



Bioénergétique
UEF 109- PCEM1

LA THERMOREGULATION

Pr Kaouthar masmoudi

Laboratoire de Physiologie- Faculté de Médecine de Sfax

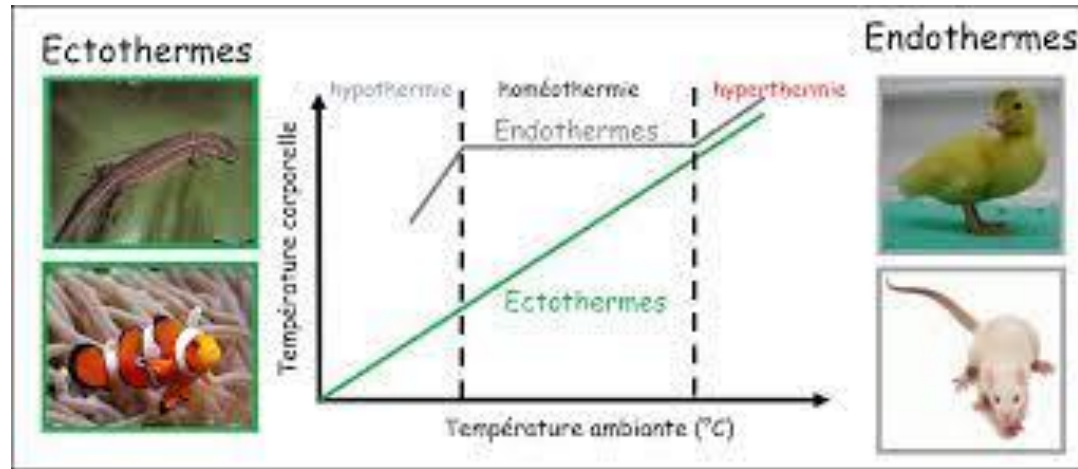
Service d'Explorations Fonctionnelles- CHU- H-Bourguiba-Sfax

La température :

- paramètre fondamental dans l'économie d'un organisme
- conditionne de multiples phénomènes :
 - la vitesse des réactions métaboliques
 - l'association des ligands avec leurs récepteurs
 - la cinétique des canaux ioniques
 - la fluidité des membranes biologiques
 - l'équilibre acide-base.

=> variations thermiques importantes et surtout rapides →
problèmes considérables en regard de la capacité de survie des individus

Le monde animal



Animaux à sang froid :
poïkilothermes :

à température variable :

- flexibilité thermique vis-à-vis de l'environnement
- utilisent leur comportement et leur environnement pour ajuster leur température corporelle lorsqu'ils en ont la possibilité :
- **Ectothermie**

Animaux à sang chaud :
homéothermes

avec système de **thermorégulation**
disposent de systèmes permettant d'assurer

- la production de chaleur : thermogenèse
- la dissipation de chaleur : thermolyse
- thermostat hypothalamique
- **Endothermie**

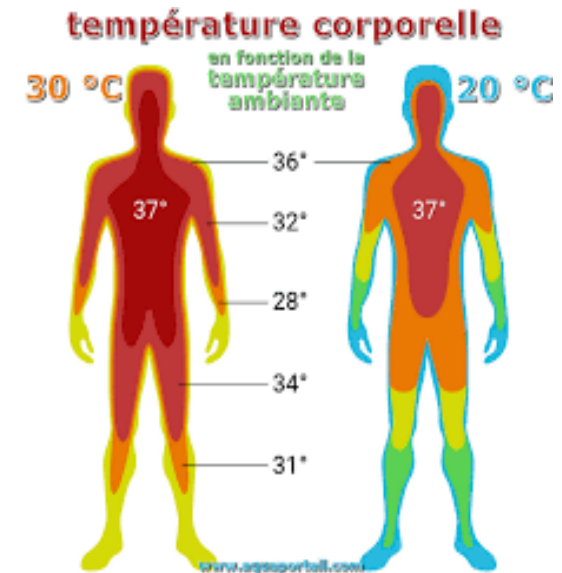
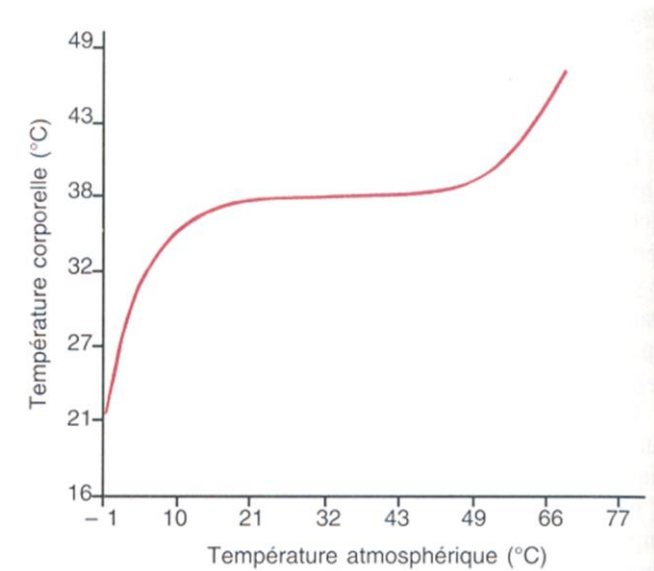
Être humain : Homéotherme

La température du noyau :

- Tissus profonds de l'organisme
- $\approx$ constante ($\pm 0,6^{\circ}\text{C}$) malgré le niveau de température ambiante
- Température rectale : $37,2 \rightarrow 37,6^{\circ}\text{C}$
- Température buccale : $36,7 \rightarrow 37^{\circ}\text{C}$

La température de la peau

- suit les niveau de température ambiante
- conditionne la dissipation thermique vers l'ambiance



LA PRODUCTION ET LA DISSIPATION DE CHALEUR

Production de chaleur

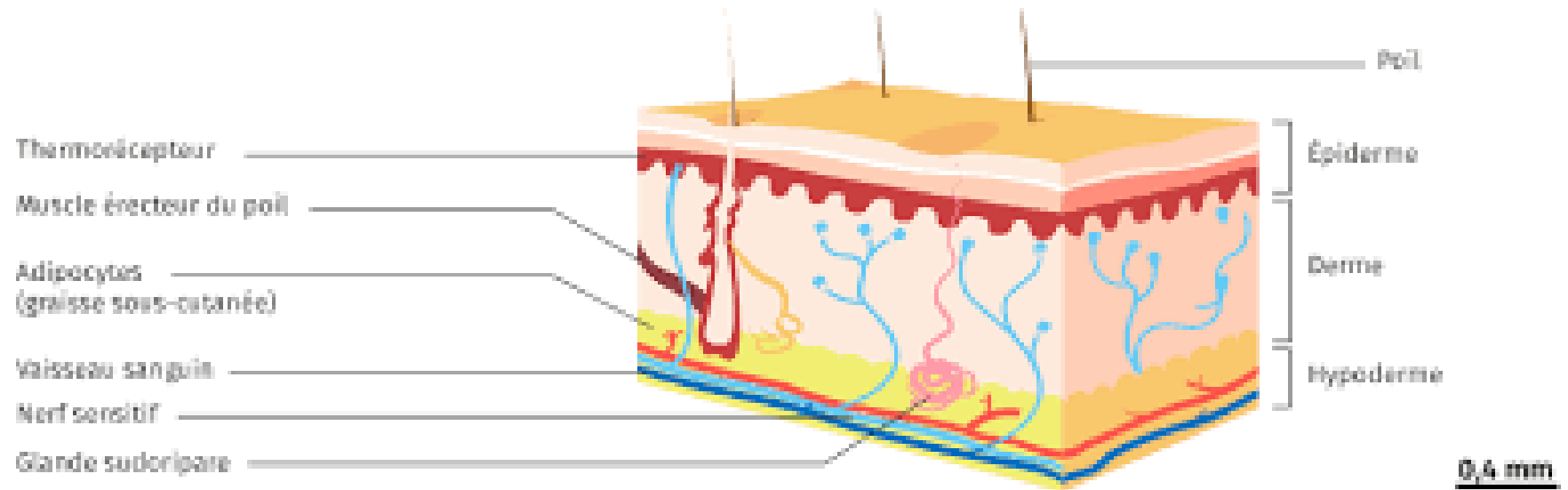
- métabolisme de base des cellules de l'organisme (VO_2)
- activité musculaire
- action cellulaire des hormones thyroïdiennes
- augmentation du métabolisme induite par l'adrénaline, noradrénaline (SN sympathique)
- augmentation de température cellulaire

