

37^e

Journées Nationales
de Santé au Travail
dans le BTP - Tours



Institut National de Recherche et de Sécurité

Physiopathologie de l'adaptation à la chaleur – Effets sur la santé

Karen REMINY *(PhD physiologie, responsable d'études à L'INRS, au laboratoire Physiologie, Mouvement, Travail)*

37^e Journées Nationales de Santé au Travail dans le BTP



- 1 Généralités : la thermorégulation humaine
- 2 Pathologies liées à l'exposition à la chaleur
- 3 Identifier les facteurs d'astreinte thermique
- 4 Indicateurs d'astreintes thermiques : comment les mesurer ?



01

Généralités

La thermorégulation humaine

Travail à la chaleur

Pas de véritable définition réglementaire

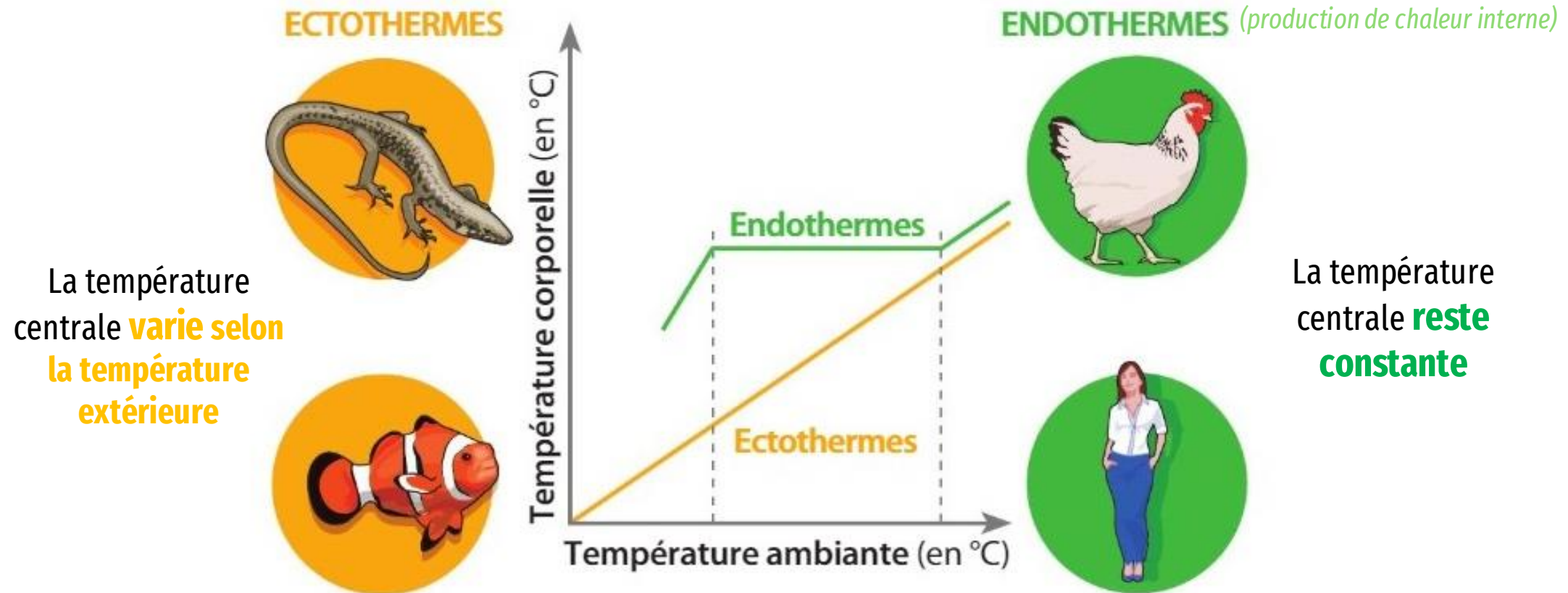
Exposition à des contraintes thermiques

« représente 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 et des exigences vestimentaires ».

