

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET

FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUEES

DÉPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

FILIERE DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master professionnalisant

Domaine : Sciences & Technologie

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Maintenance industrielle

THÈME

Etude et évaluation de l'effet des contraintes thermiques d'un four à induction aux niveaux d'entreprise d'ALFET

Préparé par: Mr BENAZIZA Nasreddine
Mr BELLEMHERBET Mokhtar

Devant le Jury :

Nom et prénoms	Grade	Lieu d'exercice	Qualité
GUEMMOUR Mohamed	MAA	UIK Tiaret	Président
MAKHFI Souâd	MAA	UIK Tiaret	Examineur
SASSI Ahmed	MCB	UIK Tiaret	Encadreur

PROMOTION 2016 /2017

Remerciements

*En premier lieu, nous tenons à remercier notre DIEU qui nous a
donné la force pour accomplir ce travail.*

*On tient à présenter nos sincères remerciements à Mr Sassi Ahmed
enseignant à L'université IBN KHALDOUN de TIARET, de nous
avoir encadré, guidé et conseillé tout au long de notre projet,
messieurs*

*les membres du jury pour leurs collaboration durant l'examen de ce
travail
et leurs participation à la soutenance.*

*Nous tenons à remercier nos amis
et tout la promotion 2017 de Génie Mécanique*

DEDICACE

*Je n'y peux rien avant de remercier Allah qui m'a donné la foi pour
que je puisse mener bien ce modeste mémoire*

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui ont passés leur vie rêvant de
voir ce jour-ci, à ceux qui m'ont entourés d'amour et de Tendresse, à : A
la fleur de ma vie... ma très chère mère en témoignage de ma profonde
et ma grande reconnaissance pour sa tendresse, sa patience, son
sacrifice tout au long de mes études*

*A ceux qui sont la source de mon inspiration et de mon
courage, à qui je dois de l'amour et de la reconnaissance.*

A mes parents.

A mes frères , mes soeurs.

A toute ma famille Bellemherbet.

A tous mes Amis sans exception.

*A tout le groupe G.M. ainsi que les étudiants de UNIVERSITÉ IBN-
KHALDOUN DE TIARET*

Bellemherbet Mokhtar

DEDICACE

*J'ai toujours **pensé** faire où **offrir** quelque chose à mes parents en signe de reconnaissance pour tout ce qu'ils ont consenti comme efforts, rien que pour me voir réussir, et voilà, l'occasion est venue.*

*A ceux qui m'ont donné la **vie**, symbole de beauté, et de fierté, de sagesse et de patience.*

*A ceux qui sont la source de mon **inspiration** et de mon **courage**, à qui je dois de l'**amour** et de la **reconnaissance**.*

☉ *A mes **parents**.*

☉ *A Mes frères, et Mes sœurs, et, je vous réserve toujours une place dans mon cœur et mes pensées.*

☉ *A mon grand père et mes grandes mères.*

☉ *A toute ma famille **Benaziza**.*

☉ *A tous mes **Amis sans exception**.*

*A tout le groupe **G.M.** ainsi que les étudiants de UNIVERSITÉ IBN-*

KHALDOUN DE TIARET

BENAZIZA NASREDDINE



Abréviations :

ACGIH : American Conference of Governmental Industrial Hygienists

ALFET: Algérienne des Foundries Tiaret

CSST : La Commission de la santé et de la sécurité du travail au Québec

ISO : Organisation standard international

NIOSH: National Institute of Occupational Safety and Health

RSST : Règlement sur la santé et la sécurité du travail du Québec

TAC : Température d'air corrigée

VMC: ventilation mécanique contrôlée

WBGT : Wet Bulb Globe Température

Unités :

°C : Celsius.

Clo : L'unité de mesure de l'isolement thermique

J : joule

h : Heure.

min : Minute.

m :mètre

K : Kelvin.

s : Second.

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

Figure I.1 : Ouvriers sidérurgistes ouvrant un four à induction.	10
Figure I.2 : Schéma d'un four à induction.....	10
Figure I.3 : Schéma d'un four à induction utilisé par la fonderie de Tiaret.	12

Chapitre II

Figure II. 1 : Illustration de la stratégie de prévention	14
Figure II. 2 : exemple de ventilation mécanique (VMC à double flux)	24
Figure II. 3 : groupe d'extraction pour VMC simple flux	25

Chapitre III

Figure III.1 : Modèle du WBGT.....	33
Figure III.2 : Nouveau modèle du WBGT	34
Figure III.3: Thermomètre Botsball	36
Figure III.4: Les valeurs limites d'exposition à la chaleur	43
Figure III.5 : Les limites de limite de seuil admissibles pour la protection contre l'exposition à la chaleur pour les personnes ayant une acclimatation à la chaleur et à l'ablation.....	45

LISTE DE TABLEAUX

Chapitre I

Tableau I .1 : Acclimatation et ré acclimatation	7
--	---

Chapitre II

Tableau II .1: Température d'ambiance de travail en fonction du degré d'humidité	17
Tableau II .2 : le guide de stress thermique	18
Tableau II .3 : présente les valeurs de l'isolement thermique de divers types de vêtement	26
Tableau II .4 : Modification d'horaire de travail comme moyen de contrôle	28
Tableau II .5 : Récapitulatif des mesures de protection	29

Chapitre III

Tableau III .1 : Valeurs déterminées à partir du WBGT	37
Tableau III .2: Évaluation de la charge de travail valeurs moyennes de Métabolisme pour différentes activités	39
Tableau III.3: Valeurs limitées admissibles d'exposition à la chaleur en °c (wbgt)	44

SOMMAIRE

Introduction générale	1
------------------------------------	---

Chapitre I:Généralités sur les effets thermiques

I .1.Échanges de chaleur	3
I.1.1. Production de chaleur métabolique	3
I.1.2. Échanges par convection	4
I.1.3. Échanges par rayonnement	4
I.1.4.Perte par évaporation	5
I .2.Thermorégulation	5
I .3.Acclimatement	6
I .3.1.Acclimatement en milieu de travail	6
I .4.Risques à la santé	7
I .4.1. Épuisement	8
I .4.2.Crampes de chaleur	8
I .4.3. Éruptions cutanées	8
I .4.4. Syncope	8
I .4.5. Coup de chaleur	8
I .4.6. Autres effets	9
I .5. Généralités sur four à induction	9
I .5. 1. Description d'Un four à induction	9
I .5. 2. Poste de fusion d'ALFET (Algérienne des Fonderies Tiaret)	11

Chapitre II: la prévention contre les contraintes thermiques

II.1. Stratégie à 4 niveaux pour la gestion Des conditions de travail à la chaleur	13
II.1.1. Niveau 1: Dépistage	14
II.1.2. Niveau 2: Observation	14
II.1.3. Niveau 3: Analyse	15
II.1.4. Niveau 4: Expertise	15
II.2. Gestion des contraintes thermiques	16
II.3. Hydratation	19
II.4.Comment répondre à une situation où un employé démontre des symptômes de coup de chaleur.....	19
II.5. Communication et encouragement des employés	19

II.6. Définition information générale pour la formation.....	20
II.6.1. Définition de la contrainte thermique	20
II.6.2. Conditions menant aux contraintes thermiques	20
II.6.3. Symptômes d'épuisement dû à la chaleur	20
II.6.4. Crampes de chaleur.....	21
II.6.4.1.Symptômes des crampes de chaleur	21
II.6.4.2.Irritation ou inflammation due à la chaleur.....	21
II.6.4.3.Fatigue passagère due à la chaleur.....	21
II.6.4.4.Syncope due à la chaleur.....	21
II.6.4.5.Symptômes de coup de chaleur	22
II.7.Mesures d'ingénierie	22
II.7.1 Réduction de l'exposition.....	22
II.7.1.1.Eloignement de la source de chaleur	22
II.7.1.2.Réduction de la chaleur radiante.....	22
II.7.1.3.Réduction de la température de l'air	23
II.7.1.4.Contrôle de l'humidité.....	25
II.7.1.5 Équipement de Protection Individuelle.....	25
II.8. Mesures administratives.....	27
II.8.1. Période de récupération	27
II.8.2. Formation.....	28
II.8.3. Diminution de la charge de travail.....	28
II.8.4. Réorganisation des tâches	28
II.8.5. Premiers soins	29
II.9.l'organisation du travail	29

Chapitre III : Méthodes d'évaluation de la Contraintes thermique

III.1. Environnement	31
III.1.1. L'indices WBGT (Wet Bulb Globe Temperature)	31
III.1.2. Méthodes alternatives	35
III.1.2.1.Botsball	35
III.1.2.2.Thermomètres sec et humide	36
III.2.Charge de travail	38
III.2.1.Consommation d'oxygène	38

III.2.2.Fréquence cardiaque	38
III.2.3.Méthode par analogie	38
III.2.4.Décomposition de la tâche.....	39
III.3. Application de la norme	41
III.3.1.Valeurs limites d'exposition à la chaleur	41
III.3.2.Conditions d'application de la norme	44
III.3.3.Limites de la norme WBGT	46
Conclusion générale	47

Bibliographies

Lexique

Annexe

Réisme

Introduction générale

Les lignes directrices qui suivent vous aideront à mettre sur pied un programme de gestion des contraintes thermiques dans le milieu de travail, et à protéger les travailleurs dans l'environnement immédiat.

Un milieu ou un lieu de travail où il existe des préoccupations quant à la chaleur doit se doter d'un programme pour répondre aux situations éventuelles. Ce programme doit comprendre des méthodes de surveillance et de formation des travailleurs, de même qu'un plan pour administrer les premiers soins aux personnes touchées.

La clé réside dans la prévention. Beaucoup de facteurs contribuent aux maladies et aux blessures d'origine thermique et qui peuvent être maîtrisés afin de réduire les risques.

Au travail, si vous êtes dans un environnement très chaud, le travail effectué peut devenir pénible et vous affecter à la fois physiquement et mentalement. À la limite, il peut comporter des risques pour votre santé et votre sécurité.

Le présent mémoire comporte trois chapitres, traitant les différents aspects théoriques sur les contrainte thermique Le premier chapitre présente les effets thermique sur les travailleurs ainsi que de quelle façon une ambiance thermique chaude peut affecter les personnes exposées. Le deuxième chapitre traite les mesures préventives à appliquer pour réduire les accidents et les maladies professionnelles relatifs aux contraintes thermiques au niveau entrepris.

Le troisième chapitre traite l'analyse et la méthode d'évaluation du stress thermique ainsi que les normes à respecter face à la contrainte thermique et leurs limites, l'application de l'indice WBGT peut assurer une sécurité acceptable aux conditions suivantes :

- Un contrôle strict de l'acclimatement des travailleurs
 - Appliquer les facteurs de correction pour la tenue vestimentaire
- Estimer les valeurs de métabolisme de façon conservatrice (favorisant les valeurs supérieures)
- Respecter les limites de l'un et l'autre indice
- Assurer un suivi médical étroit des travailleurs
- Offrir à tous les travailleurs une formation adaptée sur le travail en ambiance chaude
- Maintenir de l'eau potable disponible dans les ambiances chaudes.

Introduction

Vous avez sûrement déjà vu une couleuvre ou un lézard se prélasser sur une roche au soleil. En fait, ces animaux étaient en train de travailler à leur survie !!! Ce sont des animaux à sang froid, et comme la température interne de leur corps varie avec celle de leur environnement, ils s'exposent au soleil pour se réchauffer.

Contrairement à eux, nous sommes des animaux à sang chaud, comme tous les mammifères d'ailleurs. Nous avons un mécanisme de thermorégulation qui nous permet de maintenir constante la température interne de notre corps, indépendamment du milieu ambiant et de notre activité physique, mais ce, jusqu'à une certaine limite. Heureusement d'ailleurs, sinon nous passerions l'hiver littéralement congelé!

L'organisme en bonne santé maintient sa température centrale autour de 37 °C, une variation de plus ou moins 1 °C pouvant se produire au cours de la journée selon le niveau d'activité. Une variation de plus de 1 °C ne se produira qu'en cas de maladie, c'est la fièvre, ou encore si les conditions de contraintes thermiques sont telles que l'organisme est incapable de supporter la température ambiante.

On parlera de **contraintes thermiques** lorsque les conditions environnementales et le travail effectué imposent une charge de chaleur à l'organisme. Dans de telles conditions, l'organisme devra réagir pour maintenir sa température interne autour de 37 °C.

Le stress thermique est la charge thermique nette [globale] à laquelle un travailleur peut être exposé en raison de l'apport combiné de la chaleur métabolique, de certains facteurs environnementaux (p. ex. température ambiante, humidité, mouvement de l'air et chaleur rayonnante et des exigences vestimentaires). La chaleur métabolique est la chaleur qui est produite par le corps et qui résulte notamment de processus chimiques, de l'exercice, de l'activité hormonale et de la digestion.

La chaleur peut provenir de diverses sources. Par exemple :

- Dans les fonderies, les usines, les hauts fourneaux, les fours, les fabriques de verre et les boulangeries, la principale source de chaleur réside dans les matières extrêmement chaudes, ignées ou en fusion.
- Pour les travaux qui se déroulent à l'extérieur, comme la construction, les travaux routiers, l'exploitation de mines à ciel ouvert et les travaux agricoles, le soleil est la principale source de chaleur.
- Dans les buanderies, les cuisines de restaurants et les conserveries, l'humidité s'ajoute à la chaleur.

I.1.Échanges de chaleur

Le corps humain produit et échange de la chaleur avec son environnement. Pour que sa température interne se maintienne autour de 37 °C, le bilan de ces échanges de chaleur par gain ou par perte, devrait être nul. Ces gains et ces pertes se font principalement par :

- Production de chaleur métabolique ;
- échange par convection ;
- échange par rayonnement ;
- Perte par évaporation. [1]

I.1.1. Production de chaleur métabolique

C' est l'ensemble des réactions chimiques qui se déroulent au sein d'un être vivant pour lui permettre notamment de se maintenir en vie, de se reproduire, de se développer et de répondre aux stimuli de son environnement. Certaines de ces réactions chimiques se déroulent en dehors des cellules de l'organisme, comme la digestion ou le transport de substances entre cellules. Cependant, la plupart de ces réactions ont lieu dans les cellules elles-mêmes et constituent le métabolisme intermédiaire.

