LE TRAVAIL A LA CHALEUR : Pour une ambiance de travail adéquate

Mr. KAHOUACH L, Dr. MILED S, Dr. BEN SALEM F, Pr. NOUAIGUI H- ISST

Les risques professionnels liés à l'exposition à des contraintes thermiques sévères sont relativement fréquents dans notre pays. En effet, les contraintes climatiques s'additionnent aux contraintes d'origine technologique pour créer des situations de travail intolérables. L'I.S.S.T est souvent sollicité par les entreprises tunisiennes pour l'évaluation de la contrainte thermique et la formulation des recommandations nécessaires pour réduire la nuisance, témoin de l'importance de ce type de risque dans la hiérarchie des risques professionnels.

Le travail à la chaleur n'a pas de définition réglementaire. Toutefois, le travail pour des températures supérieures à 30° pour une activité sédentaire, et 28° pour un travail nécessitant une activité physique, peut être considéré comme du travail à la chaleur.

REACTION DE L'ORGANISME A LA CHA-LEUR

Un organisme humain en santé maintient une température corporelle constante d'environ 37°C. Une fluctuation de moins de 1°C selon l'heure de la journée, le niveau d'activité physique et l'état émotif est normale. Un écart de plus de 1°C est le signe d'une pathologie ou d'une incapacité des mécanismes physiologiques de thermorégulation à réagir aux conditions thermiques ambiantes.

Lorsque la température ambiante augmente, la température corporelle a tendance à augmenter. L'organisme réagit pour maintenir sa température interne constante en augmentant le débit sanguin cutané et en activant les glandes sudoripares. Il augmente ainsi le transfert de chaleur vers l'environnement pour contrebalancer l'apport de chaleur ambiante. Dans une ambiance chaude très sévère, le gain de chaleur dépasse la perte et la température corporelle augmente, ce qui pose des risques pour la santé.

La température corporelle est maintenue constante à travers des échanges avec l'environ-

nement par:

La conduction est la transmission de chaleur entre la peau et les vêtements, les chaussures, les points d'appui (siéges, poignées,...), les outils manipulés, etc... En pratique ce flux de chaleur est négligeable.

La convection est le transfert de la chaleur entre la peau et l'air qui l'entoure. Si la température de la peau est supérieure à la température de l'air, la peau va se refroidir. Dans le cas contraire, elle va se réchauffer.

La convection est fonction de la température de l'air, de la vitesse de l'air et de l'isolement procuré par le vêtement.

Le rayonnement: Tout corps émet un rayonnement électromagnétique porteur d'énergie dont l'intensité est fonction de la quatrième puissance de sa température absolue. La peau humaine, entre 33 et 36° C, émet un rayonnement infrarouge; inversement elle reçoit et absorbe le rayonnement provenant des sources proches ou lointaines.

Le flux thermique échangé par rayonnement entre la peau et l'environnement est donc fonction :

- de la température de la surface extérieure du corps, qui est influencé par le vêtement ;
- de la température moyenne de rayonnement de l'environnement, fonction des surfaces, des températures,...

L'évaporation: Si la peau est couverte de sueur, une partie de cette sueur va s'évaporer, la peau se refroidit du fait de cette évaporation et donc cette perte de chaleur est d'autant plus intense que :

- L'air ambiant est sec : s'il est très humide, la sueur ne s'évapore pas et reste sur la peau, d'où elle peut ruisseler ;
- La vitesse de l'air est importante ;
- Le vêtement est perméable à la vapeur Ces mécanismes interviennent pour assurer un bilan thermique correcte.

Le terme bilan thermique est utilisé pour désigner la somme algébrique de gains et des pertes de chaleur au niveau du corps.

L'équation du bilan thermique à l'équilibre s'écrit:

H = Cres + Eresp + K + C + R + E

Elle exprime le fait que la production de chaleur interne du corps (H) est "équilibrée" par les échanges de chaleur au niveau des voies respiratoires par convection (Cres) et évaporation (Eresp), ainsi que par les échanges au niveau de la peau, par conduction (K), Convection (C), rayonnement (R), et évaporation (E).

Production interne de chaleur:

Le fonctionnement des différents organes et l'activité musculaire requièrent une dépense d'énergie qui constitue le métabolisme énergétique. Chez le sujet au repos, la totalité de cette énergie est transformée en chaleur.

Par contre, chez le sujet au travail, une fraction, liée à l'activité, peut être transformée en travail mécanique (W). La production interne de chaleur constitue alors la différence entre le métabolisme énergétique et le travail extérieur produit :

H = M - W

EFFETS PHYSIOLOGIQUES DE L'ORGANISME D'UNE AMBIANCE CHAUDE

Dans une ambiance modérément chaude, les mécanismes physiologiques de thermorégulation entrent en action pour dissiper l'excès de chaleur de manière à maintenir la température corporelle à sa valeur normale.

Ainsi, le transfert de chaleur vers la périphérie du corps se fait à travers l'accélération de la fréquence cardiaque qui accroît le débit sanguin, et par l'évaporation de la sueur sécrétée par les glandes sudoripares.

Ces réactions exercent une charge supplémentaire sur l'organisme.

Une augmentation du débit sanguin et une transpiration trop abondante réduisent la capacité du travailleur à exécuter des tâches mentales et physiques.

Le travail physique augmente la production métabolique de chaleur et, par conséquent, la charge calorifique de l'organisme. Lorsque la température ambiante dépasse les 30° C, il peut y avoir altération des performances mentales. Les premiers effets ont un caractère subjectif ils se traduisent par une sensation d'inconfort. Par contre, une augmentation plus importante de la température peut entraîner des effets physiologiques affectant la performance des travailleurs de même que leur santé.

Le tableau 1 ci-dessous énumère certains effets associés à une exposition à des températures comprises entre la limite supérieure de la plage de confort (20 à 27° C) et la valeur maximale tolérable par la majorité.

Tableau 1 Effets liés à l'exposition à la chaleur				
Plage de températures (^O C)	Effets			
20 - 27	Plage de confort	Efficacité maximale		
Au fur et à mesure que la température augmente	Sensation d'inconfort : -Irritabilité accrue -Baisse de la concentration -Perte d'efficacité dans l'exécution de tâches mentales	Altération des performances mentales		
	Accroissement du nombre d'erreurs : -Perte d'efficacité dans l'exécution de tâches spécialisées -Accroissement de la fréquence des incidents	Problèmes d'ordre psycho-physiologique		
	Altération des performances dans l'exécution des tâches lourdes : -Perturbation de l'équilibre hydrique et électrolytique -Surcharge du coeur et de l'appareil circulatoire -Fatigue et risque d'épuisement			
35 - 40	Limite tolérable par la m	najorité		

PROFESSIONS CONCERNEES

En période de forte chaleur tous les salariés sont exposés de façon saisonnière. La pénibilité du travail sera liée aux conditions d'isolation de leur poste par rapport à la température ambiante et sera majoré sur les postes avec production de chaleur et /ou nécessitant une activité physique.

Certaines professions sont plus exposées que d'autres aux effets du climat chaud du fait qu'une partie de leur activité se fait directement en extérieur tels que les

travailleurs du BTP travailleurs agricoles salariés du transport



Enfin un certain nombre de professionnels travaillent à la chaleur de façon plus ou moins permanente par exemple Les métiers du textile, de la teinturerie et de la blanchisserie, certains postes industriels : fondeurs, verriers, soudeurs, certains métiers de l'alimentation (boulangers, cuisiniers) Les mineurs, les pompiers



LES EFFETS PATHOLOGIQUES DE LA CHA-LEUR SUR LA SANTE

A côté des effets physiologiques du travail en

ambiance chaude, il convient de noter le risque accru d'accidents, par exemple brûlures au contact accidentel de surfaces chaudes, accidents liés à la transpiration des mains (mains moites), et accidents attribuables à un obscurcissement momentané de la vision lorsque les verres correcteurs s'embuent au passage d'une ambiance froide à une ambiance chaude.



Les effets sont en rapport avec :

-les conditions climatiques :

le niveau de température : pas de risque en dessous de 24°

le niveau d'hygrométrie : le risque croit avec le degré d'hygrométrie : pas de risque jusqu'à 30°C pour une hygrométrie égale à 0, début de risque dès 24° C pour une hygrométrie de 100%.