Astreinte thermique

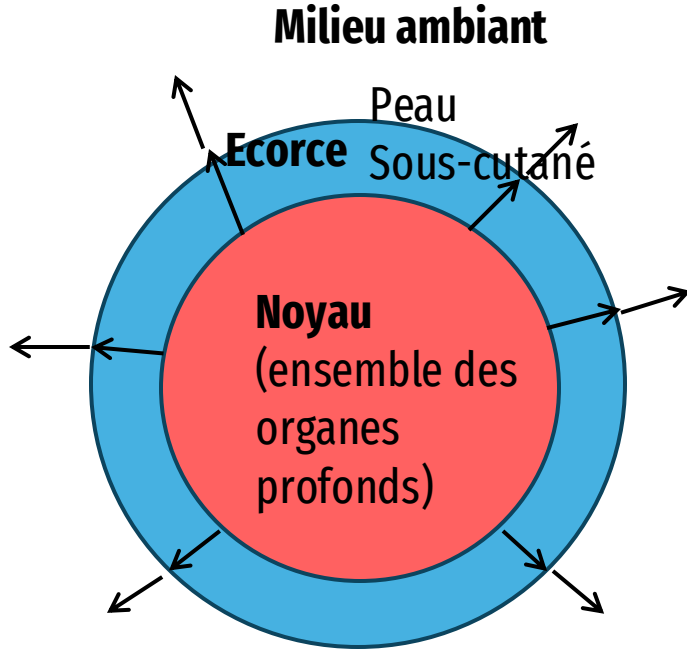
Réactions physiologiques en réponses aux expositions à une ou plusieurs contraintes thermiques.

L'être humain étant un **homéotherme** → sa température centrale est constante proche de 37°C



La température corporelle n'est pas homogène sur la totalité du corps!

2 zones :



- **Le noyau** comprend les organes profonds du corps. **Température centrale du corps**
- **L'écorce**, la périphérie, lieu de transfert de la chaleur entre le noyau et l'environnement. **Température cutanée**

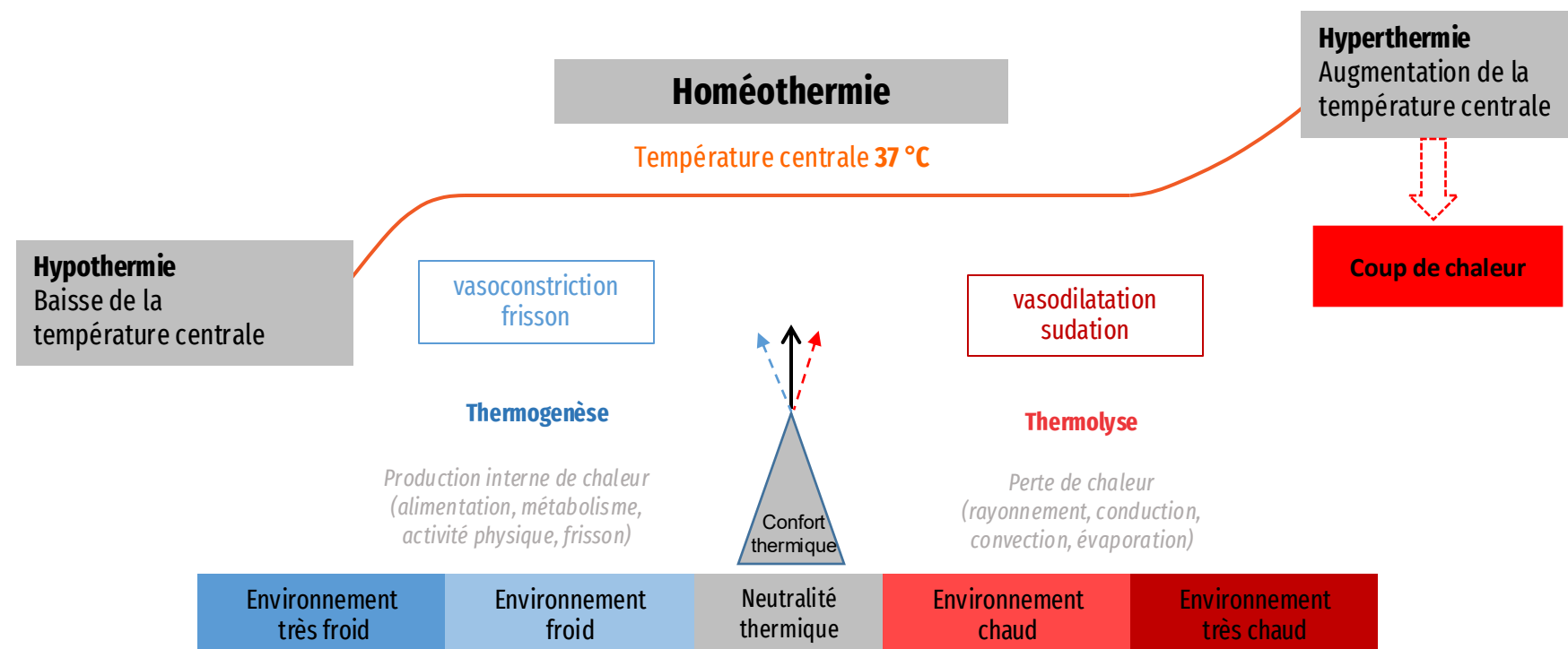
Les échanges thermiques se font essentiellement par la **circulation sanguine**.

Le transfert de chaleur se fait entre le noyau et l'écorce selon **un gradient de Température**.

