

L'adaptation poumon cœur muscle suffit elle pour gagner une course d'endurance

Charles-Yannick Guezennec
Pôle de Médecine du Sport de l'Essonne

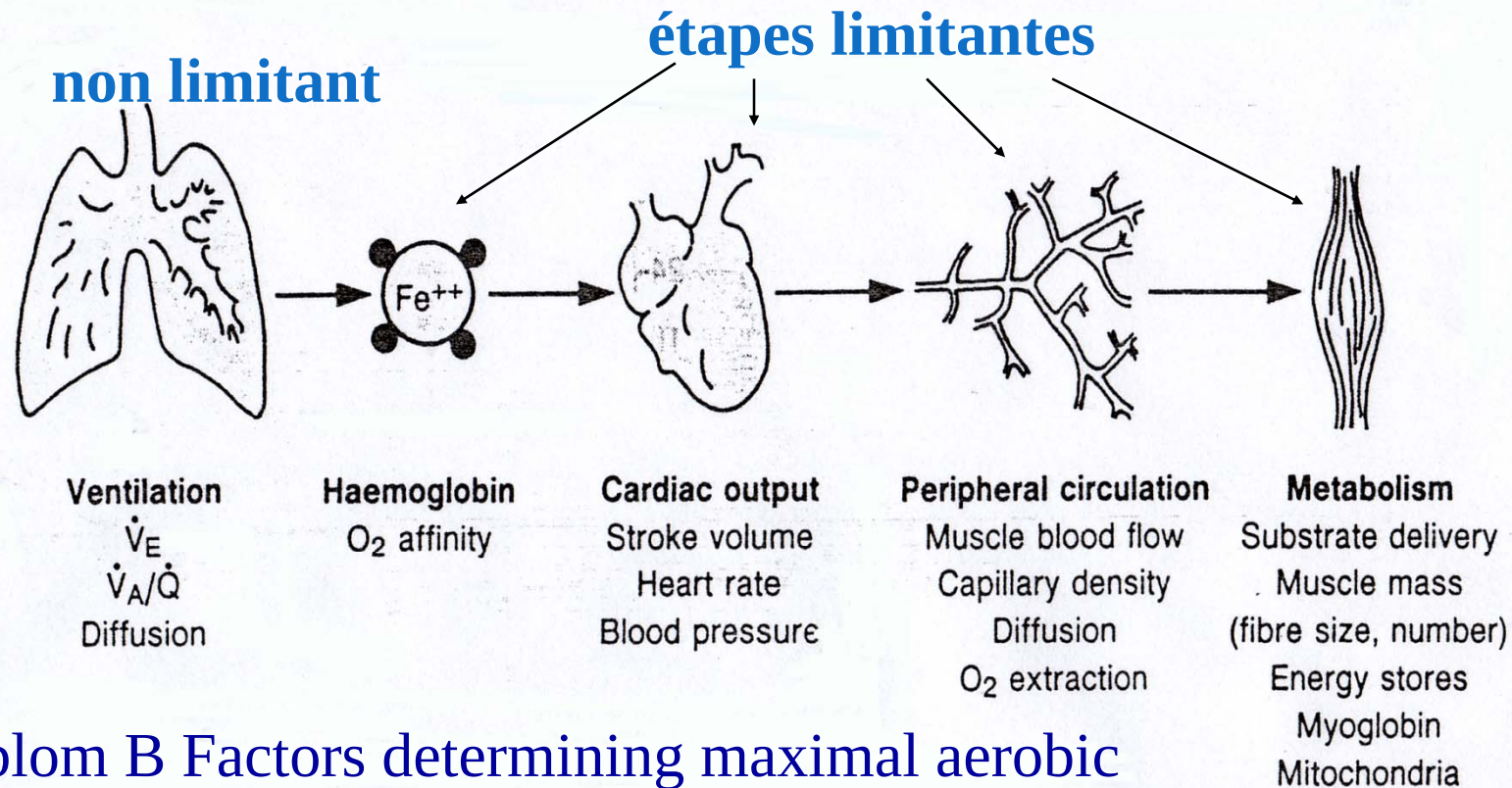
Les facteurs de la performance

- L'apport en oxygène
- Disponibilité en substrats énergétiques
- Tolérance aux modification du milieu intra et extracellulaire: Ph, ionique,
- Tolérance à la contrainte thermique
- commande nerveuse

Mécanisme de transport de l'O₂

facteurs déterminants le Vo₂ max

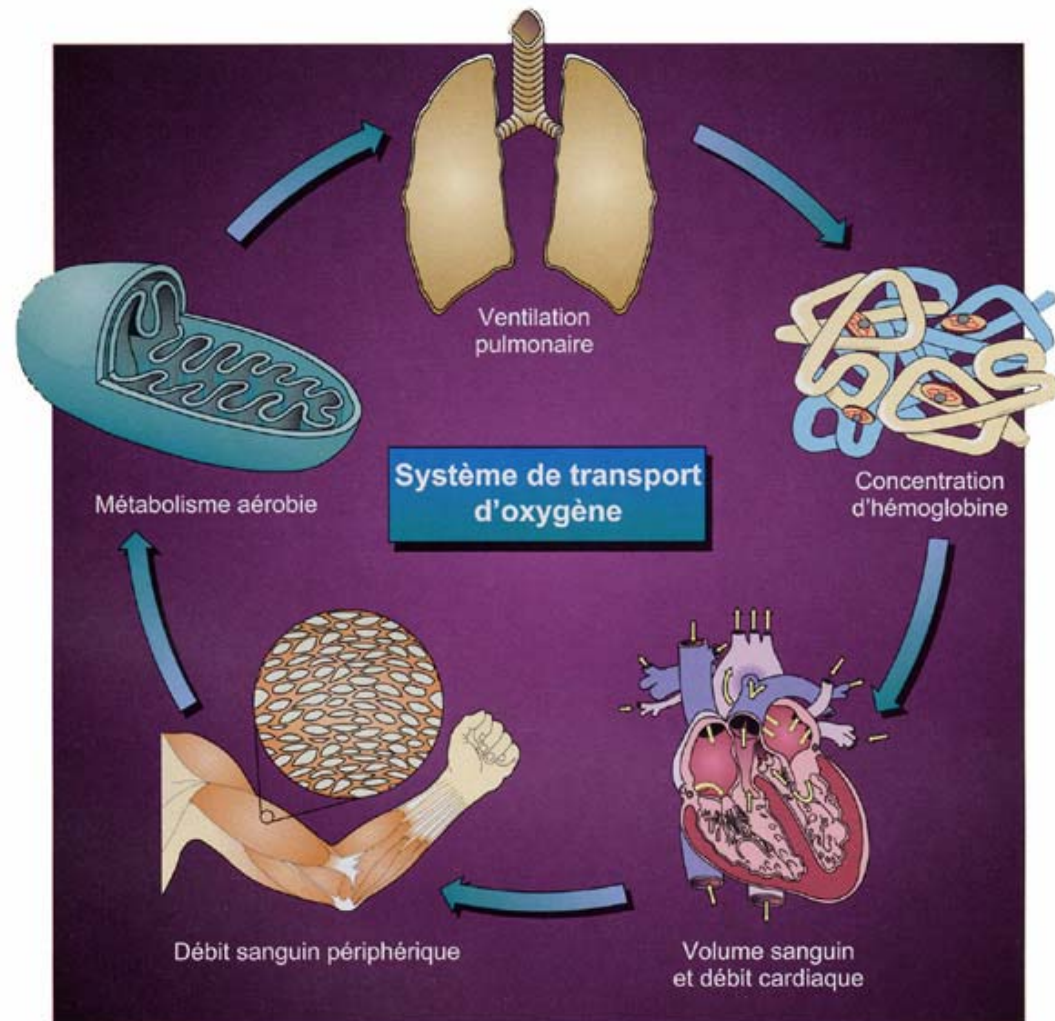
Limitations to Maximal Oxygen Uptake



Ekblom B Factors determining maximal aerobic power. Act Physiol Scand 128:15 1986

