

Physiopathologie de la thermorégulation

Objectifs :

- Comprendre les mécanismes physiologiques de la thermorégulation.
- Comprendre les mécanismes physiopathologiques des troubles de la thermorégulation.
- Connaitre les conséquences des troubles de la thermorégulation.

Plan :

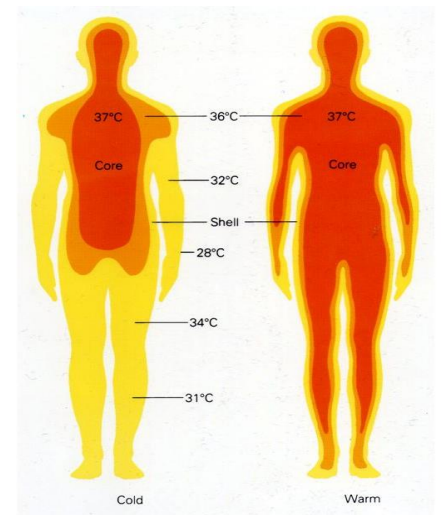
- I. Introduction
- II. Rappel physiologique
 - 1) Physiologie de la thermogenèse
 - 2) Physiologie de la thermolyse
 - 3) Régulation thermique
 - 4) Réponse physiologique thermorégulatrice
 - 5) Variations physiologiques de la température :
- III. Physiopathologie de la thermorégulation
 - 1) Hyperthermie
 - 2) Fièvre
 - 3) Hypothermie
- IV. Conclusion

I. Introduction :

- **Thermorégulation** : du grec : **Thermo**=chaleur, **regulas**= maintenir un équilibre.
- **Homéotherme** : T° centrale **étroitement régulée**
- **Poïkilotherme** : (du Grec, **poikilos** = **variable**) : T° centrale est dépendante de celle du milieu ambiant (*ex : les serpents*)
- **Animaux hibernant**, capable de réguler et /ou abandonner toute régulation de la température centrale (*ex : les ours*)
- **Homme** : homéotherme → la T° centrale (des viscères) reste **constante**.
 - ✓ La T° interne résulte d'une balance entre la production de chaleur appelée thermogénèse et la perte de chaleur appelée thermolyse
 - ✓ La T° corporelle est un état d'équilibre entre ces 2 mécanismes.
 - ✓ Cet équilibre est assuré par un système régulateur fonctionnant sur mécanisme de rétrocontrôle.
 - ✓ **Le sang** est l'agent de transfert de chaleur entre l'intérieur du corps et sa surface

II. Rappel physiologique :

- L'organisme se décompose du point de vue de la thermorégulation en 02 compartiments :
 - 1-Centrale ou Noyau : organes internes producteurs de chaleur
 - ✓ Axe cerveau, médiastin et organes digestifs
 - ✓ La T° dite centrale maintenue stable autour de 37°C
 - ✓ T°c régulée
 - 2-Périphérique ou enveloppe : échangeur thermique
 - ✓ Les muscles squelettiques
 - ✓ La peau
 - ✓ T°c (état de veille, conditions environnementales habituelles) < ~ 2-4°C/ T° centrale « **tampon thermique** »
 - ✓ Pas de régulation de la T° : ni uniforme, ni constante
- Plus on s'éloigne du noyau, plus la T° baisse (33° au niveau cutané)
- La **thermorégulation** englobe l'ensemble des mécanismes qui permettent de maintenir l'organisme à la température idéale pour faciliter toutes les réactions biochimiques (fonctionnement des enzymes) nécessaires à la vie.
- **But de la thermorégulation** : Maintenir la valeur réelle de la température centrale (température des organes situés à l'intérieur des cavités thoracique, abdominale et crânienne) autour d'une valeur de référence d'environ 37°C malgré les variations de la température de l'environnement.



