



Le stress thermique sur le lieu de travail : Repenser le confort comme un facteur de sécurité mesurable

Comment les nouvelles données, les méthodes d'essai et l'évolution des normes modifient la manière dont les EPI sont évalués

tyvek.fr/apx



Introduction

« Le stress thermique n'est plus une simple question de confort : c'est un risque croissant pour la sécurité. »

*affirme Chloé Caux-Wetherell,
responsable marketing EMEA chez
DuPont Personal Protection.*



Le stress thermique est un risque croissant sur le lieu de travail. La hausse des températures mondiales, la multiplication des vagues de chaleur et les environnements physiquement exigeants signifient que les travailleurs sont de plus en plus exposés à une chaleur excessive au cours de leurs tâches quotidiennes. Partout en Europe, une part importante de la main-d'œuvre déclare désormais travailler dans des conditions de forte chaleur, ce qui montre qu'il ne s'agit plus d'un problème marginal, mais d'un enjeu de sécurité généralisé¹.

Les organismes de réglementation et les experts en santé mettent également davantage l'accent sur le bien-être des travailleurs. Plusieurs pays adoptent des décrets, et il est de plus en plus demandé d'étayer les allégations relatives au confort par des données.

Outre l'inconfort qu'il provoque, le stress thermique a des conséquences plus graves. Lorsque le corps peine à réguler sa température, l'effort physique augmente, la concentration diminue et la prise de décision s'en trouve altérée. Dans les environnements où la sécurité est cruciale, cela peut entraîner des erreurs et des manquements aux règles. Les travailleurs peuvent même privilégier le confort au détriment de la protection en adoptant des pratiques vestimentaires dangereuses, ce qui crée un risque majeur pour la sécurité².

Pour les professionnels de la santé et de la sécurité, cela représente un défi complexe : comment protéger les travailleurs contre les expositions dangereuses tout en gérant les risques physiologiques liés à la chaleur.

La gestion du stress thermique se concentre actuellement sur les contrôles environnementaux et les pratiques de travail, plutôt que sur les équipements de protection individuelle (EPI). Cependant, ce que portent les travailleurs peut influencer de manière significative la façon dont leur corps réagit à la chaleur³.

Ce guide électronique explique comment, lorsque le confort est traité scientifiquement comme un facteur mesurable, il devient un outil puissant pour l'évolution et l'évaluation des vêtements de protection qui peuvent améliorer à la fois la sécurité et la performance.

1. Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail (EU-OSHA). Heat at work: preventing illness and protecting workers.

<https://osha.europa.eu/en/highlights/heat-work-preventing-illness-and-protecting-workers>

2. Kjellstrom, T. et al. (2016). Impact of heat on labour productivity and occupational health and safety <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20007118/>

3. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). PPE Heat Burden.. <https://www.cdc.gov/niosh/heat-stress/recommendations/ppe.html>

Résumé



1. Qu'est-ce que le stress thermique – et pourquoi affecte-t-il la sécurité ?

Selon Aldjia Begriche, responsable technique mondiale chez DuPont Personal Protection :

« Le stress thermique ne rend pas seulement le travail plus inconfortable – il compromet la capacité à travailler en toute sécurité. »



Le stress thermique survient lorsque le corps est incapable de maintenir une température interne stable. Dans des conditions normales, le corps régule la chaleur grâce à une combinaison de transpiration et d'évaporation. Lorsque la sueur s'évapore de la peau, elle évacue la chaleur et aide à maintenir la température corporelle centrale dans une fourchette sûre.

Cependant, dans les environnements chauds – ou lorsque l'on porte des vêtements de protection qui limitent la dissipation de la chaleur – ce processus de refroidissement naturel devient moins efficace. La chaleur commence à s'accumuler dans le corps, ce qui augmente les contraintes physiologiques. La température centrale augmente, le rythme cardiaque s'accélère et la déshydratation peut s'installer⁴. Au fil du temps, cela peut entraîner un épuisement dû à la chaleur ou des maladies plus graves liées à la chaleur.

Il est important de noter que les effets ne se limitent pas à l'inconfort physique. Le stress thermique a un impact direct sur les performances cognitives. Des études montrent que les travailleurs exposés à une chaleur intense présentent une baisse de concentration, des temps de réaction plus lents et une altération de la prise de décision. Le stress thermique a également été associé à une réduction de la productivité et à une probabilité accrue d'erreurs et d'incidents⁵.