Le sens du transfert de chaleur :
des régions les plus chaudes > les régions les plus froides



Thermorégulation : maintien de la température centrale constante (*homéothermie*), équilibre entre apports et pertes de chaleur



Généralités : thermogénèse

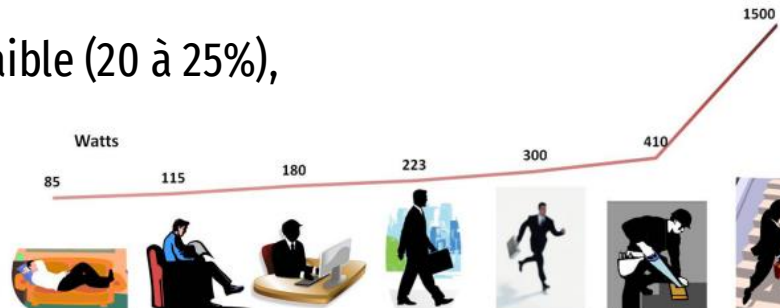
La thermogénèse, production de chaleur au sein du corps humain, est principalement déterminée par l'activité métabolique. **Tous les tissus de l'organisme produisent de la chaleur!**

Au repos

- **Le métabolisme de base.** Production de chaleur due à l'activité des cellules de l'organisme (cœur, foie, cerveau etc...) afin d'assurer les fonctions de base de l'organisme.

À l'exercice

- **L'exercice musculaire.** Rendement mécanique faible (20 à 25%), énergie dissipée en chaleur (75 à 80 %).

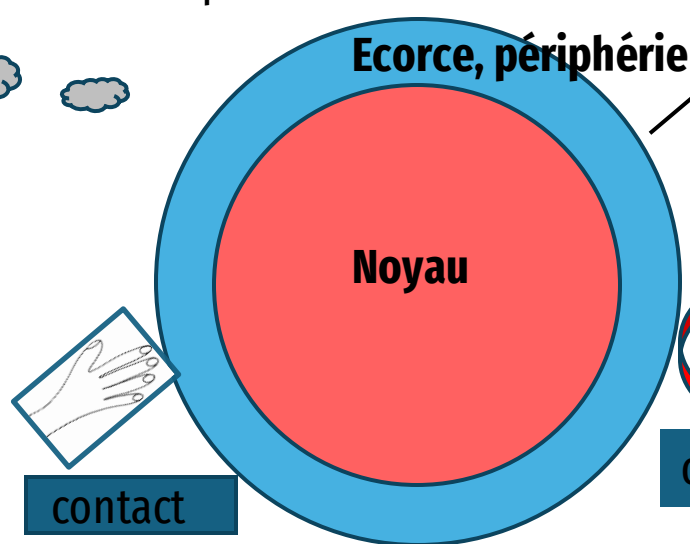


Généralités : échanges thermiques

La peau : rôle essentiel pour les échanges de chaleur avec le milieu ambiant.

4 mécanismes de transfert de chaleur

Evaporation : passage progressif de l'état liquide à l'état de vapeur



Milieu ambiant

Rayonnement : échanges entre deux surfaces distantes
(soleil-peau), ondes infrarouges

Convection : échanges entre deux milieux se déplaçant
l'un par rapport à l'autre, *solide et fluide* (peau
- liquide, gaz)

Conduction : échanges entre deux milieux sans
déplacement de l'un par rapport à l'autre.



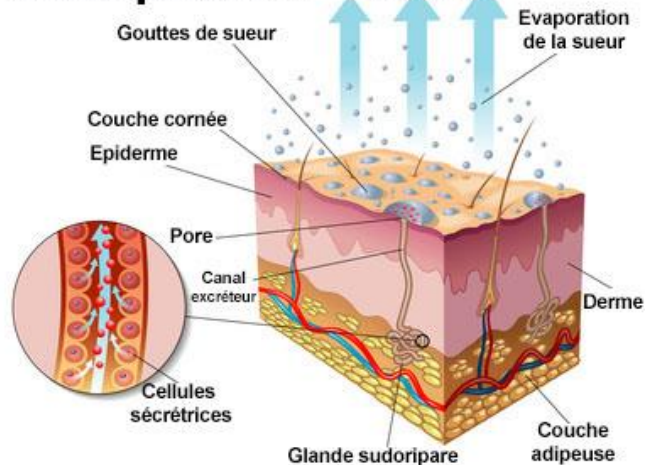
Généralités : échanges thermiques

La perte de chaleur par évaporation est le seul mécanisme efficace une fois que la température ambiante dépasse la température corporelle.

Diffusion passive cutanée et respiratoire

- Perspiration : diffusion passive de l'eau des couches superficielles de la peau vers l'extérieur.
- Respiration : perte de vapeur d'eau à chaque expiration, faible rendement.

