

THERMORÉGULATION

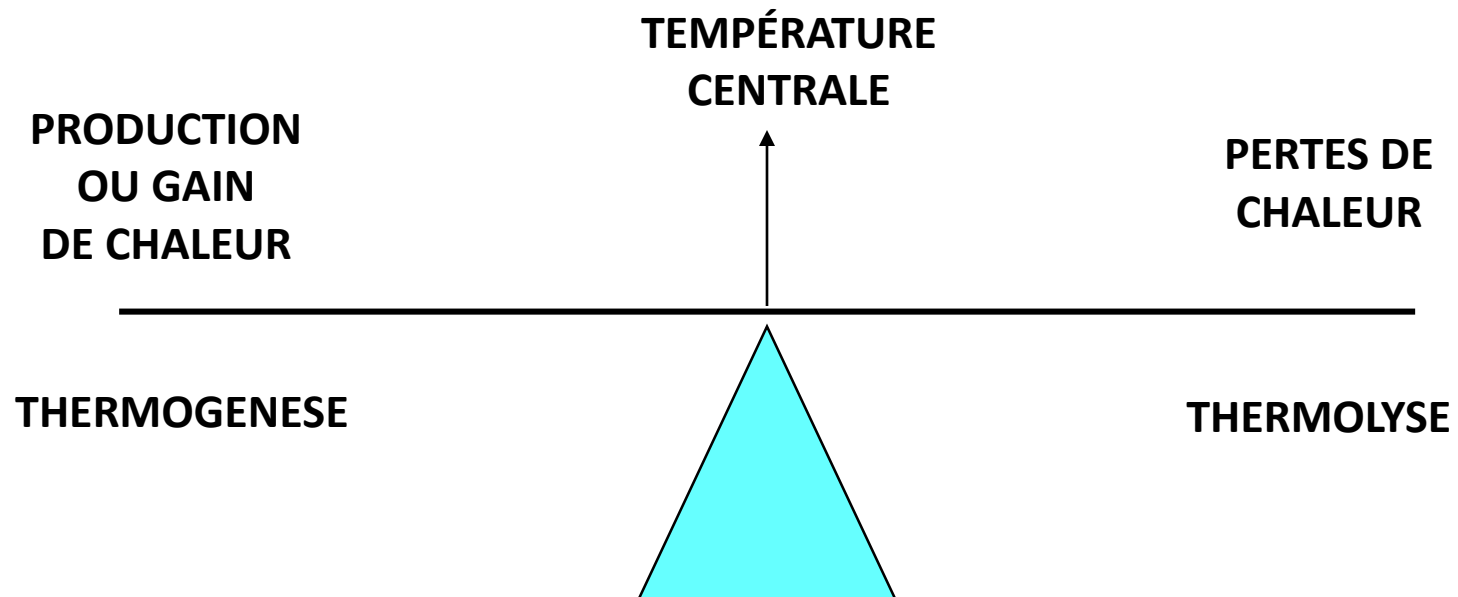
HYPOTHERMIE

HOMEOTHERMIE.



- ❑ Sélection évolutive.
- ❑ Intégration physiologique complexe.
- ❑ Caractéristique du "noyau".
- ❑ Indépendance vis-à-vis du milieu.

EQUILIBRE THERMIQUE DEFINITION



NOTIONS FONDAMENTALES .

THERMOGENESE : PRODUCTION DE CHALEUR.

Activité tissulaire.

Métabolisme basal = métabolisme de l'individu au repos, en neutralité thermique = $40\text{-}45 \text{ W/m}^2$

Muscles 18%, Viscères 56%, Cerveau 16%

Adaptation métabolique à l'équilibre thermique $100 \text{ à } 150 \text{ W/m}^2$

Activité musculaire squelettique.

Frisson : activité musculaire involontaire sous contrôle hypothalamique

Activité physique volontaire $150 \text{ à } 200 \text{ W/m}^2$

NOTIONS FONDAMENTALES.

ECHANGES THERMIQUES : THERMOLYSE.

Pertes thermiques par la respiration (ventilation)

$$\text{Pertes respi} = C_p \times 0.8 (38 - T_e) \times Q \times P/60 + H$$

C_p : Capacité calorique (thermique) du Gaz

T_e : Température inspirée

Q : Débit ventilatoire (l/min)

P : Pression absolue

H : Humidification de l'air (10W pour un débit de 20l/min)

0.8 : On réchauffe à 37 C, 80% du gaz respiré.

Pertes thermiques cutanées.

$$\text{Pertes Cut} = (37 - T_e) / (1/H_1 + 1/H_2 + 1/H_3 + \dots)$$

Phénomènes de transfert thermiques entre les interfaces milieu extérieur /l'organisme.

Chaque interface ayant une conductance spécifique H1, H2, H3 etc.

Capacité thermique massique de gaz à **pression constante**, sous atmosphère normale

Gaz	Masse molaire (kg/mol)	température (°C)	c_p capacité massique J/(kg.K)	$\frac{1}{(\gamma - 1)}$
Air	29×10^{-3}	0-100	1004	2,48
Argon	$39,948 \times 10^{-3}$	15	520	1,54
Diazote	$28,013 \times 10^{-3}$	0-200	1025	2,46
Dioxyde de carbone	$44,01 \times 10^{-3}$	20	650	3,44
Hélium	$4,003 \times 10^{-3}$	18	3160	1,52
Dihydrogène	$2,016 \times 10^{-3}$	16	10140	2,46
Dioxygène	$31,999 \times 10^{-3}$	13-207	920	2,50
Vapeur d'eau	$18,015 \times 10^{-3}$	100	2010	3.65

PROCESSUS PHYSIQUES DE TRANSFERTS THERMIQUES.

- ❑ Rayonnement.
- ❑ Conduction.
- ❑ Convection.
- ❑ Evaporation.

