

***Facteurs limitants des
épreuves d'endurance
en montagne :
cœur, muscle ou cerveau ?***

Guillaume Millet

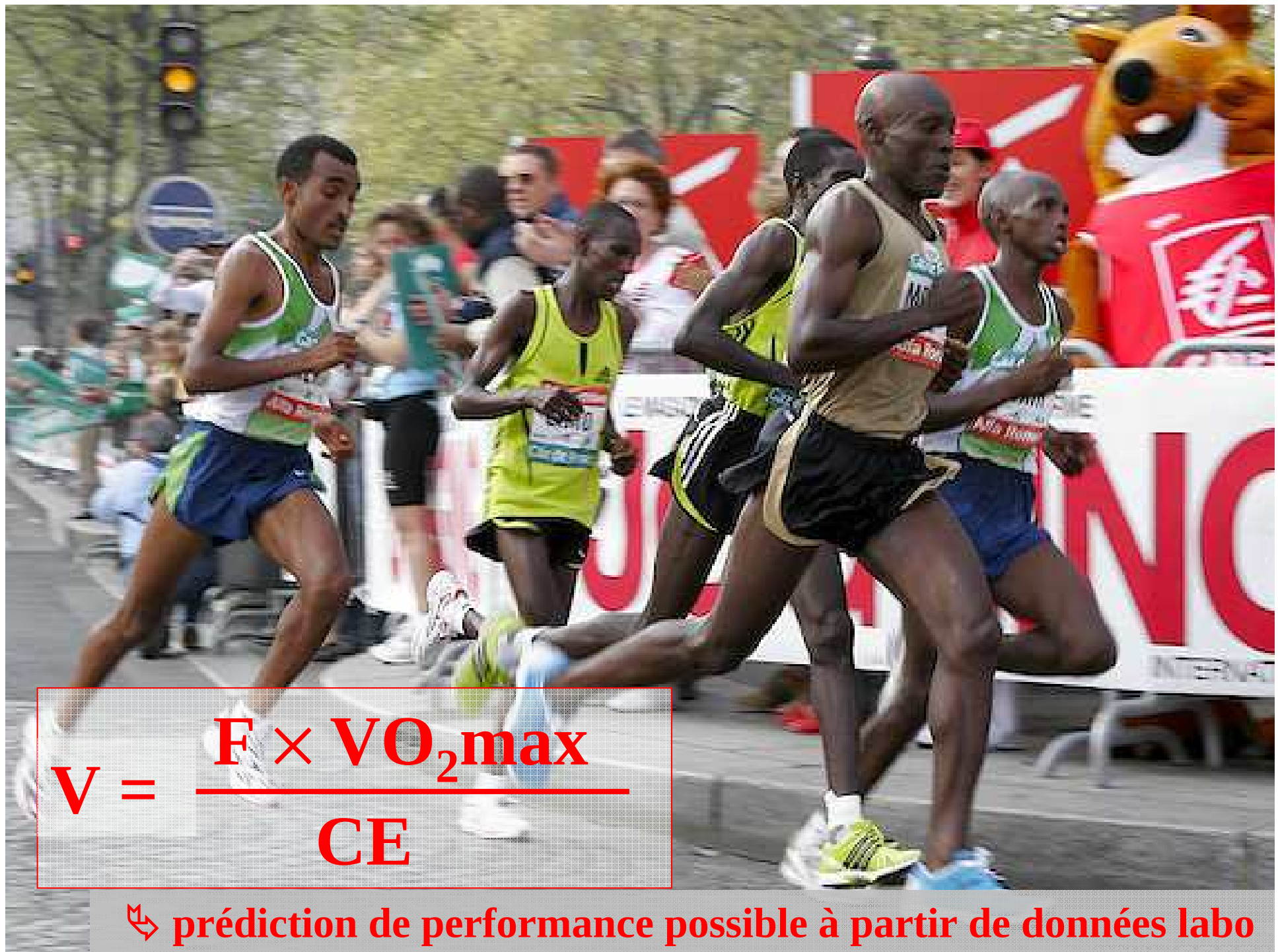


2^{èmes} Journées Régionales
du CLUB MONT-BLANC
COEUR et SPORT (C.M.B.C.S)

Annecy – 17 octobre 2008

*cœur,
muscle ou
cerveau ?*





$$V = \frac{F \times VO_2\text{max}}{CE}$$

➡ prédiction de performance possible à partir de données labo

Ultra-trail en montagne : modélisation plus difficile...



✓ **Altitude : froid,
hypoxie, météo**



✓ **Durée : gestion du sommeil**

✓ **Terrains difficiles**

✓ **Matériel (poids du sac, bâtons, ...)**



Différence Marathon / ultra-trail



$$V = \frac{F \times VO_2\text{max}}{CE}$$

CE $\Rightarrow$ qualité de pied
moins importante mais technicité des terrains

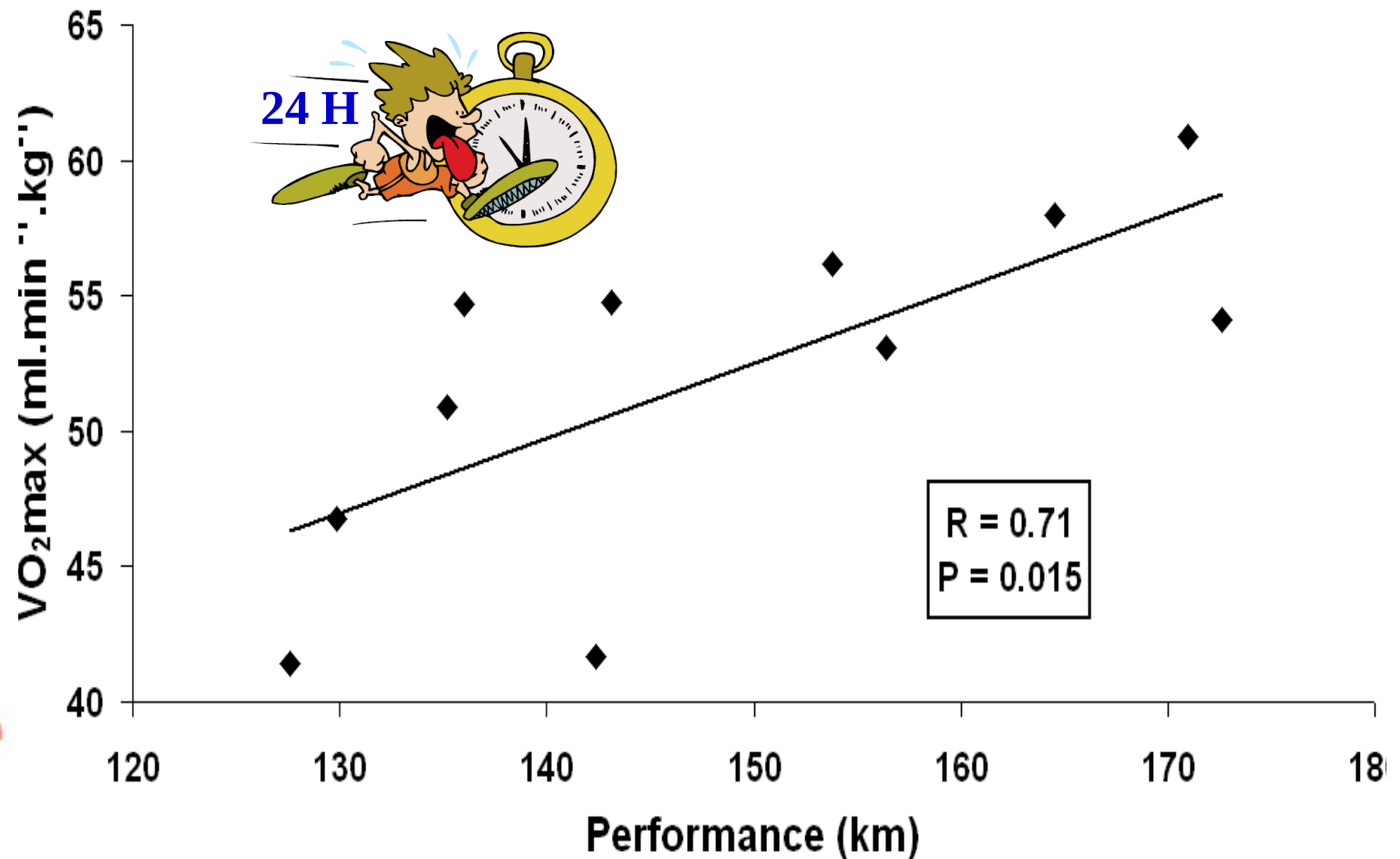


Différence Marathon / ultra-trail



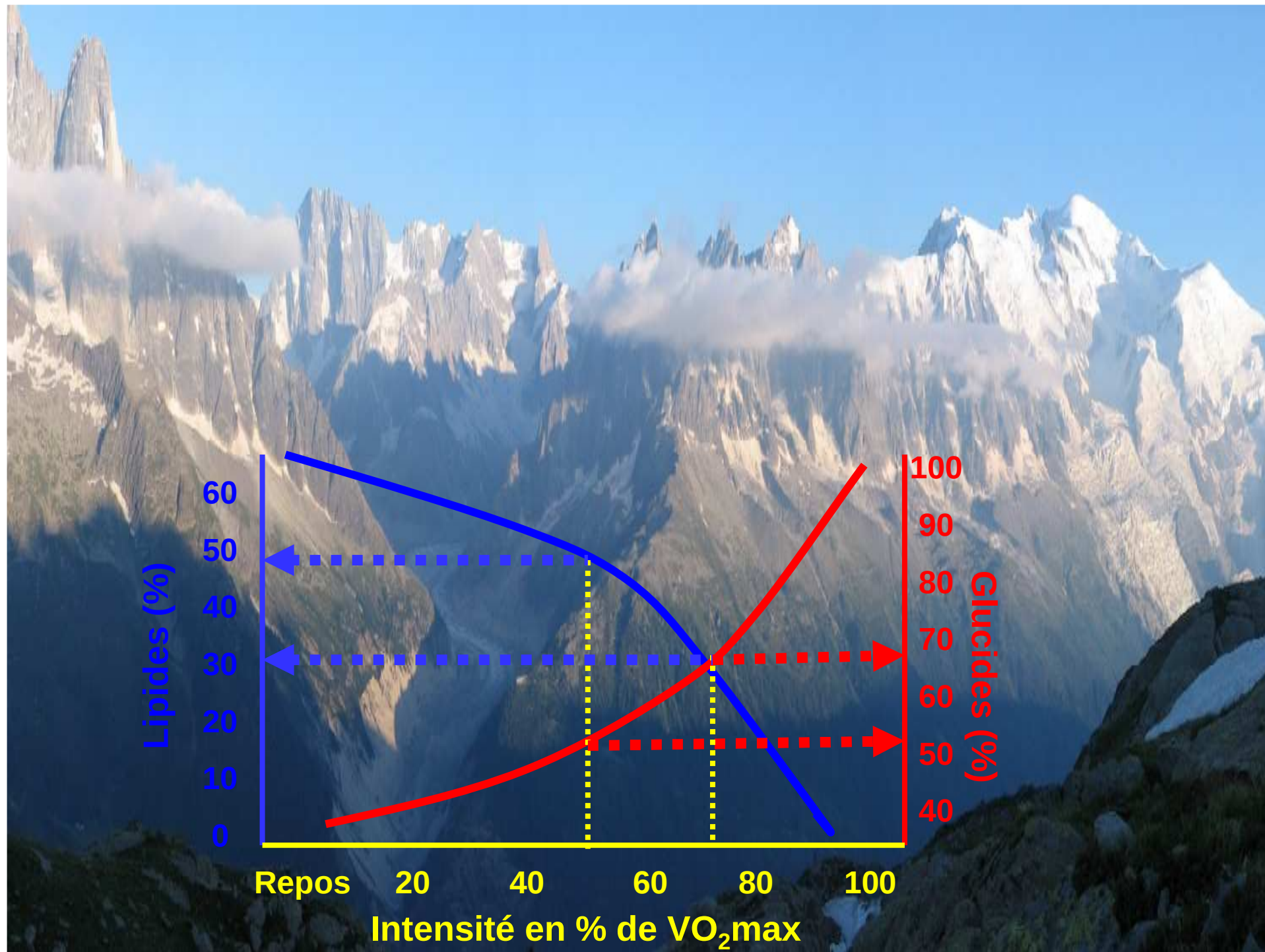
$$V = \frac{F \times \text{VO}_2\text{max}}{\text{CE}}$$

↳ ultra-marathon bcp
plus long donc VO_2max
bcp moins important ?



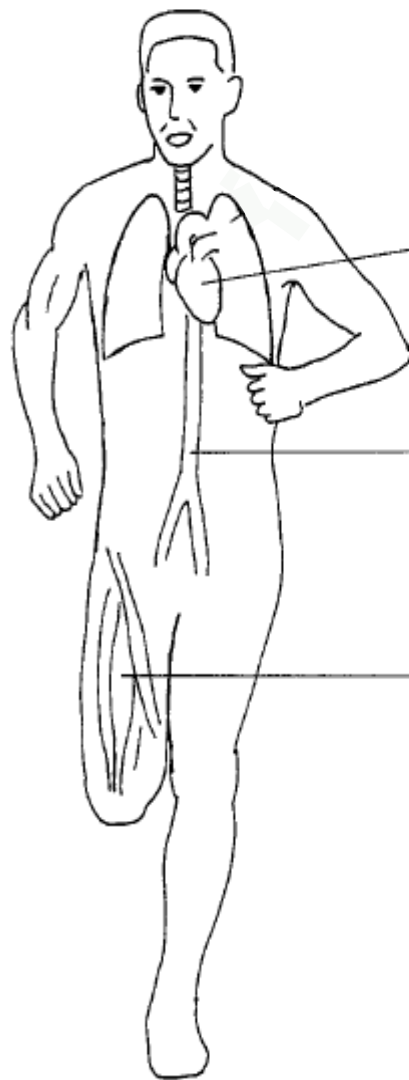
Idem Noakes *et al.* 1990, Davies & Thompson 1979

**Effets physiologiques d'une montée à 1000 m/h si VMA
ascensionnelle est de 1400 vs. 2000 m/h
(50% vs. 72% de VMA !)**



$\dot{V}O_2\text{max}$

↳ reste un facteur déterminant
malgré la durée de l'épreuve



CARDIAC
OUTPUT

O₂ CARRYING
CAPACITY

SKELETAL
MUSCLES

Capacité du système cardio-vasculaire à transporter l'O₂.

Dans une moindre mesure,
utilisation de l'O₂ au niveau
musculaire

Haute $\dot{V}O_2\text{max}$ = $\sup$ % $\dot{V}O_2\text{max}$ auquel est couru l'épreuve

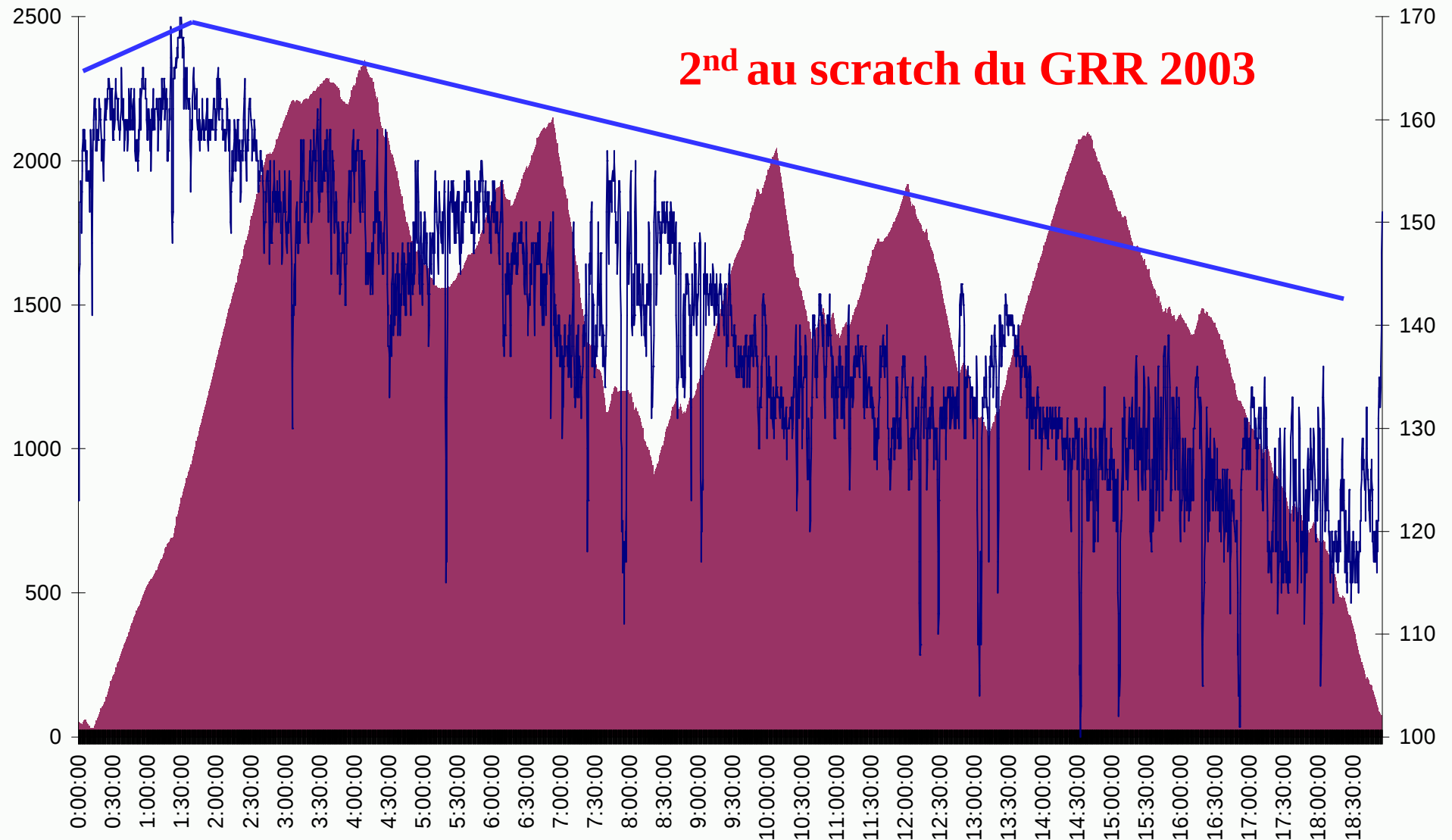
↳ conséquences métaboliques positives

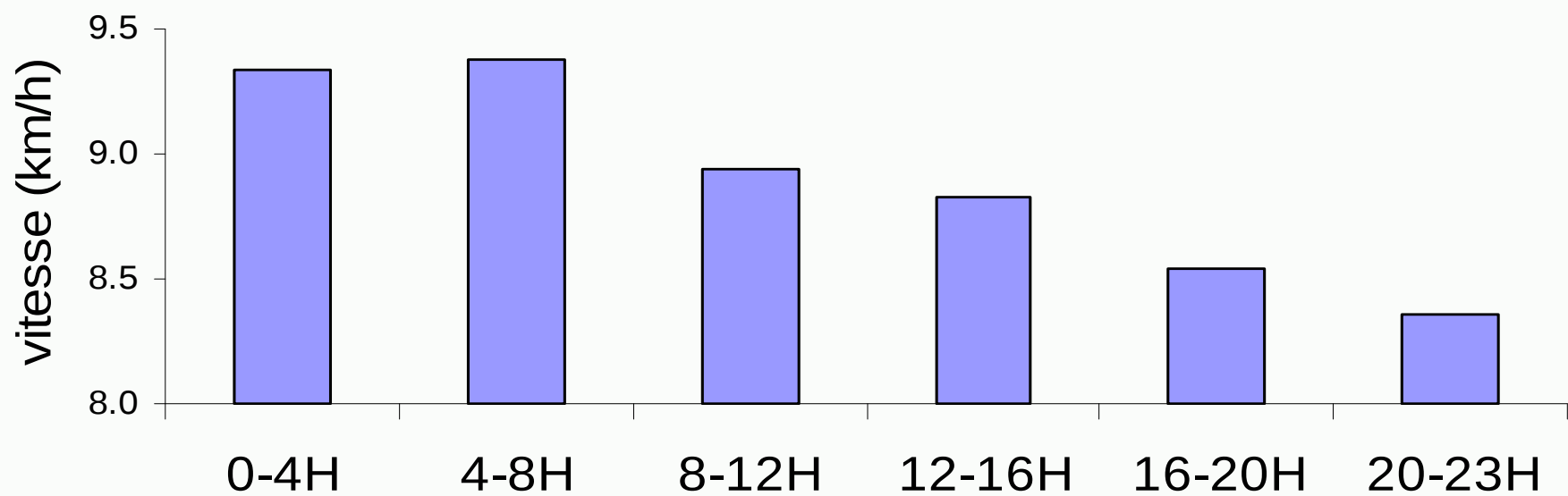
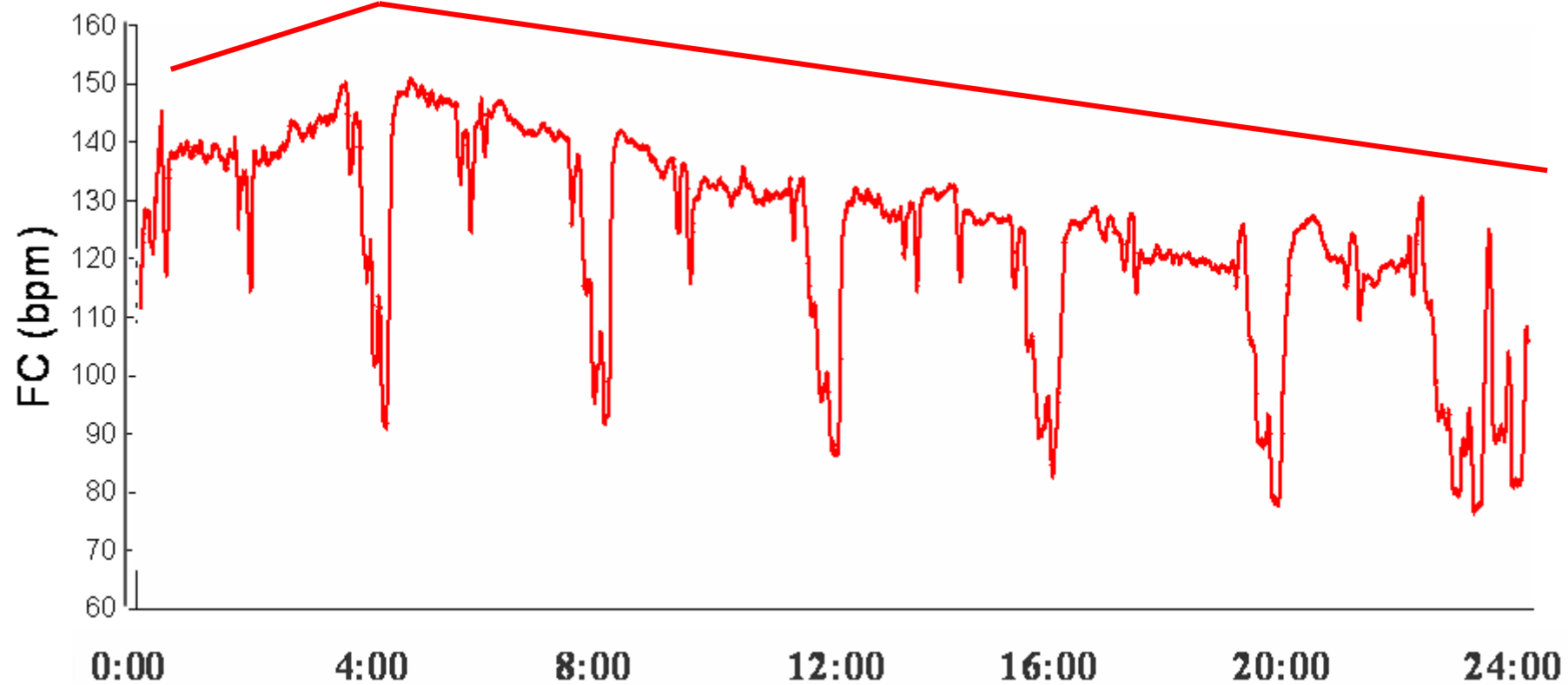
*cœur,
muscle ou
cerveau ?*



