



les ambiances thermiques



la population concernée

la population exposée aux ambiances froides

- **personnel travaillant :**
 - dans des bureaux mal chauffés
 - dans des ateliers insuffisamment chauffés
 - à un poste de travail exposé aux courants d'air
 - dans une chambre froide climatisée (0° à +12°C)
 - dans une chambre froide réfrigérée (-35° à 0°C)
 - en extérieur

la population exposée aux ambiances chaudes

▪ **personnel travaillant**

- dans des bureaux exposés au rayonnement solaire
- dans des ateliers en présence de procédés générant :
 - chaleur
 - rayonnement
 - humidité
- en extérieur



les effets

... du froid

- **amplification des risques dus à l'activité normale du salarié**
 - baisse de l'agilité
 - baisse de la vigilance
 - réduction de la mobilité (vêtements)
 - réduction de la visibilité (vêtements)

- **troubles chroniques**
 - respiratoires : rhinite, sinusite, laryngite, bronchite, asthme
 - articulaires : rhumatismes, arthrose
 - digestifs : hyperacidité et ulcères gastriques

... du froid

- **révélation ou amplification de troubles latents :**
 - circulatoires : syndrome de Raynaud "doigt mort"
 - allergiques : urticaire, malaises, nausées, syncopes
 - cardiaques : angor, infarctus
 - troubles musculo-squelettiques (TMS)
- **pathologies aiguës :**
 - locales (engelures, gelures)
 - généralisées (hypothermie)

... de la chaleur

- **amplification des risques dus à l'activité normale du salarié**
 - fatigue
 - baisse de l'agilité
 - baisse de la vigilance
 - réduction des capacités psychosensorimotrices
 - altération du fonctionnement du système nerveux central

... de la chaleur

- **troubles chroniques**

- cardio-vasculaires : accélération du rythme cardiaque, infarctus
- cutanés : anhidrose
- digestifs : affections gastriques et duodénales

- **pathologies aiguës :**

- locales (brûlures)
- généralisées (Déshydratation, hyperthermie)



le métabolisme du corps humain

le métabolisme du corps humain

- **énergie produite par le corps**
- **métabolisme = métabolisme basal + métabolisme d'activité**
 - métabolisme basal = énergie produite par les mécanismes vitaux (circulation sanguine, respiration, digestion, organes vitaux (cerveaux, foi,))
 - métabolisme d'activité = énergie produite par l'activité des muscles

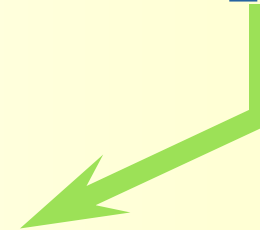
production de chaleur du corps humain

réaction chimique :



