




Université Jean Monnet
Saint-Étienne


PATHS
Graduate School
Université Jean Monnet

ActiFS
Activité Physique
Fatigue Santé


institut universitaire de France


LiBM
Laboratoire Interuniversitaire de Biologie de la Motricité

Fatigue et récupération de l'athlète

Guillaume Millet

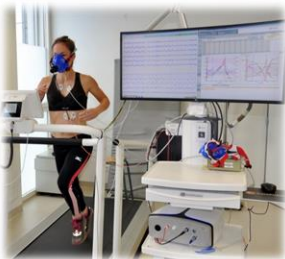

 @kinesiologiui
www.kinesiologiui.com

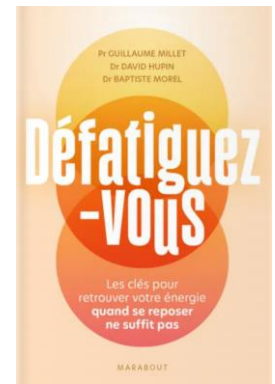
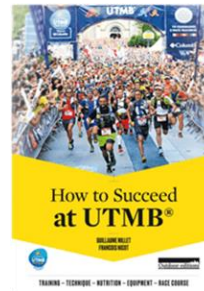
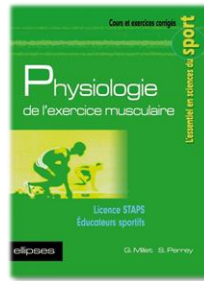
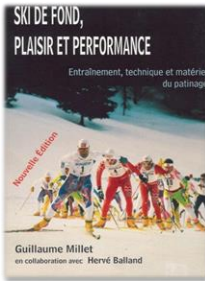
COLLOQUE
NATIONAL DES ACTEURS DE LA PERFORMANCE
THEME
LA GESTION DE LA FATIGUE ET L'OPTIMISATION DE LA RÉCUPÉRATION
ANIMATEUR MODÉRATEUR : MAXIMÉ BERGERON

16 novembre 2024
FFESSM

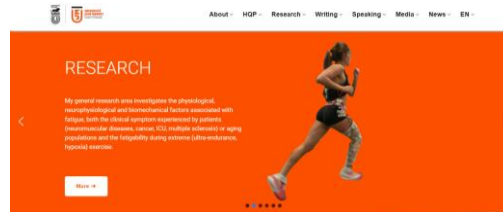


www.libm.fr





www.kinesiologui.com



Instagram
 
 @kinesiologui



Surentrainement



Accumulation de stress (lié à l'entraînement ou non) entraînant à long terme une baisse de la capacité de performance

Fatigue NM



Diminution de la force et/ou de la puissance maximale après un exercice physique

Surcharge $\Rightarrow$ Surentrainement (Overtraining syndrome) ou syndrome de contre-performance inexpliqué

- Diminution de la performance
- Questionnaires (POMS, RESTQ-Sport, SFMS)
- Variabilité de la fréquence cardiaque
- Analyses biologiques
- Tests de vitesse psychomotrice (p.e test de STROOP, PVT)

Pas d'indicateur absolu !