La vitesse de l'air (en mètre par seconde) : elle favorise la déperdition de la chaleur par convection.

La température moyenne de rayonnement (mesurée en Kelvin)

- l'activité physique du sujet (mesuré en watt/m2

de surface corporelle) : les risques augmentent avec l'activité physique car celle-ci produit de la chaleur qui doit être éliminée.

- Le salarié : le manque d'acclimatation, l'état de santé, les médicaments, l'habillement

Les conséquences sur la santé du travail en



ambiance chaude varient d'une personne à l'autre. En règle générale, les personnes plus âgées et les personnes obèses sont plus à risque.

- le sexe : plusieurs études ont montré que les femmes ont généralement moins de résistance à la chaleur que les hommes. L'écart peut se rétrécir en fonction de la capacité cardiovasculaire, de la taille et du degré d'acclimatation des sujets, mais si l'on compare des hommes et des femmes chez qui ces conditions sont égales, les femmes transpirent moins que les hommes. Des études en laboratoire ont montré une plus grande tolérance de la chaleur humide, mais une tolérance légèrement inférieure de la chaleur sèche chez les femmes.

Parmi les différentes pathologies consécutives à une exposition à la chaleur on peut citer :

L'oedème de chaleur est un gonflement des tissus qui survient généralement chez les sujets non acclimatés à la chaleur. Il se manifeste surtout au niveau des chevilles. L'oedème disparaît après un ou deux jours dans une ambiance thermique confortable.

Les éruptions miliaires consistent en l'apparition de minuscules points rouges à la surface de la peau, accompagnés de picotements. Les points rouges résultent de l'inflammation des glandes sudoripares lorsque les pores deviennent obstrués par une sudation trop abondante.

Les crampes de chaleur sont des douleurs musculaires aiguës qui peuvent se manifester seules ou en association avec d'autres troubles dus à la chaleur. Elles sont attribuables à une perte excessive en sodium et surviennent le plus souvent lorsque le sujet boit abondamment pour compenser une perte hydrique, mais sans compenser les pertes minérales (électrolytes).

L'épuisement dû à la chaleur est attribuable à une perte des tissus en eau et en sels minéraux consécutive à une sudation trop abondante. Les signes et symptômes de l'épuisement sont nombreux : sudation abondante, sensation de faiblesse, d'étourdissement ou de soif intense, troubles de la vue, nausées, maux de tête, vomissements, diarrhée, crampes musculaires, difficulté respiratoire, palpitations, picotements et sensa-

tion d'engourdissement dans les mains et les pieds. Il faut placer la victime au repos dans une ambiance confortable et lui faire boire une solution salée fraîche.

La syncope due à la chaleur se manifeste par une sensation de vertige et une perte de conscience, attribuables à une diminution temporaire du débit sanguin cérébral alors que le sujet est debout. Ce malaise est causé par la perte de liquides organiques à la suite d'une sudation abondante et par une chute de tension artérielle attribuable à un afflux de sang dans les membres inférieurs. La syncope de chaleur survient surtout chez les sujets non acclimatés. Les symptômes disparaissent rapidement lorsque la victime est soustraite aux conditions éprouvantes et mise au repos dans une ambiance confortable.

Le coup de chaleur et l'hyperpyrexie (température corporelle élevée) sont les troubles les plus graves associés au travail prolongé en ambiance chaude. Le coup de chaleur se manifeste par un état cutané sec et chaud (par défaut de sudation), une température corporelle souvent supérieure à 41°C et une perte de conscience partielle ou totale. L'hyperpyrexie produit les mêmes symptômes, à la différence que la peau demeure moite.

Le coup de chaleur et l'hyperpyrexie nécessitent une intervention et des soins médicaux immédiats, sinon le cerveau, les reins et le coeur risquent de subir des dommages irréversibles. On peut abaisser la température corporelle du sujet en l'aspergeant avec de l'eau froide après lui avoir retiré ses vêtements. On peut accélérer le refroidissement en créant un courant d'air pour provoquer l'évaporation de l'eau. L'immersion dans un bain d'eau froide est encore plus efficace, mais il y a risque de trop abaisser la température corporelle et de provoquer une perturbation des fonctions cérébrales vitales. Cette solution ne doit donc être appliquée que sous surveillance médicale étroite.

Le manque d'acclimatation, une forme physique déficiente, une diarrhée ou une fièvre préexistante et la prise de certains médicaments, dont les tranquillisants et les diurétiques, augmentent les risques de coup de chaleur et d'hyperpyrexie. Le risque de coup de chaleur est plus élevé chez les sujets qui ont déjà éprouvé d'autres troubles dus à la chaleur.

les risques sur la santé sont classés selon la définition de la croix rouge en trois niveaux :

niveau 1 - coup de soleil : rougeur et douleur, oedème, vésicules, fièvre, céphalées

niveau 2 - crampes : spasmes douloureux (jambes et abdomen), transpiration

niveau 3 - épuisement : forte transpiration, faiblesse, froideur et pâleur de la peau, pouls faible température normale

niveau 4 - coup de chaleur : température corporelle supérieure à 40,6°, peau sèche et chaude, pouls rapide et fort, perte de conscience possible.

Les problèmes de santé liés à une exposition prolongée à la chaleur (pathologies chroniques) :

Certains chercheurs croient qu'il y aurait un lien entre une exposition prolongée à la chaleur et certaines pqthologies des reins, du foie, du coeur, du système digestif, du système nerveux central et de la peau. Toutefois, la preuve n'en a pas été faite.

L'épuisement chronique, certains troubles du sommeil et une prédisposition à certaines blessures et troubles de santé mineurs font partie des pathologies qu'on a tenté d'attribuer à une exposition de longue durée à la chaleur.

Pour l'oeil, le cristallin est particulièrement sensible aux rayons infrarouges émises par le métal chauffé au rouge, du fait qu'il est dépourvu de capteurs de chaleur et de vaisseaux sanguins pouvant servir à le refroidir. Ainsi, les souffleurs de verre et les conducteurs de fours à verre sont souvent atteints de cataractes après de longues années de pratique du métier. Les fondeurs, les forgerons et les conducteurs de fours sont aussi exposés aux risques des rayons infrarouges.

On a aussi pensé que l'exposition à la chaleur pouvait avoir une incidence sur la fertilité. Des expériences pratiquées en laboratoire sur des animaux ont prouvé que le stress thermique peut avoir des conséquences défavorables sur les fonctions de reproduction chez les mâles comme chez les femelles. Chez les mâles, il diminue le taux de reproduction, alors que chez les femelles, il perturbe le cycle menstruel jusqu'à ce qu'il y ait acclimatation à l'ambiance thermique. Chez les animaux exposés simultanément à la chaleur et à des produits chimiques toxiques, la chaleur semble activer l'effet de toxicité des substances chimiques.

Chez l'homme, une augmentation répétée de la température des testicules de l'ordre de 3 à 5°C a comme conséquence de réduire le nombre de spermatozoïdes. Il n'y a aucune preuve que l'exposition à la chaleur entraîne une baisse de fertilité chez la femme. En fait, il n'y a pas suffisamment de données objectives pour établir un lien probant entre la fertilité et l'exposition professionnelle à la chaleur, aux limites d'exposition admissibles.

Des études effectuées en laboratoires sur des animaux homéothermes ont montré que l'hyperthermie chez des femelles gestantes entraînait un taux élevé de mortalité embryonnaire et de malformation de la tête et du système nerveux central. Cependant, il n'a pas été prouvé que l'hyperthermie puisse avoir un effet tératogène sur l'embryon humain. Selon les recommandations de la NIOSH, les femmes enceintes ne devraient pas être exposées à des températures susceptibles de faire augmenter leur température corporelle audelà de 39 ou 39,5°C au cours des trois premiers mois de la grossesse.

(Source: Occupational exposure to hot environments. Revised Criteria. Cincinnati, Ohio: National Institute for Occupational Safety and Health, 1986.)

EVALUATION DE L'AMBIANCE THERMI-QUE:

Pour établir un bilan thermique, il est nécessaire de mesurer les grandeurs de l'environnement physique et celles relatives au sujet (métabolisme et isolement thermique du vêtement).

