'à 15 °C de refroidissement, 50 lavages en machine jusqu'à 60 °C, et 5 à 10 heures de rafraîchissement au total.

France : étude de l'INRS

⚙️ **Principe de la technologie testée** : gilet rafraîchissant.

Des essais ont été réalisés par l'INRS sur l'efficacité d'un **gilet rafraîchissant par matériau à changement de phase « CryoVest Industry » (Cryo'Innov)** sur les astreintes cardiaque et thermique lors du travail à la chaleur¹⁰.

Cette étude a été effectuée en situation réelle de travail lors des opérations de maintenance réalisées habituellement par neuf salariés dans une entreprise de chauffage urbain. Elle s'est déroulée au dernier trimestre 2021 (deux demi-journées par salarié, espacées de 2 mois).

Deux conditions ont été évaluées pour chaque salarié, en respectant un ordre des tâches toujours identique.



© Cryo'Innov

▲ Gilet rafraîchissant par matériau à changement de phase « CryoVest Industry ».

¹⁰ Efficacité d'un gilet rafraîchissant sur les astreintes cardiaque et thermique lors du travail à la chaleur, TF 309, INRS.



- 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.

• Les points saillants de l'étude

Le gilet rafraîchissant apparaît comme un moyen de réduire les astreintes cardiaque et thermique des salariés, tout en améliorant leur confort.

C'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.

L'intérêt des vêtements rafraîchissants n'est toutefois pas d'augmenter l'efficacité d'un salarié pour produire davantage à durée de travail équivalente ou de prolonger la durée de son effort, mais bien de diminuer l'astreinte thermique et d'améliorer le confort de travail.

Analyse du cas

- Cette étude de l'INRS souligne que les personnes équipées 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, de vélo à bras ou jambes ou lors de protocoles combinant la marche puis le port de charges, ce qui laisse supposer que le gilet rafraîchissant permet de prolonger l'effort en conditions acceptables.
- Une autre étude publiée par le National Center of Biotechnology Information¹¹ et réalisée par Hasegawa H, Takatori T, Komura T, Yamasaki M. Wearing, intitulée « *A cooling jacket during exercise reduces thermal strain and improves endurance exercise performance in a warm environment* », donne aussi des résultats indiquant que la combinaison du port d'une veste rafraîchissante et de la consommation d'eau améliore les performances d'endurance à l'exercice dans un environnement chaud en raison d'une marge de température élargie avant que la température limite critique ne soit atteinte et également en raison d'une diminution de la tension thermorégulatrice et cardiovasculaire..

¹¹ 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 Feb ;19(1):122-8. doi: 10.1519/14503.1. PMID : 15707380.

Note L'entreprise Orano a opté pour des systèmes fondés sur des matériaux à changement de phase développés par Inuteq. Cette solution intègre des packs légers et ajustables, sans l'utilisation des gilets en tissu, minimisant ainsi les contraintes d'ergonomie et de maintenance. Orano a choisi deux niveaux de refroidissement : à 24 °C et à 29 °C, pour les premiers tests en cours (été 2024).



© Inuteq – Distribué par Distriface

▲ Système CoolOver d'Inuteq.

2.3.3. Quand et comment utiliser ces solutions ?

Les bonnes pratiques du monde sportif professionnel

Dans le monde du sport, les solutions de refroidissement disponibles incluent l'utilisation de gilets de glace, de serviettes froides, de boissons de glace pilée, de ventilateurs avec spray de brumisation et de bains de glace.

- Avant le match, les athlètes devraient commencer à se rafraîchir dès leur arrivée, avec des gilets de glace et des boissons de glace pilée, et continuer pendant l'échauffement avec des sprays de brumisation et des serviettes froides.
- Pendant le match, des pauses régulières pour boire et utiliser des gilets de glace et des ventilateurs sont recommandées, surtout pendant les pauses et la mi-temps.
- Après le match, des bains de glace et des protocoles de récupération doivent être utilisés pour aider à réduire la température corporelle et favoriser la récupération.

Les solutions de rafraîchissement peuvent donc se révéler efficaces à plusieurs étapes différentes, avant, pendant et après l'effort.



■ Stratégies de refroidissement avant et pendant un match de hockey sur gazon



Source : Precooling and percooling (cooling during exercise) both improve performance in the heat: a meta-analytical review, 2014

Note La Fifa¹² recommande qu'un indice WBGT situé entre 28 et 32 °C justifie des pauses fraîcheur à la 30^e minute et à la 75^e minute d'un match et qu'un WBGT supérieur à 32 °C entraîne le report de l'entraînement et des matchs.