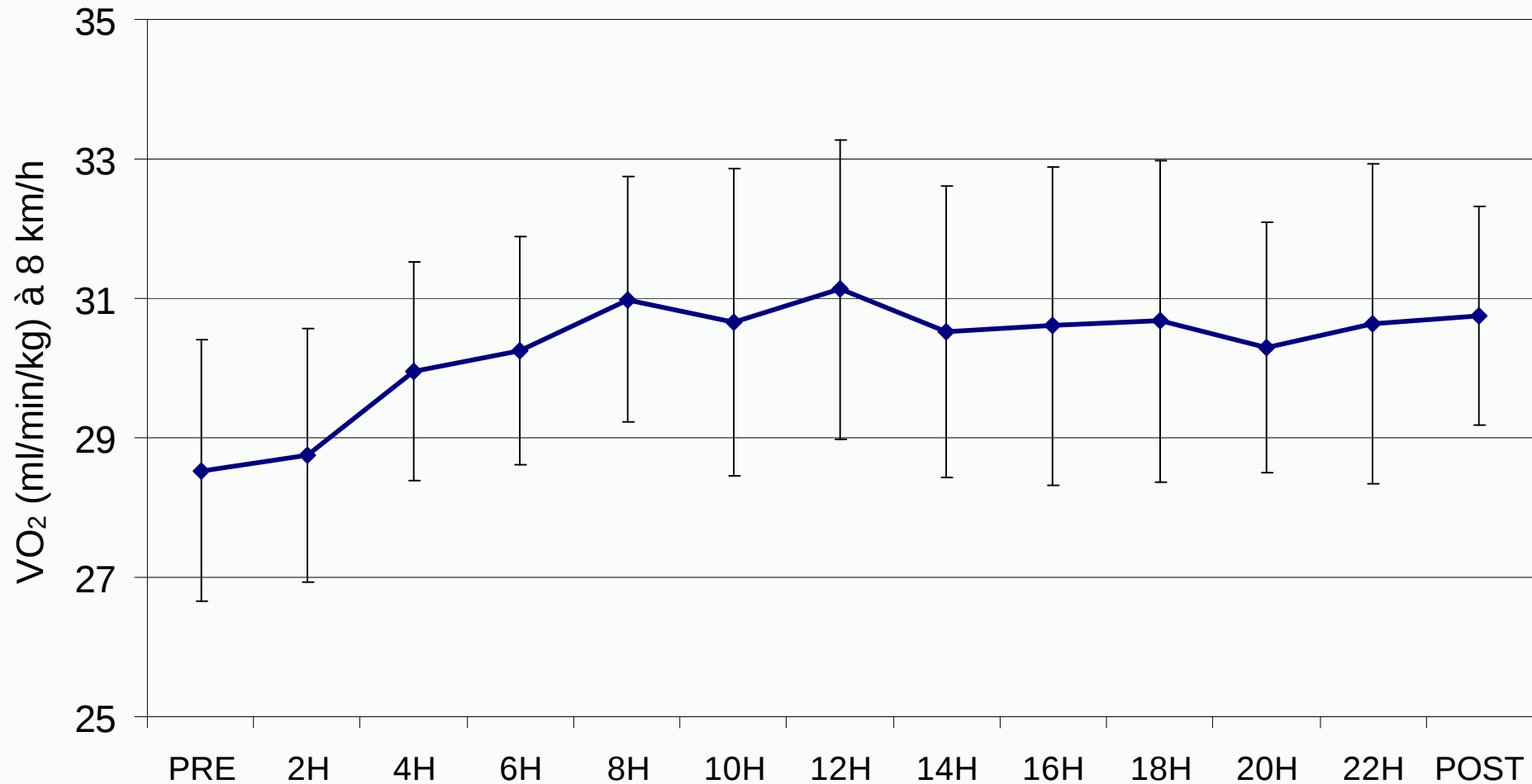
Dérive cardiaque sur ultra-marathon ?