Perte de chaleur

- Chaleur :
 - organes profonds → peau → environnement
- La vitesse de dissipation thermique dépend de:
 - la vitesse de conduction thermique du noyau (viscères profonds) vers la peau.
 - débit de chaleur entre la peau et l'ambiance

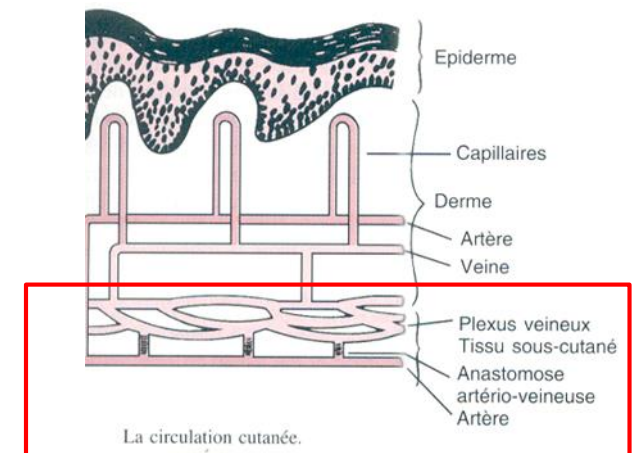
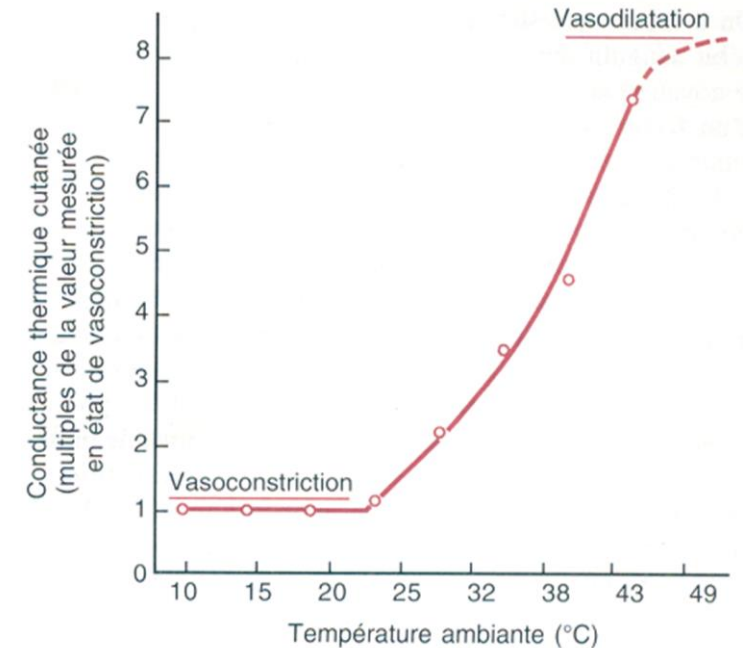
Appareil isolant

- peau
- tissus sous cutanés
- graisse des tissus sous cutanés : ++:
 - Faible conductivité thermique



« Radiateur » de l'organisme : Débit sanguin du noyau vers la peau

- débit sanguin $\nearrow \rightarrow \nearrow$ de chaleur amenée du noyau de l'organisme vers la peau.
- débit sanguin $\searrow \rightarrow \searrow$ de chaleur amenée du noyau de l'organisme vers la peau
- Régulation
 - vasoconstriction des artérioles et des anastomoses A-V qui alimentent les plexus veineux cutanés
 - système nerveux sympathique,
 - en réponse à des variations de température du noyau et de température ambiante.



Bases physiques de la dissipation thermique cutanée

Radiation

- rayonnement infra-rouge dans toutes les directions longueur d'onde : 5 - 20 μm

Conduction

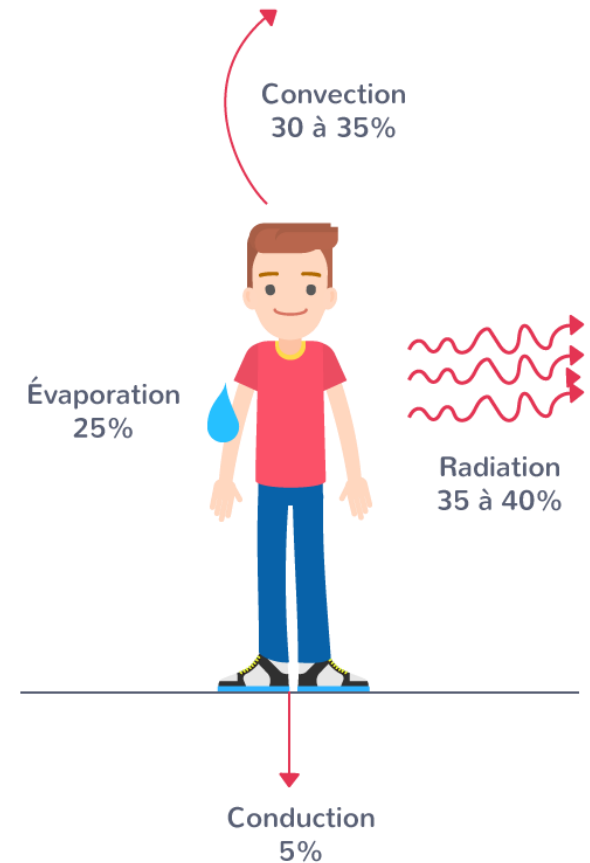
- conduction directe entre la surface du corps et celle d'autres objets / siège, lit : 3%
- conduction avec l'air : 15%

Convection

- propagation de la chaleur par un fluide vecteur qui se réchauffe dans un système et se refroidit dans l'autre
- Exp : exposition au vent

Evaporation

- Evaporation de 1 g d'eau $\rightarrow$ dissipation de 0,58 Kcal
- **Evaporation insensible** : 600 ml d'eau / j évaporés par la peau et les VA $\approx$ 12 à 16 Kcal/ h constante
- **Evaporation de la sueur** : contrôlée par ajustement du débit de sudation



Modification de la sudation avec l'acclimatement

- Un sujet non acclimaté au chaud
 - → débit sudoral < 700 ml/h
- Acclimatation : qlq semaines
 - → débit sudoral : 2L/h
- Acclimatation →
 - discrète diminution de sel dans l'organisme
 - → ↗ sécrétion d'aldostérone
 - → ↘ NaCl dans la sueur