¹² « Onze conseils pour faire face à la chaleur dans le football professionnel », Fifpro.

2.4. Évaluation de l'efficacité des solutions

Le WBGT est un indicateur essentiel pour mesurer l'efficacité des solutions de rafraîchissement (une référence internationale).

La température au thermomètre à globe mouillé (WBGT, en anglais *wet-bulb globe temperature*) et l'humidex sont deux indices couramment utilisés pour évaluer le niveau de stress thermique subi par le corps. L'humidex ne reflète pas de manière fiable les différences entre les environnements intérieurs et extérieurs ou entre le jour et la nuit. En revanche, le WBGT prend en compte le rayonnement solaire ainsi que la vitesse du vent et peut déterminer avec plus de précision l'augmentation du stress thermique ressenti lors d'un travail à l'extérieur sous le soleil.

La seule mesure de la température ne suffit pas à évaluer le niveau de « chaleur ». L'indice WBGT permet de déterminer la « température ressentie au-delà de celle de l'air » suivant l'indice de température au thermomètre à globe mouillé. Cet indice mesure le stress thermique en tenant compte de la température de l'air, de l'humidité, de la vitesse du vent et du rayonnement solaire.

L'utilisation de l'instrument de mesure WBGT est conseillée pour tenir compte de ces paramètres et faciliter les prises de décision. Il est utilisé au Canada, en Belgique et dans bien d'autres pays. Pour des « Consignes à appliquer suivant l'exposition à l'effort et les vêtements portés », se référer à l'annexe 2 du guide de préconisations *Fortes chaleurs et effets caniculaires sur les chantiers* de l'OPPBTB.

Le WBGT, conforme à la norme ISO 7243 sur les ambiances chaudes, est calculé en combinant trois mesures :

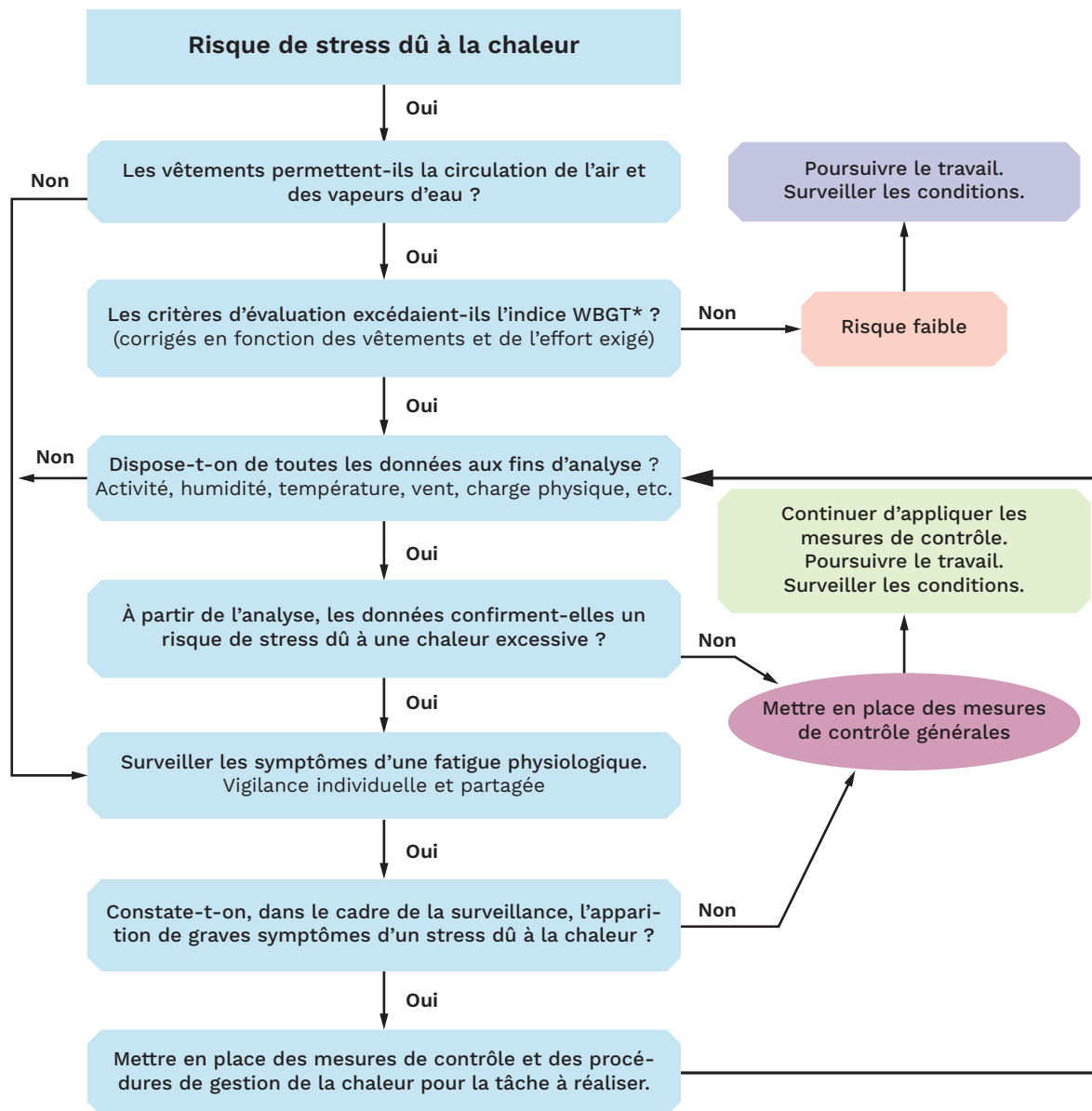
- **Température au thermomètre mouillé (T_{mw})** : elle mesure l'effet de l'humidité sur l'évaporation et donne une indication de la capacité du corps à se refroidir par la transpiration.
- **Température au globe noir (T_g)** : elle prend en compte l'effet de la radiation solaire en mesurant la chaleur absorbée par un thermomètre placé à l'intérieur d'un globe noir.
- **Température de l'air (T_a)** : elle représente la température ambiante de l'air.