✓ quelques exemples publiés

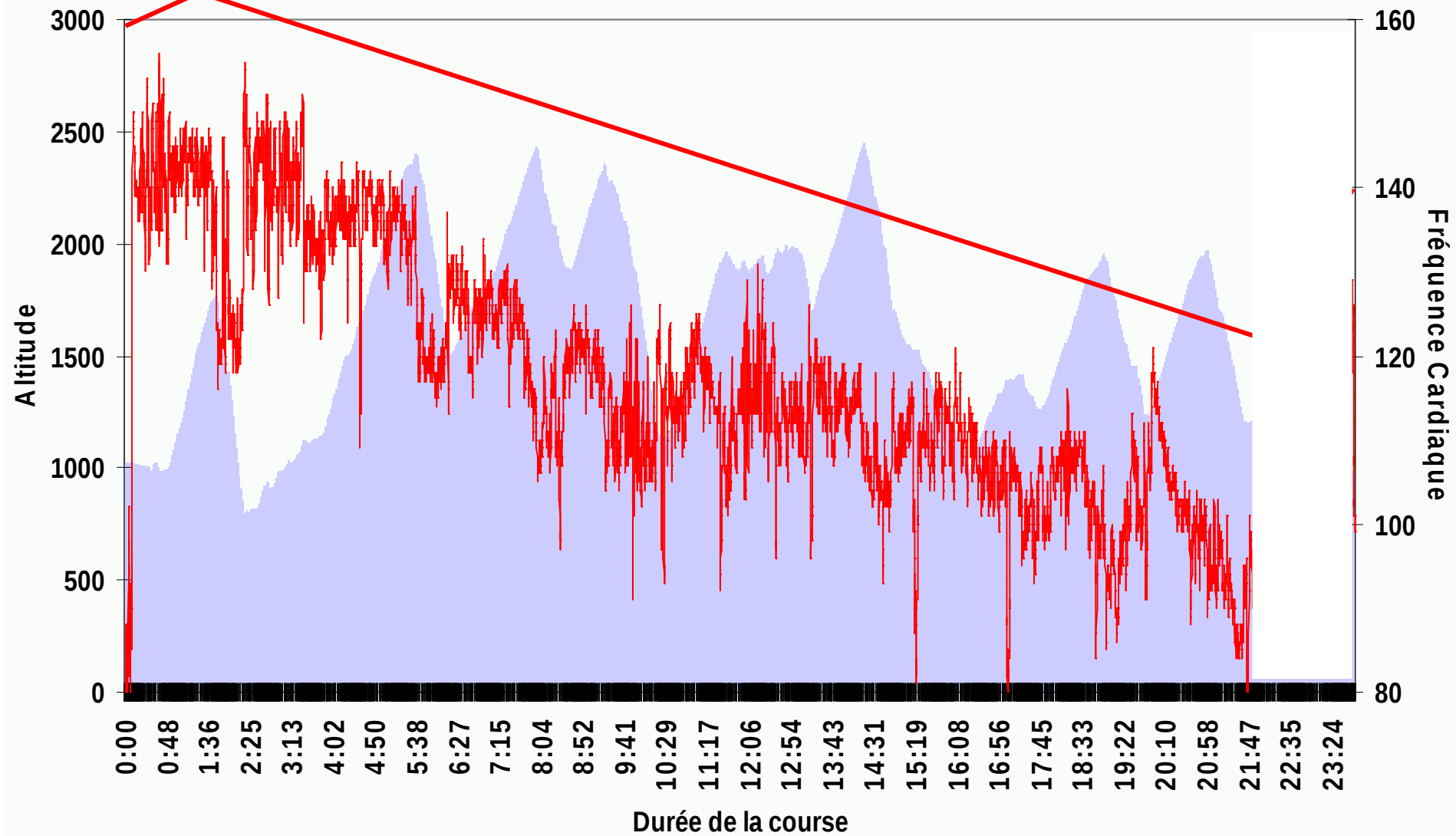


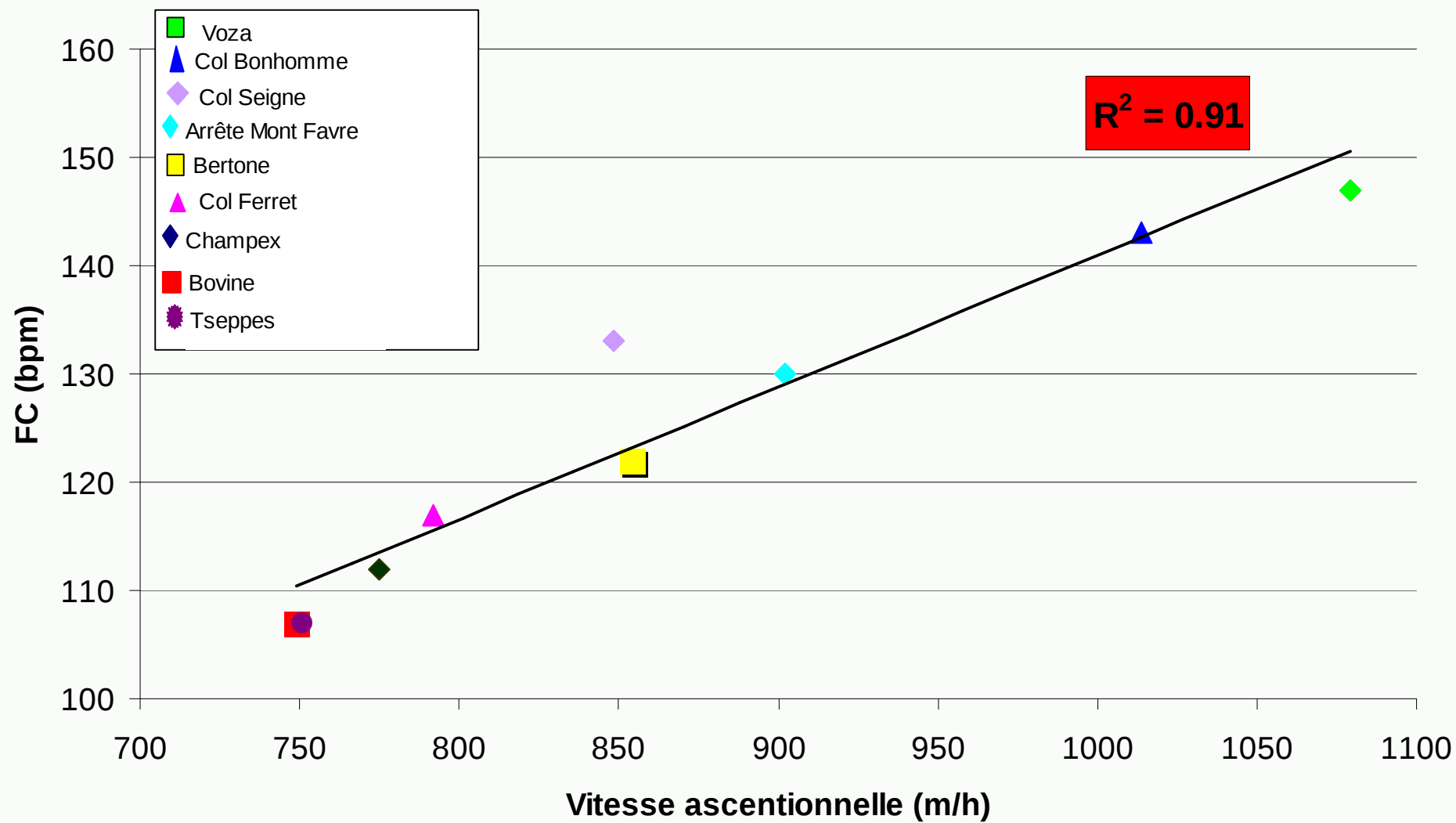


VO₂ à vitesse constante: ↗ modérée et limitée aux 1^{ères} heures

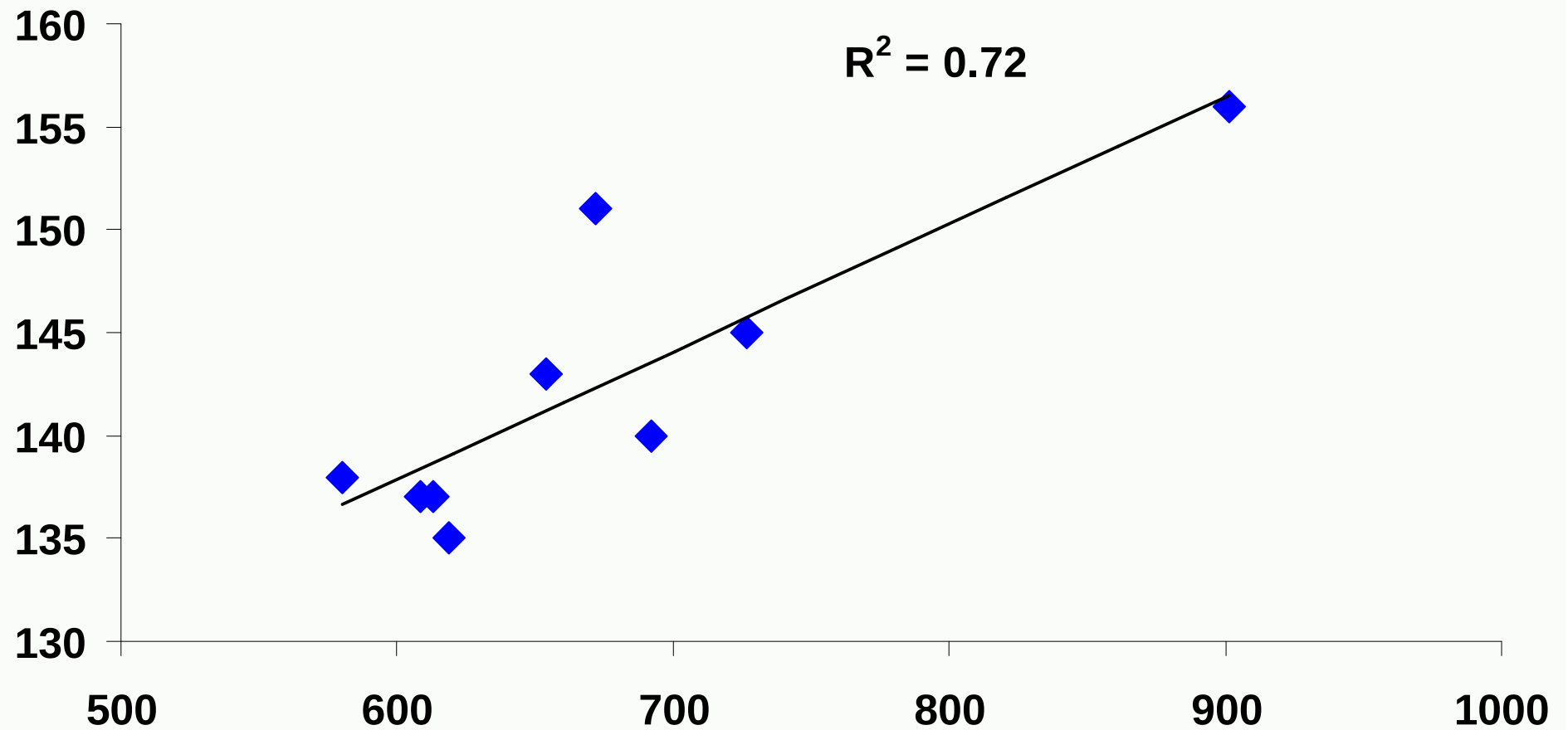


6^{ème} au scratch UTMB 2007

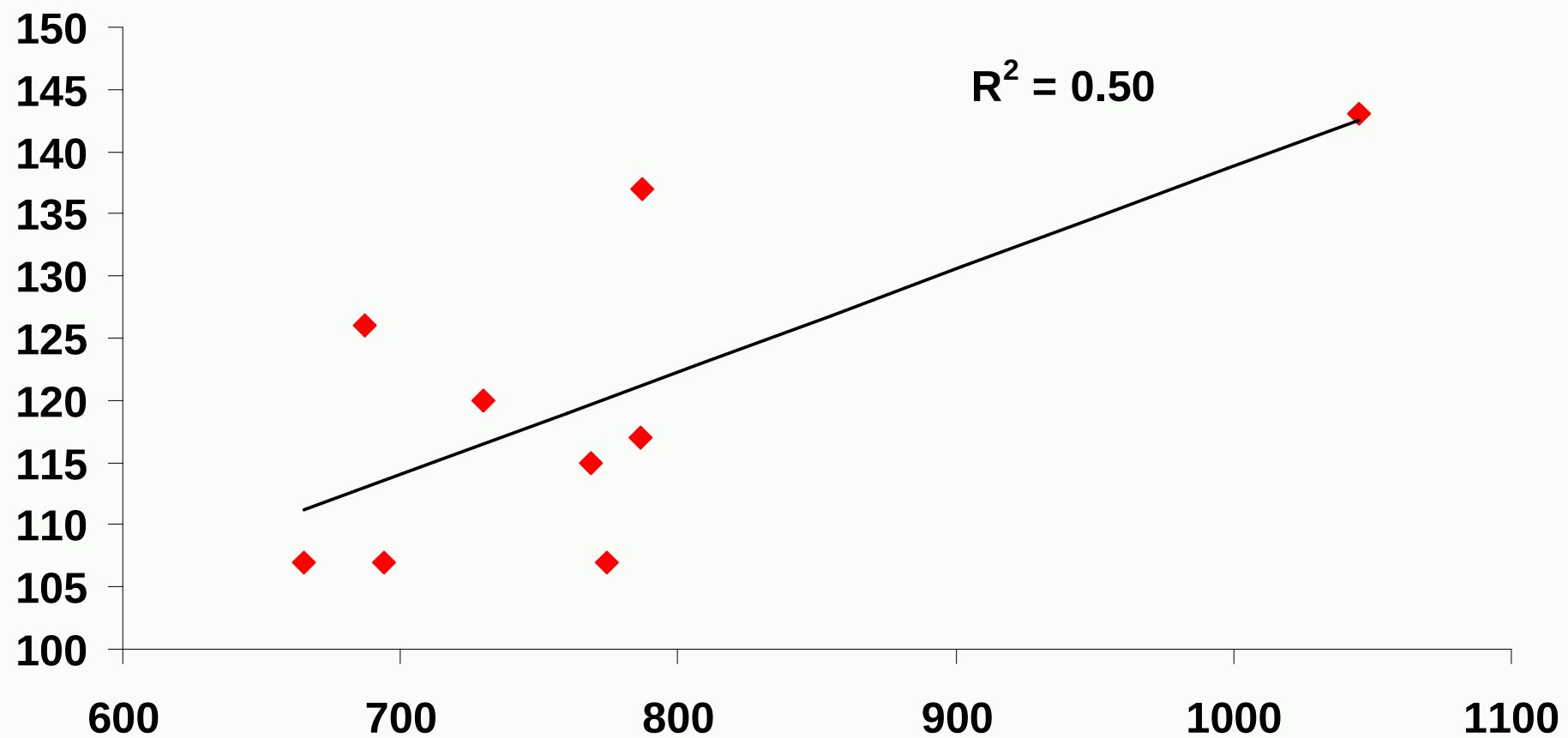




Coureur en 28h



UTMB 2007

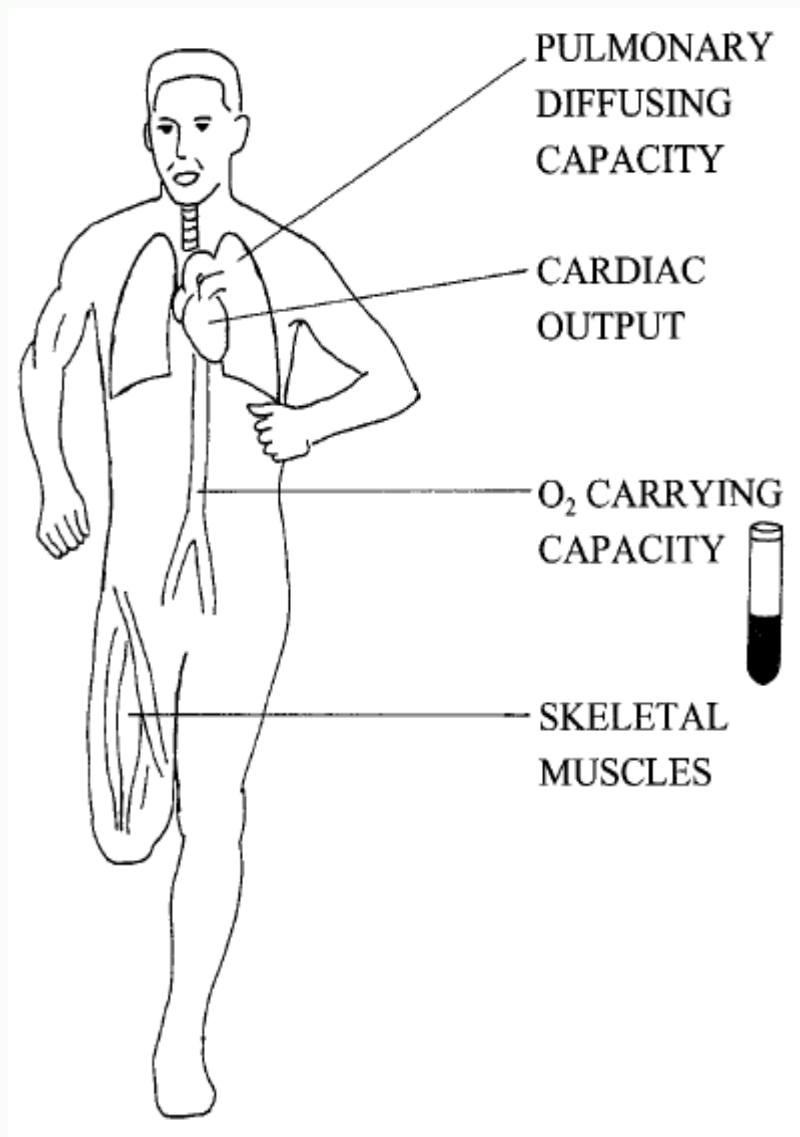


*cœur,
muscle ou
cerveau ?*

*Et si c'était
ailleurs ?*

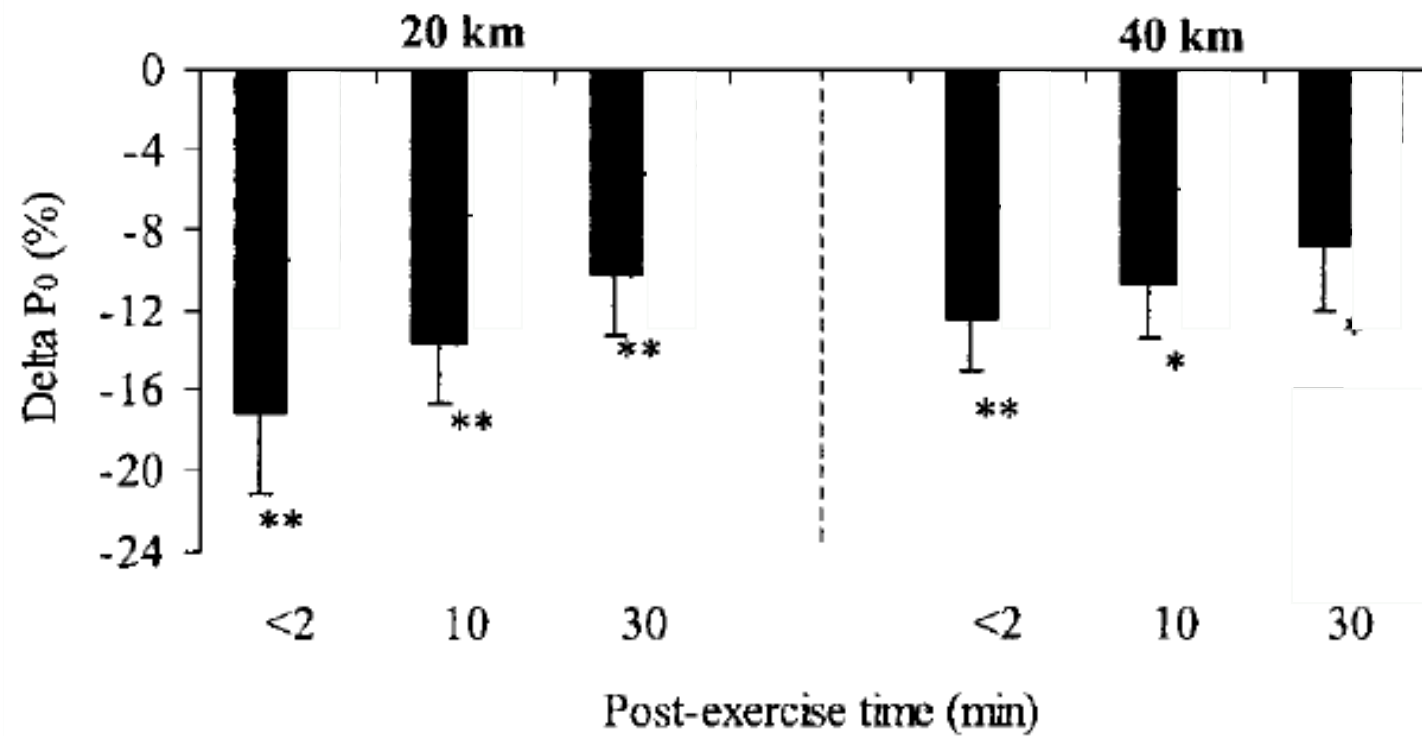
poumons ?





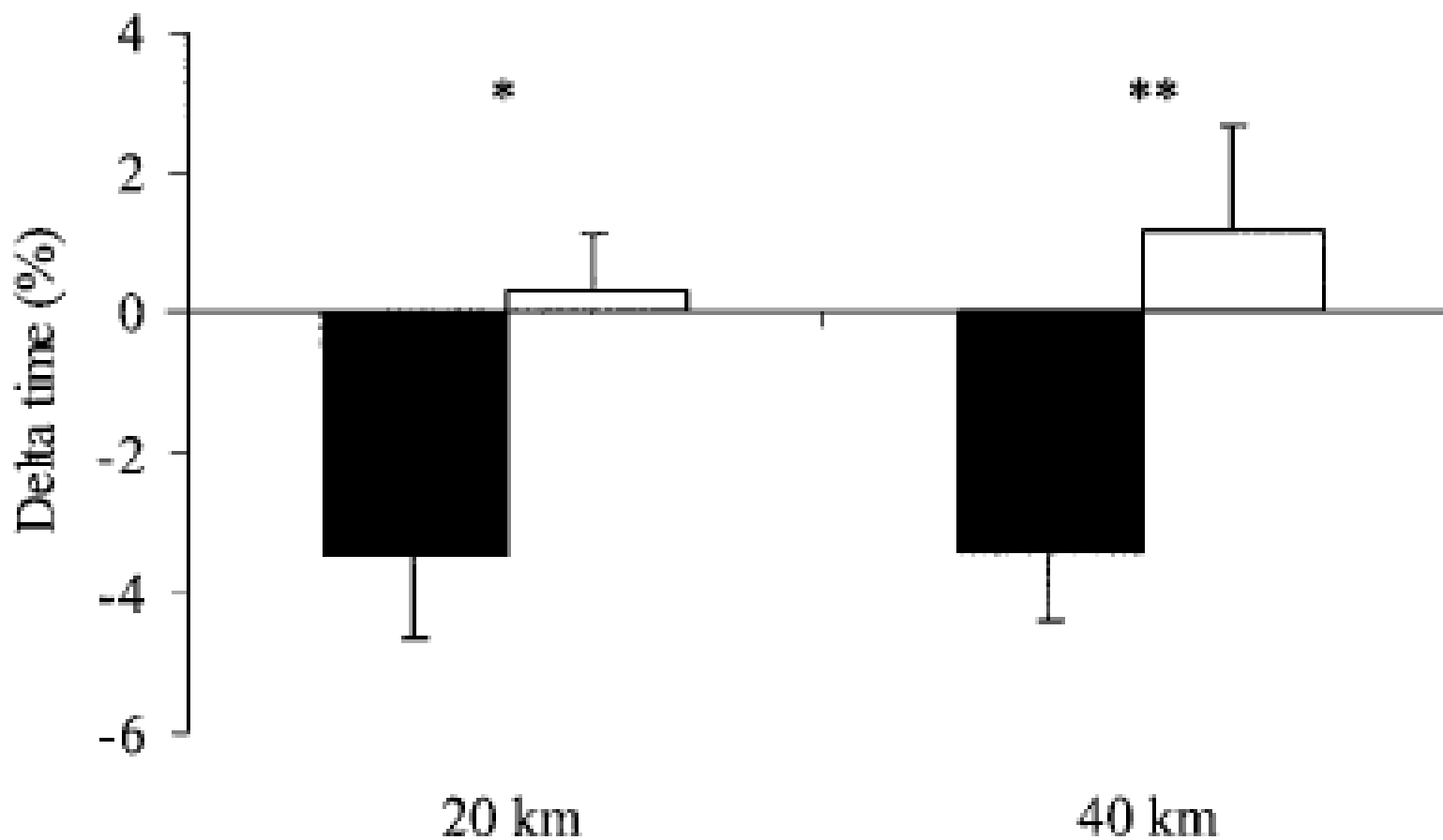
**Non limitant pour
 VO_2max**

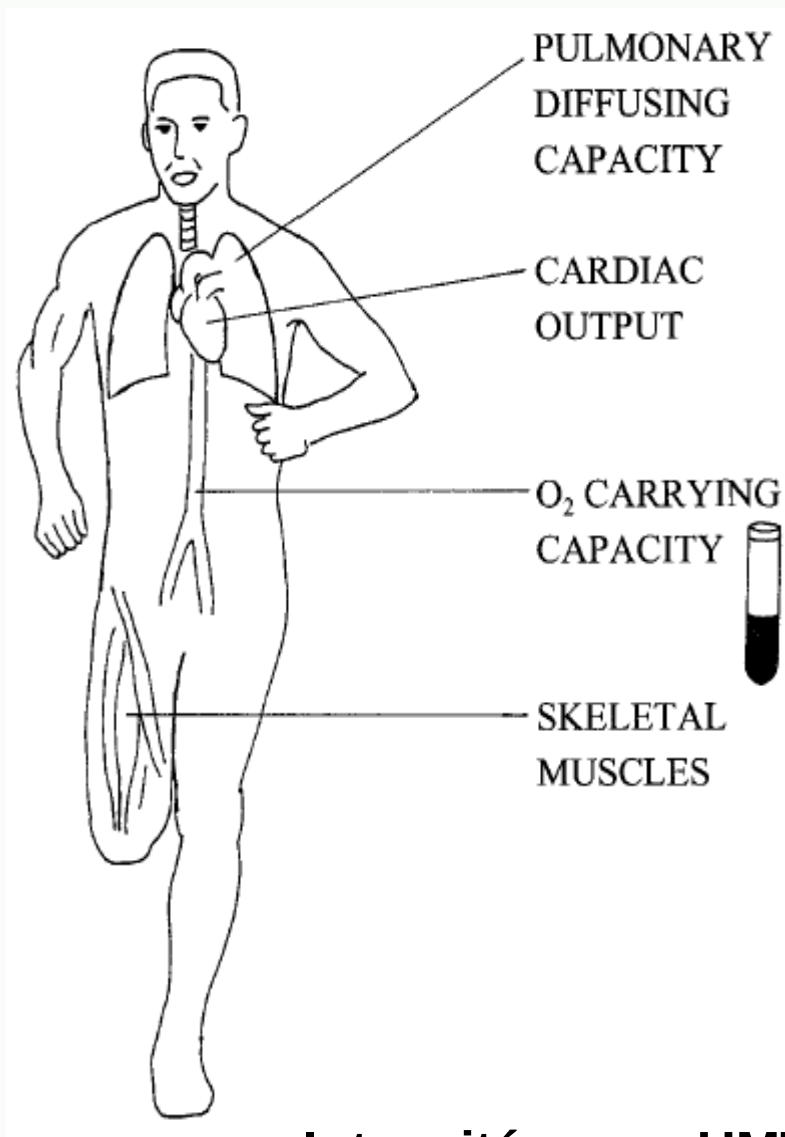
**Fatigue des muscles
respiratoires ?**



Entraînement des muscles inspiratoires ?

Effet sur la performance





**Non limitant pour
 VO_2max**

**Fatigue des muscles
respiratoires ?**

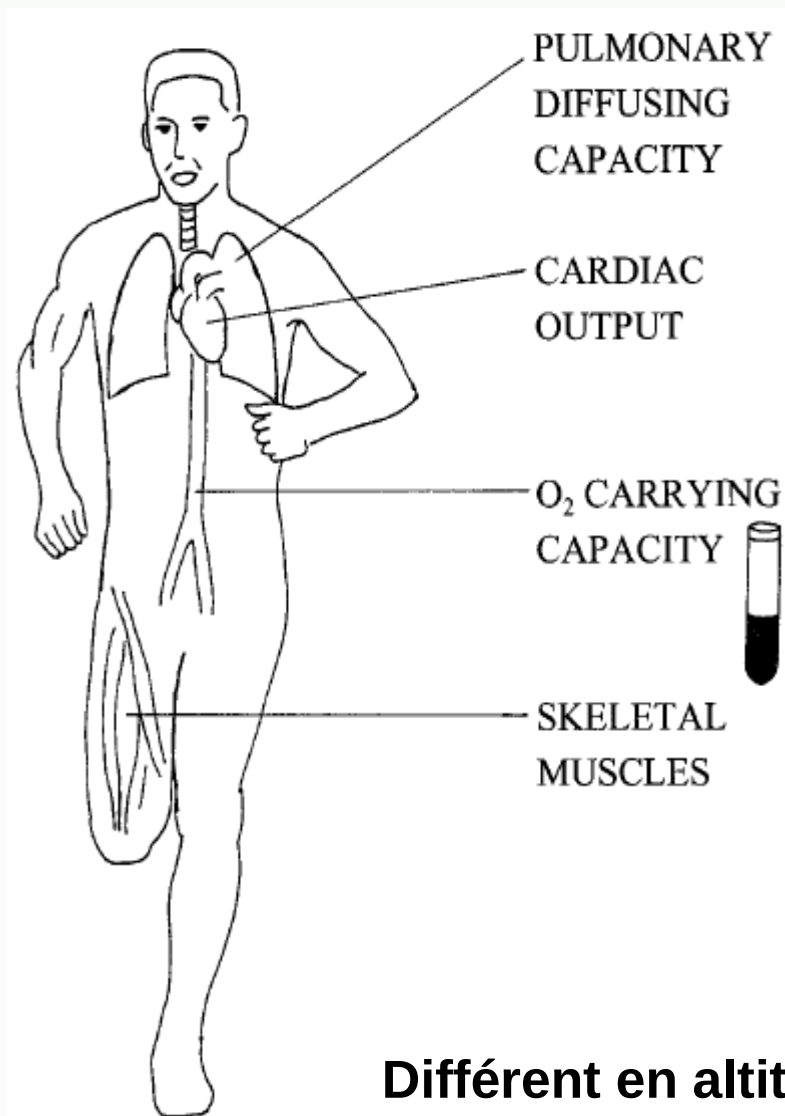
**Peut être facteur
limitant de la perf**



**Mais pour exercices
intenses seulement**

Intensité perso UMTB : ~45-70% réserve de FC

Intensité 24h : ~40-50% VVO_2max



**Non limitant pour
VO₂max**

**Fatigue des muscles
respiratoires ?**

**Peut être facteur
limitant de la perf**



**Mais pour exercices
intenses seulement**

Différent en altitude ? altitude max UTMB : 2537 m



*cœur,
muscle ou
cerveau ?*

*Et si c'était
ailleurs ?*

~~*poumons ?*~~



Différence marathon / ultra-trail



$$V = \frac{F \times VO_2\max}{CE}$$

Endurance : résistance à la fatigue % $VO_2\max$

Définition de la fatigue : altération des capacités d'un individu qui induit :

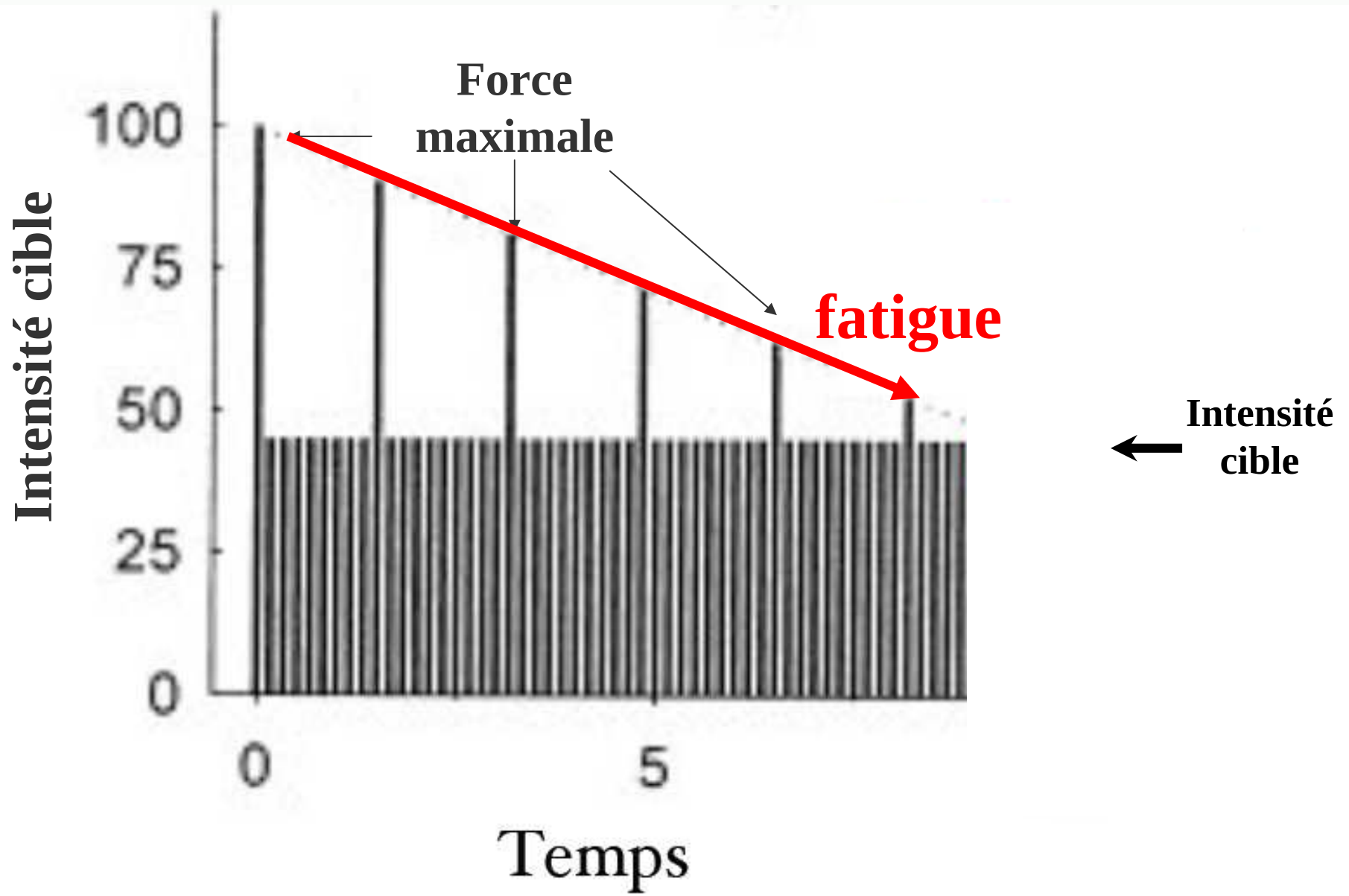
- une augmentation du coût (psychologique, énergétique) nécessaire à la réalisation d'une tâche
- et/ou une perte de force ou de puissance maximale

Lors d'un effort à intensité fixée (*i.e.* pas le cas en compétition, sauf barrières horaires... ou mentales), cela se traduit parfois par l'incapacité de réaliser cette tâche.



Epuisement





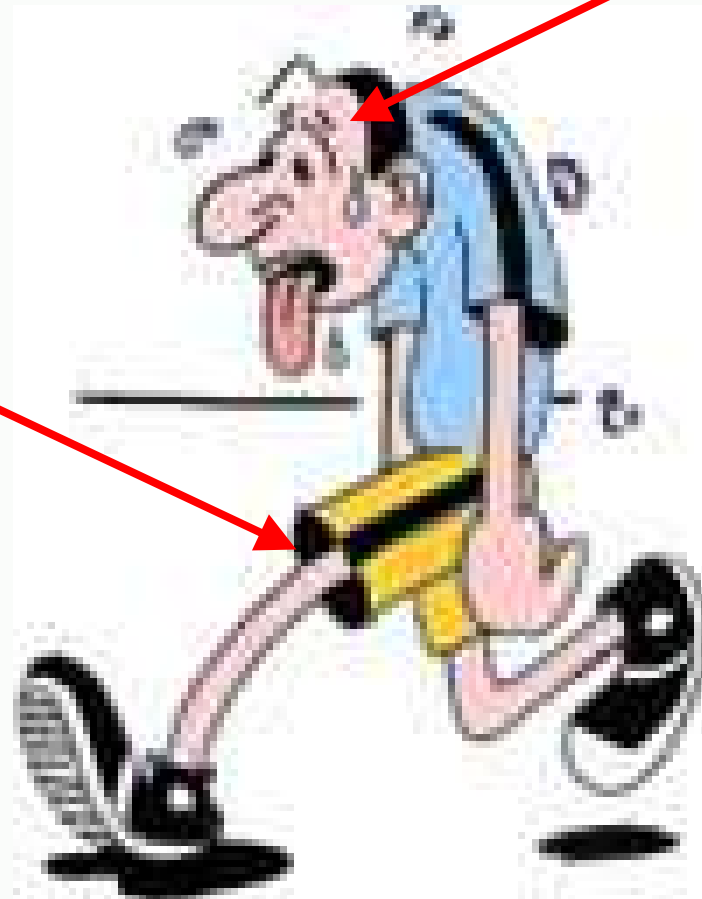
Amplitude et origine de la fatigue dépend de :



Origine de la fatigue ?