Facteurs limitants la performance Aérobie

- Depuis plus d'un siècle les partisans des facteurs cardio vasculaires ou musculaires s'opposent
- Les facteurs périphériques: contraction et énergétique musculaire ,extraction et utilisation de l'O₂
- Les facteurs centraux: Convection de l'O₂,apport en substrats énergétiques



Les facteurs physiologiques et biomécaniques de la performance pour les courses de moyennes et longues distances

- Métabolisme aérobie: Puissance et capacité, Seuil anaérobie
- Puissance et capacité anaérobie
- Coût énergétique: Biomécanique et métabolique

Chacun de ces facteurs à un poids bien déterminé

Rôles respectifs des différents facteurs métaboliques sur les prévisions théoriques d'amélioration des performances

Energetics of of best performance in middle distance running. Di Prampero et al. J. Appl. Physiol. 74:2318-24 1993

V_{max}=

MAP+ANS+CR

MAP=

Puissance
aérobie

Ans=

Capacité

Max
anaérobie

Cr=

Coût

énergétique

TABLE 4. Predicted percent decrease in record times in indicated events with changes in MAP, AnS, Cr

	MAP (%):	100	100	100	105	105
	AnS (%):	100	100	105	100	105
	C _r (%):	100	95	100	100	95
Distance, km						
0.8	100.0 →	96.3	98.2	97.3	96.1	
	(98.7)	(95.0)	(97.0)	(96.0)	(94.9)	
1.0	100.0 →	96.4	98.5	97.0	92.0	
	(130.2)	(125.2)	(123.3)	(126.2)	(119.8)	
1.5	100.0 →	96.1	99.0	96.6	92.1	
	(210.1)	(202.0)	(203.1)	(203.0)	(193.5)	
3.0	100.0	96.3	99.8	96.3	95.8	
	(451.9)	(435.1)	(450.1)	(435.5)	(416.9)	
5.0	100.0	96.2	99.7 →	96.1	92.3	
	(776.4)	(747.4)	(774.1)	(746.7)	(716.9)	

Values are percent decrease predicted with 5% change in maximal aerobic power (MAP), maximal anaerobic capacity (AnS), or C_r, or when all three are changed by 5% simultaneously (last column). 100%: MAP = 1.8 kW, corresponding to $\dot{V}O_{2\max}$ of 74 ml · kg⁻¹ · min⁻¹ above resting), AnS = 100 kJ (68 ml O₂/kg), C_r = 0.181 ml O₂ · kg⁻¹ · m⁻¹ (3.79 J · kg⁻¹ · m⁻¹) in a 70-kg, 175-cm elite athlete. Values in parentheses are record times (in s). For calculations see text.

Il est possible de réaliser le même temps sur le marathon avec des capacités aérobies différentes Peronnet et al J. Appl. Physiol. 67: 453-65 1989

ANALYSIS OF RUNNING PERFORMANCE

TABLE 3. Analysis of individual personal best performances in 13 elite runners

	Number of Races	Range of Races	T_{err} , %	A, J/kg	MAP, ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	E, U _{ec}	$\dot{V}O_{2\max}$,* ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	Marathon Performance	
								Actual	Estimated
S. Aouita	8	800-10,000 m	0.64	1,629	82.2	-4.75	83.0		2:05:15
D. Clayton	12	800 m-marathon	0.48	1,321	78.3	-4.07	69.7	2:08:33	2:08:34
S. Coe	7	800-5,000 m	1.15	1,854	77.7	-9.76	77.0		2:42:20
T. Corbitt	9	402 m-marathon	1.65	1,439	70.2	-5.53	65.1	2:26:45	2:30:27
H. Higdon	10	402 m-marathon	0.89	1,336	74.5	-5.98	70.8	2:21:55	2:24:13
M. Maley	7	800 m-marathon	0.72	1,416	78.0	-8.14	76.1	2:29:29	2:29:56
K. Moore	8	800 m-marathon	0.48	1,365	78.8	-4.98	74.2	2:11:36	2:11:36
T. Osler	8	402 m-marathon	0.88	965	72.9	-6.04	72.9	2:29:04	2:27:56
S. Prefontaine	7	400 m-10,000 m	1.05	1,174	83.1	-5.80	84.4		2:08:25
J. Ryun	4	400-5,000 m	1.24	1,521	80.7	-8.14	80.7		2:24:35
A. Salazar	5	1,500 m-marathon	0.49	1,202	83.3	-5.83	78.0	2:08:13	2:08:12
S. Scott	8	800 m-10,000 m	0.73	1,662	80.3	-6.01	80.3		2:13:40
G. Waitz	8	400 m-marathon	1.24	1,157	74.8	-5.85	73.5	2:24:54	2:24:54

See Glossary for definition of abbreviations. Data obtained as follows: *Track and Field News*, June 1986, p. 58 and January 1987, p. 31 (S. Aouita, S. Coe, S. Scott); *Track and Field News*, March 1987, p. 39 (G. Waitz); Watman, M., *Encyclopedia of Track and Field Athletics*, New York: St. Martin's, 1981, p. 35 (D. Clayton); p. 150 (J. Ryun); Brock, G., *How Road Racers Train*, Los Altos, CA: Tafnews, 1980, p. 25 (H. Higdon); p. 36 (T. Corbitt); p. 37 (K. Moore); p. 66 (M. Manley); p. 82 (T. Osler); International Management Group, Cleveland, OH (A. Salazar); Jordan, T., *Pre*, Los Altos, CA: Tafnews, 1977 (S. Prefontaine). * Conley et al. (2) (S. Scott); Costill (3), p. 13 (A. Salazar), p. 15 (D. Clayton), p. 17 (G. Waitz); Costill and Fox (4) (T. Corbitt, H. Higdon, T. Osler); Daniels (5) (J. Ryun); Pollock (37) (M. Manley, K. Moore, S. Prefontaine). A. Daouda, Institut Moulay Rachid, Rabat, Morocco (S. Aouita); and C. Williams, University of Lethbridge, UK (S. Coe); personal communications.