▲ Modèle d'appareil de mesure de l'indice WBGT.



■ Proposition d'une démarche d'aide à la décision et à l'évaluation du risque afin de prévenir le stress dû à la chaleur – basé sur le WBGT



* Valeurs limites WBGT observées dans certains pays (source : Eurogip [46])

Pays	Valeur limite °C WBGT	Commentaires	Pays	Valeur limite °C WBGT	Commentaires
Afrique du Sud	30		Minnesota (USA)	30	Travail léger
Qatar	32,1			26,6	Travail modéré
Grèce	29,5			25	Travail lourd
Belgique	29	Travail léger	Japon	33	Situation de repos
	26	Travail modéré		30	Travail léger
	22	Travail lourd		28	Travail modéré
	18	Travail très lourd		26	Travail lourd
			25	Travail très lourd	
			Canada	30	Travail léger
				26,5	Travail modéré

3. SYNTHÈSE DES RÉSULTATS DES TESTS ET RECOMMANDATIONS

Les solutions de rafraîchissement fondées sur les technologies précitées dans cette étude, à condition de s'inscrire au sein d'une stratégie globale de gestion du stress thermique, peuvent être viables pour une utilisation par les salariés du BTP. Cette utilisation peut avoir deux objectifs spécifiques :

- réduire les risques de santé liés à l'exposition aux fortes chaleurs ;
- améliorer les conditions de travail et les performances des salariés.

Toutefois, pour que ces deux objectifs puissent être remplis, il est crucial de l'implémenter dans le cadre d'un système global de gestion de la chaleur. Il est donc nécessaire que :

- la solution de rafraîchissement portable vienne **en complément d'une stratégie globale** comprenant : hydratation et sels minéraux, présence de zones ombragées ou de rafraîchissements, pauses récurrentes, liberté d'autorégulation (pour améliorer l'adaptation des travailleurs et leur permettre de se soustraire à des situations dangereuses ainsi que de contrôler leur niveau de fatigue) ;
- la solution de rafraîchissement soit **adaptée aux conditions climatiques de l'environnement de travail** (par exemple, les gilets évaporatifs fonctionnent de manière moins optimale dans des environnements humides) ;
- la solution de rafraîchissement soit **adaptée au métier de l'utilisateur final, ainsi qu'aux équipements EPI** qu'il doit porter (par exemple, une solution à air comprimé limite la mobilité en raison de la nécessité de la maintenir reliée à une source d'air) ;
- les utilisateurs finaux soient **formés à l'utilisation des solutions et sensibilisés aux gestes systématiques** à réaliser pour maintenir l'effet de rafraîchissement durant les heures de travail (par exemple, certains travailleurs ont déclaré avoir mouillé le col et les poignets de la combinaison Technique au début du poste ou par intermittence pendant le poste, mais peu d'entre eux l'ont fait systématiquement tout au long du poste [2]) ;
- la **dimension confort** ne soit pas négligée dans le choix d'une solution : une solution contraignante et non confortable réduit son utilisation réelle et son efficacité. D'où l'importance d'associer les salariés au choix de la solution ;
- le vêtement ou la solution portée renvoie une **image « valorisante »** : le facteur d'image est important à prendre en compte pour que le port et l'utilisation optimale de la solution puissent être maximisés.