Thermolyse par halètement

Halètement : ventilation rapide et courte (faible volume courant)



amener de grands volumes d'air extérieur au contact des VAS



évaporation à la surface des muqueuses respiratoires



refroidir ces muqueuse et le sang qui y circule

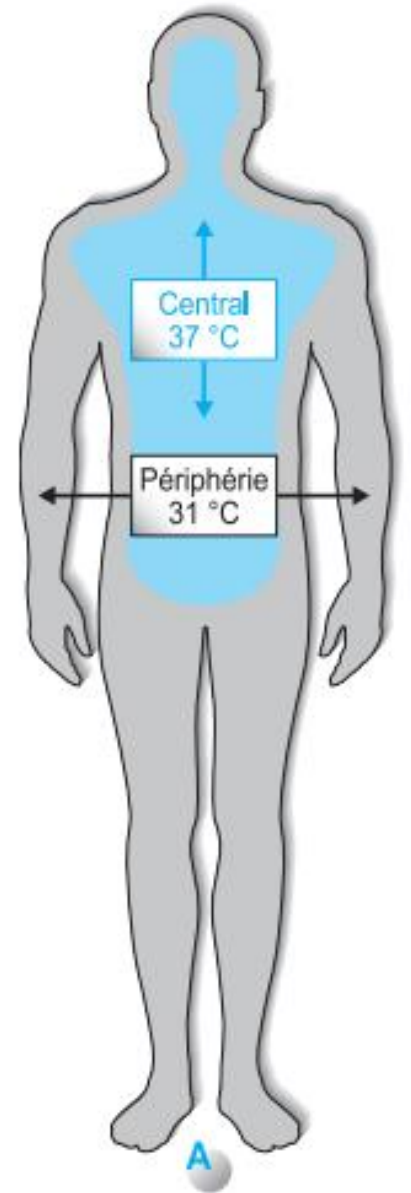
Modèle corporel à deux compartiments caloriques

compartiment central

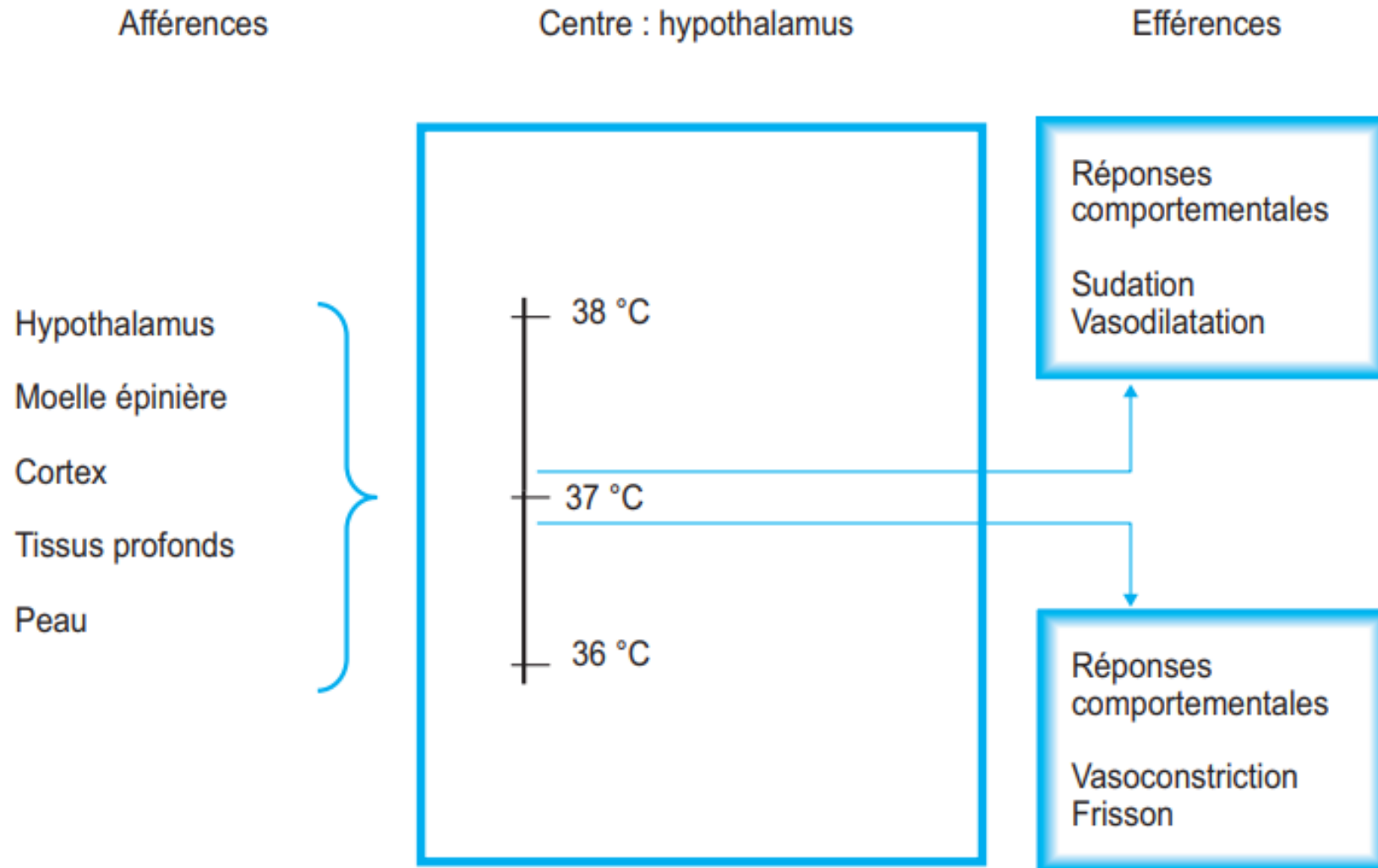
- **l'axe cerveau, médiastin, organes digestifs,**
- la température « centrale » : régulée autour de 37 °C
- température optimale de fonctionnement des systèmes enzymatiques et des mécanismes intracellulaires des organes vitaux ;

compartiment périphérique

- **les muscles** : 45 % de la masse corporelle totale
- température < de 2 à 4 °C à celle du compartiment central



SYSTÈME THERMORÉGULATEUR

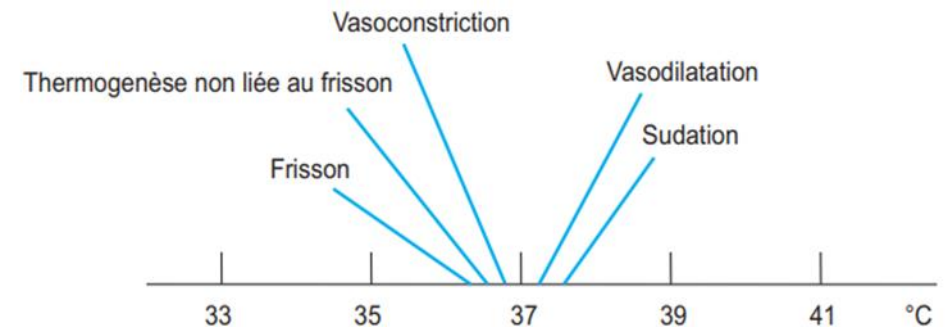


Les récepteurs au chaud et au froid

- répartis dans tout l'organisme : peau, tissus profonds abdominaux et thoraciques, moelle épinière, hypothalamus et autres régions du cerveau.
- Les informations :
 - 80 % : centrales : surtout cérébrale
 - 20 % : périphériques : surtout cutanées : sensibles à :
 - la valeur absolue de température,
 - à sa vitesse de variation
- Les informations :
 - des récepteurs au chaud → fibres C non myélinisées,
 - des récepteurs au froid → fibres myélinisées A delta.
 - → faisceaux spino-thalamiques latéraux → hypothalamus

Le centre thermorégulateur

- au niveau de la région préoptique de l'hypothalamus antérieur.
- Les informations y sont intégrées sous forme d'une température corporelle moyenne
- La température est comparée à une zone de température de référence (zone de neutralité thermique)
- au-dessus ou en dessous de cette zone, les réponses thermorégulatrices sont déclenchées.
- Cette zone de neutralité thermique est très étroite puisque le seuil des réponses au chaud (vasodilatation, sudation) n'est séparé que de 0,2 °C de celui de la première réponse au froid (vasoconstriction)