La biochimie cellulaire repose sur des réactions chimiques catalysées par des enzymes, c'est-à-dire des protéines possédant chacune la faculté de faciliter une réaction chimique spécifique. Ces réactions sont régies par les principes de la thermodynamique et s'organisent en voies métaboliques. Ces dernières sont constituées d'un ensemble de transformations permettant de convertir un composé chimique en un autre à travers des transformations successives, parallèles ou cycliques, catalysées par des enzymes. Certaines de ces enzymes sont soumises à une régulation par des métabolites cellulaires ou par des signaux extracellulaires. Ces facteurs de régulation modifient la cinétique enzymatique, accélérant ou ralentissant certaines réactions déterminantes, et aboutissant à l'autorégulation du système par l'ouverture et la fermeture des différentes voies métaboliques selon les circonstances. [1]

L'énergie nécessaire au métabolisme humain est fournie par les aliments et est exprimée en calories.

Loi de Newton

$$E_q = c^* \cdot S \cdot \Delta T / v \quad (1. I)$$

Les êtres vivants échangent de la chaleur par conduction (surtout les animaux)

E_q : chaleur échangée avec le milieu (J)

c^* : résistance linéique thermique du milieu (W/m.K)

S : surface d'échange entre la peau et le milieu (m^2)

ΔT : différence de température entre la peau et le milieu ($^{\circ}K$)

v : vitesse de déplacement

Notre organisme produit de la chaleur par le simple fait de nous maintenir en vie. Plus une activité physique est intense, plus la chaleur que nous produisons est importante. Cette chaleur produite (chaleur métabolique) représente un gain de chaleur pour notre organisme.

I.1.2. Échanges par 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 le procédé par lequel notre organisme échange de la chaleur avec l'air ambiant. Ces échanges sont influencés par :

- La température de la peau,
- La température de l'air,
- La vitesse de l'air au niveau de la peau,
- Les vêtements.

Lorsque la température de l'air est plus basse que celle de la peau qui est d'environ $35^{\circ}C$, la peau transmet sa chaleur à l'air. L'air ainsi chauffé s'élève pour laisser la place à de l'air non chauffé qui va à son tour refroidir.

La peau, et ainsi de suite. Si au contraire l'air ambiant est plus chaud que la peau, c'est la peau qui va recevoir de la chaleur de l'air. Plus la vitesse de l'air est grande, plus les échanges de chaleur seront importants. Rappelez-vous comment l'effet d'un ventilateur peut être agréable quand il fait chaud. Les vêtements, en agissant comme une barrière, peuvent limiter les échanges entre la peau et l'environnement. [1]

I.1.3. Échanges par 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 $36^{\circ} C$, 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:

- la température de la peau,

- la température de rayonnement,
- les vêtements.

Par exemple, si vous êtes assis devant un feu de camp, seule la partie de votre corps qui fait face au feu se réchauffera. L'air ne se réchauffe pas tellement par rapport au gain de chaleur de votre corps qui fait face au feu : c'est un gain par rayonnement.

Près d'un séchoir, votre organisme capte donc de la chaleur par rayonnement. De la même façon, si vous vous tenez près d'une grande fenêtre par une froide journée d'hiver, vous perdrez de la chaleur par rayonnement. Ici encore, les vêtements peuvent limiter les échanges entre la peau et l'environnement. [4]

I.1.4.Perte par évaporation

L'évaporation de la sueur est la principale défense de l'organisme contre une augmentation excessive de chaleur. Les pertes par évaporation sont influencées par :

- la surface de la peau qui sue,
- l'humidité de l'air,
- la vitesse de l'air au niveau de la peau,
- les vêtements.

En s'évaporant de la peau, chaque goutte de sueur emporte avec elle un peu de chaleur. La quantité de chaleur ainsi perdue sera fonction du volume de sueur évaporée. La sueur qui coule sur votre corps ne permet pas de refroidissement puisqu'elle ne s'évapore pas. Plus l'air ambiant est humide, plus la sueur à la surface de la peau s'évaporerait difficilement; elle coulerait et ne serait donc pas efficace pour refroidir le corps. Ainsi donc, à température de l'air égale, vous aurez plus de difficulté à vous refroidir par la transpiration si vous travaillez à la teinturerie que votre collègue qui travaille à l'inspection, même si vous transpirez autant l'un que l'autre!

En suant, l'organisme rejette de l'eau et des sels minéraux. Dans des conditions très sévères, une personne peut perdre jusqu'à deux litres d'eau par heure.

I .2.Thermorégulation

Lorsqu'il se produit une augmentation de la température interne du corps, soit par une activité physique (chaleur métabolique) et/ou par convection et/ou par rayonnement, l'organisme met en branle ses mécanismes de thermorégulation.

La fréquence cardiaque augmente et le débit sanguin vers les organes internes diminue pour envoyer plus de sang vers la peau. Le sang, qui transporte de la L'évaporation de la

sueur étant la principale défense de l'organisme contre une augmentation excessive de chaleur interne, ce dernier va également commander le réflexe de sudation. [1]

Rappelez-vous, quand vous pratiquez un sport intensif, votre rythme cardiaque augmente, votre peau devient plus chaude et vous vous mettez à suer. Tous ces mécanismes de thermorégulation permettent d'évacuer la chaleur que votre métabolisme produit suite à une activité.

Ce merveilleux mécanisme de contrôle qu'est la thermorégulation a toutefois ses limites: y faire appel de façon excessive peut amener sa défaillance ou encore ne plus suffire à rétablir une température adéquate. De plus, les réactions physiologiques telles que l'augmentation du débit cardiaque, la sudation, la diminution de l'apport en sang à certains organes sont contraignantes pour l'organisme.

I.3.Acclimatement

Si vous partez en vacances dans les îles du sud en hiver, les premières journées vous aurez peut-être plus de difficulté à supporter la chaleur. Mais, après quelques jours, vous vous sentirez mieux puisque votre tolérance à la chaleur aura augmentée. En fait ce changement est le résultat d'un processus physiologique d'adaptation appelé acclimatement. Une Personne acclimatée ne présente les caractéristiques suivantes :

- sa fréquence cardiaque a diminué, son cœur est devenu plus efficace, il fournit moins d'efforts pour envoyer le sang vers la peau;
- elle transpire plus, plus rapidement, ce qui régularise mieux sa température interne;
- sa sueur contient moins de sels;
- la température de son corps est plus près de la normale et même en présence d'une contrainte, elle souffre moins de la chaleur.

Tous ces facteurs font en sorte qu'une personne acclimatée évacue plus facilement la chaleur accumulée par son organisme et devient, pas le fait même, plus tolérante à la chaleur.

I.3.1.Acclimatement en milieu de travail

L'acclimatement complet à la chaleur nécessite de 8 à 12 jours d'exposition à un environnement donné avec une charge de travail donnée. En contrepartie, l'acclimatement se perd complètement dans un temps à peu près égal si la personne n'est plus exposée à ces conditions. Une absence pour maladie d'environ 4 jours consécutifs fait également perdre une bonne partie de l'acclimatement.

Normalement, pour un poste où il y a exposition à la chaleur, l'acclimatement des travailleurs se fait au fur et à mesure que la température augmente durant la saison estivale. Cependant, ceci ne s'applique pas toujours aux travailleurs de la maintenance qui sont souvent moins acclimatés.

Une procédure permettant un acclimatement partiel ou un ré acclimatement après une absence de moins de 9 jours consécutifs a été développé par le National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) et est reprise par la CSST. [4]

Tableau .I.1 Acclimatation et ré acclimatation				
Acclimatement			Ré acclimatement	
Journée d'exposition	Pourcentage du travail à la chaleur		Journée d'exposition	Pourcentage du travail à la chaleur
J1	50 %		J1	50 %
J2	60 %		J2	70 %
J3	70 %		J3	90 %
J4	80 %		J4	100 %
J5	90 %			
J6	100 %			

I .4.Risques à la santé

En condition de contrainte thermique, l'organisme réagit physiologiquement pour essayer de surmonter la contrainte imposée. Cette réaction peut être très exigeante. Les personnes exposées à une chaleur ambiante excessive sont donc potentiellement sujettes à des problèmes de santé de plusieurs types, tels que :

- l'épuisement,
- les crampes de chaleur,
- les éruptions cutanées,
- la syncope,
- les coups de chaleur.

Il est important de reconnaître les symptômes associés à ces réactions afin d'en déceler les premiers signes et prendre les mesures qui s'imposent avant que la situation ne devienne dramatique.

I .4.1. Épuisement

Si le mécanisme de transpiration est très sollicité et que l'eau et les sels ainsi perdus ne sont pas remplacés, les symptômes suivants peuvent être ressentis :

- soif,
- faiblesse,
- étourdissements,
- maux de tête,
- fatigue extrême,
- nausées,
- vomissements.

Il faut alors que la personne se repose dans un endroit frais et qu'elle boive. L'acclimatement à la chaleur peut souvent prévenir une telle situation.

I .4.2.Crampes de chaleur

La perte excessive de sels minéraux par la transpiration et le non remplacement de ces derniers peuvent amener des contractions spasmodiques et douloureuses des muscles principalement aux bras, aux jambes et à l'abdomen. Il suffit habituellement d'absorber un liquide contenant une bonne proportion de sels minéraux pour en compenser la perte.

I .4.3. Éruptions cutanées

L'exposition à la chaleur peut provoquer des éruptions cutanées (boutons et rougeurs) accompagnées d'une sensation de picotement ou de fourmillement. Ces effets surviennent surtout lorsque la peau a été mouillée par la sueur de façon prolongée.

I .4.4. Syncope

Lorsque, en réponse à l'augmentation de la chaleur, l'organisme amène un trop grand apport sanguin vers la peau, plus particulièrement aux membres inférieurs, cela peut provoquer une baisse de la pression artérielle et un apport insuffisant de sang au cerveau. Un mécanisme de sécurité s'enclenche alors : pâleur, étourdissements et vertiges pouvant mener à l'évanouissement : c'est la syncope. Cette situation s'observe surtout lors d'un travail statique debout et chez les sujets non acclimatés. Il faut alors faire reposer la personne dans une atmosphère fraîche, en position couchée. Si elle est inconsciente, on doit préférentiellement lui surélever les jambes.

I .4.5. Coup de chaleur

Le coup de chaleur est la conséquence la plus grave d'une défaillance de la thermorégulation. Il se produit lorsque la charge de travail est très élevée et/ou que la chaleur du milieu est très intense. La personne victime d'un coup de chaleur présente les symptômes suivants :

- transpiration réduite ou nulle,
- température corporelle élevée (au-dessus de 40,5 °C),
- peau chaude, sèche et rouge (parce qu'elle ne transpire plus),
- pouls rapide,
- confusion mentale, délire pouvant mener jusqu'à la perte de conscience, le coma ou même la mort.

La personne victime d'un coup de chaleur doit immédiatement être retirée du milieu chaud et refroidie rapidement, sous surveillance médicale. Le coup de chaleur est plutôt rare et le risque est plus grand chez les sujets non acclimatés. Il est également plus élevé chez les obèses et les personnes âgées.

I .4.6. Autres effets

La fatigue est probablement l'effet le plus fréquent dû à la chaleur. La fatigue, l'irritabilité et l'épuisement qui présentent alors qu'il fait très chaud sont des sensations familières qui s'aggravent lorsque la fatigue n'est pas soulagée.

Un travailleur souffrant du stress provoqué par la chaleur se sent inconfortable et épuisé. Dans de telles conditions, il sera moins alerte, d'où la possibilité accrue que survienne un accident de travail.

I .5. Généralités sur four à induction

I .5. 1. Description d'Un four à induction est un four électrique fonctionnant grâce au phénomène de chauffage par induction de métal. L'avantage de ce procédé est qu'il est propre, économe en énergie et permet de mieux contrôler la fusion des métaux.

Les fonderies modernes utilisent ce type de four qui supplante les hauts fourneaux pour produire la fonte, car ces derniers émettent beaucoup de poussières et polluent beaucoup.

Le four à canal est le premier à être utilisé industriellement. Les capacités des fours à induction varient de moins d'un kilogramme à cent tonnes ; ils sont utilisés pour fondre le fer et l'acier, le cuivre, l'aluminium et les métaux précieux. Comme aucun arc ou combustion n'est utilisé, la température de la matière n'est pas supérieure à celle requise pour le faire fondre, ce qui peut prévenir la perte des éléments d'alliage précieux.

L'inconvénient majeur à l'utilisation du four à induction dans une fonderie est l'absence de raffinage dans le phénomène : les matériaux de charge doivent être propres de produits d'oxydation et d'une composition connue, et certains éléments d'alliage peuvent être perdus en raison de l'oxydation (et doivent être rajoutés après-coup à la fonte). Les fréquences opérationnelles vont de 50 60 Hz à 400 kHz ou plus, en fonction du matériau à fondre, du volume du four et de la vitesse de fusion requis.



Figure I.1. Ouvriers sidérurgistes ouvrant un four à induction.

En règle générale, plus le volume des matériaux à fondre est faible, plus la fréquence du four est élevée. Ceci est dû à l'épaisseur de peau, la distance que le courant alternatif doit traverser sous la surface d'un conducteur. Pour la même conductivité, les fréquences de courant plus élevées permettent de peuvnt sous une peau fine, donc moins de pénétration dans la masse fondue. Les basses fréquences peuvent générer des mouvements ou des turbulences dans le métal. [2]

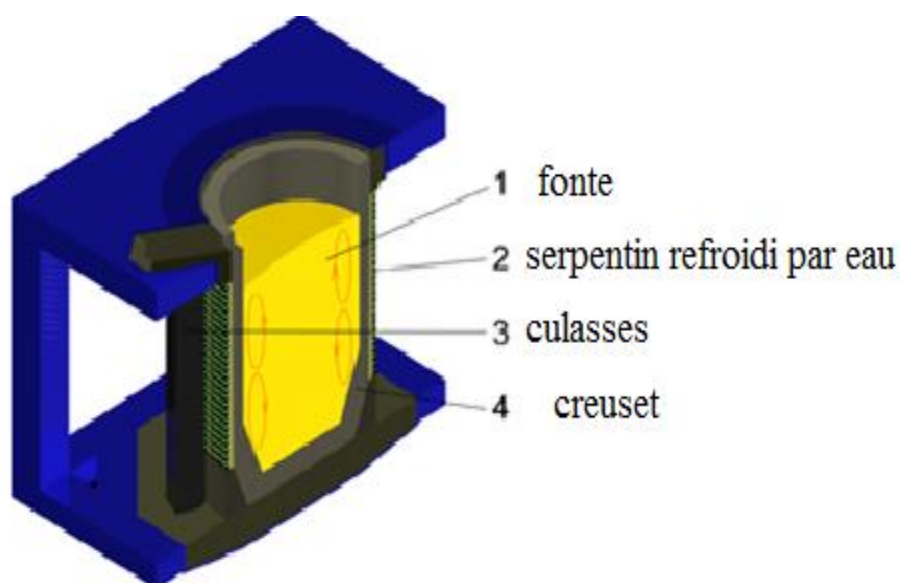


Figure I.2. Schéma d'un four à induction

Un four préchauffé d'une capacité d'une tonne de fer peut fondre et exploiter une charge froide en une heure. La puissance nécessaire varie de 10 kW à 42 MW, pour des volumes de fonte, respectivement, de 20 kg à 65 t de métal.