En ce qui concerne la solution elle-même, le choix doit s'appuyer sur les facteurs suivants :

- chaque gilet rafraîchissant peut être caractérisé par sa puissance de refroidissement maximale, sa capacité de refroidissement et le temps après lequel la puissance de refroidissement devient négligeable ;
- son mode de rechargement ;
- son encombrement ;
- les tailles disponibles ;
- doit-il être porté sous un EPI, ou l'évaporation peut-elle se faire à l'air libre ?
- la ventilation est-elle active ou passive ? Une ventilation active est source de panne, mais généralement plus puissante ; une ventilation passive refroidit moins, mais sans risque de panne.

■ Analyse des solutions de rafraîchissement adoptées par les salariés du BTP

ATOUPS	FAIBLESSES
<p>Réduction de la température du corps et de la peau.</p> <p>Amélioration du confort.</p> <p>Prolongation de la tolérance au travail dans les environnements chauds.</p> <p>Mise à disposition de plusieurs types de solutions et technologies ce qui permet de répondre à différents besoins et conditions.</p> <p>Certaines solutions sont réutilisables et rechargeables.</p> <p>Amélioration des conditions de travail et de la productivité.</p>	<p>Limite d'utilisation dans le temps de certaines solutions.</p> <p>Limite la mobilité pour certaines solutions.</p> <p>Poids et encombrement de certaines solutions.</p> <p>Efficacité des solutions de refroidissement par évaporation considérablement réduite dans des conditions d'humidité élevée.</p>
MENACES	OPPORTUNITÉS
<p>Coût initial élevé de certaines solutions.</p> <p>Nécessite une formation/sensibilisation à l'usage de la solution pour un fonctionnement optimal.</p> <p>Comportement à l'usage : incertitudes quant aux performances et à la durée de vie.</p> <p>Esthétique : problématique de non-port dû à l'image.</p> <p>Inconfort de certaines solutions.</p> <p>Absence notable de réglementation, de normes et de méthodes standardisées pour évaluer l'efficacité des solutions.</p>	<p>Développement de nouvelles technologies telles que les systèmes de refroidissement hybrides, pourrait offrir des solutions plus efficaces.</p> <p>Efficacité améliorée si combiné avec des formations ainsi que des méthodes de « pre-cooling ».</p> <p>Environnement normatif en cours d'évolution.</p> <p>Certification spécifique et adaptée à ces nouveaux produits.</p>

En conclusion et à la lumière de l'état de l'art mentionné dans ce rapport, les solutions de rafraîchissement éprouvées à grande échelle sont principalement des solutions reposant sur la ventilation, l'évaporation et les matériaux à changement de phase.

■ **Tableau 5 : avantages et inconvénients de chaque technologie**

TECHNOLOGIE	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
Matériaux à changement de phase (PCM)	Refroidissement prolongé et stable. Réutilisable et rechargeable. Pas besoin d'énergie externe, coût relativement faible. Utilisateur et vêtement de travail restent relativement secs.	Peut être lourd et encombrant. Nécessité de s'organiser pour la recharge (l'accès à un congélateur ou à une unité de réfrigération). Ne peut pas être porté directement en contact avec la peau.
Évaporation d'eau	Simple, léger, peu coûteux, facile à utiliser.	Efficacité limitée en haute humidité, durée de refroidissement courte. Vêtements de travail humides (pour certaines solutions).
Circulation d'air/ventilation	Efficace, améliore l'évaporation (synergies), bon pour environnements secs.	Nécessite une source d'air et d'énergie, encombrement, complexité d'utilisation, problèmes de mobilité.



▼ CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les résultats des études, dans l'ensemble, apparaissent prometteurs dans une perspective de promouvoir le port d'un gilet rafraîchissant pour prévenir les fortes chaleurs, améliorer les conditions de travail ainsi que la performance. Les solutions rafraîchissantes individuelles ne peuvent toutefois être considérées comme l'unique solution pour réduire les contraintes thermiques des salariés, même si elles y contribuent. En effet, une analyse approfondie est à mener en amont, à la recherche de pistes de solutions organisationnelles et collectives pour agir prioritairement sur les causes.

