

# Chapitre I : Ambiances thermiques chaudes et froides

Dr. BENSACI Chaima

Université 20 août 1955 Skikda

Institut des sciences et techniques appliquées

Email : ch.bensaci@univ-skikda.dz

5.0 14/05/2022



*Facteurs d'ambiance 2*

# Table des matières

<b>Objectifs</b>	<b>3</b>
<b>I - Ambiances thermiques chaudes et froides</b>	<b>4</b>
1. Rappel : notions de base sur les ambiances thermiques.....	4
1.1. Physiologie des échanges thermiques.....	4
2. Effets physiologiques et pathologiques .....	7
2.1. Effets des ambiances thermiques froides sur l'homme .....	7
2.2. Effets des ambiances thermiques chaudes sur l'homme.....	8
3. Recueil des données : métrologie.....	9
3.1. Grandeurs physiques liées à l'environnement .....	9
3.2. Grandeurs relatives aux personnes.....	10
4. Méthodes d'évaluation de l'environnement thermique.....	11
4.1. Évaluation de la neutralité thermique et du confort thermique.....	11
4.2. Évaluation de la contrainte thermique chaude .....	12
4.3. Évaluation de la contrainte thermique froide.....	13
5. Principes de prévention des risques des expositions aux contraintes thermiques .....	14
6. Activités d'apprentissage du 1 er chapitre .....	14
6.1. Exercice : Question 01 .....	14
6.2. Exercice .....	14
6.3. Exercice : Question 06 .....	15
<b>Glossaire</b>	<b>17</b>
<b>Abréviations</b>	<b>18</b>
<b>Références</b>	<b>19</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>20</b>

# Objectifs

---

Ce chapitre vise à :

- **Identifier** les effets physiologiques et pathologiques liée à **l'exposition à une ambiance thermique chaude ou froide**.
- **Apprendre** les outils de mesures des différents paramètres.
- **Calculer** les indices de **contrainte thermiques** chaude et froide.
- **Évaluer** les contraintes thermiques dans un environnement de travail en se basant sur **les valeurs recommandées** par la réglementation.
- **Apporter des solutions** pour réduire les risques liés à une forte ambiance thermique.

# Ambiances thermiques chaudes et froides

## 1. Rappel : notions de base sur les ambiances thermiques

### Définition

- **Etymologiquement le terme « ambiance » vient du latin à partir du mot : *Ambiens*,\*** le participe présent du verbe **ambire** qui signifie entourer et environner
- D'après le dictionnaire encyclopédie 2000 l'ambiance est l'atmosphère qui existe autour de quelqu'un, dans un lieu, dans une réunion : une bonne ambiance (**syn. climat**) »
- Et selon le dictionnaire Larousse : « Atmosphère qui existe autour d'une personne »
- L'*ambiance thermique*\* est un facteur de condition de travail jouant un rôle important sur la santé, la sécurité et le confort des travailleurs. On peut l'exprimer par les conditions de température, d'humidité et de vent.

[cf. Ambiances thermiques]

### Complément

Certaines activités professionnelles impliquent de travailler dans des conditions thermiques particulières: les salariés peuvent être exposés à des *ambiances thermiques*\* froides ou chaudes.