Surentrainement

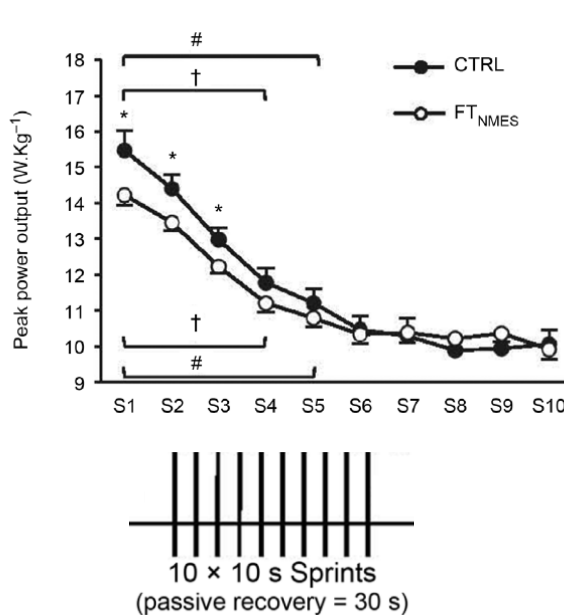


Fatigue NM

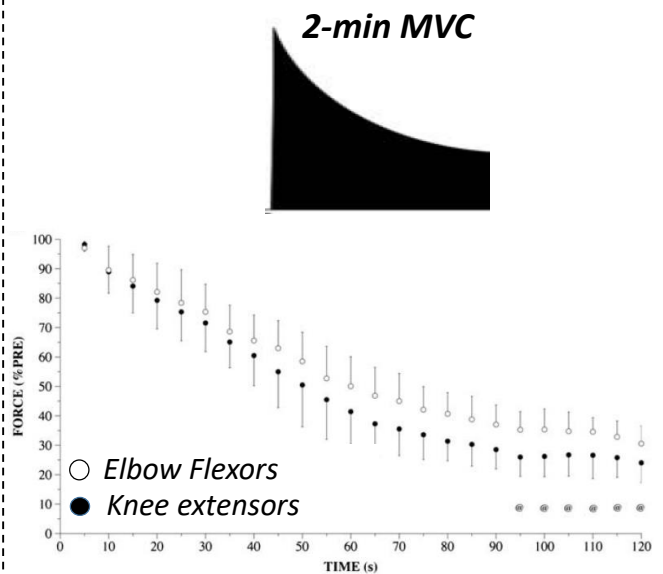


Diminution de la force
et/ou de la puissance