métabolisme

- fonctions vitales
- activité

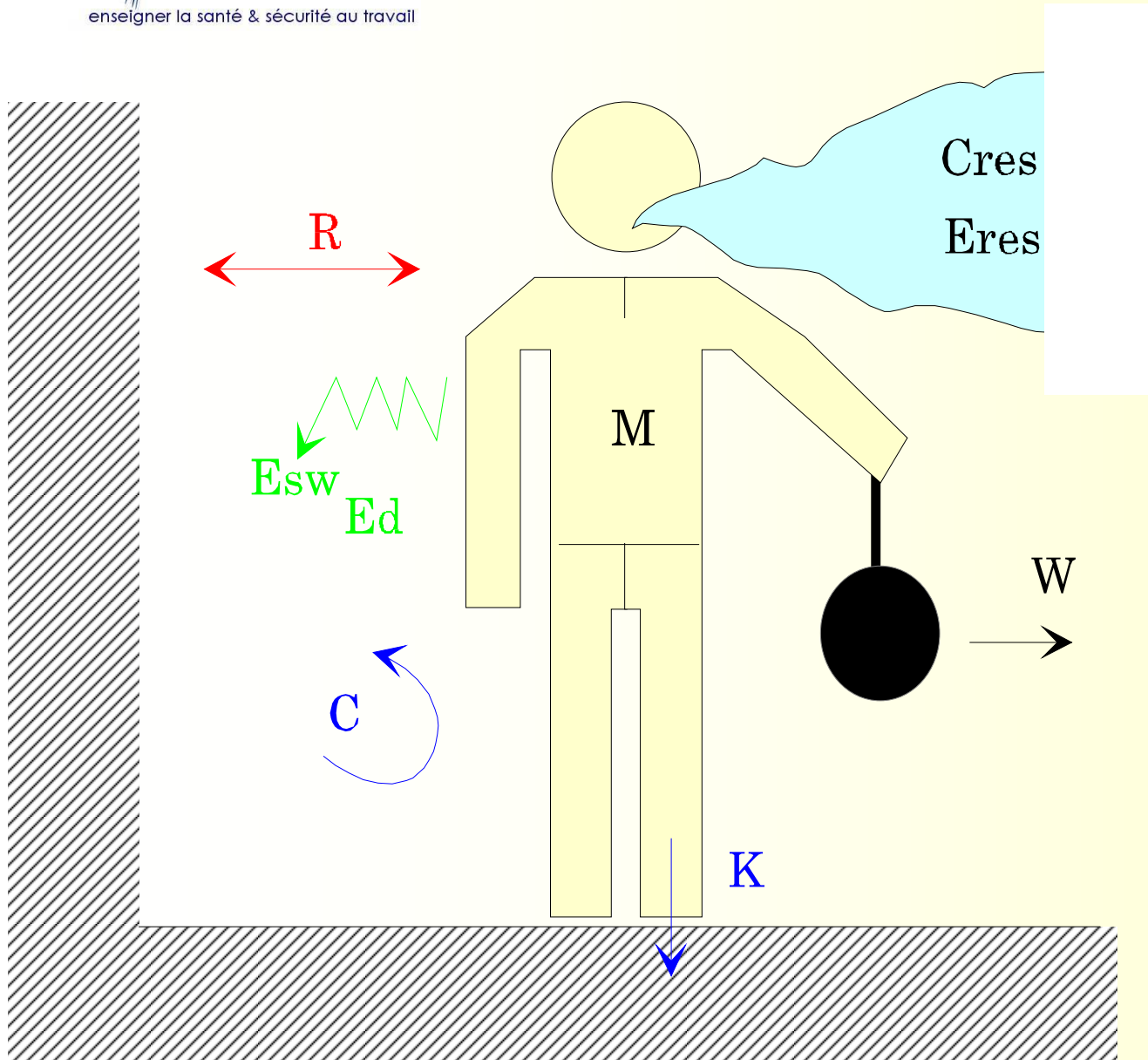


valeurs du métabolisme en fonction de l'activité réalisée

ACTIVITE	Production d'énergie métabolique	
	en met	en W/m ²
Repos	0.8	46
Assis, tranquillement	1.0	58
Activité sédentaire (bureau, habitation, école)	1.2	70
Debout, détendu	1.2	70
Activité légère, debout (achats, laboratoire, industrie légère)	1.6	93
Activité moyenne, debout (vendeur, travail ménager, travail sur machine)	2.0	116
Activité soutenue (travail sur machine lourde, travail de garage)	2.0	116

le métabolisme s'exprime en Watt/s par m² de surface corporelle ou en met (1 met = 58 W/m²)

les mécanismes d'échange



M : métabolisme

W : travail extérieur

C : convection

K : conduction

R : rayonnement

Esw : évaporation

Ed : perévaporation

**Ces + Eres :
respiration**

le bilan thermique

- **bilan thermique = somme des ensembles de ces mécanismes d'échange avec le métabolisme et le travail effectué**
- **définit l'accumulation de chaleur (Acc) dans le corps**

$$\text{Acc} = M - W - C_{\text{res}} - E_{\text{res}} - E_d - C - K - R - E_{\text{sw}}$$