1) Physiologie de la thermogenèse ou production de la chaleur :

- La chaleur est un déchet produit par le métabolisme oxydatif, de l'activité musculaire et de l'oxydation hépatique= au cours des réactions chimiques (glycolyse...)
- Cette production de chaleur dépend de l'âge du sujet, de son sexe, de son alimentation et de son activité physique.
- Au **repos** → Thermogenèse chimique :
 - ❖ Production de chaleur → l'activité métabolique de tissus (foie, cœur, cerveau, glandes endocrines et muscles squelettiques inactifs)
 - ✓ 56% de la chaleur produite par les organes profonds
 - ✓ 18% de la chaleur produite par les muscles
- Pendant **l'effort** → Thermogenèse musculaire
 - ❖ La T° corporelle augmente au cours d'un effort, la production de chaleur augmente, mais la déperdition calorifique n'augmente pas immédiatement.
 - ❖ A l'effort → thermogénèse musculaire → 90% de la chaleur
 - ❖ Une calorie (cal) augmenter de 1°C la température d'1 gramme d'eau = 4,18 joules

2) Physiologie de la thermolyse ou perte de chaleur :

- La chaleur produite par le métabolisme est éliminée par l'organisme essentiellement à sa surface cutanée
- La T° corporelle baisse lorsque la déperdition calorifique > production + incapacité de compenser immédiatement cette perte.
- La T° de la peau varie avec la T° extérieure
- La température se déplace selon son gradient de concentration des régions les plus chaudes vers les plus froides

- Les pertes de chaleur s'effectuent par 4 mécanismes :

- ❖ **Conduction**
- ❖ **Convection**
- ❖ **Evaporation**
- ❖ **Radiation**

- **Le rayonnement/radiation** : Perte de chaleur par la surface corporelle sous forme d'ondes électromagnétiques infrarouges

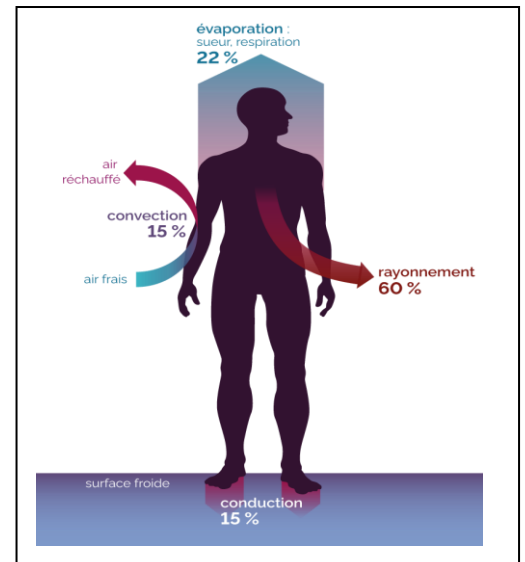
- **La conduction** : Perte de chaleur par contact direct par un corps froid

→ La quantité de chaleur transférée est dépendante de :

- ✓ La surface de contact :
- ✓ Le gradient de température entre la peau et l'objet
- ✓ La conductivité de l'objet.

- **La convection** : **Déplacement de chaleur au sein d'un fluide (air, eau)**. Réchauffement de l'air qui est en contact stable avec la peau et les muqueuses. La chaleur est transférée à un courant d'air circulant.

- **L'évaporation** : Lorsque les mécanismes de radiation et de conduction ne sont plus assez efficaces, la chaleur doit être perdue par évaporation d'eau → au niveau des muqueuses cutanées (sudation) et respiratoires (expiration)



3) Régulation thermique :

1. Régulation nerveuse :

- La régulation thermique nécessite un système complexe :
 - ✓ Capteurs spécifiques : **thermorécepteurs** ; centraux et périphériques
 - ✓ Centres régulateurs (intégration) : **Hypothalamus** ;
 - ✓ Effecteurs protecteurs (dissipateurs de la chaleur) et des voies de conduction afférentes et efférentes les reliant entre eux.
- La régulation de la température centrale est essentiellement nerveuse.