**fatigue
centrale
(nerveuse)**

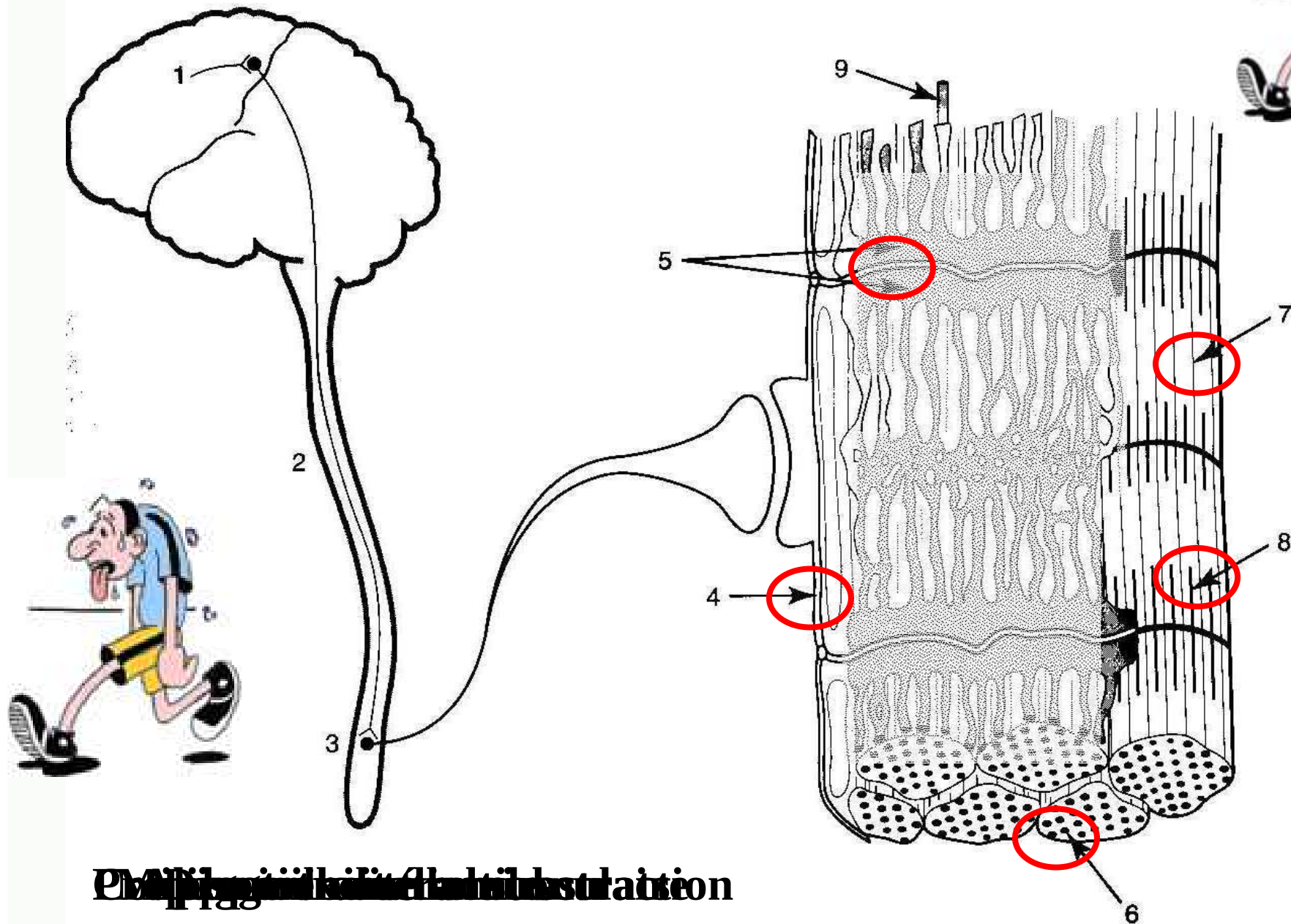
**fatigue
périphérique
(musculaire)**





~~Application de Mécatronique~~

Sites potentiels de la fatigue



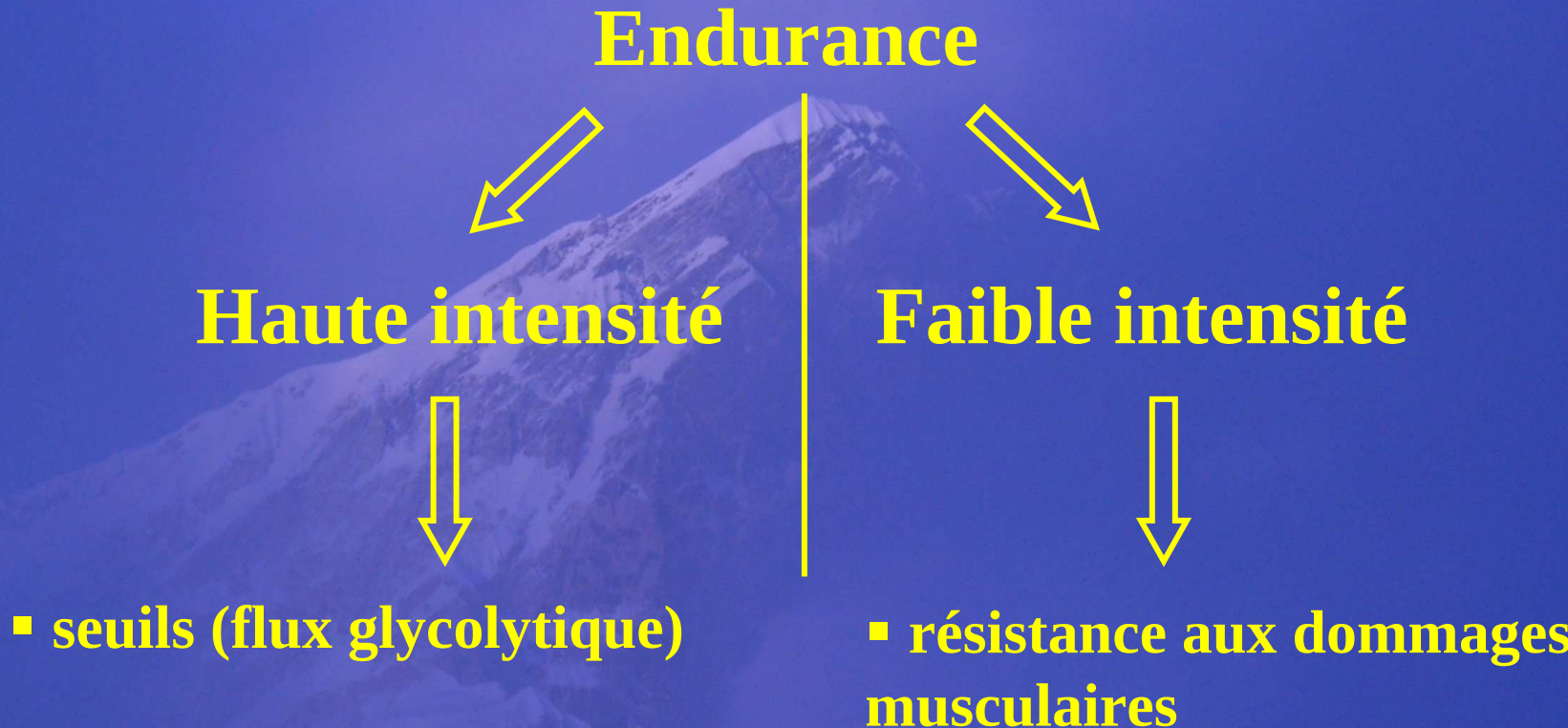
Phosphorylation of the myosin head

**Gebre aurait-il
gagné l'UTMB 2008
après avoir préparé
le marathon de
Berlin ?**



**Les 2 ont une $VO_2\text{max}$
d'antilope...mais une
endurance différente**

Endurance



```
graph TD; Endurance --> HauteIntensite[Haute intensité]; Endurance --> FaibleIntensite[Faible intensité]; HauteIntensite --> Seuils[seuils (flux glycolytique)]; FaibleIntensite --> Resistance[résistance aux dommages musculaires];
```

The diagram is overlaid on a background image of a snow-capped mountain peak. A vertical line divides the diagram into two columns. The left column is headed 'Haute intensité' and points to 'seuils (flux glycolytique)'. The right column is headed 'Faible intensité' and points to 'résistance aux dommages musculaires'. All text and arrows are yellow.

Haute intensité

Faible intensité

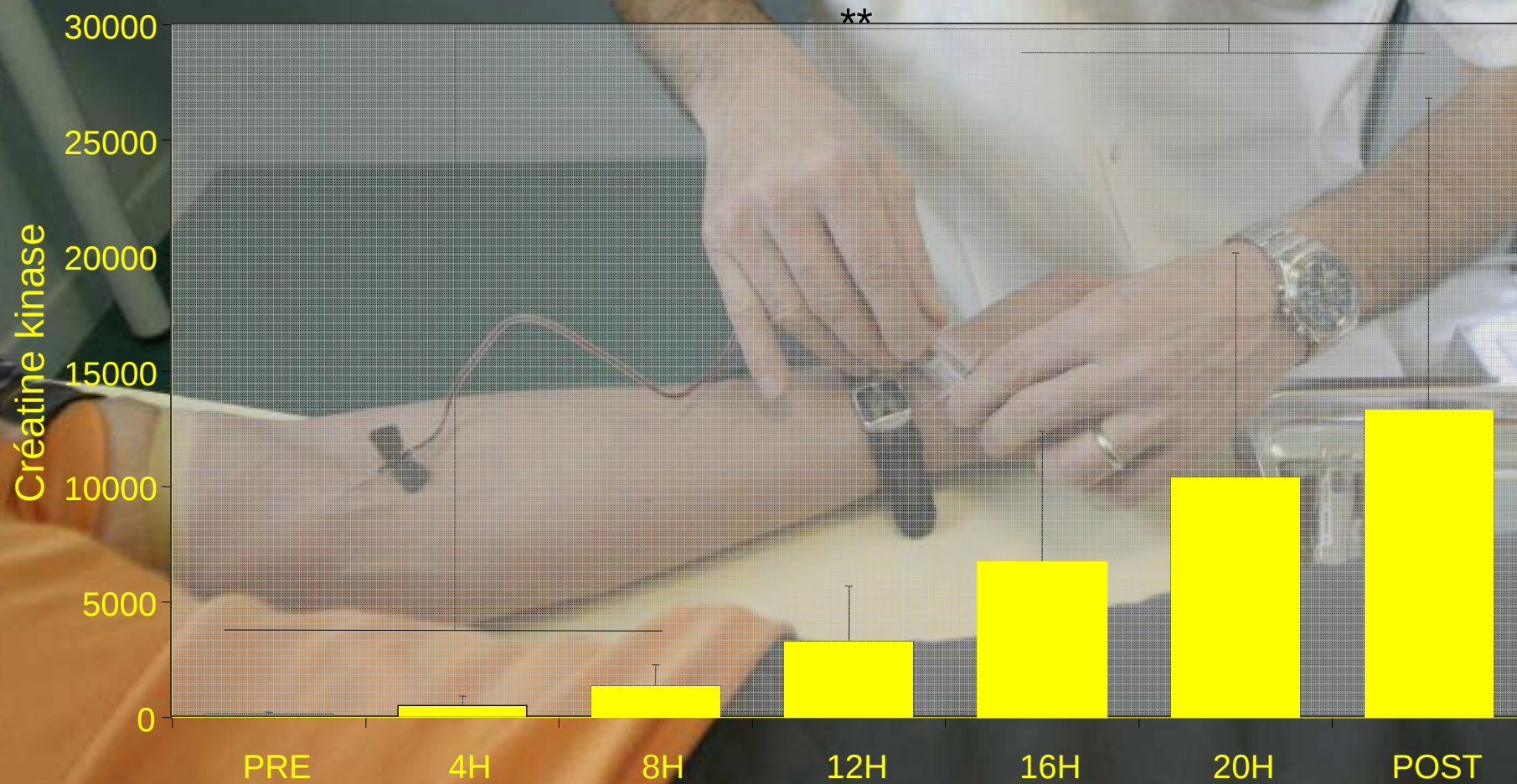
▪ seuils (flux glycolytique)

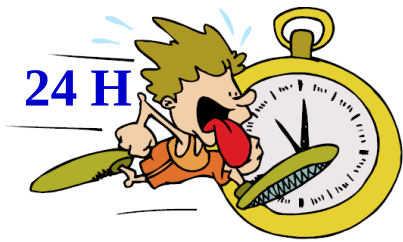
▪ résistance aux dommages musculaires

Dommmages de la fibre musculaire



Marqueurs sanguins des dommages musculaires





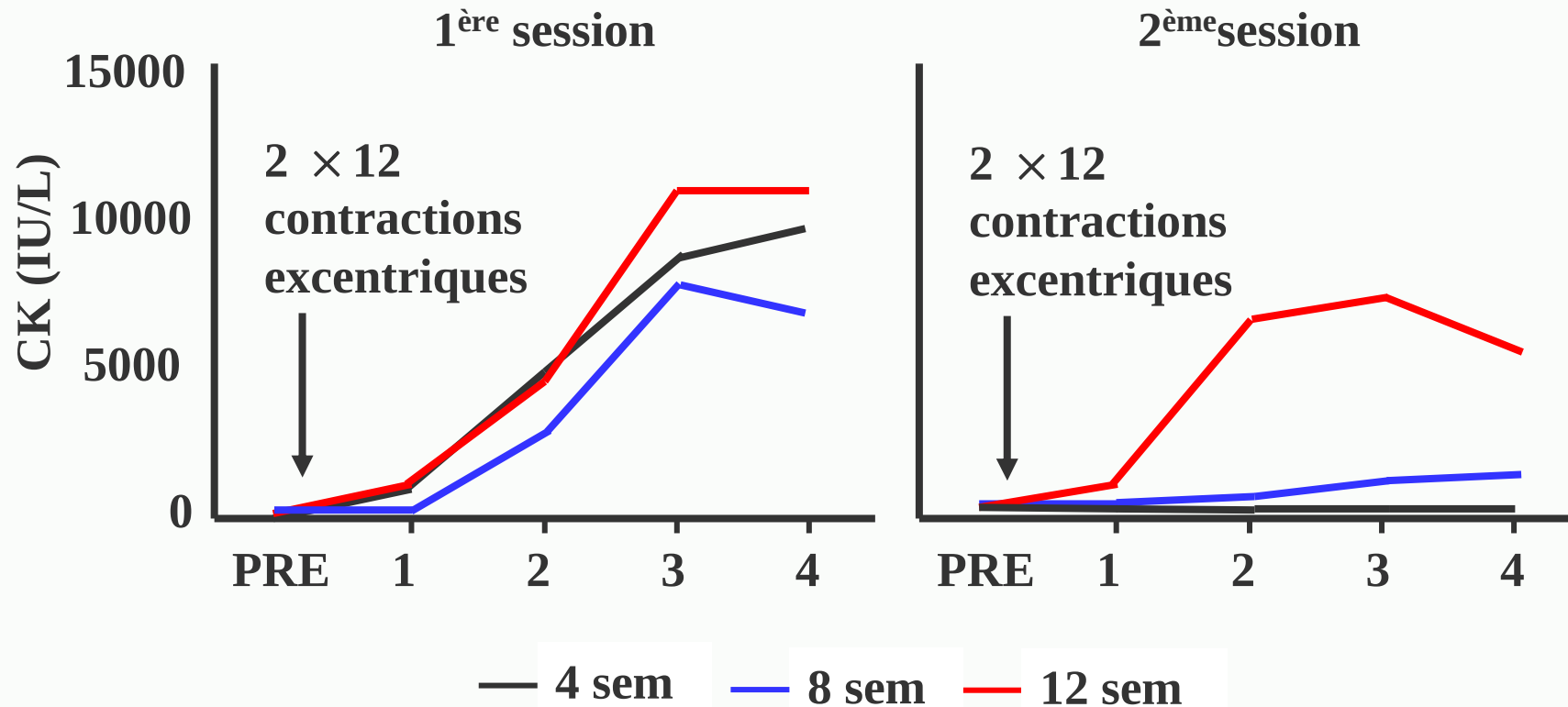
Grande variabilité dans les dommages musculaires



Résistance sans doute en partie innée...
...mais peut être améliorée
par l'entraînement



Effet protecteur



Ici exercice très ≠ d'un ultra-trail mais principe demeure valable si grandes portions en descente

Effet protecteur

A long terme :

- ✓ **adaptations du cytosquelette**
- ✓ **homogénéisation de la longueur des sarcomères**
- ✓ **modifications de typologie** (fibres II = matrice extra-cellulaire – développée)