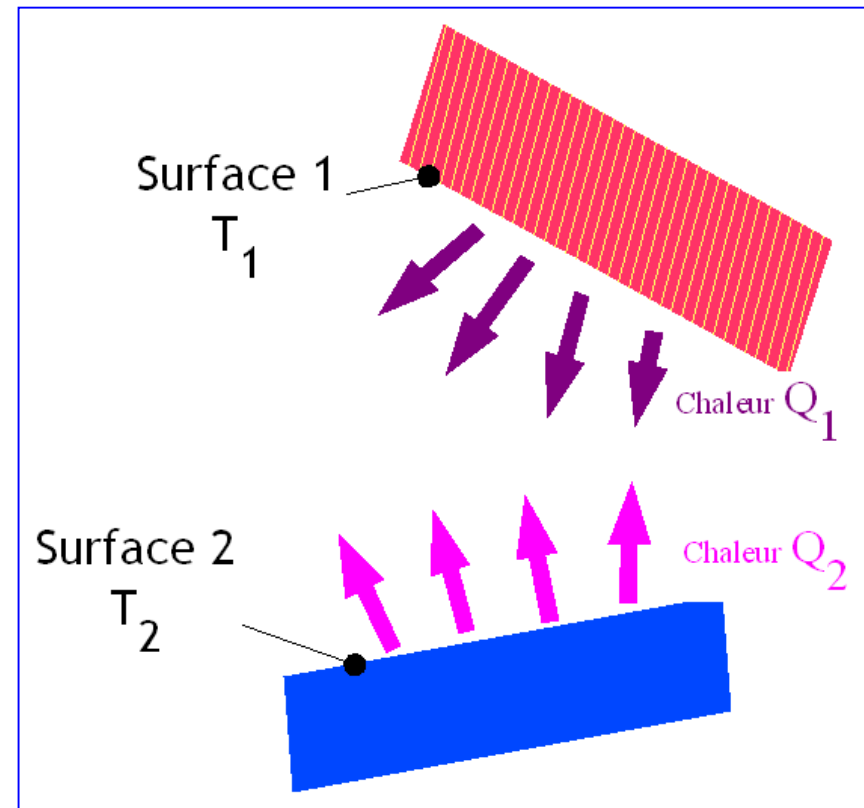


THERMOLYSE : RAYONNEMENT.

C'est la perte (ou le gain) de chaleur sous forme d'ondes infrarouges (énergie thermique).

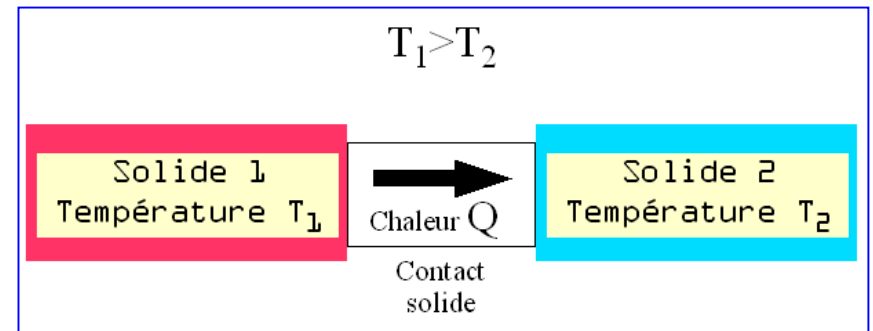
En condition normale, 50% de la déperdition de chaleur = rayonnement.

Le flux de l'énergie radiante va du plus chaud vers le plus froid en tendant à l'équilibre



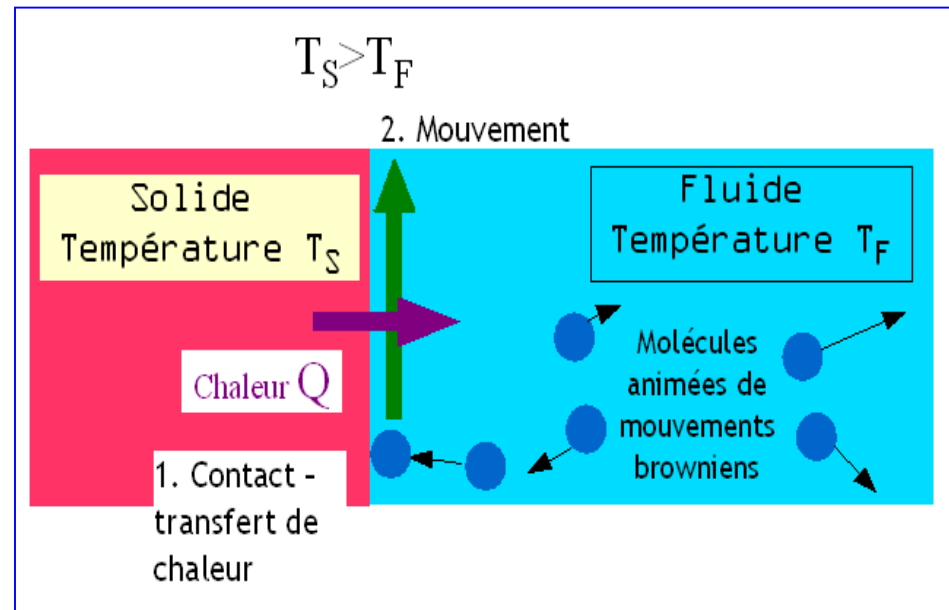
THERMOLYSE : CONDUCTION.

- ❑ Transfert de chaleur entre deux solides (ou deux milieux physiques) qui sont en contact direct l'un avec l'autre. Il faut donc un contact.
- ❑ L'énergie thermique se déplace dans un milieu matériel.
- ❑ Le transfert thermique est caractéristiques du milieu physique (conductance spécifique).



THERMOLYSE : CONVECTION.

- Échange de chaleur par l'intermédiaire d'un fluide en mouvement.
- Refroidissement de la peau... par le vent (ventilateur) ou par l'eau.
- Comme l'air chaud à tendance à s'élever, l'air réchauffé qui entoure le corps est continuellement remplacé par des molécules d'air plus froid.



Température équivalente (°C)
ressentie par le corps humain, en fonction
de la température ambiante et de la vitesse du vent.

Température (°C)	Vent (km/h)															
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
5	4	3	2	1	1	0	0	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-3	-3
0	-2	-3	-4	-5	-6	-6	-7	-7	-8	-8	-8	-9	-9	-9	-10	-10
-5	-7	-9	-11	-12	-12	-13	-14	-14	-15	-15	-15	-16	-16	-16	-17	-17
-10	-13	-15	-17	-18	-19	-20	-20	-21	-21	-22	-22	-23	-23	-23	-24	-24
-15	-19	-21	-23	-24	-25	-26	-27	-27	-28	-29	-29	-30	-30	-30	-31	-31
-20	-24	-27	-29	-30	-32	-33	-33	-34	-35	-35	-36	-36	-37	-37	-38	-38
-25	-30	-33	-35	-37	-38	-39	-40	-41	-42	-42	-43	-43	-44	-44	-45	-45
-30	-36	-39	-41	-43	-44	-46	-47	-48	-48	-49	-50	-50	-51	-51	-52	-52
-35	-41	-45	-48	-49	-51	-52	-53	-54	-55	-56	-57	-57	-58	-58	-59	-60
-40	-47	-51	-54	-56	-57	-59	-60	-61	-62	-63	-63	-64	-65	-65	-66	-67
-45	-53	-57	-60	-62	-64	-65	-66	-68	-69	-69	-70	-71	-72	-72	-73	-74
-50	-58	-63	-66	-68	-70	-72	-73	-74	-75	-76	-77	-78	-79	-80	-80	-81

THERMOLYSE : ÉVAPORATION.

