

# COUP DE CHALEUR D'EXERCICE

Du diagnostic à la prise en charge

Dr Pascal LE NABAT  
PH Urgences et UF médecine du sport  
Centre Hospitalier Ouest Réunion



**Pas de conflit d'intérêt**

# CAS CLINIQUE

Athènes

490 av JC. Mois d'aout ou septembre selon les sources.

Euclès ou Philippides selon les versions.

Le patient annonce la victoire de la bataille de Marathon contre les Perses après avoir couru la distance de 42km jusqu'à Athènes.

Puis tombe mort « encore fumant du sang du sang de ses ennemis »

Pas de réa. Déclaré décédé peu après son arrivée.

## DIAGNOSTIC PROBABLE: COUP DE CHALEUR D'EXERCICE



# CAS CLINIQUE

Ile de la Réunion

2017 ap JC, Février, Eté austral

Trail de 27km 1500m de dénivelé, 1500 participants

Grand beau temps, Température 35°, Humidité 77%, Pas de vent

Au 23<sup>e</sup> km vers 11h00, direction de course alertée pour un coureur titubant au bord du chemin, hors accès routier

Déclenchement pédestre du dispositif médical de la course.

Deuxième alerte pour le même coureur prostré et confus, puis présentant des troubles de conscience

Déclenchement d'une intervention SMUR hélicoptérée

A l'arrivée conjointe des secours, état de mal convulsif

Température rectale 42°C

ACR décès sur place

**DIAGNOSTIC COUP DE CHALEUR D'EXERCICE**



# DEFINITIONS

Plusieurs définitions

Classiquement, le coup de chaleur d'exercice se définit cliniquement par une **élévation de la température corporelle centrale au dessus de 40°C** accompagnée de **manifestations neurologiques** dans un **contexte d'effort physique**

Physiologiquement Hyperthermie > 40°C survenue dans un contexte d'effort, associée à un syndrome inflammatoire systémique entraînant des défaillances multiviscérales

Les conditions environnementales n'entrent pas dans la définition


Plusieurs variantes nosologiques et nomenclaturées

Hyperthermie maligne d'effort, Coup de chaleur d'exercice, Epuisement hyperthermique à l'effort, coup de chaleur, hyperthermie maligne anesthésique, pathologies d'exposition à la chaleur

Le coup de chaleur d'exercice représente la complication la plus sévère des pathologies hyperthermiques liées à l'effort



## PATHOLOGIES LIEES A LA CHALEUR (Heat Illness)

CONTEXTE D'EFFORT			PAS DE CONTEXTE D'EFFORT
<b>EPUISEMENT HYPERTHERMIQUE D'EFFORT (Heat exhaustion)</b>	<b>ACCIDENT HYPERTHERMIQUE D'EFFORT (Heat Injury)</b>	<b>COUP DE CHALEUR D'EXERCICE (Hyperthermie maligne d'effort, Heat Stroke)</b>	<p><b>Exposition passive à la chaleur, Canicule.</b> Ages extrêmes Comorbidités</p> <p><b>Hyperthermie maligne d'origine médicamenteuse</b></p>
<p style="text-align: center;">Epuisement Inconfort Crampes Céphalées vertiges Troubles digestifs fonctionnels Température centrale inconstamment élevée &lt; 40°</p> <p style="text-align: center;">Pas de trouble neurologique Pas de complication viscérale Amélioration rapide à l'arrêt de l'effort</p>	<p style="text-align: center;">Idem + Dysfonction d'organes</p> <p style="text-align: center;">Sans trouble neurologique</p>	<p style="text-align: center;">Idem + Dysfonctionnement d'organes + Troubles neurologiques + Température centrale &gt; 40°</p>	
			

# EPIDEMIOLOGIE

1,2 à 2,5/100000 en incidence globale. Difficilement évaluable compte tenu de la variabilité des formes cliniques et des populations étudiées

[5] Nelson NG, Collins CL, Comstock RD, McKenzie LB. Exertional heat-related injuries treated in emergency departments in the U.S., 1997-2006. Am J Prev Med 2011;40:54-60.

4,42 /100000 en football américain (facteurs combinés incluant l'intensité de l'exercice et les tenues vestimentaires)

33,9/100000 militaires. Population ciblée. Recensement bien codifié en milieu militaire (Sources CESPA Centre d'épidémiologie et de santé publique des armées)

Incidence en diminution dans les forces armées françaises manifestement en lien avec les protocoles de sensibilisation, de prévention et de prise en charge bien structurés

Incidence peu étudiée en milieu civil manifestement en hausse, en lien avec l'augmentation des pratiques sportives, le changement des conditions climatiques et une insuffisance et moins bonne connaissance qu'en milieu militaire.

Incidence influencée par les conditions environnementales mais pathologies pouvant aussi survenir en climat tempéré.

Mortalité historique très haute de 20% en 1980 ramenée à 2% (progrès en diagnostic et prise en charge)

# EPIDEMIOLOGIE

**Falmouth Road Race** (11,3km Massachusetts fin Aout, 10000 participants/an)

Etude rétrospective sur 8 ans (plus forte base de données civiles sur les CCE)

419 Heat Illness: 4,83/1000

239 Heat Exhaustion: incidence 2,76/1000

180 Heat Strokes: Incidence 2,07/1000

Forte corrélation avec l'indice WBGT avec pic de 3,2 pour 1000 lors des années les plus chaudes

**Dispositif médical impressionnant avec 30 baignoires d'eau froide et 100 lits de traitement sur 4 tentes médicales**

**Survie de 100%**



## Exertional Heat Stroke Survival at the Falmouth Road Race: 180 New Cases With Expanded Analysis

Rebecca L. Stearns, PhD, ATC\*; Yuri Hosokawa, PhD, ATC†;

*Journal of Athletic Training* 2024;59(3):304–309  
doi: 10.4085/1062-6050-0065.23

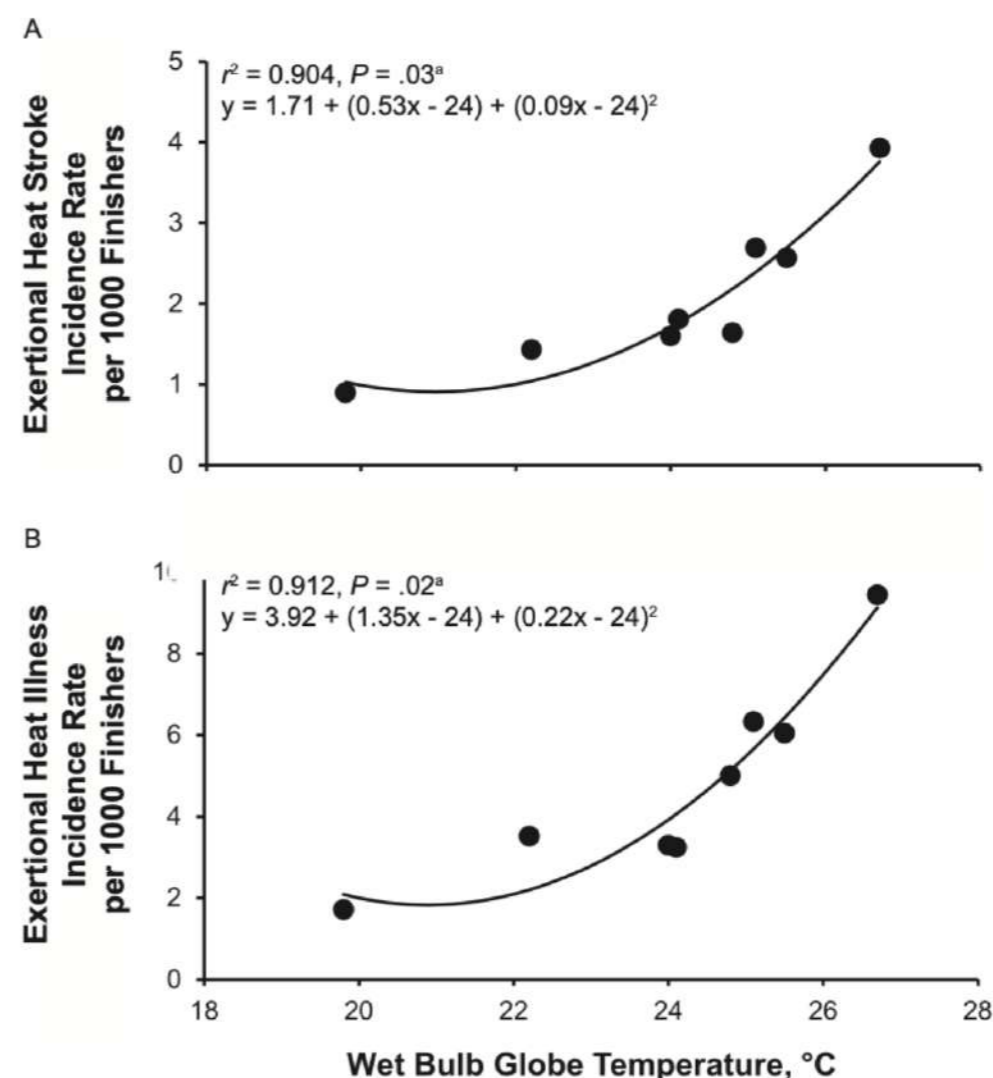


Figure 2. Correlation with exertional heat illness and wet bulb globe temperature, Falmouth Road Race, 2012–2019. (A) Correlation of exertional heat stroke cases and wet bulb globe temperature. (B) Correlation of exertional heat illness cases and wet bulb globe temperature.

<sup>a</sup>Indicates a difference ( $P < .01$ ).

# EPIDEMIOLOGIE REUNION

Travail rétrospectif observationnel multicentrique sur 3 ans (2014 à 2017)

50 cas

. 9 répondant aux critères de Heat stroke

. 41 heat Heat illness

Sur les 9 Heat Strokes 1 décès en course, 1 forme compliquée avec EER, 7 améliorations en 24 heures

22% résidents métropolitains

Mesures de refroidissement pré-hospitalières 4% (2 patients)

14% ont reçu du Paracétamol

79% sortis après passage au SAU

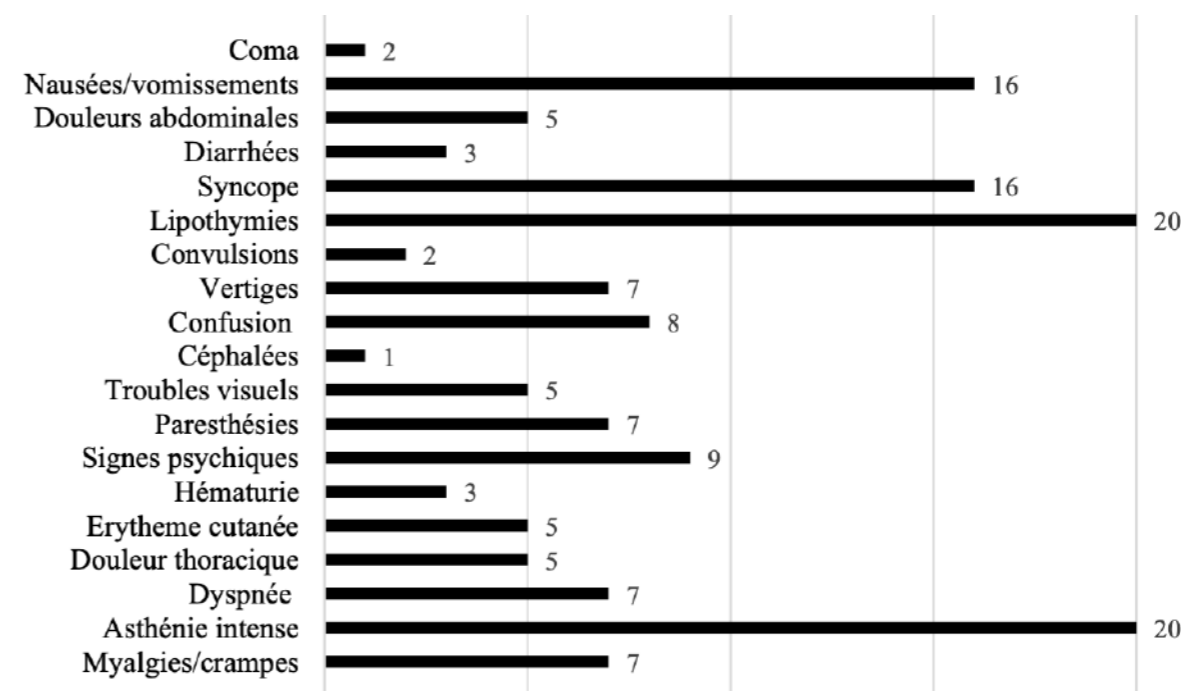
11% hospitalisés (1 USC, 1 Cardio 8 UHCD)

Tableau 6 – Prise en charge d'une pathologie d'effort liée à la chaleur à la Réunion entre 2014 et 2017 : mesures thérapeutiques et orientation après le SAU.

Mesures thérapeutiques	n=50
Refroidissement	2 (4)
Hydratation intraveineuse	18 (36)
Hydratation <i>per os</i>	18 (36)
Intubation oro-trachéale	2 (4)
Paracétamol	7 (14)
Amines vasopressives	2 (4)
Orientation au SAU	n=49
Retour à domicile	39 (79,6)
Hospitalisation	10 (20,4)
Durée d'hospitalisation (heure)	24 [24-24]

Tableau 1 - Caractéristiques des patients inclus pour pathologie d'effort liée à la chaleur à La Réunion de 2014 à 2017.

	n = 50
Coup de chaleur d'exercice	9 (18)
Pathologies d'exercice légère à modérée liées à la chaleur	41 (82)
Sexe masculin	30 (60)
Age (années)	37 [30-54]
Maladies chroniques	14 (28)
Hypertension artérielle	6 (12)
Dyslipidémie	1(2)
Epilepsie	1 (2)
Maladie de Parkinson	2 (4)
Asthme	1 (2)
Dysthyroïdie	5 (10)
Syndrome dépressif	1 (2)
Prise médicamenteuse	11 (22)
Pratique sportive régulière	18 (36)
Mauvaise hydratation	9 (18)
En vacances à La Réunion	11 (22)
Résident à la Réunion	39 (78)
Syndrome infectieux récent	6 (12)
Episode viral respiratoire	2 (4)
Episode de gastro-entérite	2 (4)
Infection cutanée	2 (4)
Course à pied en compétition	18 (36)
Course à pied loisir ou randonnée en montagne	32 (64)



# EPIDEMIOLOGIE REUNION

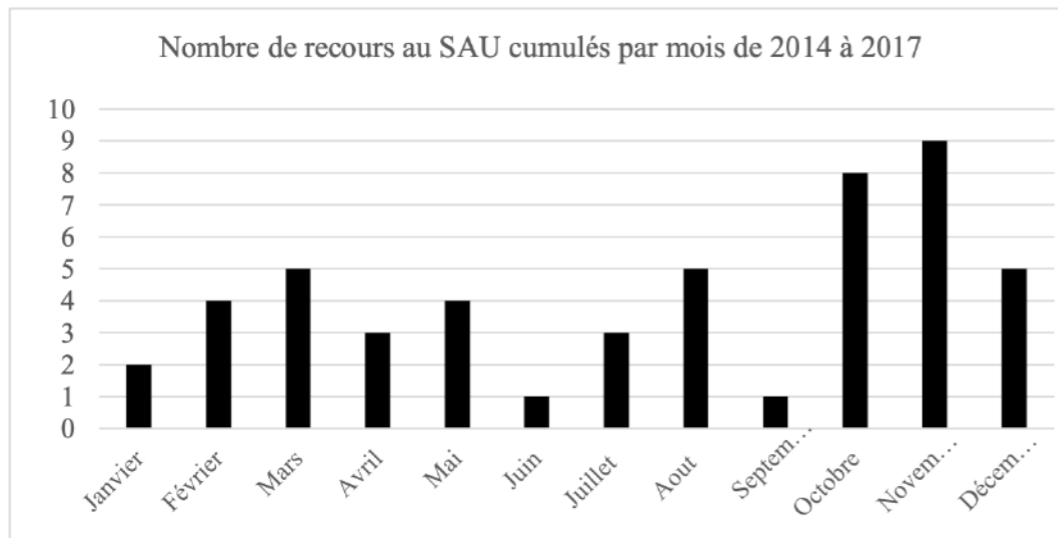


Figure 3 – Nombre de recours mensuel au SAU pour une pathologie d’effort liée à la chaleur de 2014 à 2017, à la Réunion.

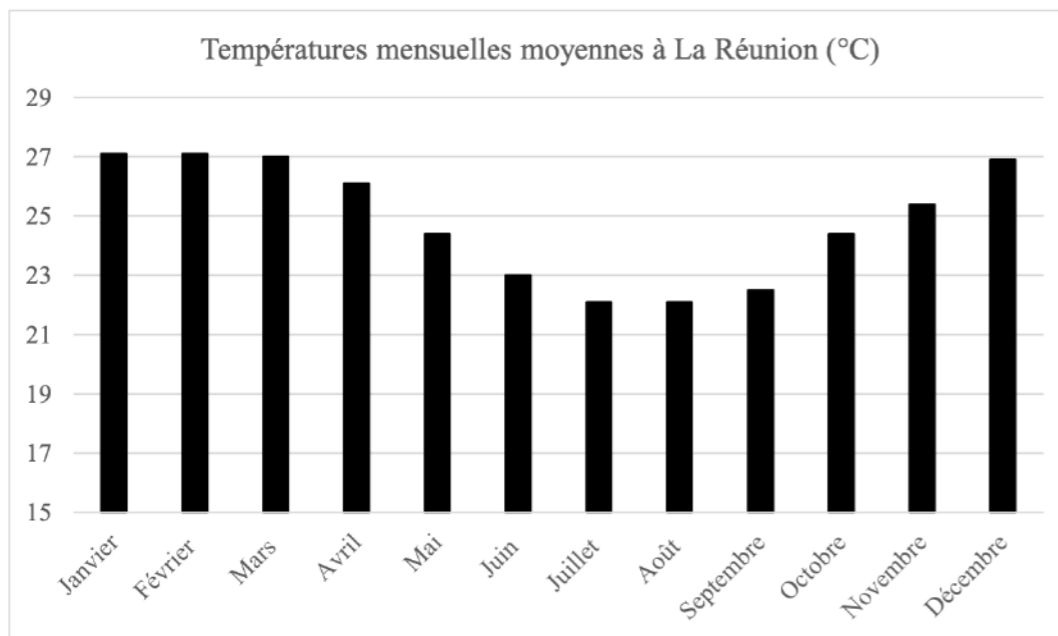


Figure 4 - Températures mensuelles moyennes à la Réunion de 2014 à 2017.