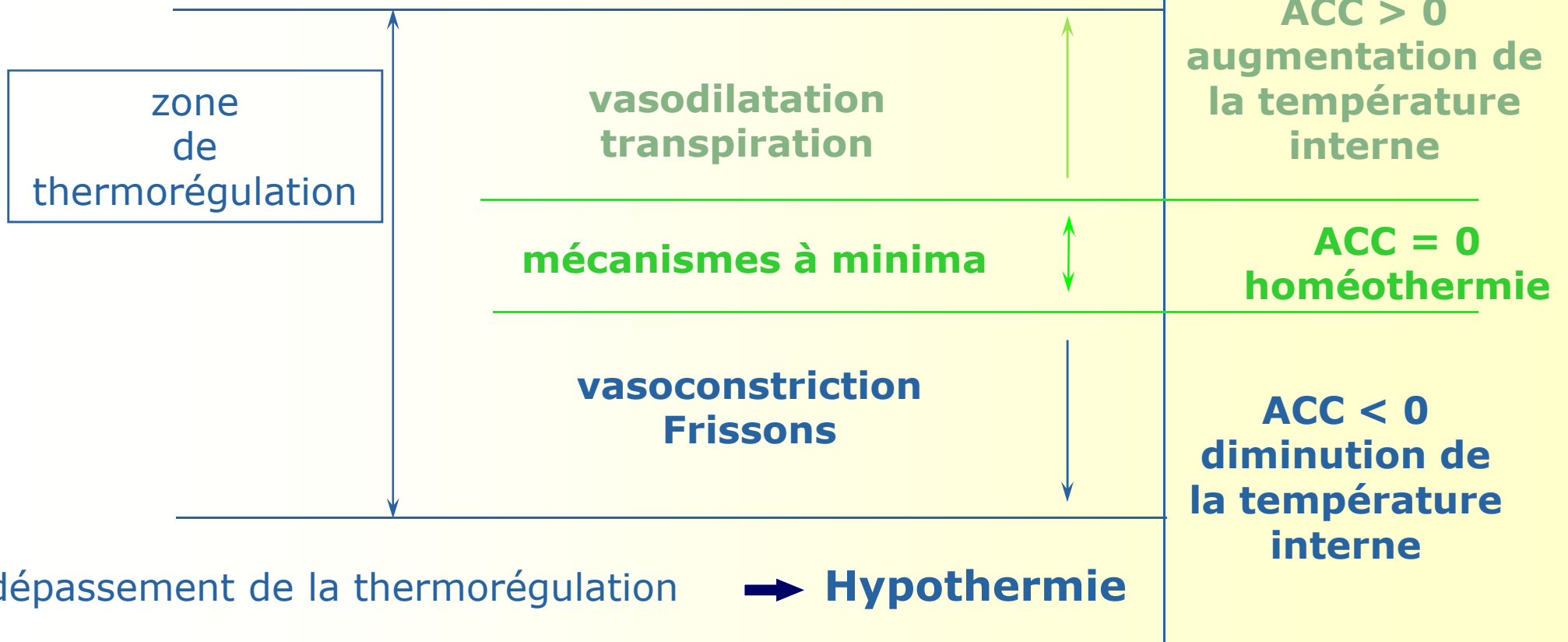
Acc = 0 **régulation thermique correcte**