- L'évaporation de 1l. d'eau nécessite 580 kcal (soit 1/3 du métabolisme de l'homme au repos complet, ou métabolisme basal). Ces 580 kcal servent simplement à faire passer l'eau de l'état liquide à l'état gazeux (chaleur latente de vaporisation de l'eau). L'eau pour changer d'état et s'évaporer, emprunte des "calories" à la peau qui se refroidit.
- Mécanisme est opérationnel quelle que soit la température ambiante puisqu'il dépend uniquement de la température de la peau.
- Plus l'atmosphère est humide plus l'évaporation est réduite. Elle devient nulle si l'air est saturé en vapeur d'eau ($U = 100\%$).

SPECIFICITÉ DE L'IMMERSION

- Pertes par convection et par conduction.
 - ▣ Conductivité thermique de l'eau X 25
 - ▣ Capacité thermique spécifique (chaleur massique) X 4



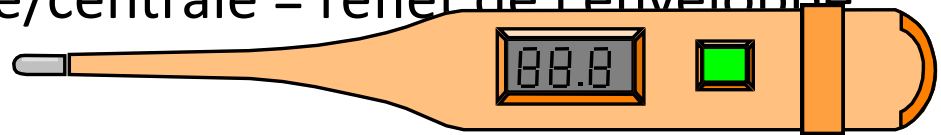
MESURE DE LA TEMPERATURE

□ TEMPERATURE CENTRALE

- ▣ Buccale
- ▣ Rectale
- ▣ Œsophagienne
- ▣ Tympanique

□ TEMPERATURE PERIPHERIQUE

- ▣ Cutanée moyenne
- ▣ différence périphérie/centrale = reflet de l'enveloppe



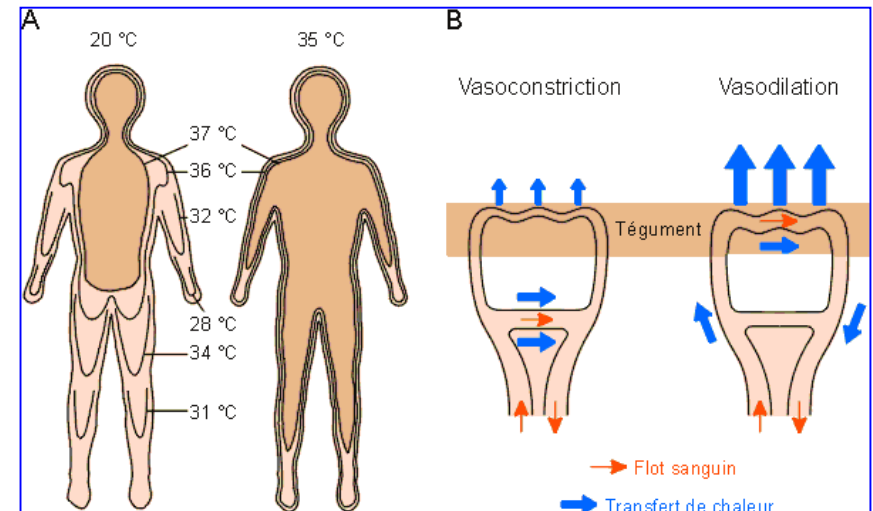
HOMEOTHERMIE.

- ❑ Rôle de la peau et du tissu sous cutané
- ❑ Rôle du système nerveux périphérique et central
- ❑ Rôle du système endocrinien

