



# Adaptations cardio-vasculaires en conditions extrêmes

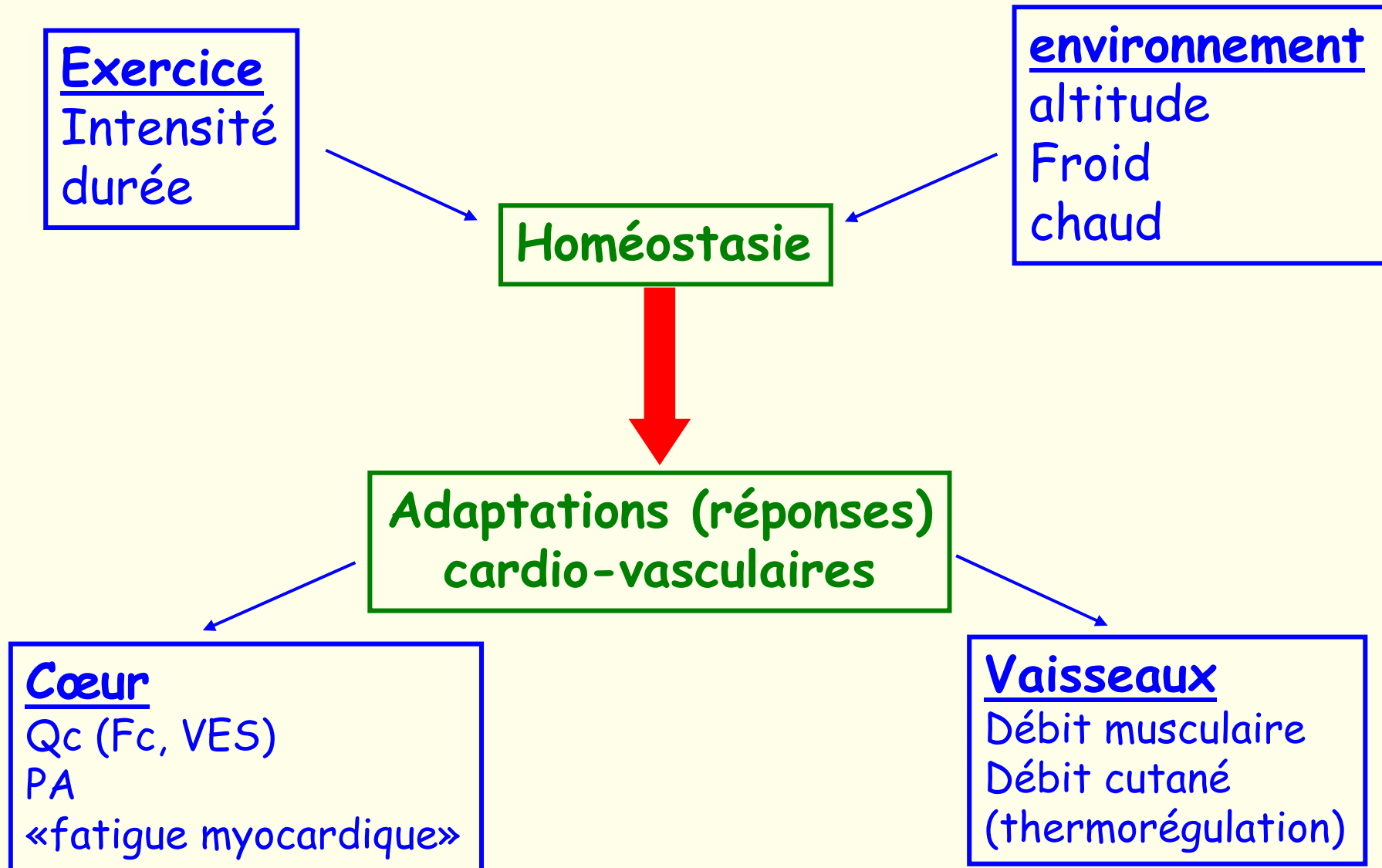
**Stéphane DOUTRELEAU**

Service de Physiologie et d'Explorations Fonctionnelles  
CHU Strasbourg

2ièmes Journées Régionales du Club Mont-Blanc  
Cœur et Sport  
Club des Cardiologues du Sport  
Annecy - 17 au 19/10 2008c