Transpiration - Sueur



Mécanisme actif, la sudation

- Sudation : sécrétion de sueur (eau + sels minéraux)

⚠ L'efficacité est réduite :

Si l'air est saturé en humidité

Si les vêtements empêchent l'évaporation (imperméables, EPI)



Sudation

La sueur est libérée par les glandes eccrines, qui sont réparties en grand nombre (1,6 à 4 millions) sur toute la surface du corps.

Le principal facteur limitant est la disponibilité de l'eau pour la production de sueur.

De grandes quantités de sueur peuvent être produites si une personne s'acclimate à la chaleur environ **2 à 3l/h (personnes acclimatées)**, contre **1l/h (personnes non acclimatées)**.

La perte hydrique maximale doit être limitée à :

5 % de la masse corporelle si les personnes peuvent boire librement,

> 2 % de la masse corporelle si il n'y a pas possibilité de boire

NF EN ISO 9886

NF EN ISO 7933

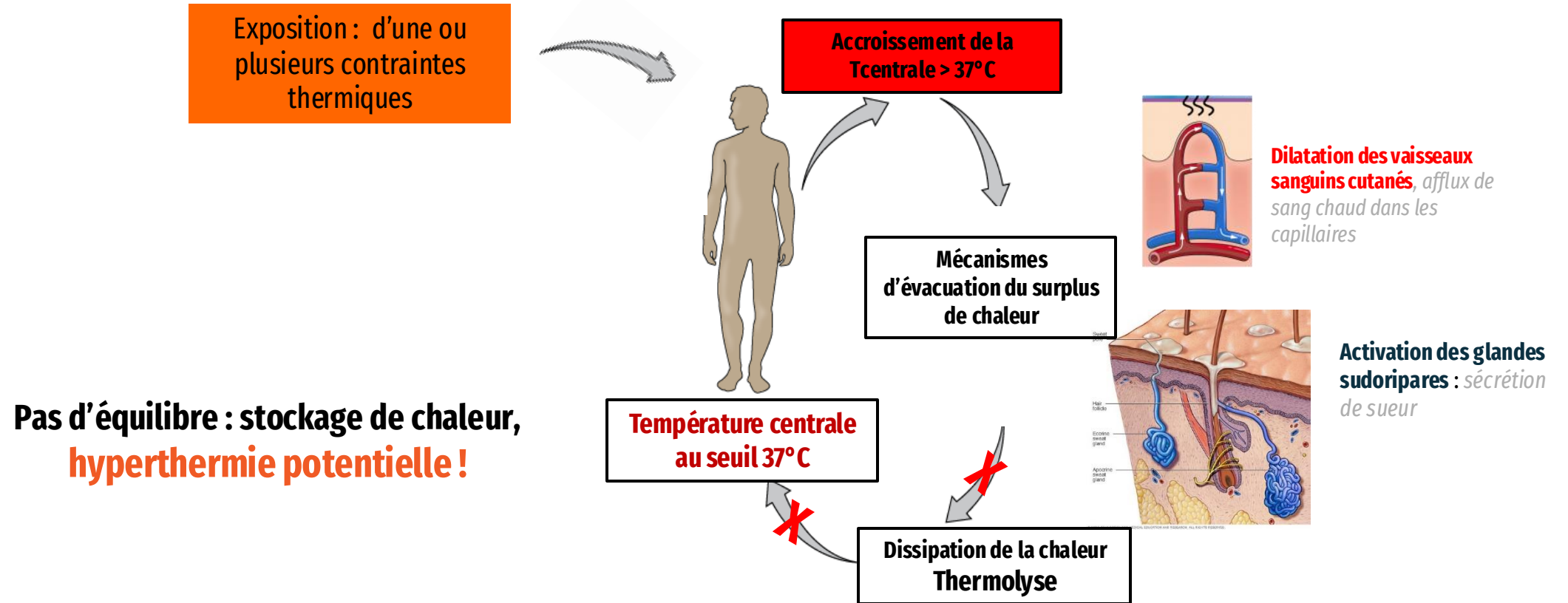


02

Les effets sur la santé

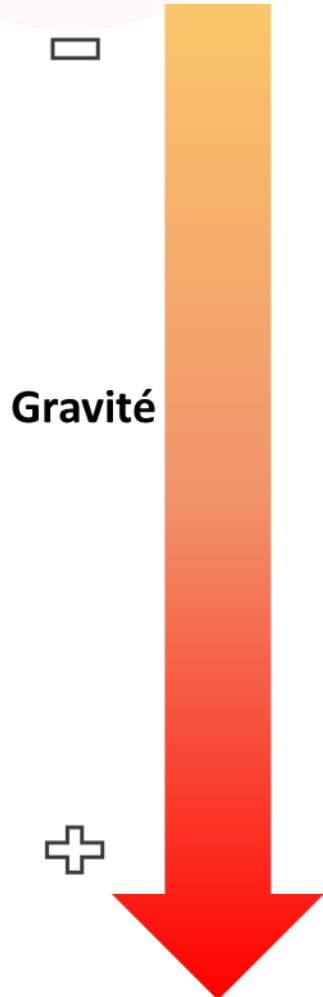
Pathologies

Exposition à la chaleur



NF EN ISO 9886 – Température centrale acceptée à 38°C , tolérée à $38,5$ sous certaines conditions, 39°C à ne pas dépasser