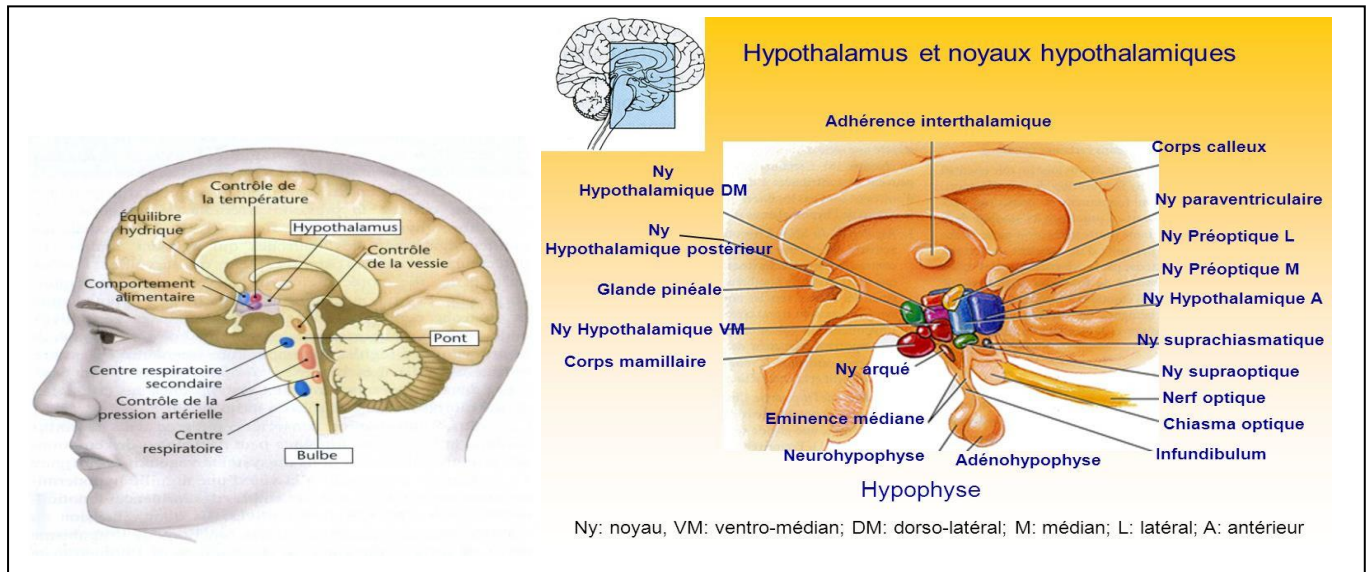
1.1. Thermorécepteurs :

- **Thermorécepteurs périphériques (cutanés)** : terminaisons nerveuses libres (peau et muqueuses), sensibles au chaud et au froid
 - Renseignent sur les variations de la T° externe
- **Les thermorécepteurs centraux (internes)** : Hypothalamus antérieur++ et viscères
 - Renseignent sur le niveau thermique central.
 -

1.2 Les centres thermorégulateurs

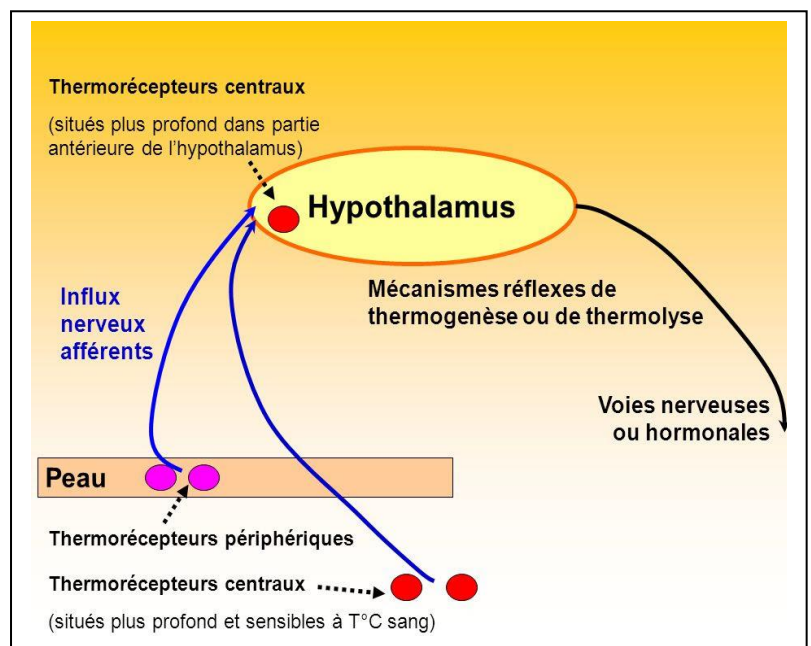
- **Hypothalamus antérieur → Centre de la thermolyse** : assure la réponse thermique à la chaleur en déclenchant la thermolyse par :
 - ✓ Vasodilatation
 - ✓ Augmentation de sudation
- **Hypothalamus postérieur → Centre de la thermogenèse** : assure la réponse thermique au froid par :
 - ✓ Stimulation de la thermogenèse musculaire et chimique
 - ✓ Vasoconstriction cutanée pour éviter les pertes.
- L'activité d'un centre inhibe celle de l'autre.