maximale après un
exercice physique

Fatigue & fatigabilité

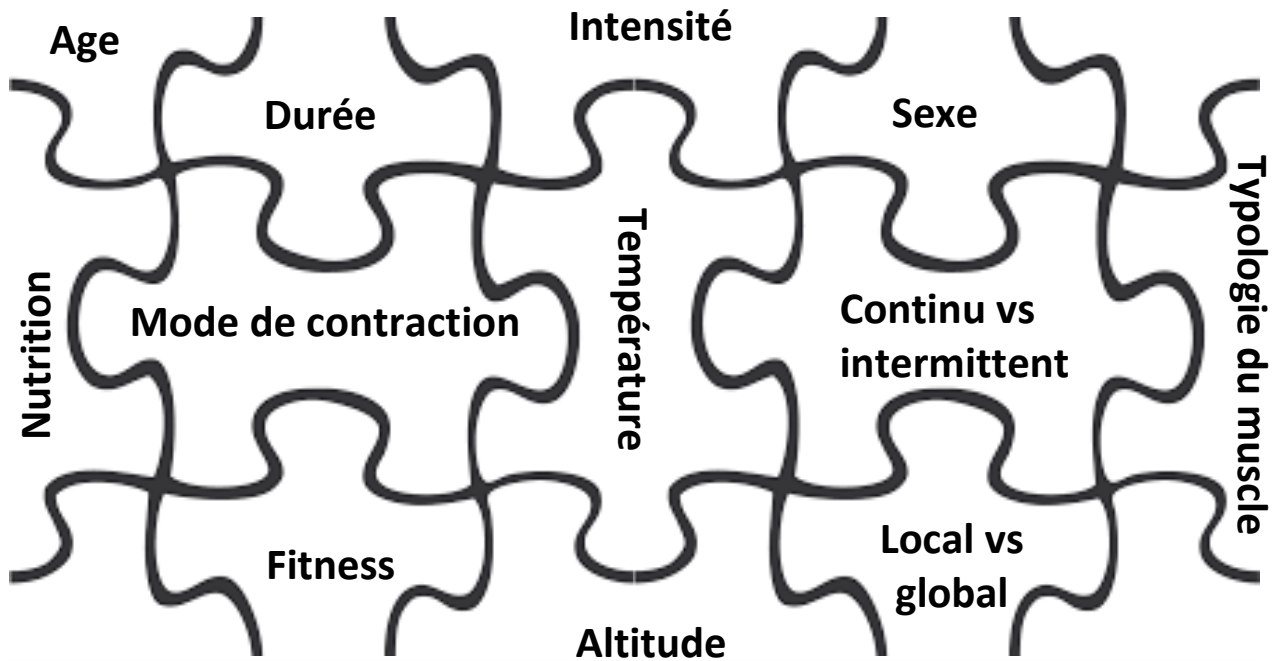
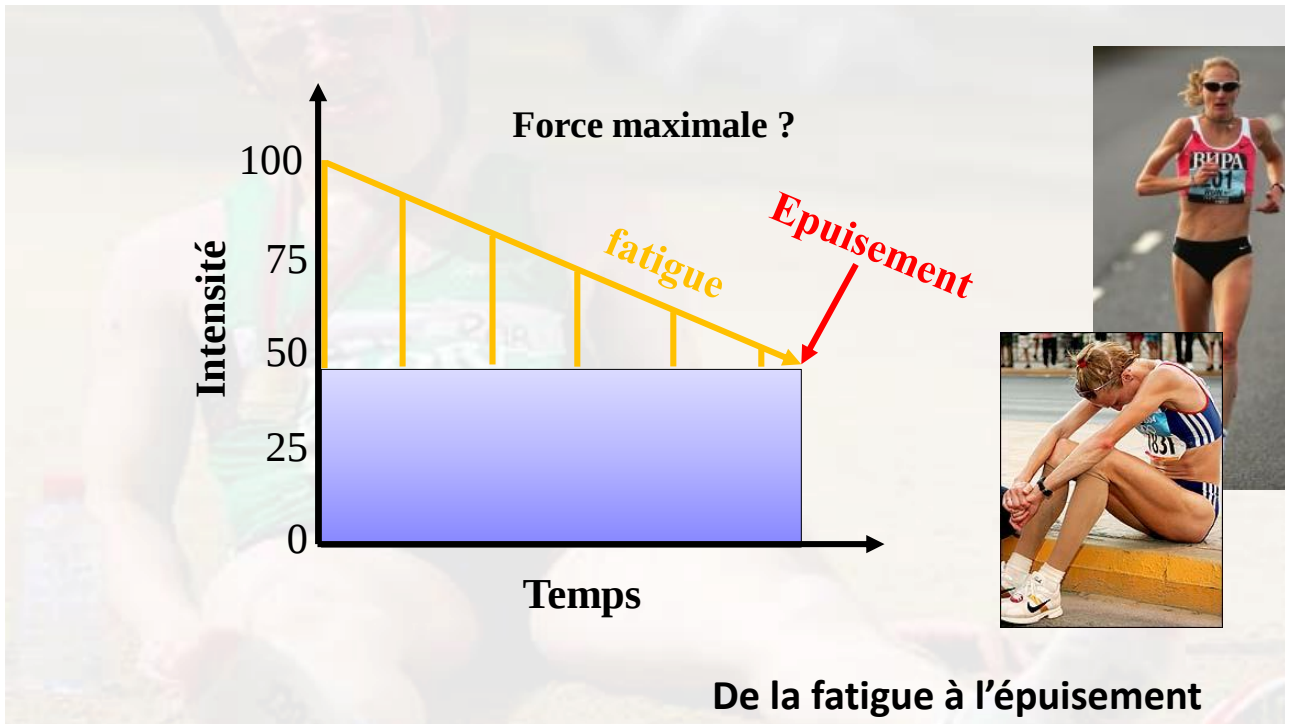