Terminologie	Causes	Symptômes
Dermite de chaleur « boutons de chaleur »	Inflammation provoquée par l'obstruction des canaux des glandes sudoripares	✓ Éruption cutanée (macération de la sueur) ✓ Démangeaisons
Crampes de chaleur	Déséquilibre d'électrolytes	✓ Contraction musculaire involontaire
Syncope (malaise)	Diminution temporaire du débit sanguin cérébrale	✓ Perte de connaissance brève ✓ Hypotension, redistribution vasculaire, vasodilatation périphérique ✓ Palpitations
Épuisement à la chaleur – déshydratation	Perte des tissus en eau et en sels minéraux (déshydratation)	✓ Asthénie, céphalées, vertiges, soif, faiblesse musculaire, nausées, Hyperthermie < 40 °C ✓ Sudation abondante
Coup de chaleur (refroidir immédiatement)	Défaillance de la thermorégulation (gain de chaleur non-compensable)	✓ Atteinte du SNC (confusion, perte de conscience, ataxie) ✓ Hyperthermie > 40 °C ✓ Rhabdomyolyse (destruction massive de fibres musculaires) ✓ Défaillance multi organique (lésions potentielles de plusieurs organes, irréversibles)



03

Identifier

Les sources d'astreinte thermique

Sources d'astreinte thermique

Dépenses énergétiques



Mouvement : **80 à 70% d'énergie** libérée sous forme de chaleur



Production de chaleur
(Parsons, 1993)

Isolement vestimentaire

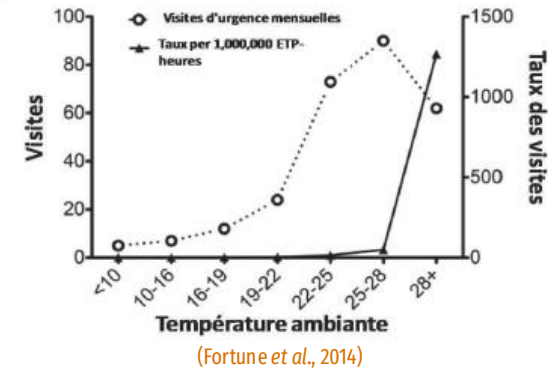


Surface corporelle couverte,
isolation, perméabilité

**Limite les échanges de chaleur
avec l'environnement ambiant**
(McLellan et al., 2013)

Caractéristiques environnementales

Température ambiante, humidité,
mouvement de l'air et chaleur rayonnante
Gain de chaleur potentiel



Inter-individuel

L'âge



La morphologie



Les addictions



Handicap



Les vêtements

Les prédispositions
génétique

Les pathologies



Le sexe ?

 Facteurs de
protection Facteurs
d'aggravation

Inter-individuel**L'âge**

La morphologie



Les addictions



Handicap



Les vêtements

Les prédispositions
génétique**Les pathologies****Le sexe ?****Intra-individuel****L'acclimatation**Les conditions
environnementales

L'alimentation

**L'hydratation**Le type de
vêtementsL'Intensité de
la chaleur**La condition
physique**La durée de
travail

La période de travail

**La charge de
travail**La restriction du
sommeil**L'expérience
du poste**

⊖ Facteurs de
protection

⊕ Facteurs
d'aggravation



Anthropométrie :

masse corporelle en moyenne **plus faible**

surface corporelle en moyenne **plus faible**

composition corporelle se traduisant généralement par un **pourcentage de masse grasse plus important**

Capacité aérobie :