Mise à jour le 22-10-08

# Conditions extrêmes ?





 Antarctic Ice Marathon & 100k

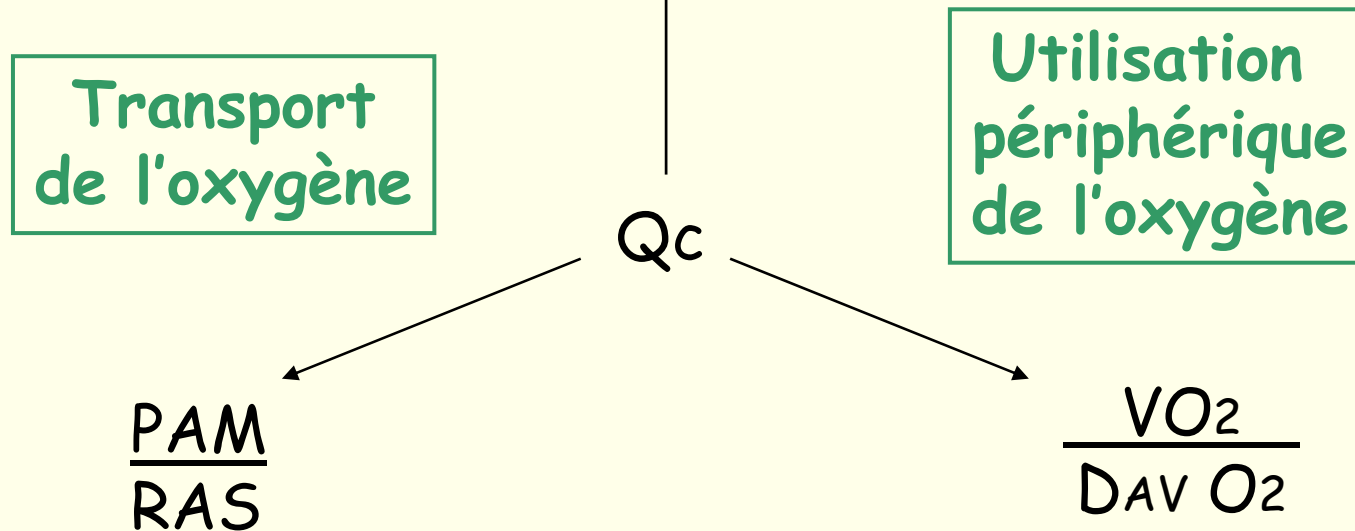
# Le «stress» de l'activité physique

- Stimulation sympathique +++
- ↑ Débit cardiaque X 5
- ↑ Fc et de la PAS X 2
- $MVO_2$  X 10 et donc ↑ débit coronaire et du *shear stress*
- Hérorrhéologie ; volémie
- Désordres métaboliques
  - Dyskaliémie, hyponatrémie, hypomagnésémie
  - Acidose lactique
  - Déshydratation
  - Hypoxémie ?

# Le contrôle du $Q_c$

Facteurs «centraux»

$$VES \times Fc$$



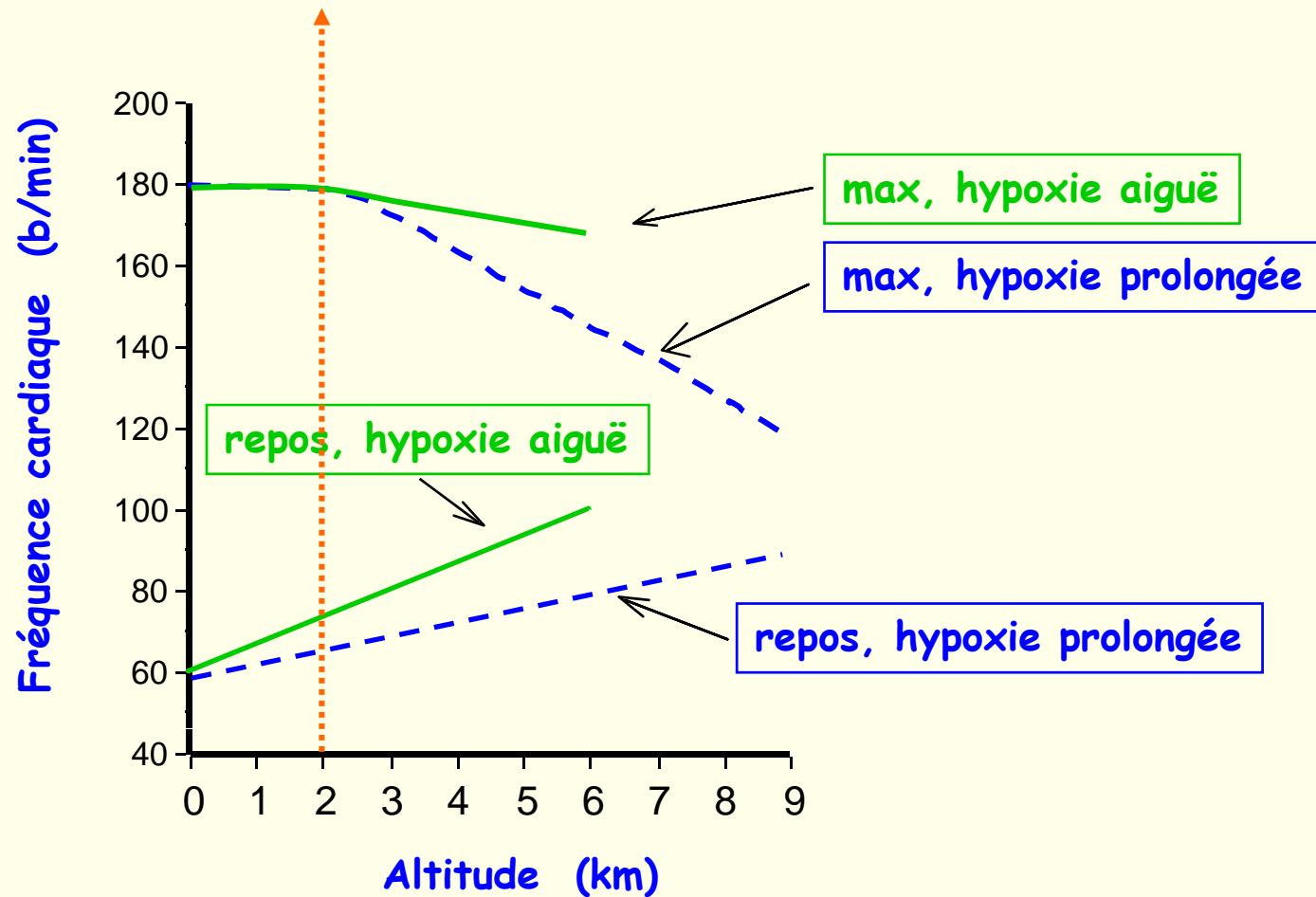
Facteurs «périphériques»