Un four à induction d'exploitation émet généralement un bourdonnement ou sifflement dus à des forces magnétiques fluctuantes et de la magnétostriction, dont la hauteur de tonalité est indicatrice de fonctionnement et de niveau de puissance.

Les premiers fours apparaissent au début du XX^e siècle. Cette technologie est développée à partir des travaux de Kjellin, Rodenhauser, Wyatt et Russ, notamment, mais ne sort guère des laboratoires en raison du manque de fiabilité. À partir de 1920, les progrès apportés aux condensateurs statiques et aux convertisseurs donnent le départ à l'usage industriel des fours à induction. [2]

Il faut toutefois attendre encore 10 ans pour installer en fonderie des fours jusqu'à 4 tonnes de capacité. Les nouvelles applications industrielles amorcent une amélioration constante. Dès 1955, notamment, en fonderie, on produit des alliages cuivreux. La fréquence réseau, de 50 Hz, est quasiment la seule utilisée jusqu'aux années 1970, et la recherche ne vise que l'augmentation de la capacité pour atteindre une centaine de tonnes. À la crise pétrolière de 1973, les fours à creuset à basse fréquence, de grande capacité, se montrent inadéquats en termes de consommation d'énergie et leur présence en fonderie se raréfie.

I .5. 2. Poste de fusion d'ALFET (Algérienne des Fonderies Tiaret)

La fonderie de Tiaret utilise généralement 2 fours électriques à induction sur les 4 installés par des raisons économiques.

La fusion du métal s'effectue grâce au passage d'un fort courant électrique traversant une bobine d'induction constituée d'un tube de cuivre où circule un courant électrique et de l'eau de refroidissement. Les deux éléments (courant électrique, eau) sont séparés par un matériau étanche afin d'éviter un éventuel contact. Dans le cas contraire, il se produit une explosion qui peut causer des dommages importants sur le four et peut même blesser les opérateurs travaillant. [3]

La figure I.3 représente le schéma d'un four électrique à induction utilisé par la fonderie de Tiaret

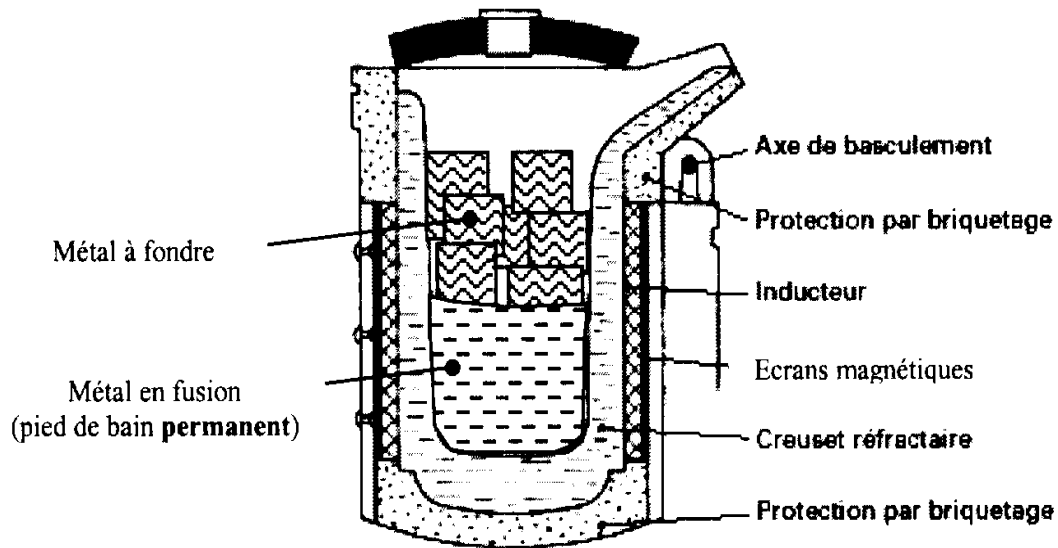


Figure I.3. Schéma d'un four à induction utilisé par la fonderie de Tiaret

Au cours du stage effectué à ALFET, nous avons remarqué que les fours électriques à induction sont la principale source de contrainte thermique et la chaleur réside dans les matières extrêmement chaudes, ignées ou en fusion de métal.

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.

Le présent chapitre a pour but d'identifier les différents effets thermiques sur la santé des travailleurs tels que : l'épuisement; les crampes de chaleur; les éruptions cutanées ; la syncope ; les coups de chaleur.

La température corporelle est maintenue constante à travers des échanges avec l'environnement par : Production de chaleur métabolique; échange par convection; échange par rayonnement; Perte par évaporation.

Introduction

L'objectif principal est de réduire les accidents et les maladies professionnelles relatifs aux contraintes thermiques au niveau entreprise.

Les conditions de températures élevées et d'humidité placent les employés qui travaillent avec ou sans équipement de protection individuelle, à risque de maladies liées aux contraintes thermiques.

Une série de contrôles d'ingénierie comprenant une ventilation générale et le refroidissement par ventilation d'échappement local aux moments de la production de chaleur élevée peuvent aider à prévenir les maladies causées par les contraintes thermiques. L'isolation des sources de chaleur est une solution potentielle comme protection contre des sources de chaleur radiante. La réfrigération mécanique et le refroidissement par évaporation sont d'autres manières de réduire la chaleur. Les ventilateurs peuvent également aider à réduire la chaleur lors de conditions de températures extérieures chaudes. L'élimination de toute fuite de vapeur aidera également. Les modifications d'équipement, l'utilisation d'outils électriques pour réduire le travail manuel et l'utilisation de dispositifs de refroidissement personnels ainsi que fournir des vêtements de protection sont d'autres manières de réduire les risques d'exposition à la chaleur pour la main-d'œuvre.

Lorsqu'il est impossible de réduire la chaleur ou le stress lié aux contraintes thermiques par des moyens de contrôle d'ingénierie, des mesures administratives peuvent être implantées pour réduire le risque :

- mise en place de pratiques de travail pour la distribution d'eau et la formation des travailleurs
- Implantation d'un régime de travail/repos pour permettre aux employés de récupérer de leur exposition aux contraintes thermiques au cours de la période de travail.

II.1. Stratégie à 4 niveaux pour la gestion Des conditions de travail à la chaleur

La stratégie développée suit les principes de la stratégie **SOBANE** décrite par Malchaire (1997) et est très proche de ce qui fut proposé par Malchaire et al (1998) et mis à la disposition des entreprises en Belgique par le Ministère fédéral de l'Emploi et du Travail. L'approche peut être résumée par le graphique de la figure **II. 1.** [5]

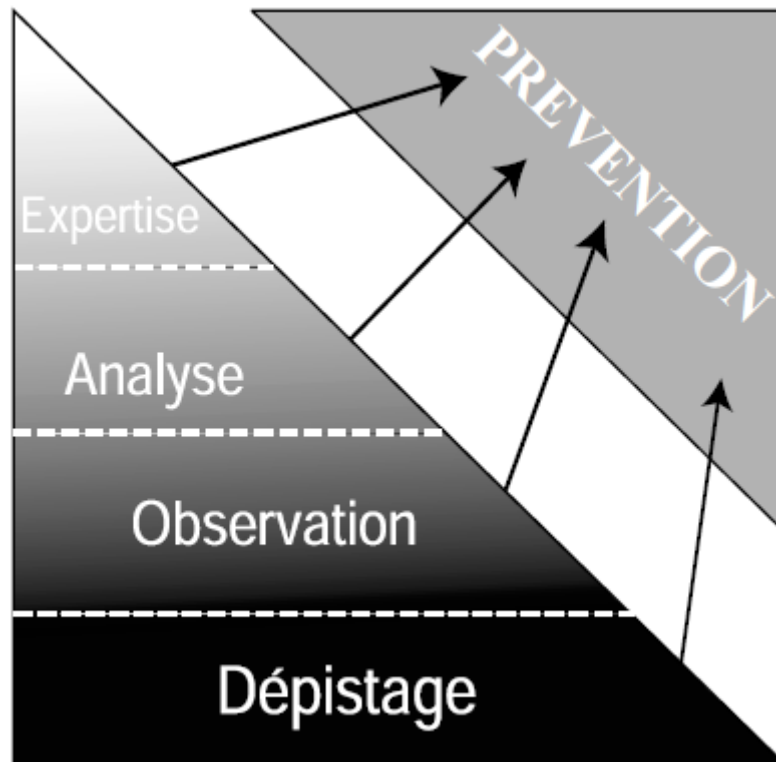


Figure II. 1: Illustration de la stratégie de prévention

La stratégie comprend 4 niveaux d'intervention strictement orientés vers la prévention puisque l'objectif principal de l'évaluation des risques liés à l'environnement thermique de travail n'est pas de mesurer les risques, mais d'empêcher ou d'éliminer ou, à tout le moins, de réduire ces risques.

La définition des 4 niveaux de la stratégie est rappelée brièvement ci-après:

II.1.1. Niveau 1: Dépistage

Au premier niveau, tous ou la majorité des facteurs de risque ou des problèmes doivent être détectés afin de fournir une première vue d'ensemble des conditions de travail. La méthode de **Dépistage** doit couvrir brièvement la majorité des facteurs liés à la sécurité, à la santé et au bien-être. Les conclusions portent, en particulier, sur l'existence de plaintes liées aux conditions climatiques et sur le besoin d'investigations supplémentaires.

II.1.2. Niveau 2: Observation

Le deuxième niveau est conçu pour être mis en œuvre par des personnes de l'entreprise et, idéalement, par les travailleurs eux-mêmes. Il doit rester simple de compréhension pour les personnes non formées et tirer profit de ce que les utilisateurs connaissent le mieux, à savoir leurs conditions de travail au cours du temps, le processus technique, les caractéristiques des sources chaudes ou froides et les possibilités de mesures de prévention.

La démarche doit les aider à structurer et à systématiser leur approche, de sorte qu'elle ne soit pas seulement basée sur des perceptions et des opinions.

Des fiches de travail ont été développées pour décrire et évaluer les conditions de travail, ainsi que pour aider à trouver des solutions.

II.1.3. Niveau 3: Analyse

Le troisième niveau est conçu pour être mis en œuvre avec l'assistance de spécialistes en santé professionnelle, c.-à-d., par des médecins du travail, des hygiénistes, des ergonomes... ayant une formation générale dans la gestion des problèmes thermiques. La démarche utilise toujours des concepts et des techniques généralement admis sur le terrain, évitant ainsi les considérations inutilement savantes. Lorsque des mesurages sont nécessaires à la prévention, ceux-ci sont simples et ne requièrent que des instruments peu coûteux, faciles d'emploi et aisément disponibles sur le terrain.

La démarche reste orientée vers la prévention et est dès lors basée sur des mesurages et des indices qui rendent possible de mieux identifier les causes des problèmes et les moyens de les résoudre. À la fin de l'**Analyse**, les utilisateurs devraient pouvoir déterminer si les problèmes sont résolus ou si une **Expertise** plus complète est nécessaire. [5]

II.1.4. Niveau 4: Expertise

Ce niveau peut s'avérer nécessaire dans des cas très complexes où des solutions satisfaisantes n'ont toujours pas pu être trouvées après l'**Analyse** détaillée.

Ce niveau est réalisé avec l'aide de spécialistes qui devraient pouvoir décider la meilleure façon de répondre au problème. Par conséquent, la méthodologie à employer, les mesurages à réaliser, l'évaluation à mener varieront en fonction du problème rencontré et le document est limité aux grandes lignes de ce que cette étude d'**Expertise** devrait nécessairement inclure et rapporter.

Une version finale de la stratégie a été préparée et validée sur le terrain avec la contribution de 53 utilisateurs potentiels. Un article décrivant en détail cette stratégie a été publié (Malchaire et al. 1999).

Nous renvoyons le lecteur à la brochure publiée en Belgique (Malchaire et al. 1998) pour le détail de cette stratégie.

Nous souhaitons souligner cependant le fait qu'au niveau 1, **Dépistage**, mais surtout au niveau 2, **Observation**, l'objectif recherché est une situation de travail optimale avec quelque 20°C, une humidité normale (40-50%), sans rayonnement, une ventilation légère, alors que le travail est le plus léger possible et les vêtements confortables et adaptés au travail. Nulle mention n'est faite des

indices climatiques. Les salariés et leur encadrement technique – si possible avec l'aide d'un conseiller en prévention et protection – cherchent les raisons pour lesquelles la situation de travail s'écarte du confort et tentent d'y apporter des solutions compatibles avec leur travail.

Ce n'est qu'au niveau 3, **Analyse**, lorsque l'assistance d'un conseiller en prévention et protection s'avère indispensable, que les indices de confort et le “Predicted Heat Strain” sont utilisés. Ils le sont cependant comme de simples outils. L'utilisateur n'a pas à comprendre nécessairement toutes les subtilités de ces indices. Il doit pouvoir les utiliser simplement (d'où des programmes d'ordinateur) pour obtenir une réponse directe (durée de travail, gain obtenu par telle ou telle mesure technique ...). Il doit cependant pouvoir les utiliser en confiance. C'est ce qui, à nouveau, justifie le présent article. [5]

II.2. Gestion des contraintes thermiques

Le Directeur d'usine ou son remplaçant désigné doit prendre des initiatives raisonnables pour déterminer à l'avance les conditions potentielles de contraintes thermiques en surveillant les prévisions météorologiques avant le début du quart de travail.

1. Le directeur d'usine ou son remplaçant désigné doit faire un suivi des conditions météorologiques pour planifier le travail lors de condition de contraintes thermiques.

2. Les superviseurs et les collègues de travail doivent observer les employés qui travaillent près d'eux pour identifier ceux qui démontreraient des symptômes de maladies associées aux contraintes thermiques.

3. Les superviseurs doivent noter les lectures de la température et l'humidité relative dans les zones chaudes de l'usine tout au long de la journée (à toutes les heures) et calculer la température corrigée pour ensuite la comparer à la charte des contraintes thermiques de la **CSST** pour établir le régime de travail/repos qui correspond aux conditions de travail des employés : [4]

(A) Prenez la température de l'air à l'ombre.