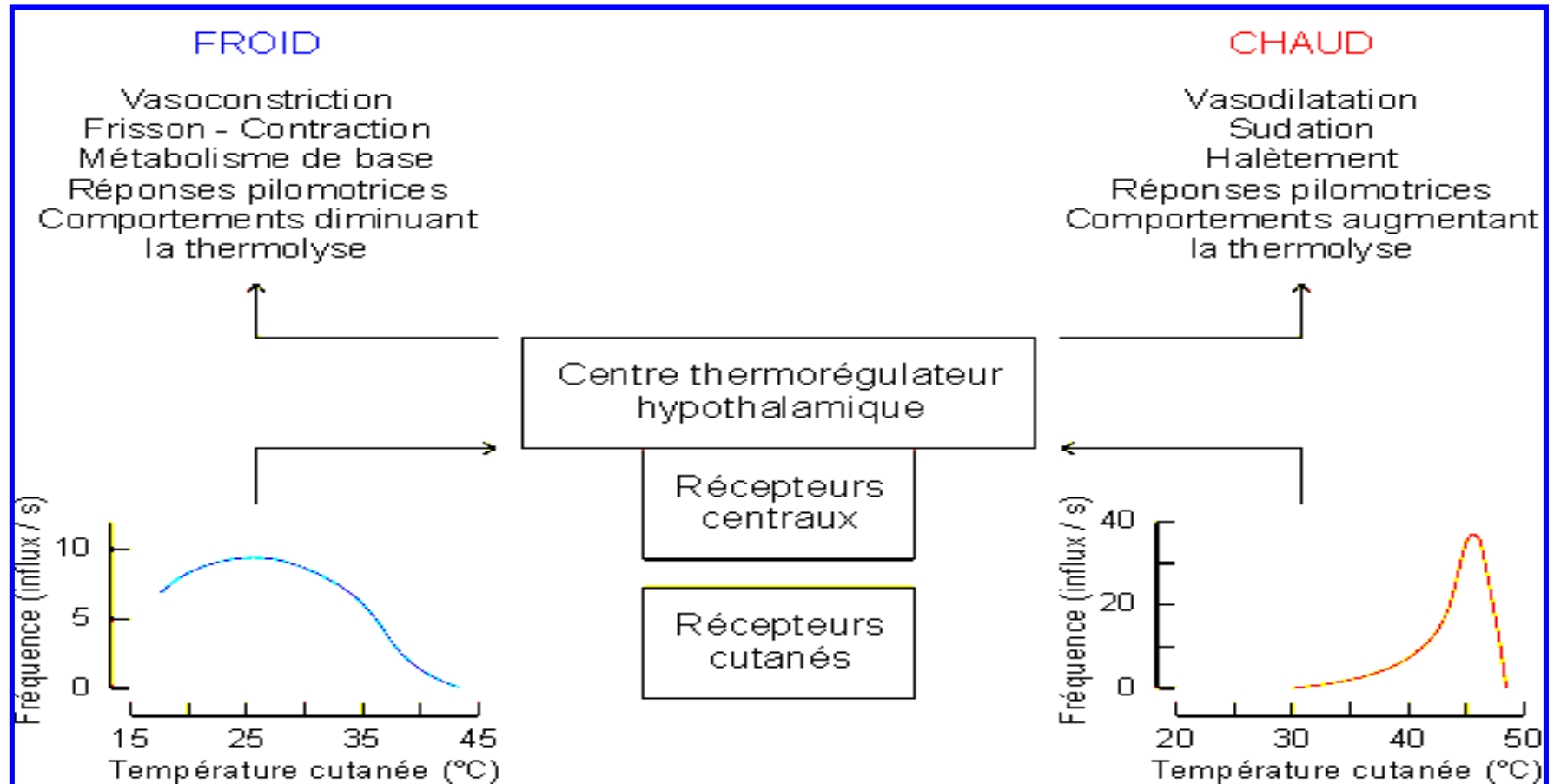


RÔLE DE LA PEAU ET DU TISSU SOUS CUTANÉ.

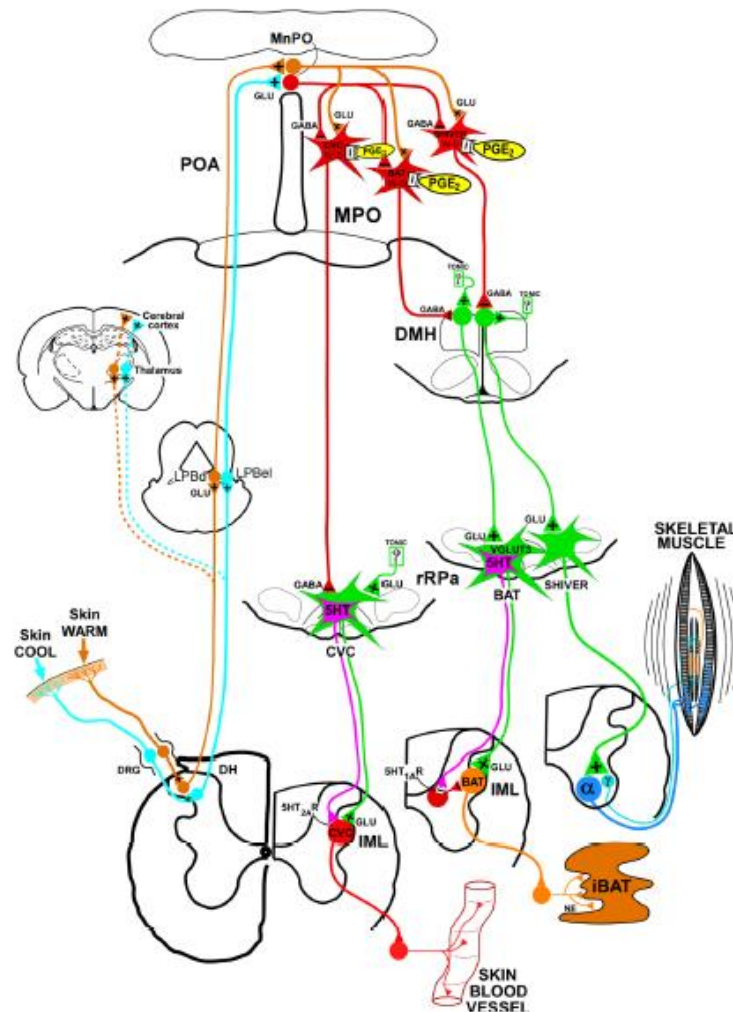
- Circulation cutanée
 - = échangeur thermique.
- Tissu sous-cutané
 - = Isolant thermique.
- Pertes thermiques
 - crane, face axes vasculaires



REPONSES THERMOREGULATRICES.



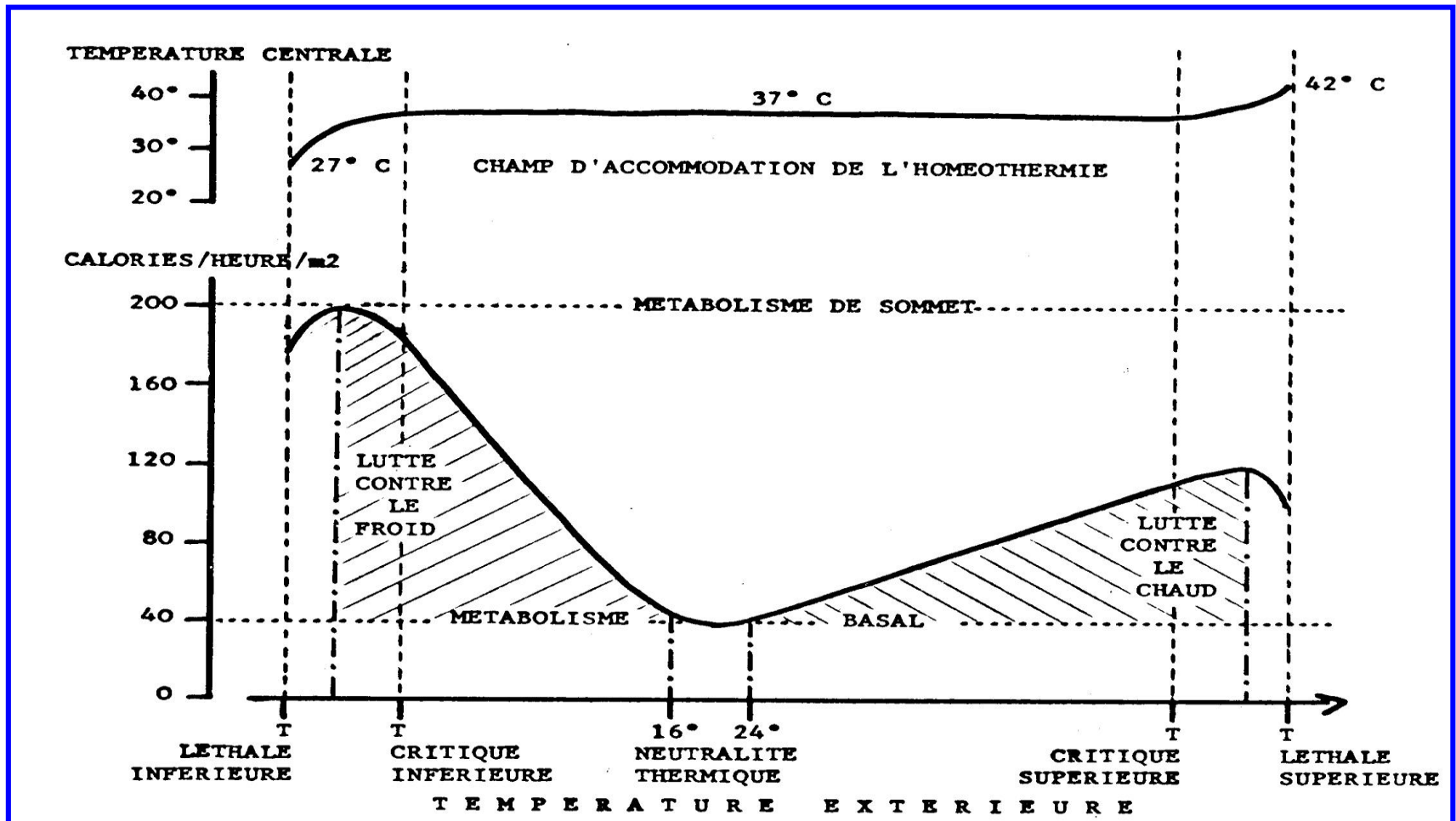
RÔLE DU SYSTÈME NERVEUX PÉRIPHÉRIQUE ET CENTRAL.