# Adaptations cardio-vasculaires



Effets de l'altitude

## Fréquence cardiaque au repos et à l'exercice en hypoxie aiguë et prolongée



D'après Richalet JP. *Médecine de l'Alpinisme et des sports de Montagne*, 2003

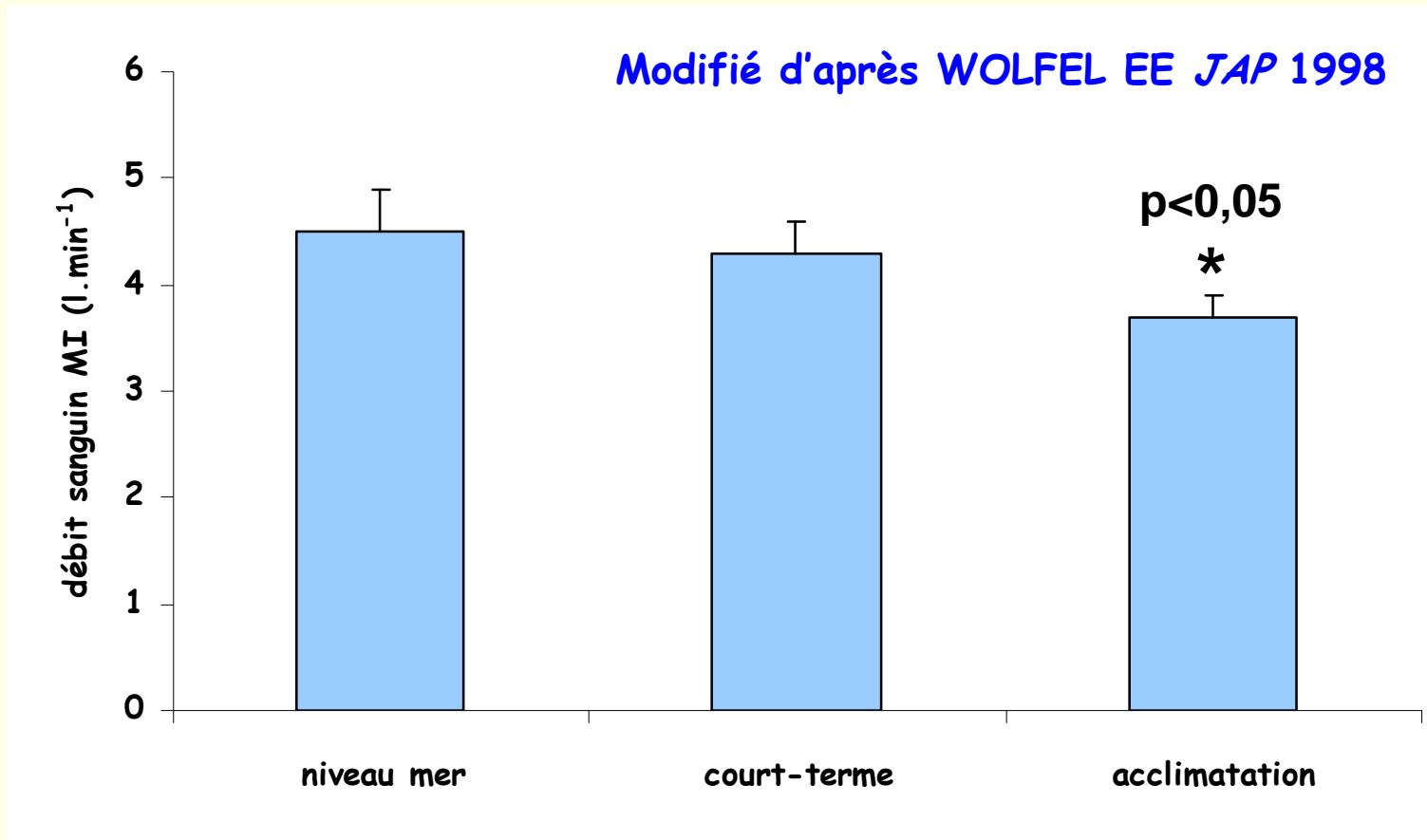
# Origines de l'augmentation de la Fc

- Détection de l'hypoxie
  - Stimulation du nœud sinusal par le sympathique
  - Stimulation des  $\beta$ -récepteurs adrénergiques (catécholamines)
  - Inhibition  $\pm$  importante du système parasympathique

# Autres paramètres

- Pression artérielle : peu de modification ; tendance à l'augmentation des PAD et PAS
- Fonction systolique VG :
  - pas de modification de la FEVG
  - Diminution du diamètre TDVG
- Fonction diastolique :
  - Diminution du rapport E/A
  - Augmentation de la contribution auriculaire au remplissage
- Pression artérielle pulmonaire : augmentation constante