(B) Corrigez la température en fonction de l'humidité relative.

Tableau II .1. Température d'ambiance de travail en fonction du degré d'humidité	
Le pourcentage de l'humidité relative %	la température °C
30 %	pas d'ajustement
40 %	ajoutez 1,8 °C
50 %	ajoutez 3,5 °C
60 %	ajoutez 5 °C
70 %	ajoutez 6,4 °C
80 %	ajoutez 7,7 °C
90 %	ajoutez 8,9 °C

(C) Corrigez la température en fonction de l'habillement.

Ex. Combinaison en coton (survêtement) Ajoutez 4,4 °C

(D) Additionnez (A+B+C+D) = température corrigée pour trouver le résultat dans le tableau (mesures correctives ç prendre selon le travail exécuté Annexe 3).

(E) Déterminez le type de travail exécuté


Léger (faire fonctionner une machine, triez du matériel légers, inspection, conduire un véhicule),

Moyen (se déplacer en faisant des efforts de poussée et de levée, utiliser une scie ou un fusil de pulvérisation, laminier un bain, transférer périodiquement des objets moyennement lourds à lourds),

Lourd (travailler au pic et à la pelle, transférer des objets lourds (plus de 44 livres pendant plus de 10 minutes à la fois).

(F) En utilisant le **Tableau II .2**, figurez le cycle de travail/repos en plus des quantités d'eau et de liquide qui doivent être consommées par les travailleurs exposés aux contraintes thermiques selon le type de travail qu'ils accomplissent et la température corrigée.

Il faut savoir que la soif n'est pas un bon indicateur quant au besoin de notre corps en eau. Quand on a soif, on a déjà commencé à se déshydrater. Ainsi, comme l'eau et les sels perdus par la transpiration doivent être remplacés, **il faut boire suffisamment** bien avant de se trouver en situation de contrainte thermique. En ambiance chaude, le travailleur devrait boire régulièrement et en quantité modérée, soit environ 150 ml d'eau fraîche (1 gobelet) toutes les 10-15-20 minutes. [6]

Tableau II .2: le guide de stress thermique *Les astérisques indiquent que la durée des pauses augmente				
T air corrigée	Travail léger	Travail moyen	Travail lourd	EAU 
30.4 °C ou moins				1 verre toutes les 20 minutes
31.0 °C				
31.6 °C				
32.2 °C				
32.8 °C				
33.3 °C				
33.9 °C				
34.5 °C				
35.0 °C				
35.6 °C				
36.1 °C			*	
36.7 °C			*	
37.2 °C			*	
37.8 °C		*	**	
38.3 °C		*	**	
38.9 °C		**	***	
39.5 °C		**	***	1 verre toutes les 15 minutes
40.0 °C		***	***	
40.6 °C		***	***	
41.1 °C	*	***		1 verre toutes les 10 minutes
41.7 °C	**	***		
42.2 °C	**			
42.8 °C	***			
43.3 °C	***			
43.9 °C ou plus				

On doit inciter les travailleurs à boire de l'eau fraîche pour éviter la déshydratation (on peut perdre de 4 à 12 litres d'eau par la transpiration).

L'ajout de sel dans l'alimentation est une mesure contestée.

II.3. Hydratation

Pour assurer l'accès à des quantités suffisantes d'eau potable, les mesures suivantes seront prises.

1. Le superviseur ou tout autre personnel désigné doit s'assurer que des quantités suffisantes d'eau potable fraîche sont disponibles en tout temps pour les employés et que des pauses seront données pour que les employés exposés aux contraintes thermiques puissent s'abreuver.
2. Des bouteilles d'eau réutilisables peuvent aussi être fournies aux employés dans leur lieu de travail à condition que l'ouverture de la bouteille soit protégée de toute exposition à des contaminants. (Ouverture de la bouteille protégée par un cap).
3. Si des contenants thermos sont utilisés dans la salle de repos, des tasses à usage unique seront fournies pour l'usage des employés.
4. Dans des conditions de sudation abondante, l'employeur pourra distribuer des boissons avec remplacement d'électrolytes.
5. L'ingestion de comprimés de sels (utilisés dans le passé) est fortement déconseillée. Le sel irrite l'estomac et peut contribuer à la déshydratation. [6]

II.4. Comment répondre à une situation où un employé démontre des symptômes de coup de chaleur

1. Obtenir l'aide d'un secouriste.
2. Le secouriste évaluera la situation.
3. Les employés/superviseurs utiliseront le « système de copain » pour aider à surveiller la condition physique de chacun quant aux conditions des contraintes thermiques.

II.5. Communication et encouragement des employés

Afin encourager les employés à boire de l'eau fraîche, les mesures suivantes seront prises.

1. Annuellement et ce avant le début de la période des contraintes thermiques, tous les employés exposés aux contraintes thermiques recevront de la formation les signes et les symptômes des coups de chaleur afin qu'ils puissent reconnaître les signes et symptômes pour eux-mêmes ainsi que chez leurs collègues de travail. (Voir section **II.6.** pour le contenu de la formation).
2. Des affiches de rappel de « boire fréquemment » seront apposées sur les murs dans la salle de lunch.

3. De courtes réunions debout se tiendront chaque matin lors des périodes d'extrême prudence, de danger et de danger extrême pour rappeler aux employés de boire de l'eau fréquemment. Il est recommandé de garder un compte-rendu de cette réunion.

4. Les employés seront informés de ne pas utiliser la soif comme indicateur. Si on se fit au sentiment de soif, les employés seront déshydratés. [6]

II.6. Définition information générale pour la formation

II.6.1. Définition de la contrainte thermique

Une combinaison de facteurs qui tend à augmenter la fréquence de température corporelle et cardiaque ainsi que la transpiration. Les facteurs de risque des contraintes thermiques dans le lieu de travail sont les environnements chauds, les vêtements de protection et les demandes élevées de travail. La réponse des travailleurs est un bon indicateur de l'identification des contraintes thermiques.

Quand le corps ne peut se refroidir par la transpiration, les maladies provoquées par la chaleur, telles que les coups de chaleur ou l'épuisement à cause de la chaleur et la plus sévère étant une attaque de chaleur, peuvent se produire et peuvent résulter en maladie grave ou la mort.

II.6.2. Conditions menant aux contraintes thermiques.

1. Haute température et humidité
2. Chaleur directe ou le soleil
3. Mouvement d'air limité
4. Effort physique
5. Conditions physiques pauvres
6. Quelques médicaments
7. Basse tolérance pour les lieux de travail chauds

II.6.3. Symptômes d'épuisement dû à la chaleur

1. Maux de tête ou étourdissement
2. Vertige ou évanouissement
3. Faiblesse et peau moite
4. Changements d'humeur tels que l'irritabilité ou la confusion
5. Nausée, estomac bouleversé ou vomissement.
6. Pouls rapide.

II.6.4. Crampes de chaleur

II.6.4.1. Symptômes des crampes de chaleur

1. Spasmes musculaires douloureux dans les bras, les jambes ou l'abdomen pendant ou après un travail physique dur.
2. Spasmes musculaires douloureux qui se produisent parmi ceux qui suent profusément dans la chaleur, qui boivent de grandes quantités d'eau mais ne remplacent pas en juste proportion la perte de sel contenu dans le corps.
3. Pour traiter, boire de l'eau et manger de la nourriture plus salée.
4. La prévention des crampes de chaleur inclut la consommation d'eau appropriée et la prise de sel adéquate aux repas. ne pas utiliser des comprimés de sel.

Avertissement

Les personnes ayant des problèmes cardiaques ou celles avec un régime à teneur réduite de sodium qui travaillent dans des environnements chauds devraient consulter un médecin pour savoir à quoi s'en tenir dans ces conditions. Irritation ou inflammation due à la chaleur

II.6.4.2. Irritation ou inflammation due à la chaleur

Symptômes : « Fièvre militaire » ou bourbouille : apparition d'une petite boursouffure qui ressemble à une éruption.

- **Traitement :** Garder la peau propre et sèche.
- **Cause :** La peau est constamment humide à cause de la sueur. Les conduits de la glande sudorale deviennent obturés, menant à l'inflammation.
- **Prévention :** Prendre une douche après avoir travaillé dans un environnement chaud. Maintenir la peau sèche.

II.6.4.3. Fatigue passagère due à la chaleur

Symptômes : Diminution dans l'exécution, en particulier dans le travail physique, les tâches mentales, et celles exigeant la concentration.

- **Traitement :** Aucun traitement n'est nécessaire à moins que d'autres signes de la maladie causée par la chaleur soient présents.
- **Cause :** Malaise. Stress provenant de la chaleur moindre que ce qui aurait comme conséquence avec d'autres maladies causées par la chaleur.

II.6.4.4. Syncope due à la chaleur

- **Symptômes :** Évanouissement lorsque debout et immobile. Une variante d'épuisement dû à la chaleur.

- Les symptômes de l'épuisement dû à la chaleur peuvent précéder l'évanouissement.

II.6.4.5.Symptômes de coup de chaleur

1. Peau sèche et chaude avec typiquement aucune transpiration. Bien que la transpiration puisse encore être présente.
2. Confusion mentale, perte de conscience.
3. Attaques ou convulsions.
4. Pouls rapide.
5. Dans le doute, traiter comme un coup de chaleur car cela peut être mortel.

II.7.Mesures d'ingénierie

II.7.1 Réduction de l'exposition

Une fois que l'on a bien identifié les sources de chaleur, il faut considérer les différentes possibilités de contrôle de l'exposition. Les différentes façons de réduire l'ambiance thermique sont présentées succinctement ci-dessous.

II.7.1.1.Eloignement de la source de chaleur

Dans certains cas, il est possible de prévoir un emplacement à part pour les sources de chaleurs importantes.

Ex : les bouilloires industrielles sont installées normalement dans un local séparé du reste de l'usine.

II.7.1.2.Réduction de la chaleur radiante

La réduction de la chaleur radiante est possible, soit au niveau de l'émissivité des surfaces, soit au niveau de l'utilisation d'écrans

- **Emissivité des surfaces**

Le recouvrement d'une surface chaude, soit par de la peinture aluminées ou par de l'aluminium va faire en sorte que le rayonnement émis va diminuer tout en permettant de conserver la chaleur à l'intérieur du procédé chaud (réduction de l'émissivité de la surface).

Il est important de garder la surface propre.

L'isolation consiste à recouvrir une surface chaude d'un matériau isolant (e.g. conduits chauds). [7]

- **Mise en place d'écrans de protection**

Lorsque la déperdition thermique est nécessaire, l'utilisation d'écrans est la solution la plus simple et la plus économique. Le concept utilisé provient du fait que la chaleur radiante ne réchauffe pas l'air mais chauffera tout objet susceptible de l'absorber.

L'utilisation d'écrans peut alors réduire l'exposition des travailleurs. Les écrans peuvent être:

- Réfléchissants : Ces écrans comportent une surface réfléchissante tel l'aluminium. Ils doivent demeurer propres.
- Absorbants : Ils absorbent les radiations infrarouges et sont faits de 2 ou 3 panneaux peints noir mat et séparés par un espace. La chaleur peut être évacuée en faisant circuler de l'eau entre les panneaux. La surface doit être réfléchissante vers la source et avoir un niveau d'émissivité faible du côté du travailleur.
- Transparents Il s'agit d'une vitre spéciale qui va soit absorber la chaleur, soit la réfléchir. Il peut s'agir également d'un grillage métallique qui va partiellement réfléchir la chaleur radiante. Ils peuvent être ajoutés à un écran réfléchissant pour permettre de voir l'opération.
- Flexibles: Il s'agit de tissu aluminisé, [7]

II.7.1.3. Réduction de la température de l'air

Des systèmes de ventilation peuvent être utilisés pour permettre l'évacuation de la chaleur. Cette réduction n'est possible que pour la chaleur produite par convection et non pour la chaleur radiante. Cette réduction est possible par l'évacuation et/ou par l'apport d'air neuf

La ventilation : désigne l'ensemble des opérations qui ont pour objet le renouvellement de l'air dans les locaux. On distingue deux principaux types de ventilation :

La ventilation naturelle où le renouvellement de l'air intérieur est assuré par un apport d'air extérieur qui pénètre par des grilles de ventilation dans les locaux et circule librement selon les principes de la convection. La convection est le mouvement naturel de l'air provoqué par des variations de température : l'air qui est chauffé devient plus léger. Il s'élève et cède la place à de l'air froid qui s'échauffe à son tour.

La ventilation mécanique où l'air est renouvelé par des moyens mécaniques

(Ex: hotte de ventilation au-dessus d'un procédé).

Les différentes pièces avant d'être rejeté hors de l'habitation au niveau des pièces « humides » par l'intermédiaire de bouches d'extraction.

- **La VMC à double flux** dans laquelle l'air pris à l'extérieur est soufflé mécaniquement, après filtration, dans les pièces principales, par l'intermédiaire de bouches d'insufflation **Figure II. 2).** [7]

L'air vicié, extrait des pièces « humides » circule, avant son rejet vers l'extérieur, dans un échangeur où il cède ses calories à l'air entrant.