- Une variation de 1°C du sang irriguant l'hypothalamus suffit à provoquer une réaction de thermolyse ou de thermogénèse.



1.3 Les voies de conduction

- **Les voies afférentes** : La sensibilité thermique emprunte les faisceaux spino-thalamiques croisés (extra lemniscal)
- **Les voies efférentes** : Les centres transmettent des ordres moteurs et sécrétoires à travers des efférences nerveuses qui gagnent les effecteurs
 - Motrices : vers les muscles squelettiques (frissons et tremblements)
 - Vasomotrices : muscles lisses et vaisseaux
 - Sécrétoires : glandes sudoripares
- ✓ **Efférences** :
 - **Système nerveux sympathique** → stimulé par le froid → vasoconstriction (prévenir les pertes), pilo-érection, lipolyse → diminue la thermolyse
 - **Système nerveux parasympathique** → stimulé par la chaleur → vasodilatation, sudation → augmenter la thermolyse.



2. Régulation hormonale :

- **Médullo-surrénale** → Sécrétion d'adrénaline :
 - Provoque une vasoconstriction.
 - Favorise l'oxydation du glucose et la transformation du glycogène hépatique en glucose (*cycle de Krebs*).
 - Déclenche la lipolyse dans les adipocytes.
- **Axe hypothalamo-hypophysaire**
 - CRH induit la sécrétion d'ACTH, qui stimule les corticosurrénales pour produire des glucocorticoïdes.
 - TRF induit la sécrétion d'hormones thyroïdiques, qui va stimuler la thyroïde, qui produit à son tour des hormones Thyroïdiennes.
 - GRH qui induit la sécrétion d'hormones somatotropes.
- **Thyroïde** = *centre de régulation du métabolisme de base*
 - Sécrétion de T3, T4 → libération du glycogène hépatique, néoglucogenèse, lipolyse, augmentation des oxydations mitochondriales. Action synergique avec les catécholamines

4) Réponse physiologique thermorégulatrice :

❖ Réaction au chaud

a. **Augmentation de la thermolyse**

- Vasodilatation des vaisseaux sous cutanés → augmenter le volume sanguin refroidi en périphérie.
- Sudation → réduisant la T° par évaporation de la sueur.
- Tachypnée ou polypnée → augmentant les pertes de chaleur par l'air expiré

b. **Diminution de la thermogenèse**

- ↓ de l'activité musculaire
- ↓ de l'activité métabolique
- Réaction de thermogenèse ou de thermolyse