Tableau 5 - Hygrométrie moyenne de 2014 à 2017 à La Réunion (%)

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
2014	77	74	72	71	70	66	68	67	67	71	71	73
2015	78	77	76	74	73	73	66	68	68	68	68	69
2016	72	76	73	73	67	69	69	71	67	72	71	69
2017	67	77	75									
%	<b>73,5</b>	<b>76</b>	<b>74</b>	<b>72,7</b>	<b>70</b>	<b>69,3</b>	<b>67,7</b>	<b>68,7</b>	<b>67,3</b>	<b>70,3</b>	<b>70</b>	<b>70,3</b>

# EPIDEMIOLOGIE

## Etude multicentrique COUDCHO

En cours

Rétrospective Données de soins à partir de l'analyse de dossier patients admis en Réa ou Déchocage pour CCE et présentant au moins une défaillance d'organe Entre Janvier 2014 et Octobre 2024

Pilotée par CHU Toulouse


Résultats en attente

## Etude HEAT RUN

En cours (Thèse Margaux Rahain, DESMU)

Prospective, multicentrique

Etude de prévalence sur les CCE à la Réunion



# Coup de chaleur d'exercice

Taleen Boucher, Baptiste Compagnon, Benjamin Chousterman, Fanny Vardon pour le Comité Réanimation de la SFAR

## HYPERTHERMIE MALIGNE D'EFFORT - HEATSTROKE

COHORTE SUIVIE PAR LE RESEAU RECHERCHE SFAR : ETUDE COUDCHO

### 1ère ligne SECOURS EXTRA-HOSPITALIERS

**1. REPÉRER** la population à risque<sup>(1)</sup>

- Exposition à la chaleur
- Effort physique
- Hygrométrie élevée

Tenue inadaptée (travailleurs BTP, militaires...)

Polymédication, Toxiques (neuroleptiques, alcool...)

**2. DIAGNOSTIQUER** précocement

Critères diagnostiques<sup>(2)</sup>

- Température centrale  $\geq 40^{\circ}\text{C}$
- Signes neurologiques: confusion, delirium, convulsions, coma
- Facteur favorisant identifié (chaleur)

**WARNING**

Trouble neurologique + contexte évocateur  
→ Mesure de la température centrale

**3. PRIORISER** le refroidissement

Quand ?  
Dès que possible - Max 1<sup>ère</sup> h = FROZEN HOUR<sup>(3)</sup>

Comment ? GOLD STANDARD :  
Immersion bain frais 15 à 25°C<sup>(4)</sup> - Tunnel refroidissant

Efficacité moindre :  
• immersion eau tiède  
• linge mouillé, arrosage...

**A POURSUIVRE PENDANT LE TRANSPORT**

Pas trop froid pour limiter la vasoconstriction cutanée et l'effet thérapeutique<sup>(5)</sup>

### Déchocage

**1. REFROIDIR** activement<sup>(1,3)</sup>

- Monitoring continu de la T°C centrale

**CIBLE :**

- ↓ 0,1°C par minute maximum pour T° < 38,5°C
- Bain froid - Tunnel refroidissant
- Autres: solutés frais, irrigation...

**2. ÉVALUER** défaillances d'organes

Gaz du sang artériel, Hémogramme, Ionogramme, urée, créatinine, myoglobine  
Bilan hépatique, d'hémostase, D-dimères  
Echocardiographie

**3. ÉLIMINER** diagnostics différentiels

- Ponction lombaire, imagerie..
- Dosage concentration médicament,
- Contexte: syndrome malin des neuroleptiques?

**4. RÉÉVALUER** état neurologique

Amélioration avec refroidissement ?  
**Si Non** : intubation, sédation & ventilation

### Réanimation

**Etat de choc**

Vasoplégique/hypovolémique

**CIVP**

Parfois très précoce  
Surveillance complications  
Stratégie transfusionnelle

**URGENTE & SYMPTOMATIQUE**

Insuffisance Renale

Rhabdomyolyse  
Épuration extra-rénale

**"Sepsis-like" syndrome**

Défaillance Hépatique (24-48h)<sup>(1)</sup>

Cytolyse, insuffisance hépato-cellulaire :  
si IHC : avis centre expert  
Eviter traitements hépatotoxiques  
N-acétyl cystéine: pas de données

Surveillance rebond hyperthermique

1. Sorensen and al., NEJM 2022    4. Gaudiot and al., J Emergent Med 2016  
2. Bouchama and al., NEJM 2002    5. Toboian and al., J Plast Reconst Surg 2013  
3. Pease and al., ICM 2009        6. Ji and Al., J Clin Transpl Hepatol, 2021

# Physiopathologie

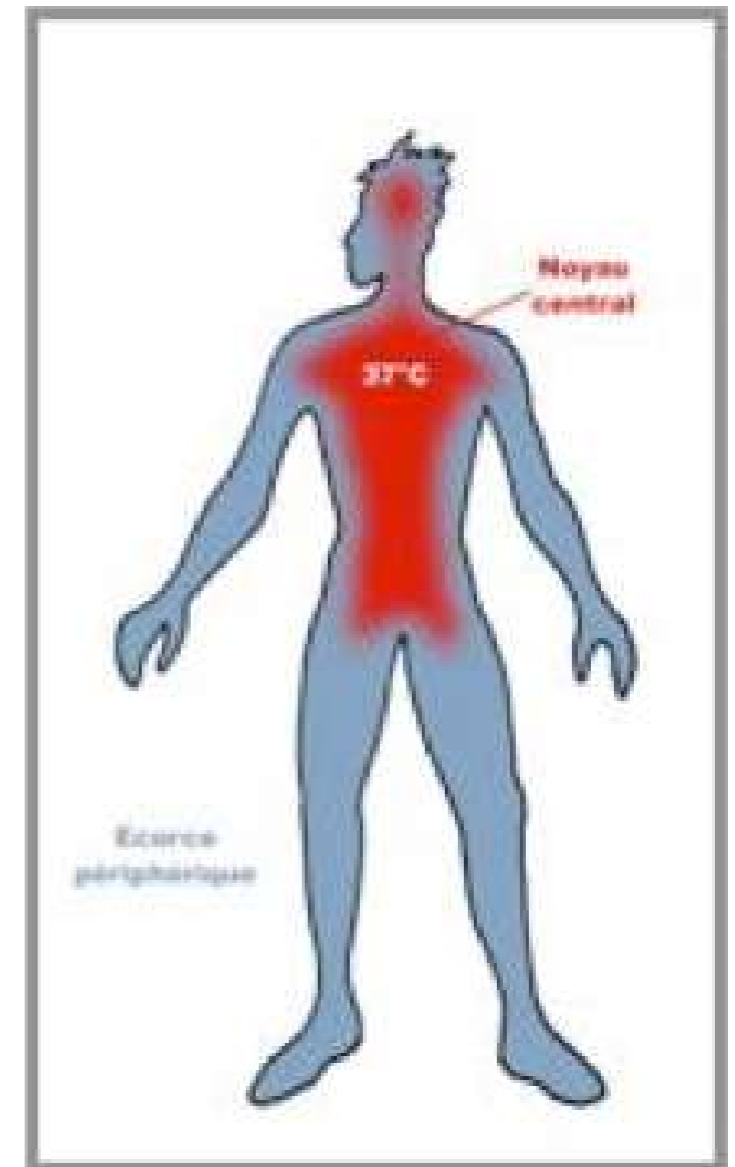
Homéothermie du corps humain

Noyau central 36 à 37°C (organes nobles)

Ecorce périphérique interface d'échanges thermiques (peau tissus sous cutanés muscles)

Plusieurs modalités d'échanges thermiques

- Convection
- Conduction
- Radiation
- Sudation



# Physiopathologie

## Mécanismes de régulation thermique

### MECANISMES EXTRINSEQUES

**Conduction:** échange thermique par contact direct (l'eau, le sol)

Point isotherme air 25° C

Point isotherme eau 37° C

**Convection:** échange thermique par l'air (le vent)

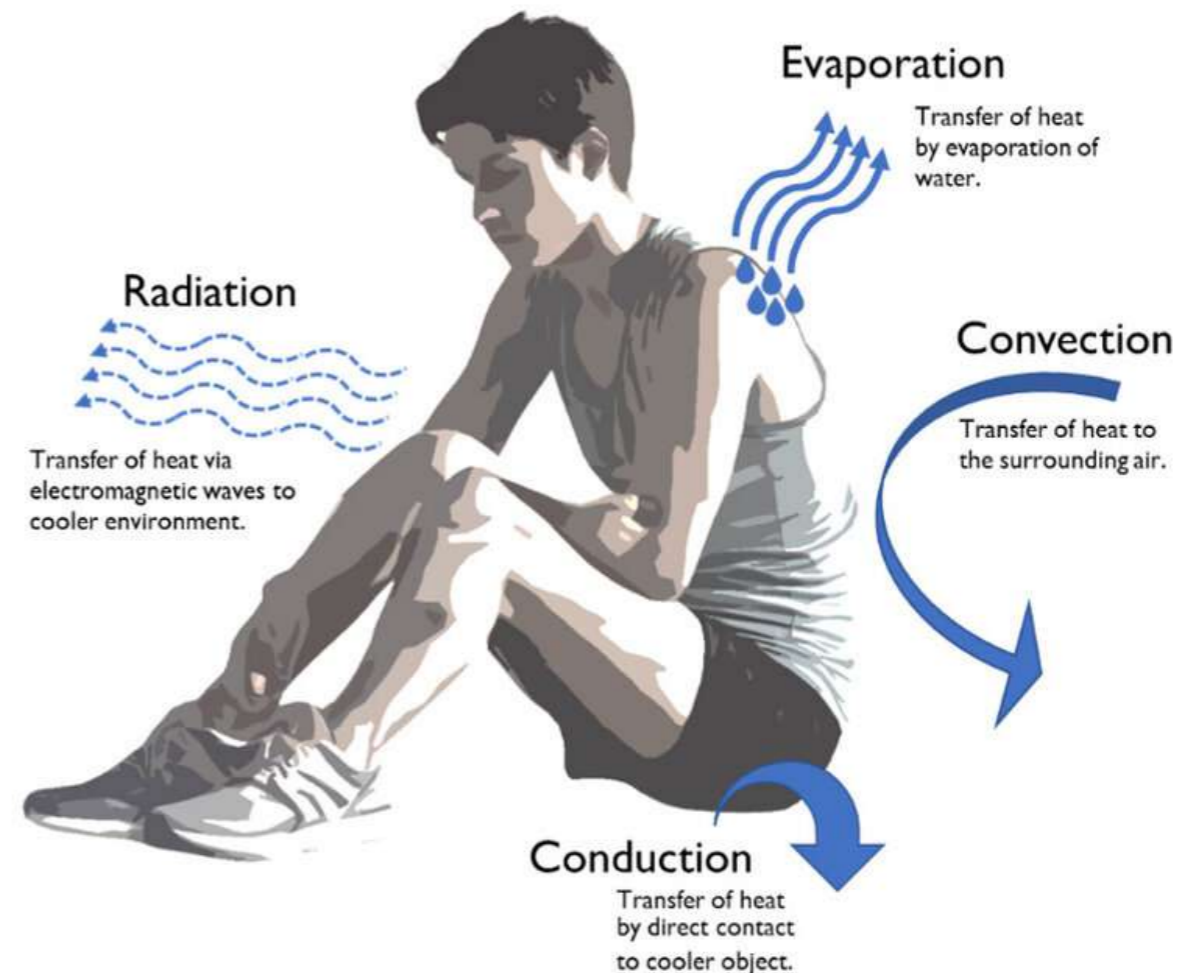
**Radiation:** échange thermique (rayonnement infra-rouge émis par le corps, le soleil...)

### MECANISMES INTRINSEQUES

**Evaporation:** échange thermique par vaporisation d'eau provenant de la respiration, et de **la sudation** (Mécanisme le plus important dans l'évacuation de la chaleur et adaptable)

### Vasodilatation périphérique

Transfert de chaleur du noyau vers périphérie



# Physiopathologie

## Mécanismes intrinsèques de régulation thermique

### SUDATION

Seul mécanisme thermorégulateur physiologique efficace lorsque la température ambiante est supérieure à la température cutanée

C'est l'évaporation de la sueur qui permet la dissipation calorifique

1 l de sueur évaporée élimine 2455kJ (580 kcal)

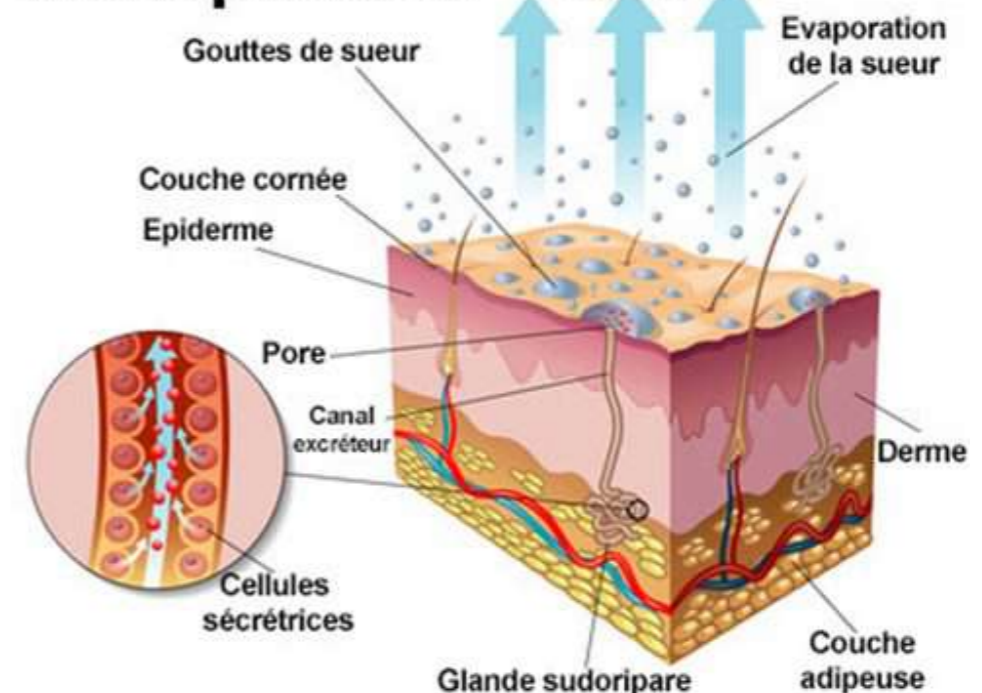
Mécanisme adaptable en quantité et qualité

L'humain est le seul mammifère avec certains équidés et camélidés à disposer de ce mécanisme physiologique de thermorégulation

### Influence environnementale sur l'efficacité de la sudation

- Température ambiante
- Vitesse de l'air ambiant
- Et surtout, Saturation en humidité de l'air ambiant

### Transpiration - Sueur



# Physiopathologie

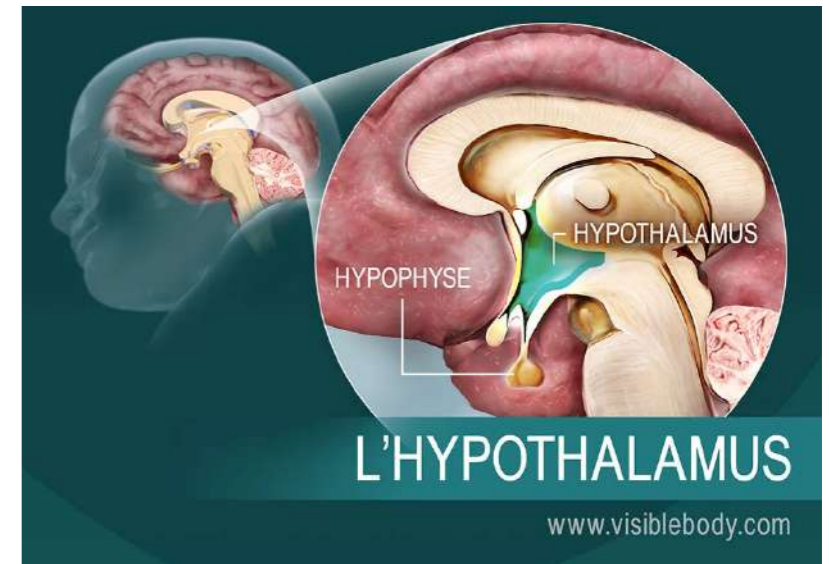
## Mécanismes extrinsèques de régulation thermique

**VASODILATATION PERIPHERIQUE:** permet le transfert de chaleur du noyau vers l'enveloppe. Redistribution du débit cardiaque, notamment aux dépens des territoires splanchniques et rénaux et au profit des territoires cutanés et musculaires

organe	débit sanguin au repos (en mL.min <sup>-1</sup> )	débit sanguin lors d'une activité (en mL.min <sup>-1</sup> )
cerveau	750	750
muscles	1 200	12 500
peau	500	1 900
reins	1 100	600
organes abdominaux	1 400	600
cœur (circulation coronaire)	250	750
reste du corps	600	400

# Physiopathologie

## Régulation thermique



## Centres thermorégulateurs (« thermostats physiologiques »)

Région pré-optique de l'**hypothalamus** antérieur

**Nucléus raphé magnus bulbaire** et **locus subcoeruleus protubérantiel** (rôle important dans le frisson)

Réponse modulée par de nombreux médiateurs (catécholamines, sérotonine, acétyl-choline, récepteurs NMDA hormones sexuelles)

Centres sensibles à d'autres stimuli (glycémie, douleur, pression artérielle...)

## Voies efférentes:

Stimulation du système nerveux sympathique;

Augmentation du débit cardiaque par stimulation sympathique (inotropisme, chronotropisme)

**Redistribution vasculaire** au profit des territoires musculaires et cutanés, et aux dépens des territoires digestifs et rénaux

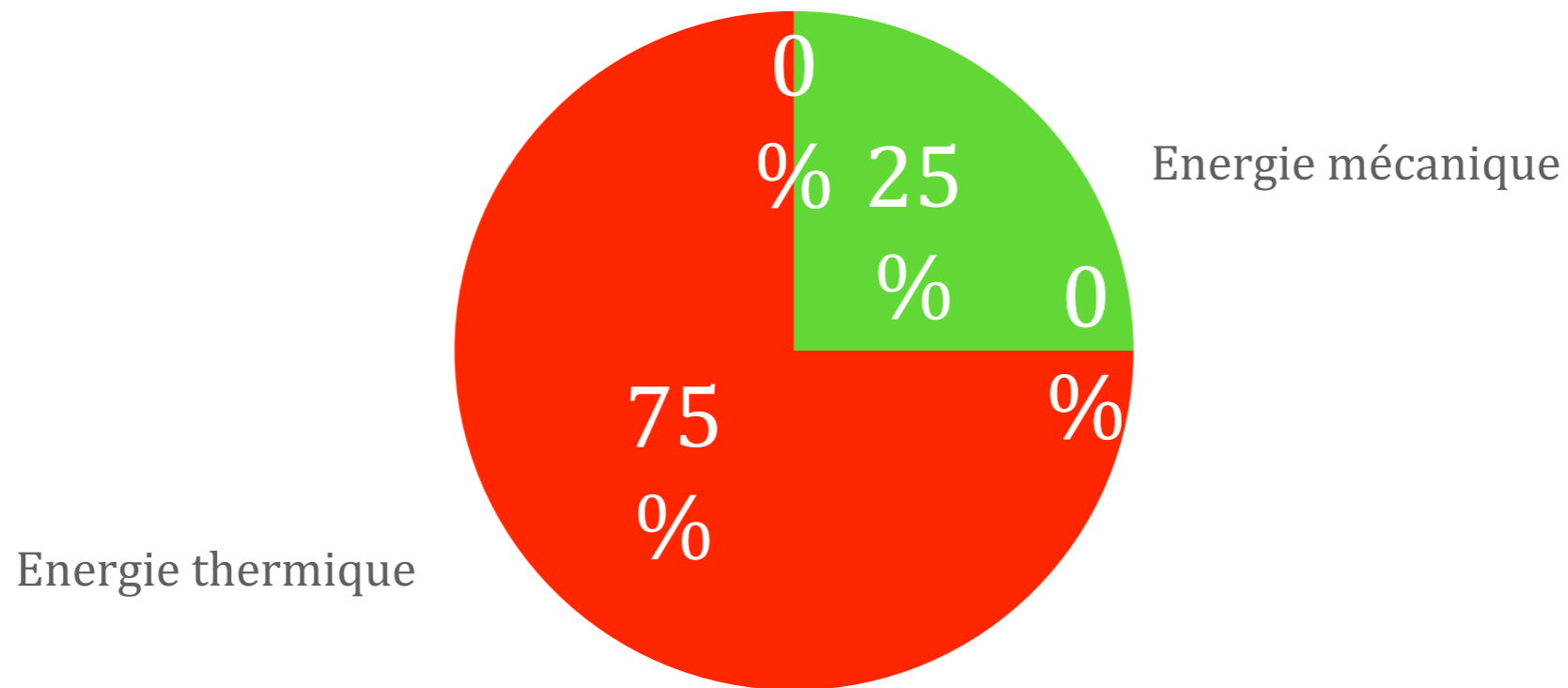
Vaso-activité de certains composés de l'effort musculaire (adénosine, prostacyclines...)