VI.1 Paramètres spécifiques de l'environnement

Les paramètres physiques fondamentaux et dérivés :

Les paramètres physiques fondamentaux qui

caractérisent une ambiance thermique sont la température sèche de l'air (Ta), l'humidité (H), la vitesse de l'air (Va) et la température moyenne de rayonnement (Tr).

Ces quatre variables, indépendantes l'une de l'autre, sont utilisées pour calculer de nombreux indices de confort ou de contrainte thermique Les paramètres physiques dérivés sont des facteurs pondérés en fonction des caractéristiques des capteurs utilisés.

Les paramètres dérivés les plus utilisés sont :

<u>La température humide naturelle</u> (Thn) qui est fonction de la température, de la vitesse et de l'humidité de l'air ainsi que de la température moyenne de rayonnement ;

La température de globe noir qui est fonction de la température moyenne de rayonnement, de la température et de la vitesse de l'air. Elle est utilisée comme grandeur intermédiaire pour le calcul de la température de rayonnement.

Mesure des paramètres physiques de l'environnement

Paramètres dérivés

Les informations délivrées par les capteurs de mesure des grandeurs dérivées sont fonction des caractéristiques physiques des capteurs utilisés.

- -Capteur de température naturelle : la température humide naturelle est la grandeur indiquée par un capteur de température recouvert d'une mèche humide ventilée naturellement, c'est à dire placé dans l'environnement considéré sans ventilation forcée. La température humide naturelle est donc différente de la température thermodynamique, déterminé avec un psychromètre.
- -Capteur de température de globe noir : la température de globe noir est la température indiquée par un capteur de température placé au centre d'un globe.

Le thermomètre à globe noir est constitué par une sphère noire, au centre de laquelle est placé un capteur de température tel que le bulbe d'un thermomètre à mercure, un thermocouple ou une sonde à résistance.

La surface extérieure du globe doit absorber le rayonnement provenant des parois de l'enceinte.

A cet effet, la surface du globe est noircie, soit par un revêtement électrochimique, soit plus généralement par dépôt de peinture noire mate.

Précautions d'emploi

Le rayonnement d'une enceinte étant souvent un des principaux facteurs de contrainte thermique d'une ambiance, une imprécision lors de la mesure peut conduire à des erreurs dans l'estimation globale de cette contrainte. Les précisions suivantes doivent être considérées :

- 1- Le temps de réponse d'un thermomètre à globe noir est d'environ 20 à 30 mn selon les caractéristiques physiques du globe et les conditions environnementales.
- 2- Dans le cas d'un rayonnement hétérogène, la mesure d'une température de globe noir effectuée en un point n'est pas représentative du champ radiatif global reçu par le travailleur. Il convient de placer les globes noirs aux hauteurs définies dans la norme de telle façon que le rayonnement reçu par chacun des globes soit très proche du rayonnement reçu par chaque partie du corps situé à la hauteur voulue.

Paramètres physiques fondamentaux :

La température de l'air, grandeur fondamentale peut être mesurée par toute technique appropriée, quelle que soit la forme du capteur utilisé. Le capteur de température de l'air doit être protégé du rayonnement par un dispositif n'entravant pas l'écoulement de l'air autour du capteur La gamme de mesure de la température de l'air est de 10 à 60°C et la précision de ± 1 °C Les capteurs de température sont :

- -des thermomètres à dilatation : liquides (mercure) ou solides
- -des thermomètres électriques à variation de résistance (platine, therm... ou générateur de force électromotrice (thermocouple);
- -des thermomanomètres (variation de pression d'un fluide en fonction de la température)

VI.2 Grandeurs relatives au sujet

Le choix et l'utilisation d'un indicateur doivent obéir à certaines conditions :

La spécificité, la validité des mesures, la fiabilité et la reproductibilité des mesures, la sensibilité, les mesures envisagées ne doivent pas entraîner de gêne au plan individuel, l'appareillage ne doit pas être une surcharge supplémentaire, la technique doit être faisable et pratique en milieu de travail, l'aspect coût financier doit être considéré. En pratique en milieu du travail actuellement la technique de l'enregistrement continue de la fréquence cardiaque est la plus utilisée pour les charges physiques avec ou sans contraintes thermiques.

C'est une méthode objective, simple, elle varie dans le même sens que la consommation d'oxygène.

D'autres techniques existent mais sont peu utilisées tels que l'évaluation du métabolisme par mesure de la consommation d'oxygène et la procédure basée sur la nature de la fonction exercée.

Evaluation du métabolisme par mesure de la consommation d'oxygène

La détermination de la consommation d'oxygène (**Vo2**, l/mn) est basée sur la mesure des concentrations en O2 et en CO2 dans les gaz expirés et sur la mesure du débit ventilatoire.

C'est une méthode relativement coûteuse par conséquent elle est rarement utilisée en milieu du travail.

Evaluation du métabolisme à partir de la fréquence cardiaque

L'intérêt de la fréquence cardiaque réside dans la relation directe qu'elle présente avec la consommation d'oxygène.

Le matériel requis est un cardio fréquencemètre. Il est indiqué de pratiquer l'enregistrement durant 8 heures.

Deux paramètres sont le plus souvent calculés, ce sont le coût cardiaque absolu (CCA) et le coût cardiaque relatif (CCR).

Ces paramètres sont généralement donnés directement par le logiciel prévu à cette technique, il est important de bien choisir la fréquence de repos, et nous proposons celle du premier percentile.

CCA = FC moyenne - FC repos

CCR = CCA/ FC max théorique - FC repos.

Les résultats sont interprétés suivant des grilles de pénibilité. Les plus connues des grilles sont celles de Chamoux -Frimat - Meunier.

CCR>30% travail lourd.

CCR < 20% travail léger

CCA > 30% travail lourd.

CCA < 20% travail léger

Evaluation du métabolisme à partir de l'analyse de la tâche

L'évaluation est basée sur la décomposition de l'activité par observation et chronométrage, en mouvements ou efforts élémentaires. Chaque mouvement, effort ou posture de travail est ensuite affecté d'un équivalent métabolique.

Le métabolisme est calculé, pour chaque phase de travail, par la somme de trois facteurs :

-Le métabolisme basal : 70W (femmes), 80W (hommes)

-Le supplément lié à la position du corps;

assis : 20W debout : 45W

- marche de niveau : 140-210 W

- monté d'un escalier : 56 W par mètre

d'élévation par minute

-supplément lié aux mouvements relatifs des mains, des bras, du corps, et à l'intensité de l'effort fourni (léger, moyen, lourd) dont la valeur est donnée dans le tableau n°2:

Tableau N°2
Accroissements de métabolisme selon l'importance des groupes
musculaires sollicités et l'intensité de l'effort fourni

musculaires sollicites et i intensite de l'enort lourni				
	Valeurs moyennes (Watts)	Intervalle (Watts)		
Travail manuel		14 – 84		
· Léger (écrire)	27			
· Moyen	54			
· Lourd –taper à la machine	72			
Travail avec bras		49 – 175		
· Léger	63			
· Moyen	99			
· Lourd (martelage de clous)	135			
Travail des deux bras		70 – 245		
· Léger	117			
· Moyen	153			
· Lourd	189			
Travail avec le corps		175 - 1050		
· Léger	225			
· Moyen	342			
· Lourd (creuser)	504			

Evaluation par analogie à une activité similaire

Le tableau 3 est une version simplifiée des tables de Spitzer et du projet de la norme ISO 8996.

Il donne, pour différentes activités bien précises la production interne de la chaleur (M).

Classification du travail en léger, moyen, lourd et très lourd.

Ces qualificatifs sont utilisés pour un travail en continu de 8h; ils n'ont pas de sens pour un travail occasionnel de quelques instants.