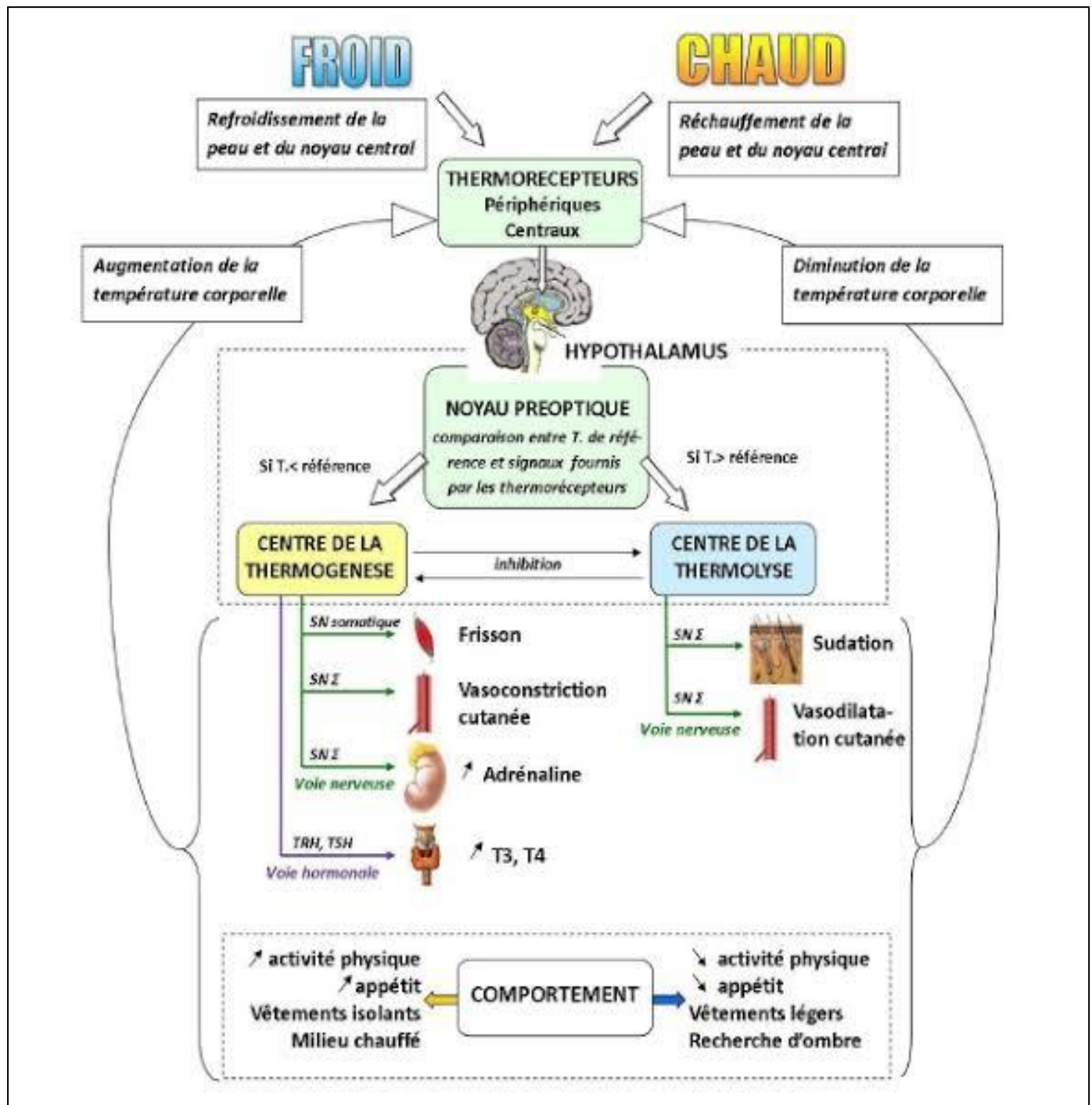
❖ Mécanismes de lutte contre le froid

a. **Diminution de la thermolyse :**

- Diminution de l'apport des calories aux surfaces d'échange (téguments externes) par vasoconstriction.
- Horripilation, appelée « chair de poule » :
- Diminution ou l'arrêt de la sudation → réduire les pertes de chaleur par évaporation
- Bradypnée : réduisant les pertes de chaleur par l'air expiré

b. **Augmentation de la thermogenèse :**

- Frissons et tremblements augmentant l'activité musculaire
- Hypercatabolisme → stimulation adrénergique → augmentation du métabolisme cellulaire



5) Variations physiologiques de la température :

- **Facteurs externes :** Température ambiante
- **Facteurs physiologiques :**
 - ✓ Cycle hormonal : ovulation : phase progestative : $+ 0,5^{\circ}-1^{\circ}$
 - ✓ Age : nouveau-né, nourrisson
 - ✓ Etat émotionnel
 - ✓ Activité physique
 - ✓ Température centrale individuelle
 - ✓ Variation circadienne (1°C) max à 17h, min à 3-5h de matin
 - ✓ Thermogenèse post prandiale
- **Facteurs liés à la prise de température :**
 - ✓ Région anatomique
 - ✓ Méthode de mesure

Mesure de la température



- Jugulaire ou artère pulmonaire
- Naso pharyngienne ou œsophagienne Vésicale
- Tympanique
- Rectale (peu fiable isolation par matières fécales)
- Cutanée (non fiable)

Reliability of temperatures measured at standard monitoring sites as an index of brain temperature during deep hypothermic cardiopulmonary bypass conducted for thoracic aortic reconstruction. Akata T, Setoguchi H, Shirozu K, Yoshino J. J Thorac Cardiovasc Surg. 2007 Jun;133(6):1559-65.