Réponses

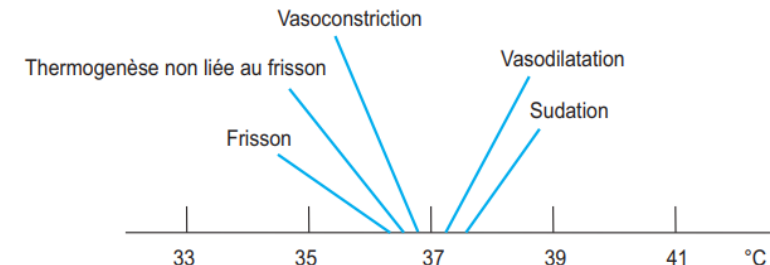
Les réponses comportementales

- **les plus efficaces**
- se déplacer, se couvrir, aérer une pièce,
- Rôle des informations en provenance des récepteurs cutanés surtout de la face++
- Notion de « confort thermique »

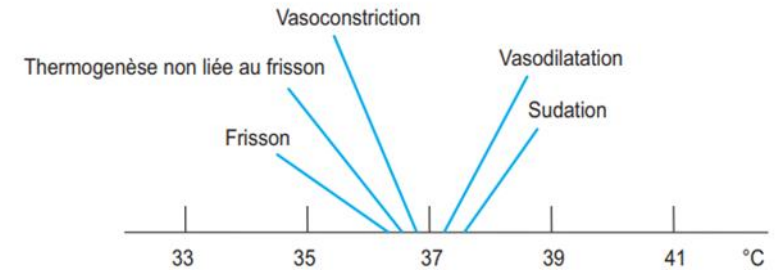


Les autres réponses

- dépendent du système nerveux autonome
- déclenchées quand les réponses comportementales sont inadaptées ou dépassées.
- caractérisées par leur :
 - seuil de déclenchement
 - pente de réponse
 - maximum



Les réponses à une agression thermique chaude



La vasodilatation

- Augmente le flux sanguin dans les capillaires cutanés
→ 7,5L/min,
- → transfert rapide de la chaleur depuis le compartiment central et les muscles vers la peau, où elle est éliminée par la sudation

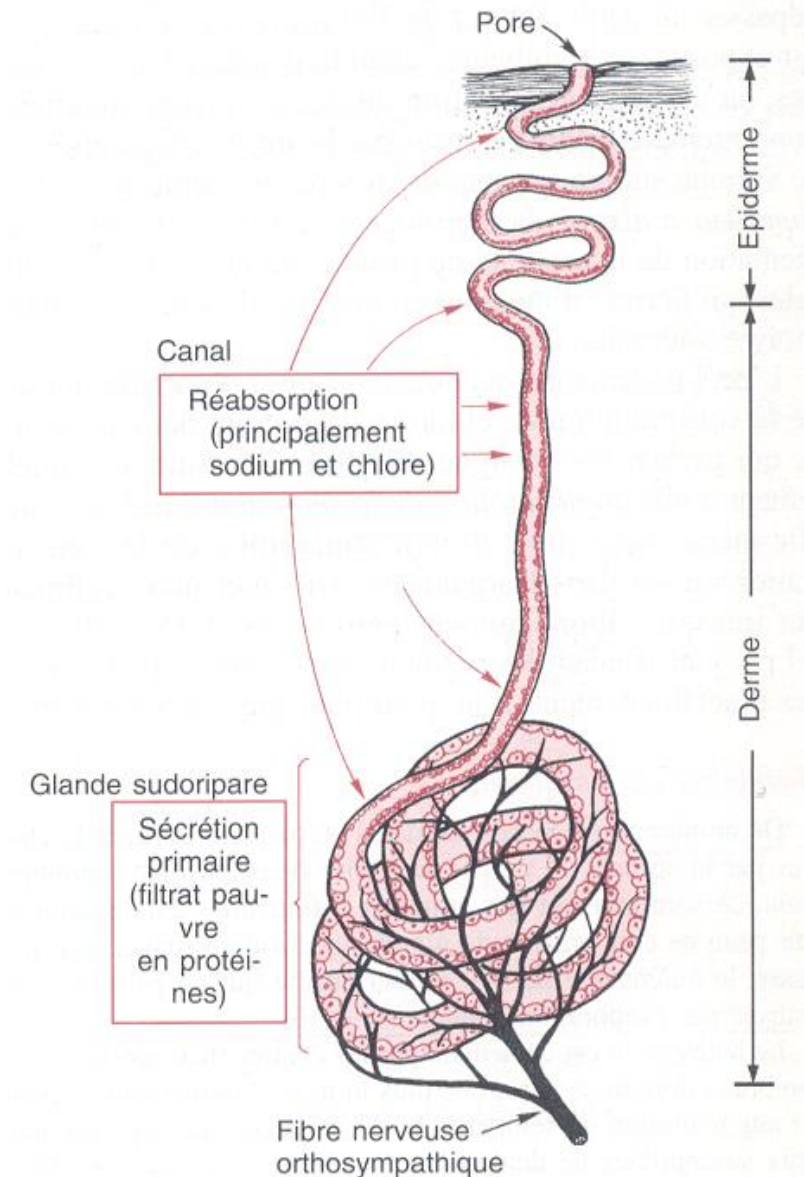
La sudation

- sous le contrôle des fibres cholinergiques postganglionnaires innervant les follicules sudoripares qui sont seuls effecteurs exclusivement dédiés à la thermorégulation.

Mécanisme de la sudation

glande sudoripare : 2 parties :

- portion contournée :
 - Située profondément dans le derme
 - → sécrétion primaire Active
 - stimulée par les fibres sympathiques cholinergiques
 - Composition : $\approx$ plasma : sauf pas de protéines
- portion de conduction :
 - Traverse le derme et l'épiderme
 - la plus grande partie de Na^+ et Cl^- sont réabsorbés



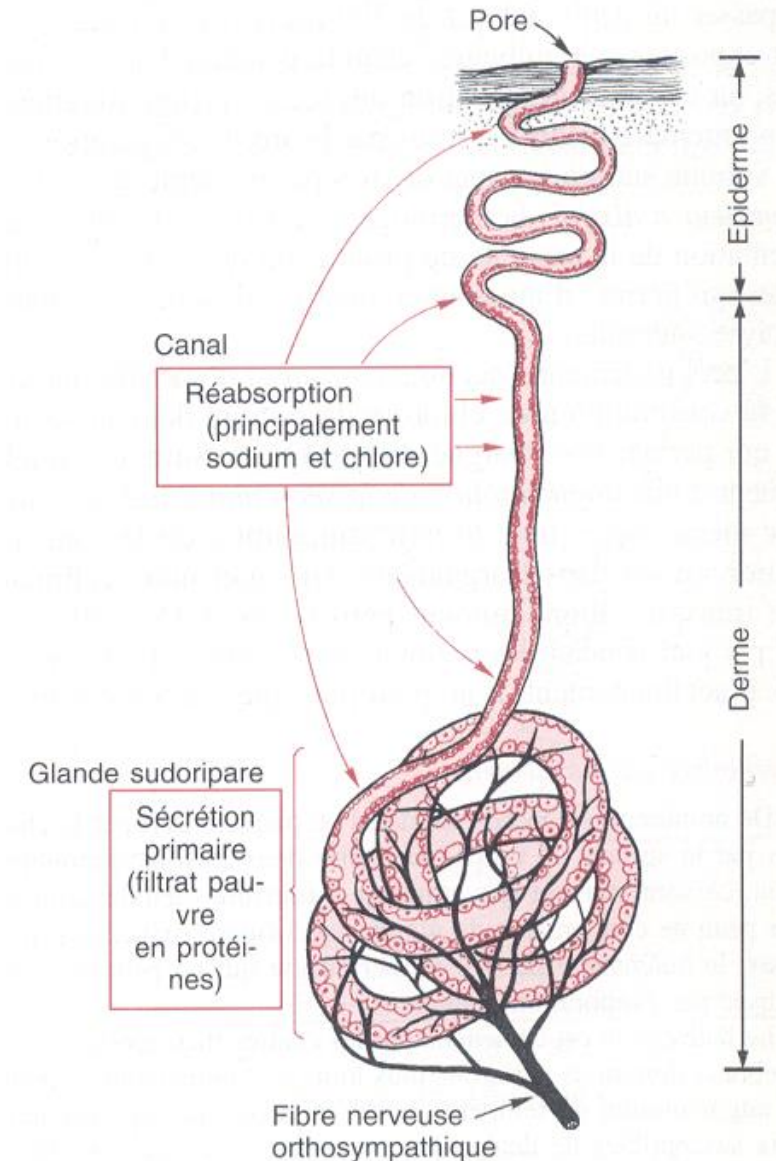
Mécanisme de la sudation

faible
stimulation
sympathique

- → réabsorption de Na^+ et Cl^- quasi complète
- → $\searrow$ pression osmotique
- → presque toute l'eau est réabsorbée.
- → La concentration des autres constituants de la sueur $\nearrow$ (urée, acide lactique, K^+)