Les différences de rendement mécanique de la course expliquent en partie ces différences. Ce facteur dépend de la technique de course mais aussi:

-De la force musculaire

-De la raideur musculaire

-De la mécanique ventilatoire

-De l'adaptation à la contrainte thermique

$\dot{V}O_{2\text{submax}}$ Groups				
		Low $\dot{V}O_2$	Med. $\dot{V}O_2$	High $\dot{V}O_2$
Shank Angle SANG (deg.)				
Trunk Angle TANG (deg.)				
Max. Plantar Flexion Angle PFLEX (deg.)				
Max. Knee Flexion in Support KFLEXS (deg.)				
Minimum Knee Velocity KVEL (cm/s)				
Wrist Excursion WEXC (cm)				
Vertical Oscillation VOSC (cm)				

Relationship between distance running mechanics running economy and performance; Williams KR., Cavanagh PR., J. Appl. Physiol. 63: 1236-45 1987

L'augmentation du travail en musculation explosive peut améliorer la capacité d'endurance par une amélioration du rendement énergétique

Maximal strength training improves aerobic endurance performance.

Hoff J, Gran A, Helgerud J. Scand J Med Sci Sports. 2002

Department of Physiology and Biomedical Engineering, Norwegian University of Science and Technology, N-7489 Trondheim, Norway.

-The aim of this experiment was to examine the effects of **maximal strength training** with emphasis on neural adaptations on strength- and endurance-performance for endurance trained athletes.

-**Strength training** was performed, three times a week for 8 weeks and consisted of three sets of six repetitions at a workload of 85% of one repetition maximum emphasizing maximal mobilization of force in the concentric movement.

-**Endurance performance** measured as time to exhaustion (TTE) on a double poling ski ergometer at maximum aerobic velocity, improved from 6.49 to 10.18 min; 20.5% over the control group.

-Maximal strength training with emphasis on neural adaptations and improves aerobic endurance performance by **improved work economy**



L'entraînement en musculation améliore l'économie de course des coureurs de longue distance

Maximal strength training improves running economy in distance runners.

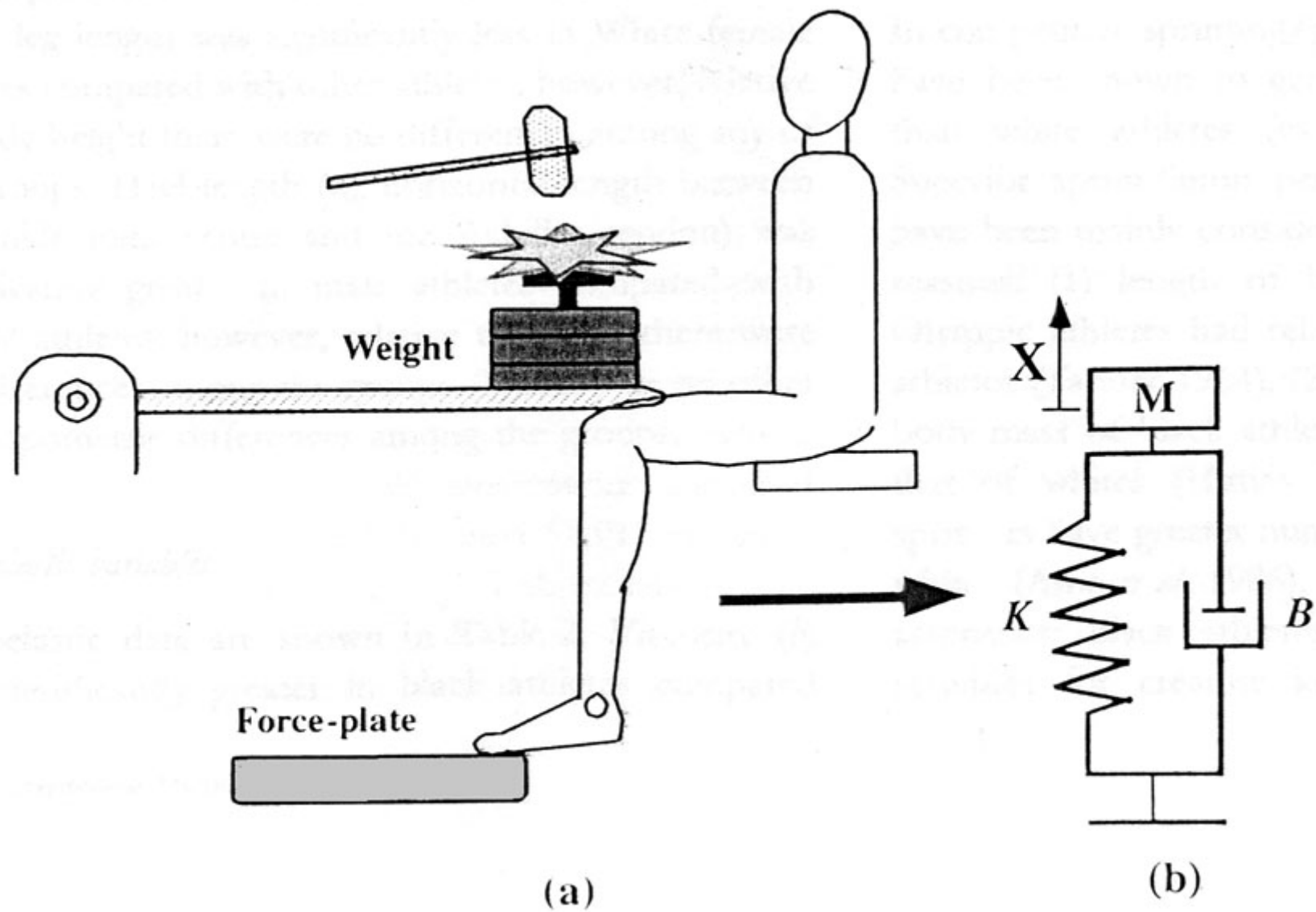
Støren O, Helgerud J, Støa EM, Hoff J. Med Sci Sports Exerc. 2008

PURPOSE: The present study investigated the effect of maximal strength training on running economy (RE) at 70% of maximal oxygen consumption [and time to exhaustion at maximal aerobic speed (MAS)].

The intervention group (four males and four females) performed half-squats, four sets of four repetitions maximum, three times per week for 8 wk, as a supplement to their normal endurance training.

RESULTS: The intervention manifested significant improvements in 1RM (33.2%), RFD (26.0%), RE (5.0%), and time to exhaustion at MAS (21.3%).