Tableau 3 :
lableau 5.
Evaluation du métabolisme par analogie à une activité similaire
Evaluation du metabolisme par analogie à une activité similaire

Evaluation du métabolisme par analogie à une activité similaire				
Classe	Métabolisme watts	Exemples		
Repos assis Repos debout Travail	100 120			
Léger	180	-travail de secrétariat -travail assis manuel léger (taper sur un clavier, dessiner, coudre,) -travail assis avec de petits outils, inspection, assemblage léger -conduite de voiture, opération d'une pédale,forage, polissage léger de petites pièces -utilisation de petites machines à main -marche occasionnelle lente		
Moyen	300	-travail soutenu des main et des bras (coulage, vissage,) -conduite d'engins, tracteur, camion, -manutention occasionnelle d'objets moyennement lourds -marche plus rapide (3,5 à 5,5 km/h)		
Lourd	410	-travail intense des bras et du tronc -manutention d'objets lourds, de matériaux de construction -pelletage, sciage à main, rabotage -marche rapide (5,5 à 7 km/h) -pousser, tirer chariots, brouettes		
Très lourd	520	-travail très intense et rapide -pelletage lourd, creusage -montée d'escaliers ou d'échelles -marche très rapide, course (>7 km/h)		

Evaluation de l'isolement vestimentaire

Le vêtement offre une résistance à l'écoulement de chaleur entre la peau et l'environnement. L'unité de mesure de l'isolement thermique est le Clo:

1 Clo = 0.155 °C.m2.W

Le tableau 4 présente les valeurs (en Clo) de l'isolement thermique de divers types de vêtements.

	Tableau 4 :	
Isolement Thermiqu	ue Unitaire (Iclu) de p	ièces de vêtements
	(d'après ISO)/DP 9920)	

Type de vêtement	Isolement (Clo)
Sous vêtements	0.04
Soutien-gorge + slip	0,04
Idem + bas	0,06 0,03
Slip homme Calecon	0,03
Caleçon mi-mollet	0,04
Singlet coton (sans manches)	0,06
T-shirt coton	0,10
Idem manches longues	0,12
Chemises et blouses	
Polo manches courtes	0,17
Chemise manches courtes	S 0,19
Chamies manches langues	C 0,24
Chemise manches longues : légère normale	0,20 0,25
flanelle	0,34
Blouse ras du cou	S 0,25
Pantalons	0 0,20
Short coton	0,08
Pantalon : légère	0,20
normale	0,25
flanelle	0,28
Pantalon-salopettes à bretelles	S 0,24 C 0,28
Jupes et robes Jupe - hauteur genou : été	0.15
Jupe - hauteur genou : été hiver	0,15 0,23
Robe – manche longue : été	0,32
hiver	0,47
Robe – manche courte	i i
Pulls	
Léger, manche courte, col en V	S 0,20
Idem, manches longues	S 0,25
Manche longue, ras du cou, laine	0,36
Vestes et vestons Bleu de travail	C 0,52
Veste de travail	S 0,21
Veste de travail	C 0,26
Blouse de laboratoire	0,35
Veston : été	0,36
hiver	0,45
Gillet	0,13
Chaussettes, souliers	0.00
Chevilles :fines	0,02
épaisses Mi-mollet : fines	0,05 0,03
épaisses	0,03
Souliers de ville	0,10
Chaussures de sport	0,02
Gants épais	0,08

(C)coton ; (S) synthétique ou mélange coton-polyester.

EVALUATION DES INDICES DES CONTRAIN-TES THERMIQUES

A partir des grandeurs déjà décrites, il est possible de calculer des indices empiriques ou analytiques dont l'objet est d'exprimer la situation de confort ou de contrainte thermique en valeur simple.

De très nombreux indices ont été proposés. Ils sont regroupés sous deux rubriques :

Indices empiriques ; principalement

-L'indice Wind Chill Index (WCI) pour les expositions froides,

-l'indice Wet Bulb Globe Température (WBGT) pour les expositions chaudes,

Indices analytiques:

Deux indices sont à considérer, l'un en situation de confort : le Predicted Mean Vote - Predicted Percent of Dissatisfied (PMV-PPD), l'autre en situation de contrainte chaude, l'indice Sudation requise (Swreg)

1.L'indice Wind Chill Index (WCI)

Il est donné par la formule suivante:

Avec:

Ta (°C) : Température de l'air ; Va (m/s) : Vitesse de l'air

La valeur WCI calculée en kCal.m-2. h-1 est comparée aux valeurs limites figurant dans le tableau N°5. Cependant la fiabilité de cet indice est relative.

	Tableau N°5 : Valeur limites de WCI
	Valeur limites de WVC
WCI	Effet prévisible et durée limite d'exposition
1000	Sensation de froid intense
1200	Possibilité de gelure
1400	20mn
1600	15mn
1800	10mn
2000	8mn
2200	4mn
2400	1mn

2. L'indice WBGT :

L'indice "WBGT" constitue le critère d'évaluation adopté pour la protection des travailleurs dans la législation de plusieurs pays (Belgique, Finlande, Japon, USA, Tunisie); il fait l'objet de la norme internationale ISO7243.

En l'absence de rayonnement solaire, à l'intérieur des locaux de travail , il se calcule par la formule:

en présence de rayonnement solaire, à l'extérieur, on a:

Où:

tg : La température du globe noir ; thn : la température humide naturelle

Selon la norme ISO 7243, l'indice peut être utilisé pour :

- -Apprécier le caractère tolérable ou non du travail dans la situation étudiée : l'indice WBGT constitue un outil de dépistage de la contrainte ;
- -Organiser l'alternance des périodes de travail et de repos lorsque les valeurs limites sont dépassées.

La probabilité d'un risque de contrainte thermique est évaluée par comparaison du WBGT calculée avec les valeurs WBGT limites, fonction du métabolisme de travail et de l'état d'acclimatement du travailleur. Ces limites sont présentées dans le tableau N° 6.

Lorsque la valeur WBGT limite est dépassée, un repos doit être octroyé, de durée telle que le WBGT moyen sur la séquence totale soit inférieur au WBGT limite moyen calculé sur la même séquence

Tableau N°6 : Valeurs limites de WBGT pour un travail continu et pour des sujets habillés d'un vêtement de travail normal (Icl=0.6Clo) (D'après la norme ISO 7243)						
Classe de métabolisme				Valeur repère du WBGT (°C)		
	Rapporté à l'unité de surface cutanée	Total (W) Pour une surface cutanée moyenne de 1.8m2	Personne acclimatée		Personne non acclimatée à la chaleur	
Classe 0 (Repos)	M≤65	M≤117	33		32.5	
Classe 1	65≤M≤130	118≤M≤234	30		29	
Classe 2	131≤M≤200	235≤M≤360	27.7		25.7	
Classe 3	201≤M≤260	361≤M≤468	Absence courant d'air 25	Mouvement de l'air perceptibles 26	Absence courant d'air 22	Mouvement de l'air perceptibles 23
Classe 4	M>260	M>468	23	25	18	20

La norme ISO 7243 propose des alternances travail-repos de 45-15, 30-30, et 15-45 minutes.

Période et durées des mesures :

La détermination de l'indice WBGT selon la présente norme ne permet que l'estimation de la contrainte thermique subie par un travailleur au moment où les mesures ont été effectuées. En conséquence, il est recommandé de réaliser celles-ci aux périodes correspondant aux contraintes thermiques maximales càd généralement en période chaude d'été en milieu de journée.

3. L'indice "sudation requise"

Cette méthode permet une approche plus précise que la méthode basée sur l'indice WBGT.

La sudation requise est la sudation qui serait nécessaire pour maintenir en équilibre le bilan thermique du corps humain.

Cette sudation n'est pas toujours possible et des limites sont calculées en fonction de l'acclimatement des travailleurs à la chaleur en tenant compte de leur possibilité de sudation moyenne et de la perte hydrique maximale admissible par jour.

L'indice "sudation requise" fait l'objet de la norme internationale ISO 7933 ; il comporte trois volets d'évaluation constituant un enchaînement logique :

- Détermination de la sudation requise (Swreq) pour le maintien de l'équilibre thermique ;
- -Estimation de la sudation effective, dite sudation prédite (SWp), tenant compte des possibilités de sudation du travailleur;
- -Calcul des durées limites d'exposition (DLE) lorsque l'évaporation requise, ou lorsque la perte sudorale cumulée dépasse une valeur limite.

4. Indices de confort thermique

Contrairement aux indices présentés ci-dessus, conçus pour évaluer la contrainte thermique, les indices PMV-PPD proposés par Fanger(1972) ont pour objet l'analyse des conditions de confort thermique.

Le confort thermique est défini comme un état de satisfaction vis-à -vis de l'environnement thermique.

Les indices PMV et PPD sont calculés conformément à la norme ISO 7730 "Ambiances thermiques modérées - Détermination des indices PMV

et PPD et spécifications des conditions de confort thermique".