forte
stimulation
sympathique

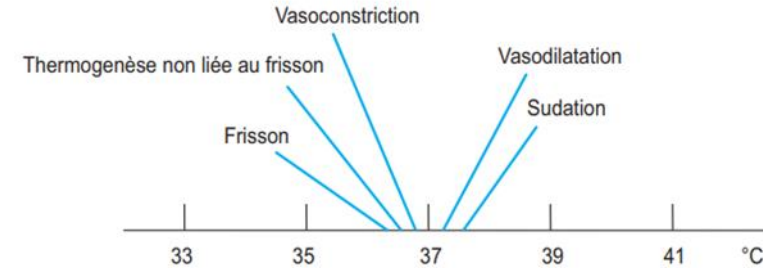
- → sécrétion primaire abondante →
- → $\searrow$ de réabsorption de Na^+ et Cl^- (moitié)
- → $\searrow$ réabsorption d'eau,
- → faible concentration des autres constituants de la sueur..



La sudation

- C'est le changement d'état de l'eau qui absorbe l'énergie, consommant 4 kJ par millilitre de sueur évaporée.
- La perte de chaleur est d'autant plus importante que l'air au contact de la peau est sec et fréquemment renouvelé par convection,
- le ruissellement de la sueur : inefficace.
- Ce mécanisme est limité par le débit maximal de sueur,
- Le débit de sueur augmente avec l'entraînement à l'effort physique intense et prolongé, tel le marathon

Les réponses au froid

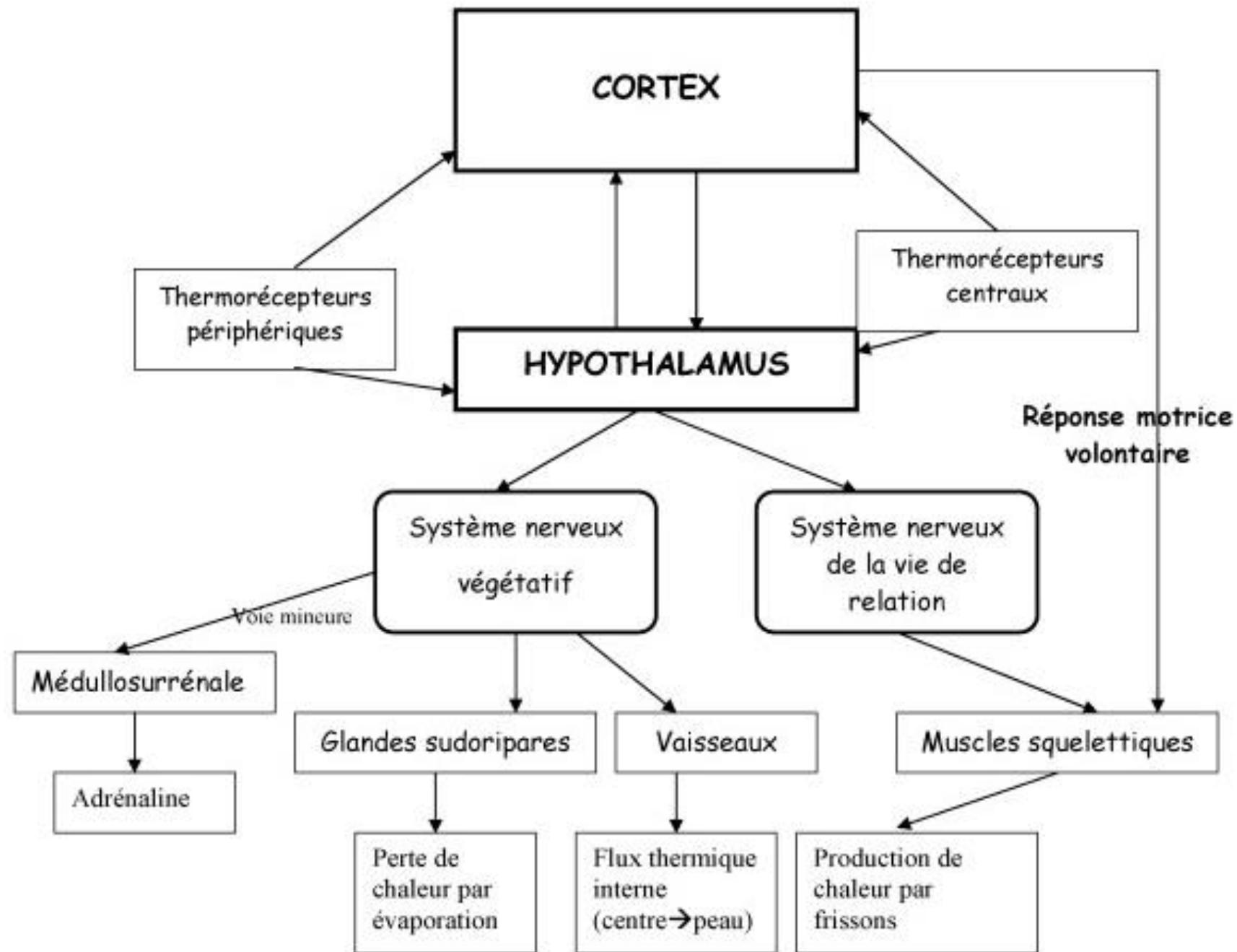


La vasoconstriction

- sous commande adrénergique
- Au niveau des shunts artérioveineux
- prédomine au niveau des extrémités (doigts, orteils).
- réduit les échanges de chaleur
 - entre la peau et l'environnement de 25 % au maximum
 - entre les compartiments central et périphérique.

Le frisson

- le seuil de déclenchement est inférieur d'environ 1 °C à celui de la vasoconstriction
- activité musculaire oscillatoire involontaire
- augmente la production de chaleur ($\dot{V}O_2$) : 2 à 6 x