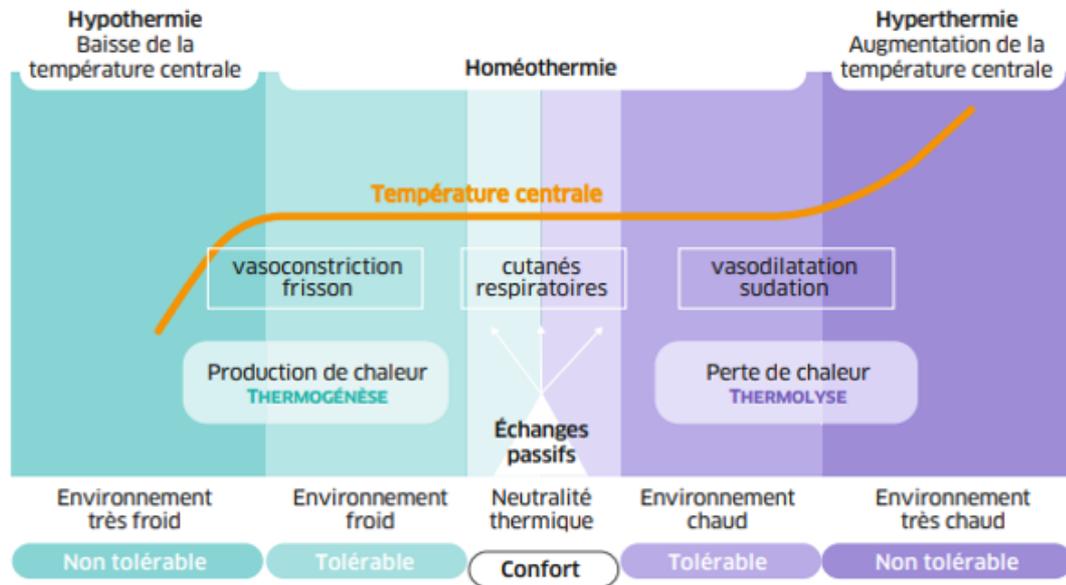
*Activités professionnelles dans des ambiances thermiques particulières*

### 1.1. Physiologie des échanges thermiques

#### Fondamental

L'homme est un **homéotherme** c'est-à-dire que la température centrale est stable, en dépit des variations de la température extérieure.

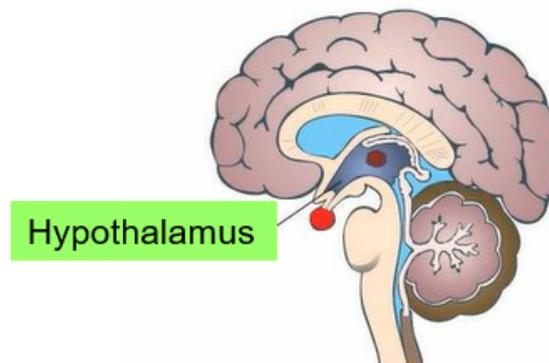
Un ensemble de processus physiologiques, appelé **thermorégulation**\*\*, permet de maintenir une relative constance de sa température centrale autour de valeurs proches de **37°C**. Pour cela, il est nécessaire qu'au niveau de l'organisme, il y ait un équilibre entre la **thermogenèse** (production de chaleur) et la **thermolyse** (perte de chaleur).



Processus de thermorégulation

### Complément

Le centre de la thermorégulation se trouve dans l'*hypothalamus*.\*.



Centre de thermorégulation

### a) La thermogenèse

#### Définition

Elle est la somme de la chaleur dégagée ou produite par trois sources principales de la chaleur produite par l'organisme :

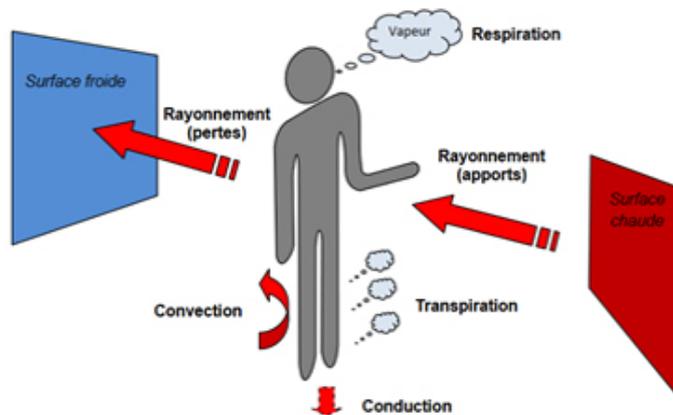
- Le métabolisme de base : le métabolisme de base est la dépense énergétique de l'organisme à la température de neutralité thermique. Consomme l'énergie pour maintenir la température du corps.
- L'exercice musculaire : dépense énergétique dû à l'activité de travail.
- Les métabolismes ajoutés, en particulier l'alimentation.

## b) La thermolyse

**Fondamental**

Elle se fait par 4 mécanismes :

- **Conduction** : Échange thermique par contact avec un solide (avec le sol)
- **Convection** : Échange entre le corps et un fluide (avec l'air par ventilation).
- **Rayonnement infrarouge** : Les échanges se font des corps les plus chauds vers les corps les plus froids à travers des ondes (avec les parois, travail devant un four fonderie...)
- **Évaporation** : Plusieurs formes existent :
  1. **Perte de vapeur d'eau** par les poumons (Respiration),
  2. **Perspiration** : diffusion de l'eau des couches superficielles de la peau vers l'extérieur,
  3. **Sudation**, à condition que la sueur soit effectivement évaporée.