L'indice PMV (Prédicted Mean Vote) est un indice qui prédit la valeur moyenne des votes d'un grand groupe de personnes sur l'échelle de sensation thermique à 7 points suivante :

+3 : Très chaud, +2 : Chaud, +1 : Légèrement chaud,

0 : Ni chaud, ni froid;

-1 : légèrement froid, -2 : Froid, -3 : Très froid

Le PPD (Predicted Percentage of dissatisfied) est un indice qui prédit le pourcentage de personnes insatisfaites, car trouvant l'ambiance thermique trop chaude ou trop froide et qui voteraient -3, -2, 2, 3.

Remarques:

La figure 1 ci-dessus donne la correspondance entre les indices PMV et PPD

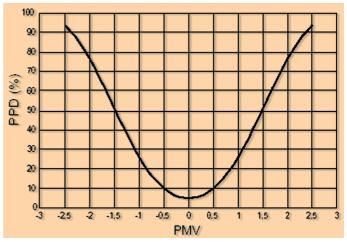


Figure 1 : Correspondance entre les indices PMV et PPD

Dans la situation optimale (PMV=0 ni chaud ni froid), le taux d'insatisfaction est de 5 % parmi les mêmes personnes connaissant les mêmes conditions thermiques et métaboliques;

synthèse

Pour obtenir une situation de confort thermique, il est recommandé que :

- Le PPD soit inférieur à 10%;
- Ce qui correspond à un PMV compris entre -0.5 et +0.5

En plus, il est recommandé que :

- *La vitesse de l'air reste en dessous de 0.5m/s;
- *L'humidité relative soit comprise entre 30 et 50%
- *La différence de température entre 1.1 et 0.1 m du sol soit inférieure à 3°C.
- *La température de surface au sol soit comprise entre 19 et 26 °C.

PREVENTION

Les mesures préventives visent à réduire les risques de maladies/malaises liés à l'exposition à la chaleur :

- -prévention technique collective destinée à assurer une ambiance de travail adéquate
- -prévention technique individuelle destinée à réduire l'exposition des travailleurs
- -prévention médicale
- -Formation des employés pour les aider à reconnaître et à prévenir les problèmes de santé liés à l'exposition à la chaleur .

On trouvera au tableau 4 ci-après une récapitulation des mesures sus mentionnées.

LA PREVENTION TECHNIQUE COLLECTIVE:

Ce sont les mesures de réduction de l'exposition à la chaleur les plus efficaces.

Réduction de la production de chaleur métabolique (chaleur dégagée par le corps) : L'automatisation et la mécanisation des tâches permet de réduire la nécessité de déployer des efforts physiques importants, source de production de chaleur métabolique.

Réduction de la chaleur radiante émise par les surfaces chaudes: Le fait de recouvrir les surfaces chaudes d'un revêtement de protection à faible émissivité (couche de peinture ou feuillards d'aluminium) permet de réduire la quantité de chaleur radiante émise par ces surfaces.

Calorifugeage des surfaces chaudes: Le calorifugeage permet de réduire les échanges thermiques entre une source de chaleur et l'environnement de travail.

Mise en place d'écrans de protection: Les écrans de protection empêchent la chaleur radiante d'atteindre les espaces de travail. Il existe deux types d'écrans, ceux à surfaces en aluminium, en acier inoxydable ou en un autre métal brillant, qui réfléchissent la chaleur vers la source d'émission, et les écrans absorbants comme les chemisages refroidis à l'eau, faits d'aluminium à surface noire, qui absorbent la chaleur et l'évacuent à l'extérieur de l'environnement de travail.

Ventilation et conditionnement d'air: La ventilation, la climatisation locale et l'aménagement de cabines d'observation climatisées sont les moyens les plus couramment utilisés pour assu-

rer aux travailleurs une ambiance de travail moins chaude. Les cabines d'observation permettent aux travailleurs d'aller se rafraîchir entre de brèves périodes d'exposition à une chaleur intense, tout en continuant de surveiller le matériel.

Réduction du taux d'humidité: La climatisation et le conditionnement d'air, la déshumidification, l'élimination des bassins d'eau chaude ouverts, des avaloirs et des caniveaux d'évacuation, ainsi que la réparation des robinets de vapeur qui fuient sont autant de moyens qui permettent de réduire le taux d'humidité dans une ambiance de travail.

LA PREVENTION TECHNIQUE INDIVIDUELLE:



Les vêtements ordinaires assurent une certaine protection contre la chaleur qui se dégage des surfaces chaudes environnantes. Par contre, il existe des vêtements de protection spéciaux pour les travailleurs exposés à des conditions de chaleur extrême. Dans un espace de travail chaud et humide, le port de vêtements légers permet une exposition maximale de la peau et, par le fait même, un refroidissement efficace du corps par évaporation de la sueur.

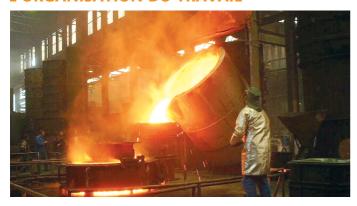
Les travailleurs qui doivent aller et venir entre l'intérieur, où l'ambiance est très chaude et sèche, et l'extérieur, où prévalent des conditions hivernales, sont d'accord pour dire que les sousvêtements longs protègent contre les variations extrêmes de température.

Les travailleurs qui sont en contact avec des substances ou des objets très chauds, comme du métal en fusion ou des fours ou fourneaux fonctionnant à haute température, doivent porter une protection oculaire qui absorbe la chaleur radiante.

Les vêtements imperméables augmentent la charge calorifique puisqu'ils réduisent la capacité du corps à dissiper la chaleur. Lorsque les activités effectuées nécessitent le port de tels vête-

ments, il faut souvent réduire l'indice WBGT à une valeur inférieure à celle qui serait appropriée pour des travailleurs vêtus de vêtements légers.

L'ORGANISATION DU TRAVAIL



Il faut procéder à l'aménagement d'horaires de travail, réduire le temps d'exposition et prévoir de fréquentes pauses, aménager des aires de repos climatisées, permettre une période d'acclimatement suffisante avant le passage au travail à plein régime.

Tableau 6 Récapitulatif des mesures de protection			
Mesure Action			
Mesures d'ingénierie			
Réduire la production de chaleur métabolique	Mécaniser les tâches.		
Éliminer l'exposition à la chaleur radiante émise par des surfaces chaudes	Calorifuger les surfaces chaudes; utiliser des écrans ou des revêtements réfléchissants ainsi que des dispositifs de commande à distance.		
Réduire l'apport de chaleur par convection	Réduire la température ambiante. Augmenter la vitesse de circulation de l'air si la température de l'air est inférieure à 35 °C. Augmenter la ventilation. Aménager des cabines d'observation climatisées.		
Augmenter le taux d'évaporation sudorale	Réduire le taux d'humidité. Installer un ventilateur pour favoriser les mouvements d'air.		
Vêtements	Favoriser le port de vêtements amples qui permettent l'évaporation sudorale tout en freinant la diffusion par rayonnement de la chaleur métabolique. Enfiler une veste de refroidissement ou une combinaison de protection avant les expositions à des conditions extrêmes.		
Mesures administratives			
Acclimatement	Permettre une période d'acclimatement suffisante avant le passage au travail à plein régime.		
Durée de travail	Réduire le temps d'exposition et prévoir de fréquentes pauses.		
Aires de repos	Aménager des aires de repos climatisées.		
Eau	Prévoir une source d'eau potable réfrigérée.		
Rythme de travail	Si possible, laisser les travailleurs adopter leur propre rythme de travail.		
Premiers secours et soins médicaux	Établir la procédure d'urgence. Désigner une personne formée en premiers secours pour chaque poste de travail. Donner aux travailleurs la formation nécessaire pour reconnaître les symptômes de maladies/malaises liés à l'exposition à la chaleur.		

LA SURVEILLANCE MEDICALE

Le contenu de la visite médicale est laissé à l'initiative du médecin du travail. Cependant, il est conseillé à l'embauche d'effectuer un examen clinique détaillé portant notamment sur l'ancienneté au poste, l'âge, le sexe, l'indice de corpulence, la prise d'alcool ou de médicaments, l'état cutané, urinaire, respiratoire, hépatique, neurologique, cardio-vasculaire et circulaire.