ANOMALIES DE LA THERMORÉGULATION

Hyperthermie

Hypothermie

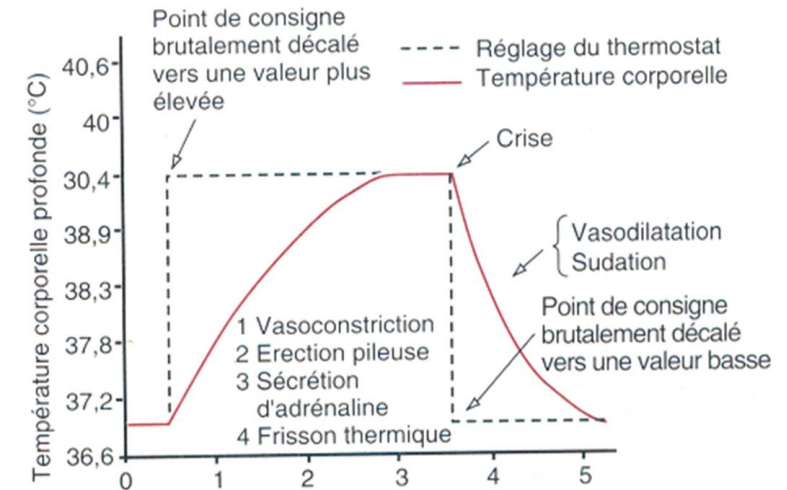
Cas clinique 1 : Fièvre

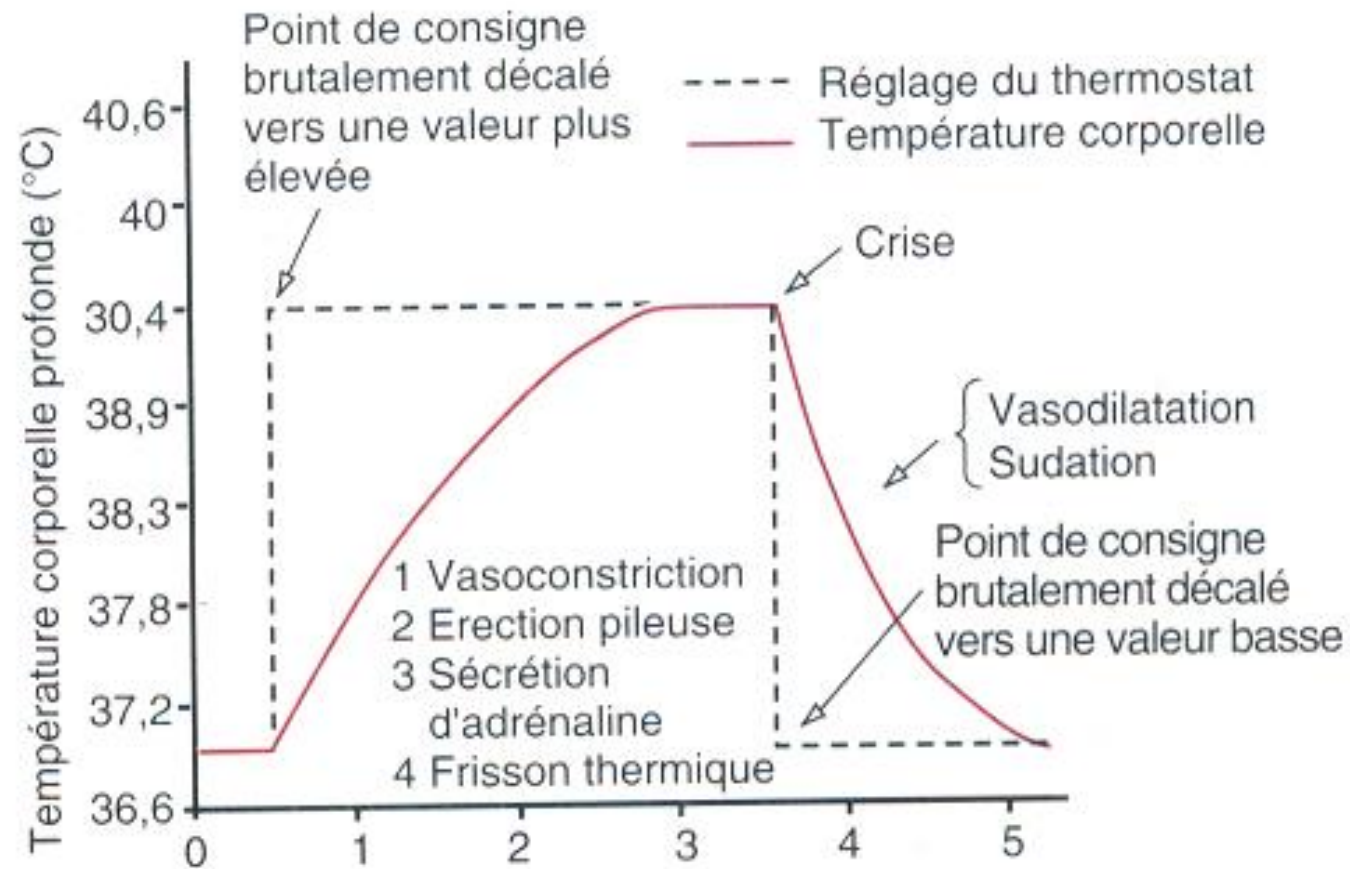
- Angine purulente chez un enfant de 2ans
- Fièvre à 40°C
- Traitement : ATB, Paracétamol, AINS,
- Lingettes humides



La fièvre

- augmentation de la température corporelle de 1 à 4 °C
- manifestation caractéristique de la réaction inflammatoire aiguë à une agression d'origine infectieuse, physique ou chimique.
- due au déplacement de la zone de neutralité thermique vers des températures plus élevées
- → apparition, dès 37 °C, de manifestations habituellement rencontrées dans la lutte contre le froid :
 - vasoconstriction (qui permet de conserver la chaleur produite)
 - frisson (qui augmente la production de chaleur).
- Lorsque l'élévation de la température centrale provoquée par l'augmentation du contenu corporel de chaleur atteint les seuils de déclenchement des réponses au chaud (vasodilatation, sudation), celles-ci apparaissent et la température se stabilise.





Effets liés à la modification de la valeur de consigne du contrôle thermique hypothalamique.

Le déplacement de la zone de neutralité thermique résulte de l'action de substances dites pyrogènes

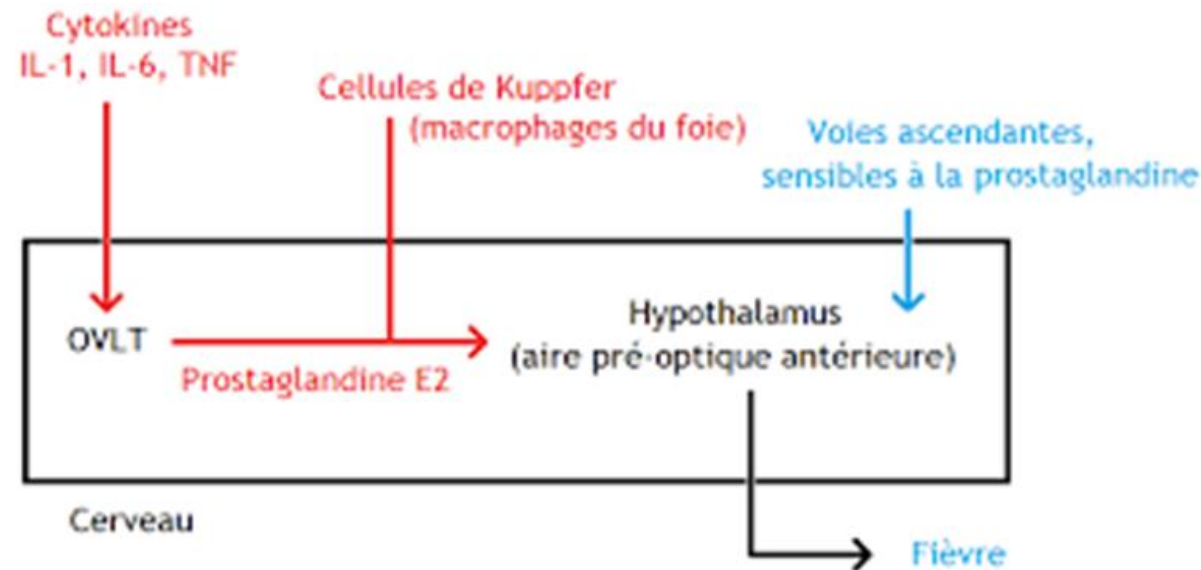
Les pyrogènes exogènes :

- proviennent de micro-organismes, comme les endotoxines des bactéries à Gram négatif ou les entérotoxines des bactéries à Gram positif.
- induisent la fièvre par
 - action directe sur l'hypothalamus,
 - stimulation de la production de pyrogènes endogènes.

Les pyrogènes endogènes :

- des protéines solubles appartenant à la famille des **cytokines** : interleukine 1-ab, TNF-a, lymphotoxine a, interféron a.

