

CARACTERISTIQUES A REQUERIR POUR LES VETEMENTS DE PROTECTION CONTRE LA CHALEUR ET LES PRODUITS TOXIQUES

Lopez A.* , Despret I.* , Penta M.** , Malchaire J.* , Thonnard J.L.**

* Unité Hygiène et Physiologie du Travail, Université catholique de Louvain, Clos Chapelle-aux-Champs,
3038, 1200 Bruxelles, Belgique

** Unité de Réadaptation et de Médecine physique, Université catholique de Louvain

RESUME

Certaines industries sont confrontées à des problèmes thermiques et toxiques aigus. C'est le cas des entreprises où les travailleurs sont exposés à la chaleur (sidérurgie, pompiers) ou à des ambiances toxiques (industries chimiques) requérant des vêtements protecteurs étanches.

Les responsables de la prévention sont chargés de sélectionner les vêtements de protection les plus adéquats. La difficulté majeure est de concevoir le cahier des charges de ces vêtements, c'est-à-dire les critères à remplir pour rencontrer les exigences aux points de vue thermique, sécurité et fonctionnel, afin d'assurer les conditions de travail les plus sûres et les plus confortables.

Le présent article vise, à partir d'une analyse des besoins dans les entreprises, à identifier les exigences de sécurité et de confort propres à chaque activité.

Un essai de regroupement des contraintes thermique et toxique a été tenté et a permis de définir quatre catégories de conditions de travail. Treize critères généraux ont été identifiés, touchant aux aspects de conception du vêtement, de sécurité, de confort. Pour chaque catégorie, un tableau a été dressé reprenant les éléments à prendre en considération de manière à respecter selon ces différents critères.

Mots-clé: chaleur; vêtements de protection spéciaux; critères

SUMMARY

Some industries have to meet some acute thermal and toxic problems. This is the case of companies where the workers are exposed to heat (steel industry, firemen, ...) or to toxic environments (chemical industries) and have to wear special impermeable protective clothing.

The occupational physicians and people in charge of the protection of this workers have to select the most adequate protective clothing. The major difficulty is to define the characteristics required by these clothing in a specific situation, that is, the criteria to be met concerning the thermal, functional and safety aspects in order to assure the safest and the most comfortable working conditions.

The objective of the present article is to identify, from an analysis of the needs in industry, the safety and comfort requirement for a given activity.

An attempt has been made to regroup the thermal and toxic constraints and four categories of working conditions have been defined. Thirteen general criteria were identified concerning the aspects of the design of the clothing, its safety and comfort. For each category, a table was prepared describing the items to take into consideration in order to meet these criteria.

Key-words: heat; special protective clothing; criteria

1. INTRODUCTION

Selon un enquête menée en France en 1986 [1], 16% des travailleurs se plaindraient de leurs conditions thermiques de travail. Il s'agit bien, dans la majorité des cas, de plaintes d'inconfort dû au froid en hiver ou à la chaleur en été. Cependant, dans une partie non négligeable des cas, il s'agit réellement d'une contrainte thermique, accompagnée de risques réels pour la santé, tels que déshydratation, syncope à la chaleur, ou encore coup de chaleur.

Les modèles de prédiction de l'astreinte thermique actuels paraissent couvrir de manière plus ou moins satisfaisante les situations de travail où les travailleurs portent des vêtements ordinaires. Ils sont par contre totalement inappropriés dès qu'un vêtement spécial de protection est utilisé, et tout particulièrement lorsque ce vêtement de protection est imperméable à la vapeur d'eau, rendant impossibles les pertes de chaleur par évaporation.

Afin d'éliminer cette carence et rendre possible a priori une organisation du travail satisfaisante tant sur le plan physiologique que du confort, il est nécessaire de dresser le bilan des besoins des différents types d'industries en vêtements spéciaux de protection, non seulement contre la chaleur, mais également contre d'autres sources de nuisances, telles que les atmosphères toxiques ou contaminées par des radiations.

Pour ce faire, des conseillers en prévention de différents secteurs "à risque" ont été interrogés sur les différentes situations de travail requérant une telle protection, les types d'activités qui y sont accomplies et les ambiances climatiques de travail.