En cas d'exposition récente ou exceptionnelle à la chaleur : une surveillance régulière de l'état clinique est nécessaire pour les sujets non acclimatés. Les examens complémentaires :

Bilan urinaire : densité, dosage des électrolytes (Na, Cl, K) en cas de sujet non acclimaté

Bilan sanguin : NFS, hématocrite, bilan ionique, d'embauche et de contrôle

Cardiofréquencemétrie de base à l'embauche pour les travailleurs en ambiance chaude à renouveler éventuellement annuellement selon les résultats, l'état clinique, l'âge.

LA FORMATION

Le phénomène par lequel le corps s'habitue à une nouvelle ambiance thermique s'appelle l'acclimatement. L'acclimatement complet à la chaleur se fait généralement en six ou sept jours, mais cette période peut être plus longue pour certaines personnes. Le processus inverse se fait graduellement à partir du moment où la personne n'est plus exposée de façon permanente à une telle ambiance, parfois même après un long week-end. En raison de la tolérance réduite de l'organisme à la chaleur, il est généralement préférable de ne pas travailler dans des conditions de chaleur extrêmes dès le premier jour de la semaine.

Il importe de laisser les nouveaux employés s'acclimater à la nouvelle ambiance avant de les faire travailler à plein régime. Ainsi, exiger d'un nouvel employé qu'il effectue la moitié de la charge de travail normale le premier jour, en augmentant graduellement la charge les jours subséquents, serait une bonne façon de procéder.

Même si les personnes entraînées et en bonne condition physique tolèrent mieux la chaleur que celles dont la condition est plutôt déficiente, cette qualité ne peut remplacer l'acclimatement. Certains médicaments nuisent à l'acclimatement. Par exemple, les agents hypotenseurs (médicaments destinés à faire baisser la pression artérielle), les diurétiques, les antispasmodiques, les

sédatifs, les tranquillisants, les antidépresseurs et les amphétamines réduisent le niveau de tolérance du corps à la chaleur. Les personnes qui prennent de tels médicaments doivent demander conseil à leur médecin si elles sont appelées à travailler dans des ambiances thermiques chaudes. La consommation d'alcool peut également influer sur la capacité d'acclimatement.

Compensation des pertes en sels et en liquides Les personnes qui travaillent dans des ambiances thermiques très chaudes perdent beaucoup de sels et de liquides en raison de la sudation importante que provoque une telle situation. Ces pertes doivent être compensées. La quantité de liquide à absorber doit correspondre à la quantité perdue, ce qui équivaut, en moyenne, à un litre d'eau par heure. Il importe donc de prévoir, sur le lieu de travail, une source d'alimentation en eau potable réfrigérée (10 -15 °C), et d'encourager les travailleurs à boire de l'eau toutes les 15 à 20 minutes même s'ils n'ont pas soif. Des boissons spécialement conçues pour remplacer les liquides et les électrolytes organiques peuvent également être données aux travailleurs. Ces derniers ne devraient JAMAIS absorber de boissons alcoolisées puisque celles-ci contribuent à déshydrater l'organisme.

La perte de sodium attribuable à la sudation est relativement peu importante lorsque le travailleur est acclimaté à l'ambiance; dans ce cas, le régime alimentaire normal fournit habituellement la quantité de sel nécessaire au maintien de l'équilibre électrolytique des liquides organiques. Par contre, un travailleur non acclimaté, qui transpirerait de façon continue et répétitive, pourrait bénéficier d'un régime alimentaire plus riche en sel. Les comprimés de sodium ne sont pas recommandés parce que le sodium n'est pas absorbé par l'organisme aussi rapidement que l'eau ou d'autres liquides. Une trop forte concentration de sodium peut faire augmenter la température métabolique, favoriser la déshydratation et causer des nausées. Les travailleurs à qui on a prescrit une diète pauvre en sel doivent demander conseil à leur médecin à cet égard.

En présence de conditions ambiantes extrêmes, il importe d'élaborer un plan d'urgence prévoyant, le cas échéant, l'application de mesures de premiers secours et la fourniture de soins médicaux aux travailleurs qui pourraient éprouver des

malaises liés à l'ambiance thermique.

ANNEXE

DEMARCHE PRATIQUE D'EVALUATION D'UNE CONTRAINTE THERMIQUE CHAUDE

La démarche comprend d'abord le diagnostic, ensuite l'analyse rapide de la situation et enfin, lorsque cela s'avère nécessaire, l'analyse approfondie.

1. Diagnostic:

Il a pour objet de classifier la situation examinée dans l'une des trois catégories suivantes :

Confort : ni gêne, ni risque pour la santé ; **Inconfort :** gêne sans risque pour la santé ; **Contrainte :** gêne et risque pour la santé

La classification dans l'une de ces catégories peut être réalisée à partir de l'indice WBGT ; ce qui implique :

- -La réalisation d'une mesure directe ou indirecte WBGT à l'emplacement principal de travail et dans les conditions thermiques les plus défavorables ;
- -L'évaluation grossière de la classe de métabolisme (léger, mi-lourd, lourd, très lourd) à partir des données du tableau N°4.

La mesure directe du WBGT doit être effectuée avec un appareil répondant strictement aux exigences de construction du thermomètre humide naturel (Voir Figure 2). Le diagnostic repose alors sur la comparaison du WBGT moyen obtenu avec le WBGT limite spécifié dans la norme (Tableau 7) pour la classe de métabolisme.

On peut conclure:

-A un problème d'inconfort si WBGTmoyen < WBGTlim;

-A un problème de contrainte si WBGTmoyen >WBGTlim

En pratique, l'indice WBGT ne peut servir que pour le dépistage de situations à risque de contrainte thermique ; suite à quoi :

-Soit des mesures de réduction de la contrainte thermique par des méthodes

appropriées sont prises;

-Soit une analyse approfondie de la situation basée sur la méthode de la sudation requise, suivant la norme ISO 7933 est décidée.

Rappelons que la détermination de cet indice comporte 3 étapes :

- -Le calcul de l'évaporation requise Ereq et l'évaporation maximale, Emax.
- -Le calcul de la mouillure cutanée requise (wreq) et le rendement évaporatoire correspondant (r).
- -Le calcul de la sudation requise (Swreq):

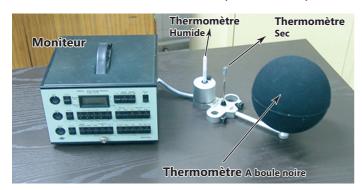


Figure 2: Appareil de mesure de la contrainte thermique (Indice WBGT) type Bruel et Kjaer 1219

La méthode de la sudation requise nous permet de déterminer une durée limite d'exposition dans le cas de contraintes thermiques sévères et cela pour réduire l'astreinte physiologique.

Lorsque les repères ne sont pas dépassés, il n'y a pas réellement exposition à une contrainte thermique ; le problème est réduit à une étude de confort thermique.

Ce type de situation est traité par le recours à la méthode de Fanger Norme ISO 7730 relative à l'étude des ambiances modérées.

CAS D'APPLICATION:

Etude de la contrainte thermique dans une boulangerie

Cette étude a été réalisée par une équipe composée du médecin de travail et d'un ingénieur suite aux plaintes des boulangers.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la contrainte thermique dans la boulangerie.

Matériel et méthode

1. méthode :

Nous avons utilisé l'indice WBGT ayant fait l'objet de la norme ISO 7243 : Il s'agit d'un indice empirique représentatif de la contrainte thermique, il combine la mesure de la température humide naturelle (thn) et la température de globe noir (tg), et, pour certaines situations, la température de l'air (ta).

2. Matériel de mesure

- -Appareil de mesure de la contrainte thermique type B et K 1219
- -Appareil de précision pour la mesure de la température et de la vitesse d'air type testo 490
- -Appareil de mesure de la température et de l'humidité de l'air type testo 635

3. Evaluation de la charge de travail

Pour évaluer la contrainte thermique, il faut connaître la production de chaleur endogène, qui est égale au métabolisme énergétique, car le rendement du travail musculaire est très faible.

L'évaluation du métabolisme énergétique est basée sur la décomposition de la t,che par observation en mouvements et efforts élémentaires du boulanger.

Résultats

1. Mesure des paramètres physiques

Paramètres	ta, °C	tg, °C	Va, m/s	thn, °C
Boulangerie: four tunnel	23.6	27	0.1	20.8

2. Grandeurs physiologiques

D'après les observations de l'équipe, le travail de boulanger correspond à un métabolisme modéré; la valeur à retenir est de 165 W/m2.