ADAPTATION CARDIOVASCULAIRE AUX VARIATIONS THERMIQUES.

- Adaptation cardio vasculaire à la chaleur.
 - ▣ Élévation du Q_c
 - ▣ Hypotension
 - ▣ Vasodilatation active et passive
 - ▣ Nécessité de maintenir une volémie élevée
- Adaptation cardio vasculaire au froid.
 - ▣ Vasoconstriction
 - ▣ Hypertension (au début)
 - ▣ Baisse du débit cardiaque et de la volémie
 - ▣ Baisse de l'inotropisme

THERMORÉGULATION ET DEPENSES ÉNERGETIQUES.



PHYSIOPATHOLOGIE ET LÉSIONS INDUITES PAR LES VARIATIONS THERMIQUES.

- Tcorp ↗, vitesse des réactions chimiques ↗
- Tcorp ↗ ↗ ↗, dénaturation des protéines enzymatiques et structurales + activité des neurones du SN ↘ ↘
- Tcorp > 41°C, risque de convulsions
- Tcorp = 43°C, limite absolue pour la survie
- Séquelles en cas de récupération
- Tcorp ↘, métabolisme ↘
- Limite létale ≈ 25°C
- Pas (ou peu) de séquelle en cas de récupération

ADAPTATION ET ACCLIMATATION.

- Adaptation différente au stress à la chaleur et au froid.
- Facteurs génétiques ??
 - Répartition et type de tissus adipeux
- Adaptations métaboliques et endocriniennes.
- Protéines de stress (anoxie, froid, osmotique..)



HYPOTHERMIES.

Hypothermies à défenses maximales.

- Adulte jeune non traumatisé sans pathologie préexistante
 - Alpiniste perdu
 - « Homme à la mer »

Hypothermies à défenses diminuées.

- Très jeune enfant
- Vieillard
- Intoxication
 - Alcool
- Thérapeutiques
- Dénutrition
- Traumatismes
- Coma
- Anesthésie générale

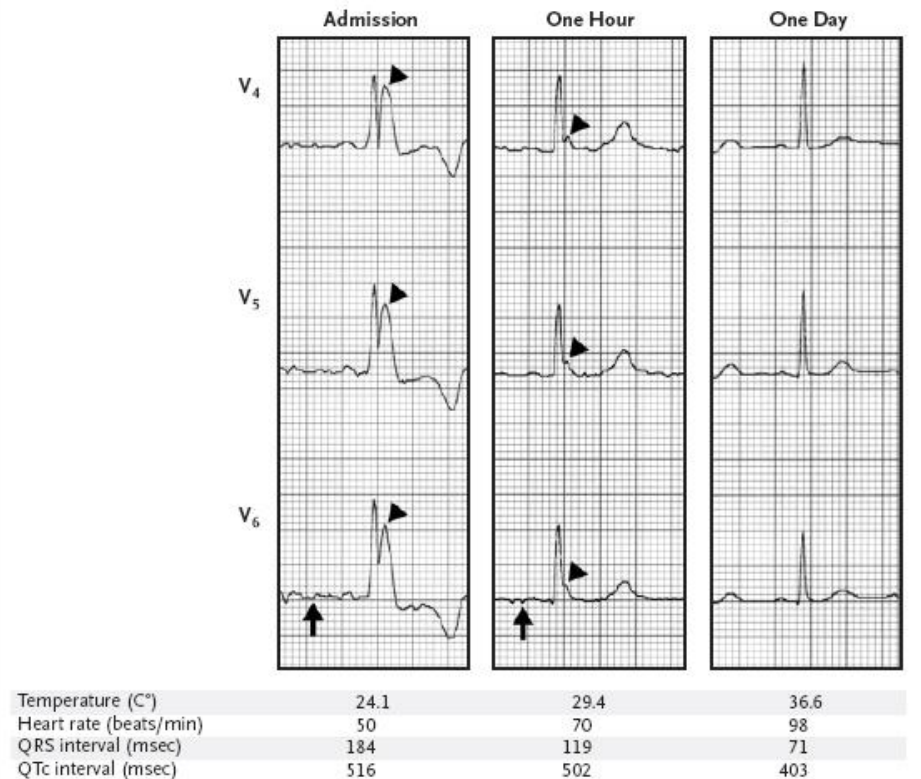
HYPOTHERMIE.

- Hypothermie légère.
 - ▣ 35 à 32 °C
- Hypothermie moyenne.
(modérée)
 - ▣ 32 à 28 °C
- Hypothermie sévère.
 - ▣ < 28 °C



CONSÉQUENCES DE L'HYPOTHERMIE SUR LES GRANDES FONCTIONS PHYSIOLOGIQUES.