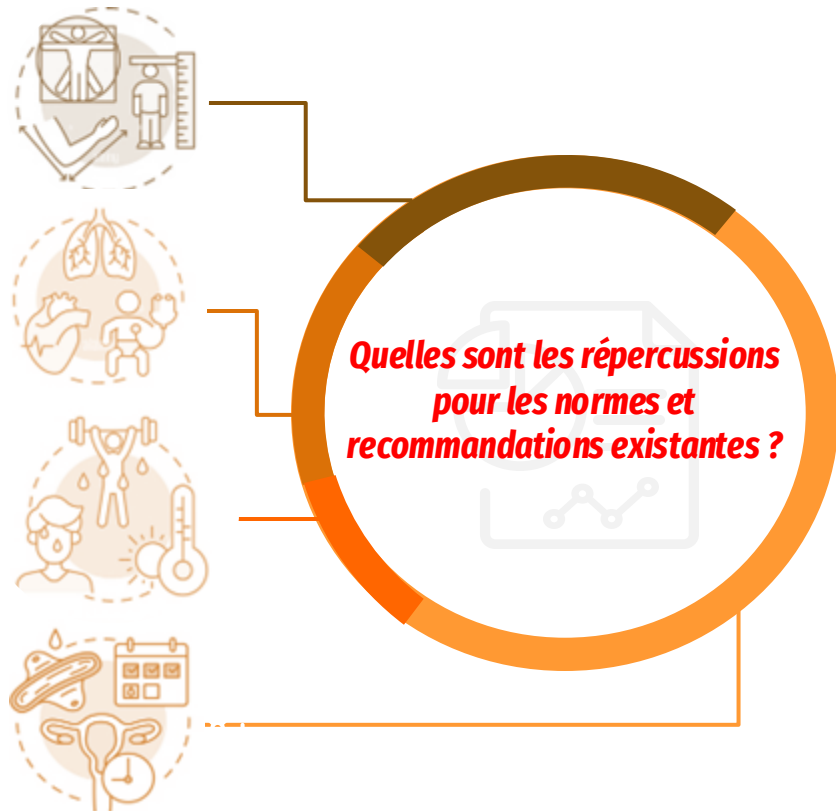
consommation maximale en oxygène **plus faible**

Réponses thermorégulatrices compensatrices :

sudation moindre (moins de glandes, moindre sensibilité)

Hormonal :

température centrale corporelle **plus élevée durant la phase lutéale** (effet de la progestérone)



04

Evaluer

Les indicateurs et leurs interprétations

Indicateurs d'astreinte thermique

Physiologiques

- ✓ Métabolisme
- ✓ Températures cutanée et centrale
- ✓ Fréquence cardiaque
- ✓ Pertes hydriques

Perceptifs

- ✓ Perception de l'effort (borg)
- ✓ Sensation et confort thermique
- ✓ Perception de l'humidité



Indicateurs d'astreinte thermique

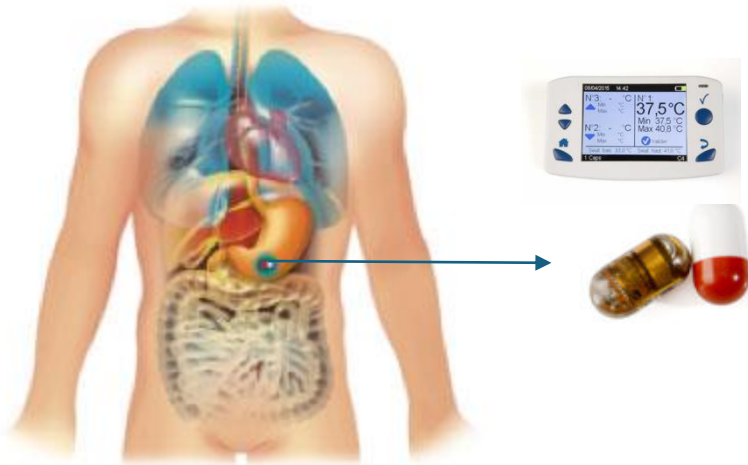
Indicateurs thermostatiques :

Estimation de la Température centrale :

- Difficile en situation écologique
- Mesures gold standard trop invasives (sondes rectale ou œsophagienne)

Gélule connectée, reconnue en tant que mesure de référence, valide et fiable, elle mesure en continu la température gastro-intestinale.

Invasive !



Préconisations :

Ingérer **8h minimum avant** le début des expérimentations,
pour **des mesures stables**

Température centrale estimée à partir de **la température sublinguale (non-invasive)**.
NF EN ISO 9886

Méthode : la sonde doit être placée sous la langue pendant cinq minutes la bouche fermée.

Indicateur : **L'augmentation d'environ 1,5°C** de la tbu entre début et la fin de l'exposition/travail indique une astreinte thermique