# Physiopathologie

## THERMOGENESE

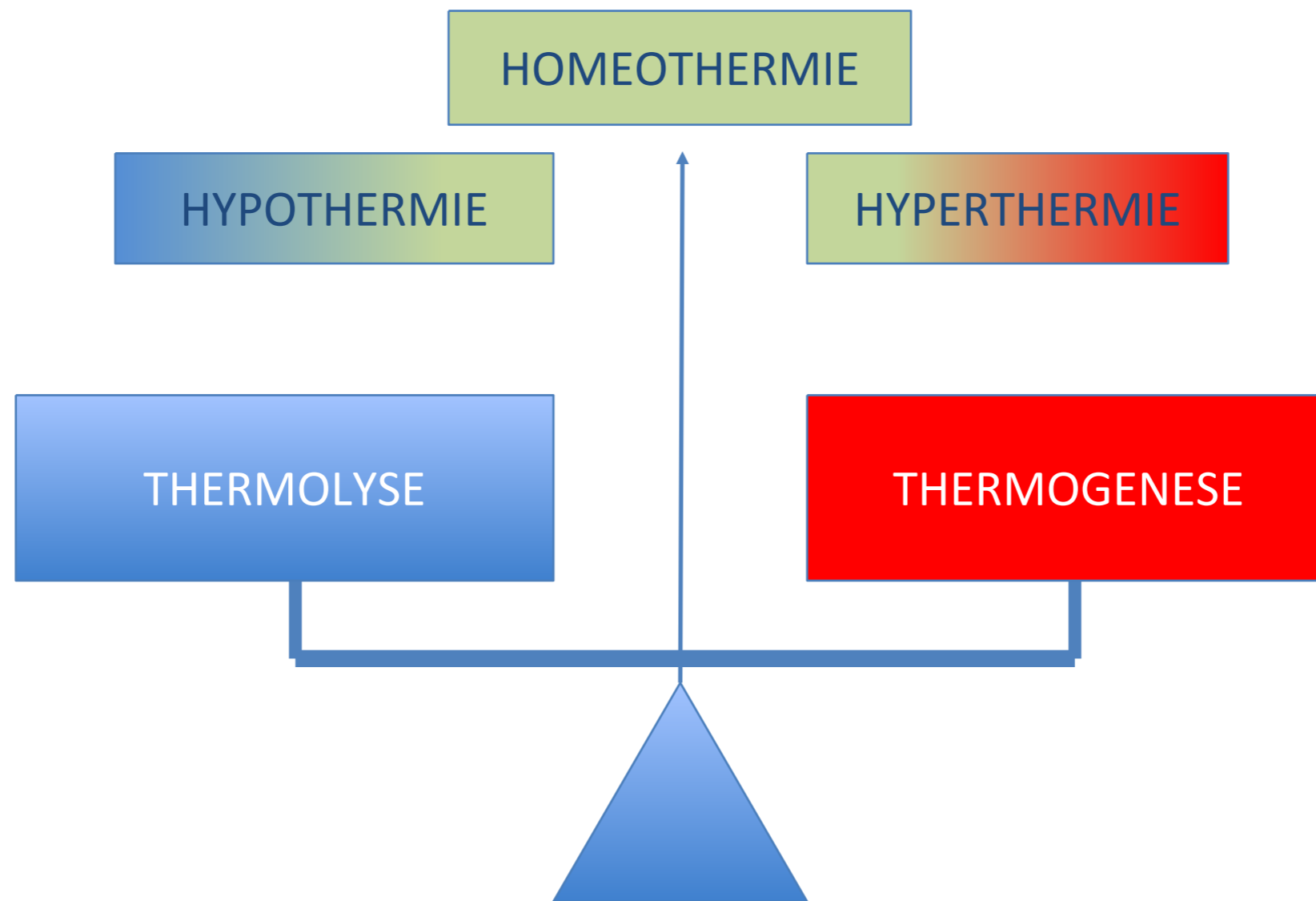
Energie thermique dégagée par le métabolisme basal (négligeable)

Energie thermique fournie par le travail musculaire volontaire (considérable): l'énergie chimique mise en réserve est transformée en énergie mécanique à 25% et en énergie thermique à 75% (très mauvais rendement)



En absence de de thermorégulation, augmentation théorique de 1°C de la température corporelle toutes les 5 à 7 min à l'effort intense (à 1000W)

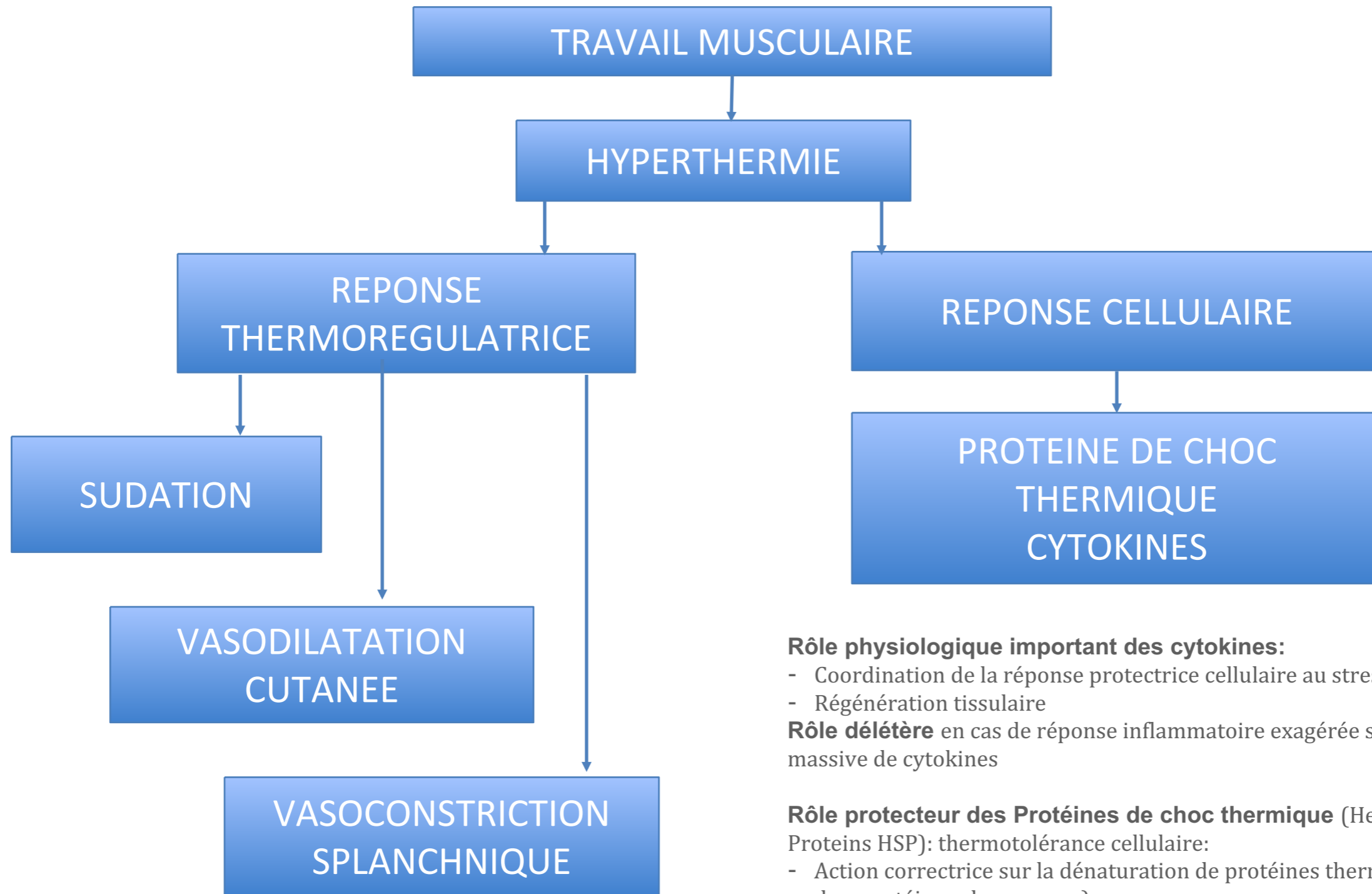
# Physiopathologie



L'homéothermie est le fruit d'une équilibre entre mécanismes producteurs de chaleur (**thermogénese**) et mécanismes évacuateurs de chaleur (**thermolyse**)

# MECANISMES DE REGULATION THERMIQUE

## Réponse thermorégulatrice



### Rôle physiologique important des cytokines:

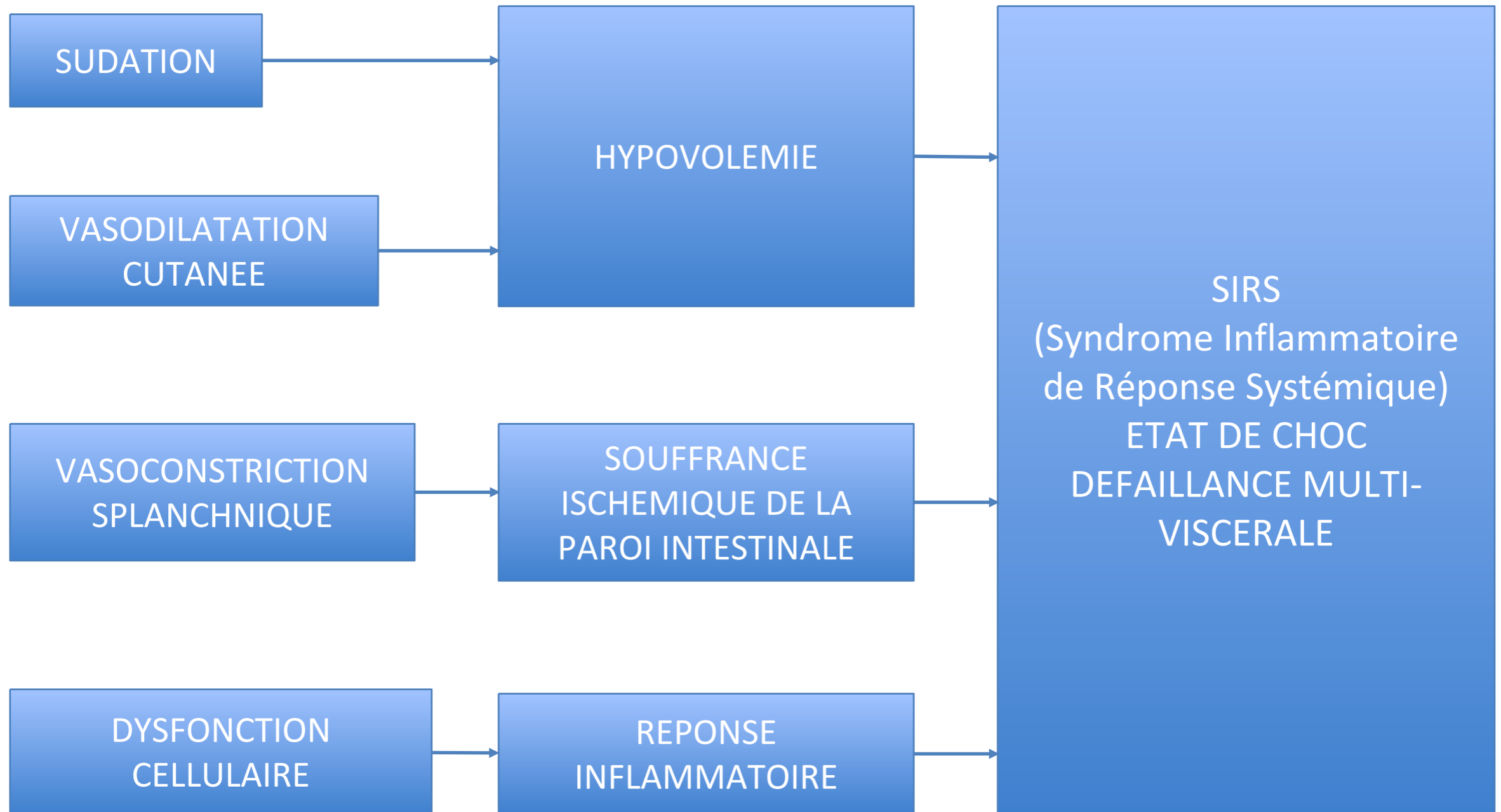
- Coordination de la réponse protectrice cellulaire au stress
- Régénération tissulaire

**Rôle délétère** en cas de réponse inflammatoire exagérée sur libération massive de cytokines

### Rôle protecteur des Protéines de choc thermique (Heat Shock Proteins HSP): thermotolérance cellulaire:

- Action correctrice sur la dénaturation de protéines thermolabiles (Rôle de « protéines chaperons »)
- Baisse de la sensibilité cellulaire à l'hypoxémie, l'ischémie, aux radicaux libres oxygénés, au cytokines pro-inflammatoires

# FACTEURS DE DYSREGULATION

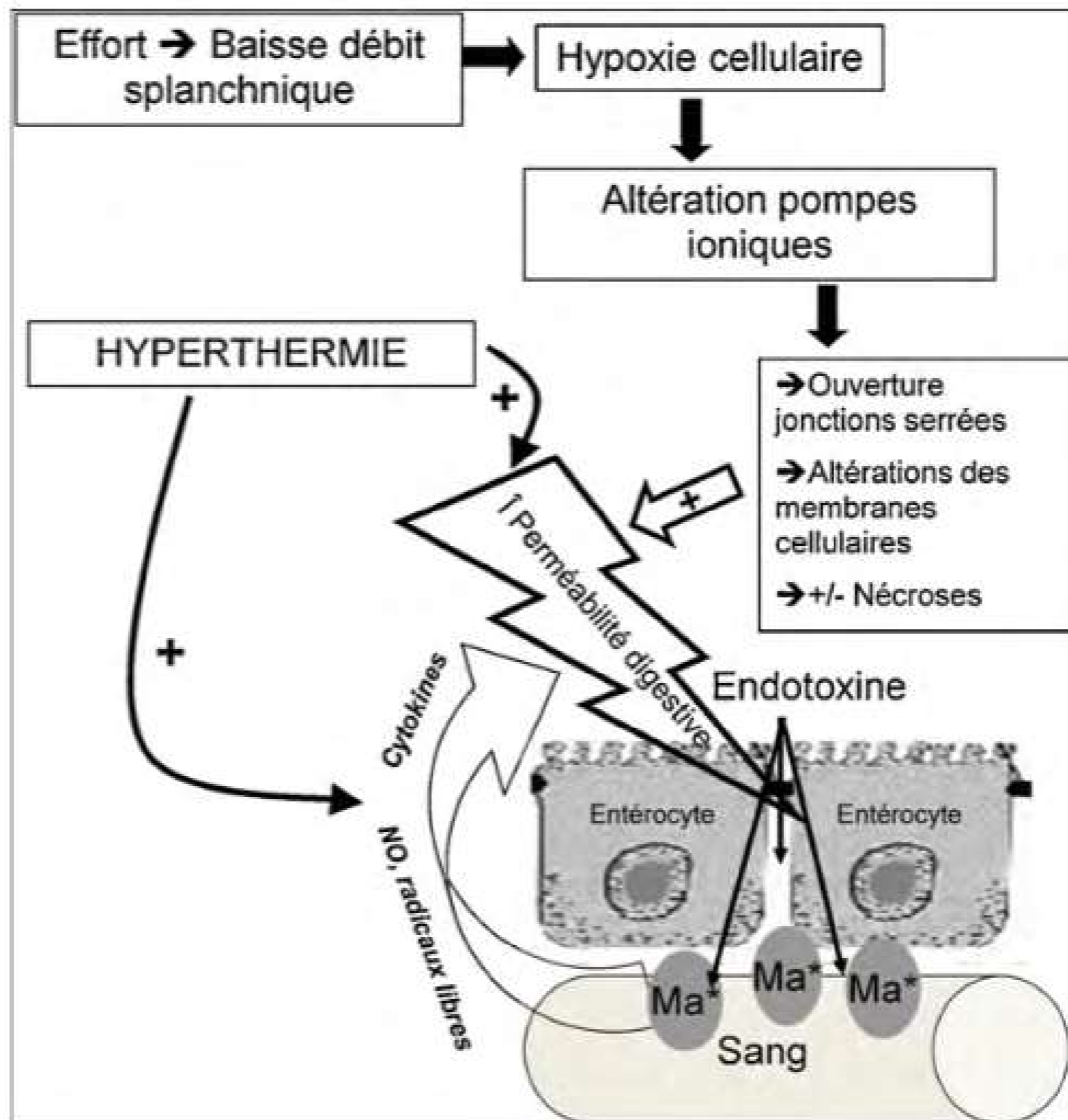


**Libération massive de cytokines:**

Action pro-inflammatoires, pyrogène, interférence thermorégulatrice centrale et périphérique

**Altération des HSP** (mécanismes mal précisés, génétiques? Gène RYR1?): Perte de leur effet protecteur

## CONSEQUENCES PHYSIOPATHOGENIQUES AU NIVEAU SPLANCHNIQUE



# Physiopathologie

## CONSEQUENCES PHYSIOPATHOGENIQUES AU NIVEAU CELLULAIRE

### CYTOTOXICITE DE LA CHALEUR

Cytotoxicité directe

Concept de Température Maximale Critique (TCM): Rapport degré/intensité à partir duquel les lésions apparaissent.