CONCLUSION: Maximal strength training for 8 wk improved RE and increased time to exhaustion at MAS among well-trained, long-distance runners, without change in maximal oxygen uptake or body weight



La Fatigue:

L'impossibilité de maintenir un niveau de force malgré la motivation

- **La fatigue centrale:**

Elle est associée avec une diminution de la commande motrice partant du cerveau vers les muscles



- **La fatigue périphérique:**

Une diminution de la capacité de travail du muscle par:

- Diminution des carburants énergétique
- Accumulations de métabolites
- Altérations des mouvements ioniques intra et extra cellulaire

la fatigue Centrale

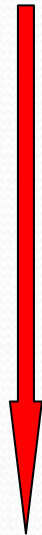
- La fatigue centrale est associée avec des altérations du fonctionnement du SNC objectivées par:
- **Une diminution de la commande neuro-motrice**
- **Une augmentation de la perception de la fatigue**
- **Des modifications comportementales: Mémoire , Humeur, Sommeil**

Preuves expérimentales d'une diminution de la commande motrice

- Il est possible de restituer une capacité de contraction maximale, par une stimulation électrique périphérique (Bigland-Ritchie et al. Clin. Sci.Mol. Med.54:609 1978 , Koutedakis et al.Med. Sci. sports Exerc. 27:566 1995)
- Il a été mis en évidence sur des primates non humains une diminution de la décharge des cellules du cortex moteur lors de contractions épuisantes (Maton et al 1994 Sat. Symposium for the Society of Neurosciences B13 1994)
- La stimulation magnétique transcranienne du cortex moteur est capable d'augmenter le niveau de force d'un muscle fatigué (Gandevia et al. J. Physiol. Lond. 1995)
- Ces éléments soulèvent la question de la stratégie d'adaptation du cortex moteur lors d'une contraction fatigante.

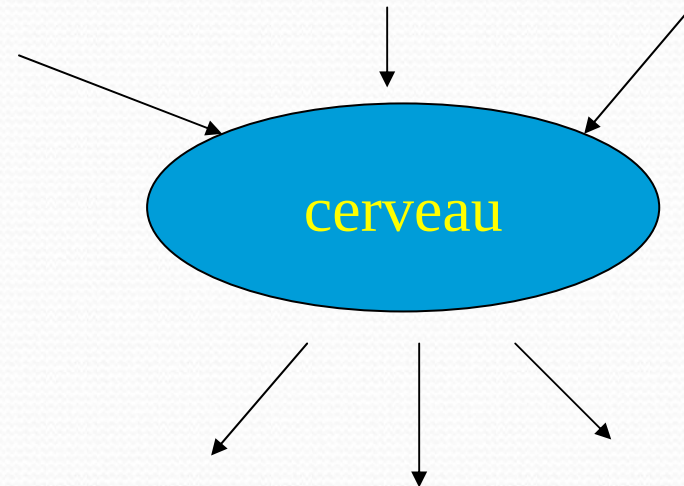
La fatigue centrale présente deux composantes

Fatigue sèche ou câblée



Fatigue humide ou neurochimique

multiples entrées



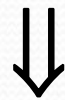
multiples sorties

Théorie neurochimique de la fatigue fatigue humide

- La modification de certains neuromédiateurs sous l'effet des variations du métabolisme serait responsable des relations entre SNC et fatigue
- Le rôle de la sérotonine est principalement évoqué

TRP → Serotonin (5-HT)

Tryptophan (TRP)

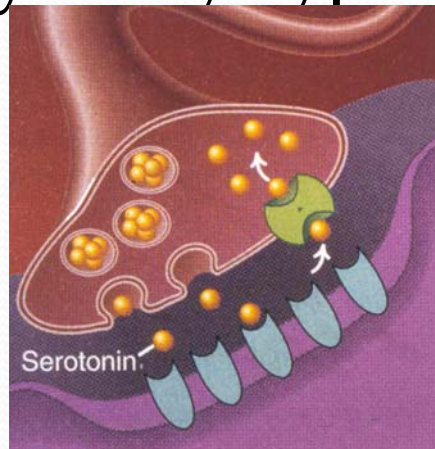


5-Hydroxytryptophan (5-HTP)



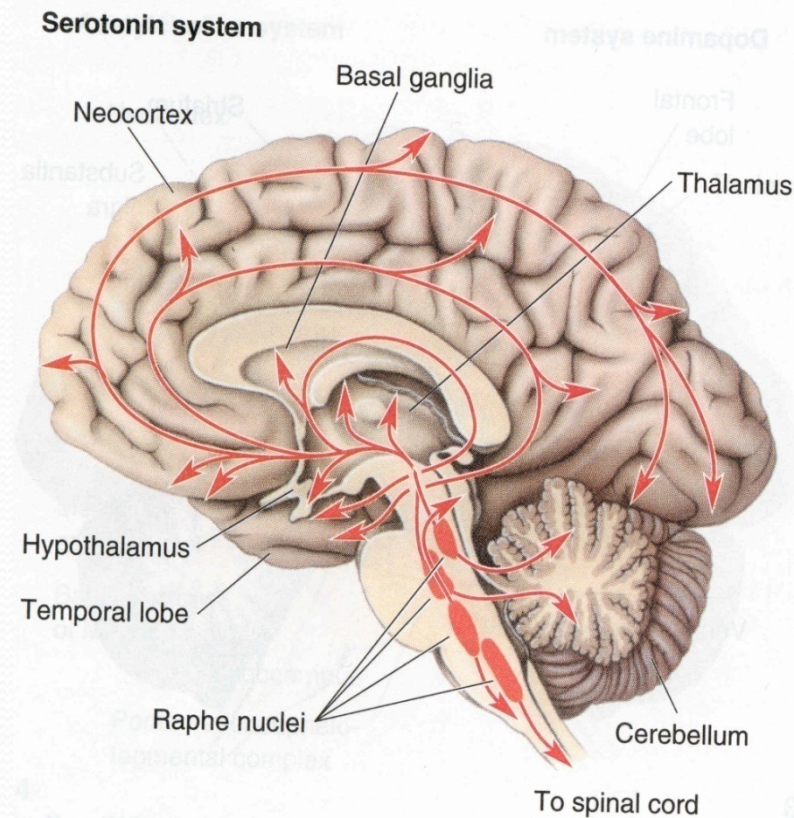
5-Hydroxytryptamine (5-HT)

An amino acid becomes an important signal transducer in the human brain !!



Can this small molecule be responsible for fatigue??