# Le débit sanguin musculaire



Persistance d'une adéquation entre les besoins et les apports en O<sub>2</sub>

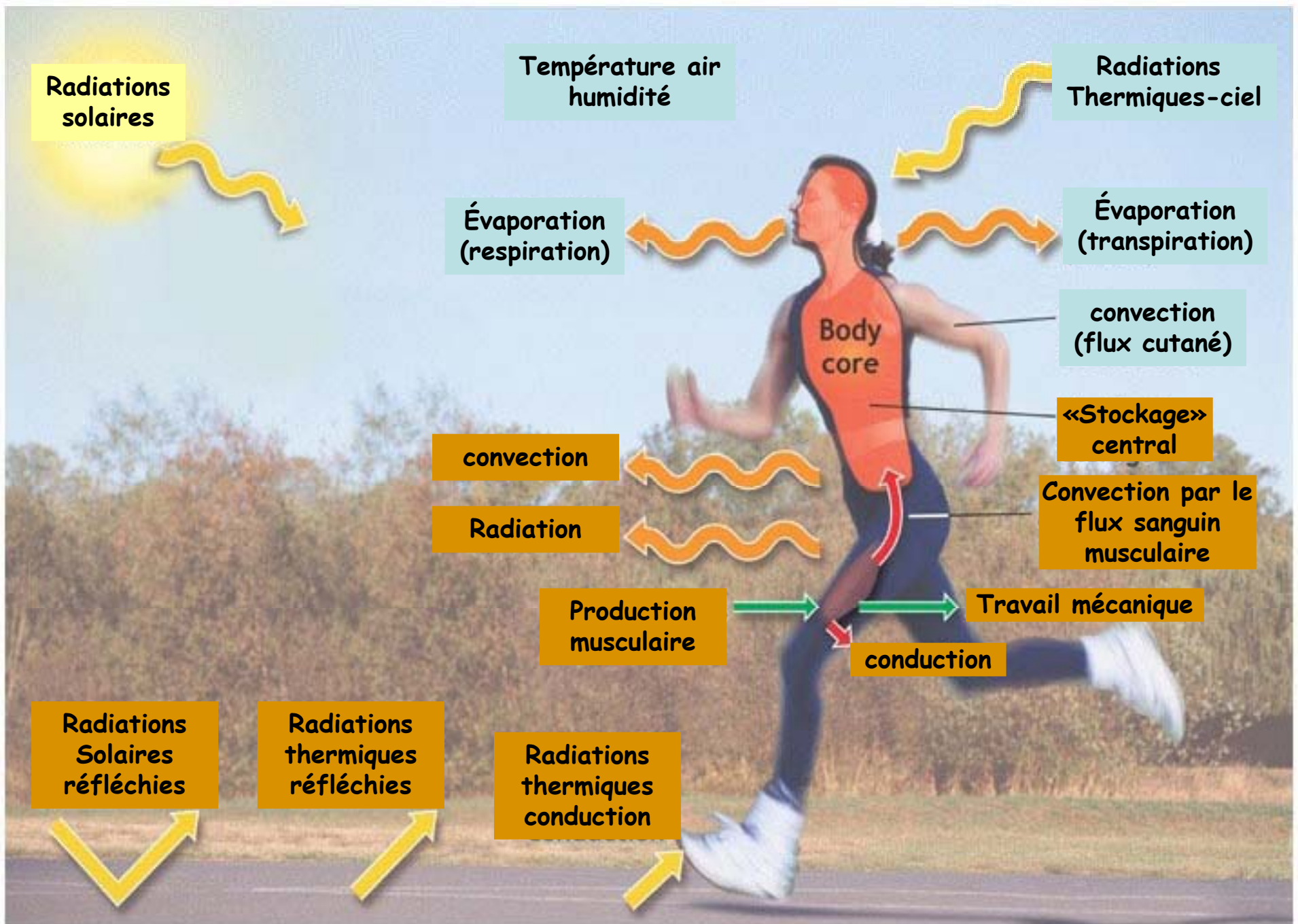
# Adaptations cardio-vasculaires



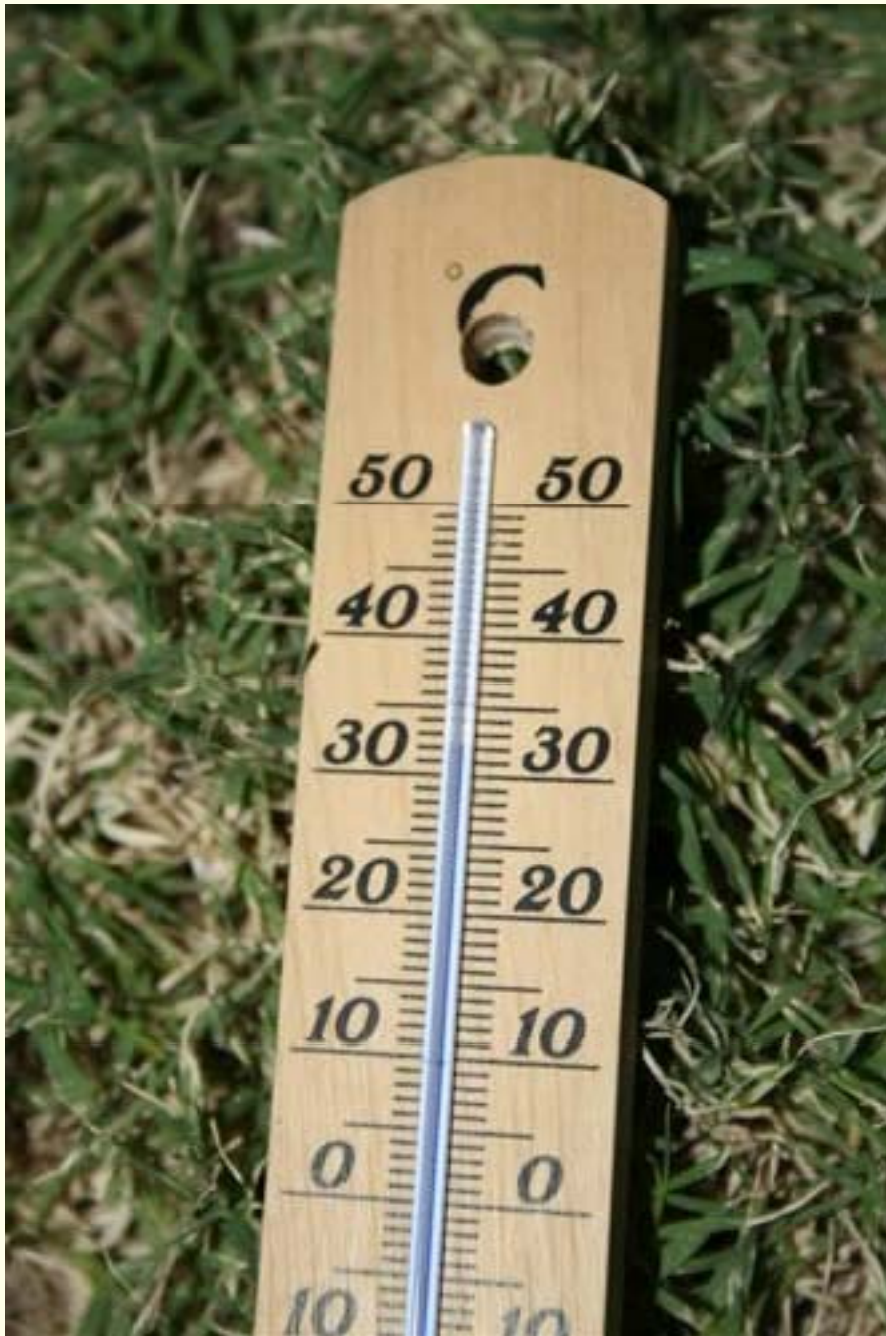
Effets de la température ambiante

# La température centrale

- Production de chaleur
  - Exercice +++++ (75 % dissipé en chaleur)
  - Environnement chaud ++
- Une augmentation de 1 à 2°C est bénéfique sur le plan du rendement musculaire