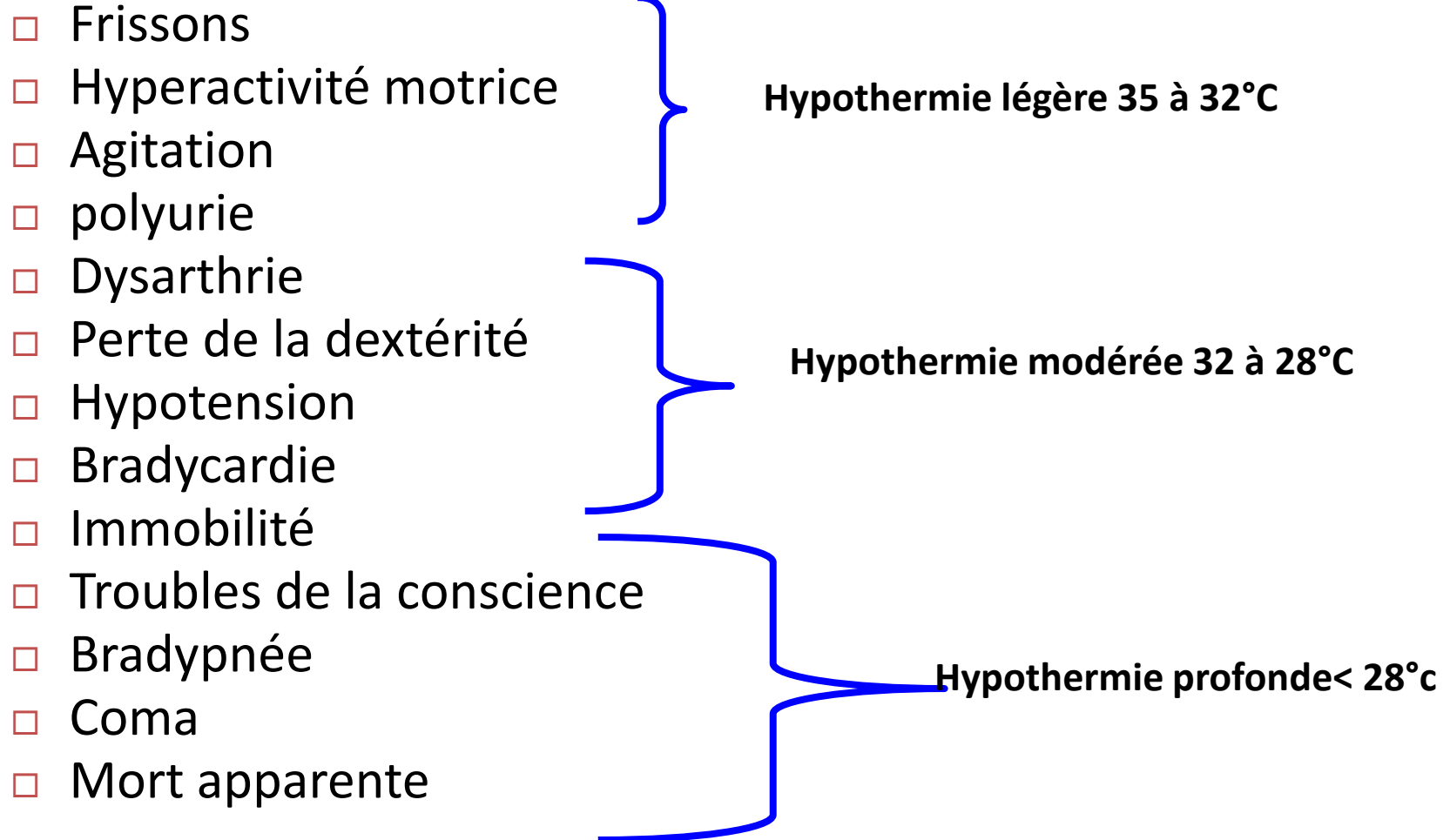
- Métabolisme de base
 - Baisse du MB
 - VO_2 ↘ VCO_2 ↘
- Système cardiovasculaire
 - Hypothermie légère: tachycardie hypertension
 - Hypothermie modérée : bradycardie , baisse de Qc
 - Chute de l'inotropisme
 - Baisse de la compliance
 - Seuil arythmogène ↘
- Système musculaire
 - Baisse rapide de la dextérité et de la tactilité périphérique
 - Baisse rapide de la capacité musculaire



CONSÉQUENCES DE L'HYPOTHERMIE SUR LES GRANDES FONCTIONS PHYSIOLOGIQUES.

- ❑ Système nerveux central.
 - ▣ Dépression linéaire du métabolisme cérébral
- ❑ Système respiratoire.
 - ▣ Diminution de la ventilation alvéolaire
 - ▣ Diminution de l'activité mucociliaire
 - ▣ Diminution de la toux
 - ▣ Perte des réflexes protecteurs pharyngolaryngés
- ❑ Milieu intérieur et coagulation.
 - ▣ Acidose métabolique
 - ▣ Déshydratation et hémococoncentration
 - ▣ Hypercoagulabilité coagulopathie
- ❑ Effets pharmacologiques.

SIGNES CLINIQUES.



EVOLUTION DE L'IMMERSION EN EAU FROIDE.

- Réaction à l'immersion.
 - ▣ 3 à 5 min
- Épuisement à la nage.
 - ▣ 5 à 30 min
- Hypothermie.
 - ▣ >30 min
- Défaillance post sauvetage.
- Complications secondaires.

RÉACTION INITIALE À L'IMMERSION EN EAU FROIDE.

- ❑ Hyperventilation.
- ❑ Réflexe de plongée.
- ❑ Augmentation du volume intra pulmonaire.
- ❑ Tachycardie.
- ❑ Hypertension.
- ❑ Augmentation brutale de la post charge VG.
- ❑ Chute du débit cardiaque.



EPUISEMENT À LA NAGE.

- ❑ Eau froide $<16^{\circ}\text{C}$
- ❑ Victimes sachant nager
- ❑ Pas d'hypothermie installée
- ❑ Réactions d'immersion
- ❑ Défaillance musculaire



EPUISEMENT À LA NAGE.

- *43 % des victimes se trouvaient à moins de 2 mètres de la rive ou d'un lieu sûr et 66 % étaient à moins de 15 mètres*
- *32 % savaient bien nager*
- *60 % se sont noyés dans de l'eau à moins de 10 degrés
34 % dans de l'eau entre 10 et 20 degrés*
- *28 % des victimes sont tombées où ont été jetées par-dessus bord
48 % se trouvaient dans un bateau qui a chaviré ou a été submergé*

PHASE D'HYPOTHERMIE INSTALÉE : FACTEURS D'INSTALLATION

- ❑ Écart de température
- ❑ Isolation assurée par les vêtements
- ❑ Rythme d'agitation de l'eau
- ❑ Production de chaleur par le corps par le biais de frissons et de l'exercice
- ❑ Rapport entre la masse corporelle et la surface de contact
- ❑ Épaisseur du tissu adipeux sous-cutané
- ❑ Condition physique
- ❑ Alimentation du sujet avant l'immersion
- ❑ Comportement physique et posture corporelle dans l'eau

Température en °C	Hypothermie installée	Survie espérée moyenne
0	15 minutes	15 à 30 minutes
0 à 4	15 à 30 minutes	30 à 90 minutes
4 à 10	30 à 60 minutes	1 à 3 heures
10 à 16	1 à 2 heures	2 à 6 heures
16 à 21	2 à 7 heures	4 à + de 24 heures
21 à 27	3 à 12 heures	6 à + 48 heures
> 27		

DÉFAILLANCE POST SAUVETAGE :

"AFTER DROP “.