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 genre et en âge de travailler dans ces conditions ;
- de **mener des études croisées, en laboratoire et sur le terrain**, afin de mieux contrôler les différents paramètres d'ambiance thermique et de charge physique avec les différentes technologies rafraîchissantes dans les conditions réelles d'utilisation ;
- de **prendre en compte les spécificités climatiques de la France métropolitaine et d'outre-mer** (température humide) ;
- d'**élaborer, enfin, une norme avec une méthode d'essais spécifique aux vêtements rafraîchissants**. Une certification permettrait de rassurer l'utilisateur sur les allégations du fabricant et ses revendications (durée de rafraîchissement, delta T, compatibilité avec les autres EPI...).

📖 BIBLIOGRAPHIE

- [1] « Cooling Vest Keeps Paint Booth Workers Safe and comfortable », Case Study, Vortec, (consulté au 21 juillet 2024) : www.vortec.com.
- [2] « Assessment of occupational heat strain and mitigation strategies in Qatar », ILO Project office for the State of Qatar, Summary of key findings from a report prepared by the Fame Laboratory (University of Thessaly) for the International Labour Organization, the Qatar Ministry of Administrative Development, Labour and Social Affairs, and the Supreme Committee for Delivery and Legacy, 2019 : www.academia.edu.
- [3] Motahareh Mokhtari Yazdi & Mohammad Sheikhzadeh (2014), « Personal cooling garments: a review », The Journal of The Textile Institute, 105:12, 1231-1250, DOI: 10.1080/00405000.2014.895088.
- [4] ANSI/ASSP A10.50-2024 Standard for Heat Stress Management In Construction and Demolition Operations.
- [5] Gilets de refroidissement par évaporation KyperKewl™ / CoolPax™, www.techniche-europe.com.
- [6] « Thousands of state of the art cooling vests to workers building stadiums for the 2022 Fifa World Cup », www.techniche-intl.com.
- [7] « How Qatar's New Cool-Tech Gear Helps Workers in Extreme Heat », Time, 2022: <https://time.com>.
- [8] The project – Workclimate 2.0 – Extreme temperatures and impacts on occupational health, safety and productivity: intervention strategies, information, training and technological solutions (consulté le 25 juillet 2024), <https://www.workclimate.it>.
- [9] Progetto Workclimate - Obiettivo Operativo 3 (O3) - Individuazione e sviluppo di soluzioni organizzative e procedure operative - Report attività 3.1 (2022).
- [10] Progetto Workclimate - Obiettivo Operativo 4 (O4) - Sviluppo di un sistema di allerta da caldo, integrato meteo-climatico ed epidemiologico, specifico per il settore occupazionale e studio di fattibilità di un sistema di allerta da freddo - Report attività 4.4 (A 4.4) - Studio di fattibilità di un sistema di allerta da freddo per il settore occupazionale. (2022).
- [11] Dorman, S.C. & Lessel, C. (2024, May). « Heat Stress: Awareness Guide » (Eds. Gagnon, D. & Kanya-Forstner, M.). Centre for Research in Occupational Safety and Health (CROSH): Sudbury, Ontario.
- [12] « Criteria for a Recommended Standard Occupational Exposure to Heat and Hot Environments ».
- [13] « Validation of a cooling vest's usability matrix for deep and ultra-deep mining environments », 2019.
- [14] « Validation of ergonomic criteria of a cooling vest for deep and ultra-deep mining », *International Journal of Industrial Ergonomics*, <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.102980>; 2020.
- [15] Choi, H. & Yeom, S. (2017). « The Hybrid Personal Cooling System (PCS) Could Effectively Reduce the Heat Strain While Exercising in a Hot and Moderate Humid Environment », *Journal of Thermal Biology*, 66, pp. 59-68.