TCM estimé à 41,6°C chez l'humain pendant 45 min

### CYTOKINES

Taux élevés de Cytokines pro-inflammatoires (TNF $\alpha$ , IL-1, IL-6, INF $\alpha$ ) et anti-inflammatoires (IL-10, sTNFR, p55 et p75)

Les taux d'IL-6 et TNF sont notamment corrélés à la gravité du CCE

### ATTEINTES ENDOTHELIALES ET TROUBLES HEMOSTASE

Thromboses microcirculatoires tous organes (cerveau foie coeur rein intestins)

Constantes à l'autopsie des CCE

Activation précoce de la coagulation et fibrinolyse Apparition précoce de complexes thrombine-antithrombine et monomères solubles de figurine

Baisse protéine C

Activation fibrinolyse réactionnelle (augmentation plasmatique palsemine-antiplasmine, D Dimères et baisse plaminogène)

Après refroidissement, poursuite de l'activation procoagulante, baisse de la fibrinolyse (aboutissant à hypercoagulabilité)

**TABLE 2.** EFFECT OF HEAT STRESS AND HEAT STROKE ON CIRCULATING CYTOKINES, CYTOKINE RECEPTORS, GROWTH FACTORS, AND CHEMOKINES. \*

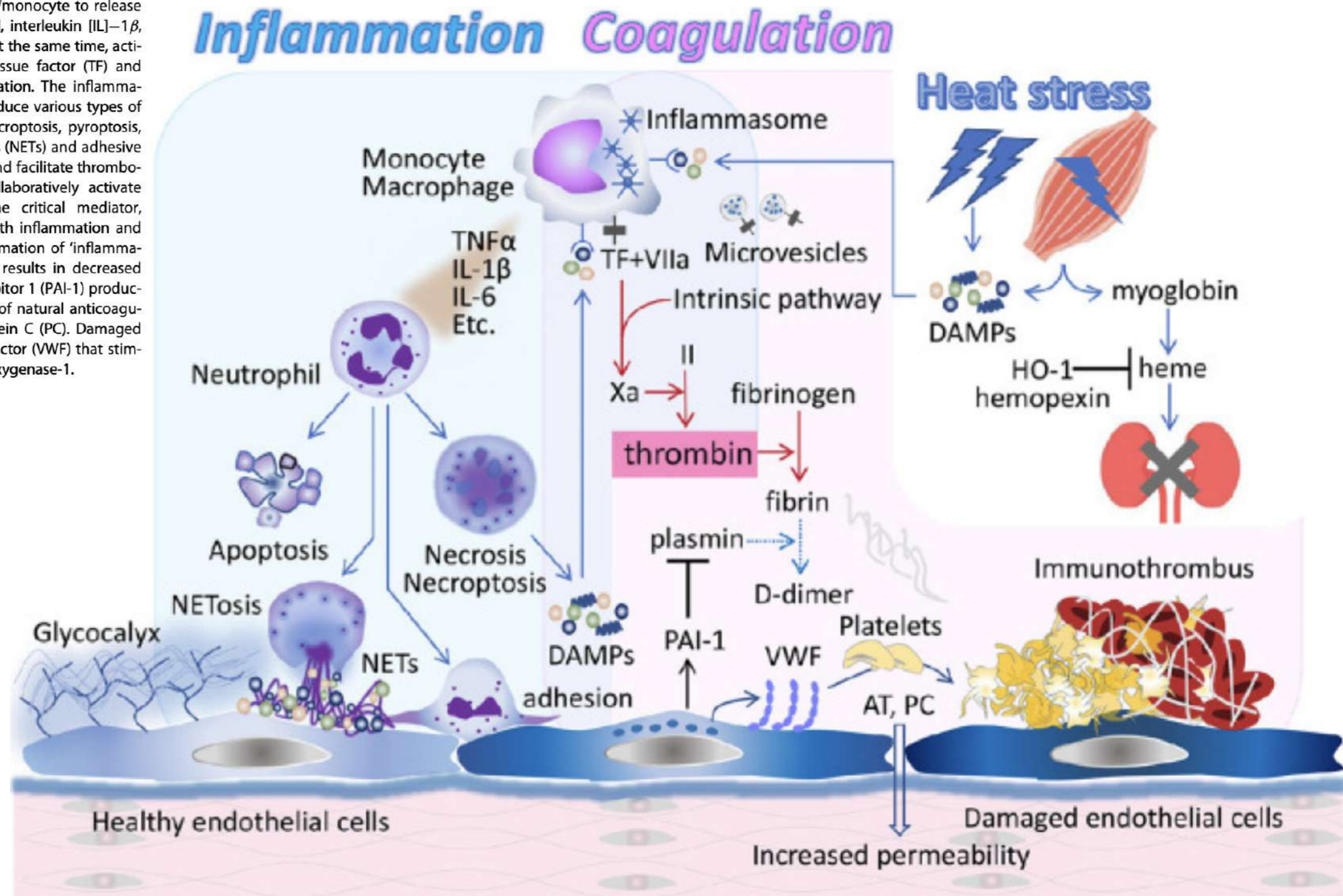
CYTOKINE OR FACTOR	HEAT STRESS			HEAT STROKE		REFERENCE
	EXERCISE-INDUCED	ENVIRONMENTAL	THERAPEUTIC †	CLASSIC	EXERTIONAL	
Tumor necrosis factor $\alpha$	Increased or unchanged	Unchanged	Increased or unchanged	Increased or unchanged	Increased	Bouchama et al., <sup>11</sup> Espersen et al., <sup>38</sup> Robins et al., <sup>39</sup> Camus et al., <sup>40</sup> Ostrowski et al., <sup>41</sup> Moldoveanu et al., <sup>42</sup> Suzuki et al., <sup>43</sup> Chang <sup>44</sup>
Interleukin-1 $\beta$	Increased or unchanged	NA	Increased	Increased or unchanged	Increased	Cannon and Kluger, <sup>37</sup> Robins et al., <sup>39</sup> Ostrowski et al., <sup>41</sup> Moldoveanu et al., <sup>42</sup> Chang, <sup>44</sup> Bouchama et al. <sup>45</sup>
Interleukin-2	Decreased or unchanged	NA	Unchanged	NA	NA	Espersen et al., <sup>38</sup> Robins et al. <sup>39</sup>
Interleukin-6	Increased	Increased	Increased	Increased	Increased	Robins et al., <sup>39</sup> Moldoveanu et al., <sup>42</sup> Suzuki et al., <sup>43</sup> Chang, <sup>44</sup> Bouchama et al., <sup>45</sup> Hammami et al. <sup>46</sup>
Interleukin-8	Increased	NA	Increased	NA	NA	Pedersen and Hoffman-Goetz, <sup>22</sup> Robins et al., <sup>39</sup> Suzuki et al. <sup>43</sup>
Interleukin-10	Increased	Increased	Increased	Increased	NA	Pedersen and Hoffman-Goetz, <sup>22</sup> Robins et al., <sup>39</sup> Suzuki et al., <sup>43</sup> Bouchama et al. <sup>47</sup>
Interleukin-12	Increased or unchanged	NA	Unchanged	NA	NA	Pedersen and Hoffman-Goetz, <sup>22</sup> Robins et al., <sup>39</sup> Suzuki et al., <sup>43</sup> Akimoto et al. <sup>48</sup>
Interleukin-1-receptor antagonist	Increased	NA	NA	NA	NA	Pedersen and Hoffman-Goetz, <sup>22</sup> Ostrowski et al., <sup>41</sup> Suzuki et al. <sup>43</sup>
Soluble interleukin-2 receptor	Increased	NA	NA	Increased	NA	Pedersen and Hoffman-Goetz, <sup>22</sup> Suzuki et al., <sup>43</sup> Hammami et al. <sup>46</sup>
Soluble interleukin-6 receptor	NA	Increased	NA	Decreased	NA	Hammami et al. <sup>49</sup>
Soluble tumor necrosis factor receptors (p55 and p75)	Increased	Increased or unchanged	Increased	Increased	NA	Pedersen and Hoffman-Goetz, <sup>22</sup> Hammami et al. <sup>49</sup>
Interferon- $\gamma$	Increased or unchanged	NA	Unchanged	Increased	NA	Pedersen and Hoffman-Goetz, <sup>22</sup> Robins et al., <sup>39</sup> Suzuki et al., <sup>43</sup> Bouchama et al. <sup>45</sup>
Interferon- $\alpha$	Increased or unchanged	NA	Unchanged	NA	NA	Suzuki et al., <sup>43</sup> Viti et al. <sup>50</sup>
Granulocyte colony-stimulating factor	Increased	NA	Increased	NA	NA	Pedersen and Hoffman-Goetz, <sup>22</sup> Robins et al., <sup>39</sup> Suzuki et al. <sup>43</sup>
Macrophage-inhibitor proteins	Increased	NA	Unchanged	NA	NA	Pedersen and Hoffman-Goetz, <sup>22</sup> Robins et al. <sup>39</sup>

\*Data are from studies in human subjects. NA denotes data not available.

†Whole-body hyperthermia may be induced in cancer therapy.

**Figure 1.** Pathophysiology of heatstroke

'Inflammation' and 'coagulation' are the two major factors that lead to detrimental organ dysfunction in heatstroke. Thermal tissue damage originated damage-associated molecular patterns (DAMPs) stimulates macrophage/monocyte to release cytokines (tumor necrosis factor  $\alpha$  [TNF $\alpha$ ], interleukin [IL]-1 $\beta$ , IL-6, etc.) via inflammasome production. At the same time, activated macrophages/monocyte express tissue factor (TF) and release microvesicles that initiate coagulation. The inflammatory cytokines activate neutrophils and induce various types of cell death such as apoptosis, necrosis/necroptosis, pyroptosis, and NETosis. Neutrophil extracellular traps (NETs) and adhesive neutrophil damage the endothelial cells and facilitate thrombosis. Extrinsic and intrinsic pathways collaboratively activate coagulation cascades that generate the critical mediator, 'thrombin.' Thrombin further activates both inflammation and coagulation and finally leading to the formation of 'inflammatory thrombus.' The endothelial damage results in decreased fibrinolysis via plasminogen activator inhibitor 1 (PAI-1) production and increased permeability and loss of natural anticoagulants such as antithrombin (AT) and protein C (PC). Damaged endothelial cell releases von Willebrand factor (VWF) that stimulates platelet aggregation. HO-1: heme oxygenase-1.



# Physiopathologie

## COMPLICATIONS GENERALES

### **DEFAILLANCE NEUROLOGIQUE.**

Convulsion Coma

### **HEMODYNAMIQUE**

Profils HD associant composantes vasoplégique, hypovolémique, parfois cardiogénique

Profils hémodynamique parfois comparables aux sepsis

### **HEPATIQUE**

Défaillance hépatique différée (24 à 48h) parfois gravissime, contributive à l'encéphalopathie, et pouvant relever d'une transplantation

Physiopathogénie multifactorielle (Toxicité hépatocytaire hyperthermique directe, hépatite hypoxique par bas débit, microthrombi par CIV)

### **DIGESTIVE**

Tableaux d'ischémie digestive sur vasoconstriction splanchnique et bas débit sur défaillance HD pouvant aboutir à des nécroses

### **RENALE**

Quasi constante dans les CCE, multifactorielle sur bas débit hypovolémie myoglobinurie, rhabdomyolyse

### **HEMOSTASE**

CIVD

# Facteurs de risque

Nombreux

Probable effet cumulatif

Difficulté de préciser et quantifier les imputabilités respectives

On peut proposer de les catégoriser schématiquement:

**1 Facteurs extrinsèques** liés au contexte environnemental (température hygrométrie vent...)

**2 Facteurs intrinsèques** liés à l'individu, parmi lesquels:

. **Facteurs intrinsèques prédisposants** (terrain)

. **Classiques:**

. Age

. IMC

. Manque d'entraînement

. **Nouvelles pistes:**

. Profil psychologique

. Prédisposition à altération de la thermolyse (génétiques, gène RYR1, drépanocytose...)

. Microbiote intestinal

. **Facteurs intrinsèques précipitants** (circonstanciels)

. Tenue vestimentaire

. Dette en sommeil

. Jeûne

. Déshydratation

. Alcoolisation

. Prises médicamenteuses

. Syndrome infectieux en cours

. Absence d'acclimatation à la chaleur

. Période menstruelle

# FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

## INDICE HUMIDEX

		Indice Humidex															
		Température (°C)															
		21	25	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
Humidité relative (%)	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	41	43	44	46	47
	30	-	-	31	33	34	36	37	38	40	42	43	45	47	48	50	51
	40	-	26	34	35	37	39	40	42	44	45	47	49	51	53	54	56
	50	22	28	36	38	40	41	43	45	47	49	51	53	55	57	-	-
	60	24	30	38	40	42	44	46	48	50	52	54	57	-	-	-	-
	70	25	32	41	43	45	47	49	51	53	56	58	-	-	-	-	-
	80	26	33	43	45	47	50	52	54	57	59	-	-	-	-	-	-
	90	28	35	45	48	50	52	55	57	60	-	-	-	-	-	-	-
	100	29	37	48	50	53	55	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-

L'indice humidex est une mesure de la chaleur ressentie par les gens dans un climat chaud et humide. Il s'agit d'un paramètre destiné au grand public qui exprime comment l'effet combiné de la chaleur et de l'humidité est perçu. C'est un nombre qui décrit l'intensité de chaleur ressentie par les gens, tout comme le facteur de refroidissement éolien qui décrit l'intensité du froid ressenti par les gens.

Environnement Canada utilise des valeurs humidex afin de renseigner le public général lorsque les conditions de chaleur et d'humidité risquent d'être inconfortables.

Plage d'humidex	Degré de confort
De 20 à 29	Peu d'inconfort
De 30 à 39	Un certain inconfort
De 40 à 45	Beaucoup d'inconfort : évitez les efforts
46 et plus	Danger : coup de chaleur possible

Source : [Aléas météorologiques de la saison chaude](#). Environnement Canada

L'indice humidex ne tient compte que de la température de l'air et de l'humidité. Il ne tient pas compte de l'exposition de la peau au soleil, qui va augmenter sa température par rapport à l'air, et des vents qui aident à l'évaporation de la sueur et donc au rafraîchissement de la peau. Un indice plus complet est celui de la [température au thermomètre-globe mouillé](#).

# INDICE WBGT

L'indice de **température au thermomètre-globe mouillé** (WBGT, de l'[anglais](#) *wet-bulb globe temperature*) est un indice composite de [température](#) utilisé pour estimer les effets de la température, de l'[humidité](#) et du [rayonnement solaire](#) sur l'homme<sup>1</sup>. C'est le seul indice de [température ressentie](#) à tenir compte du rayonnement solaire, contrairement à l'[indice de chaleur](#) (*heat index*) utilisé par le [National Weather Service](#) ou à l'[indice humidex](#) utilisé par le [Service météorologique du Canada](#).

L'indice WBGT a été élaboré par le [United States Marine Corps](#) à [Parris Island](#) en 1956 pour réduire le risque de traumatismes liés au stress thermique chez les nouvelles recrues et a été révisé à plusieurs reprises. Il est utilisé en hygiène industrielle, mais aussi par les athlètes et les militaires pour déterminer les niveaux d'exposition à des températures élevées.



## Type de travail versus WBGT maximal<sup>6</sup>

Catégorie	Kcal/unité de travail	WBGT (°C)
Travail très léger	90	30
Travail léger	150	30
Travail semi-lourd	205	26,7
Travail lourd	350	25

En France, le Haut Conseil de la Santé Publique recommande le report, l'aménagement ou l'annulation des compétitions sportive lorsque l'indice WBGT est supérieur à 32

## OHCOW Occupationnel Health Clinics for Ontario Workers

OHCOW : Plan d'intervention en cas de chaleur fondé sur l'indice humidex

Humidex ajusté	Réponse	WBGT efficace ** (°C)
25 - 29	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fournir de l'eau aux travailleurs « selon les besoins »</li> </ul>	≤ 23,0 °C
30 - 33	<ul style="list-style-type: none"> <li>afficher les avertissements de stress thermique;</li> <li>inciter les travailleurs à boire plus d'eau;</li> <li>commencer à relever la température et l'humidité relative toutes les heures</li> </ul>	23,1-24,0 °C
34 - 37	<ul style="list-style-type: none"> <li>afficher les avertissements de stress thermique;</li> <li>inciter les travailleurs à boire plus d'eau;</li> <li>veiller à ce que les employés sachent reconnaître les symptômes</li> </ul>	24,1-25,0 °C
38 - 39	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le travail peut continuer s'il y a une pause de 15 minutes par heure;</li> <li>fournir de l'eau fraîche en quantité suffisante (10-15 °C);</li> <li>au moins une tasse d'eau (240 ml) aux 20 minutes.</li> <li>Les travailleurs qui présentent des symptômes devraient être placés en observation médicale</li> </ul>	25,1-26,0 °C
40 - 41	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le travail peut continuer s'il y a une pause de 30 minutes par heure en plus des dispositions énumérées précédemment</li> </ul>	26,1-27,0 °C
42 - 44	<ul style="list-style-type: none"> <li>Si possible, le travail peut continuer s'il y a une pause de 45 minutes par heure en plus des dispositions énumérées ci-haut</li> </ul>	27,1-29,0 °C
45*** ou plus	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le travail peut seulement continuer sous supervision médicale</li> </ul>	29,1 °C*** ou plus

Source : OHCOW: Humidex-Based Heat Response Plan

\* Ajusté signifie ajusté pour tenir compte des vêtements supplémentaires et de la chaleur rayonnante.

\*\*Efficace signifie ajusté pour tenir compte des vêtements

\*\*\*Lorsque l'indice d'humidité est supérieur à 45 (29,0°C - WBGT), le stress thermique doit être géré conformément à la TLV® de l'ACGIH.

**IMPORTANT** : Consulter le calculateur de stress thermique et le plan d'intervention des OHCOW pour savoir comment interpréter et utiliser ce tableau. **TOUJOURS** suivre les étapes énumérées dans ce plan. **Ne JAMAIS ignorer les symptômes de stress thermique d'une personne, quelles que soient vos mesures ou les directives générales du plan d'intervention.**

# Facteurs de risque

**Age:** Facteur classique mais controversé. Apparaît dans les armées françaises comme FDR si <20ans

Duron-Martinaud S, Verret C, Haus-Cheymol R, Bedubourg G, Mayet A, Dia A, et al. Exertional heat strokes in the Armed Forces. Results from the medical surveillance. Year 2005-2011. Paris: French Ministry of Defense. 2012.

**Surcharge pondérale et entraînement:** Dans une étude militaire nord-américaine incluant l'ensemble des pathologies hyperthermiques (n=390), et une étude militaire israélienne incluant 55 CCE, identification d'un facteur conjoint associant IMC>22 et indice de performance modéré (<10km/h sur 1 miles) (de l'épuisement hyperthermique au coup de chaleur d'exercice)

Wallace RF, Kriebel D, Punnett L, Wegman DH, Wenger CB, Gardner JW, et al. Risk factors for recruit exertional heat illness by gender and training period. Aviat Space Environ Med. 2006; 77 (4): 415-21.

Epstein Y, Moran DS, Shapiro Y, Sohar E, Shemer J. Exertional heat stroke: a case series. Med Sci Sports Exerc. 1999; 31 (2): 224-8.