Nous avons ensuite tenté de regrouper les différentes situations rencontrées en quatre grandes catégories, en tenant compte des aspects charge de travail, risque thermique et risque chimique.

Pour chacune de ces quatre catégories de situations, nous avons enfin dressé la liste des exigences particulières, afin d'établir en quelque sorte le cahier des charges des vêtements de protection à utiliser. Ces exigences sont reprises sous forme de tableaux pour chaque catégorie identifiée.

2. INVENTAIRE DES ENVIRONNEMENTS ET ACTIVITES RENCONTRES DANS LE MONDE DU TRAVAIL ET REQUERANT DES VETEMENTS DE PROTECTION SPECIAUX

2.1. Pompiers et protection civile

Interventions en cas d'incendie

La température ambiante est de l'ordre de -10 à 80°C et la température du feu est de l'ordre de 800 à 1000°C. Le transfert de chaleur se fait par rayonnement et convection. Il n'y a normalement pas de contact direct avec le feu. Les activités principales rencontrées sont la manipulation des lances d'arrosage, le transport éventuel d'une bonbonne d'oxygène (poids: 30 kg), le fait de monter sur les échelles. Le métabolisme moyen peut être estimé entre 300 et 600 W.

Interventions dans des ambiances toxiques

La température ambiante est susceptible de varier de -10 à 30°C selon la saison ou le lieu. L'air peut contenir une grande variété de produits toxiques, sous forme gazeuse ou d'aérosols (CO, gaz naturel, acide sulfurique, ammoniac), lors d'incidents se produisant dans des sociétés chimiques ou pharmaceutiques, ou lors du transport de ces produits.

Les vêtements utilisés doivent être totalement étanches et dès lors induisent la formation d'un microclimat saturé en vapeur d'eau sous la combinaison de protection. Les transferts de chaleur vers l'extérieur sont

fortement altérés et la charge thermique est essentiellement endogène, c'est-à-dire, d'origine interne, par non évacuation de la chaleur métabolique.

Les activités à accomplir sont: monter des échelles, réparer des fuites de canalisations, vidanger des réservoirs et transporter des bonbonnes d'air pesant ± 30 kg. Le métabolisme peut être évalué entre 200 et 400 W.

2.2. Les industries chimiques

La température ambiante est de l'ordre de -10 à 30°C , le travail se faisant le plus souvent à l'air libre. Les sources de risque chimique sont assez variées (acrylonitrile, mercaptan, acétate d'éthyle, acide chlorhydrique, ammoniac, dioxyde de soufre ...). Les vêtements utilisés doivent ici aussi être imperméables à la vapeur d'eau et induisent dès lors la formation d'un microclimat saturé en vapeur d'eau entre la peau et la combinaison. La charge thermique est, ici également, essentiellement endogène. Les activités sont: monter des échelles, réparer des fuites, vidanger des réservoirs, transporter des bonbonnes d'air (poids ± 30 kg). Le métabolisme peut être évalué entre 200 et 400 W.

2.3. Les centrales nucléaires

Intervention en zone contrôlée

La température ambiante est de l'ordre de 15 à 25°C . A nouveau, le vêtement doit être imperméable puisque le milieu extérieur est susceptible d'être contaminé par des radiations, d'où la saturation du microclimat entre la peau et la combinaison et la réduction drastique des transferts de chaleur vers l'extérieur.

Les activités rencontrées sont des tâches d'entretien (travaux de mécanique), port de charges pesant jusqu'à 25 kg, travaux sur passerelles et escaliers... La durée des interventions est limitée par la quantité de radiations reçues (dosimètre individuel), mais peut être de quelques heures. Le métabolisme varie entre 200 et 400 W.

Interventions sur fuites de vapeur

Dans ces situations de travail, la température ambiante peut varier de 15 à 25°C , avec un risque important lié à la température de la vapeur (de 60 à 100°C). En revanche, le milieu est en général non contaminé. Le vêtement doit être imperméable sans être nécessairement étanche. Le problème du microclimat sous la combinaison se repose cependant à nouveau.

Les activités sont ponctuelles, peu fréquentes, mais accomplies en situation d'urgence. Elles consistent en la réparation de fuites de vapeur, le transport de charges, le travail sur passerelles et escaliers. Les périodes de travail sont courtes et entrecoupées de périodes de repos. Le métabolisme varie entre 200 et 400 W.