“Central Fatigue” and neurotransmitters

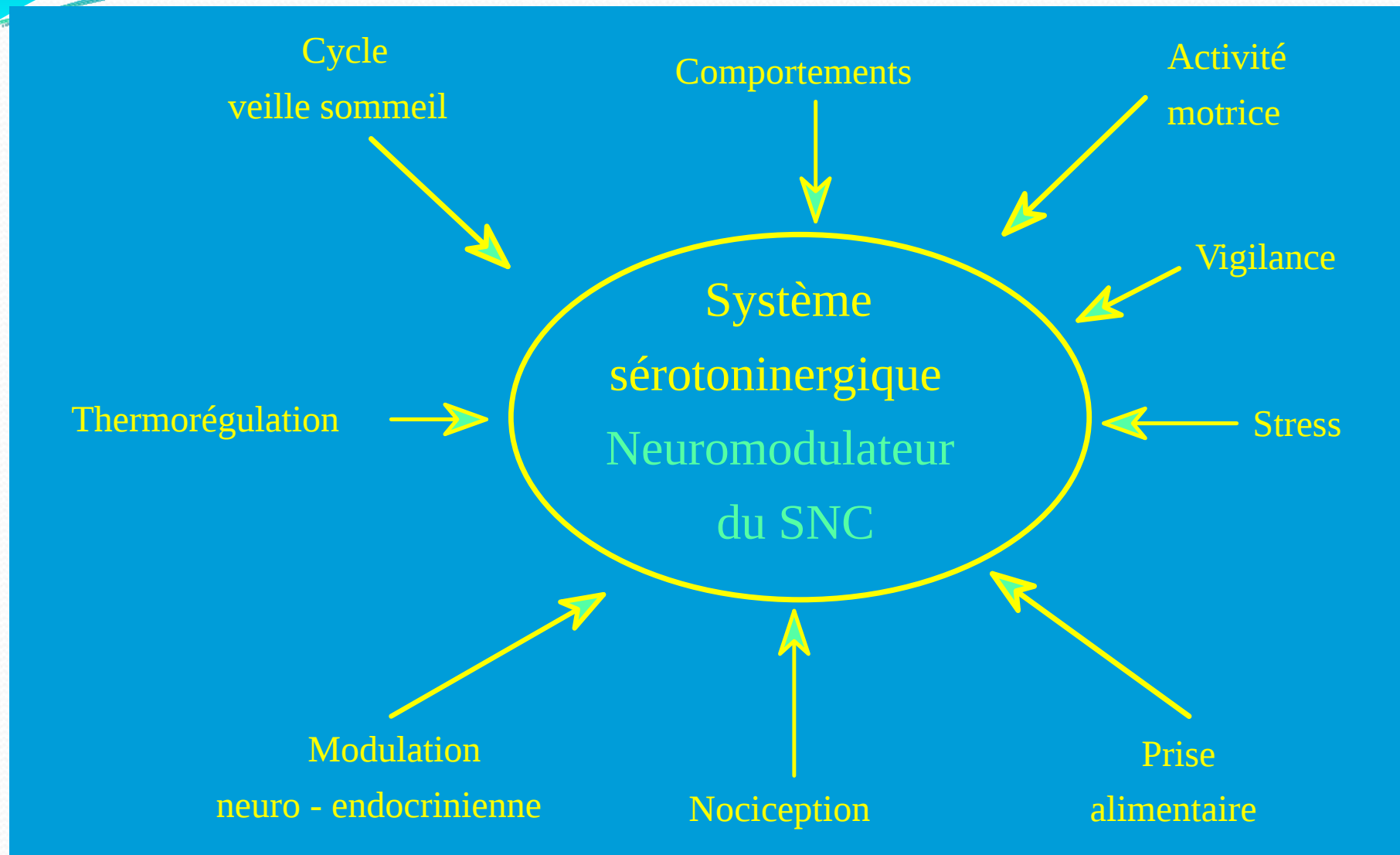


Several possible candidates

Neurotransmitters are involved, but

There might be other possible influencing factors

THEORIE SEROTONINERGIQUE DE LA FATIGUE CENTRALE



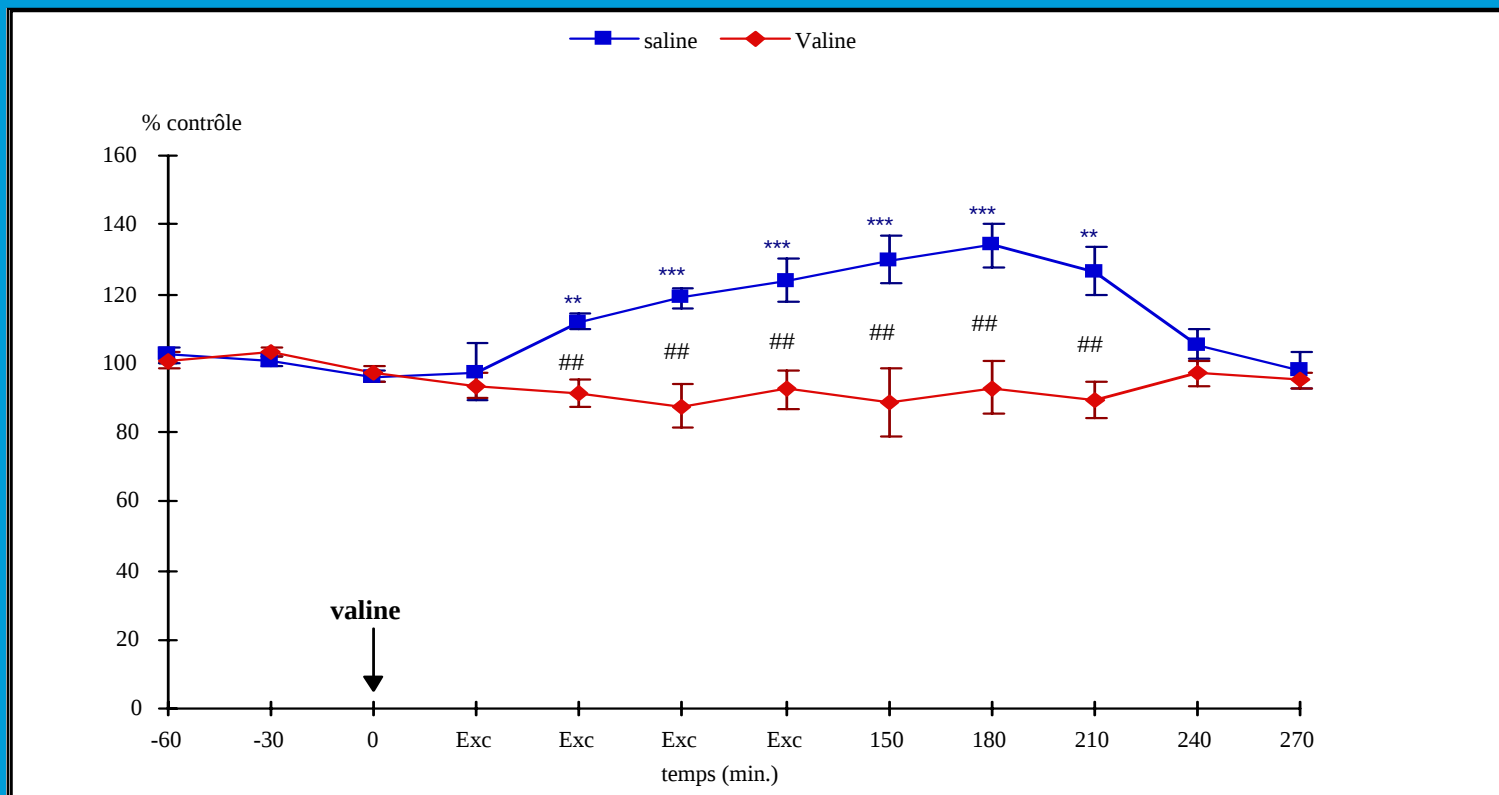


Figure 2-1. Effet de la valine (2 mg/100 g) et de l'exercice (25 m.min⁻¹) sur l'évolution des taux extracellulaires de 5-HT dans l'hippocampe (n=7) - Exercice entre 0 et 120 min.