Dans les environnements à haut risque, cela pose un sérieux problème de sécurité. Le stress thermique ne rend pas seulement le travail plus difficile, il le rend moins sûr.

Reconnaître le stress thermique – 5 signes clés

- ✓ Vertiges ou confusion
- ✓ Transpiration excessive (ou absence de transpiration)
- ✓ Fatigue ou faiblesse
- ✓ Nausées
- ✓ Accélération du rythme cardiaque

Que faire : Cessez immédiatement le travail, rendez-vous dans un endroit plus frais, hydratez-vous et retirez votre EPI en toute sécurité si nécessaire. Consultez un médecin si les symptômes persistent.

⁴. Health and Safety Executive (HSE). Symptoms of heat stress.

<https://www.hse.gov.uk/temperature/employer/heat-stress.htm#symptoms>

⁵. Kjellstrom, T. et al. (2016). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20007118/>

2. EPI : Une partie du problème – et de la solution

« Lorsque l'EPI est perçu comme trop chaud ou contraignant, les travailleurs peuvent privilégier le confort au détriment de la protection, ce qui crée un risque grave pour la sécurité. »

explique Aldjia Begriche.

Sur le lieu de travail, le stress thermique est généralement géré par des mesures environnementales et comportementales : adapter les horaires de travail, augmenter les pauses ou encourager l'hydratation. Bien que ces mesures soient importantes, elles s'attaquent en grande partie aux symptômes plutôt qu'à la cause sous-jacente.

Un facteur essentiel est souvent sous-estimé : le rôle des équipements de protection individuelle. Les EPI sont essentiels pour protéger les travailleurs contre les risques chimiques, biologiques et mécaniques. Cependant, ils peuvent également augmenter la charge thermique. Les vêtements de protection peuvent restreindre la circulation de l'air, limiter l'évaporation de l'humidité et retenir la chaleur près du corps⁶. En conséquence, les travailleurs ressentent un inconfort et une fatigue physiologique accrus. Cela peut avoir de graves conséquences. Lorsque l'EPI est perçu comme inconfortable, les travailleurs peuvent en réduire la durée de port, modifier ou ajuster les vêtements de manière incorrecte, ou retirer complètement certaines couches, ce qui compromet la protection et augmente les risques.

Il est temps de repenser la conception et l'évaluation des vêtements de protection, notamment en ce qui concerne la respirabilité et la gestion de l'humidité, afin qu'ils favorisent la thermorégulation plutôt que de l'entraver.

C'est là qu'une approche plus scientifique et mesurable du confort devient essentielle.

6. NIOSH. <https://www.cdc.gov/niosh/heat-stress/recommendations/ppe.html>

3. Mesurer le confort des EPI

« Le confort n'est plus une question de perception. C'est un paramètre de performance mesurable. »

Historiquement, le confort des équipements de protection individuelle a été évalué de manière subjective, sur la base des commentaires des utilisateurs tels que « trop chaud » ou « inconfortable ». Bien que ces commentaires restent précieux, ils ne constituent pas une base cohérente ou comparable pour évaluer les performances des EPI.

Les progrès de la science des matériaux et des méthodes d'essai offrent de nouvelles possibilités de quantifier le confort à l'aide de paramètres objectifs. En particulier, le secteur s'oriente vers l'évaluation de l'efficacité avec laquelle un matériau favorise le transfert de chaleur et d'humidité – des facteurs clés pour le maintien de l'équilibre thermique.

Les organismes de réglementation commencent également à s'intéresser au contrôle et à l'évaluation du risque de stress thermique. Dans certaines régions, notamment l'EMEA, on attend de plus en plus que les allégations de confort soient étayées par des données mesurables et des normes d'essai reconnues, telles que la norme ISO 11092 (Textiles — Effets physiologiques — Mesure de la résistance thermique et de la résistance à la vapeur d'eau en régime stationnaire). Cette méthode permet de tester le matériau à l'aide d'une plaque chauffante protégée contre la transpiration. Pour l'analyse de la valeur Ret* d'un ensemble vestimentaire complet, un mannequin thermique à forme humaine est équipé de systèmes de transpiration, de capteurs de température et/ou de capteurs de flux thermique. À l'heure actuelle, la norme ASTM F2370 (2016) est la seule qui traite de la mesure de la résistance à l'évaporation des vêtements à l'aide d'un mannequin qui transpire.