- [16] Wu, T., Gao, C., & Wang, F. (2017). « Analytical Model for Thermoregulation of the Human Body in Contact with a Phase Change Material (PCM) Cooling Vest », *International Journal of Thermophysics*, 38(3), Article 41.
- [17] Parsons, K. (2014). « Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort, and Performance ». 3rd ed. CRC Press.
- [18] NIOSH (2016). « Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Heat and Hot Environments ». U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health.
- [19] McCullough, E.A., & Eckels, S. (2009). « Performance Evaluation of Cooling Vests for Protecting Workers in Hot Environments », *Applied Ergonomics*, 40(4), pp. 581-589.
- [20] Safety and Comfort for Foundry Workers, www.vortec.com.
- [21] Body Cooling Under Pressure Protective Equipment, www.vortec.com.
- [22] Testing the Isotherm Cool Vest in the Texas Heat! – Dustless Blasting, <https://www.youtube.com>.
- [23] Experimental and numerical performance evaluation of a cooling vest subtending phase change material under the extremely hot and humid environment, 2021.
- [24] The fan cooling vest use reduces thermal and perceptual strain during outdoor exercise in the heat on a sunny summer day, 2024.
- [25] A potential wearable solution for preventing heat strain in workplaces: The cooling effect and the total evaporative resistance of a ventilation jacket, 2022.
- [26] Two isothermal challenges yield comparable physiological and subjective responses, 2020.
- [27] Ventilated Vest and Tolerance for Intermittent Exercise in Hot, Dry Conditions With Military Clothing, 2009.
- [28] Heat Stress Reduction of Helicopter Crew Wearing a Ventilated Vest, 2006.
- [29] Cooling Effects of Wearer-Controlled Vaporization for Extravehicular Activity, 2017.
- [30] Comfort and performance improvement through the use of cooling vests for construction workers, 2022.
- [31] The hybrid personal cooling system (PCS) could effectively reduce the heat strain while exercising in a hot and moderate humid environment, 2015.
- [32] Analytical Model for Thermoregulation of the Human Body in Contact with a Phase Change Material (PCM) Cooling Vest, 2022.
- [33] Precooling and percooling (cooling during exercise) both improve performance in the heat: a meta-analytical review, 2014.
- [34] Ice Cooling Vest on Tolerance for Exercise under Uncompensable Heat Stress, 2011.
- [35] Cooling vest worn during active warm-up improves 5-km run performance in the heat, 2004.
- [36] Effect of sportswear on performance and physiological heat strain during prolonged running in moderately hot conditions, 2023.

- [37] Cooling efficiency of vests with different cooling concepts over 8-hour trials, 2021.
- [38] A potential wearable solution for preventing heat strain in workplaces: The cooling effect and the total evaporative resistance of a ventilation jacket, 2022.
- [39] Governmental Guidelines - Governmental Notice on Combat Heatstroke at work, Division of Industrial Health, Labour Standards Bureau, 2023. Traduit et obtenu via *Prevention of Heat-related illnesses at work in Japan*, Seichi Horie, University of Occupational and Environmental Health, Japan, 2023.
- [40] « The fan cooling vest use reduces thermal and perceptual strain during outdoor exercise in the heat on a sunny summer day », Hidenori Otani, Takayuki Goto, Yuki Kobayashi, Heita Goto, Yuri Hosokawa, Ken Tokizawa & Minayuki Shirato, 2024.
- [41] « The Psychological and Physiological Effects of Air-Conditioned Wear and Other Functions on Construction Workers », Keita Yamazaki, 2018.
- [42] « Watch: Cooling vest saves Dubai workers from heat stroke », The National News, 2017.
- [43] « British invention set to save hundreds of lives at the Hajj pilgrimage », International Hospital & Equipement, 2020.
- [44] « Efficacité d'un gilet rafraîchissant sur les astreintes cardiaque et thermique lors du travail à la chaleur », B. Pierret, E. Turpin-Legendre, L. Claudon, B. Adam, département Homme au travail, et A. Aublet-Cuvelier, direction des Études et recherches, INRS.
- [45] « Le stress thermique dans les lieux de travail », www.canada.ca/fr
- [46] « Travail par forte chaleur et canicule : quelles législations et actions de prévention à l'international ? », rapport d'Eurogip, eurogip.fr.

ANNEXES

ANNEXE 1

Rétroplanning sur la prévention des risques liés aux fortes chaleurs

ANNEXE 2

Point sur la réglementation française (fortes chaleurs)