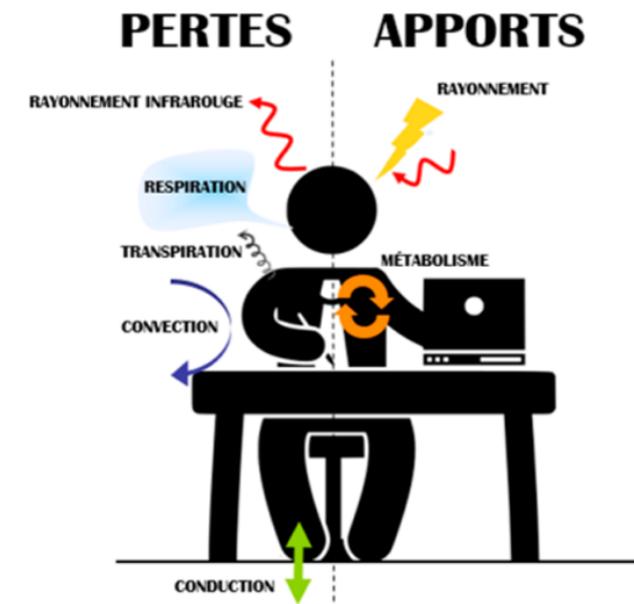


*Modes de transmission de chaleur entre le corps humain et son environnement*

## c) Le bilan thermique

**Définition**

Le bilan thermique correspond à l'ensemble des échanges de chaleur subit par l'organisme.



*Bilan thermique du corps humain*

**Fondamental**

$$\text{Bilan} = M \pm R \pm C - E$$

**M** représente le métabolisme énergétique général de l'organisme, comprenant le métabolisme de base et le métabolisme d'exercice ( $W \cdot m^{-2}$ ). Le métabolisme d'exercice est fourni par des tables normatives, selon le type d'activité exercé.

**R** représente l'échange thermique par rayonnement.

**C** représente l'échange thermique par conduction et convection.

**E** représente L'évaporation requise.

**Complément**

Selon diverses conditions, le bilan peut être :

- **Supérieur à 0** : L'organisme est en hyperthermie et emmagasine de la chaleur. les mécanismes de thermolyse ne sont pas suffisamment efficaces et risquent d'engendrer des pathologies. Il est nécessaire d'agir sur le mécanisme pouvant rendre le plus de résultat.
- **Égal à 0** : C'est la situation la plus favorable. L'opérateur se situe dans une zone de neutralité thermique.
- **Inférieur à 0** : L'organisme est en hypothermie, il perd plus de chaleur qu'il en gagne ou qu'il en produit. Cette situation engendre elle aussi des pathologies. Il est nécessaire d'effectuer un bilan des contraintes permettant d'établir les causes de ce dérèglement (cause environnementale, vent froid ...).

## 2. Effets physiologiques et pathologiques

Les ambiances thermiques ont des effets sur l'homme, et jouent un rôle important sur la santé, la sécurité et le confort des travailleurs.

Les capacités d'adaptation de l'homme sont limitées et, par conséquent, si l'ambiance thermique est trop sévère et/ou la dépense énergétique trop élevée et/ou la durée d'exposition trop longue, cela peut :

- Engendrer des risques sur la santé de l'homme : pathologies ;
- Diminuer les performances physiques et mentales des travailleurs ;
- Dégrader l'environnement de travail ;
- Renforcer les risques d'accidents.