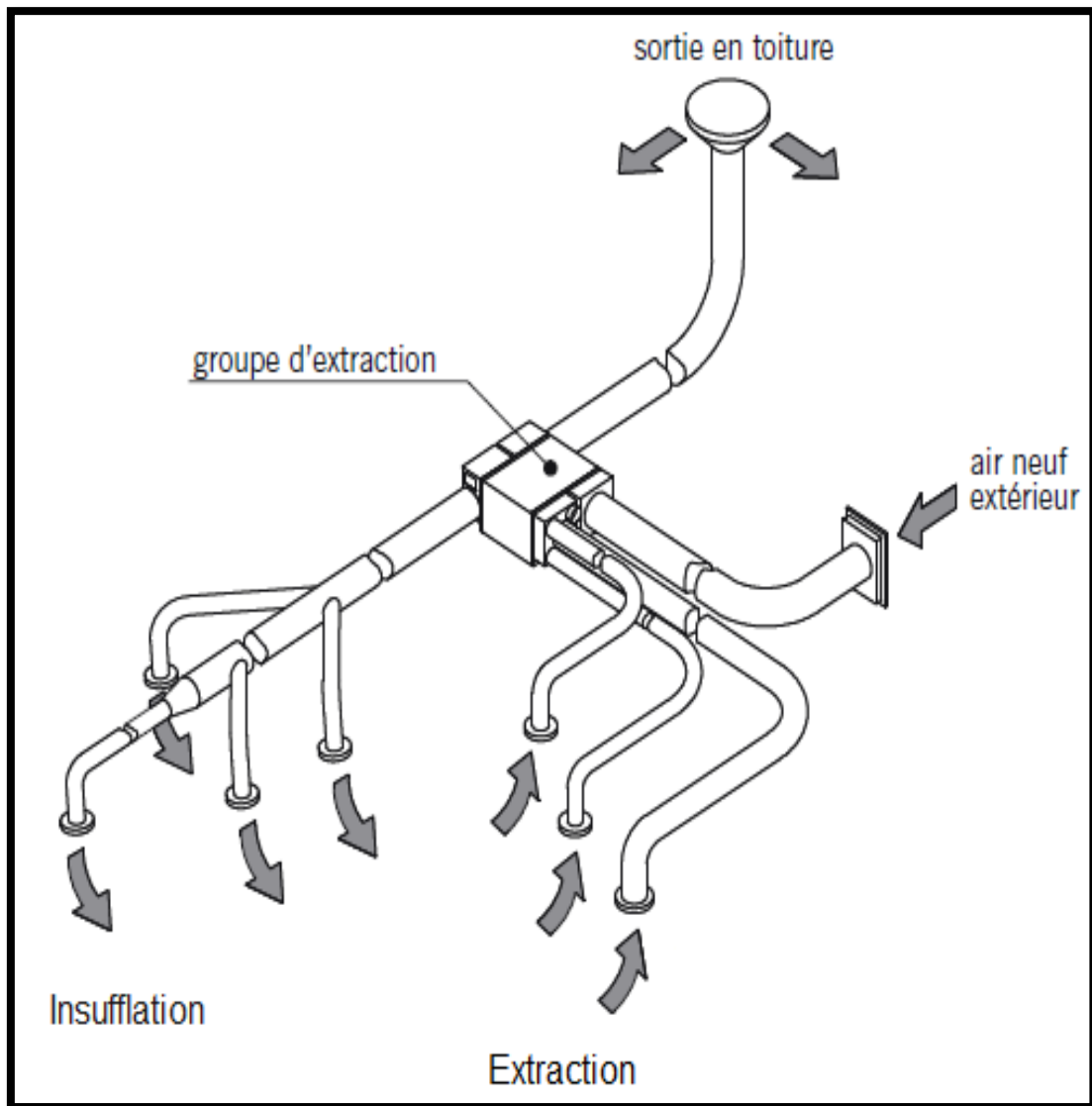


Figure II. 2. exemple de ventilation mécanique (d'installation d'une VMC à double flux)

➤ Le **groupe d'extraction** appelé également **groupe de ventilation**: dispositif d'aspiration composé de (Figure II. 3) :

_ Un ou deux ventilateurs (moteur et turbine), selon le type de VMC, à simple ou à double flux.

_ Un caisson étanche en tôle galvanisée ou en plastique équipé de plusieurs piquages (sorties) sur lesquels sont fixées les gaines de ventilation.

Le groupe est généralement installé dans les combles, hors du volume habitable. Il peut être posé sur un panneau de laine de verre ou suspendu pour éviter les risques éventuels de transmission de bruit.

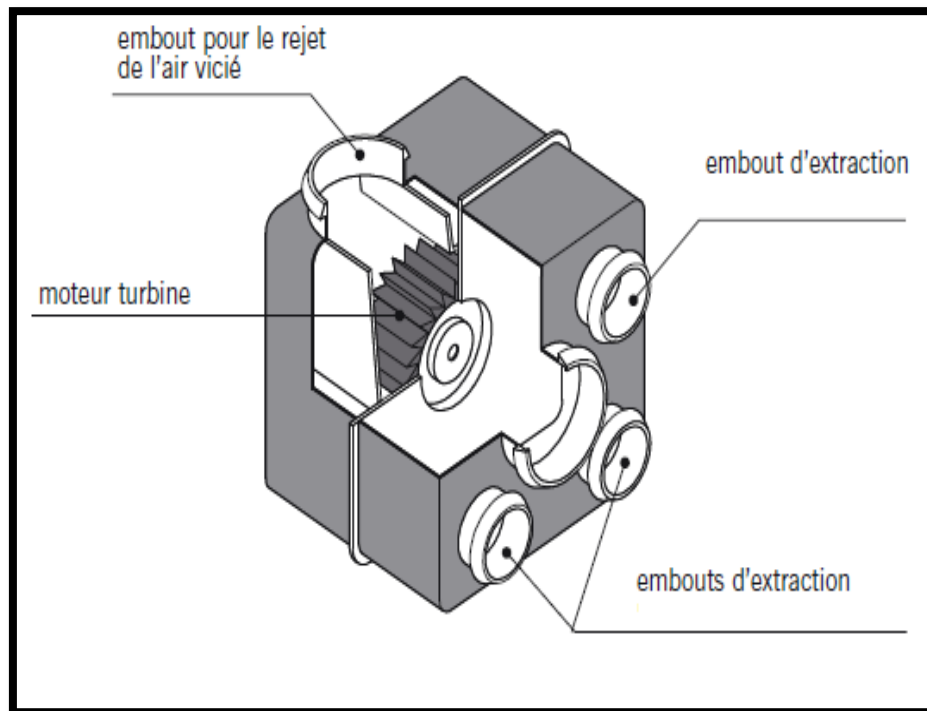


Figure II. 3. groupe d'extraction pour VMC simple flux

L'évacuation de la chaleur peut être réalisée par des ouvertures dans le toit ou par un moyen mécanique couplé à un système d'apport d'air frais. Théoriquement, l'air doit être introduit près du niveau du plancher et être dirigé vers les travailleurs de façon à ce que ceux-ci soient refroidis avant que l'air ne se soit réchauffé par le procédé. L'air chaud va s'élever et s'échapper par le toit. [7]

La réduction de la température de l'air peut également être obtenue en augmentant la vitesse de l'air. Cette augmentation permettra de majorer la déperdition calorifique par évaporation. La température de l'air ne doit pas être supérieure à la température de la peau sinon le travailleur

subira une augmentation de sa température corporelle par convection (Ex: un ventilateur sur pied peut être utilisé si $T_{\text{air}} < T_{\text{peau}}$).

II.7.1.4. Contrôle de l'humidité

Pour le contrôle de l'humidité, il faut d'abord chercher à empêcher les émissions de vapeur. Lorsque la source est localisée, on peut la capter par la ventilation locale. Il est également possible de déshumidifier l'air, ce qui est généralement fait par réfrigération; en plus d'agir sur l'humidité ceci permet d'abaisser la température ambiante.

II.7.1.5 Équipement de Protection Individuelle

En général, le choix de vêtements est laissé aux travailleurs et ceux-ci s'habillent de façon à être le plus confortable possible. Mentionnons que certains habits ou équipements

de protection peuvent réduire les effets de l'évaporation et/ou de la convection (ex. contre la chaleur radiante, contre les produits chimiques, etc.), on suggère de réduire la valeur du WBGT limite.

- Des vêtements d'été léger devraient être portés pour permettre une bonne circulation de l'air autour du corps et une bonne évaporation.
- Dans un environnement avec de la chaleur radiante, des vêtements réflecteurs peuvent aider.
- Pour les environnements extrêmement chauds, des vêtements isolés avec de l'air froid, de l'eau froide peut être considérés.
- N'oubliez pas que des vêtements imperméables comme les survêtements de Tyvek, augmentent l'effet des conditions thermique parce qu'ils empêchent le corps de suer et de libérer la chaleur du corps correctement.

Le vêtement offre une résistance à l'écoulement de chaleur entre la peau et l'environnement. [13]

L'unité de mesure de l'isolement thermique est le Clo :

$$1 \text{ Clo} = 0.155 \text{ } ^\circ\text{C.m}^2.\text{W} \quad (1. \text{ II})$$

Le tableau II .3.présente les valeurs (en Clo) de l'isolement thermique de divers types de vêtements.

Tableau II .3.présente les valeurs (en Clo) de l'isolement thermique de divers types de vêtement	
Type de vêtement	Isolement (Clo)
Chemises et blouses	0,17
Polo manches courtes	S 0,19
Chemise manches courtes	C 0,24
Chemise manches longues : légère	0,20
normale	0,25
flanelle	0,34
Blouse ras du cou	S 0,25
Pantalons	0,08
Short coton	0,20
Pantalon : légère	0,25
normale	0,28
flanelle	
Pantalon-salopettes à bretelles	S 0,24 C 0,28
Jupes et robes	
Jupe - hauteur genou: été	0,15
hiver	0,23
Robe – manche longue : été	0,32

hiver	0,47
Robe – manche courte	
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	
Cheville : fines	0,02
épaisses	0,05
Mi- mollet : fines	0,03
épaisses	0,10
Souliers de ville	0,03
Chaussures de sport	0,02
Gants épais	0,08

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

II.8. Mesures administratives

II.8.1. Période de récupération

Les valeurs pour le régime d'alternance travail/repos (**Tableau III.3**) ne sont valables que lorsque la valeur WBGT à l'emplacement réservé au repos est égale à la valeur WBGT au poste de travail ou en est très voisine. Pour calculer le régime d'alternance travail/repos qui s'applique, il faut plutôt établir une valeur moyenne pondérée autant pour la chaleur environnante que pour le taux métabolique. La moyenne pondérée du taux métabolique est calculée d'après la formule (3. III), (4. III).

Une fois le métabolisme moyen obtenu, il faut consulter la **Figure III.4** pour établir la limite d'exposition à la chaleur. Cette valeur sera comparée à celle du WBGT moyen. Le WBGT limite d'après le graphique est de 29,3°C. Donc un repos de 9 minutes est suffisant. En pratique, il est difficile de donner un repos inférieur à 15 minutes et, dès que l'indice WBGT est dépassé, un repos de 15 minutes sera accordé. Ceci est à l'avantage des travailleurs. Pour arriver à une période de repos de 15 minutes exactement, il faudrait pour cet exemple que le WBGT atteigne 32 °C. Cependant, un employeur ne peut pas attendre que le WBGT atteigne 32 °C avant d'accorder une période de repos de 15 minutes.

Une autre approche est l'utilisation des pauses et la modification de l'horaire de travail pour la période estivale. Si l'on prend, un horaire de travail régulier comme celui que l'on retrouve au **Tableau II .4**, on peut créer un horaire estival qui nécessite l'ajout que d'une seule pause comme moyen de contrôle.

Tableau II .4. Modification d'horaire de travail comme moyen de contrôle			
Horaire régulier		Horaire estival	
8h00 - 9h30	Travail	7h00 - 9 h 15	travail
9h30 - 9h45	pause	9 h 15 - 9h30	pause
9h45 - 12h00	travail	9h30 - 11 h 30	travail
12h00 - 13h00	travail	11 h 30 - 12h30	repas
13h00 - 14h30	pause	12h30 - 13h30	travail
14h30 - 14h45	travail	13h30 - 13h45	pause
14h45 - 17h00	repas	13h45 - 14h45	travail
		14h45 - 15 h 00	pause
		15h00 - 1600	travail

II.8.2. Formation

De la formation devrait être donnée aux travailleurs pour les sensibiliser aux risques et aux moyens de se protéger contre l'exposition à la chaleur. Les points à couvrir pourraient être les suivants : Indice WBGT, effets sur la santé, moyens de contrôle par le travailleur, signes et symptômes, etc.

II.8.3. Diminution de la charge de travail

Diminuer la charge de travail est assez difficile à réaliser et aura un impact limité sur le respect de la norme. Par exemple, si un coureur passe d'une dépense énergétique de 600 kcal/h à 100 kcal/h au repos, l'impact sur le bilan énergétique sera très important. Cependant, en milieu de travail si l'on réduit la dépense énergétique de 280 à 200 kcal/h, l'effet sera mineur sur le bilan thermique et aura demandé beaucoup d'énergie et d'imagination.

II.8.4. Réorganisation des tâches

Il peut être possible d'organiser les tâches de telle sorte que la contrainte thermique soit atténuée en faisant, par exemple, effectuer certaines tâches tôt le matin. Tel que mentionné auparavant, le changement d'horaire est une autre avenue possible.

II.8.5. Premiers soins

Il est important d'avoir, sur les lieux de travail, une personne ayant reçue de la formation lui permettant d'une part, de reconnaître les signes et symptômes associés aux problèmes de santé dus aux contraintes thermiques et d'autre part, de prodiguer les premiers soins advenant un problème.

II.9. 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'acclimatation suffisante avant le passage au travail à plein régime.

Tableau II .5. 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 climatisée.
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'acclimatation 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.

Il est possible d'éviter la contrainte thermique par la prévention, la vigilance, la formation et la sensibilisation des personnes impliquées.

Introduction

On parle de contrainte thermique lorsque les conditions de l'environnement et la charge de travail occasionnent une charge thermique qui excède les limites d'une personne. Pour savoir si la charge thermique du travailleur est importante, on pourrait mesurer sa température interne.

On comprendra cependant qu'il est plutôt difficile de suivre un travailleur de cette façon. Conséquemment, on considérera plutôt les deux éléments suivants :

- les conditions ambiantes aux postes de travail
 - Environnement ;
- la quantité de chaleur produite par le travailleur
 - Métabolisme ou charge de travail.

III.1. Environnement

Pour savoir si l'environnement de travail est contraignant pour le travailleur, il ne s'agit pas simplement de lire la température sur un thermomètre traditionnel. Par exemple, une température de 30 °C dans un milieu sec est beaucoup moins exigeante que dans un milieu humide. Plusieurs facteurs doivent donc être pris en considération pour évaluer la contrainte venant du milieu :

- la température de l'air,
- le rayonnement,
- l'humidité,
- la vitesse de l'air. [9]

Cette évaluation se fera par l'intermédiaire du **WBGT**

III.1.1. L' indices WBGT (Wet Bulb Globe Temperature)

L'indice WBGT reflète les conditions de contrainte thermique grâce à une lecture d'un Thermomètre sec (température de l'air), d'un thermomètre humide (température humide naturelle) et d'un globe noir de Vernon (température de globe noir) (Malchaire, 1999).

Le grand avantage de cet indice est de ne pas nécessiter la mesure de la vitesse de l'air. Celle-ci est tout de même prise en compte puisqu' elle influence la température de globe Noir et la température humide naturelle en agissant sur la convection et l'évaporation au niveau des capteurs de ces températures. Par contre, les valeurs limites proposées de WBGT ont été élaborées pour des travailleurs acclimatés et vêtus d'une tenue normale de

travail. L'indice WBGT est donc moins bien adapté dans des situations éloignées de ce scénario (Mariaux et Malchaire, 1990).