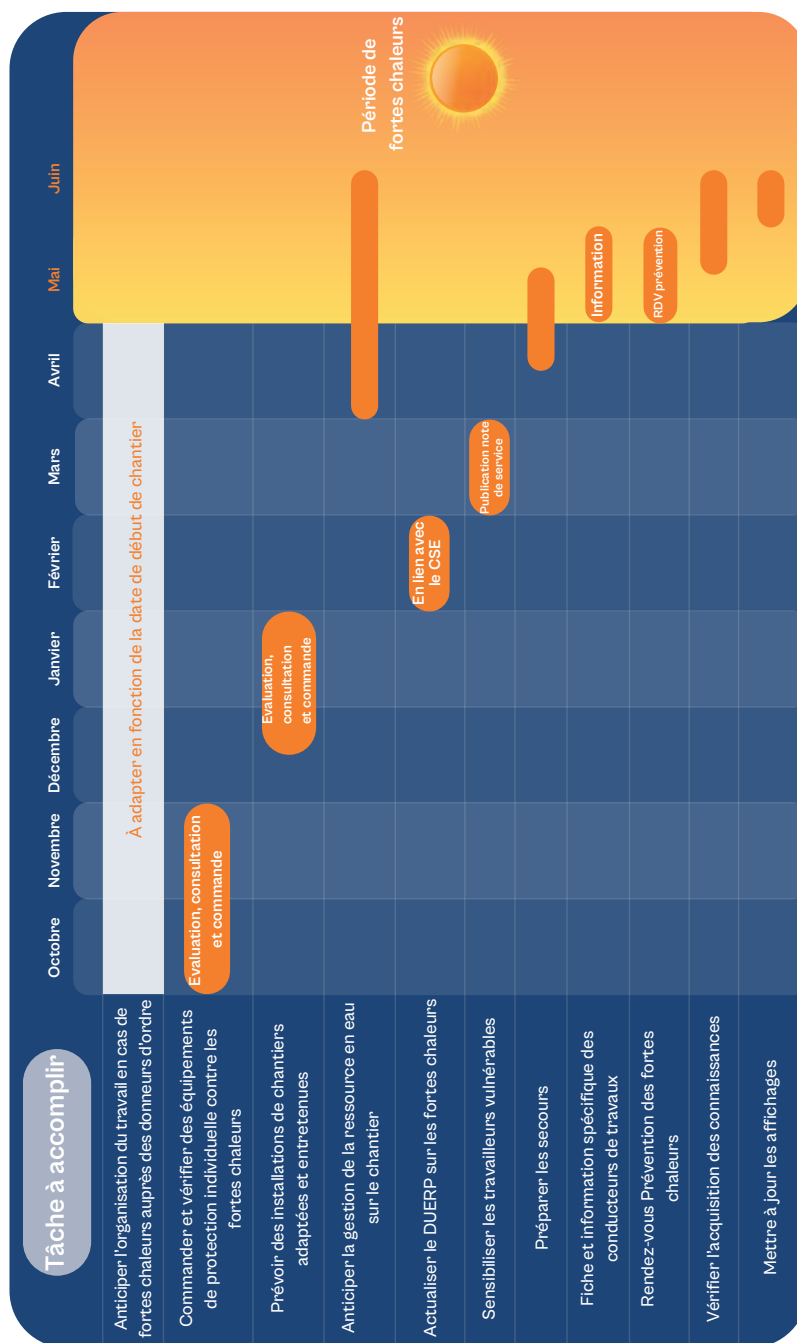
ANNEXE 3

Tarifs d'une sélection d'équipements rafraîchissants

Annexe 1

Rétroplanning sur la prévention des risques liés aux fortes chaleurs

Le ministère du Travail, la FNTP, l'OPPBT, la Cnam et l'INRS ont élaboré un rétroplanning de la prévention des risques liés aux fortes chaleurs pour aider les entreprises à anticiper la période des fortes chaleurs tout au long de l'année.





Annexe 2

Point sur la réglementation française (fortes chaleurs)

- Il est interdit de réaliser des travaux temporaires en hauteur lorsque les **conditions météorologiques** ou liées à l'environnement du poste de travail sont **susceptibles de compromettre la santé et la sécurité des travailleurs**. ([Article R4323-68 du Code du travail](#))
- Les équipements des postes de travail ne doivent pas produire un **surcroît de chaleur** susceptible de constituer une gêne pour les travailleurs. ([Article R4542-12 du Code du travail](#))
- Lorsque des conditions particulières de travail conduisent les travailleurs à **se désaltérer fréquemment**, l'employeur met gratuitement à leur disposition au moins une boisson non alcoolisée.
La liste des postes de travail concernés est établie par l'employeur, après avis du médecin du travail et du comité social et économique [...]. ([Article R4225-3 du Code du travail](#))
- L'employeur met à la disposition des travailleurs de **l'eau potable et fraîche** pour la boisson, à raison de trois litres au moins par jour et par travailleur.
Les conventions collectives nationales prévoient les situations de travail, **notamment climatiques**, pour lesquelles des boissons chaudes non alcoolisées sont mises gratuitement à la disposition des travailleurs. ([Article R4534-143 du Code du travail](#))
- Sont considérées comme intempéries les **conditions atmosphériques** et les inondations lorsqu'elles rendent dangereux ou impossible l'accomplissement du travail eu égard soit à la santé soit à la sécurité des salariés. ([Article L5424-8 du Code du travail](#))
- Sont considérées comme des conditions atmosphériques au sens de l'article L5424-8 les périodes de **canicule**, de neige, de gel, de verglas, de pluie et de vent fort [...]. ([Article D5424-7-1 du Code du travail](#))

Annexe 3

Tarifs d'une sélection d'équipements rafraîchissants

Les prix des produits sont donnés à titre indicatif et peuvent varier selon les conditions du marché. Pour obtenir des informations précises ou une offre personnalisée, nous vous invitons à contacter directement le fabricant.