### 2.1. Effets des ambiances thermiques froides sur l'homme

a) Effets physiologiques :

**Fondamental**

**Hypothermie\*** : ( Diminution de la température corporelle )

Le corps lutte contre l'hypothermie à l'aide de trois mécanismes physiologiques essentiels :

1. **Le frissonnement** : Ce phénomène donne une sensation de « chair de poule » et il peut s'amplifier jusqu'à provoquer la contraction de gros muscle : c'est le frissonnement. Il a pour objectif le dégagement de chaleur.
2. **Vasoconstriction** : L'augmentation de la production de chaleur corporelle et la vasoconstriction (diminution du diamètre des vaisseaux sanguins) sont les mécanismes physiologiques essentiels dont dispose l'homme pour lutter contre le refroidissement (qui ralentit la perte de chaleur du

corps). La vasoconstriction permet de diminuer le débit sanguin vers **les extrémités** (mains et pieds) et donc le flux de chaleur. Le refroidissement excessif des mains est à l'origine d'**une baisse de la dextérité** (altération des performances physique).

3. **Augmentation du métabolisme de base** : Le corps va libérer des hormones qui accélèrent les réactions enzymatiques et ainsi augmentent la production de chaleur générale. Il faut noter que les mécanismes hormonaux mettent environ une semaine pour lutter et s'adapter efficacement contre le froid. Durant cette phase d'adaptation, l'opérateur nécessite une surveillance particulière.

## b) Effets pathologiques :

### Fondamental

- Chute de la dextérité articulaire.
- Pâleur extrême due à une faible irrigation sanguine de la peau.
- Gelures (refroidissement local excessif).
- Une atonie, manque d'énergie ou fatigue, peau froide, désorientation, confusion, voire perte de conscience.
- Une atteinte du système nerveux et des perturbations respiratoires.
- Augmentation de la pression artérielle et des risques d'accident cardiaque (lié à la vasoconstriction).
- **Effets Respiratoires** : Sinusite, laryngite, rhinite, bronchite, asthme. Les maladies respiratoires augmentent lors d'exposition au froid, Les mécanismes de lutte contre infections s'affaiblit.
- **Effets Articulaires** : Rhumatismes, arthrose. Le froid perturbe la circulation sanguine, favorise la raideur des articulations et la contraction des muscles.

## 2.2. Effets des ambiances thermiques chaudes sur l'homme

### a) Effets physiologiques :

### Fondamental

**Hyperthermie\*** : ( Augmentation de la température corporelle )

Le corps lutte contre l'hyperthermie à l'aide de trois mécanismes physiologiques essentiels :

1. **La vasodilatation** : C'est l'augmentation du diamètre des vaisseaux sanguins, qui assure une inhibition de la production de chaleur et une augmentation du transfert de chaleur vers la périphérie du corps.
2. **La sudation** : L'évaporation de la sueur sécrétée par les glandes sudoripares est le moyen de transfert de chaleur vers l'environnement le plus efficace.
3. **L'acclimatation** ou **l'adaptation à la chaleur** : L'exposition régulière à la chaleur va déclencher une acclimatation du sujet, c-à-d :
  - Déclenchement de la sudation plus rapide ;
  - Débit sudoral plus important ;
  - Efficacité thermolytique plus grande.

## b) Effets pathologiques :

**Fondamental**

- **Augmentation du rythme des battements du cœur** entraînant un risque de syncope.
- **Déshydratation** : Déficit en eau et en sels consécutifs à une transpiration excessive. Ceci entraîne une augmentation de la température du corps ainsi que fatigue, vertiges, nausées.
- **Affection cutanée** :
  - Échauffement local excessif (Brûlure, rougeur) ;
  - Problèmes oculaires (si les yeux ne sont pas protégés du soleil).
- **Coup de chaleur** avec perte de connaissance pouvant entraîner la mort (appelé syncope de chaleur).
- **Autres pathologies** :
  - L'infarctus ;
  - Les affections gastro-intestinales ;
  - Certaines maladies de la peau.

**3. Recueil des données : métrologie**

Pour calculer un bilan thermique, il est nécessaire de mesurer les grandeurs physiques liées à l'environnement et aux personnes (métabolisme et isolement thermique du vêtement).

**3.1. Grandeurs physiques liées à l'environnement****Fondamental**

Il existe deux types de *grandeurs physiques*\* liées à l'environnement

*Types de grandeurs physiques*

<b>Grandeurs fondamentales</b>	<b>Grandeurs dérivées</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La température sèche de l'air (<math>T_a</math>)</li> <li>• L'humidité absolue de l'air (<math>P_a</math>)</li> <li>• La vitesse de l'air (<math>v_a</math>)</li> <li>• La température moyenne de rayonnement (<math>T_r</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La température humide naturelle (<math>T_{nw}</math>) (intervient dans le calcul de l'indice WBGT)</li> <li>• La température de globe noir (<math>T_g</math>) (permet de déduire <math>T_r</math>)</li> </ul>

**Remarque**

La norme **NF EN 27726 de février 1994** décrit les capteurs et rappelle les techniques de mesure.