3. Calcul de l'indice WBGT

A l'intérieur des bâtiments.

WBGTi = 0.7 thn + 0.3 tg

La norme ISO 7243 fixe des valeurs repères à ne pas dépasser en fonction du métabolisme énergétique et de l'isolement vestimentaire. Les résultats des mesures effectués dans le boulangerie sont les suivantes

Paramètres	thn, °C	tg, °C	M, W/m ²	WBGT, °C
Boulangerie: four tunnel	20.8	27	165	22.7

Interprétations:

Dans la boulangerie étudiée, l'indice WBGT mesuré au niveau du four (22.7°C) est inférieure à la valeur norme (25.7°C).

LEXIQUE

Acclimatation - Réactions physiologiques déclenchées par une exposition à la chaleur d'une durée de plusieurs jours, ayant pour effet d'adapter l'organisme à une ambiance chaude.

Convection - Transfert de chaleur entre un corps et l'air ou un liquide ambiant causé par le mouvement de cette masse d'air ou de liquide.

Déshydratation - Perte ou déficience en eau des tissus organiques par suite de sudation, de vomissement ou de diarrhée. Une soif intense, des nausées et l'épuisement en sont les symptômes.

Crampes de chaleur - Crampes musculaires douloureuses et souvent invalidantes dues à une perte en minéraux des tissus organiques consécutive à une sudation abondante et à l'absorption de grandes quantités d'eau sans remplacement du sodium.

Epuisement dû à la chaleur - Sensation de faiblesse, de lassitude, de soif et de chaleur intenses, étourdissements, troubles de la vue, nausées, vomissements, palpitations, picotement et engourdissement des extrémités consécutivement à une exposition à une ambiance chaude très sévère.

Hyperpyrexie due à la chaleur - Augmentation de la température corporelle accompagnée d'une moiteur de la peau et d'une altération des performances mentales consécutivement à une exposition à une ambiance chaude très sévère. Èruption miliaire - éruption cutanée accompagnée de démangeaison, prenant l'aspect de points rouges enflés apparaissant dans le visage, le cou, le dos, la poitrine et les cuisses sous l'effet de la chaleur et de l'humidité.

Stress thermique - Réactions physiologiques et comportementales consécutives à l'exposition à la chaleur.

Coup de chaleur - Pathologie aiguë causée par une exposition trop longue ou trop sévère à une ambiance chaude, qui se manifeste par les symptômes suivants : peau sèche et chaude, température corporelle élevée (généralement supérieure à 105 °C) et altération des performances mentales.

Syncope due à la chaleur - Perte de conscience transitoire due à une diminution du débit sanguin cérébral. En règle générale, le sujet recouvre rapidement ses sens et ne manifeste aucun symptôme à long terme.

Production métabolique de chaleur - Production d'énergie (chaleur) par l'organisme qui varie en fonction du niveau d'activité.

Température humide naturelle - Température de l'air mesurée au moyen d'un thermomètre dont le réservoir est recouvert d'une mèche de coton mouillée et ventilée naturellement.

Nausée - Sensation d'être sur le point de vomir, semblable au mal de mer.

Rayonnement (thermique) - Transfert de chaleur entre un corps chaud et un corps froid sans qu'il y ait contact entre les deux.

Humidité relative - Rapport entre la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air et la valeur correspondante qui caractérise l'air saturé, à une température et une pression données.

BIBLIOGRAPHIE...

- 1. Mairiaux Ph., Malchaire J. (1990) Le travail en ambiance chaude. Paris, Ed. Masson, pp. 74-86.
- 3.Norme ISO 7726 (1998) Ambiances thermiques Appareils et méthodes de mesurage des caractéristiques physiques de l'environnement. Organisation internationale de Normalisation. Genève
- 4.Norme Internationale ISO 7933 : Ambiances thermiques chaudes- Détermination analytique et interprétation de la contrainte thermique fondée sur le calcul de la sudation requise.
- 5.Norme Internationale ISO 7730 : Ambiances thermiques modérées- Détermination des indices PMV et PPD et spécifications des conditions de confort thermique.
- 6. Norme ISO 7243-1982 : Ambiances chaudes-Estimation de la contrainte thermique de l'homme au travail, basée sur l'indice WBGT (Température humide et de globe noir).
- 6.J. Malchaire, A. Piette Programme d'évaluation des conditions climatiques de travail-Université Catholique de Louvain Unité Hygiène et Physiologie de travail. ; Masson, Paris 1990, pages 155-167.
- 7.J.Malchaire, A. Piette : Ambiances thermiques de travail : Stratégie d'évaluation et de prévention des risques- Ministère fédérale de l'emploi et du travail (Belgique).

Annexe 1: Fiche de mesure

Annexe 2 : Recommandations pratiques pour le mesurage des différents paramètres thermiques

Fiche de mesure de l'ambiance thermique

<u>Entreprise</u>	:	•••••	•••••	•••••
-Poste de travail -Effectif exposé	:			
<u>Mesures</u>				
-Mesure des cond	litions météorologique	25		
	Heure de la mesure	Ta °C	Va m/s	H %
-Mesure des para	mètres d'ambiance th	nermiaue		

Période Niveau Lieu **WBGT** T sèche Va Η T2 humide °C de la de la globe °C °C m/s °C mesure mesure mesure

-۸	lature	de l	'exposition
----	--------	------	-------------

Continue :	Discontinue :	
Continue :	Discontinue :	

-machines	nombre		
-rayonnement solaire	exposition forte	moyenne	faible
-luminaires			

-Evaluation de la charge de travail

-Sources de chaleur :

Travail : intensité	Métabolisme w/m2 norme	Classement du travail effectué
Repos	0	
Travail faible	65 < M < 130	
Travail modéré	130 < M < 200	
Travail lourd	200 < M < 260	
Travail très lourd	M > 260	

-Isolement vestimentaire

Vêtements	l cl, clo norme	I cl Estimé *
Vêtements d'été léger	0,5	
Vêtements de travail léger	0,7	
Vêtements d'hiver	1,0	

-Opérations effectuées :

*Cocher la (les) case(s) correspondantes (s).

Annexe 2 : Recommandations pratiques pour le mesurage des différents paramètres thermiques

1-Température de l'air : t_a (°c)

Mesurages qualitatifs à long terme.

- -Au moyen d'un thermohygrographe ou datalogger;
- -A placer au poste de travail pendant 1 à 2 semaines;
- -Etudier les variations au cours du temps;
- -Déterminer une période représentative pour les mesurages quantitatifs.

Mesurages quantitatifs:

-Au moyen d'un thermomètre à mercure, d'un

- appareil électronique ou d'un psychromètre étalonnés ;
- -Placé au poste de travail à 1,5 m de hauteur er écartant les travailleurs;
- -Abriter le capteur du rayonnement (soleil four,...) par un écran, la main ou une feuille de papier:
- -Attendre la stabilisation de l'appareil:
 - *3-5 min pour un psychromètre
 - *8-10 min pour un thermomètre à mercure,
 - *quelques secondes à 10 min pour un apparei électronique;
- -Précision souhaitée +/- 0,2°c entre 10 et 30°c, +/-0,5 °c en dehors.

2-Humidité de l'air

Mesurages qualitatifs:

- -Au moyen d'un thermohygrographe ou datalogger;
- -Placé au poste de travail;
- -Pendant 1 à 2 semaines;

- -Etudier les variations au cours du temps;
- -Déterminer une période représentative pour les mesurages quantitatifs.