- Au-delà, ajustements cardio-circulatoires pour maintenir une température centrale «admissible»



## Ambiance Chaude



32°C - 6h du matin - Badwater

# thermorégulation

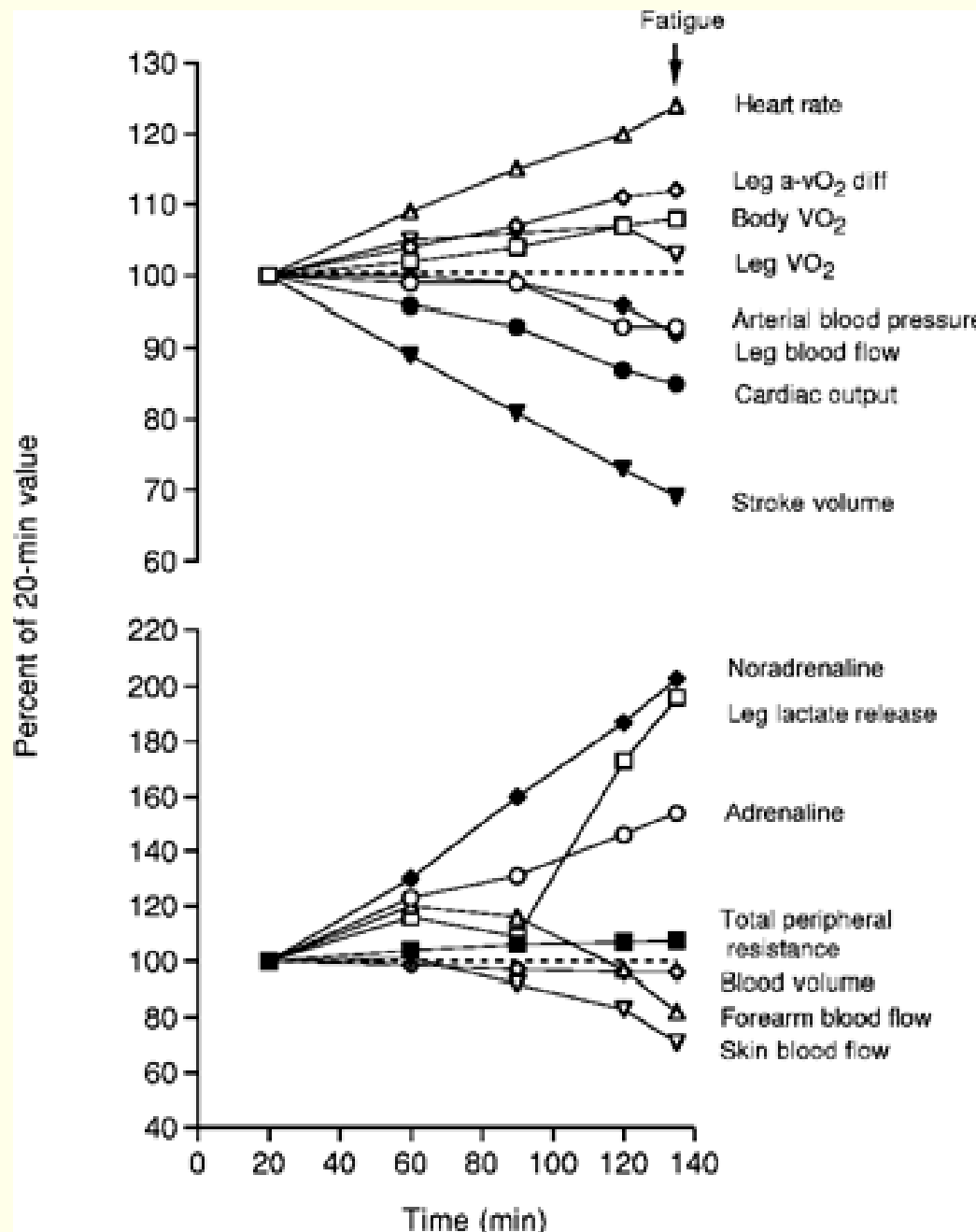
- En ambiance chaude
  - Transfert de chaleur par conduction et convection (vent...) (35 %), dans l'air expiré, mais surtout la sudation (55 %)
  - Vasodilatation cutanée ( $3 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ ) et redistribution vasculaire (pas de compétition avec le débit musculaire)
  - $\uparrow$  HAD et Aldostérone