Données relatives à la mesure des différentes grandeurs liées à l'environnement climatique \*

Mode opératoire	Grandeur mesurée				
	Grandeurs fondamentales				Grandeur dérivée
	Température de l'air $T_a$	Température moyenne de rayonnement $T_g$	Vitesse de l'air $v_a$	Humidité absolue $P_a$	Température humide naturelle $T_{nw}$
Appareillage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Thermomètre</li> <li>• Couple thermo-électrique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Globe noir</li> <li>• Capteur plan réponse immédiate</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anémomètre à boule chaude</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Psychromètre</li> <li>• Sonde à chlorure de lithium</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Thermomètre humide ventilé naturellement</li> </ul>

### 3.2. Grandeurs relatives aux personnes

Fondamental

La production de chaleur et l'isolement thermique du vêtement sont les deux grandeurs relatives à la personne exposée\*, qui interviennent dans le calcul du bilan thermique.

#### a) Le métabolisme

Méthode

Le métabolisme est calculé à partir de la mesure de la consommation d'oxygène (méthode précise mais difficile à réaliser).

D'autres méthodes :

- La mesure de la fréquence cardiaque ;
- L'estimation du métabolisme en décomposant la tâche en gestes et postures élémentaires dont la valeur énergétique est proposée dans des tables (tables de Spitzer et Hettinger).

**Remarque**

La **norme ISO 8996** (1990, révisée en 2004) décrit avec précision ces méthodes.

## b) Isolement thermique des vêtements

**Méthode**

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

$$1 \text{ clo} = 0.155 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}$$

**Remarque**

La norme **NF ISO 9920** (juin 1995) permet d'estimer l'isolement thermique des vêtements portés.

## 4. Méthodes d'évaluation de l'environnement thermique

### 4.1. Évaluation de la neutralité thermique et du confort thermique

**La neutralité thermique****Définition**

Elle correspond à une zone d'ambiance thermique pour laquelle on ne mobilise aucun mécanisme de lutte contre le froid ou le chaud.

**Le confort thermique****Définition**

Le confort thermique c'est une appréciation subjective qui exprime la satisfaction d'un individu vis-à-vis des conditions thermiques de son environnement

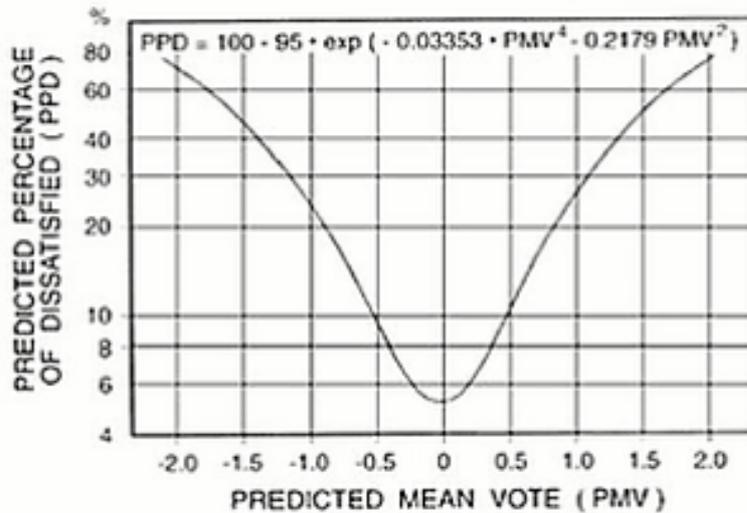
**Le PMV - PPD****Méthode**

1. **Le PMV (Vote moyen Prévisible)\*** : Le **PMV\*** est un indice de confort thermique qui permet de prévoir la valeur moyenne des expressions subjectives d'un groupe de personnes exposées à une certaine ambiance thermique et situant leurs sensations sur une échelle de sensation thermique à 7 points :

- +3 : Très chaud
- +2 : Chaud
- +1 : Légèrement chaud
- 0 : neutre, ni chaud ni froid
- -1 : Légèrement froid
- -2 : Froid
- -3 : Très froid

Pour déterminer cet indice on utilise des tables correspondant aux **niveaux d'activités (métabolisme M)** en considérant **l'isolement thermique (Icl)**, et **la température de l'air (Ta)**.