- Les cytokines circulantes → accroissent la production de prostaglandines E2 (PGE2) au niveau des cellules endothéliales
- Les PGE2 :
 - pénètrent dans l'hypothalamus,
 - se fixent à leurs récepteurs spécifiques EP-3,
 - entraînant la production d'AMPc
 - AMPc : neurotransmetteur qui modifie l'activité du centre thermorégulateur



L'effet antipyrétique de certains médicaments s'exerce par l'intermédiaire de leur action sur la PGE2

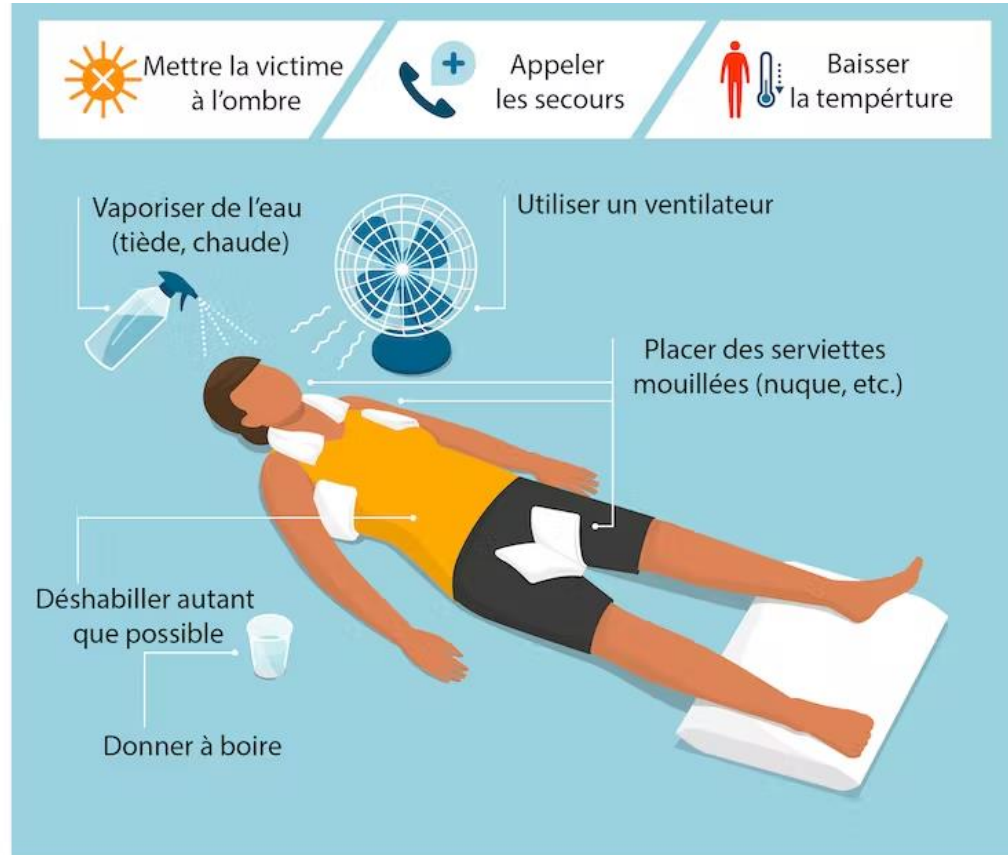
- les salicylés →
 - réduction de la production des PG2,
- les anti-inflammatoires non stéroïdiens →
 - inhibition compétitive des récepteurs cyclo-oxygénase 2 (COX-2)
- Le paracétamol →
 - diminue la production de PGE2,

Cas clinique 2 : Coup de chaleur



Symptômes possibles :

-  Vertiges,
-  Maux de tête,
-  Température levée,
-  Pas de transpiration,
-  Rougeur,
-  Respiration rapide,
-  Pouls rapide,
-  Nausées,
-  Crampes,
-  Perte de conscience.



Le coup de chaleur

- urgence vitale
- caractérisée par :
 - une température centrale supérieure à 40 °C
 - des signes neurologiques,
 - réponse inflammatoire systémique
 - défaillance multiviscérale

Le coup de chaleur : deux formes

le coup de chaleur «classique »

- exposition à un environnement anormalement chaud (canicule)
- âges extrêmes de la vie+++

le coup de chaleur « d'effort »

- chez des sujets en bonne santé,
- production excessive de chaleur lors d'un effort physique intense (marathon, combat ou entraînement militaire) dans un environnement le plus souvent chaud et humide

la défaillance des mécanismes thermorégulateurs face à une agression thermique excessive ou prolongée

- La sudation →
 - éliminer jusqu'à 700 W dans des conditions optimales,
 - mais au prix d'une perte hydrique
- en l'absence de compensation hydrique →
 - défaillance de ce mécanisme thermorégulateur (sudation)
 - hypovolémie

cytotoxicité directe de la chaleur

- l'hyperthermie → lésions cellulaires, principalement par apoptose.
 - La température critique chez l'homme est proche de 42 °C.
 - Vers 49-50 °C : toutes les structures cellulaires sont détruites
→ mort cellulaire survient en moins de 5 minutes

L'objectif prioritaire du traitement est de faire rapidement tomber la température centrale au-dessous de 39 °c

Deux types de techniques sont utilisés :

- le refroidissement cutané :
 - la peau est le principal échangeur de chaleur avec l'environnement.
 - méthode : ventiler par de l'air sec la peau mouillée sur la plus grande surface possible → évaporation → élimination de chaleur
- le refroidissement central.
 - → refroidir directement le noyau (la vraie cible).
 - techniques : hémofiltration et perfusion de solutés froids,
 - techniques efficaces mais avec risque
- Le reste du traitement : symptomatique : réhydratation++