Hureau et al. Exp Physiol 2014

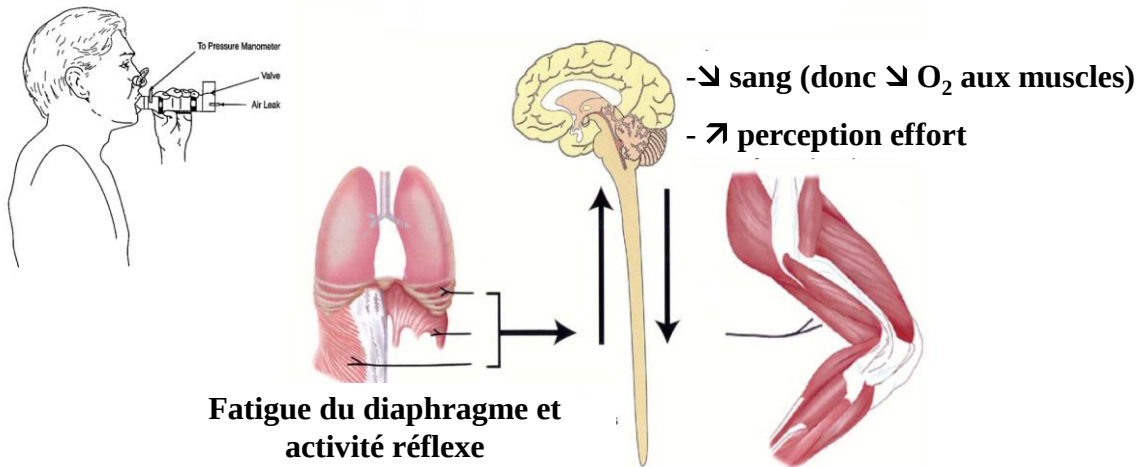


Vernillo et al. Med Sci Sports Exerc 2018

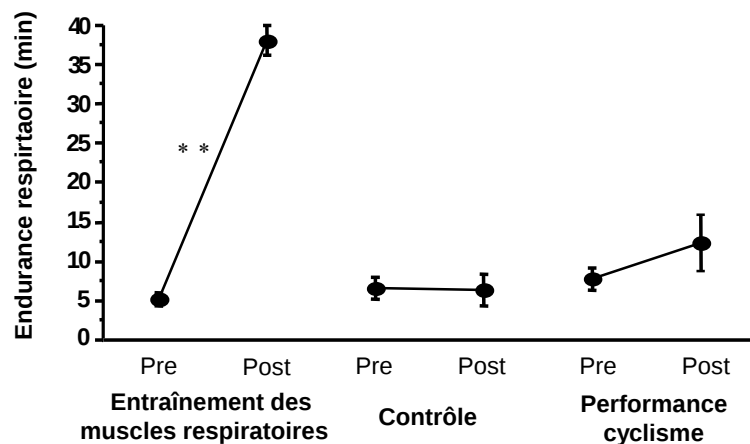
Fatigabilité / fatigue NM



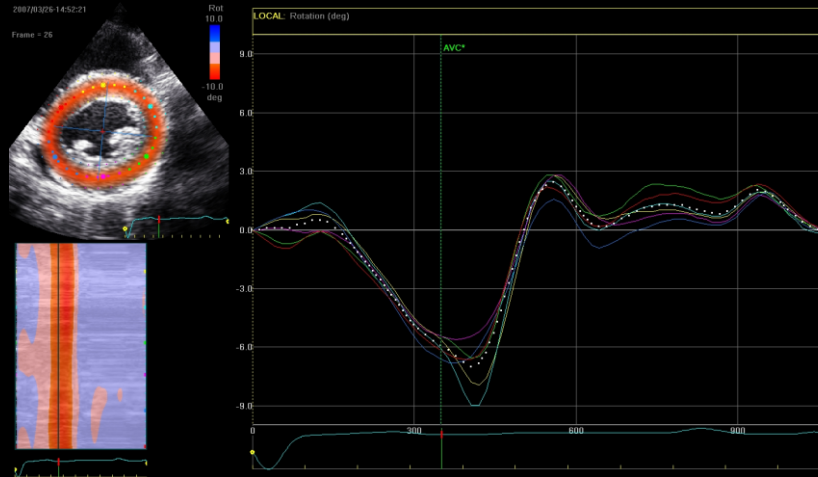
FATIGUE DES MUSCLES RESPIRATOIRES ET PERFORMANCE PHYSIQUE