# Les pertes hydriques

- 0,9 à 1,2 l/h chez des footballeurs et 1,4 à 1,6 l/h chez des basketteurs [Broad EM, *Int J Sports Med*, 1996]
- 1,71 l/h lors d'une épreuve de 40 km sur tapis roulant [Millard-Stafford MPB, *J Sports Sci*, 1995]
- 1 à 2,5 l/h chez des coureurs d'endurance en ambiance chaude [Sawka MN, 1990 - book]
- Effets sur la température centrale : - 1 % du poids du corps = +0,1 à 0,23 °C

## Conséquences sur l'adaptation cardio-vasculaire

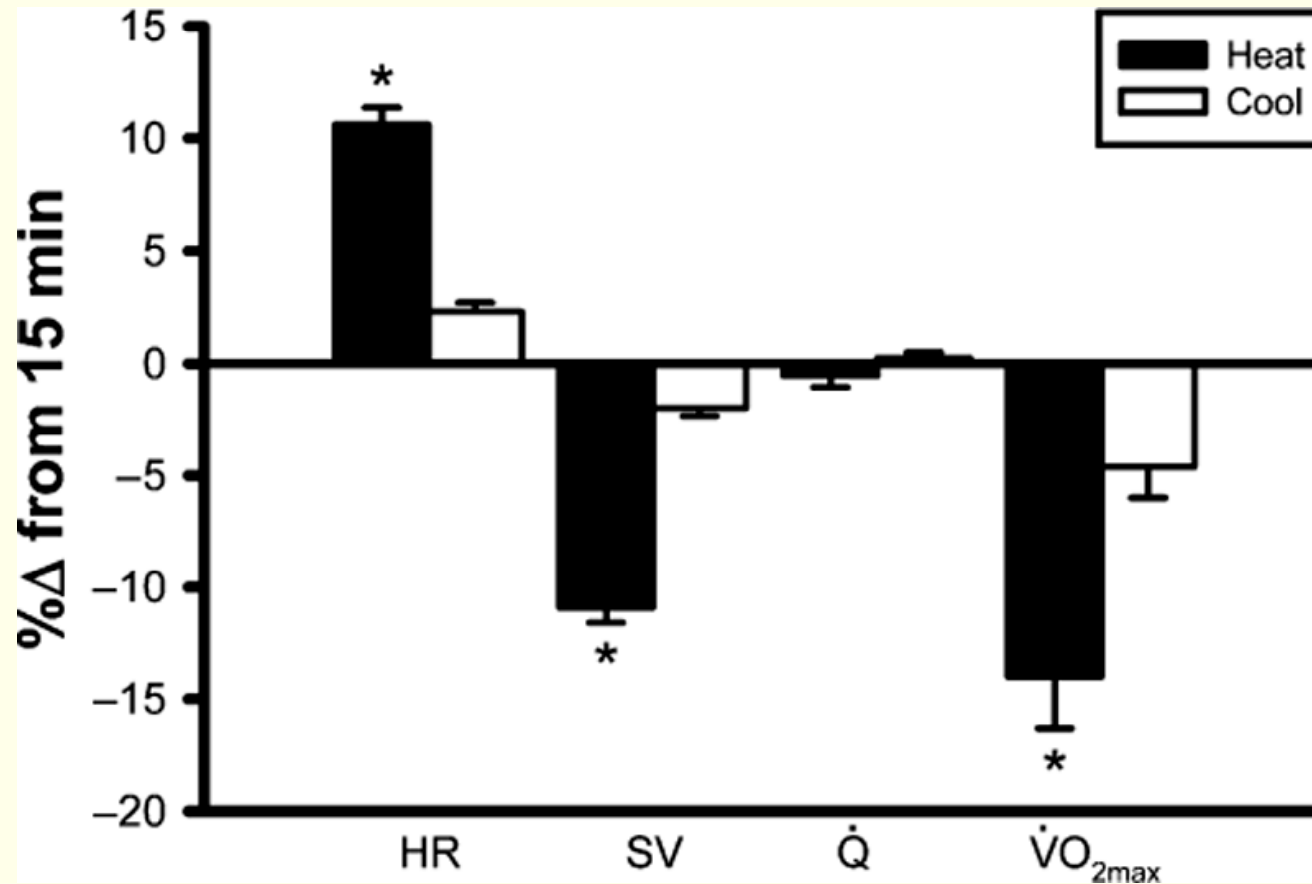
- $\uparrow$  Fc (baisse du retour veineux, hyperthermie)
  - Dérive CV parfois importante
- Baisse de la PA, du VES
- $\downarrow$  rendement énergétique myocardique avec l' $\uparrow$  de la température



Exercice à P constante (208 W)  
 T = 35°C  
 Hygr. = 45-50 %

D'après Gonzalez-Alonso J. *J Physiol* 2008

# La dérive CV



D'après Lafrenz AJ. *MSSE* 2008

# Influence de la réhydratation

- La réhydratation est nécessaire et bénéfique
  - Sur le plan hémodynamique
  - Sur le plan de la température centrale avec une boisson «fraîche» [Lee J, *MSSE*, 2008]
    - Augmentation du « temps d'endurance »
    - ↓ Fc de repos et pendant 35' d'exercice
    - ↓ sudation de 10 %