Acc > 0 **augmentation de la température**

Acc < 0 **baisse de la température**

mécanismes de thermorégulation

dépassement de la thermorégulation → **Hyperthermie**



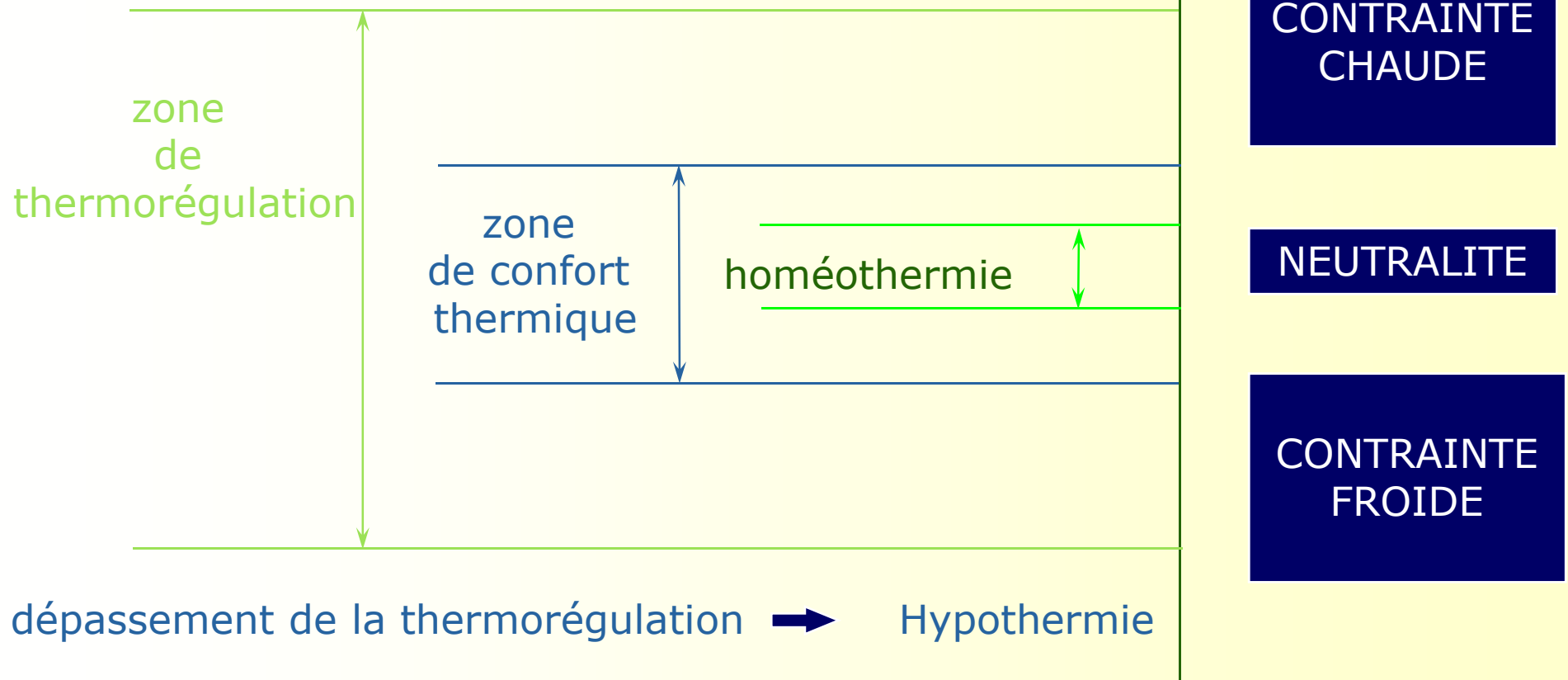
la régulation comportementale : habillement



- **adaptation de la tenue vestimentaire aux conditions d'ambiance thermique**
 - isolation thermique : un frein aux échanges de chaleur
 - perméabilité à la vapeur d'eau : évacuation de la transpiration

le confort et la contrainte thermique

dépassement de la thermorégulation → Hyperthermie



les paramètres influençant les échanges thermiques

Paramètres		Milieu ambiant					Activité	Vêtements		
		Ta	Tmr	Tc	Va	Pa		Iclo	IL	Feff
		T° ambiante	T° moyenne de rayonnement	T° de contact	Vitesse d'air	Humidité absolue	Activité	Isolation thermique	Perméabilité	Facteur de forme
Métabolisme	M						X			
Travail	W						X			
Respiration	Cres	X					X			
Respiration	Eres					X	X			
Perévaporation	Ed				X	X				
Convection	C	X			X			X		
Conduction	K			X				X		
Rayonnement	R		X					X		X
Evaporation	Esw				X	X	X	X	X	



les indices de confort thermique

les indices

Ambiance froide

WCI

(Wind Child Index)

Ambiance modérée

PMV-PPD

Norme ISO 7730

**(Predicted Mean Vote -
Percent of Dissatisfied)**

Ambiance chaude

WBGT

Norme ISO 7243

**(Wet Bulb Globe
Temperature)**

+

SW_{req} et DLE

Norme ISO 7933

**(Sudation requise)
(Durée limite
d'exposition)**

si WBGT > 25°C

WCI

indice de contrainte en ambiance froide

$$WCI = (10,45 + 10 V_{a0,5} - V_a) 33 - T_a$$

- estime une perte de chaleur du corps
- détermine des effets induits ou une durée maximale d'exposition