III. Physiopathologie de la thermorégulation :

1) Hyperthermie :

- Hyperthermie → élévation de la température centrale au-dessus de 38°C
- Mécanismes de thermorégulation ne sont pas conservés : l'augmentation de T° se fait par → augmentation de la thermogénèse et/ou par diminution de la thermolyse
- On distingue : Hyperthermies fébriles et Hyperthermies non fébriles
- Au cours de la fièvre, les mécanismes de thermorégulation sont conservés mais la T° de référence centrale (thermostat) est réglée à un niveau supérieur
- Hyperthermie est tolérée chez l'adulte jusqu'à 41°C, contrairement à l'enfant
- A partir de 42°C → Pronostic vital est mis en jeu → souffrance cérébrale et convulsions

1.1 Hyperthermies non fébriles :


1.1.1 03 mécanismes :

Augmentation de la thermogénèse	Diminution de la thermolyse	Dérèglement des centres thermorégulateurs
Facteurs exogènes : <ul style="list-style-type: none"> ✓ Exposition à une T° ambiante très élevée ✓ Exposition à un rayonnement calorifique= insolation : coup de chaleur classique Causes endogènes <ul style="list-style-type: none"> ✓ Activité physique intense et soutenue (sport, tétanos, convulsions) ✓ Troubles endocriniens (thyrotoxicose, libération des catécholamines) ✓ Intoxications (caféine, amphétamines, cocaïne...) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Vasoconstriction cutanée= diminution de la circulation sanguine périphérique ✓ Diminution de la sédation 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Traumatisme ✓ AVC ✓ Tumeur cérébral...

1.1.2 Conséquences cliniques :

- **Signes neuromusculaires**
 - ✓ Agitation ou état de stupeur et troubles de la conscience voire coma
 - ✓ Contracture et rigidité musculaire, trismus, Fasciculations, Convulsions
 - ✓ Rhabdomyolyse
- **Signes cardiovasculaires**
 - ✓ Tachycardie
 - ✓ PA normale ou diminuée, élargissement de la différentielle.
 - ✓ Extrasystoles
- **Signes respiratoires :**
 - ✓ Polypnée (tachypnée), OAP, SDRA
 - ✓ Encombrement trachéo-bronchique en cas de troubles de la conscience
- **Autres signes :**
 - ✓ Déshydratation, Oligurie, insuffisance rénale
 - ✓ Perturbations hépatiques, Troubles de l'hémostase
 - ✓ Arrêt de divisions cellulaires et ralentissement de l'activité mitochondriale
 - ✓ SDNV

1.2 Fièvre :

- Réaction non-spécifique de défense de l'organisme développée en réponse à une action de différents agents déclencheurs appelés : **Pyrogènes**.
- La fièvre → **Hyperthermie contrôlée** Dont le rôle est celui de signal d'alarme
- La fièvre est due à un réglage de thermostat hypothalamique à un niveau supérieur à la normale (augmentation de set point), il existe en permanence une adaptation de la thermolyse à la thermogénèse → cette modification est liée à la présence de pyrogène d'origine **exogène** ou **endogène**.
- **Les pyrogènes exogènes** : Sont représentés par des :
 - ✓ Agents pathogènes infectieux (bactéries, virus, fungi)
 - ✓ Certaines hormones (la progestérone)
 - ✓ Médicaments (les vaccins et l'interféron recombinant)
- **Les pyrogènes endogènes** : interleukines (IL) 1, 6, l'interféron (IFN), le « tumor necrosis factor » (TNF)
- Hypothalamus :  valeur référence des centres thermorégulateurs → décalage entre la valeur réelle périphérique et la nouvelle valeur référence centrale Brusquement augmentée → stimulation du centre hypothalamique postérieur va engendrer **deux processus** :
 - ✓ **Baisse de la déperdition de chaleur** → Diminution circulation cutanée → refroidissement de la peau
 - ✓ **Augmentation de production de chaleur** secondaire aux frissons → **Thermogénèse**
- Ce mécanisme **se prolonger** jusqu'à ce que la **valeur réelle** se soit **ajustée** à l'élévation de la nouvelle **valeur de référence (plateau)**
- Quand la production de **pyrogènes endogènes s'arrête** (spontanément ou après l'administration thérapeutique) → **Valeur référence diminue** de nouveau → Décalage par rapport à la valeur réelle trop élevée
- **Activation du centre hypothalamique antérieur** → parasympathique → vasodilatation → augmentation de la circulation cutanée → **pertes de chaleur** (suée, sensation de chaleur) → **Thermolyse**
- La fièvre diminue en quelques heures ou en quelques jours.