Mesurages quantitatifs:

- -soit de l'humidité relative HR% avec hygromètre:
- -Placer l'appareil au poste de travail à 1,5 m de hauteur en écartant les travailleurs,
- -Abriter le capteur du rayonnement par un écran, la main, une feuille de papier,
- -Attendre la stabilisation de l'appareil selon le temps de réponse de l'appareil,
- -Précision souhaitée : 5%;
 - soit de la température humide th (°C) avec un psychromètre
- -Vérifier l'intégrité et la propreté de l'appareil et surtout du manchon de coton sur le thermomètre humide ; éventuellement le remplacer,
- -Vérifier que l'on dispose d'eau déminéralisée pour humecter le manchon (l'eau calcareuse dégrade le manchon),
- -Placer le psychromètre et la réserve d'eau dans l'ambiance à mesurer pendant 10 à 15 minutes pour les mettre à température,
- -Humidifier le manchon en le trempant dans la réserve d'eau pendant quelques secondes,
- -Remonter le système de ventilation mécanique,
- -Placer le psychromètre au poste de travail à 1,5 m de haut en éloignant les travailleurs,
- -Attendre 3 à 5 minutes et éventuellement remonter le système de ventilation avant de lire les valeurs de ta et th,
- -La température humide peut être convertie en humidité relative (en tenant compte de la température de l'air) au moyen du programme informatique joint à la brochure, ou au moyen du diagramme psychrométrique.

3-Rayonnement thermique

Température de globe noir (Tg °C):

- -Le globe doit avoir un diamètre de 15 cm et être peint en couleur noire mate;
- -Si le diamètre est différent de 15 cm, une correction doit être apportée (en fonction de la température de l'air et de la vitesse).
- -Placer l'appareil au poste de travail à 1,5 m de hauteur en écartant les travailleurs;
- -Attendre la stabilisation de l'appareil : 15 à 30

minutes selon le rayonnement à mesurer.

-Après 15 minutes, lire le thermomètre toutes les minutes jusqu'à stabilisation. Le rayonnement doit être constant durant cet intervalle de temps. S'il varie, le mesurage n'a aucun sens et des appareils plus spécialisés doivent être utilisés.

Températures planes de rayonnement.

Les températures planes de rayonnement requièrent des appareils et des techniques de mesurages coûteux et sophistiqués.

<u>Température moyenne de rayonne-</u> ment.

Cette température est celle de la sphère de grand diamètre, noire, mate, centrée sur le sujet, et qui échangerait avec lui la même quantité de chaleur par rayonnement que l'environnement de travail. Cette température peut être estimée à partir des paramètres t_q, t_a et V_a,

4-Vitesse de l'air : Va (m / s)

- -Les anémomètres à ailettes ne permettent pas de mesurer les vitesses inférieures à 0,3 / 0,5 m/s:
- -Laisser l'anémomètre à fil chaud dans l'ambiance pendant 10 minutes pour le mettre en température
- -Placer la sonde au poste de travail à différents endroits successivement, en l'orientant dans le sens du courant d'air.
- -Pivoter la sonde, en recherchant la vitesse la plus élevée.
- -Lire les vitesses minimales et maximales les plus fréquentes pendant 5 secondes et en faire la moyenne arithmétique (attention l'échelle de lecture n'est pas linéaire en général);
- -Répéter le mesurage 3 fois en différents points et hauteurs de l'aire de travail;
- -Calculer la moyenne arithmétique générale et noter la gamme de variation : la gamme utile de vitesses d'air s'étendant de 0 à 2-5 m/s, seuls les anémomètres à fil chaud peuvent être utilisés.
- -Pour les conditions de confort en particulier, répéter le mesurage au niveau du tronc, de la tête et des jambes.

5-Température humide naturelle : t_{hn} (°C)

Cette température intervient dans le calcul de

NORMALISATION

l'indice WBGT.

- -Il est recommandé de mesurer directement t_{hn} du fait qu'il s'agit :
 - -D'un mesurage global non défini physiquement;
 - -Au moyen d'un appareil peu standardisé;
 - -Qui camoufle les données primaires climatiques.
- -Il est recommandé de mesurer séparément:
 - -La température de l'air,
 - -La température du globe noir,
 - -La vitesse de l'air;
- -Et ensuite d'estimer thn et l'indice WBGT au moyen d'un programme informatique.

- -Norme ISO 7243- Estimation de la contrainte thermique de l'homme au travail, basée sur l'indice WBGT(température humide et de globe noir);
- -Norme ISO 7730 : Ambiances thermiques modérées-Détermination des indices PMV et PPD et spécification des conditions de confort thermique
- -Norme ISO 7726 (1998) Ambiances thermiques-Spécifications relatives aux appareils et méthodes de mesure des caractéristiques physiques de l'environnement
- -Norme ISO 7243-1982 : Ambiances chaudeséstimation de la contrainte thermique de l'homme au travail, basée sur l'indice WBGT (Température humide et de globe noir).

	paramètre		symbole	Gamme de mesure	précision	Temps de réponse à (99 %)	Gamme de mesure	précision	Temps de réponse à (observations
Paramètres fondamentaux	Température de l'air		Ta	10 à 30° €	Spécifié: +- 0.2 k Souhaitable: +-0.1 K Ces précision doivent être garanties même pour un écart $ t_r - t_a $ d'au moins 10 K	Le plus faible possible valeur à préciser comme caractéristique de l'appareil de mesure	-40 à + 120 ° c	Spécifié : +- 0.5 k Souhaitable : +- 0.2 K Ces précision doivent être garanties même pour un écart $t_r - t_a$ d'au moins 10 K	Le plus faible possible valeur à préciser comme caractéristique de l'appareil de mesure	rayonnement thermique issu de parois chaudes ou froides. Une indication de la valeur moyenne sur une période d'une minute est de plus souhaitable.
	Température de rayonnement	Température moyenne de rayonnement	Tr	10 à 40 ° c	Spécifié : +- 2 k Souhaitable : +-0.2 K	Le plus faible possible valeur à préciser comme caractéristique de l'appareil de mesure	-40 à + 1500 ° c	Spécifié : +- 5 k Souhaitable : +-0.2 K	Le plus faible possible valeur à préciser comme caractéristique de l'appareil de mesure	Lorsque la mesure est effectuée avec un globe noir, l'impression de mesure sur la température moyenne de rayonnement peu atteindre +- 5 k en classe C et +- 20 k en classe S selon l'environnement et l'imprécision de mesure sur Va, t, et t _k
		Asymétrie de température de rayonnement	Δt_{pr}	0 à 20 K	Spécifié : +- 1 k Souhaitable : +-0.5 K	Le plus faible possible valeur à préciser comme caractéristique de l'appareil de mesure	0 à 200 K	$ \begin{array}{l} \text{Sp\'ecifi\'e}: 0 ~\grave{a}~20 ~k: +-2 ~K \\ 20 ~\grave{a}~200 ~K: +-0.1 ~\Delta t_{pr} \\ \text{Souhaitable}: 0 ~\grave{a}~20 ~k: +-1 ~K \\ 20 ~\grave{a}~200 ~K: +-0.05 ~\Delta t_{pr} \end{array} $	Le plus faible possible valeur à préciser comme caractéristique de l'appareil de mesure	
	V	itesse de l'air	Va	0.05 0 1 m/s	Spécifié : +- $\begin{vmatrix} 0.05 + 0.05 V_a \\ 0.05 + 0.07 V_a \end{vmatrix} \text{ m/s}$ Souhaitable : $\begin{vmatrix} 0.02 + 0.07 V_a \\ 0.02 + 0.07 V_a \end{vmatrix} \text{ m/s}$ Ces précision doivent être garanties quelle que soit la direction de l'écoulement dans un angle solide $\omega = 3\pi$ sr	Spécifié : 2 s Souhaitable : 1 s	0.2à 10 m/s	Spécifié : +- $\begin{vmatrix} 0.1+0.05 \mathcal{V}_a \\ 0.05+0.05 \mathcal{V}_a \end{vmatrix}$ m/s Souhaitable : $\begin{vmatrix} 0.05+0.05 \mathcal{V}_a \\ 0.05+0.05 \mathcal{V}_a \end{vmatrix}$ m/s Ces précision doivent être garanties quelle que soit la direction de l'écoulement dans un angle solide $\omega=3$ π sr	Le plus faible possible valeur à préciser comme caractéristique de l'appareil de mesure. en ambiance froide $\theta < 0.5 \text{ s}$	Sauf le cas d'un courant d'air unidirectionnel, le capteur de vitesse d'air doit mesurer la vitesse efficace quelle que soit la direction de l'air. Une indication de la valeur moyenne sur une période d'une minute est de plus souhaitable. Le degrés de turbulence est un paramètre important Pour l'étude des problèmes de confort, sa détermination est recommandée. En ambiance froide, il est recommandé d'utiser des appareils de classe C quel que soit le type d'analyse effectué (confort ou contrainte thermique extrême).