WCI (kcal.m-2.h-1)	Effet prévisible ou durée limite d'exposition
1000	Sensation de froid intense
1200	Possibilité de gelures
1400	20 mn
1600	15 mn
1800	10 mn
2000	8 mn
2200	4 mn
2400	1 mn



enseigner la santé & sécurité au travail

T° équivalente avec effet du vent

Vitesse du vent		Température ambiante du thermomètre sec (°C)													
(m/s)	(km/h)	10.0	5.0	0.0	-5.0	-10.0	-15.0	-20.0	-25.0	-30.0	-35.0	-40.0	-45.0	-50.0	
Calme	< 3.6	10.0	5.0	0.0	-5.0	-10.0	-15.0	-20.0	-25.0	-30.0	-35.0	-40.0	-45.0	-50.0	
2,2	8	8.9	3.3	-1.7	-6.7	-12.2	-17.2	-22.8	-27.8	-33.3	-38.3	-43.9	-48.9	-53.9	
4,5	16	4.4	-1.7	-7.8	-13.9	-15.6	-26.1	-32.2	-38.3	-44.4	-50.6	-56.7	-62.8	-68.9	
6,7	24	2.2	-4.4	-10.6	-18.3	-25.0	-31.7	-38.3	-45.0	-51.7	-58.3	-65.0	-71.7	-78.3	
8,9	32	0.0	-6.7	-13.9	-12.1	-28.3	-35.6	-42.2	-49.4	-56.7	-63.9	-71.1	-78.3	-85.0	
11,2	40	-1.1	-8.4	-16.1	-23.3	-31.1	-38.3	-45.6	-53.3	-60.6	-67.8	-75.5	-82.8	-90.0	
13,4	48	-2.2	-10.0	-17.2	-25.0	-32.8	-40.6	-47.8	-55.6	-63.3	-71.7	-78.3	-86.1	-93.9	
15,6	56	-2.8	-10.6	-18.3	-26.1	-33.9	-41.7	-49.4	-57.2	-65.0	-73.3	-80.6	-88.3	-95.6	
17,9	64	-3.3	-11.1	-19.4	-27.2	-35.0	-42.8	-50.6	-58.9	-66.1	-74.4	-82.2	-90.6	-98.3	
20,1	72	-3.9	-11.7	-19.4	-27.8	-35.6	-43.3	-51.7	-59.4	-67.2	-75.5	-83.3	-91.7	-99.4	
22,4	80	-3.9	-12.2	-20.0	-27.8	-36.1	-43.9	-52.2	-60.0	-68.3	-76.1	-84.4	-92.2	-100.0	

faible danger

danger croissant

grand danger

risque de gelure de la chair exposée

PMV-PPD

indice de confort thermique

$$PMV = (0,303 e^{-0,036 M} + 0,028) Acc$$

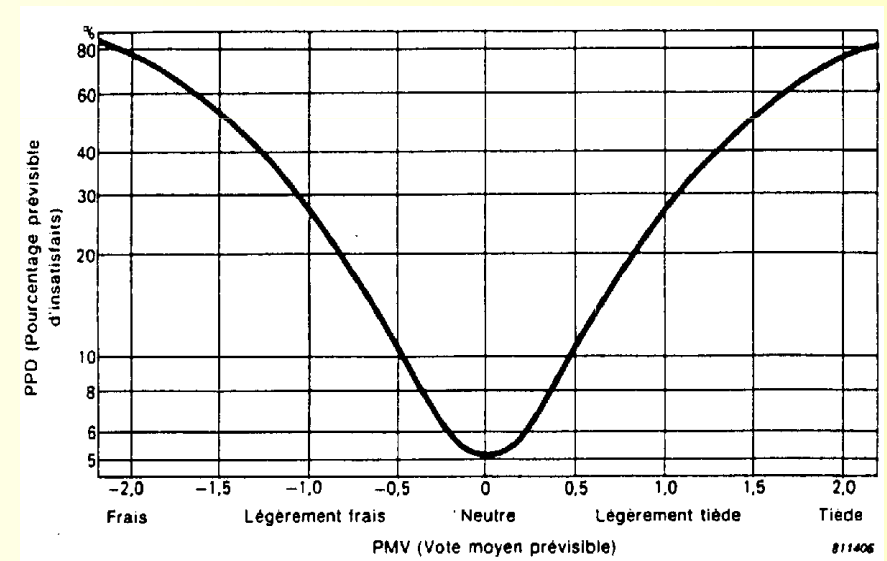
■ exemples de valeurs

- +3situation chaude
- 0situation neutre
- - 2situation fraîche

■ Zone de confort :