En somme, cet indice est sécuritaire, clair et facilement interprétable, tel qu'un indice performant se doit (Mc Neil et Parsons, 1999). Par contre, il requiert une instrumentation spécifique et coûteuse et il ne mesure que les paramètres de l'environnement responsables de l'astreinte thermique sans aucun repère physiologique

La température au thermomètre à globe à bulbe humide ou le **WBGT** (Wet Bulb Globe Température) est l'indice utilisé dans le Règlement sur la santé et la sécurité du travail (S-2.1, r.19.01Annexe 1). Il tient compte de tous ces facteurs dans l'évaluation de l'environnement. [9]

L'indice WBGT s'obtient à partir de trois lectures :

a) DB (dry bulb) → température sèche ou température de l'air.

Capteur de température indiquant la température de l'air. Le DB sert au calcul de l'indice WBGT uniquement s'il y a une charge solaire.

b) WB (wet bulb) → température humide naturelle.

Température indiquée par un thermomètre au mercure dont l'extrémité est recouverte d'une mèche humide et ventilée naturellement. Cette mesure tient compte de :

- la température sèche de l'air,
- l'humidité de l'air,
- la température de rayonnement.

c) GT (globe température) → température du globe noir. [10]

Température mesurée par un capteur de température introduit au centre d'un globe noir. Cette mesure tient compte de :

- la température de rayonnement,
- la température sèche de l'air,
- la vitesse de l'air.

L'indice WBGT est calculé à partir des formules suivantes :

➤ à l'extérieur avec charge solaire
→ $WBGT = 0,7 WB + 0,2 GT + 0,1 DB$ (1. III)

➤ à l'intérieur ou à l'extérieur Sans charge solaire
→ $WBGT = 0,7 WB + 0,3 GT$ (2. III)

Dans les secteurs des Fonderies, on utilise surtout la deuxième formule, puisque le travail se fait principalement à l'intérieur. On remarquera que dans cette formule, la température sèche de l'air (DB) n'est pas mesurée directement.

Elle est considérée indirectement par les températures humide naturelle (WB) et du globe noir (GT). [10]

NOTE : L'indice WBGT est donné en degrés Celsius. À ne pas confondre avec la température de l'air en degrés Celsius que vous pouvez lire sur le thermomètre accroché au mur dans votre milieu de travail.

Le Règlement sur la santé et la sécurité du travail décrit de quelle façon l'indice WBGT doit être mesuré(Annexe1).Le montage suivant répond aux exigences du règlement. [10]

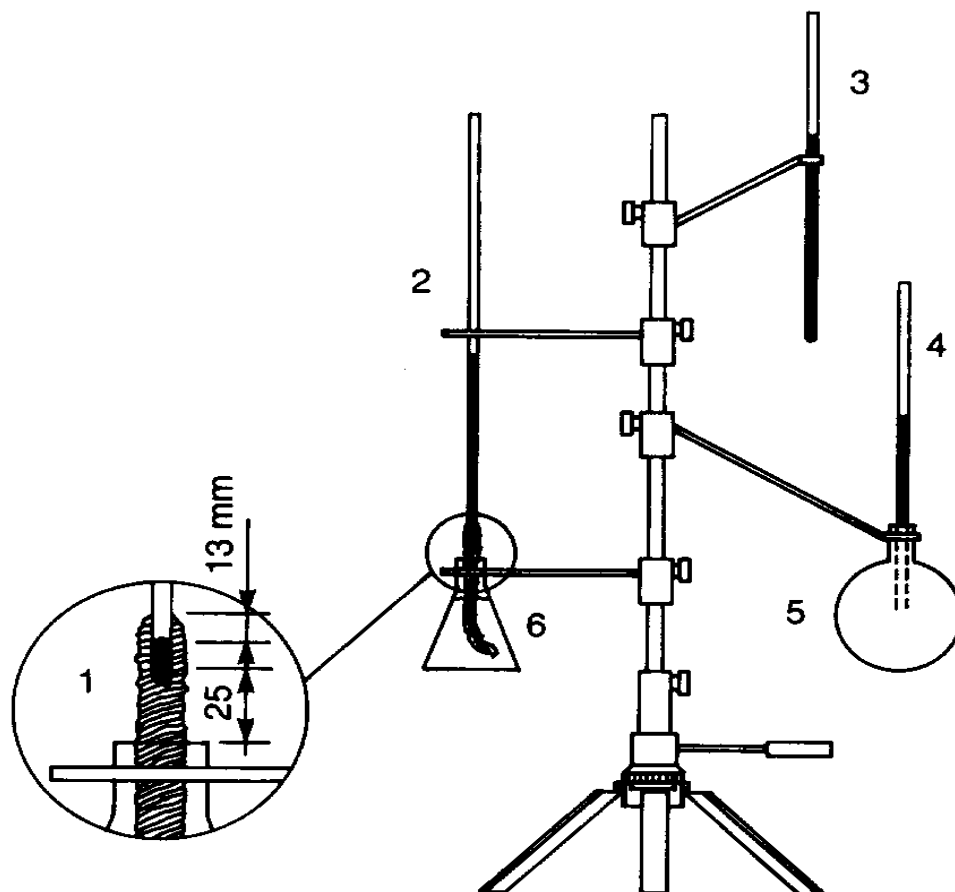


Figure III.1.Modèle du WBGT

1. Mèche (elle doit être maintenue propre et constamment humide).
2. Thermomètre à boule humide naturelle (WB).
3. Thermomètre à boule sèche (DB).
4. Thermomètre à globe (GT).

5. Sphère de cuivre creuse de 15 cm peinte noir mat.

6. Contenant d'eau distillée ou déminéralisée.

Une fois le montage installé, on doit attendre 30 minutes avant de prendre une mesure. Ce sont les valeurs obtenues sur ces thermomètres qui sont utilisées dans la formule citée précédemment pour trouver le WBGT.

Il existe sur le marché des appareils électroniques équipés des trois thermomètres (WB, DB et GT) indiquant les températures correspondantes, en plus de donner directement la valeur du WBGT : plus besoin de le calculer! Ce type d'appareil requiert un temps de stabilisation beaucoup moins long : 5 minutes au lieu de 30. Le Widget (ancien modèle) ou le Reuter Stoke (plus récent) en sont des exemples.



Figure III.2. Nouveau modèle du WBGT

III.1.2. Méthodes alternatives

Comme les instruments décrits ci-dessus sont soit encombrants (montage standard) ou coûteux et fragiles (équipements électroniques), il est possible d'appliquer des méthodes alternatives pour estimer le WBGT. Bien qu'elles n'aient aucune valeur légale, dans un but de prévention, elles permettent aux personnes concernées de prendre en main la gestion de leurs contraintes thermiques.

III.1.2.1. Botsball

Le Botsball, un appareil peu coûteux, robuste et facile d'utilisation, a récemment fait l'objet d'une étude par des chercheurs de l'Université du Québec à Trois-Rivières. Ces derniers en ont conclu que l'utilisation du Botsball peut fournir une indication très précise du WBGT (corrélation $> 0,95$, écart type $< 0,5$ °C). [11]

L'appareil consiste en un seul thermomètre inséré au centre d'un globe de cuivre de 6 cm de diamètre entouré d'un tissu maintenu mouillé avec de l'eau distillée.

Avant d'effectuer les mesures de WBGT avec le Botsball, il faut déterminer certaines caractéristiques du milieu ambiant :

➤ **absence ou présence de rayonnement** : la présence de rayonnement peut être détectée en comparant la valeur du Botsball sec avec celle de l'air ambiant. Un écart entre ces lectures de plus de 30°C indiquent un milieu avec rayonnement;

➤ **humidité relative** : on doit évaluer le taux d'humidité relative s'il est supérieur à 65 %, inférieur à 35 %, ou entre 35 et 65 %. Dans les Fonderies, on assumera généralement un taux d'humidité plus élevé que 65 %.

Une fois ces caractéristiques établies pour notre milieu, les mesures de WBGT peuvent être effectuées.

Dans un premier temps, il faut prendre une lecture avec le Botsball (temps de stabilisation de 5 à 10 minutes) et par la suite, une lecture de la température de l'air en retirant simplement le thermomètre du globe.

Les deux valeurs obtenues sont ensuite reportées sur un tableau (Annexe 2) qui permet de lire directement le WBGT correspondant, en tenant compte des caractéristiques du milieu prédéterminées (rayonnement et humidité relative). [11]

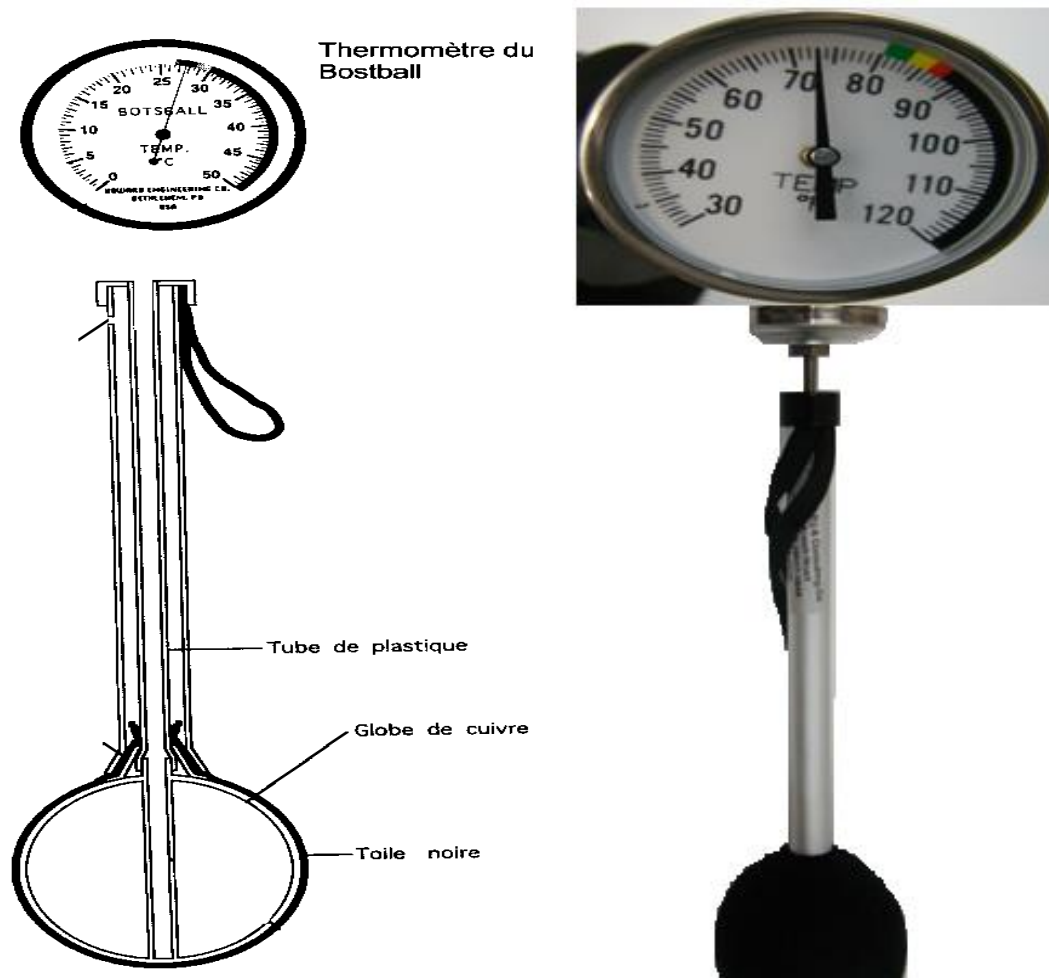


Figure III.3. Thermomètre Botsball

III.1.2.2. Thermomètres sec et humide

Cette méthode exige simplement l'utilisation de deux thermomètres. Bien que la précision de cette méthode n'ait pas été vérifiée scientifiquement dans un objectif de prévention, elle semble donner une estimation valable du WBGT dans les environnements où le rayonnement n'est pas important.

Dans un premier temps, une personne qualifiée devra prendre des mesures avec un équipement standard comme le Wibg et par exemple, afin d'estimer l'écart entre la température de l'air (DB) et la température de rayonnement (GT) à chaque endroit. Cette valeur sera par la suite automatiquement rajoutée à la lecture obtenue sur le thermomètre au mercure, qui pourra de cette façon devenir un estimé de la température globe de rayonnement (GT).

Dans un deuxième temps, la température humide naturelle (WB) devra être mesurée. Pour ce faire, on peut utiliser le thermomètre tel que décrit dans le montage qui répond aux exigences du Règlement.

Le plus pratique est d'utiliser un psychromètre à fronde **sans le faire tourner** pour évaluer les deux températures.

Par la suite, en utilisant la formule pour calculer le WBGT, on peut construire une charte RF indiquant le WBGT estimé correspondant aux valeurs mesurées.

Exemple. III.1

Pour un écart entre la température de rayonnement et la température de l'air de 9°C.

$$WBGT = 0,7 WB + 0,3 GT \text{ où } GT = DB + 9 \text{ °C}$$

$$\text{Donc } WBGT = 0,7 WB + (DB + 9 \text{ °C})$$

Si WB (température humide) = 22 °C et DB (température de l'air) = 30 °C

$WBGT = (0,7 * 22 \text{ °C}) + (0,3 * (30 \text{ °C} + 9 \text{ °C})) = 27,1 \text{ °C}$ Cette valeur de WBGT peut être lue sur une charte construite à partir des données initiales.

Tableau III .1.Valeurs déterminées à partir du WBGT

		température de l'air (°C)									
		24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
température humide Natural (°C)	14	19.7	20.3	20.9	21.5	22.1	22.7	23.3	23.9	24.5	25.1
	16	21.1	21.7	22.3	22.9	23.5	24.1	24.7	25.3	25.9	26.5
	18	22.5	23.1	23.7	24.3	24.9	25.5	26.1	26.7	27.3	27.9
	20	23.9	24.5	25.1	25.7	26.3	26.9	27.5	28.1	28.7	29.3
	22	25.3	25.9	26.5	27.1	27.7	28.3	28.9	29.5	30.1	30.7
	24	26.7	27.3	27.9	28.5	29.1	29.7	30.3	30.9	31.5	32.1
	26	28.1	28.7	29.3	29.9	30.5	31.1	31.7	31.3	32.9	33.5
	28	29.5	30.1	30.7	31.3	31.9	31.5	33.1	33.7	34.3	34.9
	30	30.9	31.5	32.1	32.7	33.3	33.9	34.5	35.1	35.7	36.3
	32	32.3	32.9	33.5	34.1	34.7	35.3	35.9	36.5	37.1	37.7
	34	33.7	34.3	34.9	35.5	36.1	36.7	37.3	37.9	38.5	39.1
	36	35.1	35.7	36.3	36.9	37.5	38.1	38.7	39.3	39.3	40.5
38	36.5	37.1	37.7	38.3	38.9	39.5	40.1	40.7	41.3	41.9	

III.2.Charge de travail

Puisqu'avec l'indice WBGT, on connaît maintenant la contrainte imposée par l'environnement de travail, il reste à déterminer la charge de travail, appelée aussi métabolisme de travail. Cette donnée permet de tenir compte de la chaleur que produit le travailleur à l'intérieur de son corps suite aux activités physiques qu'il accomplit. L'unité de mesure utilisée est habituellement la calorie (cal) ou le kilocalorie (kcal).