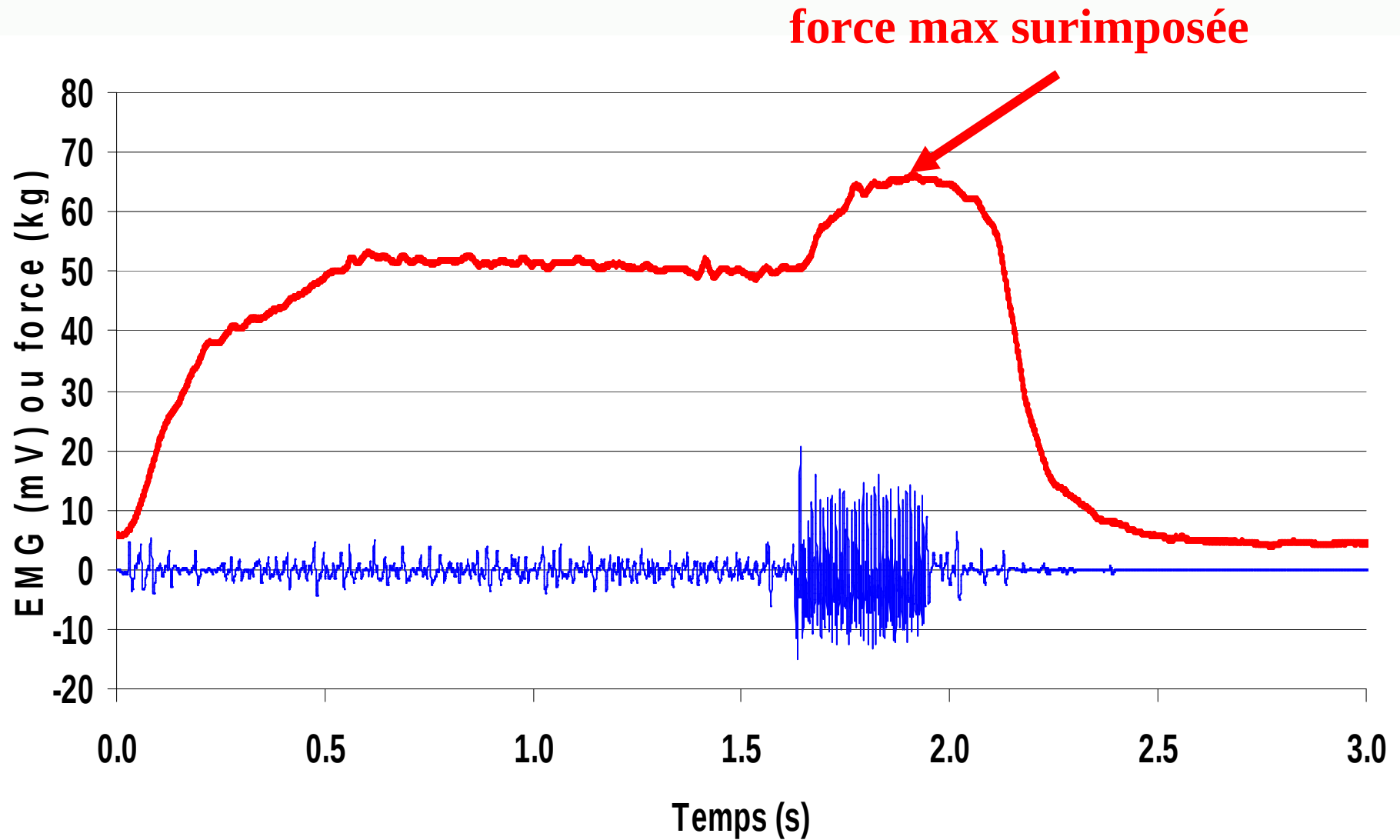


↗ résistance du muscle aux contractions excentriques

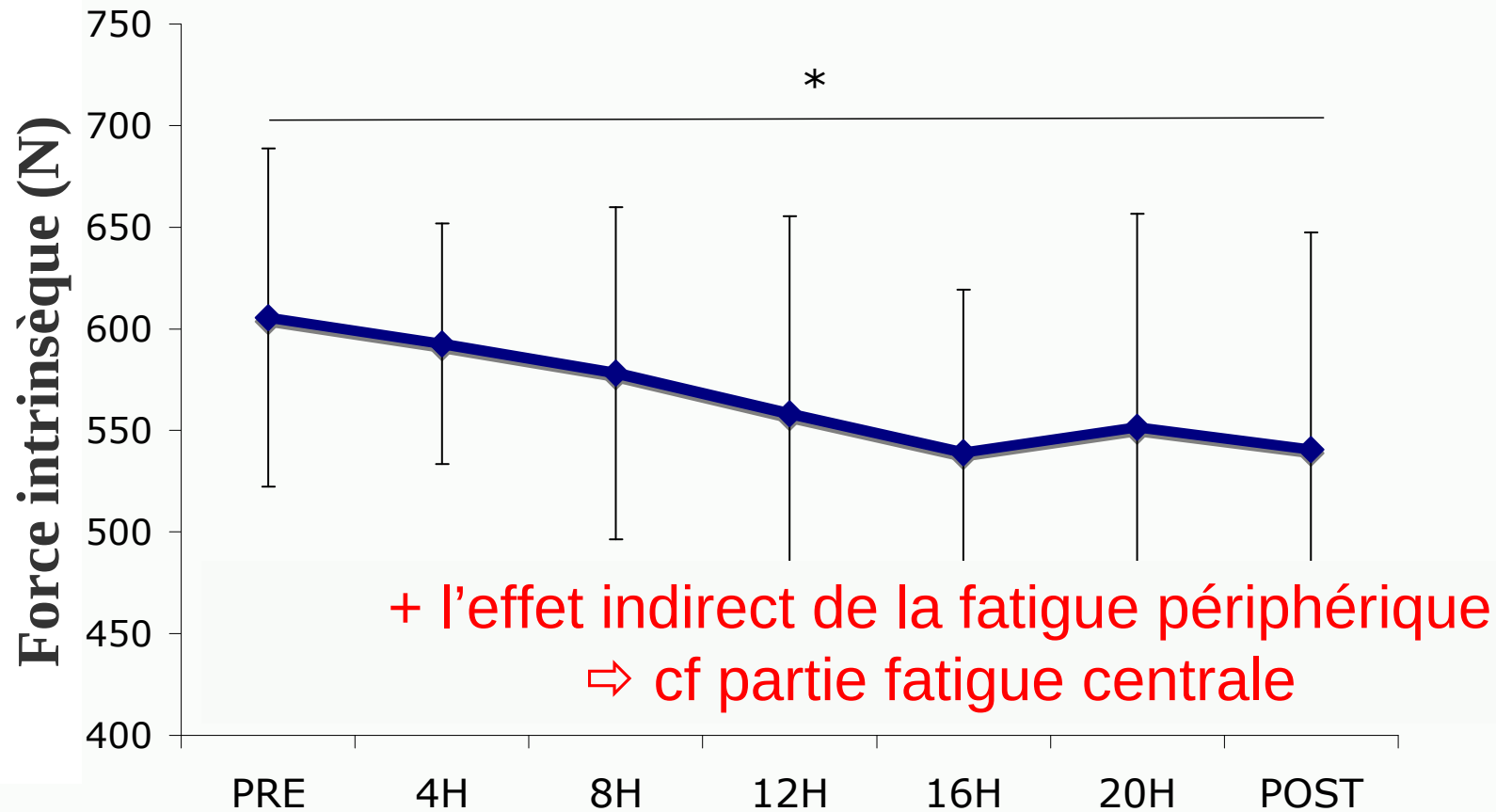


↗ endurance de faible intensité





« force max surimposée » = force intrinsèque



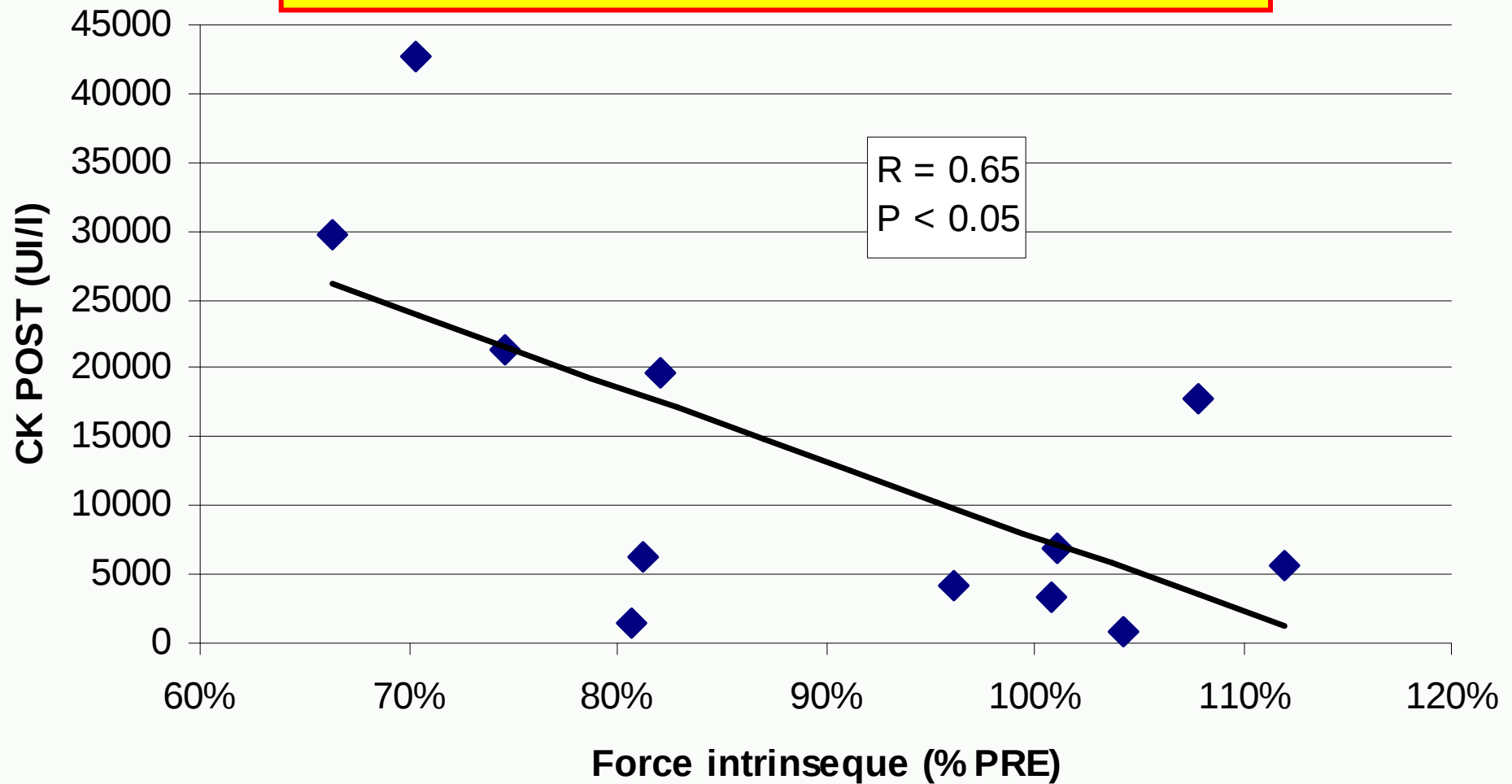
Force intrinsèque du muscle : -10%

Pas d'altération couplage excitation-contraction

Mais si 9000 m négatif ??

Ne pas oublier dommages cartilage (Kim et al. 2007)
& tendineux

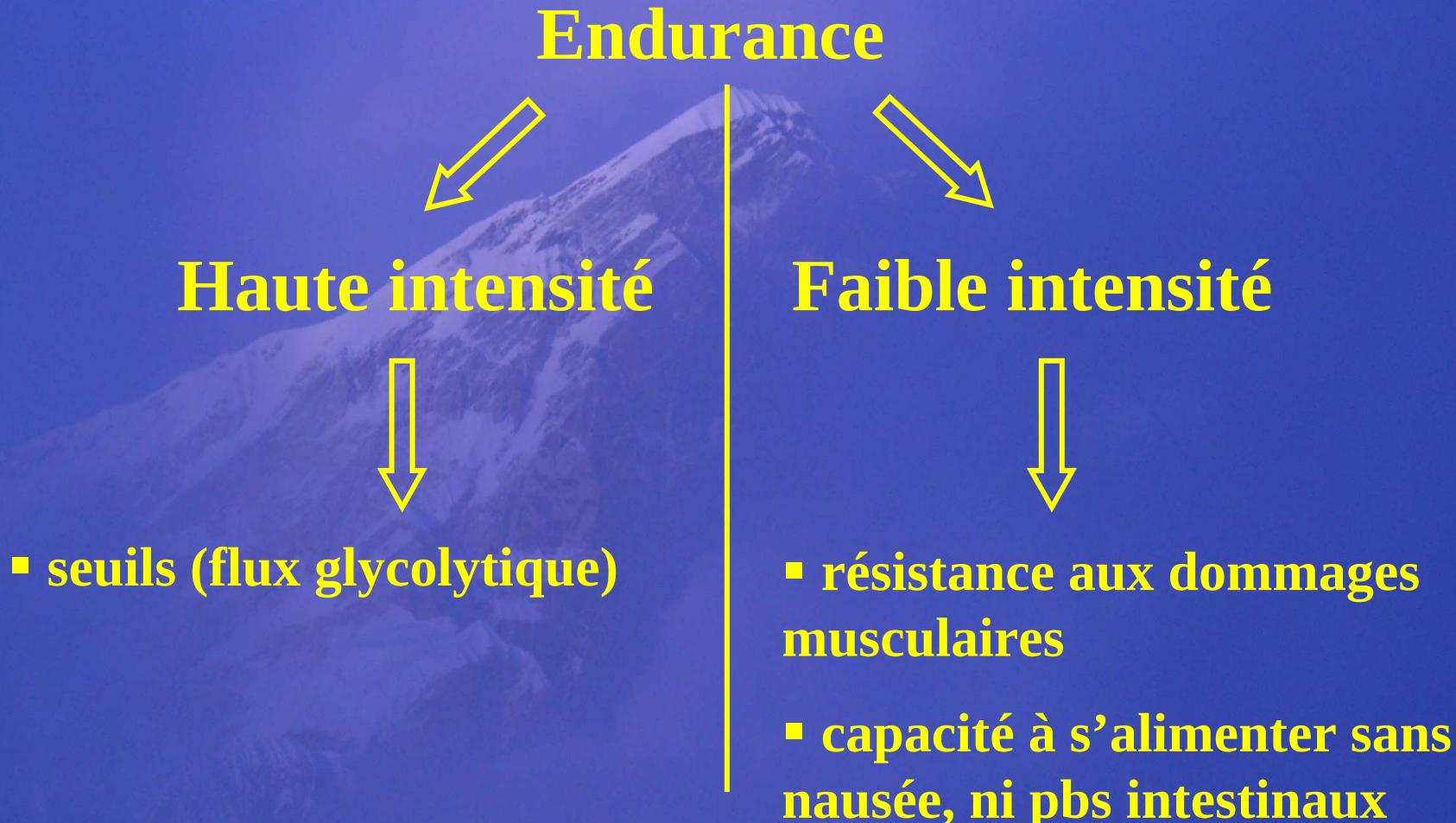
Marqueurs sanguins des dommages musculaires



cœur,
muscle ou
cerveau ?



Endurance



```
graph TD; Endurance --> HauteIntensite[Haute intensité]; Endurance --> FaibleIntensite[Faible intensité]; HauteIntensite --> Seuils[seuils (flux glycolytique)]; FaibleIntensite --> Resistance[résistance aux dommages musculaires]; FaibleIntensite --> Alimentation[capacité à s'alimenter sans nausée, ni pbs intestinaux];
```

The diagram is set against a background of a snow-capped mountain peak. A vertical yellow line divides the content into two columns. At the top, the word 'Endurance' is centered. Two yellow arrows point from 'Endurance' to 'Haute intensité' on the left and 'Faible intensité' on the right. Below 'Haute intensité', a yellow arrow points down to a bullet point. Below 'Faible intensité', a yellow arrow points down to two bullet points.

Haute intensité

- seuils (flux glycolytique)

Faible intensité

- résistance aux dommages musculaires
- capacité à s'alimenter sans nausée, ni pbs intestinaux

*cœur,
muscle ou
cerveau ?*

*Et si c'était
ailleurs ?*

~~*poumons ?*~~

Σ digestif ?



Apports énergétiques pendant l'épreuve sont essentiels

SAVOIR s'alimenter

POUVOIR s'alimenter



cerveau ???

cœur

muscles

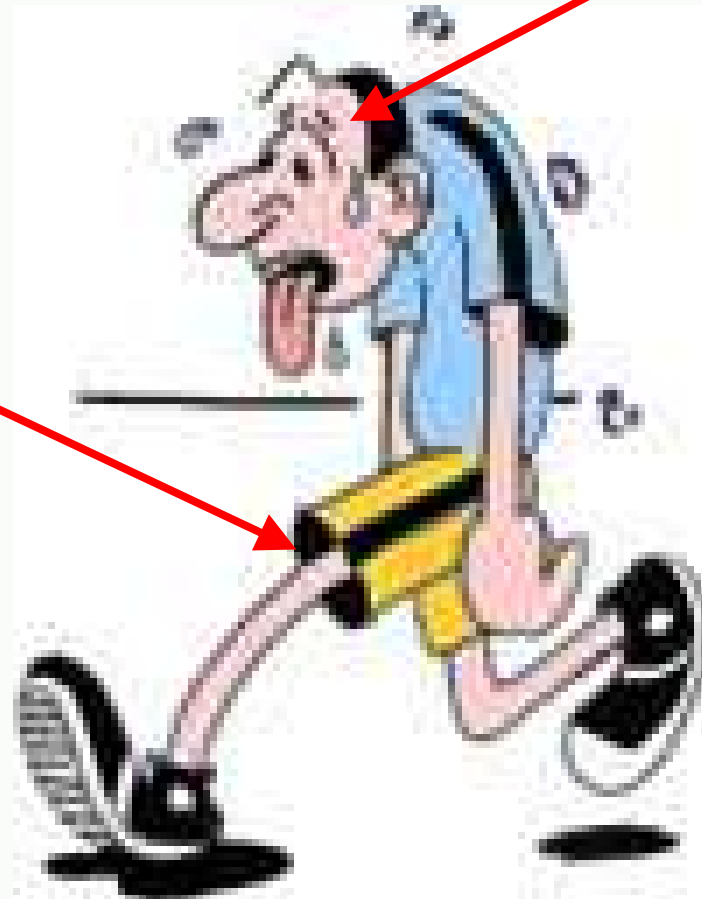




Origine de la fatigue ?

**fatigue
périphérique
(musculaire)**

**fatigue
centrale
(nerveuse)**

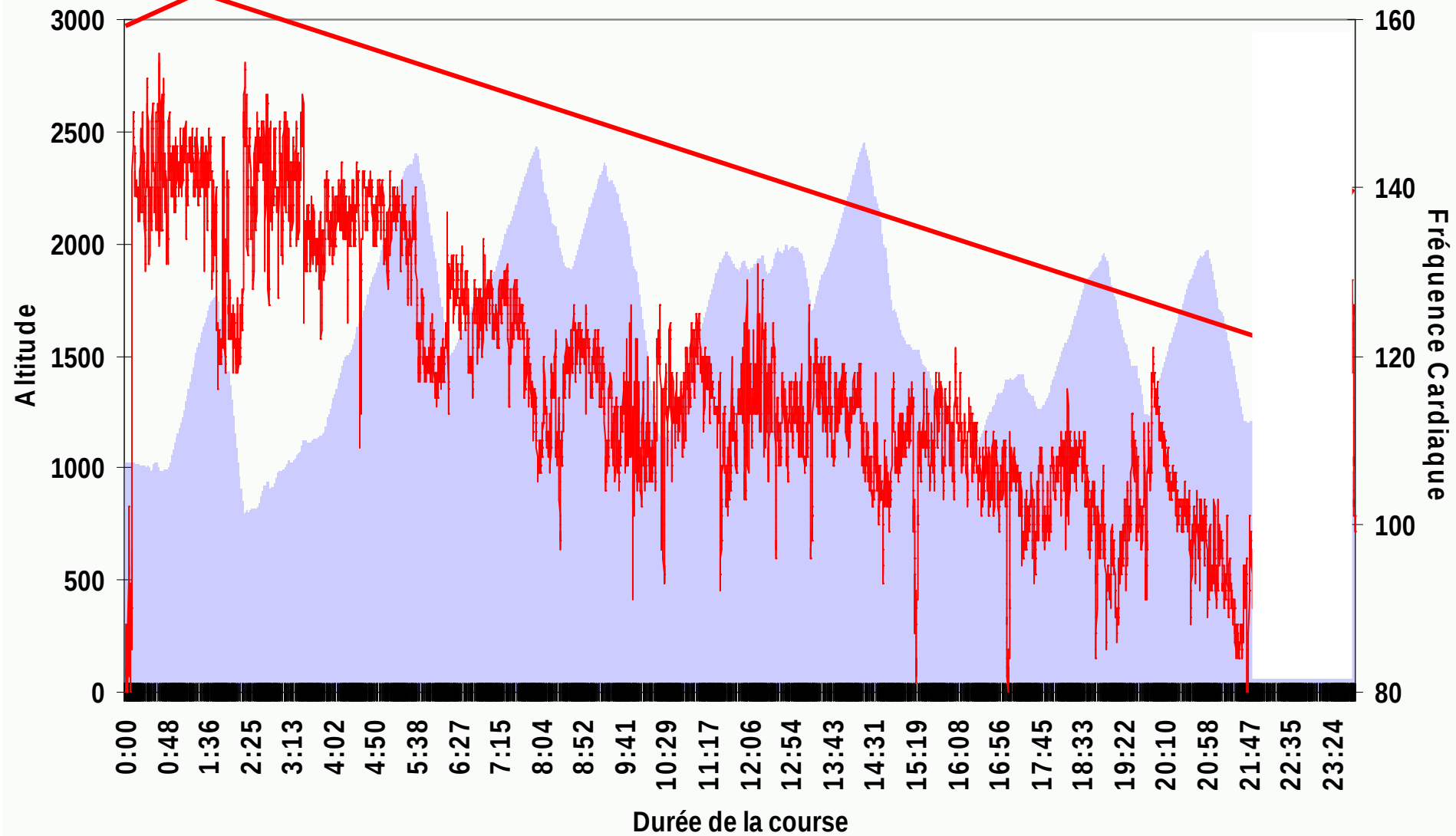


Éléments de terrain

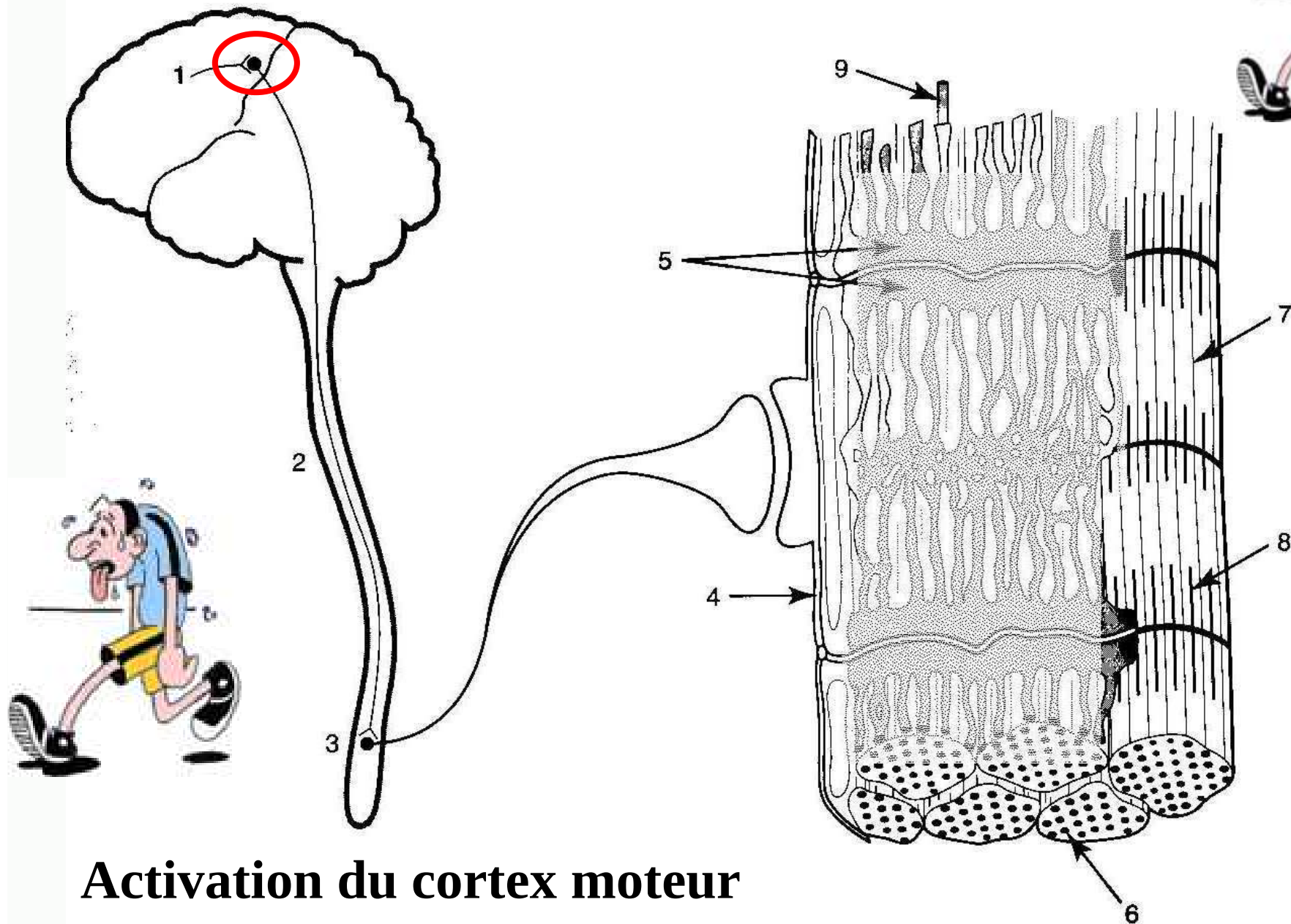
- ✓ manque de sommeil avant une course
- ✓ possibilité de se remettre d'un « coup de moins bien » sans s'arrêter
- ✓ limitation de la vitesse en descente en raison de douleurs musculaires
- ✓ capacité à accélérer en fin de course