Cela permet aux professionnels de la santé et de la sécurité de comparer la respirabilité des vêtements sur une base comparable et de prendre des décisions plus éclairées. En d'autres termes, le confort évolue d'une perception subjective vers un paramètre de performance mesurable - qui peut être spécifié, testé et validé.

*Résistance au transfert de chaleur par évaporation

4. Comprendre la respirabilité des EPI

La respirabilité est un facteur essentiel dans la gestion du stress thermique. Dans le contexte des vêtements de protection, elle désigne la capacité d'un matériau à laisser s'évacuer la chaleur et l'humidité, en particulier la vapeur d'eau issue de la transpiration.

Lorsque la respirabilité est faible, la sueur s'accumule sur la peau et l'évaporation est limitée. Cela limite la capacité du corps à dissiper la chaleur, augmentant ainsi la contrainte thermique et l'inconfort. À l'inverse, les matériaux plus respirants favorisent un transfert d'humidité plus efficace, contribuant ainsi à réguler la température corporelle et à réduire le stress physiologique lors d'un port prolongé.

Afin de permettre une comparaison objective, la respirabilité est évaluée à l'aide de méthodes de laboratoire normalisées. L'un des indicateurs les plus importants est la résistance à la vapeur d'eau (ou Ret, Water Vapour Resistance), qui quantifie la résistance d'un matériau au passage de la vapeur d'eau. Les référentiels industriels utilisent des tests basés sur le Ret pour classer ou évaluer la respirabilité, notamment en identifiant les matériaux à très faible résistance comme étant extrêmement respirants. Ces matériaux offrent une très faible résistance au transfert d'humidité, favorisant activement la thermorégulation et contribuant à réduire le stress thermique.

Le Ret est fondamentalement différent de la perméabilité à l'air ; un matériau peut laisser passer l'air tout en retenant la vapeur d'eau sous l'effet de gradients de pression et de température.⁷

« La respirabilité détermine l'efficacité avec laquelle le corps peut réguler la chaleur, ce qui en fait un facteur essentiel dans la gestion du stress thermique. »

7. Adámek, K.; Havelka, A.; Kůs, Z.; Mazari, A. (2023) The Correlation between Air and Water Vapour Permeability of Textiles.

<https://doi.org/10.3390/coatings13010163>



4. COMPRENDRE LA RESPIRABILITÉ DES EPI

Il est important de noter que la classification Ret permet aux professionnels de la sécurité de comparer la respirabilité des matériaux sur la base de performances mesurables. Cependant, définir la respirabilité n'est qu'une partie du défi. Dans le domaine des vêtements de protection chimique, par exemple, les matériaux doivent également offrir des performances de barrière et une durabilité fiables. Historiquement, l'amélioration de la respirabilité a souvent impliqué une réduction de la protection ; à l'inverse, le renforcement de la protection a limité la capacité de la chaleur et de l'humidité à s'évacuer.

Cela soulève une question fondamentale tant pour les professionnels de la sécurité que pour les fabricants : **comment améliorer la respirabilité sans compromettre les performances de protection que les EPI sont censés offrir ?**

Le développement récent de matériaux novateurs et extrêmement respirants, qui conservent leurs propriétés de protection chimique et leur durabilité dans des conditions d'utilisation exigeantes, apporte une réponse.



5. Élever le confort au rang de science

« Le défi n'est pas de mesurer la respirabilité, mais de l'obtenir sans compromettre la protection. »

explique Chloé Caux-Wetherell.

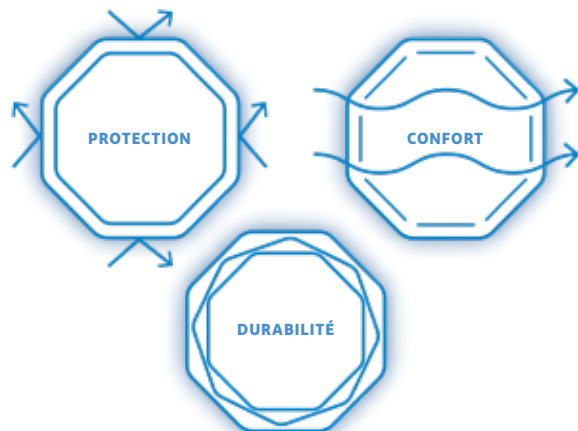
La mise au point de matériaux de protection chimique extrêmement respirants représente une avancée significative. Ces progrès ont été rendus possibles par une meilleure compréhension du stress thermique en tant que processus physiologique, combinée à des avancées dans la manière de mesurer objectivement le confort et la respirabilité.