Gilets rafraîchissants



▲ Gilet rafraîchissant CV01
- Portwest -
www.portwest.com
Environ 47 €



▲ Veste rafraîchissante
Hyperkewl - Technique -
www.technicefrance.com
Environ 100 €



▲ Gilet avec pack de
refroidissement -
G-Heat -
<https://en.g-heat.com>
Environ 150 €



▲ Veste rafraîchissante
Coolpax changement de
phase - Technique -
www.technicefrance.com
Environ 250 €



Gilets haute visibilité rafraîchissants



▲ Chasuble rafraîchissante
– G-Heat –
www.g-heat.com
Environ 50 €



▲ Gilet HV rafraîchissant
CV02 – Portwest
<https://portwest.com>
Environ 60 €



▲ Gilet de rafraîchissement
CV09 - Portwest
<https://portwest.com/>
Environ 75 €



▲ Veste rafraîchissante de
sécurité haute visibilité –
Techniche –
www.technichefrance.com
Environ 105 €

Gilet haute visibilité ventilé



▲ Blouson ventilé CXT® / LXT®
Makita
www.makita.fr
Environ 190 €

Accessoires casques



▲ Sommet de tête rafraîchissant avec protège-nuque (UPF 50+) - MSA Safety - <https://fr.msasafety.com>
Environ 35 €



▲ Sommet de tête rafraîchissant V-Gard pour casques - MSA Safety - <https://fr.msasafety.com>
Environ 34 €



Autres accessoires rafraîchissants



▲ Bandeau rafraîchissant
CV05 – Portwest –
www.echaf-equipement.com
Environ 7 €



▲ S904 - Bandana Mesh Air
Pro – Portwest -
www.portwest.com
Environ 12 €



▲ Casquette protège-nuque
– Technique
www.technicefrance.com
Environ 44 €



▲ Casquette saharienne
Anti UV – G-Heat
www.g-heat.com
Environ 30 €

L'OPPBTB met à jour, dès que cela s'avère nécessaire, les documents mis à la disposition du public sur son site internet preventionbtp.fr. Néanmoins, certains d'entre eux peuvent être téléchargés et republiés par des sites tiers. Lorsque vous utilisez ces documents portant le logo OPPBTB, nous vous invitons à vérifier qu'ils constituent la dernière version à jour, l'OPPBTB n'étant pas responsable de l'utilisation qui peut être faite de documents obsolètes.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'OPPBTB est illicite. Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction, par un art ou un procédé quelconque (article L. 122 du Code de la propriété intellectuelle). Cette représentation ou reproduction par quelque procédé que ce soit constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

© OPPBTB 2024

Réalisation : Sciences & Co

Crédits photos : DR - OPPBTB

Illustrations : Sciences&co

Les vagues de chaleur, dont la fréquence et l'intensité augmentent avec le changement climatique, constituent un enjeu majeur pour la sécurité et la santé des travailleurs, en particulier dans le secteur du BTP. Pour répondre à ce défi, des actions organisationnelles, collectives et individuelles doivent être mises en place afin de protéger les salariés des risques liés à la canicule.

Comme pour tout type de risque et conformément aux principes généraux de prévention, les équipements de protection individuelle (EPI) sont destinés à protéger les travailleurs contre un ou plusieurs risques professionnels. Leur utilisation n'est envisagée qu'en complément des autres mesures organisationnelles et collectives.

C'est à partir de l'évaluation des risques menée dans l'entreprise que doivent être engagées la réflexion relative à l'utilisation des EPI et l'adaptation de ces derniers aux fortes chaleurs.

Ce rapport d'étude présente un panorama multisecteurs des équipements et des solutions de rafraîchissement disponibles sur le marché. Vous y trouverez une synthèse des technologies innovantes, telles que les gilets rafraîchissants par évaporation ou par changement de phase, ainsi qu'un état des lieux des équipements testés dans des conditions réelles d'utilisation.

Dans ce contexte, l'OPPBTB propose un panorama international des équipements rafraîchissants et notamment une sélection des différentes technologies de refroidissement pour prévenir le stress thermique. Une analyse comparative sur plusieurs secteurs (métallurgie, militaire, sport, pétrolier...) et sur plusieurs régions géographiques (Canada, Japon, Asie, Moyen-Orient...) a été réalisée.

OPPBTB

Organisme Professionnel de Prévention
du Bâtiment et des Travaux Publics

**Retrouvez toutes les publications sur
preventionbtp.fr**