# Température idéale ???

- Pour les épreuves longues en endurance, la température idéale se situe entre 10 et 15°C
- 11°C pour un exercice long d'intensité modérée [Nimmo M. *J Sports Sci* 2004]



# Ambiance froide

L'antarctic ice Marathon and 100 km

Marathon du Pôle Nord



# Modifications cardio-vasculaires

- Redistribution vasculaire vers le «noyau central»
  - ↑ Retour veineux meilleur
  - ↑ inotropisme (Frank-Starling)
- Augmentation de la post-charge
- Augmentation de la  $MVO_2$
- Adaptation de la circulation coronaire avec vasodilatation importante

# Adaptations cardio-vasculaires



Effets de la durée de l'exercice

# Effets de la durée de l'exercice

- Le myocarde : un muscle infatigable !?
  - ↓ de la FR de 16 % après 24h de course  
[Niemela KO *Circulation* 1984] - pendant 2 à 3 j
  - ↓ de la FR de 51 à 39 % après  $\frac{1}{2}$  ironman  
[Haykowsky M *Can J Cardiol* 2001]
  - Course de montage sur 2 jours [Shave RE *Int J Sports Med* 2002] : dysfonctions systolique et diastolique

# Effets vasculaires périphériques

- Diminution des résistances artérielles
- Diminution de la PA
- Diminution de la post-charge myocardique

# Ultra-marathon en altitude

[Davila-Roman VG, *JACC*, 1997]

- 23 coureurs - 14 arrivants !
- 165 km - altitudes variant entre 2350 et 4300 m)
- Fin de course
  - Fc plus haute, PA plus basse
  - Échographique : pas de variation de la fonction gauche mais chez 5 coureurs, dysfonction VD +++ (FR = 33 %) et HTAP de repos à  $55 \pm 10$  mmHg en moyenne !

# Evolution à l'effort

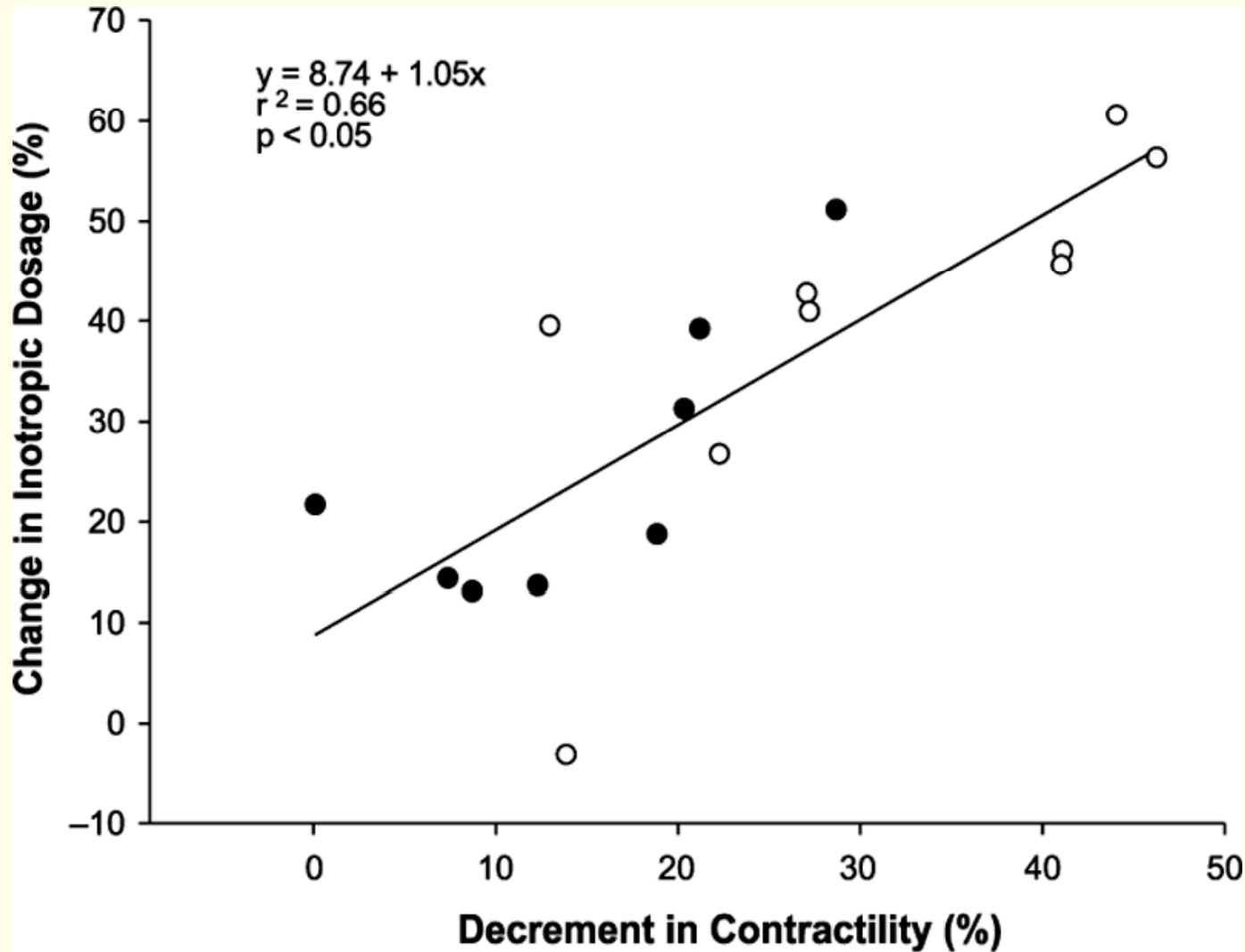
[Dawson E, *Exp Physiol*, 2007]