2. Le **PPD\*** (**pourcentage prévisible d'insatisfaits**) : L'indice **PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied)** prédit quantitativement le pourcentage de population non satisfaite des conditions thermiques. Il est intéressant, dans une population donnée, de calculer le nombre de personnes insatisfaites correspondant au PMV de confort.



*Pourcentage de population non satisfaite*

Recommandation de **la norme EN ISO 7730** :

$$-0.5 < PMV < +0.5 \Rightarrow PPD < 10\%$$

**Remarque**

**Noter que :**

1. On estime que l'ambiance thermique est acceptable, c'est à dire propice au confort thermique, pour la majorité des personnes qui y sont soumise quand cet indice est compris entre +/- 0,5.
2. Lorsque le **PMV** est égal à **0**, il y a 5 % d'insatisfaction.

## 4.2. Évaluation de la contrainte thermique chaude

**Fondamental**

Deux indices permettent d'évaluer la contrainte thermique :

- **WBGT\*** : Wet Bulb Globe Temp
- **Indice d'astreinte thermique prévisible** (sudation requise)

Ces deux indices permettent avec précision d'évaluer le bilan thermique.

### a) Principe et définition du WBGT

**Définition**

Le **WBGT\*** est un indice permettant de déterminer si le sujet est capable de travailler dans une ambiance donnée sur une durée de **8 heures**. C'est la première démarche à effectuer dans le cas de l'analyse d'un poste de travail soumis à la chaleur.

**Méthode**

La mesure de ces températures se\* fait simultanément à des hauteurs normatives au niveau de la tête, de l'abdomen et des chevilles.

**A l'intérieur d'un bâtiment :**

$$WBGT = 0,7 t_{nw} + 0,3 t_g$$

**A l'extérieur d'un bâtiment :**

$$WBGT = 0,7 t_{nw} + 0,2 t_g + 0,1 t_a$$

Avec :  $t_{nw}$ ,  $t_g$  et  $t_a$  exprimés en °C

**Le WBGT globale est donné d'après la formule :**

$$WBGT = \frac{WBGT_{tête} + (2 \times WBGT_{abdomen}) + WBGT_{cheville}}{4}$$

En parallèle, il est nécessaire de procéder à une évaluation du métabolisme de l'opérateur selon son type d'activité. Des tables normatives fixent ces valeurs par classe.

**Remarque**

Si le **WBGT déterminé est supérieur à la valeur repère de la situation étudiée**, cet opérateur ne pourra pas travailler **8h** dans cette ambiance thermique.

Dans ce cas, il y a lieu deux actions possibles :

- Soit de réduire directement la contrainte thermique au poste de travail considéré par des méthodes appropriées (action sur l'environnement, sur le niveau d'activité...)
- Soit de réduire la durée horaire d'intervention.

**b) Principe et définition de l'indice de sudation requise****Méthode**

- L'indice d'astreinte thermique prévisible (**indice de sudation requise**) calcule le **débit sudoral** nécessaire au maintien de **l'équilibre** du bilan thermique. C'est une approche plus précise que le **WBGT**.
- Lorsque cet équilibre n'est pas possible, ou si son maintien impose un débit sudoral excessif, l'indice permet de calculer une durée limite d'exposition.
- On peut ainsi connaître le mécanisme sur lequel il faut agir pour rendre la contrainte thermique acceptable. Cette méthode doit être utilisée en complément de la méthode basée sur l'indice **WBGT** si celle-ci s'avère négative.

**4.3. Évaluation de la contrainte thermique froide****Méthode**

L'action du froid doit être considérée :

- D'une part quant à son effet global sur l'ensemble du corps. La contrainte froide est alors estimée par **l'isolement vestimentaire requis** ( $*I_{req}$ );
- D'autre part quant à son effet local sur une partie du corps peu ou non protégée. La contrainte froide est alors estimée par l'indice de refroidissement **\*\*WCI\*** (Wind Chill Index).