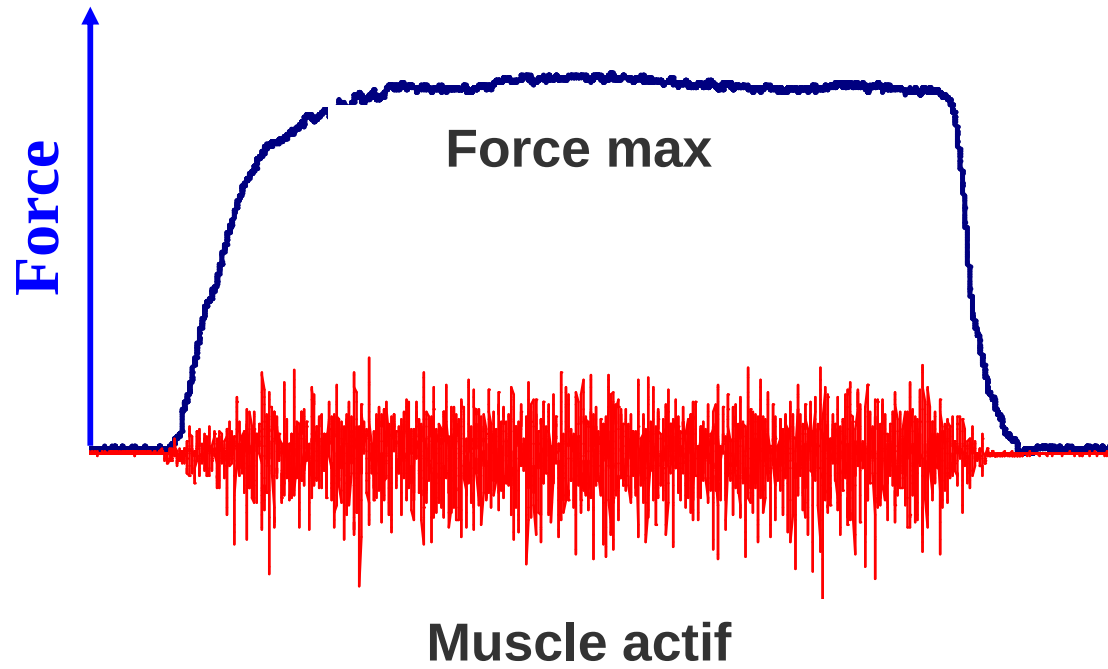


6^{ème} au scratch UTMB 2007



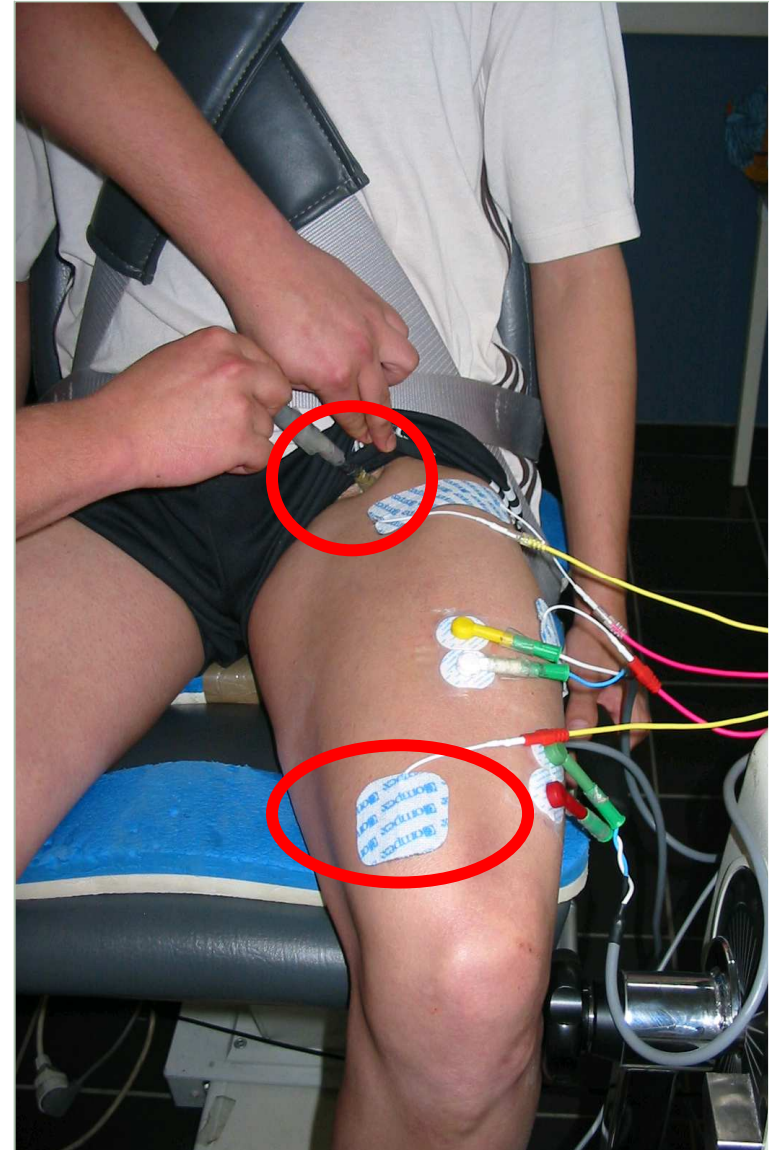
Sites potentiels de la fatigue

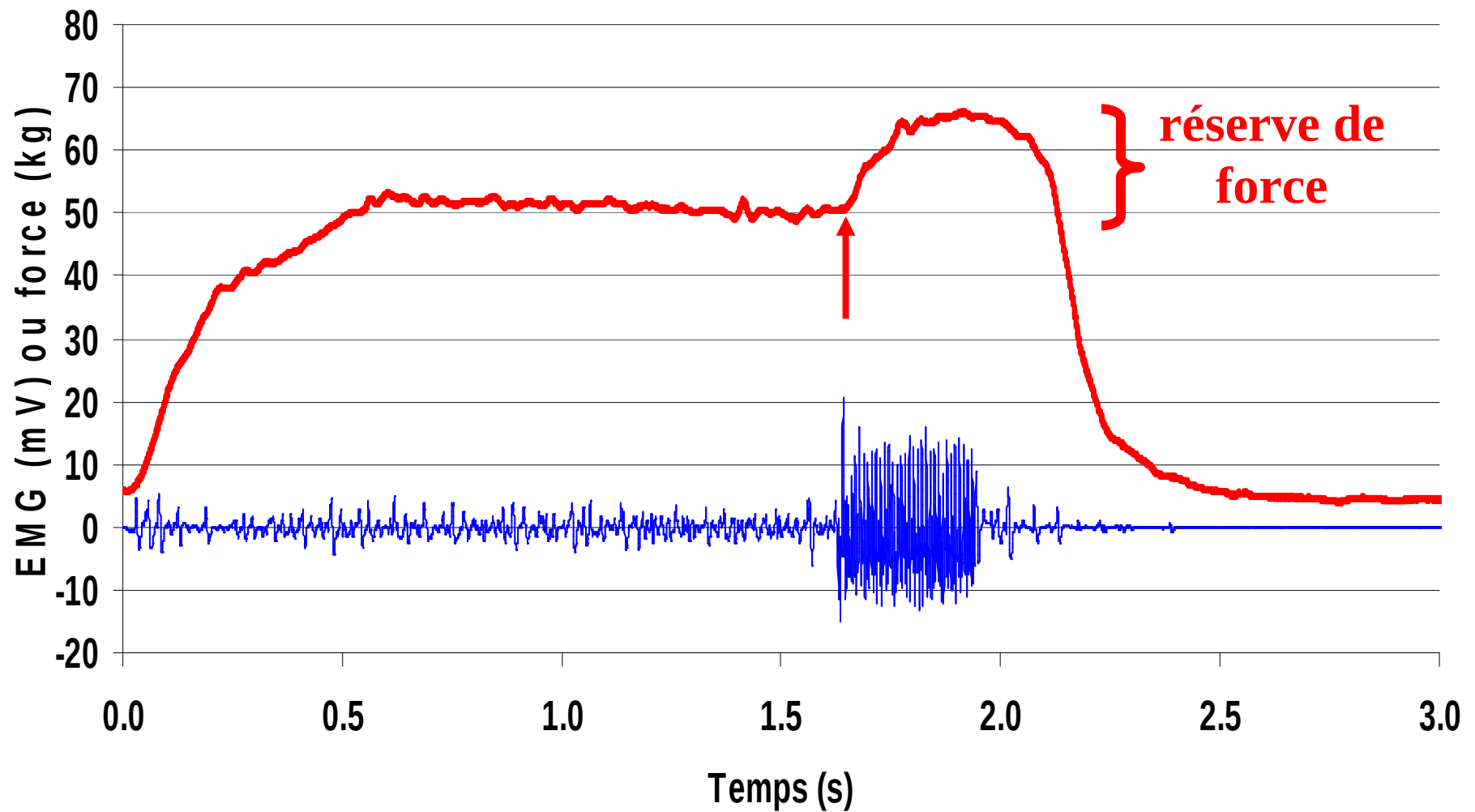




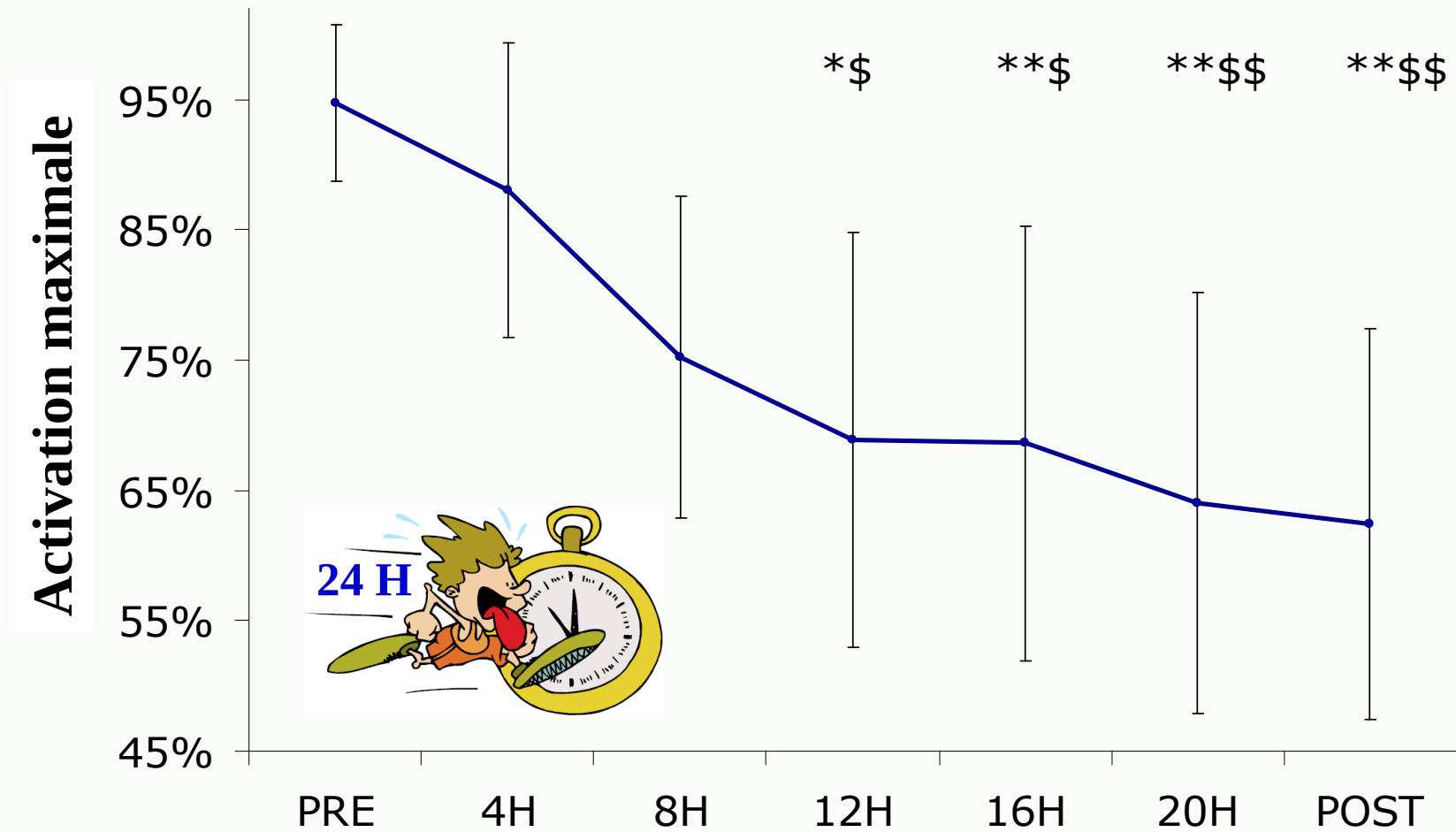
Que se passe-t-il si on surimpose une stimulation électrique ?

**Stimulation externe
(nerf, muscle)**

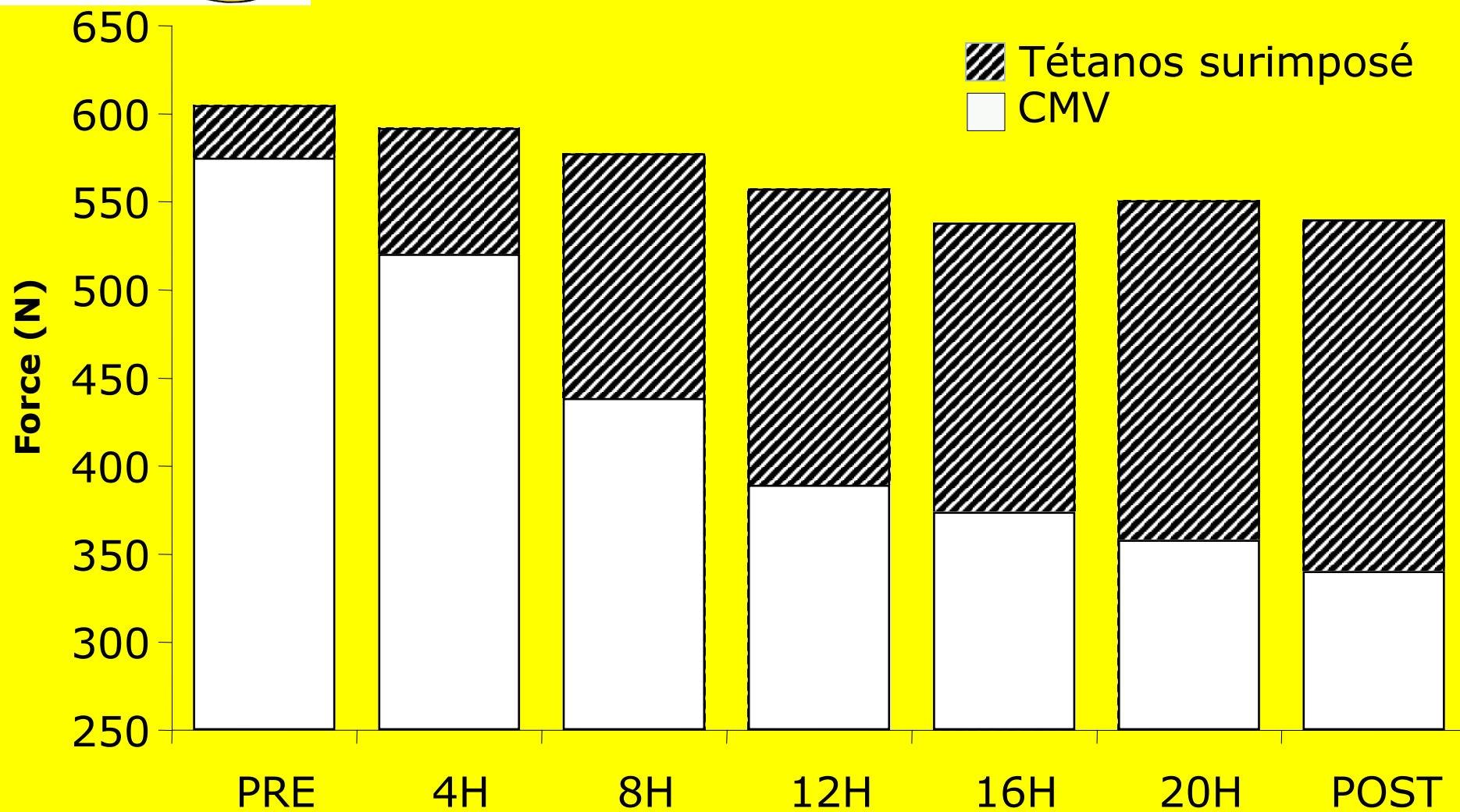




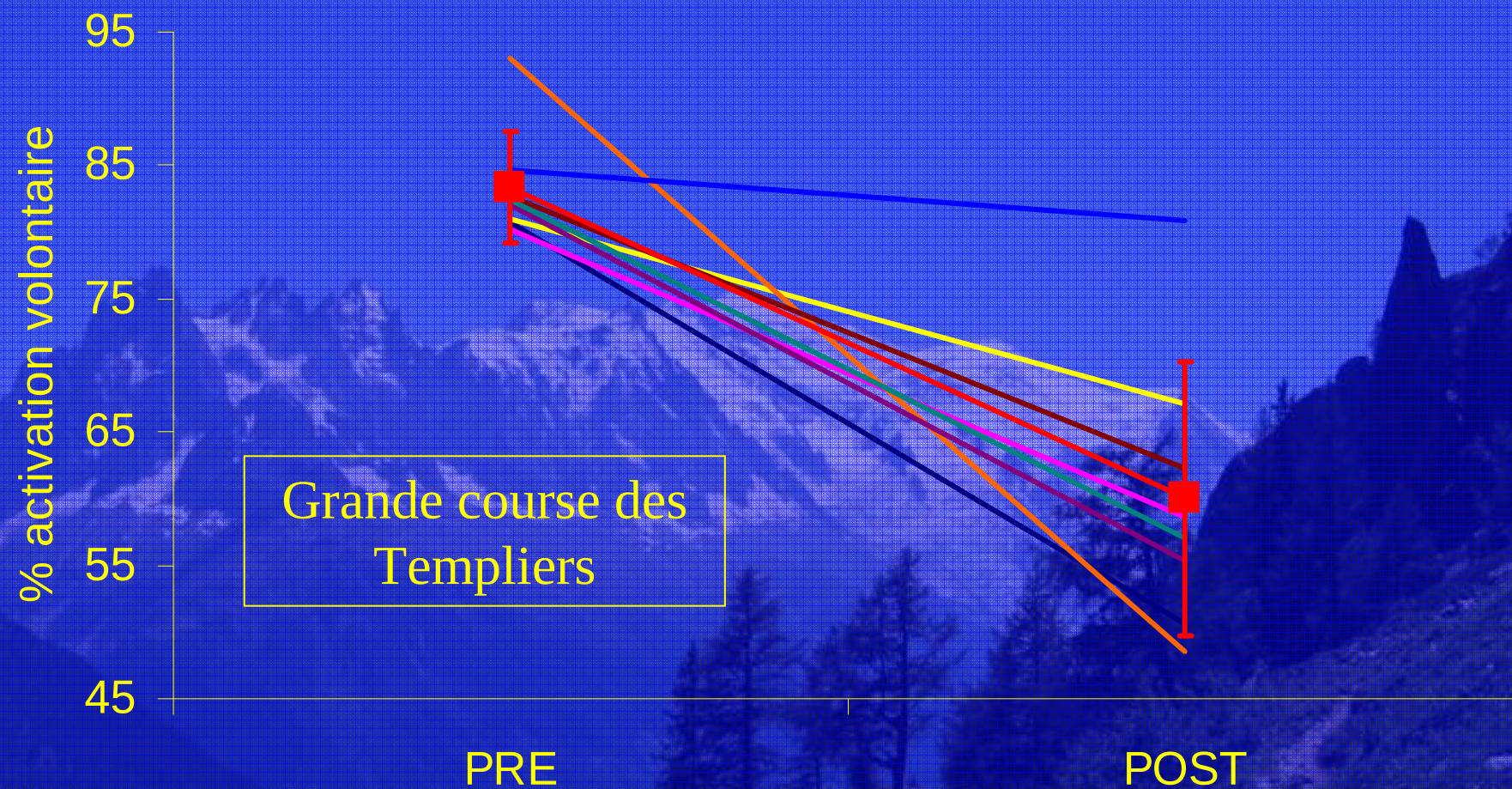
↗ « réserve de force » = fatigue centrale