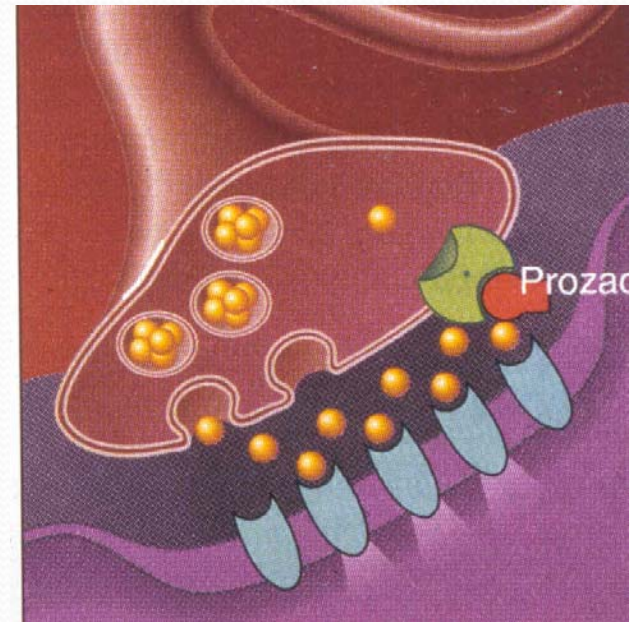
* valeurs significativement différentes de l'état stable (**p<0,01 ; ***p<0,001)

valeurs significativement différentes entre les situations (##p<0,01)

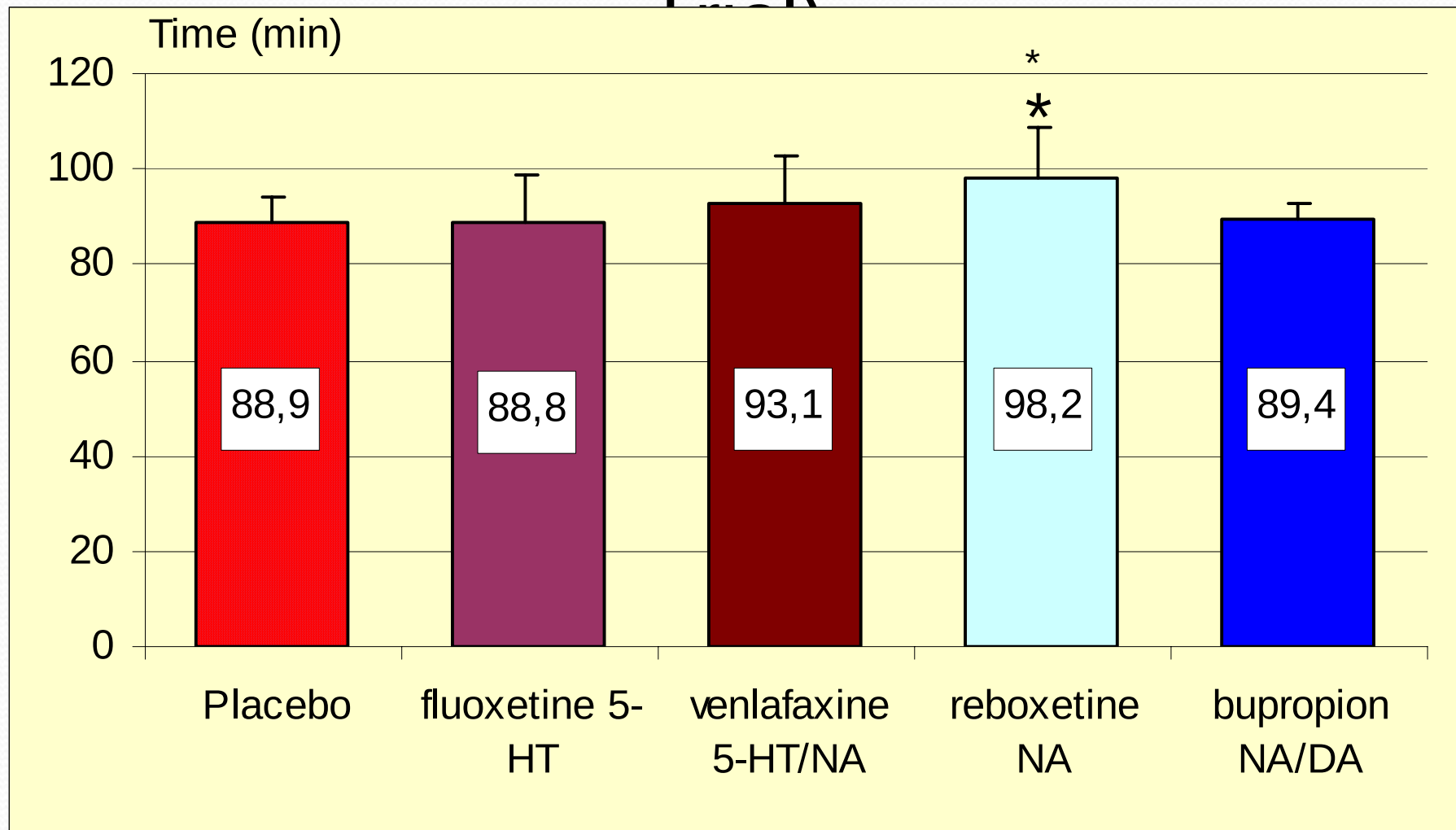
De nombreux travaux ont montré que l'exercice prolongé augmente la sérotonine cérébrale. Cette augmentation peut être réduite par un apport d'acides aminés branchés.

Re-uptake inhibition

- ✓ 5-HT : Fluoxetine (Prozac)
- ✓ 5-HT/NA : Venlafaxine (Effexor)
- ✓ NA : Reboxetine (Edronax)
- ✓ DA : Bupropion (Zyban)