En France, les militaires entraînées semblent être aussi à risque

Abriat A, Brosset C, Bréigéon M, Sagui E. Report of 182 cases of exertional heat stroke in French armed forces. Mil Med. 2014; 179 (3): 309-14.

**Hyperthermie Maligne Anesthésique:** La recherche d'une susceptibilité à l'HMA (gène RYR1...) des sujets ayant fait un CCE n'est plus recommandée dans l'armée Française depuis 2013

Duron-Martinaud S, Verret C, Haus-Cheymol R, Bedubourg G, Mayet A, Dia A, et al. Coups de chaleur d'exercice dans les armées – Résultats de la surveillance épidémiologique – Années 2005-2011. Rapport 2012. Centre d'épidémiologie et de santé publique des armées.

Sagui E, Abriat A, Kozak-Ribbens G, Foutrier-Morello C, Bernard M, Canini F, et al. Is muscle energy production disturbed in exertional heat stroke? Mil Med 2014; 179 (3): 342-5.

## Profil psychologique:

Identification de profils psychologiques « associatifs » (allures adaptées à la perception des sensations) et de profils psychologiques « dissociatifs » (réglage des allures sur des objectifs) (Morgan & Pollock)

Prévalence globale des profils dissociatifs chez les coureurs qui se blessent

Stevinson CD, Biddle SJ. Cognitive orientations in marathon running and « hitting the wall ». Br J Sports Med. 1998; 32 (3): 229-34; discussion 34-5.

**Microbiote intestinal:** L'augmentation de la perméabilité intestinale à l'effort permet un passage systémique de polysaccharides activateurs d'une réaction inflammatoire

Réduction de la mortalité de primates en CCE après administration d'Ac Anti polysaccharides

Armstrong LE, Anderson JM, Casa DJ, Johnson EC. Exertional heat stroke and the intestinal microbiome. Scand J Med Sci Sports. 2012; 22 (4): 581-2.

# Facteurs de risque

## TENUE VESTIMENTAIRE Vêtements de sport

### Effect of sportswear on performance and physiological heat strain during prolonged running in moderately hot conditions

Leonidas G Ioannou <sup>1</sup>, Lydia Tsoutsoubi <sup>1</sup>, Paraskevi Gkiata <sup>1</sup>, Harry A Brown <sup>2</sup>, Julien D Periard <sup>2</sup>, Igor B Mekjavic <sup>3</sup>, Glen P Kenny <sup>4</sup>, Lars Nybo <sup>5</sup>, Andreas D Flouris <sup>1</sup>

Scand J Med Sci Sports. 2024 Jan;34(1):e14520.

#### Abstract

**Introduction:** This study examined the impact of different upper-torso sportswear technologies on the performance and physiological heat strain of well-trained and national-level athletes during prolonged running in moderately hot conditions.

**Methods:** A randomized crossover design was employed in which 20 well-trained (n = 16) and national-level (n = 4) athletes completed four experimental trials in moderately hot conditions (35°C, 30% relative humidity). In each trial, participants ran at 70% of their peak oxygen uptake (70%  $\dot{V}O_{2peak}$ ) for 60 min, while wearing a different upper-body garment: cotton t-shirt, t-shirt with sweat-wicking fabric, compression t-shirt, and t-shirt with aluminum dots lining the inside of the upper back of the garment. Running speed was adjusted to elicit the predetermined oxygen consumption associated with 70%  $\dot{V}O_{2peak}$ . Physiological (core and skin temperatures, total body water loss, and urine specific gravity) and perceptual (thermal comfort and sensation, ratings of perceived exertion, and garment cooling functionality) parameters along with running speed at 70%  $\dot{V}O_{2peak}$  were continuously recorded.

**Results:** No significant differences were observed between the four garments for running speed at 70%  $\dot{V}O_{2peak}$ , physiological heat strain, and perceptual responses (all p > 0.05). The tested athletes reported larger areas of perceived suboptimal cooling functionality in the cotton t-shirt and the t-shirt with aluminum dots relative to the sweat-wicking and compression t-shirts (d: 0.43-0.52).

**Conclusion:** There were not differences among the tested garments regarding running speed at 70%  $\dot{V}O_{2peak}$ , physiological heat strain, and perceptual responses in well-trained and national-level endurance athletes exercising in moderate heat.

# TENUE VESTIMENTAIRE. Vêtements de travail

**Par contre**, les vêtements chauds non ouverts entravant l'évaporation de la sueur sont délétère pour la thermolyse

Notamment certaines tenues de protection professionnelles, les tenues militaires, les tenues de pompiers, les tenues de prise en charge NRBC



# Facteurs de risque

Concernant les autres facteurs de risque intrinsèques précipitants, faibles niveaux de preuves sur des études observationnelles

<b>Facteurs précipitants</b>	<b>Prévalence</b>
Privation de sommeil.	11 à 39 %
Jeûne	15 à 27 %
Alcoolisation précessive	13 %
Médicaments	12,4 %
Fièvre, infection ORL, gastro entérite	6 à 9 %

**Le coup de chaleur d'exercice. Quoi de neuf?**

E. Sagui<sup>a, b, c</sup>, J. Cotte<sup>d</sup>, M. Trousselard<sup>d, e</sup>, D. Comet<sup>a</sup>, B. Lavenir<sup>f</sup>, L. Thefenne<sup>a</sup>

# Facteurs de risque

## MEDICAMENTS

MEDICAMENTS SUSCEPTIBLES D'AGGRAVER LE SYNDROME D'ÉPUISEMENT-DESHYDRATATION ET LE COUP DE CHALEUR			
<b>Médicaments provoquant des troubles de l'hydratation et des troubles électrolytiques</b>		Diurétiques, en particulier les diurétiques de l'anse (furosémide)	
<b>Médicaments susceptibles d'altérer la fonction rénale</b>		<b>AINS</b> (comprenant les salicylés > 500 mg/j, les AINS classiques et les inhibiteurs sélectifs de la COX-2) <b>IEC</b> <b>Antagonistes des récepteurs de l'angiotensine II</b> <b>Sulfamides</b> <b>Indinavir</b>	
<b>Médicaments ayant un profil cinétique pouvant être affecté par la déshydratation</b>		<b>Sels de lithium</b> <b>Anti-arythmiques</b> <b>Digoxine</b> <b>Anti-épileptiques</b> <b>Biguanides et sulfamides hypoglycémiants</b> <b>Statines et fibrates</b>	
<b>Médicaments pouvant empêcher la perte calorique</b>	<b>Au niveau central</b>	<b>Neuroleptiques</b> <b>Agonistes sérotoninergiques</b>	
	<b>Au niveau périphérique</b>	<b>Médicaments anticholinergiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- antidépresseurs tricycliques</li> <li>- antihistaminiques de première génération</li> <li>- certains antiparkinsoniens</li> <li>- certains antispasmodiques, en particulier ceux de la sphère urinaire</li> <li>- neuroleptiques</li> <li>- disopyramide</li> <li>- pizotifène</li> </ul>
		<b>Vasoconstricteurs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- agonistes et amines sympathomimétiques</li> <li>- certains antimigraineux (dérivés de l'ergot de seigle, triptans)</li> </ul>
		<b>Médicaments diminuant le débit cardiaque</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bêta-bloquants</li> <li>- diurétiques</li> </ul>
<b>Par modification du métabolisme basal</b>	<b>Hormones thyroïdiennes</b>		
MEDICAMENTS HYPERTHERMISANTS (dans des conditions normales de température ou en cas de vague de chaleur)			
<b>Neuroleptiques</b> <b>Agonistes sérotoninergiques</b>			
MEDICAMENTS POUVANT AGGRAVER LES EFFETS DE LA CHALEUR			
<b>Médicaments pouvant abaisser la pression artérielle</b>		<b>Tous les antihypertenseurs</b> <b>Les anti-angineux</b>	
<b>Médicaments altérant la vigilance</b>			

# Facteurs de risque

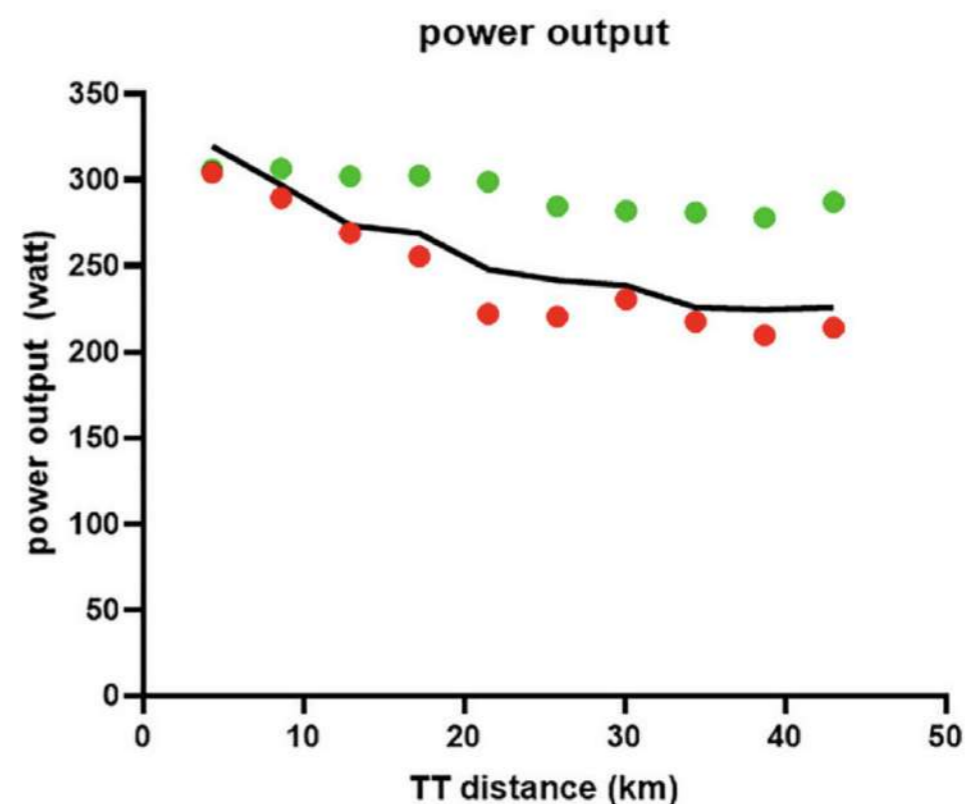
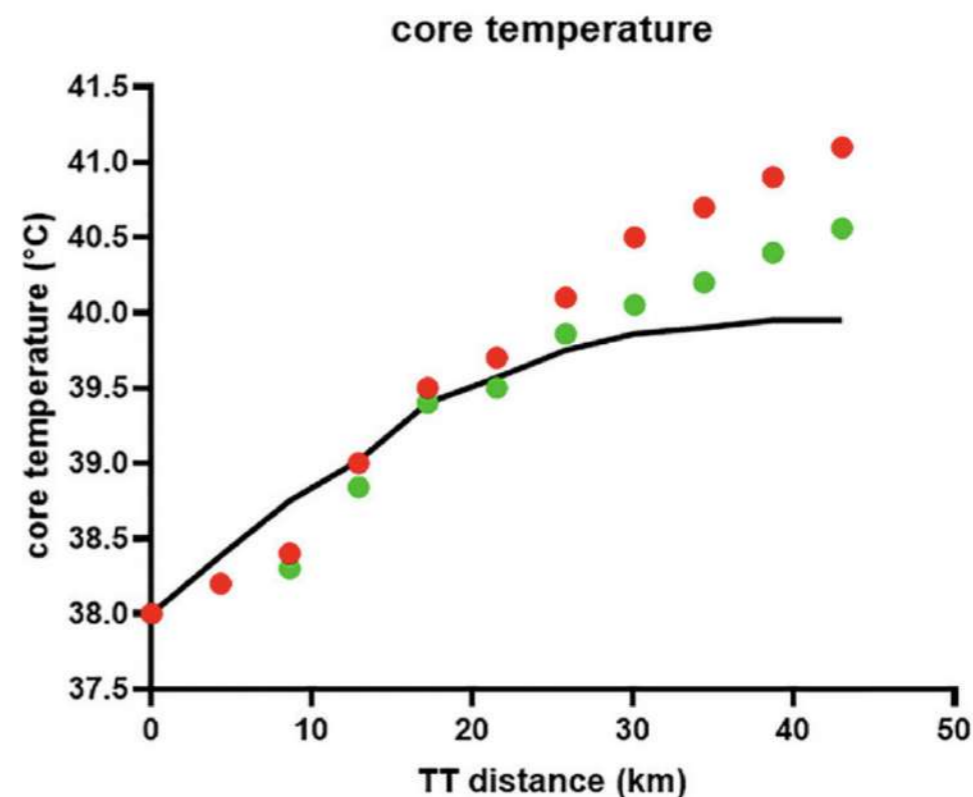
## ACCLIMATATION A LA CHALEUR

Mesures températures centrale et performances d'un cycliste non acclimaté au Qatar (40°C) en allure maximale

— Lieu d'entraînement habituel Danemark 5°C

● Test à J1: T° centrale à 41°C en fin d'effort, perte de puissance de 100W

● Test après deux semaines d'entraînement quotidien en milieu chaud : Amélioration de la température centrale, gain de puissance de 53 W