Fatigue centrale : ~ - 30 %

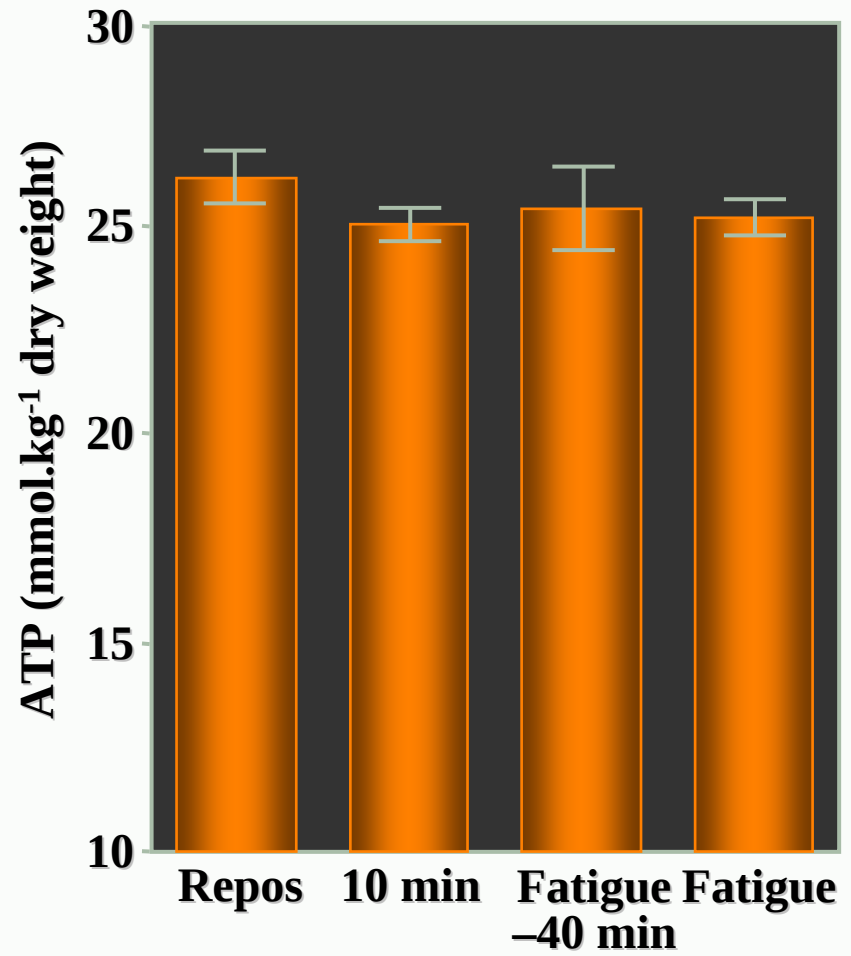
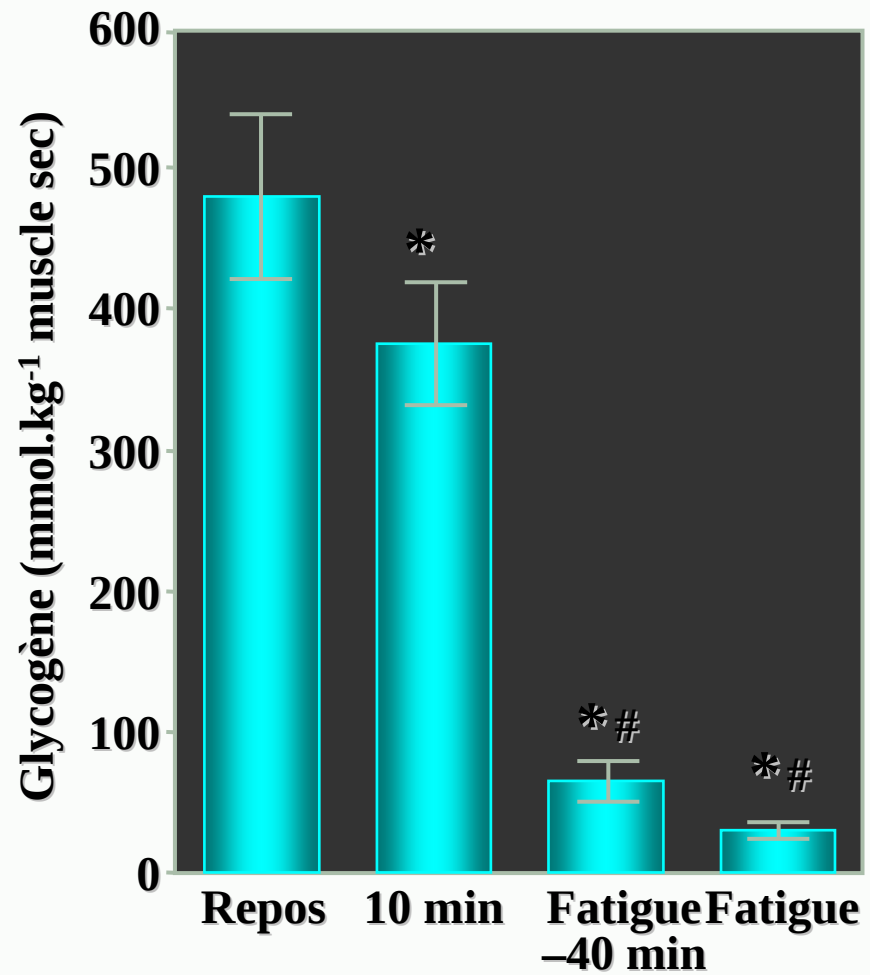


Fatigue centrale et ultra-trail

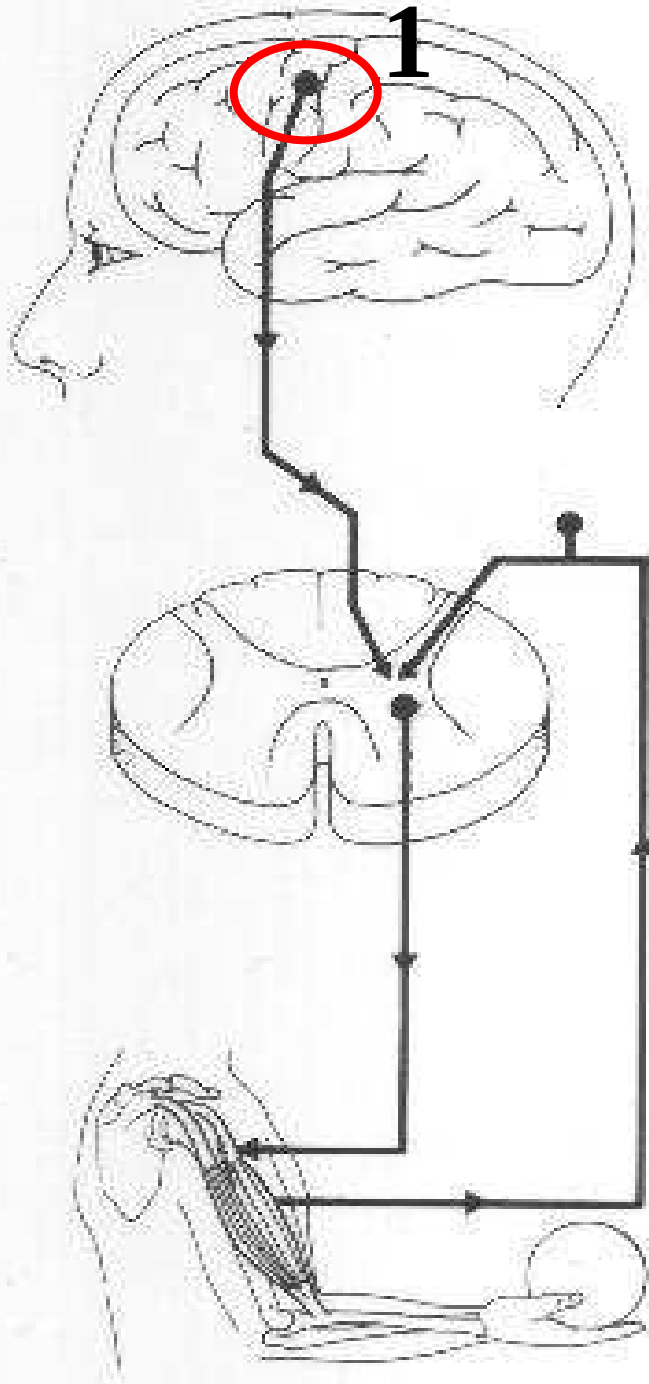


Effets de l'altitude et de la température

Millet et al. 2002
J Appl Physiol



Febbraio & Dancy. J Appl Physiol, 1999.



Hypothèse :

↘ glycogène



**↗ consommation graisses
et acides aminés**



**Modification
neurotransmetteurs
cérébraux + NH_3^+**

*cœur,
muscle ou
cerveau?*

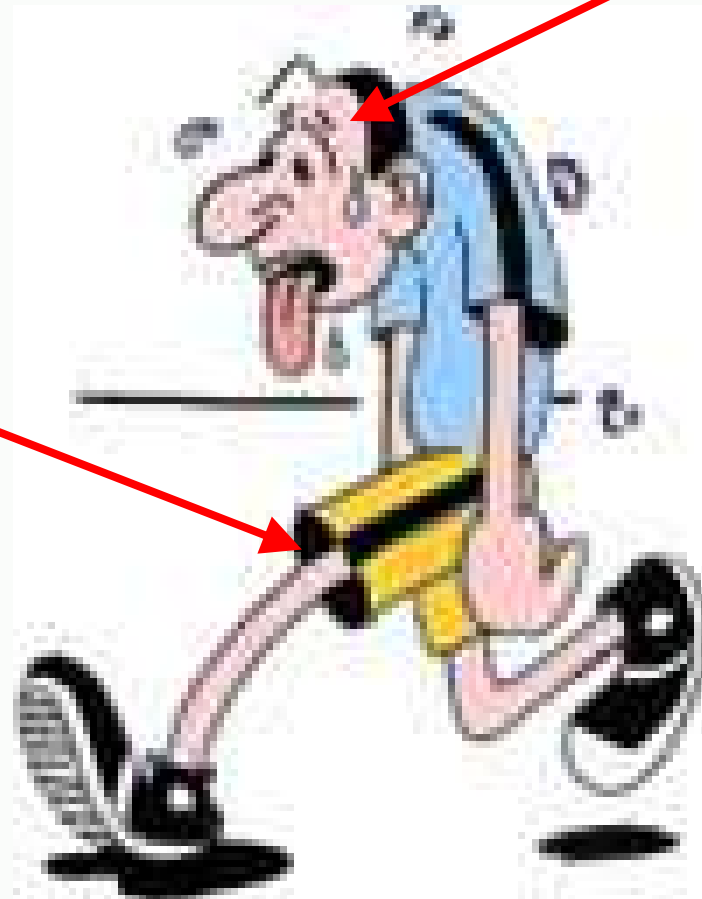


Origine de la fatigue ?

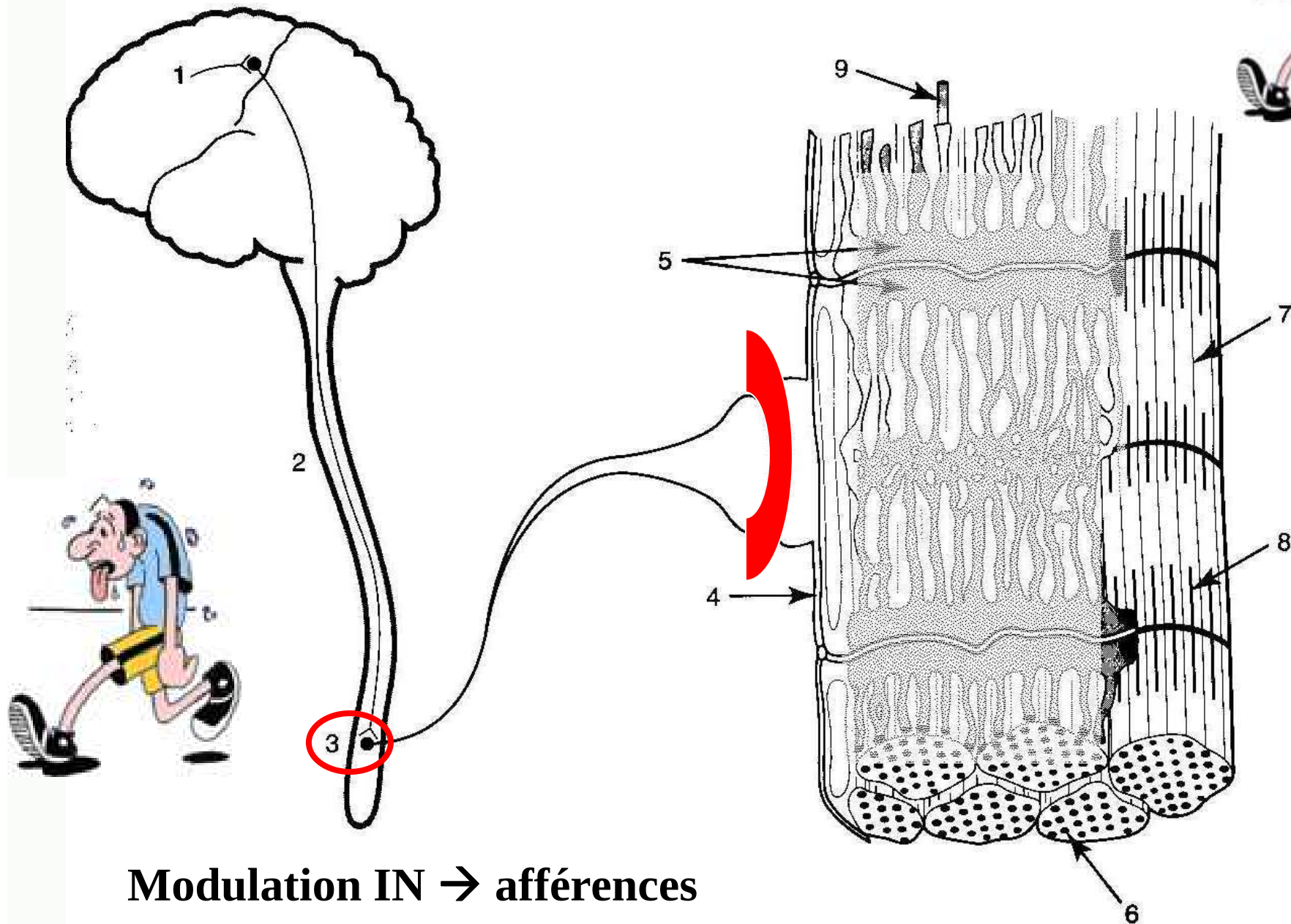
pas si simple...

**fatigue
périphérique
(musculaire)**

**fatigue
centrale
(nerveuse)**

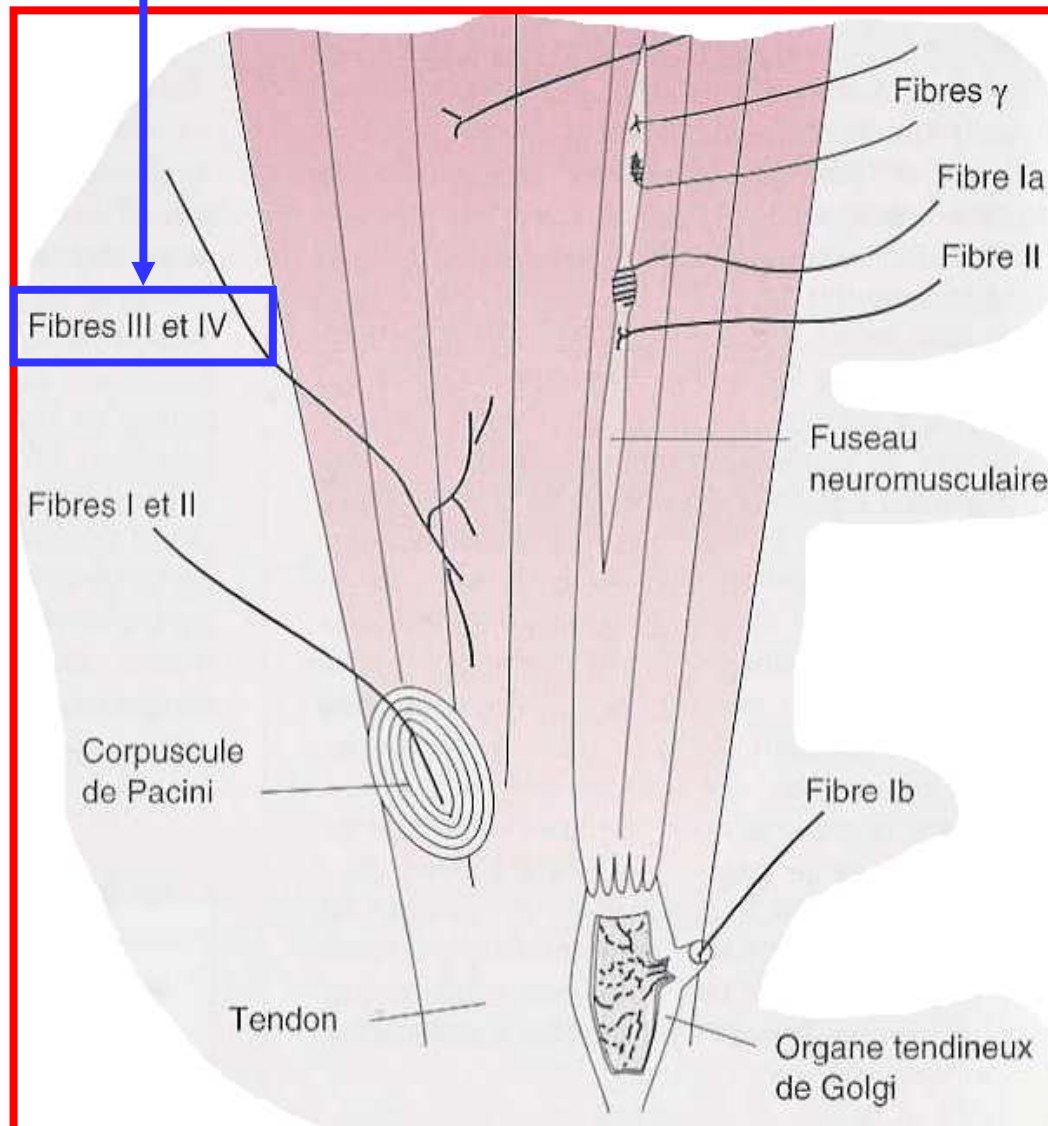


Sites potentiels de la fatigue



↗ modulation spinale et supra-spinale

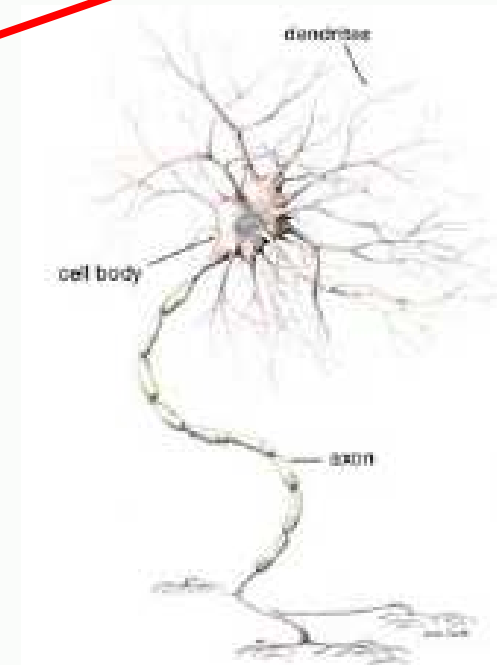
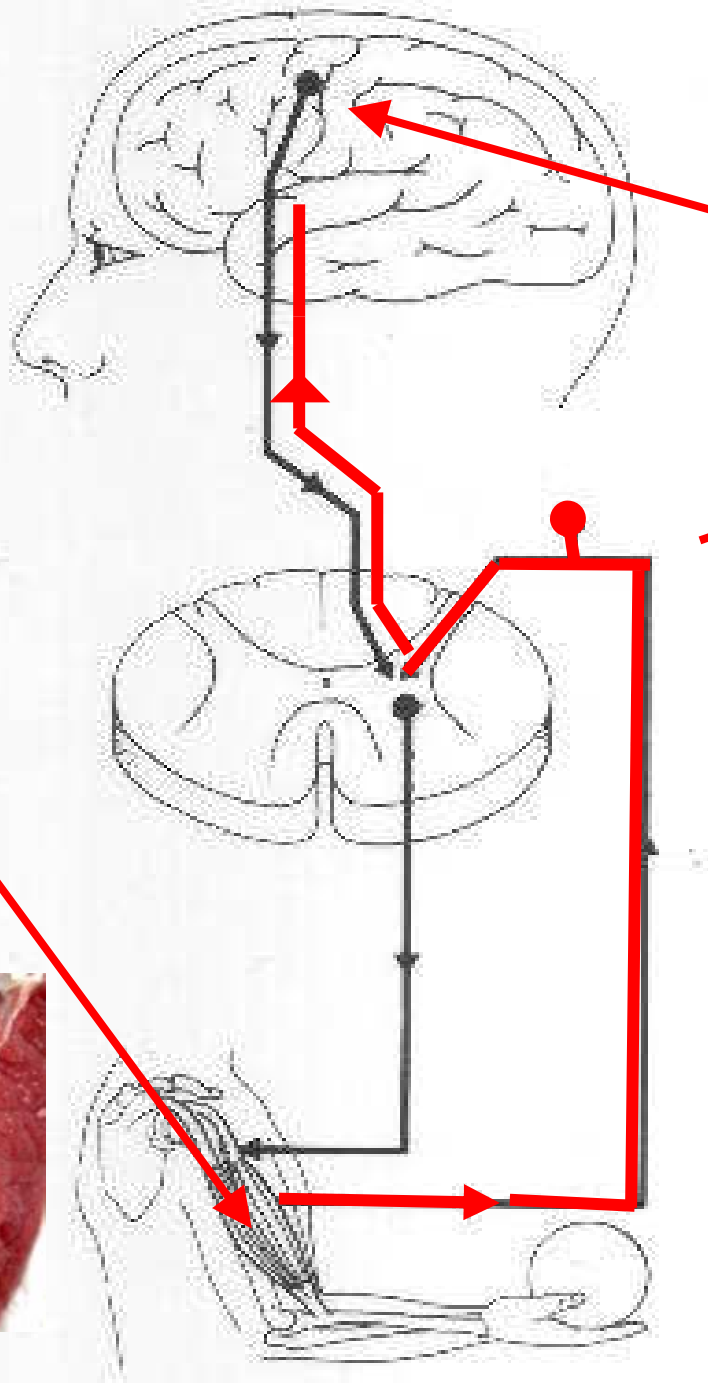
processus inflammatoires (afférences de type IV principalement)



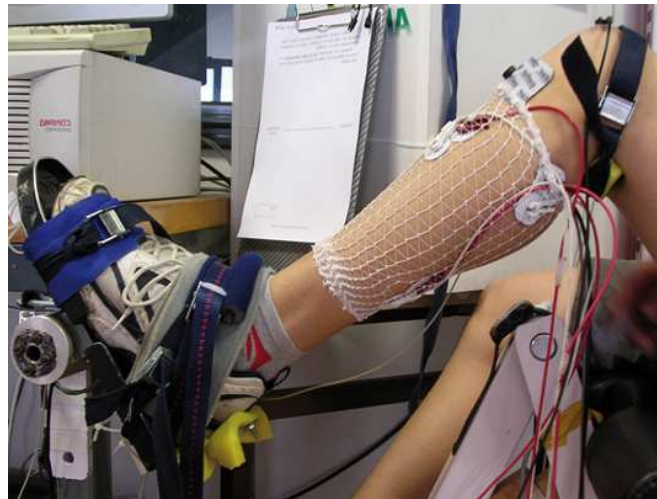
Origine de la fatigue ?