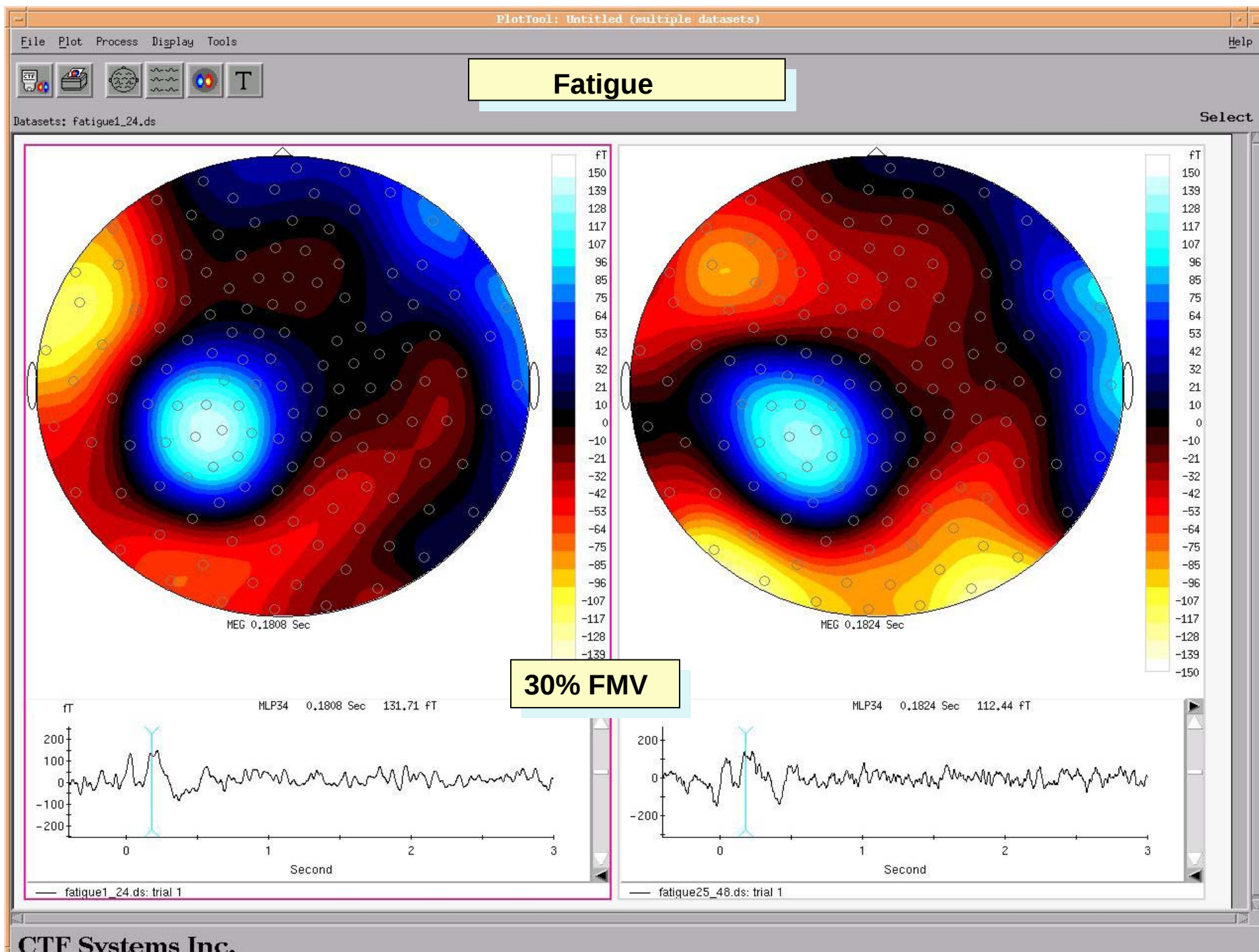


Performance (90 min Time



Meeusen et al 2001; Piacentini et al 2002, Piacentini et al 2003

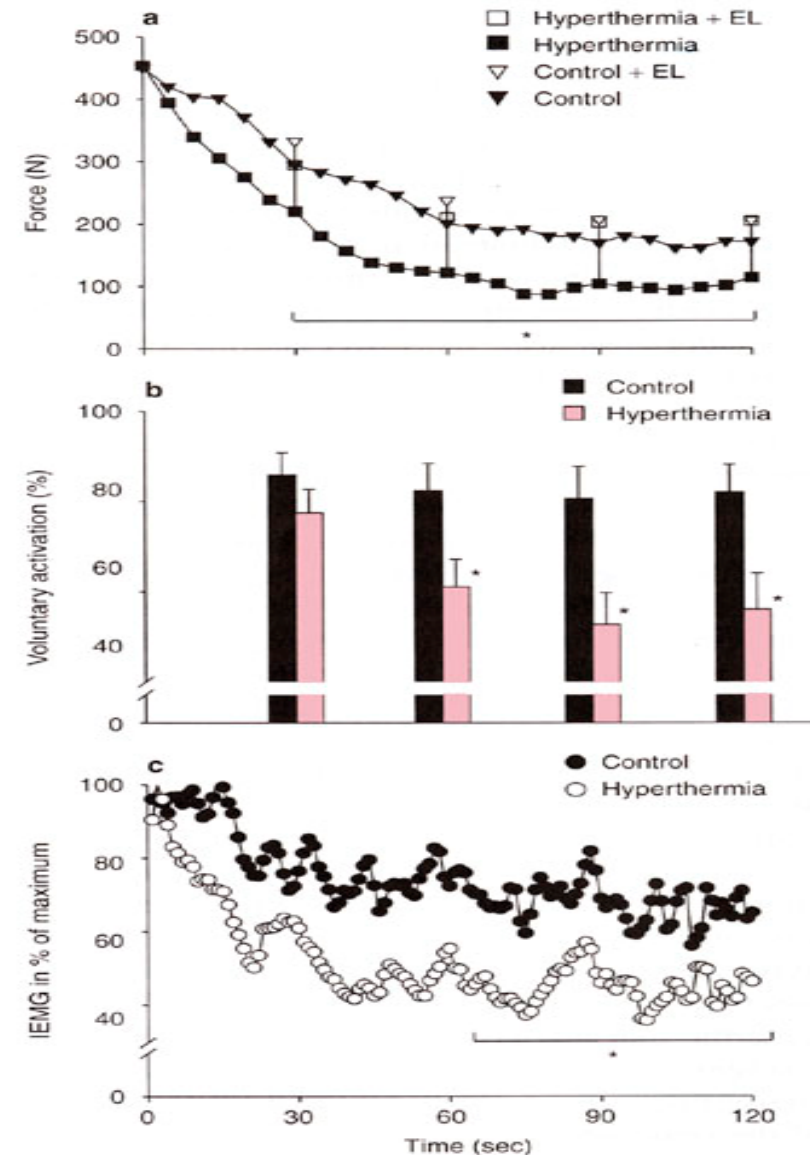




Hyperthermie et performance musculaire

Nybo and Nielsen J. Appl. Physiol 91:1055-2001

- L'hyperthermie diminue la performance musculaire
- Elle accélère la chute de L'IEMG
- La stimulation électrique restaure la performance musculaire
- Ces éléments indiquent une diminution de la commande nerveuse de la motricité sous l'effet de la chaleur



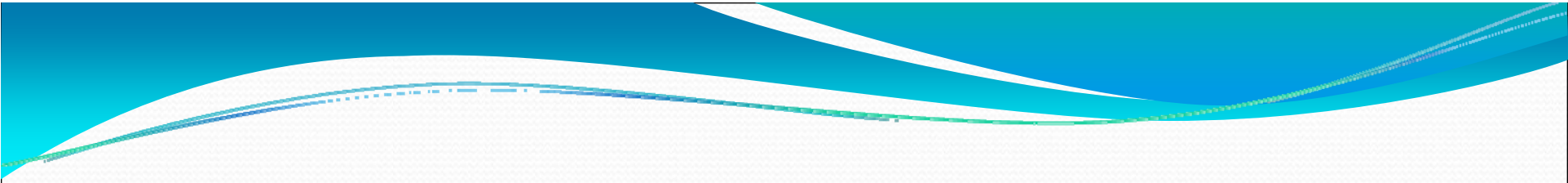


Mécanismes des effets de la chaleur sur la diminution de la commande nerveuse

- Deux hypothèses:
- Diminution du trafic nerveux en réponse à l'augmentation de température du nerf périphérique
- Effet de la chaleur au niveau de la commande centrale de la motricité