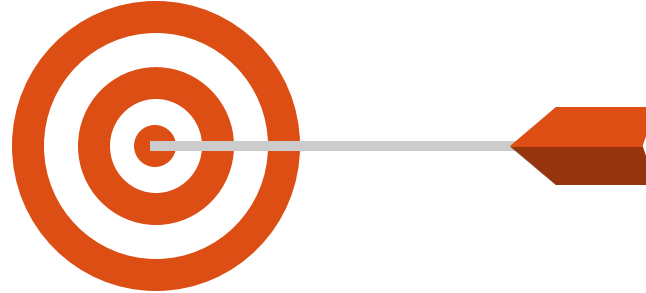


Indicateurs d'astreinte thermique

Fréquence cardiaque

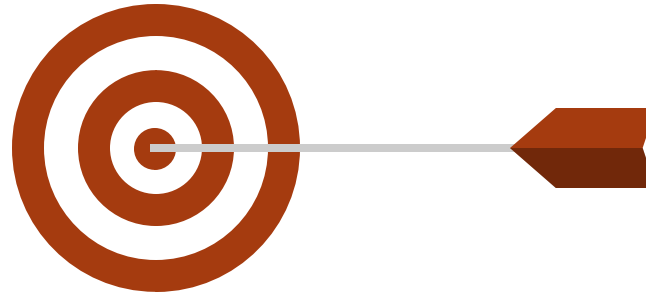
variable physiologique d'intérêt : permet de surveiller en temps réel l'adaptation physiologique au travail

Charge physique



*Estimation du métabolisme
Coût cardiaque*

Débit ventilatoire



*Relation semi-linéaire avec le débit
ventilatoire*

Indicateur d'astreinte
thermique



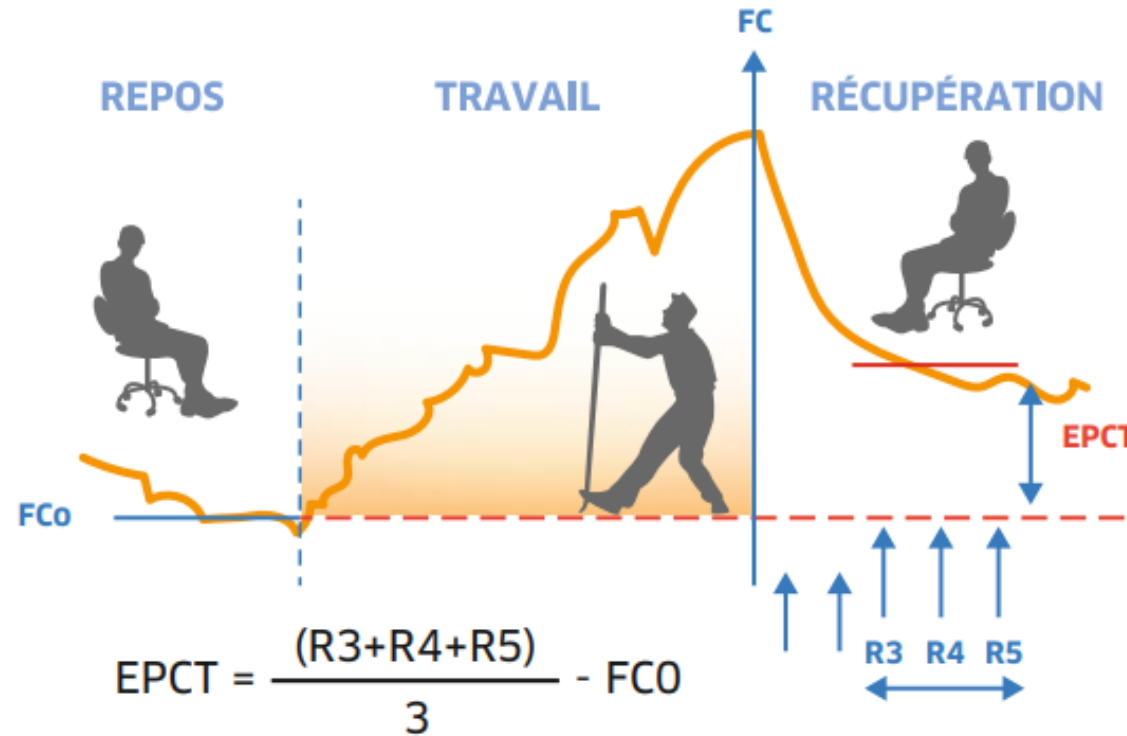
***Indicateur d'astreinte thermique
(extra-pulsation thermique)***



Indicateurs d'astreinte thermique

Cardiofréquencemétrie :

Fréquence cardiaque : Extra-pulsations cardiaques thermiques (Vogt et al., 1985)



**30bpm = 1°C indique une astreinte
thermique potentiellement
excessive**

Vogt JJ, Metz B - Ambiance thermique. In : Scherrer J. et al. Précis de physiologie du travail, notions d'ergonomie. Paris : Masson ; 1981 : 217-263.

Meyer JP, E.Turpin-Legendre, L. Gingembre, F. Horvat, G. Didry - Evaluation des astreintes thermiques à l'aide de la fréquence cardiaque : les extrapulsations cardiaques thermiques (EPCT). INRS, références en santé au travail, TM 34, 2014

NF EN ISO-9886 - Évaluation de l'astreinte thermique par mesures physiologiques. AFNOR ; 2004.