$$-0,5 < PMV < +0,5$$

 moins de 10 % d'insatisfaits



WBGT

- **indice empirique** pour caractériser l'ambiance thermique chaude
- **$WBGT = 0,7 T_h + 0,3 T_g$**
 - intérieur des bâtiments
 - extérieur, sans charge solaire
- **$WBGT = 0,7 T_h + 0,2 T_g + 0,1 T_a$**
 - extérieur, avec charge solaire

valeurs repères

Métabolisme M		Valeurs repères du WBGT			
Classe de métabolisme	Métabolisme rapporté à l'unité de surface cutanée (W/m ²)	Personne acclimatée à la chaleur		Personne non acclimatée à la chaleur	
		T (°C)		T (°C)	
0 (repos)	$M \leq 65$	33		32	
1	$65 < M \leq 130$	30		29	
2	$130 < M \leq 200$	28		26	
3	$200 < M \leq 260$	Aucun mouvement perceptible de l'air 25	Mouvements perceptibles de l'air 26	Aucun mouvement perceptible de l'air 22	Mouvements perceptibles de l'air 23
4	$M > 260$	23	25	18	20

sudation requise SW_{req}

- **sudation nécessaire au maintien d'un bilan thermique équilibré : $ACC=0$**
- **conditions à respecter :**
 - $SW_{req} < SW_{max}$
 - $w_{req} < w_{max}$
 - **stockage de chaleur $< Q_{max}$ (pas d'effets pathologiques)**
 - **perte hydrique $< D_{max}$ (maintien de l'équilibre hydrominéral)**

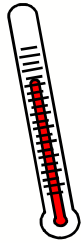
valeurs de sudation

Critère	Personne non acclimatée à la chaleur		Personne acclimatée à la chaleur	
	Alarme	Danger	Alarme	Danger
Mouillure cutanée maximale, W_{max}	0,85	0,85	1,0	1,0
Sudation maximale, SW_{max}				
au repos ($M < 65 \text{ W/m}^2$)	100	150	200	300
(W/m^2)	260	390	520	780
(g/h)				
au travail ($M > 65 \text{ W/m}^2$)	200	250	300	400
(W/m^2)	520	650	780	1040
(g/h)				
Stockage de chaleur maximal, Q_{max}	50	60	50	60
(W.h/m^2)				
Perte hydrique maximale, D_{max}	1000	1250	1500	2000
(W.h/m^2)	2600	3250	3900	5200
(g)				



les appareils de mesure

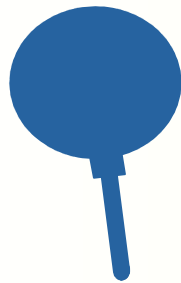
la mesure des paramètres thermiques



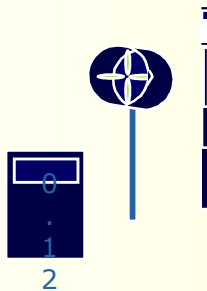
Température sèche



Température humide - Humidité



Température de rayonnement

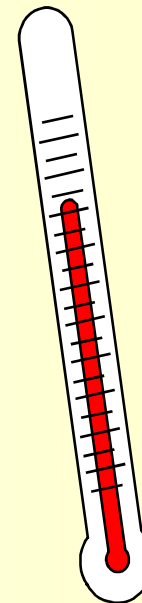


Vitesse d'air

température sèche

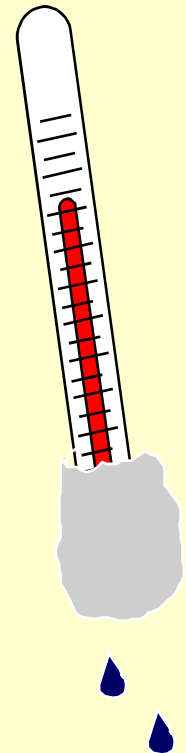
- dite "Température ambiante"