**fatigue
périphérique**

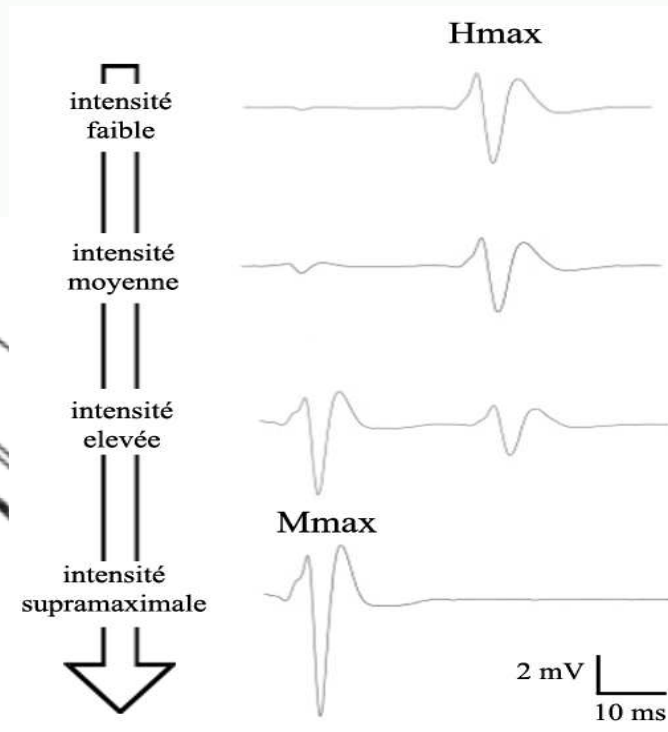
**fatigue
centrale**

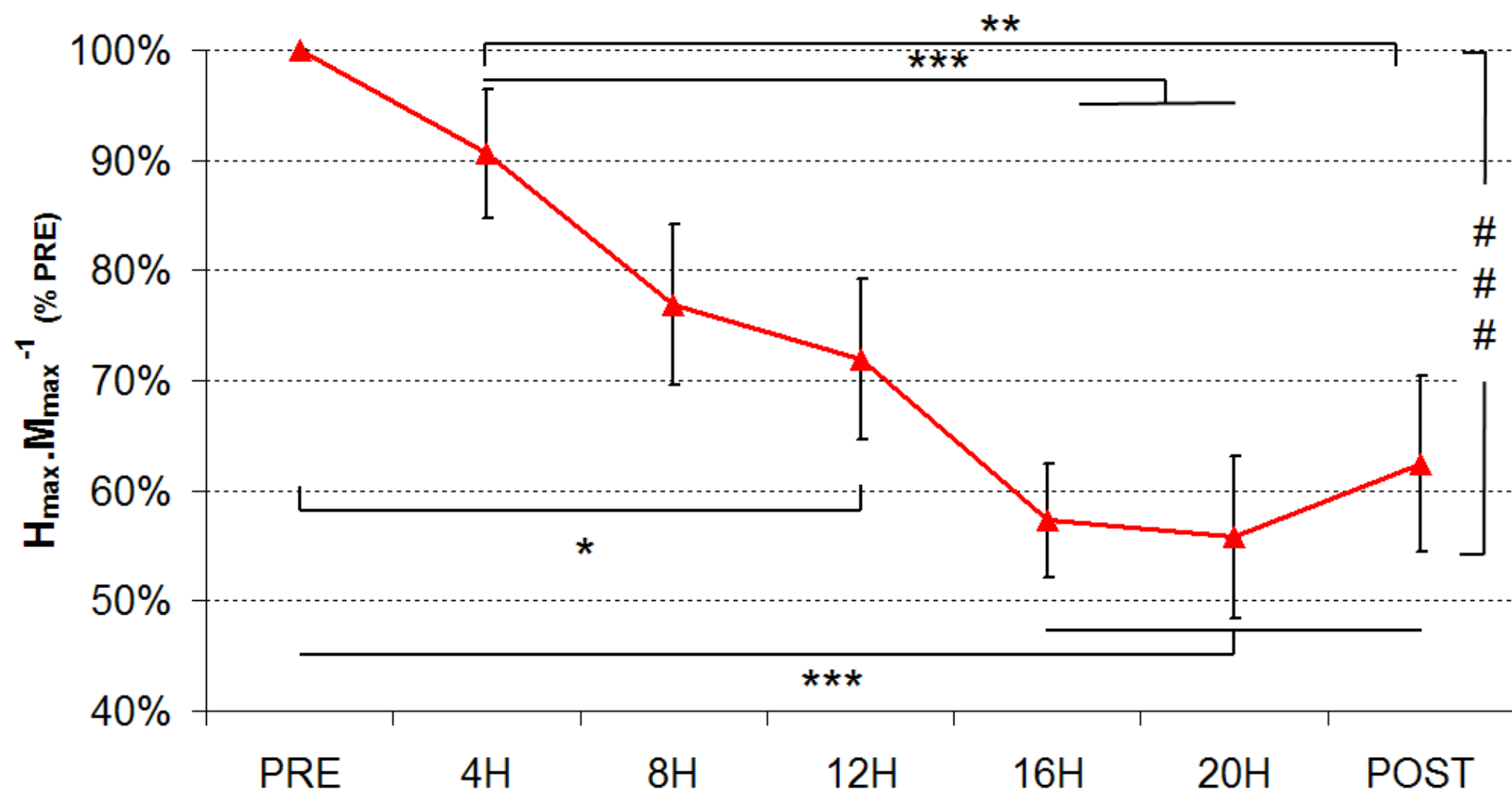


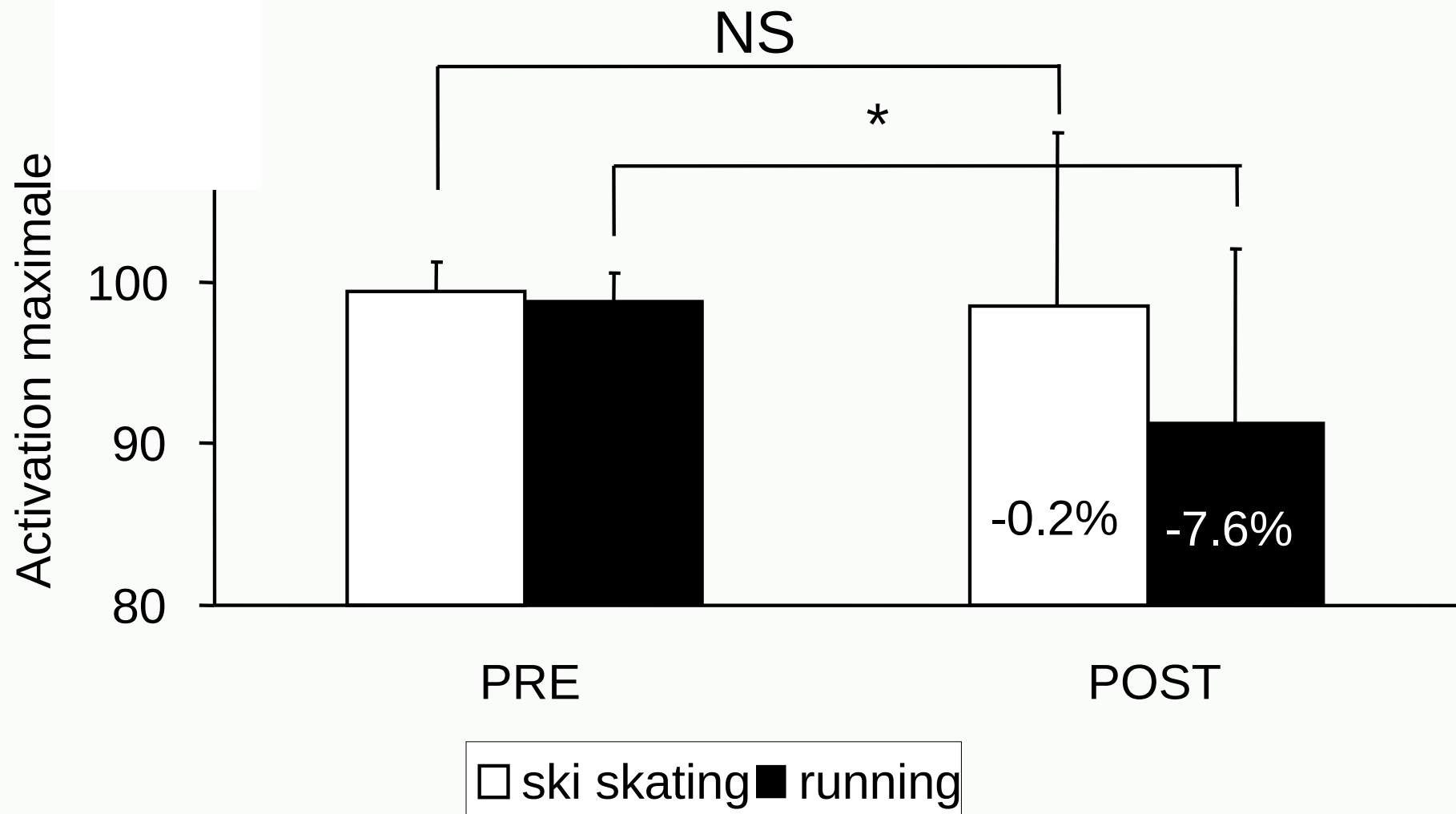
Excitabilité $Mn\alpha$



+



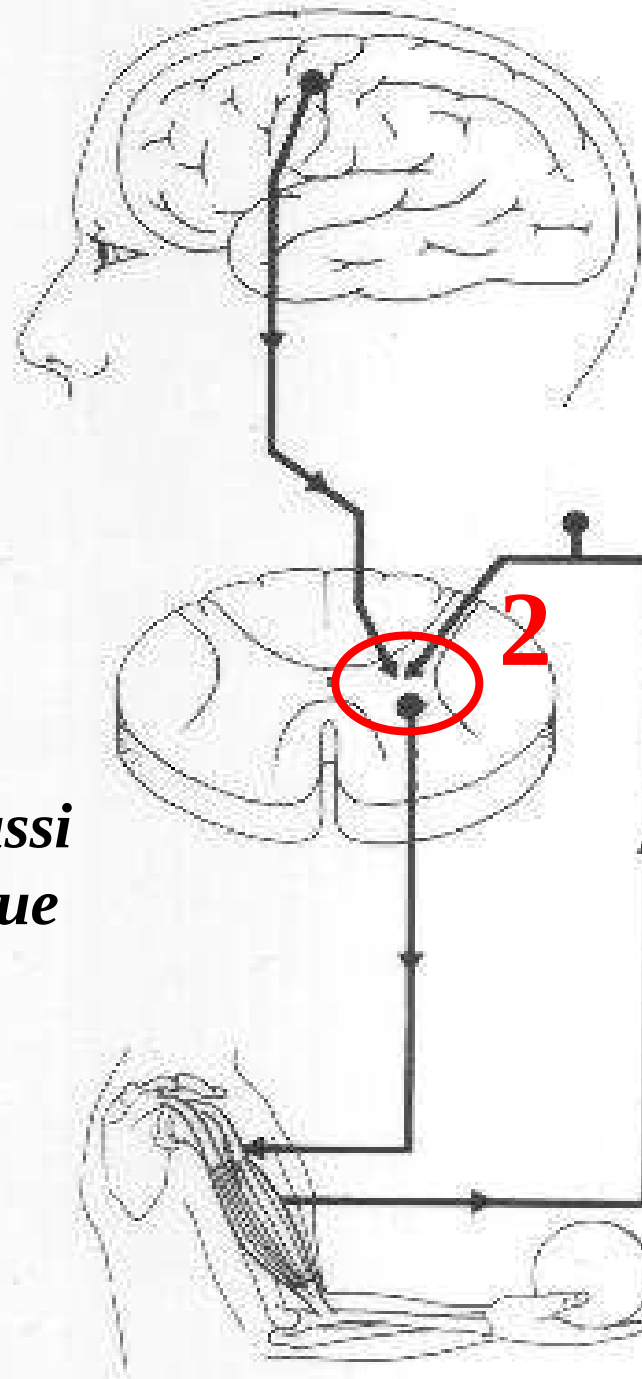




Millet *et al.* Can J Appl Physiol 2003 ; Millet *et al.* J Appl Physiol 2003

Origine « périphérique » de la fatigue centrale probablement impliquée

*Activation des terminaisons
nerveuses III et IV pourrait aussi
∇ proprioception ⇒ ↗ du risque
de blessure*



Conséquences possibles

❧ Commande centrale supérieure pour un niveau d'excitation musculaire donné

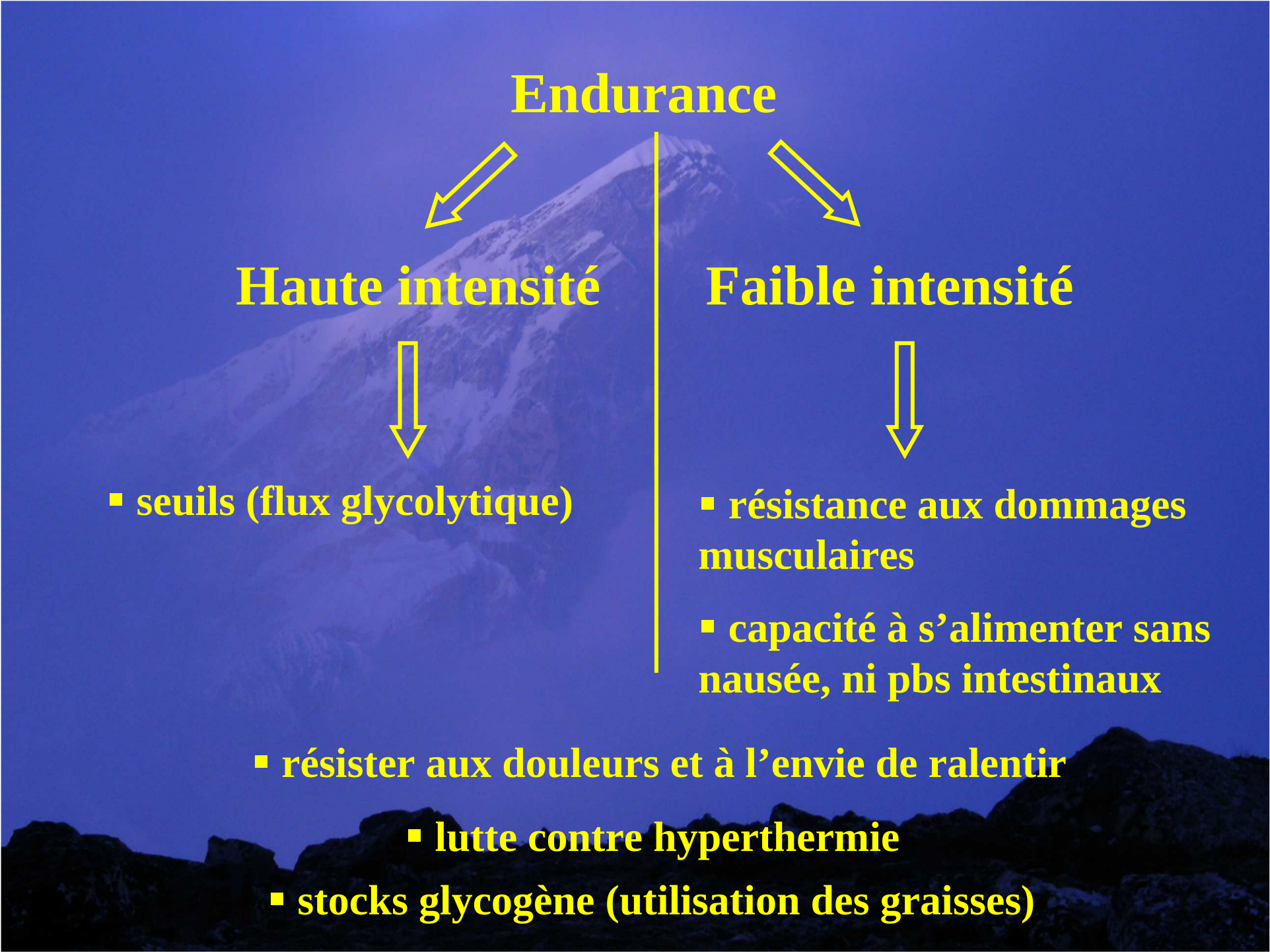
↳ ↗ pénibilité de la tâche (feed-forward, en montée et sur le plat essentiellement)

❧ Douleurs : ↘ vitesse de course (en descente notamment)

■ Modèle du gouverneur central (T. Noakes) : intensité régulée pour préserver l'intégrité de l'organisme en fonction de :

- ✓ expérience passée (vécu)
- ✓ sensations (feed-back, feed-forward)
- ✓ ce qu'il reste à accomplir

Endurance

A conceptual diagram with a mountain peak in the background. The word 'Endurance' is at the top. Two arrows point down from it to 'Haute intensité' and 'Faible intensité'. A vertical line separates these two columns. Below 'Haute intensité' is a list of three items. Below 'Faible intensité' is a list of two items. At the bottom, centered, is a list of three items. All text is yellow on a blue background.

Haute intensité

- seuils (flux glycolytique)

Faible intensité

- résistance aux dommages musculaires
- capacité à s'alimenter sans nausée, ni pbs intestinaux

- résister aux douleurs et à l'envie de ralentir
- lutte contre hyperthermie
- stocks glycogène (utilisation des graisses)

En pratique... au niveau périphérique



**Effets directs :
fatigue musculaire**

**Effets indirects :
fatigue centrale**

**Objectifs de l'entraînement :
limiter les perturbations cellulaires**

Passe par amélioration des aptitudes aérobies

Entraînement de $\dot{V}O_2\text{max}$

✓ Séances spécifiques

- pour tous : en début de saison
- pour tous : entretien pendant la saison
- pour « débutants » : développement en cours de saison

✓ Après un certain nb d'années $\Rightarrow$ stagnation :

↳ ex : P Radcliff, Armstrong, ≠ éq. France Junior et Senior triathlon

✓ gains principaux se font alors sur endurance et économie de déplacement

- résistance aux dommages
- densité mitochondriale et capillaire
- technique

En pratique... au niveau périphérique

**Effets directs :
fatigue musculaire**

**Effets indirects :
fatigue centrale**

**Objectifs de l'entraînement :
limiter les perturbations cellulaires**

**Passe par amélioration des aptitudes aérobies
et meilleure résistance aux dommages musculaires**

VO₂ max



Intervalle training

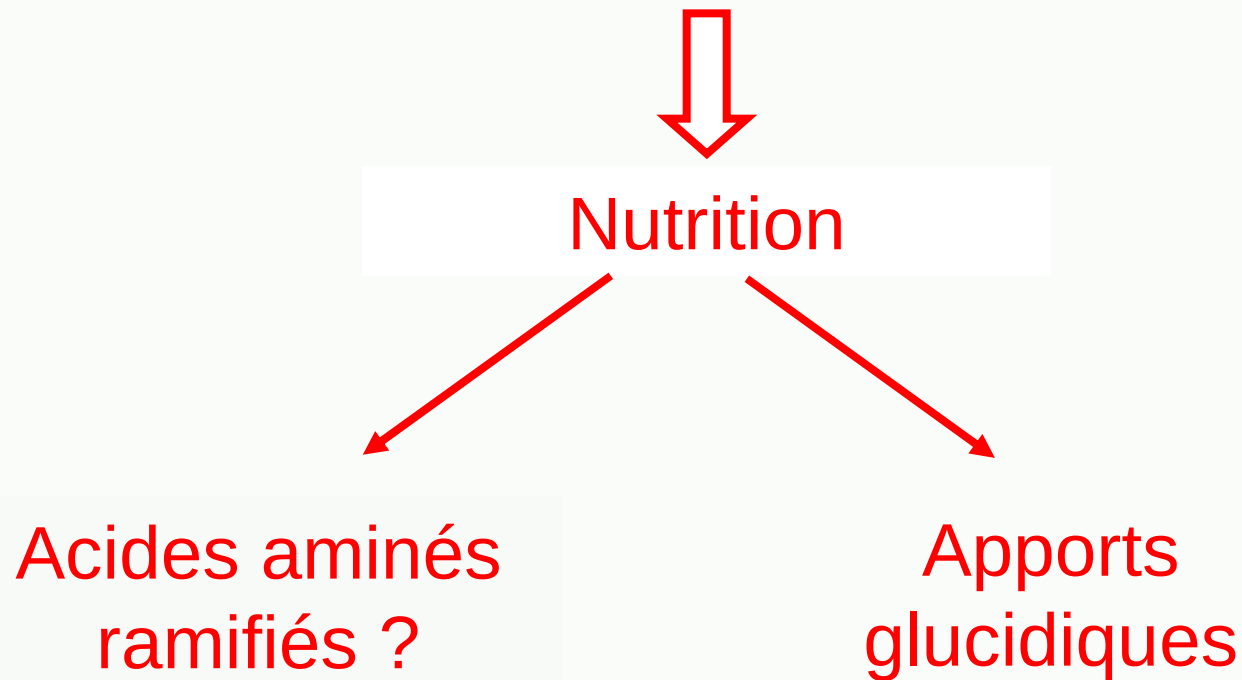
**Endurance de basse
intensité**



Travail spécifique

En pratique... au niveau central

Limiter les perturbations centrales directes ?



Outrepasser limites centrales ?

~~— Dopage —~~

Préparation mentale

cerveau ⇒ *Lutte contre la fatigue centrale*

⇒ *Gestion de course et de la douleur*

VO₂max



cœur

???

Σ digestif ⇒ *Énergie*

muscles ⇒ *Résistance aux dommages*

⇒ *VO₂max*



cœur,
muscle et
cerveau ?

& Σ digestif





Merci de votre attention

« j'aime la performance pour ce qu'elle représente dans la démarche et le chemin de l'homme, pour les pensées, les efforts, les conceptions, pour l'adaptation qu'elle demande. Mais je ne suis pas attaché à la performance pour la performance »

Patrick Berhault, extrait de : "Sur le fil des 4000",
film de Gilles Chappaz.