2.4. Verrerie

L'ambiance thermique est ici tributaire des hautes températures des fours (jusqu'à 1500°C). Le travail s'effectue à proximité, voire au contact direct de la paroi du four, avec une température de l'air pouvant atteindre 80 à 90°C . Lorsque le travail s'effectue sur les parties hautes du four, le travailleur est soumis à un rayonnement très intense et à une convection naturelle par un air très chaud venant du bas. Les activités à accomplir sont variées: contrôle visuel de la paroi du four, remplacement des rouleaux situés en sortie du four, travaux de mécanique (remplacement de brûleurs), travaux de maçonnerie (entretien et réparation des parois en briques réfractaires du four), travail sur passerelles, escaliers et sur la voûte du

four. Les transferts de chaleur se font de façon prépondérante par rayonnement et convection à travers les vêtements; occasionnellement, par conduction, lors du contact avec les briques ou les éléments de l'infrastructure métallique. Les travailleurs peuvent être également exposés aux flammes des fours lors de certains travaux de maçonnerie.

Vu la sévérité des conditions thermiques, le travail s'effectue spontanément par courtes périodes (maximum 20 minutes), entrecoupées de périodes de récupération. Le métabolisme de travail peut être évalué entre 300 et 500 W.

2.5. Entreprises de maçonnerie de produits réfractaires

Les conditions de travail sont semblables à celles rencontrées dans la verrerie. Les activités sont: le colmatage des joints de dilatation entre les briques réfractaires constituant la paroi du four (à chaud), la manipulation du tuyau de transfert du ciment réfractaire et le lissage du joint à la truelle. Ces activités s'accomplissent debout le long du four ou sur les passerelles, ou à quatre pattes sur la voûte du four. Les échanges de chaleur se font par rayonnement, de façon intense, et de façon moins importante par convection. Occasionnellement, il y a échange de chaleur par conduction lors de contacts avec les briques ou les éléments de l'infrastructure métallique.

Le temps de travail est limité à 10 minutes et le métabolisme évalué entre 200 et 500 W.

2.6. Les entreprises sidérurgiques

Convertisseurs d'aciérie

L'exposition à la chaleur se fait surtout par rayonnement lors des prises de température et il n'y a pas de contact direct avec les sources de chaleur. Les autres activités sont essentiellement des fonctions de surveillance. La durée d'exposition à la chaleur est d'environ 10 minutes toutes les deux heures, avec un métabolisme moyen qui peut être estimé à 200 W.

Hauts-fourneaux

La température ambiante est de l'ordre de -10 à 30°C selon la saison, avec de nombreux courants d'air. Le problème thermique apparaît lors de la coulée ou de la réparation des rigoles de coulée. Le transfert de chaleur se fait principalement par rayonnement. Les activités sont la surveillance de la coulée, le façonnage des rigoles de sable dans lesquelles s'écoule le métal en fusion, le port de sacs de 20 kg.... Le métabolisme de travail varie entre 200 et 400 W.

Train à fil continu

La température ambiante est ici de 15 à 25°C et le transfert de chaleur se fait par conduction, lors du contact avec le fil, pendant 45 secondes toutes les minutes. Le travail consiste à surveiller l'écoulement et l'enroulement du fil, à le sectionner au moment opportun et occasionnellement à prendre un échantillon. Le métabolisme varie de 200 à 400 W.

2.7. Motocyclistes de la gendarmerie

La température de l'air varie en moyenne de -10 à 35°C, avec 223 jours de pluie par an en Belgique. Lorsque le motard roule, il subit d'importants échanges de chaleur par convection; à l'arrêt ou à faible vitesse, les échanges se font surtout par rayonnement. Les activités extérieures du motard de la gendarmerie sont: rouler à moto et régler la circulation. Son métabolisme varie de 100 à 300 W.

3. SYNTHÈSE DES CONDITIONS DE TRAVAIL EN FONCTION DES AMBIANCES TOXIQUES ET THERMIQUES

De l'examen des données décrites dans la section précédente, il résulte que les contraintes peuvent être regroupées en deux grandes classes, d'une part les contraintes thermiques, d'autre part les contraintes toxiques.