- ❑ Défaillance cardiaque ou arrêt cardio circulatoire contemporain ou à bref délai du sauvetage.
- ❑ Troubles du rythme.
- ❑ Reperfusion trop rapide.
 - ▣ Hypovolémie
 - ▣ Chute du retour veineux
- ❑ Intérêt de la médicalisation précoce des secours

HYPOTHERMIE ET ARRET CARDIOCIRCULATOIRE POST IMMERSION

- ❑ Élément de protection et amélioration du pronostic
- ❑ Arrêt après immersion en eau froide $< 15^{\circ}\text{C}$
- ❑ Hypothermie avant l'arrêt $\neq$ hypothermie après l'arrêt
- ❑ Poursuite de la réanimation
- ❑ Respecter une hypothermie après récupération d'une activité cardiaque

TRAITEMENT



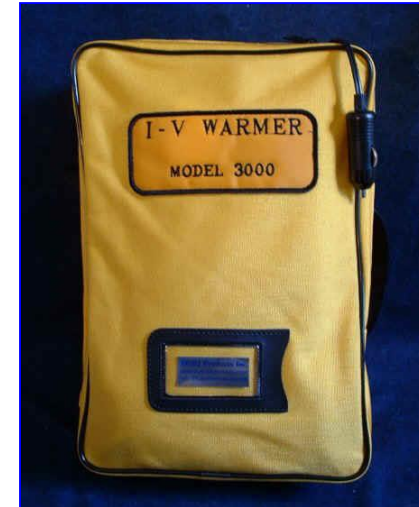
- ❑ Extraction de la victime
- ❑ Mise en sécurité
- ❑ Réchauffement Externe
- ❑ Réchauffement Interne
- ❑ Réanimation
 - ▣ Respiratoire
 - ▣ cardiocirculatoire

RECHAUFFEMENT EXTERNE.

- Sécher
- Protéger
- Eviter toute nouvelle pertes thermiques
- Danger du réchauffement périphérique brutal
 - Pas de bain chaud
 - De convection forcée
 - De friction

RECHAUFFEMENT INTERNE ACTIF.

- ❑ Réchauffement de l'air insufflé
- ❑ Réchauffement des solutés de remplissage
- ❑ Réchauffement digestif
- ❑ Hémodialyse
- ❑ CEC avec ou sans AC
 - Abord fémoro-fémoral
 - Veino-veineux
 - Artério-veineux
 - 2 à 3 l.mn
 - Sang à 38°C à 40°C
- ❑ Dialyse péritonéale
- ❑ Réchauffement pleural



PRISE EN CHARGE MEDICALE

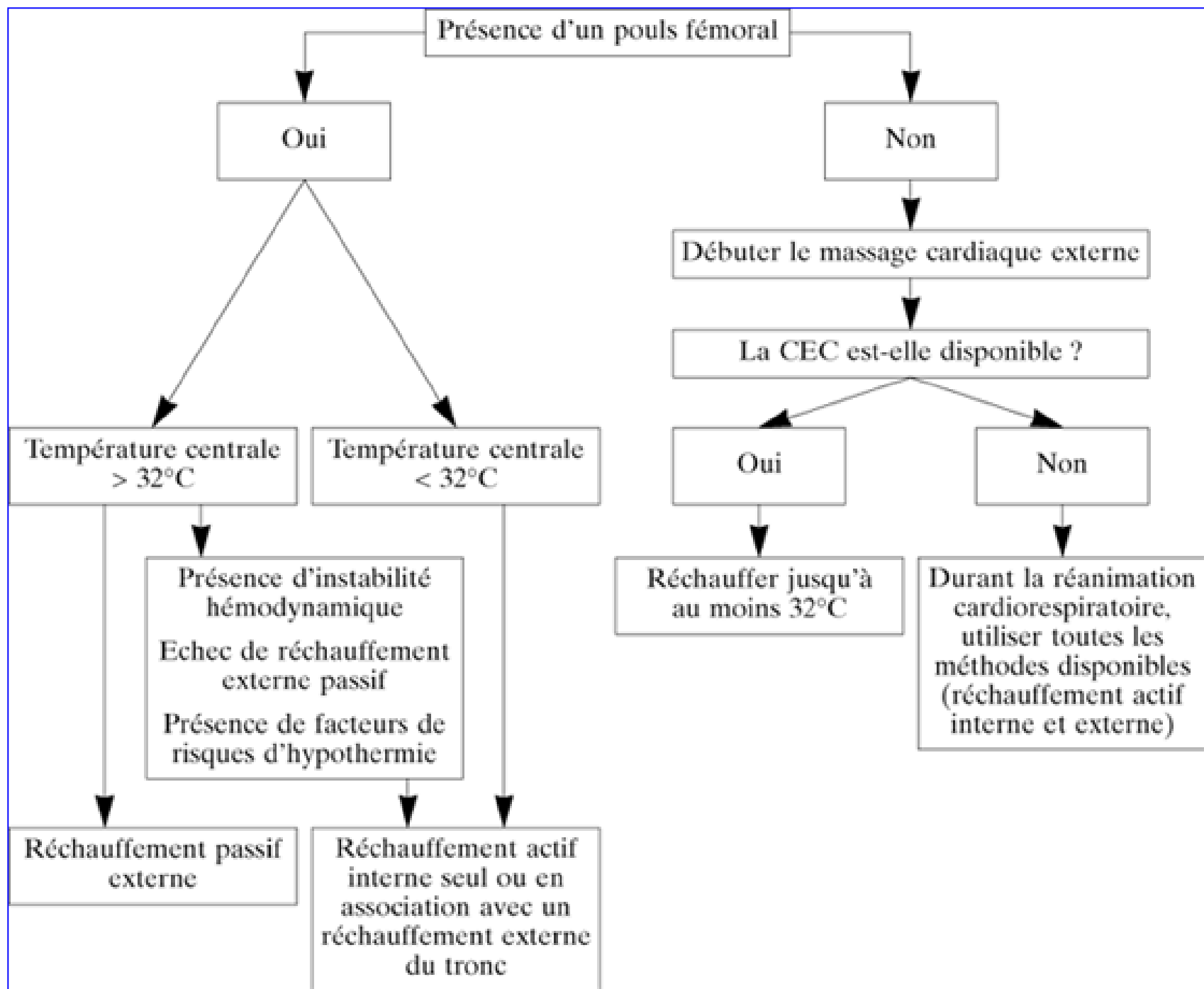
- Préhospitalière
 - ▣ Mise en sécurité
 - ▣ Réchauffement passif
 - ▣ Prise en charge d'un ACR et des troubles du rythme
 - ▣ Oxygénothérapie
 - Réchauffée
 - ▣ Perfusion cristalloïdes
 - Réchauffée
- Hospitalière
 - ▣ Ventilation Artificielle.
 - ▣ Assistance circulatoire