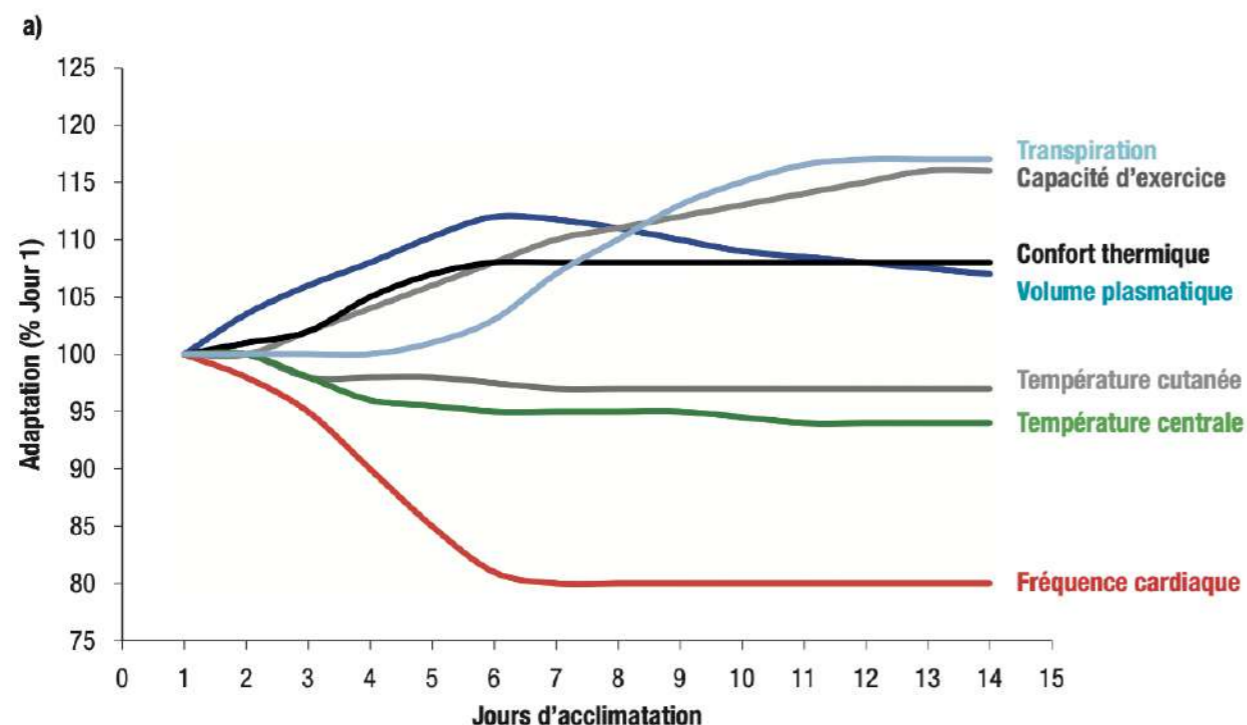


— Lieu d'entraînement habituel au Danemark

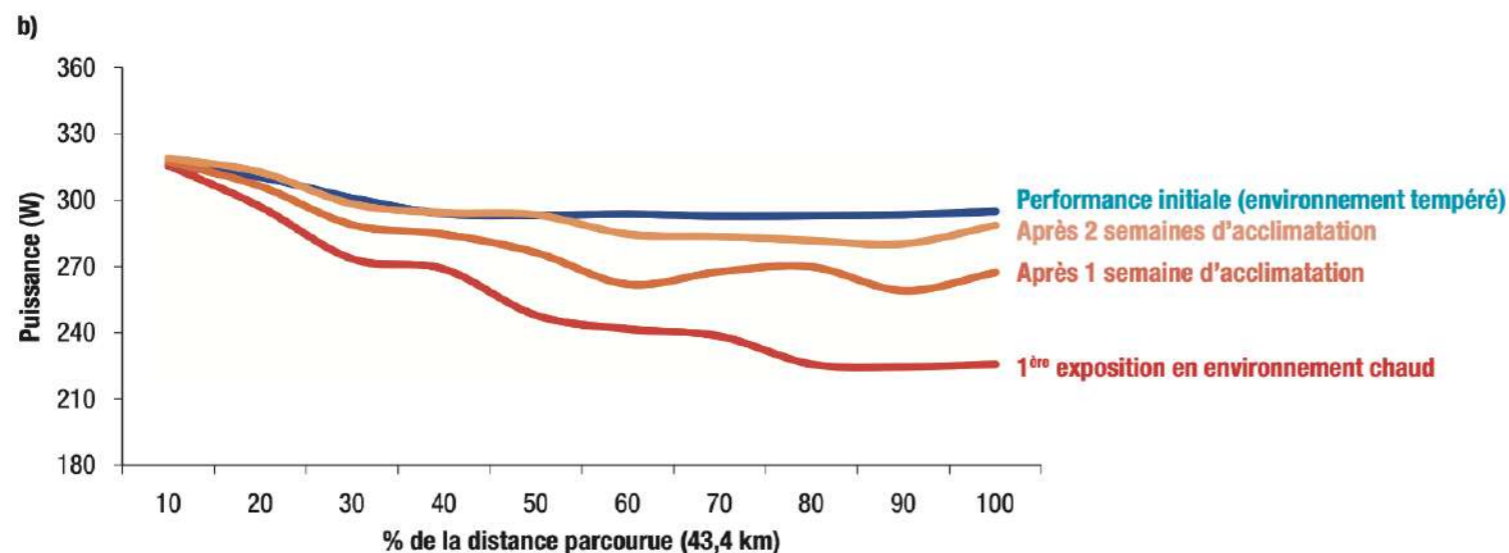
● J1 au Qatar

● S2 au Qatar après deux semaines d'entraînement

## Évolution des adaptations physiologiques (a) et physiques (b) induites par l'acclimatation à la chaleur



# ACCLIMATATION A LA CHALEUR

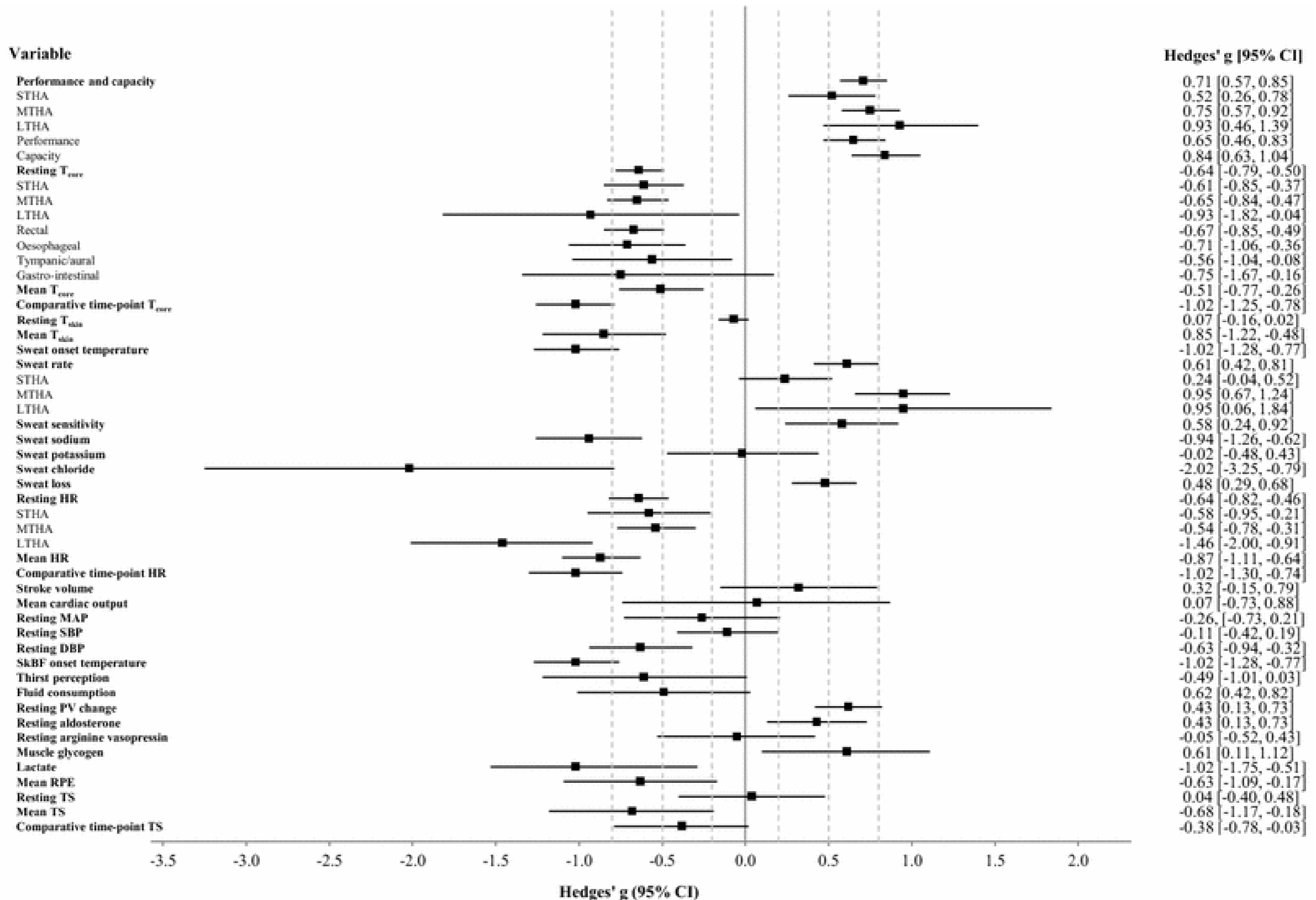


Note de lecture : dès la première semaine d'acclimatation à la chaleur, l'expansion du volume plasmatique est visible, accompagnée d'une réduction de la fréquence cardiaque pendant l'exercice. Les températures centrale et cutanée sont également réduites lors de l'exercice, tandis que la transpiration augmente en conditions non compensables. La perception du confort thermique est également améliorée. En conséquence de ces adaptations, la capacité d'exercice aérobique augmente. Au cours de la deuxième semaine d'acclimatation, certaines adaptations peuvent se développer davantage ou atteindre un plateau, avec un niveau de performance à l'exercice proche de celui en condition tempérée. L'ampleur de ces adaptations dépend de la nature de l'exposition à la chaleur (active ou passive), de la durée, de la fréquence et du nombre d'expositions à la chaleur, ainsi que des caractéristiques propres à l'environnement.

# Acclimatation à la chaleur

Meta analyse 96 articles

**STHA** Short time Heat Acclimatation  
**MTHA** Moderate time Heat Acclimatation  
**LTHA** Long time Heat Acclimatation



# Diagnostic

## DIAGNOSTIC POSITIF

**Tableau neurologique** (Agitation, désorientation, confusion, trouble de conscience convulsion)

**Dans un contexte d'effort**

**Avec hyperthermie centrale > 40°C**

Prise impérative de la température centrale

Oesophagienne la plus fiable, rectale le meilleur compromis de terrain. Le contexte physiopathologique et les biais de mesures rendent la température cutanée ou tympanique non représentative de la température centrale

Profondeur d'insertion rectale d'au moins 7cm Inertie thermique rectale > oesophage

## DIAGNOSTICS DIFFERENTIELS

Une présentation symptomatique similaire sans hyperthermie doit faire évoquer un diagnostic différentiel

## SIGNES ASSOCIES COMPLICATIONS

**Défaillance hémodynamique** multifactorielle à composante hypovolémique (vasoplégie et déshydratation), et parfois composante cardiogénique.

Secondairement, tableau de choc distributif

**Défaillance rénale** quasi constante à composante fonctionnelle, et en rapport avec la rhabdomyolyse et myoglobinurie

**Troubles de coagulation** avec tableau de CIVD

**Troubles digestifs** sur hypoperfusion avec tableaux d'ischémie

**Défaillance hépatique** d'apparition secondaire dans les 24 à 48h

# Prise en charge thérapeutique

## REFROIDISSEMENT

### URGENCE THERAPEUTIQUE PRE HOSPITALIERE

Corrélation entre la durée de hyperthermie > 40°C et la mortalité

Importance de la **PRECOCITE** et de la **VITESSE DE REFROIDISSEMENT**

Concept de « **FROZEN HOUR** »

Heled Y, Rav-Acha M, Shani Y, Epstein Y, Moran DS. The « golden hour » for heatstroke treatment. Mil Med 2004; 169 (3): 184-6.

« **COOL FIRST, TRANSPORT SECOND** » (National Athletics trainer association)

Aucun décès rapporté dans la littérature si d < 30 min

Importance capitale de la prise en charge sur le terrain

Température cible de 38,5°C.

### ENJEUX DE REGULATION

Identification du diagnostic de possible CCE

Guidage des témoins vers mise à l'ombre déshabillage

Prise de renseignement sur moyens de refroidissement disponibles sur place (immersion, aspersion, pains de glace...)

Information aux moyens de secours déclenchés sur l'importance u refroidissement pré-hospitalier

# Prise en charge thérapeutique

## IMMERSION EN EAU FROIDE (IEF)

De loin la plus efficace

Conductivité de l'eau 24 fois sup à celle de l'air

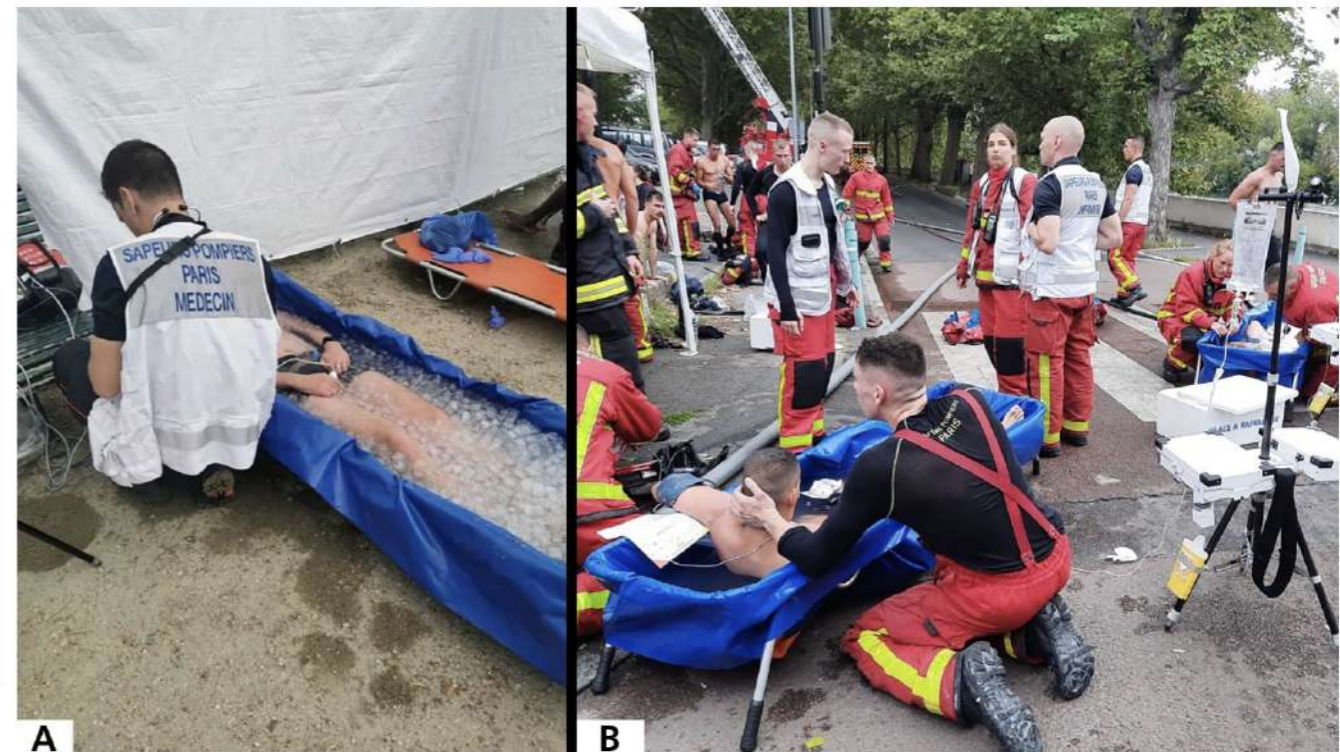
Vitesse de refroidissement proportionnelle à la température de l'eau

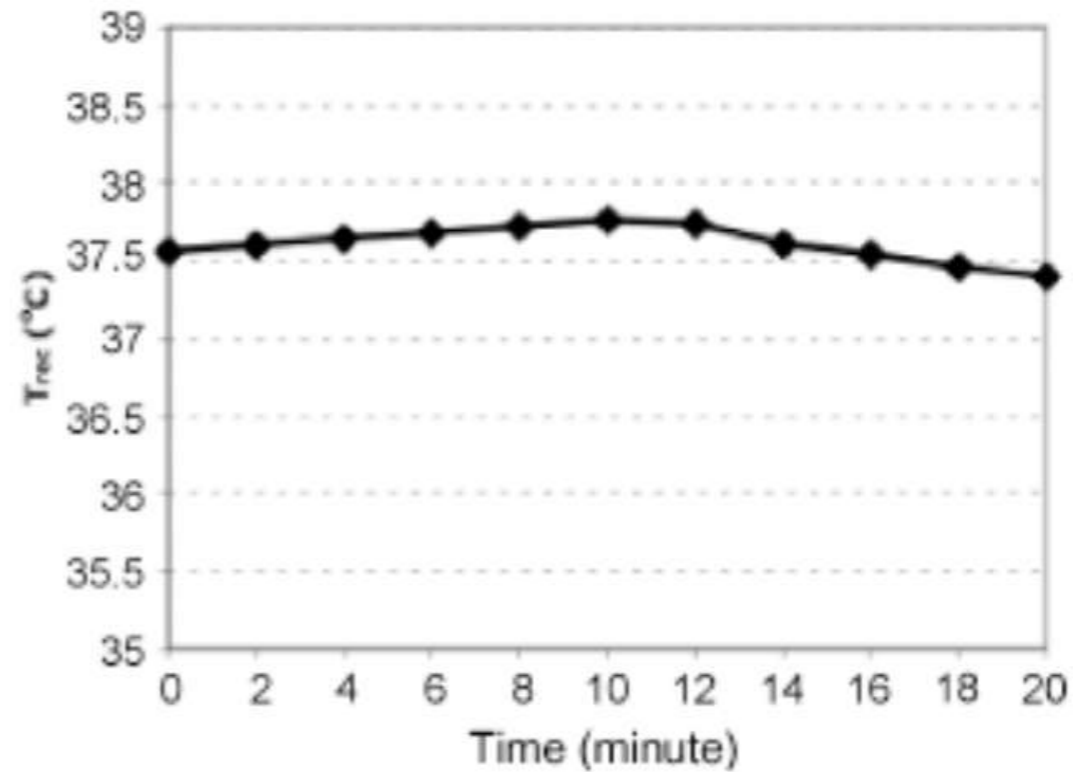
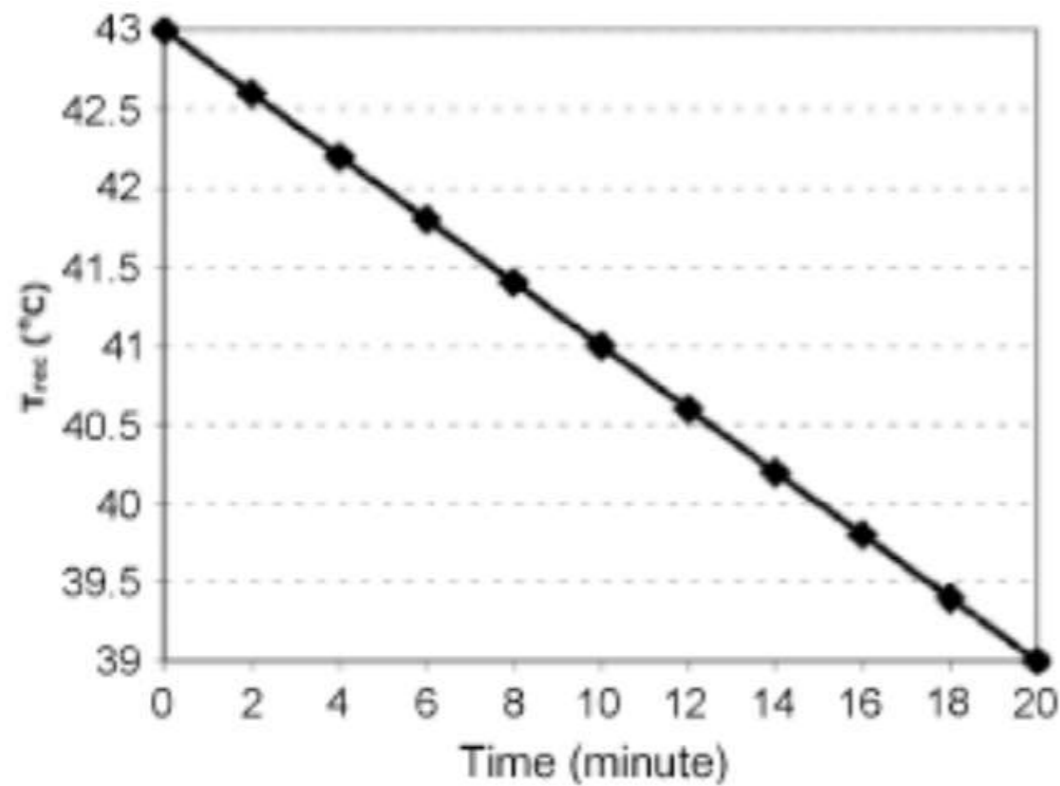
Eau à 26°C 0,1 à 0,15°C par minute

Eau à 2°C 0.35°C par minute

Potentiels effets secondaires historiquement discutés mais innocuité validée par données de littérature (vasoconstriction au contact de l'eau froide diminuée par la dysrégulation)

Casa DJ, McDermott BP, Lee EC, Yeargin SW, Armstrong LE, Maresh CM. Cold water immersion: the gold standard for exertional heatstroke treatment. *Exerc Sport Sci Rev* 2007; 35 (3): 141-9.





Différence de la réponse thermique **centrale** à l'immersion en eau froide selon contexte hyperthermique (à gauche) ou normothermique (à droite):  
 Baisse rapide en cas d'hyperthermie  
 Baisse différée en cas de normothermie (après 20 minutes)  
 Différence expliquée par l'altération physiologique de la réponse vasoconstrictrice au delà de 39/40°

## Cold Water Immersion: The Gold Standard for Exertional Heatstroke Treatment

Douglas J. Casa, Brendon P. McDermott, Elaine C. Lee, Susan W. Yeargin, Lawrence E. Armstrong, Carl M. Maresh |  
 Exerc Sport Sci Rev. 2007;35(3):141-149.

# Prise en charge thérapeutique

## Immersion en eau froide (IEF)

Modalités pratique de l'IEF

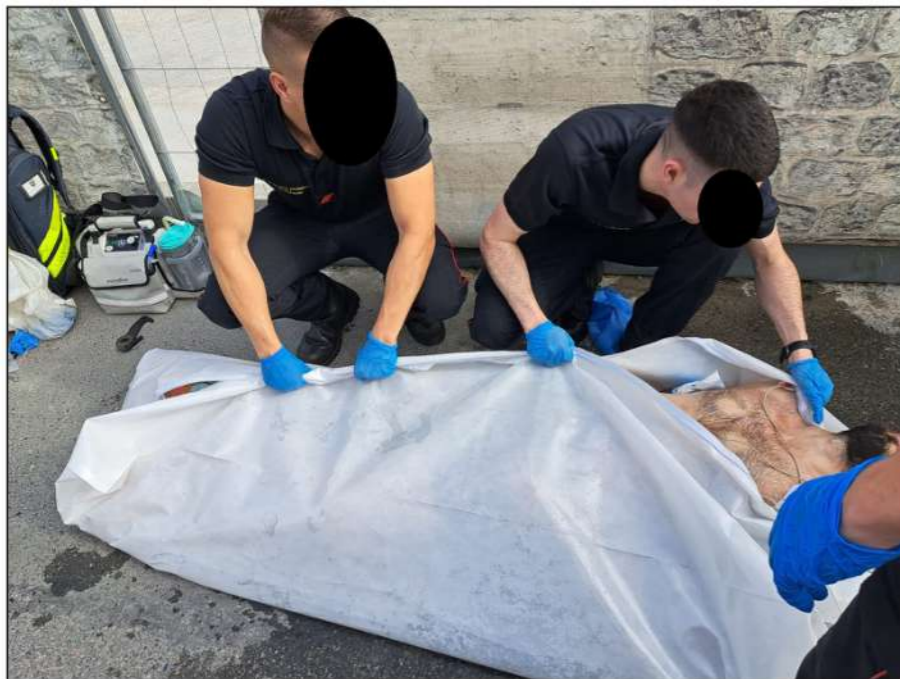
Température cible de 38,5°C. Si non mesurable, durée de bain de 15 min.