Indicateurs d'astreinte thermique

Indicateur thermostatique :

Température cutanée (Tcut) : Enregistrement en continu de la Tcut locale de 7 ou 4 zones à la surface corporelle, **grâce aux thermoboutons**

Température cutanée moyenne =

$$0,07T1 + 0,35T2 + 0,14T3 + 0,05T4 + 0,19T5 + 0,13T6 + 0,07T7$$



Températures	Coefficients
T1 = frontale	0.07
T2 = bras	0.14
T3 = mains	0.05
T4 = pieds	0.07
T5 = jambes	0.13
T6 = cuisses	0.19
T7 = tronc	0.35

Pertes hydriques :

Le contrôle de la perte hydrique, quantification à partir de la mesure de la masse corporelle (avant et après la période de travail), le volume urinaire et les boissons.

Valeur limite préconisée :

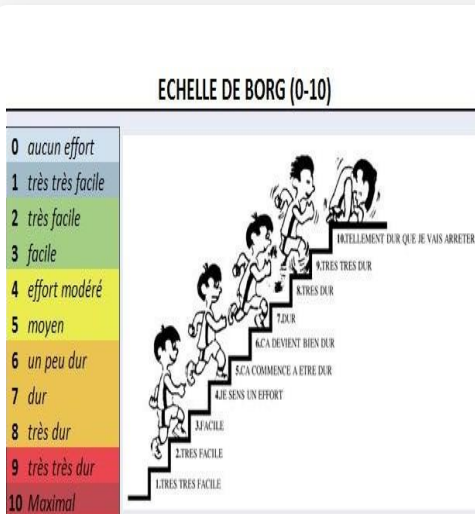
> 2 % de perte de la masse corporelle (NF EN ISO 7933)



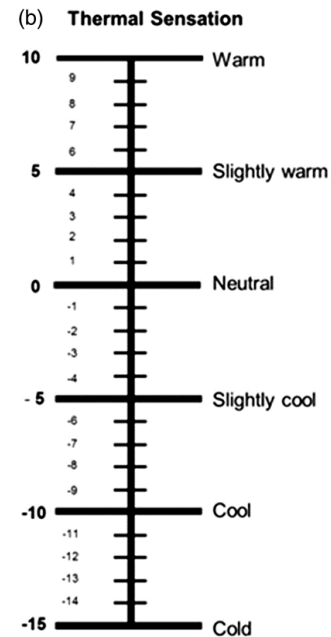
Indicateurs subjectifs

Échelles visuelles analogiques ou graduées : corrélées aux mesures physiologiques

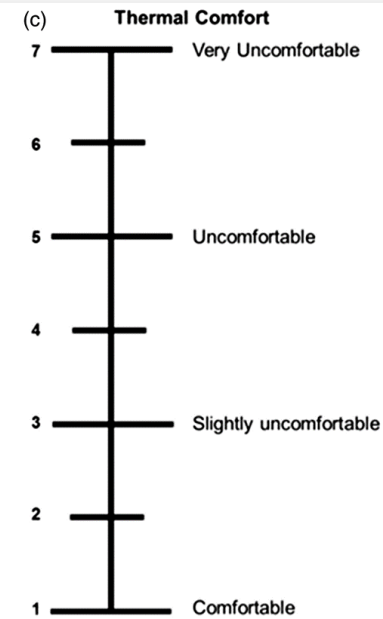
Perception de l'effort



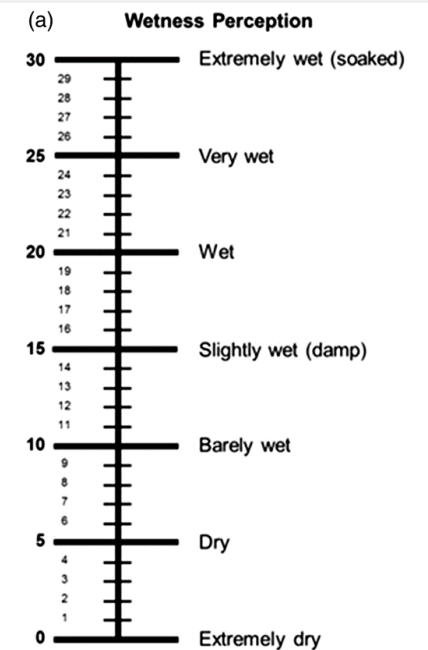
Sensation thermique



Confort thermique

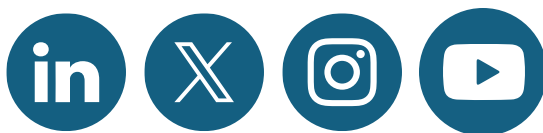


Perception de l'humidité





Merci de votre attention



Notre métier,
rendre le vôtre plus sûr

www.inrs.fr