- 7 sujets sains jeunes ( $23 \pm 3$  ans)
  - $VO_2 = 55,4 \pm 5,4 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$
  - 3 h à 70 % du  $VO_2$  max.
  - Pré-charge constante +++
    - Pas d'effet délétère sur la FE
    - Altération de la relaxation VG

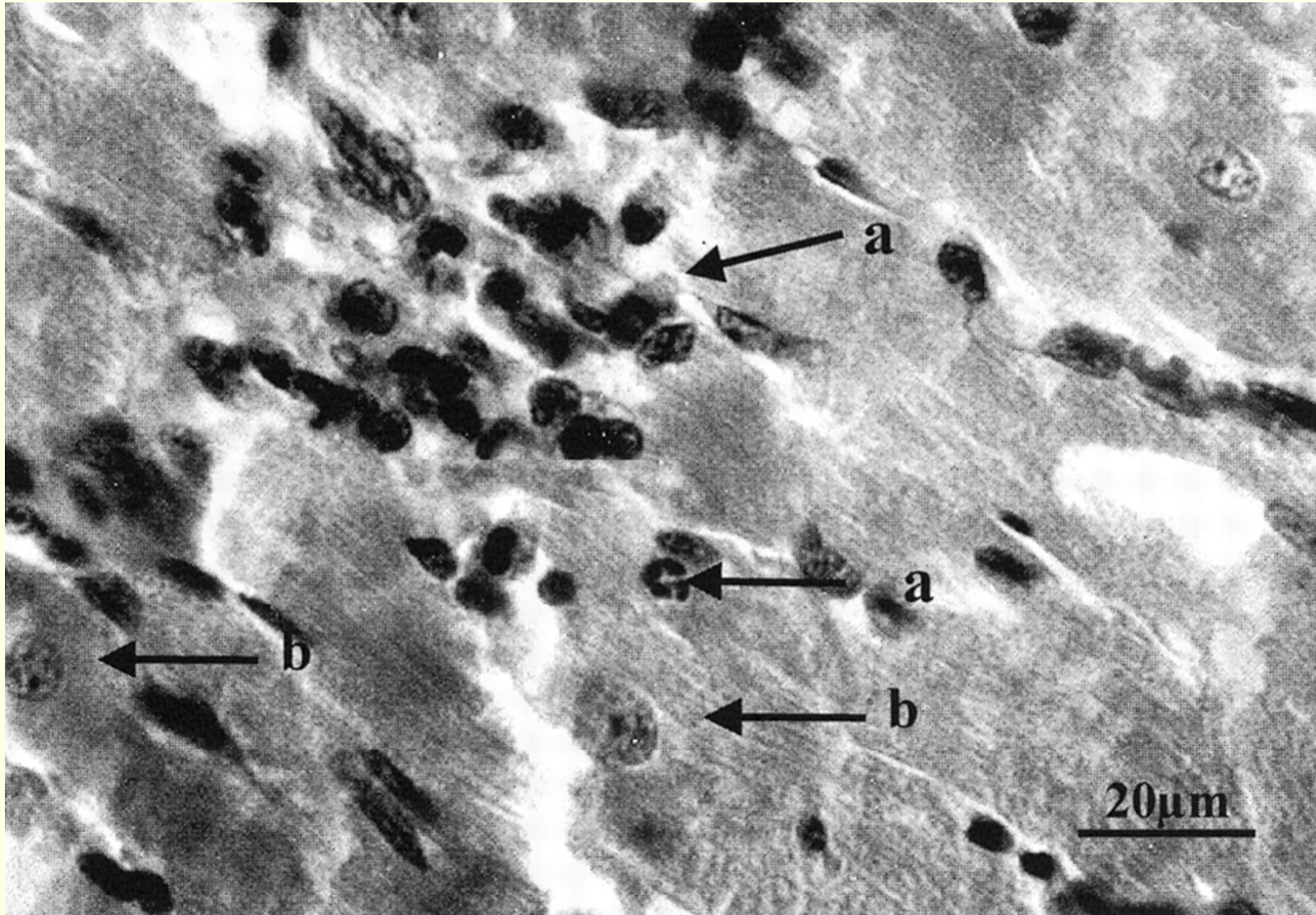
# Mécanismes de la «dysfonction myocardique induite par l'exercice»

- Difficiles +++ [Scott JM *MSSE* 2008]
- Modifications des conditions de charge
- Ischémie myocardique ?
  - Corrélation ↓ FE et [TnTc] [Neilan TG *Circulation* 2006]
  - Sidération myocardique ?
    - ↑ stress oxydant
    - Altération homéostasie calcique
  - ↑ masse myocardique chez l'athlète
- « re-setting » du baro-réflexe

# Désensibilisation des $\beta_1$ -récepteurs



D'après Scott JM. *JAP* 2007



D'après CHEN Y. *JAP* 2000

# Conclusions



1. Le système cardio-vasculaire du sujet sain est capable de s'adapter à des situations très variables et des environnements très différents pour
  - Répondre aux besoins métaboliques périphériques
  - Participer à la thermorégulation
  - « compenser » les variations volémiques

## Conclusions (2)



2. Le système cardio-vasculaire n'est probablement pas dans la plupart des cas le facteur limitant de l'exercice de très longue durée
3. L'utilisation du cardiofréquencemètre dans ces conditions extrêmes ?