Bassins dédiés, housses mortuaires, bâches...

Immersion la plus totale Maintien tête par secouriste dédié

Agitation régulière de l'eau

Monitoring possible mais complexe



Housse mortuaire



# Prise en charge thérapeutique

## AUTRES TECHNIQUES DE REFROIDISSEMENT

**Autres techniques** sont toujours moins efficaces mais parfois plus disponibles sur le terrain

Arrosage par eau froide avec ventilation semble la meilleure solution en absence de possibilité d'IEF

**Les autres techniques sont considérablement moins efficaces:**

- . Aspersions fines (brumisation) avec ventilation (Body cooling unit)
- . Convection froide (ventilateurs glaçons)
- . Application de tissus mouillés
- . Perfusion cristalloïde réfrigérée
- . Application de glace sur les gros axes vasculaires



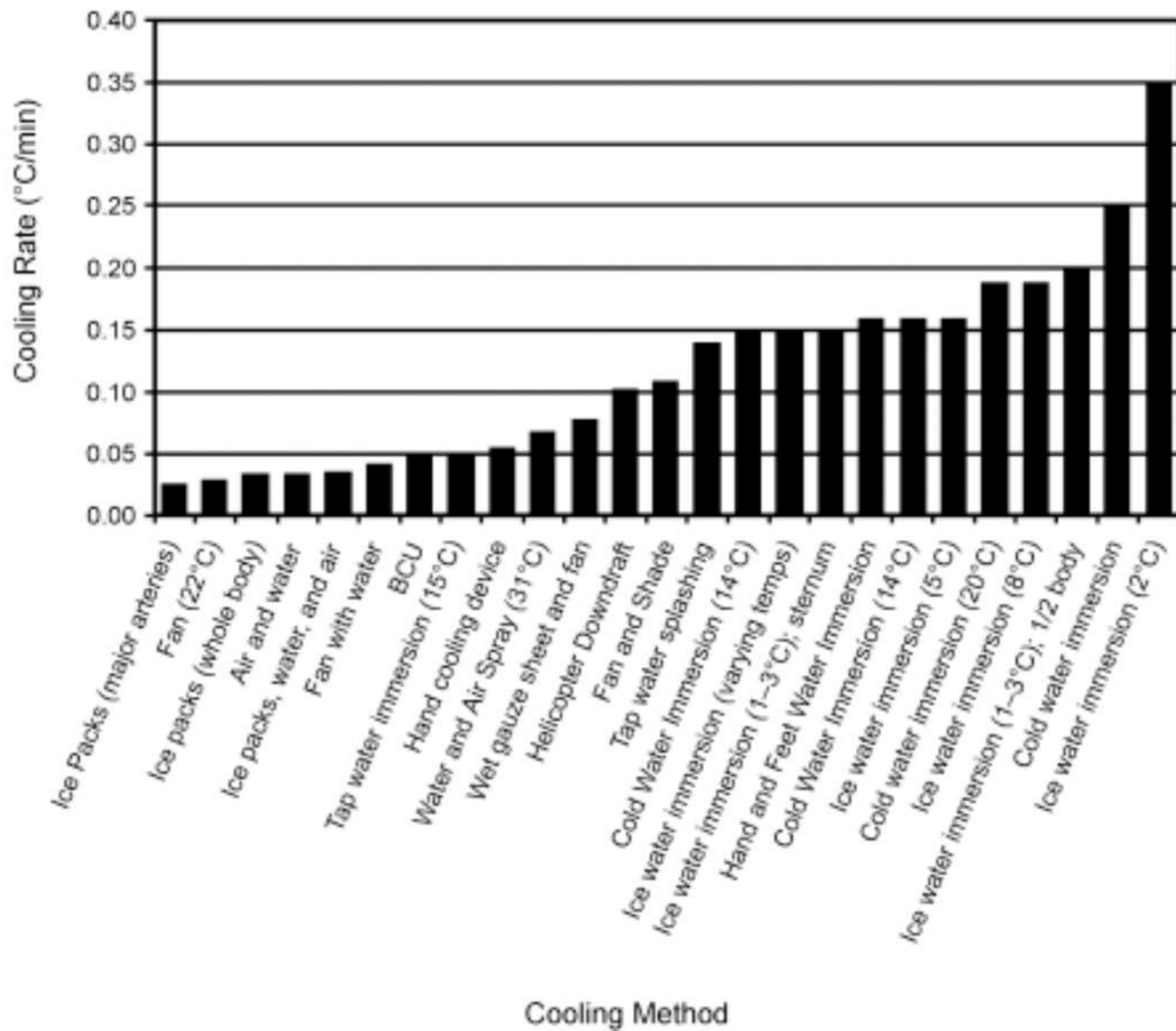
Arrosage au tuyau dans MID: Piste à explorer  
Avantage: disponibilité du matériel



Body cooling unit, non transportable



Convection air froid: trop lent



## Cold Water Immersion: The Gold Standard for Exertional Heatstroke Treatment

Douglas J. Casa, Brendon P. McDermott, Elaine C. Lee, Susan W. Yeargin, Lawrence E. Armstrong, Carl M. Maresh

Exerc Sport Sci Rev. 2007;35(3):141-149.

# Prise en charge thérapeutique

IEF eau glacée 2°	0,35°C/min
IEF eau froide (15 à 20°)	0,2°C/min
IEF eau ambiante 26°	0,15°C/min
Arrosage par eau froide	0,13°C/min
Brumisation avec ventilation (Body cooling unit)	0,1°C/min
Application linges trempés d'eau froide avec ventilation	0,07°C/min
Perfusion de solutés froids	0,07°C/min
Pains de glace axes vasculaires	0,036°C/min
Association Perfusion froide / Glace axes vasculaires	0,097°C/min

# Prise en charge thérapeutique

## ET A PART LE REFROIDISSEMENT?

La seule priorité au refroidissement serait l'ACR ou un état de mal convulsif

En dehors de l'ACR le REFROIDISSEMENT LE PLUS PRECOCE EST AU PREMIER PLAN

Une intubation sur critère neurologique devrait idéalement être reconsidérée après refroidissement

La pose d'un accès veineux ne doit pas retarder le refroidissement et s'envisage idéalement en cours de refroidissement

Expansion volémique par cristalloïdes (réfrigérés?)

### **NOT TO DO:**

Eviter Paracetamol (Compte tenu du potentiel de complication hépatiques)

Eviter Aspirine (Compte tenu des troubles hémostasie)

Non évaluation de la N Acétyl Cysteine précoce dans cette indication

Non indication de Dantrolene (Plus indiqué dans HMA Anesthésique)

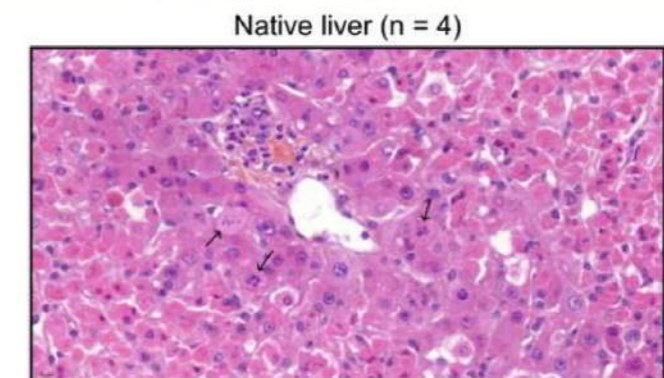
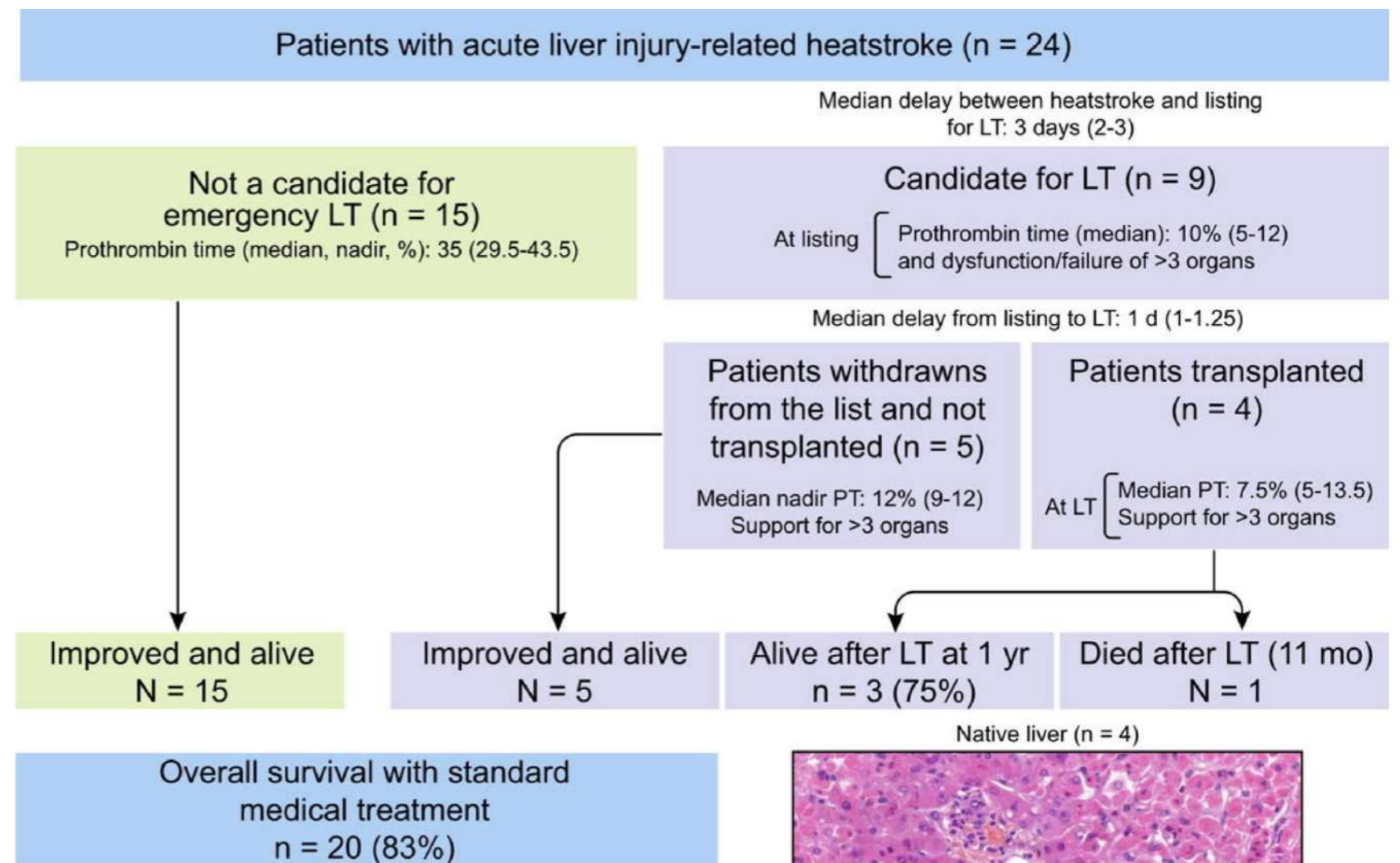
Eviter curare dépolarisant si intubation (CI Dans l'hypothèse d'un trouble gène RYR1)

### **MESSAGE IMPORTANT**

Une fois la cascade physiopathogénique enclenchée, la défaillance multiviscérale peut se poursuivre au delà du refroidissement

# Prise en charge thérapeutique

## ASPECTS PARTICULIERS DE L'INSUFFISANCE HEPATRIQUE AIGUE



Massive or sub-massive necrosis and "micronecrotic" appearance

Heatstroke involving severe liver injury, associated or not with the dysfunction of other organs, improves in more than 80% of cases with medical therapy alone. An improvement in liver function is possible, even with low prothrombin values. LT only represents a rare alternative and achieves good survival rates after surgery. However, the decision to transplant should not be taken hastily and must take account of the kinetics of PT and of the patient's clinical status. The peculiar histological ...

[41] Ichai P, Laurent-Bellue A, Camus C, Moreau D, Boutonnet M, Saliba F, et al. Liver transplantation in patients with liver failure related to exertional heatstroke. *J Hepatol* 2019;70:431-9. <https://doi.org/10.1016/j.jhep.2018.11.024>.

# MESURES PREVENTIVES

Entraînement

Acclimatation

Eviter les efforts maximaux aux premiers jours d'exposition caniculaires

Adaptations vestimentaires

Adaptation des allures

Hydratation compensée limitation perte de poids à 2% Apport sodé 0,5 à 0,7g/l

Pré et Per cooling: peu étudié

Pas d'effort sportif lors d'épisodes infectieux

Pas de consommation toxique

Pas de carence somnique

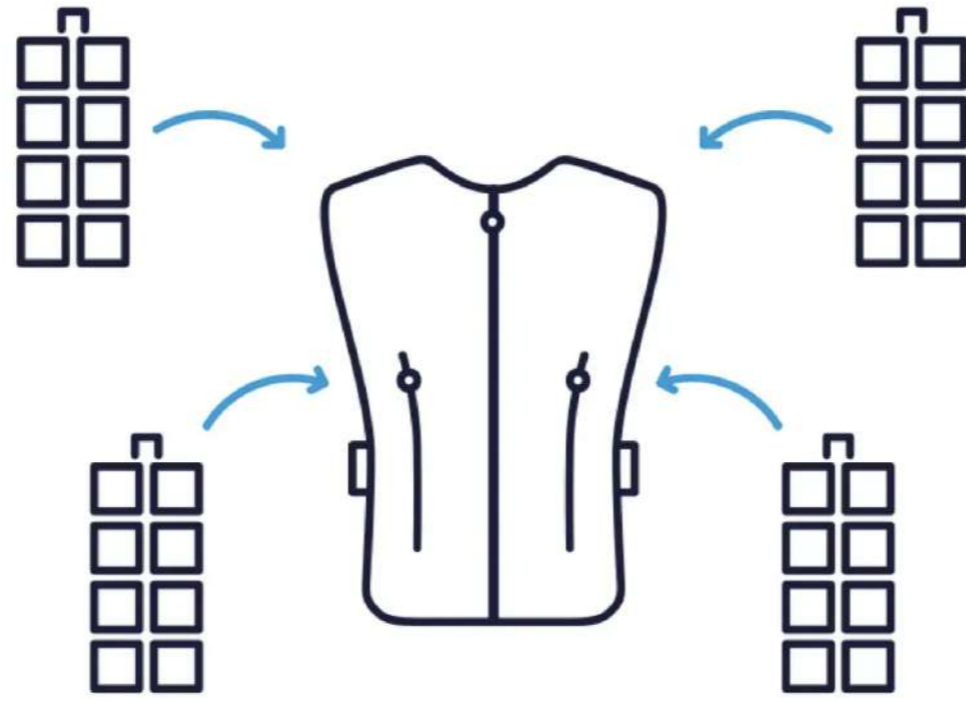
Eviter les médicaments déconseillés

Tenir compte des facteurs environnementaux (recommandations fédérales)

Formation des entraîneurs et éducateurs sportifs

Formation des professionnels de santé

Moyens logistiques adaptés lors des manifestations sportives



A frozen packs



## GILETS REFRIGERANTS



A cartouche réfrigérante

## Review

**Table 1** Policy employed by the International Federations (IFs) of the 45 sports engaged in Paris 2024 Olympic Games to protect athletes from heat stress in the competitive environment

Sport	International Federation	Venue	Heat stress risk	Heat policy	Parameter measurement	Thermal index	Commitment
Athletics	World Athletics	Outdoor	Extreme	Yes	Calculation	WBGT	Requirement
Cycling Road	International Cycling Union	Outdoor	Extreme	Yes	Calculation*	WBGT	Recommendation
Triathlon	World Triathlon	Outdoor	Extreme	Yes	Calculation	WBGT †	Requirement
Cycling Mountain Bike	International Cycling Union	Outdoor	Very high	Yes	No or unspecified	–	Recommendation
Hockey	International Hockey Federation	Outdoor	Very high	Yes	Multiple	Air T° and rh%	Requirement
Marathon Swimming	World Aquatics	Outdoor	Very high	Yes	Single	Water T°	Requirement
Rugby Sevens	World Rugby	Outdoor	Very high	Yes	Calculation	Heat Stress Index	Recommendation
Sailing	World Sailing	Outdoor	Very high	Yes	No or unspecified	–	Recommendation
Tennis	International Tennis Federation	Outdoor	Very high	Yes	Calculation	WBGT	Requirement
Basketball 3x3	International Basketball Federation	Outdoor	High	No	–	–	–
Beach Volleyball	International Volleyball Federation	Outdoor	High	Yes	Calculation	WBGT	Requirement
Cycling BMX Racing	International Cycling Union	Outdoor	High	Yes	No or unspecified	–	Recommendation
Football	International Federation of Football Association	Outdoor	High	Yes	Calculation	WBGT	Requirement
Modern Pentathlon	World Pentathlon	Outdoor	High	Yes	Multiple	Air T° and rh%	Recommendation
Rowing	World Rowing	Outdoor	High	Yes	Calculation	WBGT	Recommendation
Canoe Flatwater	International Canoe Federation	Outdoor	Moderate	Yes	No or unspecified	–	Requirement
Canoe Slalom	International Canoe Federation	Outdoor	Moderate	Yes	Multiple	Air T° and air movement	Requirement
Cycling BMX Freestyle	International Cycling Union	Outdoor	Moderate	Yes	No or unspecified	–	Recommendation
Cycling Track	International Cycling Union	Indoor	Moderate	No	–	–	–
Equestrian	Fédération Equestre Internationale	Outdoor	Moderate	Yes	Calculation	WBGT	Recommendation
Golf	International Golf Federation	Outdoor	Moderate	Yes	Calculation	WBGT	Recommendation
Skateboarding	World Skate	Outdoor	Moderate	Yes	No or unspecified	–	Recommendation
Sport Climbing	International Federation of Sport Climbing	Outdoor	Moderate	No	–	–	–
Surfing	International Surfing Association	Outdoor	Moderate	Yes	No or unspecified	–	Recommendation
Archery	World Archery Federation	Outdoor	Low	Yes	No or unspecified	–	Recommendation
Artistic Gymnastics	International Gymnastics Association	Indoor	Low	Yes	Calculation	Humidex	Recommendation
Artistic Swimming	World Aquatics	Indoor	Low	Yes	Single	Water T°	Recommendation
Badminton	Badminton World Federation	Indoor	Low	Yes	Multiple	Air T° and air movement	Requirement
Basketball	International Basketball Federation	Indoor	Low	Yes	Single	Air T°	Requirement
Boxing	Athlete 365 Boxing	Indoor	Low	Yes	No or unspecified	–	Requirement
Breaking	World DanceSport Federation	Outdoor	Low	Yes	No or unspecified	–	Recommendation
Diving	World Aquatics	Indoor	Low	Yes	Single	Water T°	Recommendation
Fencing	International Fencing Federation	Indoor	Low	Yes	Single	Air T°	Requirement
Handball	International Handball Federation	Indoor	Low	Yes	Single	Air T°	Requirement
Judo	International Judo Federation	Indoor	Low	Yes	Single	Air T°	Requirement
Rhythmic Gymnastics	International Gymnastics Association	Indoor	Low	Yes	Calculation	Humidex	Recommendation
Shooting	International Shooting Sport Federation	Indoor	Low	No	–	–	–
Swimming	World Aquatics	Indoor	Low	Yes	Single	Water T°	Recommendation
Table Tennis	International Table Tennis Federation	Indoor	Low	No	–	–	–
Taekwondo	World Taekwondo	Indoor	Low	No	–	–	–
Trampoline	International Gymnastics Association	Indoor	Low	Yes	Calculation	Humidex	Recommendation
Volleyball	International Volleyball Federation	Indoor	Low	Yes	Single	Air T°	Recommendation
Water Polo	World Aquatics	Indoor	Low	Yes	Single	Water T°	Recommendation
Weightlifting	International Weightlifting Federation	Indoor	Low	No	–	–	–
Wrestling	United World Wrestling	Indoor	Low	Yes	Single	Air T°	Requirement

The policies collected were indicated in the official documentation of the IFs. A level of heat stress risk was also determined for each sport: low, moderate, high, very high or extreme.