- **La réaction fébrile, décrit 3 phases évolutives :**

- 1) **Montée thermique** = température centrale < consigne (froid, frissons, pâleur)
- 2) **Plateau thermique** = équilibre thermogénèse- thermolyse à la nouvelle consigne
- 3) **Défervescence thermique** = température centrale > consigne (chaleur, suées, rougeur)
 - ✓ T° consigne= T° habituelle à 37°C

- ❖ **Effets de la fièvre :**

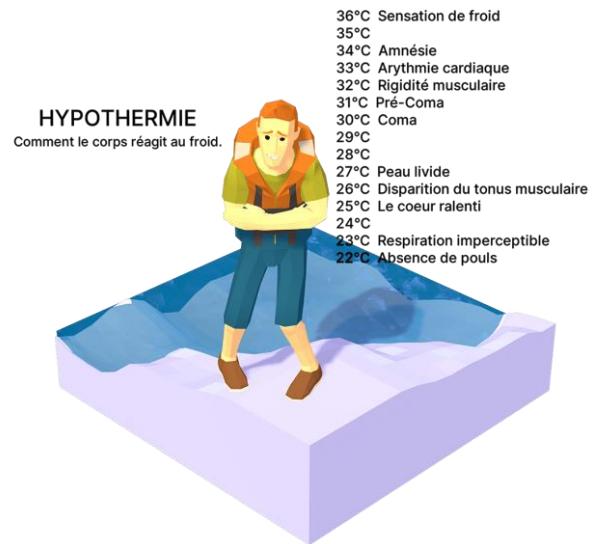
- Accélération de la fréquence cardiaque (**8-12 battements/min pour chaque 1°C**)
- Accélération de la vitesse du métabolisme
- Episodes de sommeil à ondes lentes plus nombreux (**ont une action réparatrice sur le cerveau**)
- Accélération de la cicatrisation
- Inhibition de la croissance bactérienne.

- ❖ **Rôle de la fièvre :** La fièvre est essentielle, elle permet :

- **Défense contre les infections** bloquant la prolifération de nombreux agents pathogènes.
- Induction d'une baisse des concentrations plasmatiques de métaux : le fer, le zinc et le cuivre, **essentiels à la prolifération des bactéries.**

2) Hypothermie :

- Diminution de la T° centrale en dessous de 35°C
- On distingue plusieurs degrés de sévérité de l'hypothermie :
 - ✓ **Hypothermie modérée** : T° centrale est entre 35-32°C ⇒ Troubles de la conscience
 - ✓ **Hypothermie grave** : T° centrale est entre 32-25°C ⇒ Fibrillation ventriculaire à 28°C
 - ✓ **Hypothermie majeure** : T° ≤ 25°C ⇒ Activité cardiaque plus faible + Myosis + Survie possible
- **Classification Selon l'étiologie :**
 - ✓ **L'hypothermie accidentelle** : par exposition au froid
 - ✓ **L'hypothermie provoquée** : thérapeutique, au cours de certains actes chirurgicaux.
- **Les hypothermies accidentelles évoluent en deux phases :**
 - ✓ **Phase de lutte** : T° centrale entre **35 et 33°C** → frisson, peau froide souvent marbrée,
↘ force musculaire, ↘ du métabolisme, bradycardie, tension normale, Réduction de la diurèse
 - ✓ **Phase d'abandon** : T° centrale < **33°C** → Rigidité musculaire progressive, confusion mentale, troubles/ perte de la conscience, ralentissement du rythme respiratoire, bradycardie avec la chute de la pression artérielle, arythmies.
- **Deux grands mécanismes physiopathologiques :**
 - 1) Hypothermie à défenses maximales → Dépassement des capacités de réchauffement du corps → Mécanismes thermorégulateurs étant **intacts** → **Exposition prolongée au froid** (immersion en eau froide, avalanche, accident de montagne)
 - 2) Hypothermie à défenses minimales → Mécanismes thermorégulateurs **anormaux** (perturbés) → Hypothyroïdie, les comas toxiques, vieillard, nouveau-né, atteinte centrale...



IV. Conclusion :

- La thermorégulation est essentielle pour maintenir l'homéostasie corporelle et un fonctionnement optimal des systèmes physiologiques.
- Les mécanismes de thermorégulation, tels que la transpiration, la vasodilatation et la vasoconstriction, montrent la complexité de ce système et son adaptation aux variations environnementales...
- Différentes conditions médicales, telles que l'hyperthermie, l'hypothermie et les troubles endocriniens, peuvent altérer les mécanismes de thermorégulation et avoir des conséquences graves sur la santé.
- La compréhension de la physiopathologie de la thermorégulation est essentielle pour le diagnostic et la prise en charge des patients où des dysfonctionnements thermiques peuvent se produire.