DuPont est à l'avant-garde de cette évolution, en lançant une nouvelle génération de matériaux Tyvek® qui obtiennent une classification de respirabilité extrême tout en conservant la protection chimique et la durabilité requises dans des environnements de travail exigeants. Appelé Tyvek® APX™, ce nouveau matériau marque une rupture avec le compromis traditionnel entre confort et protection, démontrant qu'il est désormais possible d'offrir les deux simultanément.

Une méthodologie multi-échelle a été utilisée pour évaluer le confort de l'utilisateur sur trois niveaux interconnectés : la performance des matériaux, la conception des vêtements et la réponse physiologique.

Ces propriétés ont été scientifiquement validées par un laboratoire indépendant, l'Empa*, où une évaluation du confort a été menée sous la forme d'un parcours progressif allant de la science prédictive à la réponse humaine réelle. L'objectif est de quantifier le confort non pas en tant qu'affirmation subjective, mais en tant que résultat physiologique pouvant être prédit, mesuré et validé.

*Laboratoires fédéraux suisses pour la science et la technologie des matériaux



5. ÉLEVER LE CONFORT AU RANG DE SCIENCE

Performance des matériaux

Une ingénierie avancée des matériaux a été utilisée pour optimiser la transmission de la vapeur d'eau tout en conservant les propriétés de barrière inhérentes requises pour la protection. L'institut Hohenstein a créé un tableau de classification qui regroupe les matériaux en niveaux de respirabilité, sur la base de mesures objectives en laboratoire, principalement la résistance à la vapeur d'eau, communément appelée Ret.

La valeur Ret indique le degré de résistance d'un matériau à l'évaporation de la sueur du corps. Plus la valeur Ret est faible, plus la transpiration peut s'évacuer facilement, ce qui rend le vêtement plus confortable.

La classification Hohenstein comporte 5 niveaux, allant de « Non ou à peine respirant » pour les matériaux ayant un Ret supérieur à 30 à « Extrêmement respirant » pour les matériaux ayant un Ret inférieur à 6.

Performance des vêtements

La manière dont un matériau est transformé en vêtement fini, notamment la coupe, la conception des coutures et la conception du patron, a un impact direct sur les performances thermiques. Pour évaluer cela, DuPont a utilisé des tests sur mannequin transpirant afin de simuler les échanges thermiques entre le corps humain et l'environnement. Ces tests ont fourni des données détaillées sur le vêtement prototype, ce qui a permis d'optimiser l'ensemble du système plutôt que le matériau pris isolément.

Réponse physiologique

En matière de confort, le dernier niveau de validation, le plus significatif, est la réponse physiologique de l'utilisateur. Les données physiologiques capturent la réponse du corps à l'EPI dans des scénarios dynamiques et réalistes, et reflètent la réponse intégrée du corps humain aux stimuli thermiques, tactiles et psychologiques. En utilisant des modèles prédictifs de thermorégulation, DuPont a simulé la façon dont le corps humain réagit à différentes combinaisons de vêtements, de niveaux d'activité et de conditions environnementales. Ces simulations ont ensuite été validées par des essais contrôlés sur des personnes, au cours desquels des paramètres tels que la température corporelle centrale, la fréquence cardiaque et la fréquence respiratoire ont été mesurés en temps réel.

Les résultats de cette approche de triple validation démontrent une réduction mesurable de la charge physiologique. Le matériau Tyvek® APX™, extrêmement respirant, peut contribuer à ralentir l'augmentation de la température corporelle centrale, à réduire la charge cardiovasculaire et à améliorer la récupération pendant les périodes de repos. Dans certains cas, les réactions des utilisateurs sont comparables à celles observées avec des vêtements de tous les jours.

Présentation des tests en laboratoire de l'Empa sur le Tyvek® APX™



Cette progression, de la science des matériaux avancée à la validation physiologique complète, démontre que le confort n'est plus seulement une caractéristique subjective. Il s'agit d'un paramètre mesurable et fondé sur des données probantes qui peut être conçu pour favoriser à la fois la sécurité et la performance, sans compromettre la protection et la durabilité.