Effet de la température sur la conduction nerveuse périphérique

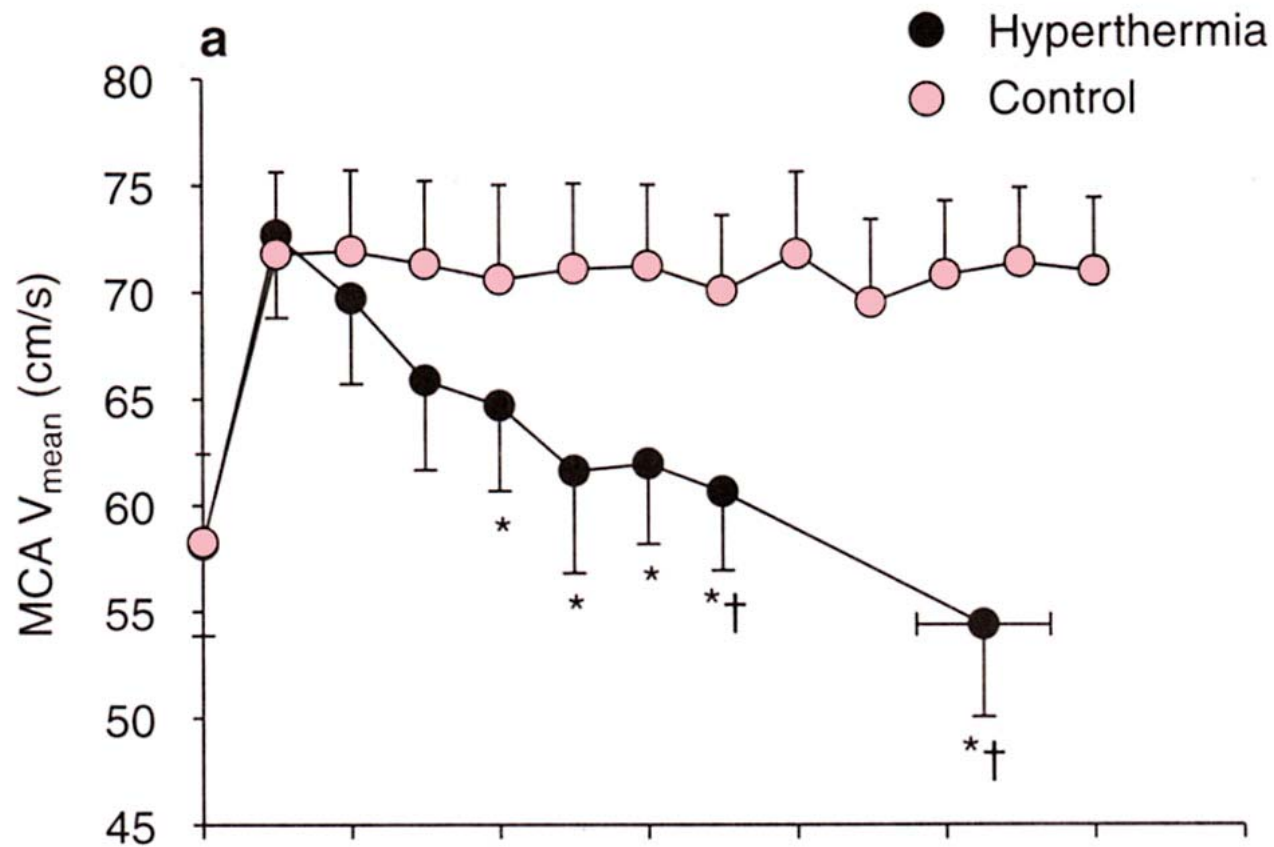
- L'augmentation de la température accroît la vitesse de conduction des nerfs périphériques
- La chaleur produit une hyperpolarisation des neurones par le biais d'une activation de la pompe à sodium (Kiernan et al Brain 124:816 2001)
- A l'inverse le refroidissement ralentit la vitesse de conduction, augmente le temps de latence et la durée de la dépolarisation (Rutkove Muscle nerve 24:867 2001)
- Au total ces données favorisent l'hypothèse centrale de la diminution de la commande motrice induite par la chaleur



Perception de l'exercice et chaleur

- L'utilisation de l'échelle de Borg a montré que la sensation de difficulté de l'effort s'accroît proportionnellement à la température centrale (Nybo et al J Appl Physiol 91:2017 2001)
- Cette observation soutien la notion d'une action de la chaleur au niveau du système nerveux central

Effets de l'exercice à la chaleur sur le débit sanguin cérébral



L'anticipation du niveau de l'effort

Alan St Clair-Gibson MSSE 2006

- Plusieurs travaux récents montrent que le niveau d'effort soutenu lors d'une épreuve considérée comme maximale est en partie régulé par l'anticipation de la durée ou de l'intensité

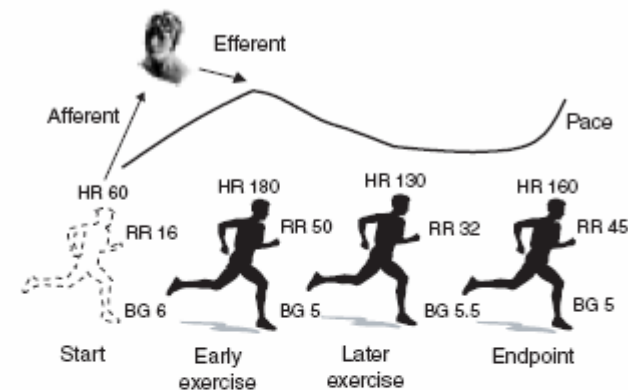


Fig. 2. Changes in power output during an exercise bout are regulated by a teleoanticipatory regulatory centre in the brain, which continuously alters power output by altering efferent neural command in order to maintain the overall pacing strategy while avoiding catastrophic system failure. Afferent information from receptors recording changes in peripheral physiological system variables such as heart rate (HR), respiratory rate (RR) and blood glucose concentrations (BG) is used by the teleoanticipatory centre to ensure the adjustments in power output are appropriate for the duration of the exercise bout that remains (reproduced from St Clair Gibson et al.,^[31] with permission from Elsevier).

Comment affirmer la fatigue centrale

- Il faut associer à une diminution objective de la performance:
- Une augmentation subjective de la difficulté de l'effort
- Une modifications des paramètres électrophysiologiques cérébraux
- Une action sur le débit sanguin cérébral
- Une modifications de paramètres neuroendocriniens en relation avec la neurochimie