Il existe différentes méthodes permettant de mesurer indirectement la charge de travail telles que :

- la consommation d'oxygène,
- la fréquence cardiaque,
- la méthode par analogie,
- la décomposition de la tâche.

III.2.1.Consommation d'oxygène

En mesurant la consommation d'oxygène d'un travailleur pendant une activité, on peut indirectement établir le nombre de calories brûlées, donc sa charge de travail. Ceci oblige le travailleur à porter un masque pendant l'évaluation. Cette méthode donne une bonne précision, mais côté pratique, son utilisation est plutôt limitée en milieu industriel.

III.2.2.Fréquence cardiaque

Il existe des appareils que l'on place sur le travailleur et qui permettent d'enregistrer en continu sa fréquence cardiaque. Puisque cette fréquence augmente entre autre en fonction de l'effort fourni, la charge de travail peut être estimée à partir des données obtenues. Il y a alors une bonne corrélation avec la consommation d'oxygène. Mais comme une simple exposition à la chaleur provoque également une élévation de la fréquence cardiaque, des mesures au repos et à l'effort doivent être prises pour corriger les résultats obtenus. Plus facile à utiliser que la méthode par consommation d'oxygène, elle reste toutefois peu appliquée en milieu industriel.

III.2.3.Méthode par analogie

Le Règlement sur la santé et la sécurité du travail indique que pour l'application de la norme, les activités effectuées par un travailleur peuvent être classées dans les catégories suivantes :

a) travail léger → jusqu'à 200 kcal/h (commande de machine en position assise ou debout, travail léger impliquant la main ou le bras, etc.);

b) travail moyen → de 200 à 350 kcal/h (déplacements accompagnés d'efforts modérés de levage et de poussage, etc.);

c) travail lourd → de 350 à 500 kcal/h (travail au pic et à la pelle, etc.).

Avec la méthode par analogie, on pourrait simplement se fier aux exemples indiqués plus haut afin de déterminer la catégorie de charge de travail à laquelle correspond le travail effectué. La méthode par analogie est par contre très approximative.

III.2.4.Décomposition de la tâche

Tableau II .2.permet également d'estimer la charge de travail par décomposition de la tâche, c'est-à-dire selon chaque activité effectuée.

Tableau III .2.Évaluation de la charge de travail valeurs moyennes de Métabolisme pour différentes activités		
A. Position et mouvement du corps	kcal/h	
Assis	18	
Debout	36	
Marche	120-180	
Marche en montant	Ajouter 48 par mètre de montée	
B. Type de travail	Moyenne (kcal/h)	Limites inférieure et supérieure (kcal/h)
Travail impliquant la main	
léger	24	12-72
lourd	54	
Travail impliquant un seul bras	
.....		42-150
léger	60	
lourd	108	
Travail impliquant les deux bras		60-210
léger	90	
lourd	150	
Travail impliquant le corps	
léger	210	150-900
moyen	300	
lourd	420	
très lourd	540	
Travail léger impliquant la main	écrire, tricoter	
Travail lourd impliquant la main	dactylographier	
Travail lourd impliquant un seul bras	enfoncer des clous (cordonnier, tapissier)	
Travail léger impliquant les 2 bras	limer du métal, raboter du bois, ratisser	

Travail moyen impliquant les 2 bras	un jardin nettoyer un sol, battre un tapis poser une voie, creuser la terre, écorcer un arbre
Travail lourd impliquant le corps	
C. Métabolisme basal: 60 kcal/h	
Métabolisme basal : quantité minimale d'énergie calorifique dépensée lorsque le corps humain est au repos complet.	

Exemple de calcul: utilisation d'un outil	portable lourd sur une chaîne de montage
A. Déplacement	120 kcal/h
B. Valeur intermédiaire entre travail lourd impliquant les 2 bras et travail léger impliquant le corps	180 kcal/h
C. Métabolisme basal	300 kcal/h
Total	60 kcal/h
	360 kcal/h

Cette méthode tient compte de trois éléments :

- la position et le mouvement du corps (A);
- le type de travail (B);
- le métabolisme basal (défini comme étant l'énergie dépensée lorsque le corps humain est au repos complet) (C).

La charge de travail correspondante sera établie en additionnant les valeurs des tableaux A, B et C.

Pour déterminer la charge de travail en kcal/h attribuée à chacune des activités, il faut également considérer le temps exact pendant lequel le travailleur les effectue.

Exemple. III.2

Détermination de la charge de travail par décomposition de la tâche d'un travailleur en poste au séchoir qui a à placer le tissu.

Positionner chariot placer tissu

Entre debout et marche lente (Tableau III .2.A) 95 kcal/h

Entre corps léger et deux bras moyen (Tableau III.2.B) 120 kcal/h

Métabolisme Basal (Tableau C) 60 kcal/h

Total: 275 kcal/h

Il faut également noter pendant combien de temps s'effectue cette opération et effectuer ces observations pour chaque tâche.

Contrairement aux deux méthodes de mesures définies précédemment (consommation d'oxygène et fréquence cardiaque), l'estimation du métabolisme par décomposition de la tâche est beaucoup moins précise.

➤ C'est une méthode lourde qui demande un travail d'observation important (suivre le travailleur en notant ses activités et les temps correspondants). D'un observateur à l'autre, l'interprétation du tableau peut être très différente : s'agit-il d'un travail deux bras léger ou deux bras moyen ? Même s'il existe des tables plus précises que celle du Règlement, il n'en reste pas moins que cette méthode reste imprécise.

➤ Tout comme la méthode par analogie, cette méthode ne tient pas compte des différences entre les individus. En réalité, deux personnes qui effectuent exactement le même mouvement n'auront pas nécessairement la même dépense énergétique. L'âge, le sexe, le poids, la forme physique, le rythme de travail, la méthode de travail sont tous des facteurs qui influencent les calories dépensées.

Malgré tout, indépendamment de leurs lacunes, les méthodes par analogie et par décomposition de la tâche sont les plus pratiques en milieu de travail. Elles suffisent habituellement à estimer la charge de travail. Cependant, dans certains cas, il peut s'avérer nécessaire d'avoir recours à des méthodes d'évaluation plus précises pour trancher entre deux catégories.

III.3. Application de la norme

Après avoir évalué les caractéristiques de l'environnement et de la charge de travail, il faut maintenant les associer pour les comparer aux valeurs limites d'exposition admissibles, aux conditions d'application et aux limites selon la norme WBGT.

III.3.1. Valeurs limites d'exposition à la chaleur

Ces limites n'ont pas été conçues pour s'appliquer sur une base d'exposition moyenne étalée sur une période de 8 heures. En effet, l'exposition pendant plus d'une heure à des conditions excessives peut occasionner une accumulation de chaleur dans l'organisme suffisante pour provoquer des troubles physiologiques.

Si l'exposition en ambiance chaude (plus de 25°C au WBGT) est continue, c'est-à-dire plus de 15 minutes consécutives, la norme s'applique sur 60 minutes. Si elle est intermittente, c'est-à-dire interrompue au moins aux 15 minutes par des séjours en ambiance fraîche (moins de 25 °C), elle s'applique sur 120 minutes. Comme le travailleur peut, durant ces

périodes de temps, effectuer différentes tâches à différents endroits, il est nécessaire d'évaluer le métabolisme et le WBGT pour chaque situation.

Pour chaque heure (exposition continue) ou chaque période de deux heures (exposition intermittente), il faut calculer :

- la valeur moyenne du métabolisme

$$M \text{ moyen} = \frac{(M1) \times (t1) + (M2) \times (t2) + \dots (Mn) \times (tn)}{(t1) + (t2) + \dots (tn)} \quad (3. \text{ III})$$

- la valeur moyenne du WBGT

$$\text{WBGT moyen} = \frac{(\text{WBGT1}) \times (t1) + (\text{WBGT2}) \times (t2) + \dots (\text{WBGTn}) \times (tn)}{(t1) + (t2) + \dots (tn)} \quad (4. \text{ III})$$

Une fois le métabolisme calculé, on se réfère à la section travail continu du graphique ou du **Tableau III.3** du Règlement pour trouver le WBGT admissible pour cette charge de travail. On compare ensuite le WBGT admissible au WBGT moyen auquel est exposé le travailleur afin de déterminer si la norme est respectée.

Si le métabolisme est mesuré avec précision, on peut utiliser le graphique du Règlement pour trouver le WBGT limite admissible.

Application : cas du four de fusion ALFET (mesures approximatives)

Un travailleur dans l'atelier effectue 3 tâches

1- surveillance de la poche de coulée du métal

Métabolisme = 410 kcal/h

WBGT = 31°C

Temps = 40 minutes

2- guider le processus :

Métabolisme = 310 kcal/h

WBGT = 28 °C

Temps = 25 minutes

3-déplacement

Métabolisme= 220Kcal/h

WBGT=27°C

Temps = 15minutes

Métabolisme moyen = $(410 \times 40) + (310 \times 25) + (220 \times 15) / 40 + 25 + 15 = 343,13 \text{ kcal/h}$

WBGT moyen = $(31 \times 40) + (25 \times 28) + (27 \times 15) / 40 + 25 + 15 = 29,3^\circ\text{C}$

Sur le graphique, pour un métabolisme de 343,13 kcal/h, le WBGT permis est de 26,5°C. Le WBGT moyen mesuré étant de 29,3 °C, on dépasse donc les limites permises on peut aller jusqu'à (50%travail et 50%repos) d'après les normes l'atelier des fours de fusion d'ALFET doit donc observer des mesures préventives

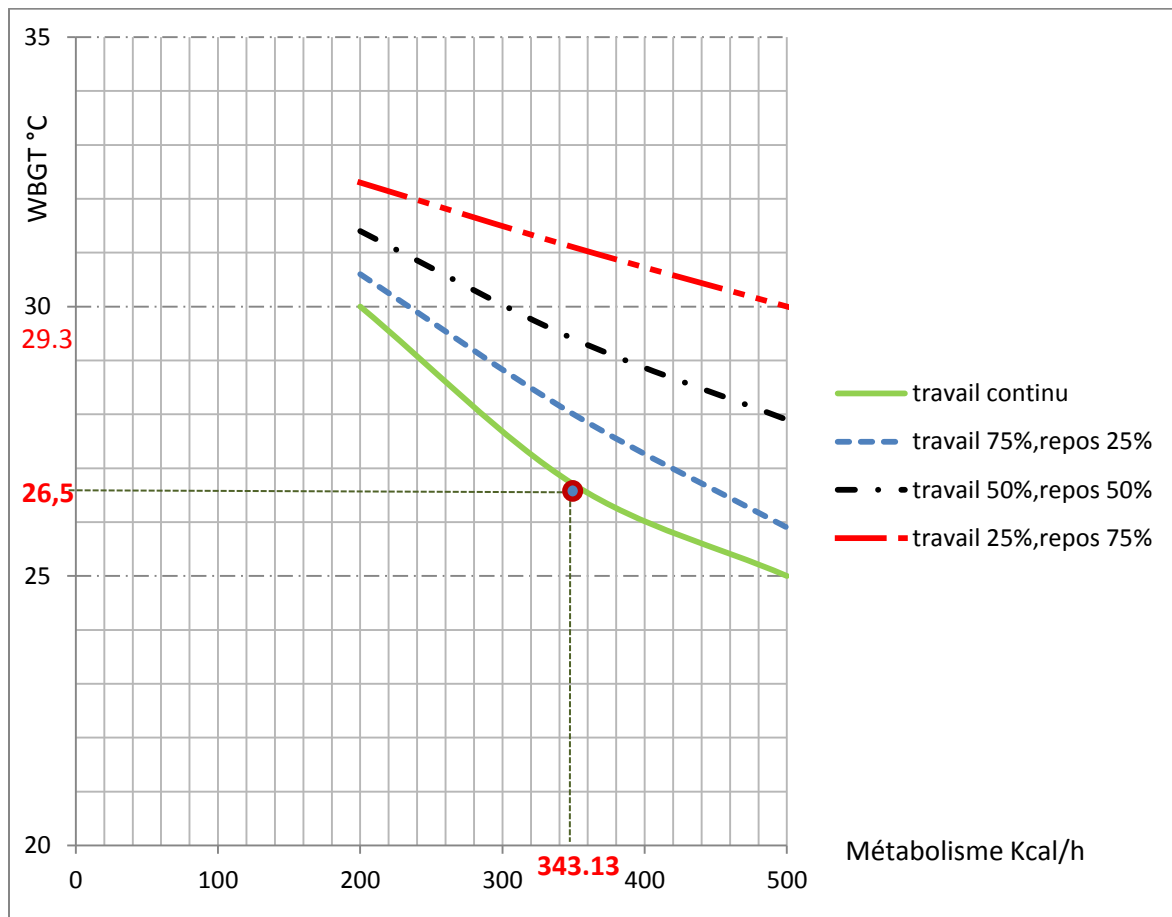


Figure III.4. Les valeurs limites d'exposition à la chaleur.

Cependant, l'estimation précise de la charge de travail étant difficile, on privilégie plutôt l'utilisation du **Tableau III.3** du Règlement, où la charge de travail est divisée en trois grandes catégories, soit :

- Travail léger → jusqu'à 200 kcal/h
- Travail moyen → de 200 à 350 kcal/h
- Travail lourd → de 350 à 500 kcal/h

Régime d'alternance travail / repos	Charge de travail		
	travail léger	travail moyen	travail lourd
Travail continu	30,0	26,7	25,0
Travail 75 %, repos 25 % (toutes les heures)	30,6	28,0	25,9
Travail 50 %, repos 50 % (toutes les heures)	31,4	29,4	27,9
Travail 25 %, repos 75 % (toutes les heures)	32,3	31,1	30,0

Dans ce tableau, pour chaque catégorie, seules les valeurs limites WBGT les plus restrictives sont conservées. De cette façon, le travailleur est mieux protégé d'une exposition pouvant excéder la limite WBGT admissible.