## 5. Principes de prévention des risques des expositions aux contraintes thermiques

*Fondamental*

Avant toute intervention de correction d'une situation, il y a lieu de s'interroger sur les possibilités d'**élimination du risque** :

- En remplaçant les équipements sources de chaleur ou de froid par d'autres moyens faisant appel à des technologies différentes (exemple : le chauffage par induction se substituant au chauffage à la flamme),
- En procédant à de nouveaux agencements des équipements et locaux de travail (exemple : l'éloignement des équipements des zones où s'exerce l'activité des opérateurs).

Pour **réduire la contrainte thermique**, il est nécessaire d'intervenir sur les différents facteurs de production de chaleur et d'échange de chaleur entre le corps et l'environnement. Ce qui suppose préalablement une observation et une analyse des postes de travail et de l'activité des opérateurs.

## 6. Activités d'apprentissage du 1 er chapitre

### 6.1. Exercice : Question 01

Déshydratation

Augmentation du rythme des battements du cœur

Hyperthermie

Chute de la dextérité articulaire

Diminuer le rendement

Augmentation du métabolisme de base

Sinusite

Hypothermie

Diminuer la vigilance

Rhumatismes

Coup de chaleur

Affection cutanée

Gelures

Augmentation des erreurs

Effets sur l'organisme en cas d'exposition au froid	Effets sur l'organisme en cas d'exposition au chaud	Effets sur le travail

### 6.2. Exercice

#### Question 02

La température de l'air se mesure avec des :

- Thermomètres
- Thermistances
- Globes noir
- Thermocouples

**Question 03**

Le métabolisme est calculé précisément à travers :

- La mesure de la consommation d'oxygène
- La mesure de la fréquence cardiaque

**Question 04**

Un opérateur effectue un transport de matériaux lourds. C'est un nouveau embauché (non acclimaté). Il transporte les matériaux devant un four radiant.

Les mesures de terrains sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

*Mesures de terrains*

	$T_{nw}$	$T_g$
Tête	25 °C	50 °C
Abdomen	19 °C	45 °C
Cheville	17 °C	20 °C

Calculer le **WBGT globale**

\_\_\_\_\_

**Question 05 : Évaluer la contrainte thermique**

A partir du résultat obtenu dans l'exercice précédent et sachant que :

\* L'activité de l'opérateur est de **classe 3**, ce qui signifie **un métabolisme élevé**.

\* La valeur repère WBGT, pour **un opérateur non acclimaté**, est fixée à :

- Absence de courant d'air : **22°C**,
- Mouvement de l'air perceptible : **23°C**.

- L'opérateur peut travailler 8 heures dans ces conditions ?

\_\_\_\_\_

**6.3. Exercice : Question 06**

prévoit des pauses adaptées

vêtements appropriés

informe les salariés des risques spécifiques liés au travail

climatise les locaux

automatisation des opérations

conseille aux salariés exposés une alimentation adaptée

planifie les activités en extérieur en tenant compte des conditions météorologiques

met à la disposition des salariés de l'eau potable et fraîche

Prévention intrinsèque	Protection collective	Protection individuelle	Information et formation des opérateurs
------------------------	-----------------------	-------------------------	---

# Glossaire

---

## **Ambiance thermique**

L'ambiance thermique est un facteur de condition de travail jouant un rôle important sur la santé, la sécurité et le confort des travailleurs. On peut l'exprimer par les conditions de température, d'humidité et de vent.

# Abréviations

---

**Ireq** : l'isolement vestimentaire requis

**PMV** : Predicted mean vote

**PPD** : Predicted Percentage of Dissatisfied

**WBGT** : Wet Bulb Globe Temp

**WCI** : Wind Chill Index

# Références

---

- 1 Jean-Pierre MEYER, Jean-Louis POYARD, Prévention des risques professionnels - Risques liés aux installations, Réf : SE3850 v1 de techniques de l'ingénieur
  
- 3 Noura Abdesselam, Cours Ambiances physiques, université de Batna 2.

# Bibliographie

---

C. Martinet, J.P. Meyer. Travail à la chaleur et confort thermique, Rapport de l' institut National de Recherche et de Sécurité (INRS),1999, 59 p.

Cours Les ambiances thermiques de l'IUMT de Rennes 2