Les premières peuvent être d'origine interne, lors du port d'un vêtement de protection imperméable à la vapeur, ou lors d'une activité nécessitant un métabolisme élevé. Elles peuvent être d'origine externe, lors de l'exposition à des sources de chaleur rayonnantes, ou lorsque la température ambiante est élevée. Quant aux secondes, elles sont le plus souvent d'origine chimique, lors des interventions de réparation de fuites, parfois radioactives. La contrainte thermique peut être faible ou importante et de durée courte ou longue.

L'analyse des activités et des ambiances rencontrées dans l'industrie permet ainsi d'établir quatre types de situations.

Type I (tab. I)

- contrainte thermique faible mais prolongée;
- contrainte toxique nulle;
- . concerne les motocyclistes.

Type II (tab. II)

- contrainte thermique faible mais prolongée;
- contrainte toxique importante;
- . concerne les pompiers et la protection civile (intervention dans les ambiances toxiques), les industries chimiques, les centrales nucléaires.

Type III (tab. III)

- contrainte thermique importante et prolongée;
- contrainte toxique nulle;
- . concerne les verreries, les entreprises de maçonnerie de produits réfractaires.

Type IV (tab. IV)

- contrainte thermique intense mais de courte durée;
- contrainte toxique nulle;
- . concerne les pompiers (intervention en cas d'incendie) et les entreprises sidérurgiques.

Un tableau résume les exigences pour chaque type de situation. Pour ces exigences, treize critères généraux ont été identifiés, dont l'ambiance et le métabolisme, ainsi que des aspects liés à la conception, la sécurité et le confort du vêtement. Sont également considérés, les aspects liés plus spécifiquement aux besoins particuliers des travailleurs, en ce qui concerne la communication, la reconnaissance par autrui, les aspects fonctionnels, la durabilité. Les tableaux montrent comment chaque critère doit être satisfait, en fonction de la catégorie considérée.

4. BIBLIOGRAPHIE

1. BUE J. et CRISTOFARI M.F., 1986, Contraintes et nuisances dans la vie de travail, enquête nationale de mars 1984 sur les conditions de travail. Dossier statistique du travail et de l'emploi, 20, 5-95.

TABLEAU I

Critères

Activités de type I

Ambiance:

- Température ambiante
- Toxicité
- Température source chaude
- Conduction
- Convection
- Rayonnement
- Humidité relative
- Vitesse de l'air

De -10 à 40°C
Néant
(Echauffement à l'arrêt)
Faible
Elevée
Eventuellement élevé
Jusqu'à 100%
Elevée

Métabolisme:

100 à 300 W

Conception

Vêtement

Salopette ou pantalon
Veste 3/4 (protection pluie)
Deux couches:
 . extérieure: sécurité
 . intérieure: confort tactile
Col amovible

Casque

Phonie importante (problème d'agrément du casque)
Protection de la mâchoire séparée de la visière
Visière traitée anti-buée

Gants

Renforts dos et paume de la main
Mouvements fins non indispensables pour motards

Chaussures

Bottes en cuir
Hautes tiges avec protection tibiale

Matériau

2 couches: sécurité + confort tactile

Tailles

Tailles extrêmes du personnel

Sécurité

Résistance en cas de chute; renforts: coudes, genoux, dos, épaules
Déchirable en cas d'urgence
Visibilité la nuit:
 . éliminer le noir
 . bandes réfléchissantes

Confort

Sensation tactile agréable
Liberté de mouvements malgré les renforts
Col amovible (en fonction du climat)

Étanchéité

Pas d'infiltration d'air froid ou d'eau entre la veste et le pantalon (fermeture éclair)
Veste 3/4 de protection en cas de pluie
Coutures (soudures) étanches

Visibilité

Visière traitée anti-buée

Communication

Indispensable pour certains motocyclistes (ex. gendarmerie)

Reconnaissance	Dans l'obscurité (cf. couleur, bandes réfléchissantes)
Fonctionnel/pratique	Tout doit être accessible à une main Velcro facile Poches à la dimension du matériel utilisé (agenda, carte routière, etc...) (idéal: poche sur la cuisse)
Durabilité	Résistance des bandes réfléchissantes au lavage Renforts des poches amovibles pour le lavage