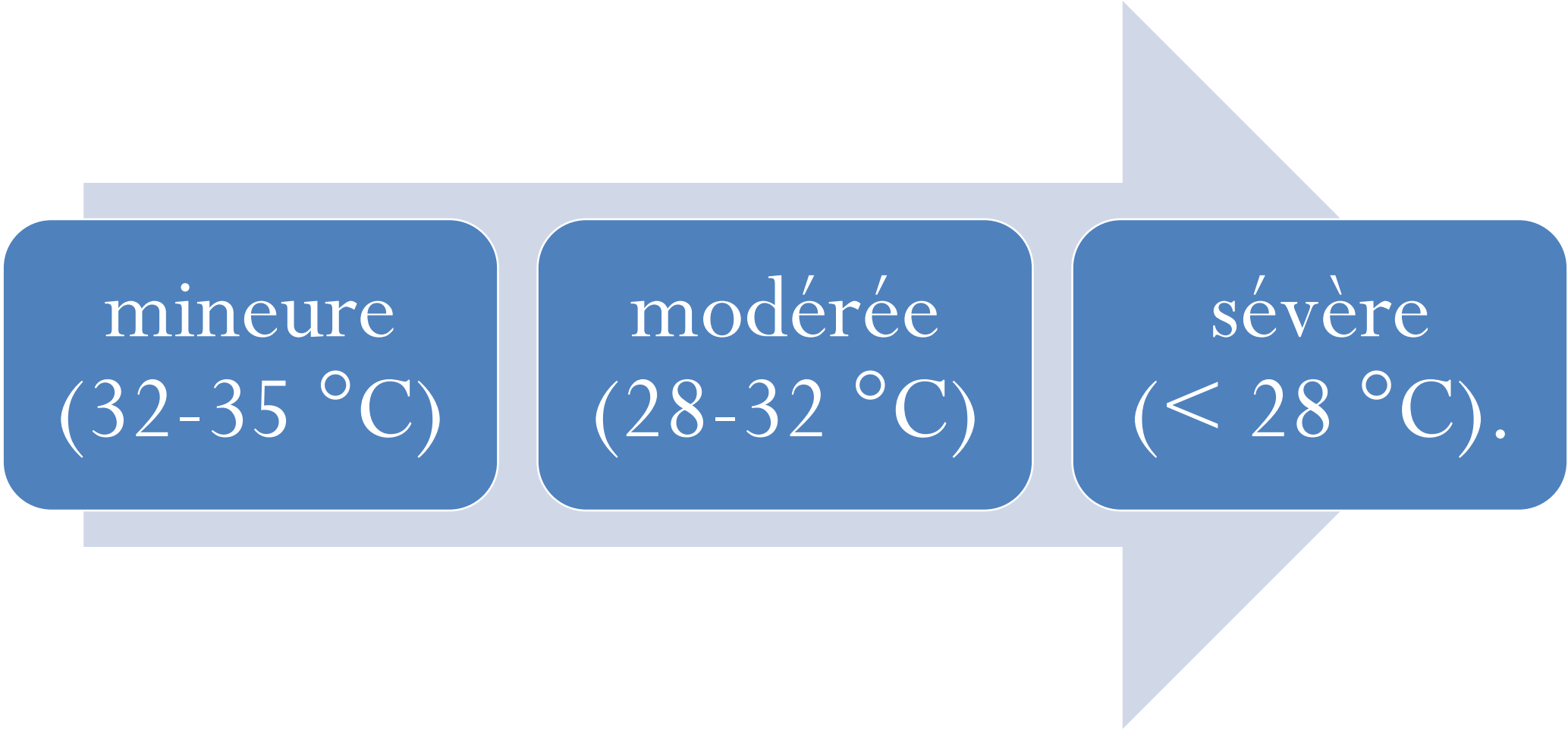
Cas clinique 3 : Hypothermie



Hypothermie accidentelle

- C'est la conséquence de la défaillance des mécanismes thermorégulateurs au cours de l'exposition à un environnement froid.
- Sa survenue est favorisée par certaines situations
 - grand âge,
 - précarité,
 - altération pharmacologique ou toxique de la thermorégulation (benzodiazépines, alcool)
 - de nombreuses pathologies (accident vasculaire cérébral, traumatisme crânien, diabète, ...)

l'hypothermie : Trois phases de gravité croissante



mineure
(32-35 °C)

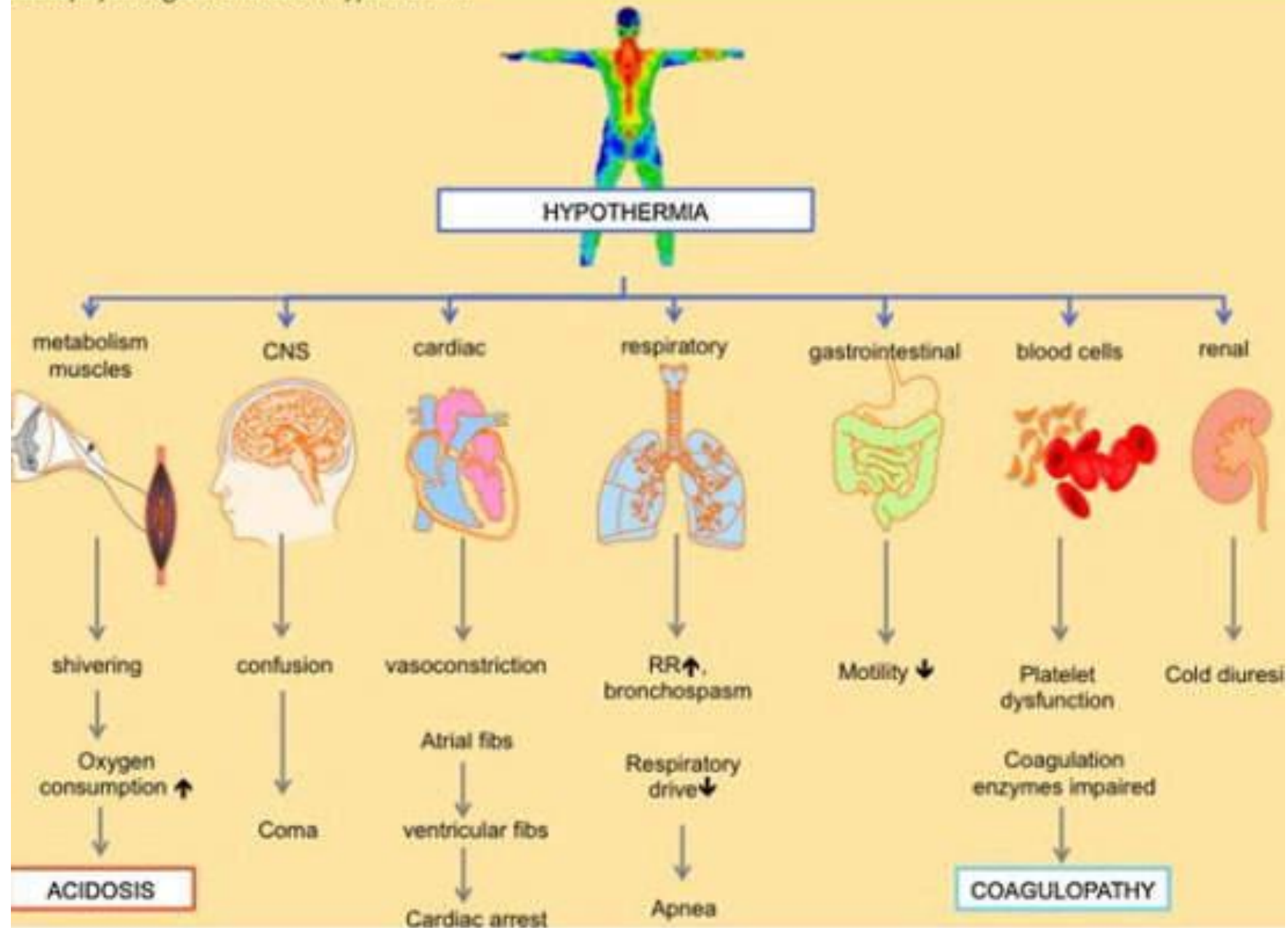
modérée
(28-32 °C)

sévère
(< 28 °C).

L'hypothermie accidentelle

- Tous les mécanismes physiologiques sont concernés
- conséquences physiopathologiques multiples concernant tous les appareils :
 - cardiovasculaire,
 - hématologique,
 - neurologique,
 - respiratoire,
 - rénal,
 - métabolique
 - gastrointestinal.

Pathophysiological effects of hypothermia



Traitement

- L'objectif principal : restaurer la normothermie
- La plupart des conséquences sont réversibles avec le réchauffement corporel, même dans les formes sévères,
- Très schématiquement,
 - hypothermies mineures : mesures de réchauffement passives (couvertures)
 - Hypothermie modérée : l'association du réchauffement cutané par convection d'air chaud
 - hypothermies majeures : le réchauffement actif par circulation extracorporelle

Cas clinique 4 :

Gelures



Prise en charge des gelures sur le terrain

Protocole de réchauffement rapide:
Immersion dans un bain à 38°C pendant 1h
+ ASPIRINE 250 mg (si absence d'allergies)

Classification: ds l'heure qui suit la fin du réchauffement

Disparition complète de
la lésion initiale

Persistance de la lésion
initiale au niveau d'au
moins 1 phalange distale

Lésion initiale qui
déborde sur au moins 1
articulation
interphalangienne distale

Lésion initiale qui déborde
sur au moins 1
articulation
métacarpophalangienne



Grade 1

Grade 2

Grade 3

Grade 4

Les gelures

- En cas d'exposition à des froids intenses, il arrive que des zones cutanées gèlent
 - Ces lésions sont des **gelures**
 - Les lobes d'oreilles, le nez, les doigts et les orteils sont particulièrement exposés
- La **gangrène** succède surtout aux gelures
- Quand la température tissulaire est proche du point de congélation :
 - le muscle lisse des parois vasculaires : paralysé par le froid
 - → vasodilatation brutale : marquée par une rougeur cutanée
 - → protéger contre les gelures : apporter plus de chaleur à la peau

Merci pour votre attention