- appareil de mesure :
Thermomètre



température humide

- **est fonction de la teneur en eau de l'air**
- **permet de déterminer le taux d'humidité de l'air**
- **appareil de mesure :
Thermomètre humide**

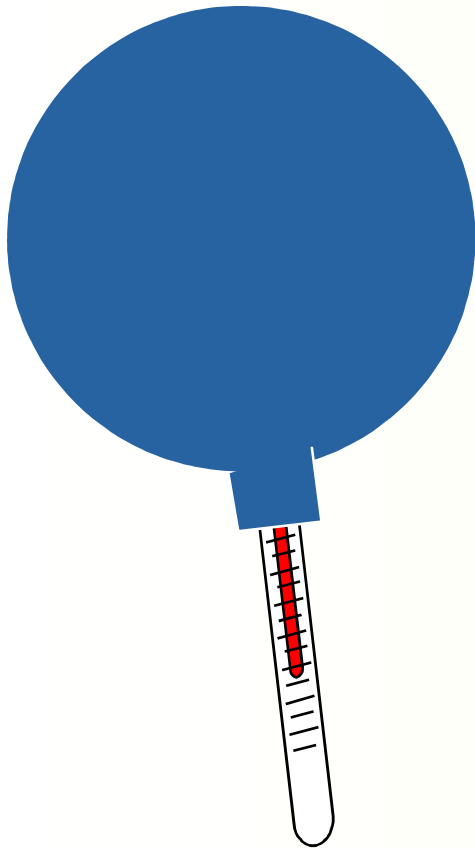
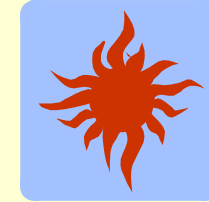


humidité



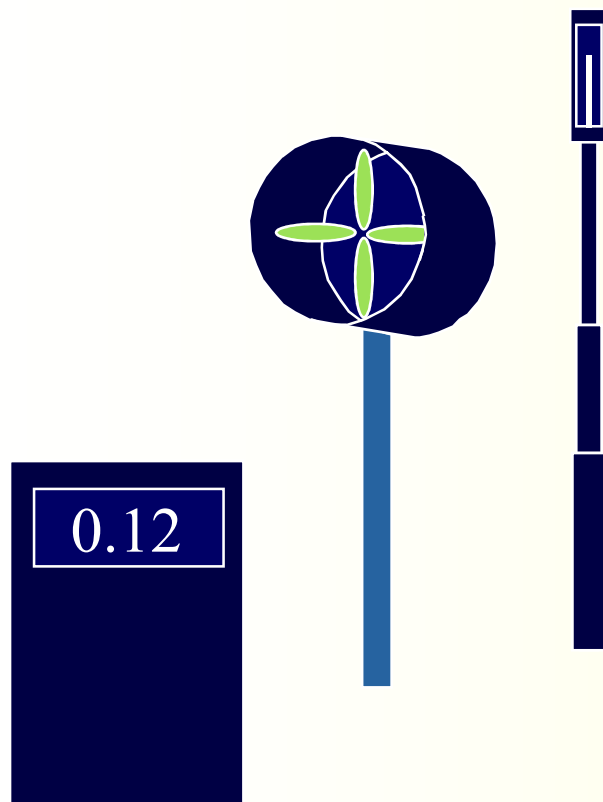
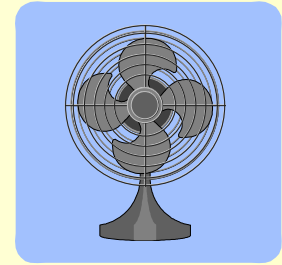
- **humidité absolue**
- **quantité d'eau contenue dans l'air en g/m³**
- **humidité relative**
 - taux d'humidité =
 - 0% = air sec
 - 100% = air saturé en eau
- **appareil de mesure :**
Psychromètre

température de rayonnement



- **caractériser le rayonnement thermique (fours, surfaces ...)**
- **appareil de mesure :**
Globe noir absorbant les rayonnements thermiques

vitesse de l'air



- caractériser les déplacements d'air (courants d'air...)
- appareil de mesure : **Anémomètre**



les mesures de prévention

- **éliminer les sources de risque**
 - changement de procédé
 - aménagement des locaux (éloignement des opérateurs)