Lorsque la limite admissible est dépassée pour le travail continu, on peut référer aux régimes d'alternance travail / repos afin de déterminer combien de temps par heure le travailleur doit se reposer pour que son exposition respecte la norme. Ces régimes ont été conçus en partant de l'hypothèse que la valeur WBGT de l'endroit de repos est la même que celle du poste de travail. Dans ce cas, le WBGT limite applicable se trouve en considérant le métabolisme moyen au travail sans tenir compte du métabolisme au repos. Par contre si le travailleur récupère à un endroit où l'indice WBGT est différent de celui à son poste de travail, il faut calculer une valeur moyenne pondérée autant pour la chaleur environnante que pour le taux métabolique.

III.3.2. Conditions d'application de la norme

La norme WBGT a été établie dans un contexte spécifique en tenant compte de certaines considérations. Les conditions ci-dessous doivent donc être satisfaites pour que la norme s'applique : [12]

- Le travailleur doit faire une semaine normale de travail, cinq jours par semaine, huit heures par jour, avec interruption de l'ordre d'une demi-heure pour le repas;

- Il doit être physiquement apte pour le travail considéré. Dans certains cas exceptionnels, il faut avoir recours à un avis médical pour être en mesure de déterminer si le travailleur est physiquement apte à exécuter un travail donné, notamment dans le cas d'un travailleur souffrant de problèmes cardiaques ou d'obésité;
- Le travailleur doit être acclimaté tel que défini au chapitre 1;
- Il ne doit pas porter de vêtements de protection contre la chaleur spécialement adaptés à certaines tâches dangereuses. Ces vêtements isolants empêchent l'évaporation de la sueur. Il doit porter des vêtements d'été ou de travail léger;
- Il doit recevoir un apport suffisant d'eau et de sel.

La norme du WBGT admissible constitue une exigence minimale. Si les conditions mentionnées ci-dessus ne sont pas satisfaites, on peut supposer que les limites d'exposition devraient être modifiées afin de protéger les travailleurs. L'ACGIH, un organisme américain reconnu, recommande d'appliquer des corrections aux limites admissibles si les conditions d'habillement et d'acclimatement ne sont pas respectées, tel qu'indiqué ci-dessous. [12]

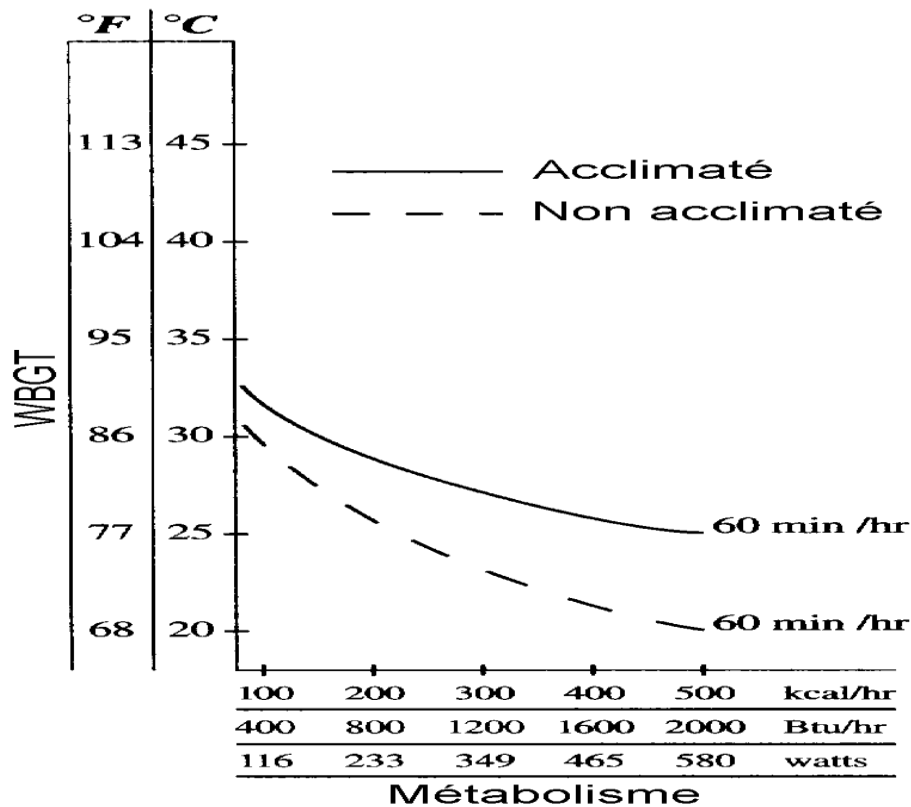


Figure III.5. Les limites de limite de seuil admissibles pour la protection contre l'exposition à la chaleur pour les personnes ayant une acclimatation à la chaleur et à l'ablation Facteur de correction du wbgT en °c

Type de vêtement**Correction WBGT**

Vêtement de travail léger	0
Survêtement de coton	-2
Vêtement d'hiver	-4
Vêtement imperméable	-6

III.3.3.Limites de la norme WBGT

En ambiance chaude, il faut se rappeler que lorsque les mécanismes de thermorégulation de l'organisme entrent en action, les glandes sudoripares et le cœur sont sollicités. La réponse physiologique qui s'en suit n'est pas nécessairement la même d'un individu à l'autre, et la norme du WBGT ne tient pas compte de ces différences interindividuelles. Elle ne considère pas non plus les risques de déshydratation possible.

On comprendra également que, comme la norme vise à prévenir les risques d'atteinte grave à la santé des travailleurs en empêchant une augmentation de la température interne du corps de plus de 1 °C, elle ne tient pas compte de la notion de confort. À titre indicatif, une augmentation de plus de 0,5 °C de la température interne peut causer de l'inconfort. Donc, même si la norme est respectée, les travailleurs peuvent ressentir de l'inconfort. [12]

Conclusion générale

Certaines conditions de chaleur et d'humidité alliées à la charge de travail posent de sérieux problèmes à bon nombre de travailleurs et l'employeur. La combinaison de ces conditions peut faire augmenter la température corporelle interne d'une personne, d'où la possibilité de contrainte thermique. Les effets sur la santé de la contrainte thermique peuvent aller du simple rougeoiement de la peau au coup de chaleur qui, lui, peut être fatal. Un travailleur qui a très chaud peut se sentir mal, devenir impatient, irritable, son attention peut baisser, des erreurs peuvent survenir et des accidents plus fréquents peuvent en résulter. Il s'agit d'un phénomène relativement complexe, mais compte tenu de l'ensemble de ses conséquences, il est important de contrôler l'exposition des travailleurs à la chaleur ou du moins de diminuer l'inconfort qu'elle procure.

Il est possible d'éviter la contrainte thermique par la prévention, la vigilance, la formation et la sensibilisation des personnes impliquées.

Parmi les branches de l'industrie qui présentent une exposition à la contrainte thermique, on peut citer les entreprises de transformation des métaux dont ALFET fait partie ; ce secteur de travail devrait être priorisé dans le cadre des risques industriels ce qui peut guider les spécialistes en hygiène et santé au travail dans leurs démarches d'évaluation des risques thermiques. La surveillance biologique constitue un outil de choix pour l'évaluation du stress thermique car une défaillance de la thermorégulation peut entraîner la mort ce qui peut entraîner, entre autre, des changements physiologiques notamment dans la redistribution des débits sanguins en modifiant la fonction de plusieurs organes.

L'évaluation est basée en général sur les paramètres tels que la température, l'humidité relative, l'énergie rayonnante et les dépenses d'énergie appelées aussi charge de travail

Bibliographies

- [1] ALIE, Robert et col, Formation sur la contrainte thermique – Exposition à la chaleur, mai 1995
- [2] www.Fonderie.com
- [3] Documents techniques de l'entreprise ALFET
- [4] CHARBONNEAU, Jean-Yves, Guide, Série 1, À la recherche du problème, Évaluation, Contraintes thermiques, CSST, déc. 1985, 77 pages
- [5] MALCHAIRE J., PIETTE A., COCK N. (1998) Stratégie d'évaluation et de prévention des risques liés aux ambiances thermiques. Commissariat général à la Promotion du Travail, Ministère de l'Emploi et du Travail.
- [6] adapté du document A Guide to Heat Stress in Agriculture, EPA-OSHA, mai 1993.
- [7] SCHREIBER, Luc, BLAIS. Yves et Robert POISSON. Hygiène du travail, Les éditions Le Griffon D'Argile Inc., Ste-Foy. 1985, p.241-272.
- [8] NIELSEN. B. «Heat stress and acclimatation», Ergonomics, 1994, vol.32, p.49-58.
- [9] : Règlement sur la santé et la sécurité du travail, S-2.1, r.19.01 : à jour au 18 juillet 2001, Québec, Éditeur officiel du Québec, 2001, 112 pages
- [10] Organisation internationale de normalisation, Ambiances chaudes – Estimation de la contrainte thermique de l'homme au travail, basée sur l'indice WBGT (température humide et de globe noir), Première édition, ISO, 1982, non paginé
- [11] d'utilisation d'un appareil de mesure rapide dans l'analyse de la contrainte thermique, Université du Québec à Trois-Rivières, mars 1997, 36 pages L'étude a été menée par Pierre Dessureault, Jamal Lyagoubi et André Couture, département de génie industriel, UQTR
- [12] American conference of governmental industrial hygienists, Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposures indices, Ohio, ACGIH, 1996, 138 pages
- [13] Centre patronal de santé et sécurité du travail du Québec, Vivement l'été, Convergence, 1995, p.9-10.
-

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.

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.

Annexe 1

Extrait du Règlement S-2.1, r.19.01 Articles 121 à 124

CONTRAINTES THERMIQUES

121. Mesure obligatoire: Dans tout établissement qui emploie 50 travailleurs ou plus et où des travailleurs sont soumis à des conditions thermiques telles que l'indice de contrainte thermique atteint ou dépasse la courbe de travail continu indiquée au graphique de **Figure III.4**, un tel indice doit être mesuré deux fois par année, dont une fois pendant l'été, à chaque poste de travail où il est atteint ou dépassé.

Les résultats des mesures effectuées conformément au premier alinéa doivent être consignés par l'employeur dans un registre que celui-ci doit conserver pendant au moins 5 ans.

122. Méthode: Pour l'application du présent règlement, l'indice de contrainte thermique est mesuré par l'indice de température au thermomètre à globe à boule humide (méthode W.B.G.T.).

123. Indice supérieur à la courbe de travail continu: Dans tout établissement où des travailleurs sont soumis à des conditions thermiques telles que l'indice de contrainte thermique dépasse la courbe de travail continu indiquée au graphique de l'annexe V, une surveillance médicale des travailleurs ainsi exposés doit être assurée par l'employeur et celui-ci doit mettre à leur disposition de l'eau dont la température est comprise entre 10° C et 15° C, ainsi qu'une douche par 15 travailleurs exposés.

124. Mesures particulières: Dans tout établissement où des travailleurs sont soumis à des conditions thermiques telles que l'indice de contrainte thermique dépasse la courbe de travail continu indiquée au graphique **Figure III.4**, les mesures suivantes doivent être prises:

- (1) réaménager le poste de travail exposé à l'aide d'écrans réfléchissants, d'une isolation ou d'une ventilation additionnelle, de manière à réduire l'indice de contrainte thermique à ce poste de travail à une valeur inférieure ou égale aux valeurs de la courbe de travail continu;
 - (2) si l'application du paragraphe 1 s'avère impossible ou ne permet pas d'atteindre la courbe de travail continu, contrôler la charge de travail, le temps d'exposition et le temps de récupération conformément au régime d'alternance travail;
 - (3) si l'application des paragraphes 1 et 2 se révèle impossible ou ne permet pas d'atteindre les courbes indiquées au graphique **Figure III.4** ou en attendant que les transformations requises selon le paragraphe 1 soient faites, s'assurer que les travailleurs portent des
-

Légende	
30.0 à 34.9	OK mais buvez de l'eau régulièrement
35.0 à 37.7	L'employeur distribue des breuvages
37.8 à 38.8	Retrait du poste de 10 minutes à l'heure
38.9 à 39.9	Retrait du poste de 15 minutes à l'heure
40.0 à 42.1	Retrait du poste de 20 minutes à l'heure
42.2 et plus	Arrêt de production

Résumé

La sécurité est de thèmes essentiels à cette époque en raison de traiter les droits à l'ingénierie des équipements pour l'accomplissement de ses diverses activités afin d'atteindre les exigences des produits , marchandise ou un service, principalement dans un environnement très chaud, le travail effectué peut devenir pénible et vous affecter à la fois physiquement et mentalement ; à la limite, il peut comporter des risques pour la santé et la sécurité. L'utilisation des outils de mesure de l'exposition à la chaleur sont d'un apport considérable, elle nous guide de manière adéquate pour comprendre de quelle façon une ambiance chaude peut atteindre les personnes exposées. D'après cette étude, les méthodes d'évaluation ainsi que les techniques de prévention sont le moyen le plus efficace.

Mots clés : contrainte thermique, WBGT, charge de travail, humidité, métabolisme

ملخص :

يعتبر الأمن من الموضوعات المهمة في هذا العصر نظرا لتعامل الإنسان مع المعدات اللازمة لإنجاز أنشطته المختلفة و ذلك لتحقيق احتياجاته من منتجات سلعية أو خدمتية، في أغلب الأحيان العمل في بيئة حارة يمكن أن يكون مرهقا للشخص و يؤثر عليه جسديا وعقليا، في الحالات القصوى قد تشكل خطرا على الصحة والسلامة. إن إستعمال أدوات قياس التعرض للأشعة الحرارية هو مساهمة هامة تسمح لنا بمعرفة و فهم الجو الساخن الذي يمكن أن يتعرض له الأشخاص و بعد هذه الدراسة، والطرق المستعملة للتقييم نستنتج أن تقنيات الوقاية هي الوسيلة الأمثل و الفعالة.

كلمات البحث: الإجهاد الحراري، WBGT، وعبء العمل، والرطوبة، والتمثيل الغذائي

Summary

Safety is of topics vital in this age due to deal rights with equipment engineering for the performance of its various activities in order to achieve the requirements of the products commodity or service, Mainly in a very hot environment, The work done can become painful and affect you both physically and mentally; To the limit, it may involve risks to health and safety. The use of tools to measure exposure to heat is of considerable benefit, it guides us adequately to understand how a warm environment can reach the exposed people. According to this study, evaluation methods and prevention techniques are the most effective means.

Key words: thermal stress, WBGT, workload, moisture, metabolism.