Comparaison entre la respirabilité et la protection

Combinaison Tyvek® APX™ 400 :



Ret très bas



Protection chimique élevée

Veste en jean :



Ret plus élevé



Protection chimique faible

Coton T-shirt :



Ret plus bas



Protection chimique faible

6. Ce que cela signifie pour les professionnels de la sécurité

« De meilleures données permettent de prendre de meilleures décisions en matière d'EPI et, en fin de compte, de rendre les lieux de travail plus sûrs. »

Pour les professionnels de la santé et de la sécurité, les implications de ces développements sont significatives. Le stress thermique devenant un risque de plus en plus reconnu sur le lieu de travail, le choix des EPI ne peut plus reposer sur des évaluations subjectives du confort ou sur un compromis entre des caractéristiques essentielles du vêtement. Au contraire, la prise de décision peut s'appuyer sur des paramètres mesurables et fondés sur des données probantes.

Des mesures telles que le Ret et les classifications établies de respirabilité offrent un moyen plus objectif d'évaluer les performances des vêtements de protection chimique en conditions d'utilisation. En tenant compte de l'efficacité avec laquelle les EPI favorisent le transfert de chaleur et d'humidité, et de la manière dont cela se traduit en termes d'impact physiologique, les professionnels de la sécurité peuvent faire des choix plus éclairés qui influencent directement la sécurité, les performances et la conformité des travailleurs.

Cela marque également un changement dans la manière dont le confort est appréhendé. Plutôt que d'être considéré comme un attribut secondaire ou facultatif, il est désormais reconnu comme un facteur qui affecte directement la capacité des travailleurs à accomplir leurs tâches en toute sécurité sur le long terme.

Il est important de noter qu'il n'est plus nécessaire de faire des compromis lors du choix des EPI. Les progrès de la science des matériaux ont démontré que des vêtements de protection extrêmement respirants peuvent offrir à la fois un niveau de protection élevé et un confort thermique amélioré.

La combinaison de protection Tyvek® APX™ 400 est la première de cette nouvelle génération de vêtements de protection chimique. En obtenant une classification « Extrêmement respirant » tout en conservant la durabilité et la protection nécessaires, cela prouve que confort et protection peuvent être conçus ensemble.

À mesure que notre compréhension évolue, la capacité à spécifier des EPI en fonction d'un confort mesurable jouera un rôle de plus en plus important dans la réduction du stress thermique et la promotion d'environnements de travail plus sûrs.



Ces informations reposent sur des données techniques que DuPont considère comme fiables. Elles sont révisées dès que des connaissances et expériences supplémentaires deviennent disponibles. La détermination du degré de toxicité et de l'équipement de protection individuelle approprié incombe à l'utilisateur. Les informations fournies dans le présent document reflètent les performances en laboratoire des matériaux, et non des vêtements entiers, dans des conditions contrôlées. Ces informations sont destinées à des personnes possédant les connaissances techniques nécessaires pour procéder elles-mêmes à une évaluation, à leurs propres risques et à leur libre appréciation, en fonction de leurs propres conditions d'utilisation finale spécifique. Toute personne désireuse d'utiliser ces informations doit tout d'abord s'assurer que le vêtement sélectionné est adapté à l'usage auquel elle le destine. Afin d'éviter tout risque d'exposition chimique, l'utilisateur final ne doit plus utiliser le vêtement si le matériau présente des signes de déchirure, d'usure ou de perforation. Les conditions d'utilisation étant hors de notre contrôle, DUPONT DE NEMOURS, INC. ET SES SOCIÉTÉS AFFILIÉES N'ACCORDENT AUCUNE GARANTIE, EXPRESSE OU IMPLICITE, TELLE QUE DES GARANTIES DE QUALITÉ MARCHANDE OU D'ADAPTATION À UN USAGE PARTICULIER, SANS LIMITATION, ET NE PEUVENT ÊTRE TENUS POUR RESPONSABLE EN CAS D'UTILISATION QUELCONQUE DE CES PRODUITS ET INFORMATIONS. Ces informations n'ont pas pour objectif d'être interprétées comme une cession de licence ou une incitation à enfreindre un quelconque brevet ou des informations techniques de DuPont ou d'autres personnes concernant un matériau ou son utilisation.

© 2026 DuPont. Tous droits réservés. DuPont™, le logo ovale DuPont et toutes les marques commerciales et marques de service désignées par ™, SM ou ® sont la propriété de sociétés affiliées à DuPont de Nemours, Inc., sauf indication contraire.