- **réduire la contrainte dans les ateliers**
 - l'activité des opérateurs
 - automatiser, aides à la manutention
 - fractionner l'exposition

... au froid

- **réduire la contrainte dans les ateliers**
 - l'aménagement des locaux
 - éviter les fortes vitesses de soufflage ($v_{\max} \sim 0.5$ m/s)
 - éloigner les postes de travail des aérothermes
 - chauffage adéquat

- **adapter les comportements**
 - vêtements adaptés
 - hygiène alimentaire (rations - boissons chaudes non alcoolisées)

... à la chaleur

- **actions sur les sources**
 - changement de procédé
- **protections collectives**
 - réduire les nuisances émises en évitant la propagation par convection et rayonnement :
 - machines
 - isolation des parties chaudes des machines
 - élimination de toute fuite de vapeur d'eau
 - encoffrement et ventilation
 - obstacles
 - interposition des écrans

... à la chaleur

■ **protections collectives**

- abaisser l'humidité de l'air ambiant : ça permet d'augmenter la capacité à évaporer la sueur et donc à évacuer la chaleur du corps
- aménagement des locaux
 - augmenter les vitesses de soufflage
 - ventilation générale ou localisée
 - contrôle de l'humidité de l'air
 - conditionnement d'air

... à la chaleur

- **réduire la contrainte due au climat**
 - surfaces extérieures peintes en blanc
 - isolement thermique des parois
 - orientation des locaux
 - stores, Vitres teintées

- **organisation du travail**
 - automatiser, aides à la manutention
 - fractionner l'exposition

...à la chaleur

- **protection individuelle**
 - adapter les tenues vestimentaires
 - vêtements spéciaux anti-thermiques, ventilés, rafraîchis

- **adapter les comportements**
 - boissons
 - hygiène alimentaire
 - vêtements



la réglementation

aménagement des lieux de travail

- **réglementation minimaliste**
- **seule exigence : chauffer à une température convenable**
- ***impossible à la réglementation d'indiquer quelle est la température convenable car celle-ci dépend de l'activité des individus***

décret n°87-809 du 1er Octobre 1987

■ **Article R. 232-6 :**

- Les locaux fermés affectés au travail doivent être chauffés pendant la saison froide.
- Le chauffage doit être assuré de telle façon qu'il maintienne une température convenable et ne donne lieu à aucune émanation délétère.

■ **Article R. 235-2-10 :**

- La température des locaux annexes, tels que locaux de restauration, locaux de repos, locaux pour le personnel en service de permanence, locaux sanitaires et locaux de premiers secours, doit répondre à la destination spécifique de ces locaux.

locaux neufs

- **plus précise**
- **exigence principale : adapter la température à l'individu en fonction de son activité**

décret n° 92-332 du 31 mars 1992

■ Article R. 235-2-9 :

- Les équipements et caractéristiques des locaux de travail doivent permettre d'adapter la température à l'organisme humain pendant le temps de travail, compte tenu des méthodes de travail et des contraintes physiques supportées par les travailleurs, sans préjudice des dispositions du code de la construction et de l'habitation relatives aux caractéristiques thermiques des bâtiments autres que d'habitation.

■ Article R. 235-2-10 :

- Les équipements et caractéristiques des locaux annexes, et notamment des locaux sanitaires, des locaux de restauration et des locaux médicaux, doivent permettre d'adapter la température à la destination spécifique de ces locaux, sans préjudice des dispositions du code de la construction et de l'habitation mentionnées à l'article R. 235-2-9.



les ressources

- **documentation INRS ED 1507**
- Annexe E de la norme NF EN ISO 7730 (X35-203)
«Ambiances thermiques modérées - Détermination des indices PMV et PPD et spécifications des conditions de confort thermique»
- Norme NF EN 28996 ISO 8996 (X 35-205)
«Ergonomie - Détermination de la production de chaleur métabolique»
- *présentation réalisée avec la participation du centre de mesures physiques de la CRAM Nord-Picardie*