TABLEAU II

Critères

Activités de type II

Ambiance:

- Température ambiante
- Toxicité
- Température source chaude
- Conduction
- Convection
- Rayonnement
- HR
- Vitesse de l'air

De -10 à 30 °C

Gaz ou liquides (très variés) ou substances radioactives

Néant ou de 60 à 100°C (fuite de vapeur)

Faible

Faible

Faible

Jusqu'à 100%

Faible

Métabolisme:

200 à 400 W

Sécurité

Critère primordial

Suppression dans la combinaison pour éviter infiltration en cas de déchirure

Matériel électrique anti-déflagrant

Zone transparente pour le contrôle du dosimètre et la limitation du temps de travail (dans les milieux radioactifs)

Conception

Vêtement

Résistance à tous les produits chimiques ou aux radiations

Fermeture éclair:

- . étanchéité et résistance mécanique.
- . proposition: double fermeture éclair:
intérieur: tissu + métal
extérieur: fermeture plastique
- . fermeture à l'avant: l'utilisateur doit pouvoir contrôler la fermeture aux deux extrémités
- . fermeture à l'arrière: nécessite l'habillage par deux personnes
- . système de sécurité de fermeture

Renforts:

- . coudes
- . genoux
- . bonbonne

Coutures renforcées sur les deux faces par des bandes de protection collées

Lunettes

Eventuellement visière masque à gaz

Gants

Pour la protection chimique:

Deux paires (matière plastique):

- . intérieur: protection chimique
- . extérieur: protection mécanique

Fixation sur anneau rigide en bout de manche par un élastique

Pour la protection nucléaire:

Une paire, soudée en continuité avec le vêtement

Chaussons et chaussures

Pour la protection chimique, chaussons adaptés à la taille

des combinaisons et ne se pliant pas dans les bottes (confort à la marche) avec bottes par dessus les chaussons (double protection pour étanchéité)

Pour la protection nucléaire renfort anti-dérapant sous les chaussons, portés par dessus les chaussures de zone

	Matériau	<p>Pour la protection chimique: multi-résistance chimique et étanchéités des coutures</p> <ul style="list-style-type: none"> . usages multiples: VITON . usage unique: PVC <p>Pour les centrales nucléaires:</p> <ul style="list-style-type: none"> . pas de PVC parce que la combinaison doit pouvoir être brûlée (usage unique) . éthifuge 2000: polyéthylène, épaisseur suffisante pour résistance mécanique (0,3 mm)
Confort		<p>Légèreté Bonne sensation sur la peau Absorption de la transpiration Facilité de séchage Mobilité</p>
Visibilité		<p>Visière la plus grande possible pour:</p> <ul style="list-style-type: none"> . meilleur champ visuel . diminution du stress
Ventilation		Par bonbonne ou par tuyau ombilical
Communication		<p>Système avec microphone dans le casque Liaison par émetteur/récepteur ou par fil</p>
Fonctionnel pratique		Alimentation d'air extérieur pendant les phases d'attente
Habillage/déshabillage	Rapide	<p>Facile Par deux personnes (sécurité)</p>
Durabilité		<p>Pour la protection chimique: usages multiples:</p> <ul style="list-style-type: none"> . renfort des parties les plus fragiles . problèmes de décontamination d'un revêtement multi-couches . maintien des caractéristiques dans le temps . ou usage unique <p>Pour la protection nucléaire: toujours usage unique</p>

TABLEAU III

Critères

Activités de type III

Ambiance:

- Température ambiante
- Toxicité
- Température source chaude
- Conduction
- Convection
- Rayonnement
- HR
- Vitesse de l'air

Jusqu'à 80°C
Faible (poussières)
Four à 1500°C
Occasionnelle (briques du four)
Moyenne (courants d'air)
Intense
Faible
Moyenne à forte

Métabolisme:

Conception

Globale

200 à 500 W
Protection contre le rayonnement
Résistance mécanique suffisante (déchirure)
Continuité du vêtement sur tout le corps

Veste

Sous-vêtement en éponge pour absorber la transpiration
Sur-vêtement:

- . souple
- . le plus léger possible
- . aluminisé
- . renfort thermique dans le dos
- . fermeture avant par velcro pour déshabillage urgent
- . aération (dos, aisselles): pas d'anneaux métalliques (pont thermique)

Pantalon

Eponge pour absorber la transpiration
Ample, souple, léger

Cagoule

2 cagoules:

- . intérieure
- . extérieure: aluminisée avec visière (fixation par élastique pour stabilité et positionnement de la visière)

Casque

de sécurité

Lunettes

Coussinet en mousse ou cuir au contact avec la peau pour éviter les brûlures
Verres interchangeables (transparents ou réfléchissants)

Gants

2 paires:

- . intérieur: coton bouclette
- . extérieur: gant ou moufle (Kevlar aluminisé ou fibres céramiques, avec protection métallique contre déchirure)

Continuité entre gant et veste pour tous les mouvements
Doublure cousue au revêtement externe, sans pont thermique

Chaussons

Utilisés avec des sabots (frottement).

Chaussures

Bottines de sécurité ou sabots

Matériau

Kevlar aluminisé:

- . résistance mécanique même à chaud
- . souplesse
- . légèreté

Vêtement d'isolation ininflammable

Tailles

Vêtements très amples pour bonne mobilité

Sécurité

Facilité de déshabillage en cas de brûlure
Vêtement d'isolation ininflammable

Confort

Légèreté
Bonne sensation sur la peau

Durabilité

Absorption de la transpiration
Facilité de séchage
Mobilité

Usages multiples
Durabilité du revêtement aluminisé
Facilité de réparation
Maintien des caractéristiques dans le temps

TABLEAU IV

Critères

Activités de type IV

Ambiance:

- Température ambiante
- Toxicité
- Température source chaude
- Conduction
- Convection
- Rayonnement
- HR
- Vitesse de l'air

De -10 à 80°C
Eventuellement CO, CO₂
Feu à 1000°C ou acier en fusion à plus de 1500°C (sidérurgie)
Occasionnelle (indirecte)
Faible (courant d'air)
Intense
Entre faible et 100%
Faible

Métabolisme:

200 à 600 W

Conception

Vêtement

Pour le vêtement de base (pas de contact avec la source de chaleur)

- . souplesse
- . légèreté
- . protection contre le rayonnement
- . résistance mécanique suffisante (déchirure)

- Lorsque le pompier doit traverser le feu:

- . vêtement entièrement aluminisé
- . continuité de la protection sur tout le corps

- En sidérurgie:

- . résistance aux projections de métal en fusion

Cagoule

Non utilisée dans interventions classiques
Lorsque le pompier doit traverser le feu ou dans la sidérurgie:

- . protection des yeux (visière réduite)
- . fixation par élastique pour stabilité et positionnement de la visière

Casque

Pompiers:

- . protection de la nuque
- . double visière:
 - intérieure: transparente, couvre les yeux
 - extérieure: réfléchissante, couvre tout le visage
- . fixation du masque à gaz

En sidérurgie: casque de sécurité classique

Gants

Protection mécanique pour les interventions classiques
Si le pompier traverse le feu:

- . protection contre le rayonnement
- . mobilité nécessaire

Chaussures

Bottes ou souliers de sécurité

Matériau

Bon isolant thermique
Ininflammable
Souple
Léger
Si traverse le feu: revêtement aluminisé
Dans la sidérurgie:

- . résistant aux projections de métal en fusion

Sécurité

Pompiers:
Etre vu dans l'obscurité:

- . couleur
- . bandes réfléchissantes

Ne pas être gêné par le port simultané du casque et de la bonbonne (passages étroits)
Fixation rapide du masque

Phonie efficace (intervention dans l'obscurité ou la fumée).

Sidérurgie:

- . facilité de déshabillage en cas de brûlure.
- . vêtement d'isolation ininflammable
- . résistance aux projections de métal en fusion

Confort

Légèreté

Mobilité

Absorption de la transpiration

Bonne sensation sur la peau

Fonctionnel/pratique

Ceinturon pour attache outils

Durabilité

Usages multiples

Facilité de réparation

Maintien des caractéristiques dans le temps