Table 2. Staging and Management of Accidental Hypothermia.*

Stage	Clinical Symptoms	Typical Core Temperature†	Treatment
HT I	Conscious, shivering	35 to 32°C	Warm environment and clothing, warm sweet drinks, and active movement (if possible)
HT II	Impaired consciousness, not shivering	<32 to 28°C	Cardiac monitoring, minimal and cautious movements to avoid arrhythmias, horizontal position and immobilization, full-body insulation, active external and minimally invasive rewarming techniques (warm environment; chemical, electrical, or forced-air heating packs or blankets; warm parenteral fluids)
HT III	Unconscious, not shivering, vital signs present	<28 to 24°C	HT II management plus airway management as required; ECMO or CPB in cases with cardiac instability that is refractory to medical management
HT IV	No vital signs	<24°C	HT II and III management plus CPR and up to three doses of epinephrine (at an intravenous or intraosseous dose of 1 mg) and defibrillation, with further dosing guided by clinical response; rewarming with ECMO or CPB (if available) or CPR with active external and alternative internal rewarming

* Hypothermia may be determined clinically on the basis of vital signs with the use of the Swiss staging system.¹⁰ CPB denotes cardiopulmonary bypass, CPR cardiopulmonary resuscitation, and ECMO extracorporeal membrane oxygenation.

† Measurement of body core temperature is helpful but not mandatory. The risk of cardiac arrest increases as the core temperature drops below 32°C and increases substantially if the temperature is less than 28°C.^{12,13} To convert values for temperature to degrees Fahrenheit, multiply by 9/5 and add 32.



PRÉVENTION.

- ❑ Vêtements.
- ❑ Positions et attitudes dans l'eau.
- ❑ Le port des gilets de sauvetage.
- ❑ Les protections d'immersion.



PRÉVENTION.



CAPTAIN STONE'S PATENT LIFE SAVING APPARATUS
NO. 20, VOL IX



APPLICATION AUX VÊTEMENTS DE PROTECTION ET COMBINAISONS DE SURVIE.

Combinaison sèches.

- Gr I
 - ▣ Combinaisons à port constant
 - 0.25 à 0.75 Clo
- Gr II
 - ▣ Combinaisons flottantes en cas de naufrage
 - 0.75 Clo
- Gr III
 - ▣ Combinaisons d'immersions intégrées
 - 0.75 à 1.5 Clo

Le **clo** est une unité mesurant l'isolation thermique utilisée pour les vêtements

$$1 \text{ clo} = 0,155 \text{ K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$$

C'est l'isolation qui permet à une personne au repos de maintenir l'équilibre thermique dans une atmosphère à 21 °C (70 °F).

Au-dessus, la personne transpire, en dessous, elle ressent le froid.

On utilise aussi le **togs**

$$1 \text{ togs} = 0,1 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W} \approx 0,645 \text{ cl}$$

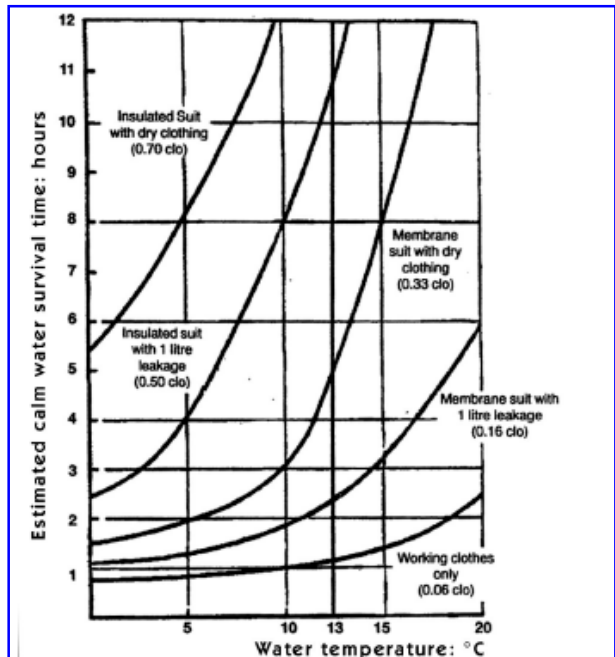
$$1 \text{ clo} = 1,55 \text{ togs}$$



Combinaisons d'immersion

La règle III/32.3 de la SOLAS entrée en vigueur le 1er juillet 2006, impose une dotation à bord des navires, en combinaisons d'immersion additionnelles pour chaque membre d'équipage.

Les combinaisons doivent être un équipement normalisé et disponible dans différentes tailles pour les membres d'équipage, les élèves stagiaires, y compris les personnes et enfants embarqués.



Estimated Calm Water survival... = Estimation de la durée de survie en eau calme : heures

Insulated Suit with dry clothing... = Combinaison doublée avec sous-vêtements secs (0,70 clo)

Membrane suit with dry... = Combinaison légère avec sous-vêtements secs (0,33 clo)

Insulated suit with 1 litre leakage = Combinaison doublée avec infiltration d'un litre d'eau (0,50 clo)

Membrane suit with 1 litre leakage = Combinaison légère avec infiltration d'un litre d'eau (0,16 clo)

PROTECTION THERMIQUE EN PLONGÉE

- Vêtement à isolement passif
 - Combinaisons humides
 - Néoprène alvéolé
 - Ajusté (↘ circulation de la couche d'eau)
 - Perte d'efficacité avec la compression
 - Combinaisons sèches étanches
 - +/- vêtements chauds
 - Gestion du volume gazeux
- Vêtement à protection active
 - Généralement de type humide
 - Circuit d'eau chaude de type ouvert à 38°C
 - Habits secs avec résistances électriques incorporées
 - Système de production de chaleur électrique avec batteries (armée)



CONTRÔLE THERMIQUE VENTILATOIRE

- Equipements passifs :
 - Appareils avec mélanges binaires ou ternaires et recyclage des gaz expirés, réchauffement par la chaux sodée
- Equipements actifs :
 - Réchauffement électrique
 - Réchauffement par eau chaude