Sources of policy can be found in online supplemental materials.

\*Estimated WBGT based on: air temperature, relative humidity, estimated radiant temperature, estimated wind speed based on the expected peloton speed.

†The WBGT is employed for the cycling and running parts of the triathlon while the water temperature is measured for the swimming part.

rh%, relative humidity; T°, temperature; WBGT, Wet Bulb Globe Temperature.

## JO PARIS 2024

15 sports identifiés à risque de CCE

(High, Very high, Extreme risk)

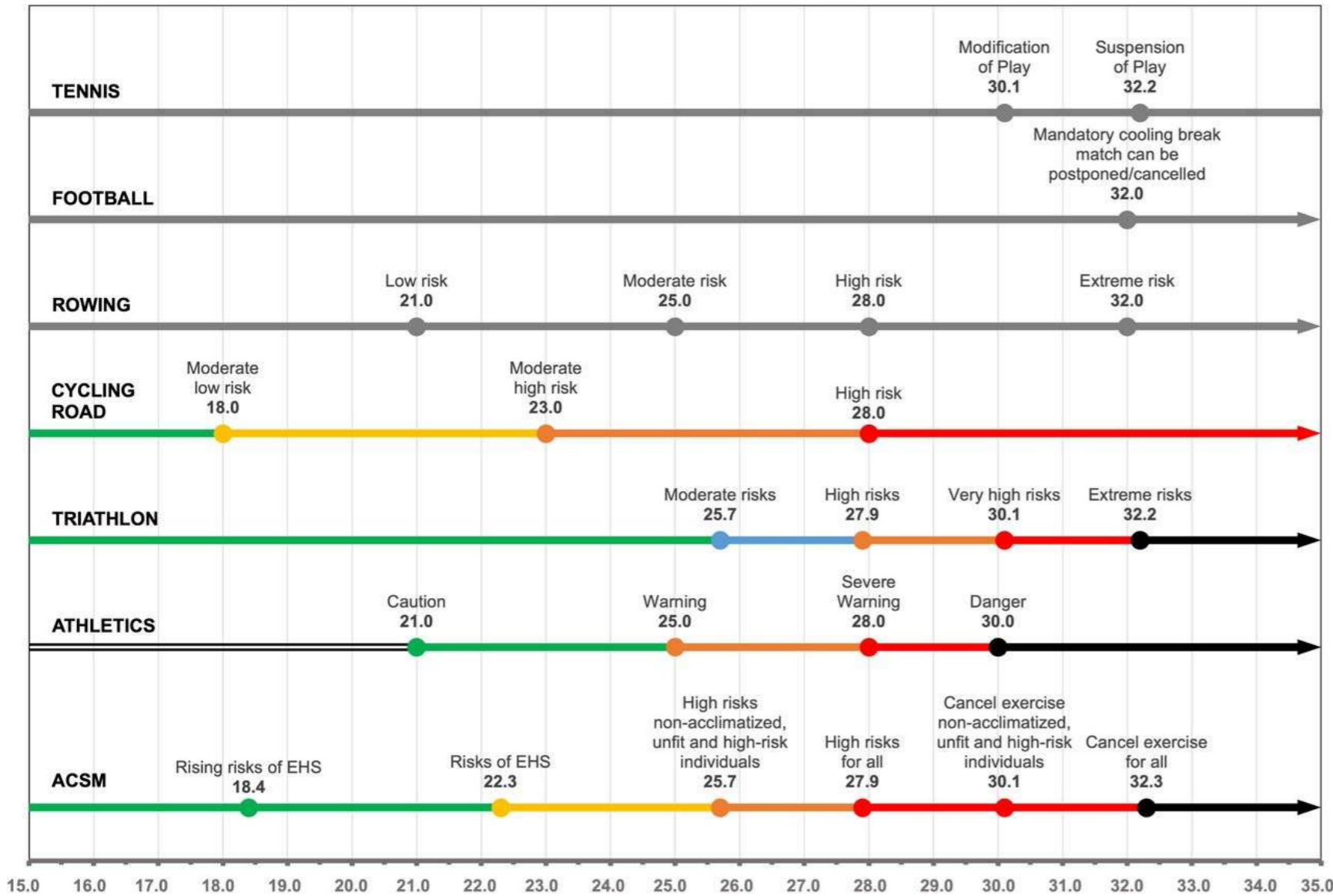
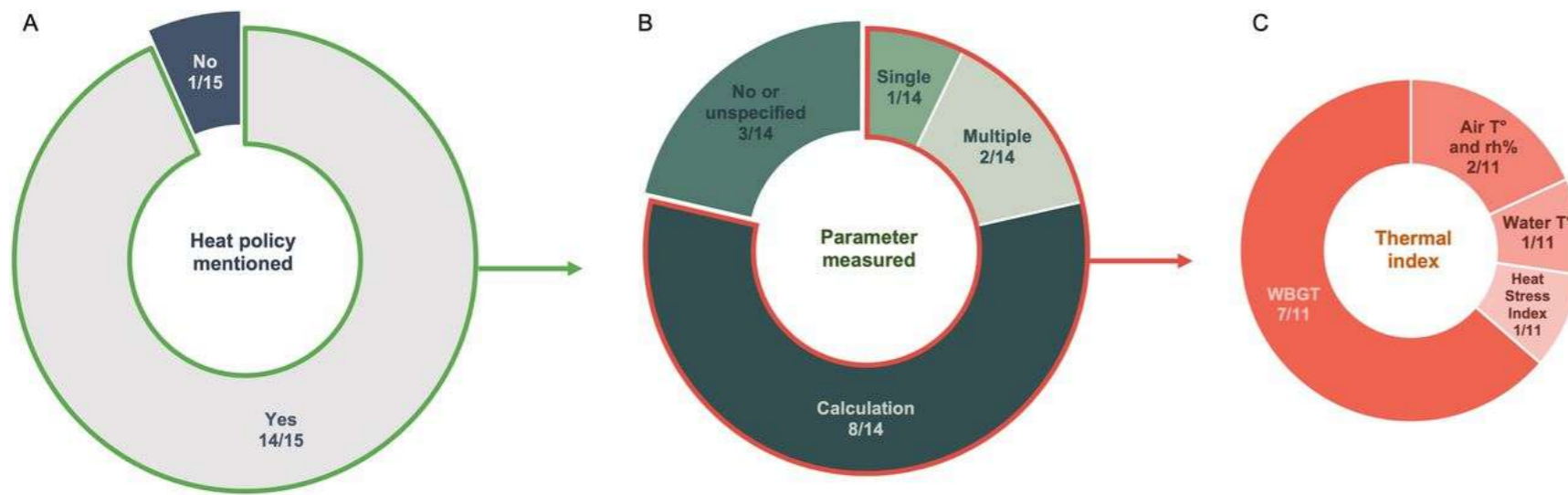
(Critères combinés d'exposition environnementale, de durée, d'intensité)

3 sports à risque extreme (Athlétisme Cyclisme sur route et Triathlon)

Le Basket 3X3 n'a pas de politique de prévention et ne définit pas de critère d'évaluation des risques

3 sports à risque ne définissent pas de critère d'évaluation des risques (VTT BMX Voile)

La plupart des sports « low ou moderate risk » sont indoor



Selon les fédérations:  
 Paramètres utilisés variables (Indice WBGT le plus fréquent)  
 Réglementations différentes avec émission de recommandations, ou d'exigences (adaptations reprogrammation...)

Bandiera D, Racinais S, Garrandes F, et al Heat-related risk at Paris 2024: a proposal for classification and review of International Federations policies British Journal of Sports Medicine 2024;58:860-869.

# EXEMPLE DE RECOMMANDATION FEDERALE (TRIATHLON)

Triathlon	Extreme	WBGT	<p>The measurement tool should be taken at the finish area every 30 min starting 3 hours before the start of the competition. The device must be placed in direct sunlight 1.5 m above the ground. Provide announcements of its readings at the Sport Information Centre and the Athlete Lounge.</p>	<p>Timetable adjustment, tent with fans and air conditioned, water, sports drink cooled, towels immersed in ice water, ice, inflatable bath with water and ice, Improve the aid/drink stations numbers during the run course. WBGT 30.1–32.2, red flag: if the medical assistance follows all the rules of World Triathlon Event Organiser Manual Medical Services and Exertional Heat Illness Prevention document, standard distance events—change to sprint distance; sprint distance events and below—stay as originally planned. If the medical assistance does not follow all the rules, the competition must be rescheduled for sprint and standard distance events. Meeting conducted between delegates, director and doctor for agreeing the heat countermeasures to be implemented for middle-distance and long-distance events. WBGT &gt;32.2°C, black flag: the competition must be rescheduled or cancelled for sprint and standard distance events. Meeting conducted between delegates, director and doctor for agreeing the heat countermeasures to be implemented for middle-distance and long-distance events.</p>
-----------	---------	------	--	---

# RECOMMANDATIONS GOUVERNEMENTALES CANICULES

## FICHE O2/J

### LES ORGANISATEURS DE MANIFESTATIONS SPORTIVES

#### EN PRÉPARATION

Prennent en compte du risque d'exposition à la chaleur dans l'organisation de l'évènement :

- ✓ **Établir** un protocole de fonctionnement en cas de vague de chaleur :
  - déterminer les conditions de l'annulation (ou le report) de la manifestation en cas de forte chaleur,
  - s'assurer que les personnes participant à la manifestation et les membres de l'équipe l'encadrant aient accès et connaissent les mesures de prévention,
  - s'assurer de la mise à disposition de stocks de boissons fraîches,
  - mettre en place les mesures de prévention d'une pathologie liée à la chaleur,
  - former l'équipe d'encadrement dans la reconnaissance des signes d'alerte faisant suspecter un coup de chaleur et sa prise en charge.
- ✓ **S'assurer** que ce protocole est accessible, connu et compris par l'ensemble de l'équipe organisatrice ;
- ✓ **S'assurer** que les effectifs en personnels nécessaires à la réalisation de ce protocole seront suffisants pendant la manifestation ;
- ✓ **S'assurer** que le matériel nécessaire à la réalisation de ce protocole sera disponible et opérant pendant la période estivale ;
- ✓ **Afficher** les recommandations aux sportifs et au public sur les panneaux ad hoc ;
- ✓ **Contrôler** les modalités de mise à disposition de boissons fraîches ;
- ✓ **Étudier** l'ensoleillement de la structure et les possibilités de créer des zones d'ombre ;

- ✓ **Étudier** et vérifier la fonctionnalité des vestiaires, douches ;
- ✓ **Mettre** en place des thermomètres dans les structures.

#### EN PÉRIODE DE VEILLE SAISONNIÈRE

- ✓ **Consulter** régulièrement les prévisions météorologiques afin d'anticiper la mise en œuvre des mesures.

#### EN SITUATION DE GESTION

- ✓ **Mettre en œuvre** des dispositions du protocole ;
- ✓ **Assurer** la diffusion d'informations préventives à l'occasion des manifestations sportives au public et participants ;
- ✓ **Inform**er l'encadrement médical et paramédical des compétiteurs ;
- ✓ **Suivre et faire remonter** tout événement anormal au préfet de département.

#### LEVÉE D'ALERTE

- ✓ **Être informés** de l'évolution et de la fin de la vague de chaleur et diffuser l'information dans leur organisation propre.

#### RETEX

- ✓ **Procéder** à l'analyse de la gestion de l'évènement, en tire les conséquences pour apporter les améliorations nécessaires à leurs dispositifs.

## FICHE O2/K

### LES EMPLOYEURS

Conformément au code du travail, « l'employeur est tenu de prendre les mesures nécessaires pour assurer la sécurité et protéger la santé physique et mentale de tous les travailleurs ».

Dans ce cadre, tout employeur doit être conscient des risques qu'une chaleur extrême peut avoir sur ses employés : un risque d'épuisement et/ou de déshydratation, et un risque de coup de chaleur.

Ce risque doit être pris en considération dans le cadre de l'évaluation des risques (actualisation du document unique, DUER) et se traduire par un plan d'actions prévoyant des mesures correctives possibles en application du décret n° 2008-1382 du 19 décembre 2008, relatif à la protection des travailleurs exposés à des conditions climatiques particulières (article R. 4121-1 du code du travail).

Les principales missions sont :

#### EN PRÉPARATION

- ✓ **Veiller** à l'élaboration et l'actualisation du document unique d'évaluation des risques et d'un plan de gestion interne des vagues de chaleur le cas échéant ;
- ✓ **Désigner** un responsable de la préparation et de la gestion ;
- ✓ **Recenser** les postes de travail les plus exposés à une source de chaleur importante ;
- ✓ **Inform**er les salariés des risques, des moyens de prévention ainsi que des signes et symptômes du coup de chaleur ;
- ✓ **Mettre** à disposition des salariés des locaux ventilés, de l'eau potable et fraîche, et ce, gratuitement (article R. 4225-2 du code du travail) ;
- ✓ **Vérifier** que les adaptations techniques pertinentes (stores, aération...) permettant de limiter les effets de la chaleur ont été mises en place et sont fonctionnelles : dans les locaux fermés où les salariés sont amenés à séjourner, l'air doit être renouvelé (article R. 4222-1 du code du travail).

#### EN PÉRIODE DE VEILLE SAISONNIÈRE

- ✓ **Consulter** régulièrement les prévisions météorologiques afin d'anticiper au mieux voire réaménager l'activité notamment si elle doit avoir lieu en plein air et comporte une charge physique.

#### EN SITUATION DE GESTION

- ✓ **Mettre** en place d'une organisation et de moyens adaptés (mesures de limitation de ces expositions (ex. horaires décalés, pauses plus fréquentes...)) ;
- ✓ **Mettre** à disposition des salariés « de l'eau potable et fraîche pour la boisson » (article R. 4225-2 du code du travail) ;
- ✓ **Aménager** les horaires de travail, d'augmenter la fréquence des pauses, de reporter les tâches physiques éprouvantes ou encore d'informer les salariés sur les risques encourus (fatigue, maux de tête, vertige, crampes... pouvant entraîner des conséquences graves comme des coups de chaleur ou une déshydratation) ;

# RECOMMANDATIONS GOUVERNEMENTALES CANICULES

## FICHE O3/N

### FICHE D'AIDE À LA DÉCISION : REPORT, ANNULATION OU INTERDICTION DE MANIFESTATIONS SPORTIVES

**Vigilance rouge – canicule extrême | Destinataires : organisateurs de manifestations sportives, maires, préfets.**

#### CONTEXTE

Le placement d'un département en vigilance météorologique rouge canicule doit conduire les décideurs locaux à évaluer la situation et l'opportunité de reporter ou annuler temporairement les manifestations sportives, dans l'hypothèse où la mise en œuvre des actions visant à réduire l'impact des vagues de chaleur se révèle insuffisante.

La présente fiche a pour objet de fournir à ces décideurs locaux (organisateur de manifestations sportives, préfets, communes) des éléments d'appréciation leur permettant d'objectiver leurs décisions quant au report ou l'annulation temporaire des manifestations sportives, à l'exclusion des aspects liés à la sécurisation des manifestations.

#### ÉLÉMENTS D'AIDE À LA DÉCISION

La décision éventuelle d'annulation ou de report des manifestations sportives repose sur l'appréciation d'un certain nombre de critères : les conditions d'accueil des sportifs et de déroulement des épreuves.

##### Nature de la discipline sportive

- ✓ **Intensité** et durée de l'effort ;
- ✓ **Source** de chaleur surajoutée :
  - Équipements individuels obligatoires (ex : combinaison) ;
  - Moteur (ex : sports mécaniques).

##### Conditions de déroulement de la manifestation

- ✓ **Milieu intérieur ou extérieur** :
  - En intérieur : locaux ventilés ou climatisés ;
  - En extérieur : présence ou non de zones ombragées pour les sportifs et/ou le public.

- ✓ **Milieu d'évolution** (ex : aquatique) ;
- ✓ **Présence ou non** de spectateurs ;
- ✓ **Nombre de participants** et de spectateurs ;
- ✓ **Adéquation** des équipes de secours ;
- ✓ **Mise en place effective** des mesures de prévention :
  - Rafraîchissement pour les sportifs : douche, brumisateur... ;
  - Mesures d'hydratation pour les sportifs et le public : accès à des points d'eau potable ou mise à disposition d'eaux embouteillées ;
  - Adaptation des règles sportives : diminution des distances et des temps de pratique, modification de parcours, mise en place de pauses en vue de la réhydratation ;
  - Décalage de l'horaire à une période moins chaude de la journée (début de matinée ou en soirée).

#### Qualité des participants

- ✓ **Sportifs** très entraînés (sportifs professionnels ou de haut niveau), ou sportifs occasionnels.

#### Éléments de contexte

- ✓ **Présence de vent**, orage, etc. ;
- ✓ **Détermination de l'indice WBGT** : cf. fiche technique II-2-1 du Haut conseil de santé publique.  
> [http://www.hcsp.fr/Explore.cgi/Telecharger?NomFichier=hcspr20140415\\_recosanit-plannationcanicule2014.pdf](http://www.hcsp.fr/Explore.cgi/Telecharger?NomFichier=hcspr20140415_recosanit-plannationcanicule2014.pdf)

#### PROCESSUS D'ÉVALUATION ET DE DÉCISION

Les organisateurs de la manifestation sportive sont chargés d'évaluer la situation locale, en lien éventuellement avec les collectivités territoriales et les services déconcentrés de l'Etat, afin d'apprécier les conditions de déroulement de la manifestation sportive, en s'appuyant notamment sur les éléments d'aide à la décision exposés ci-dessus.

Dès lors qu'il ressort de cette analyse que les conditions de déroulement de la manifestation sportive ne sont pas satisfaisantes, les décideurs locaux prennent la décision :

- ✓ **De décaler l'horaire** de la manifestation à une période moins chaude de la journée (début de matinée ou en soirée),
- ✓ **Ou de réduire** le nombre d'épreuves ou le parcours ;
- ✓ **Voire d'interdire, d'annuler ou de reporter** la manifestation sportive à une date ultérieure.

Ils en informent le préfet du département concerné.

# MERCI DE VOTRE ATTENTION