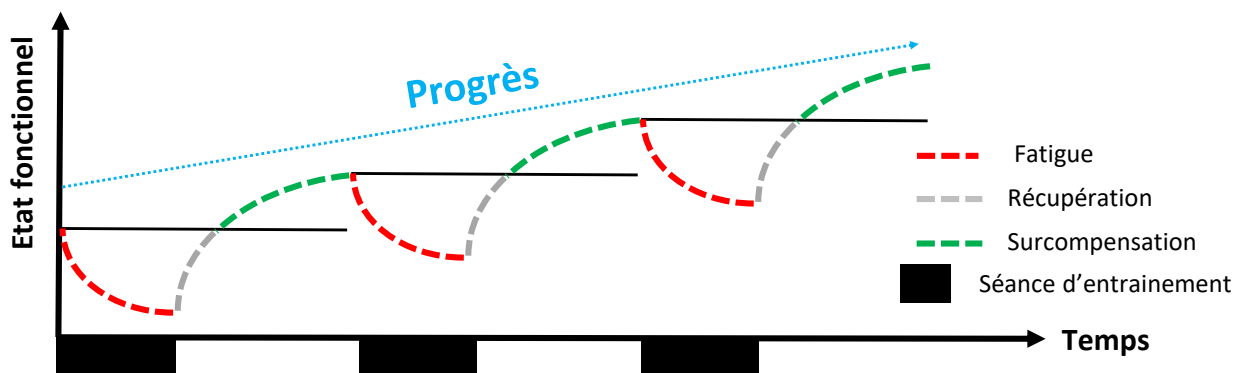
ENTRAINEMENT DES MUSCLES RESPIRATOIRES



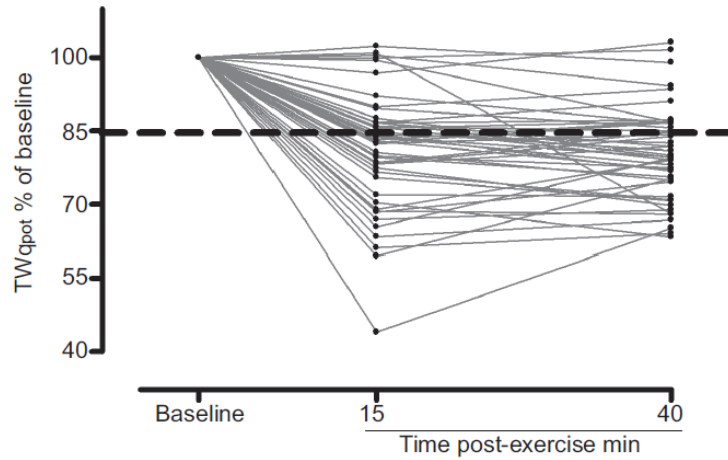
La fatigue du myocarde



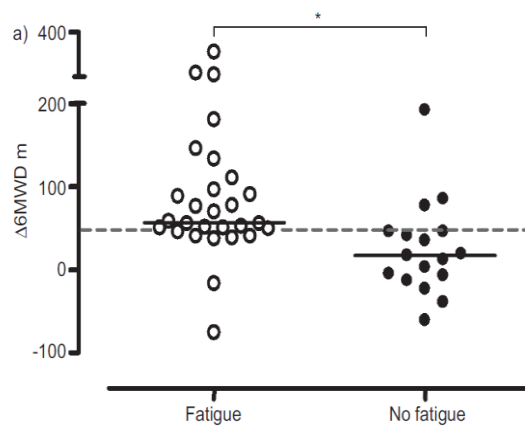
LES VERTUS DE LA FATIGUE

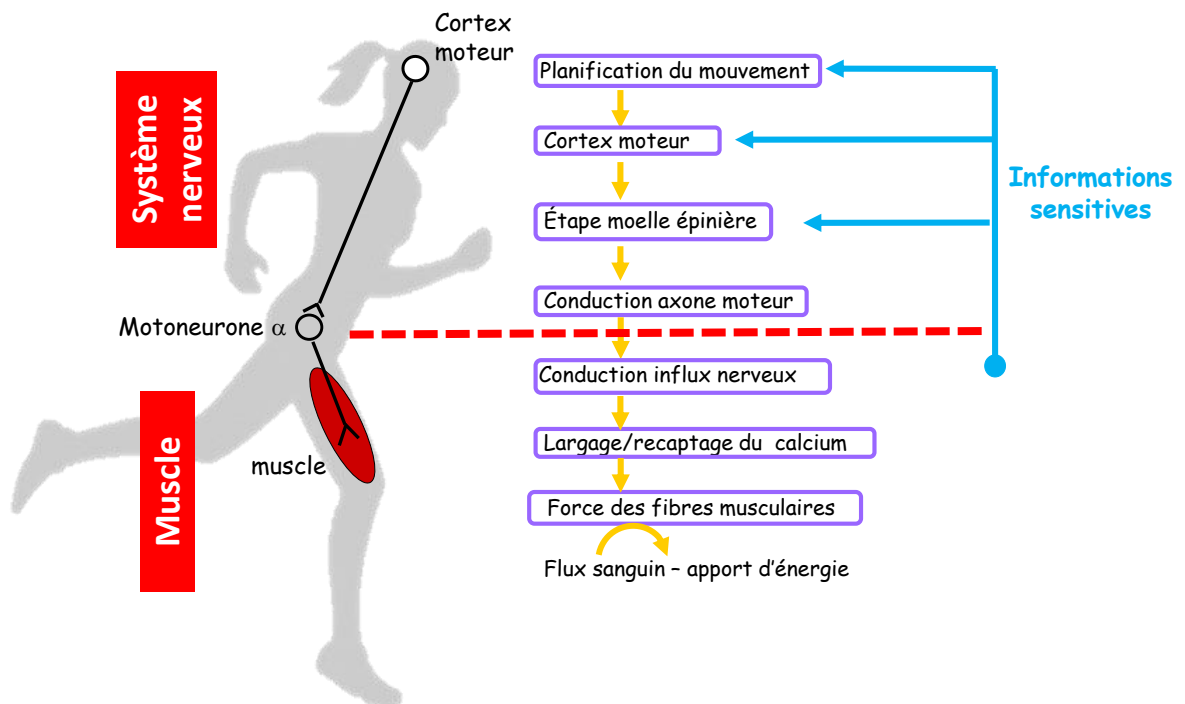


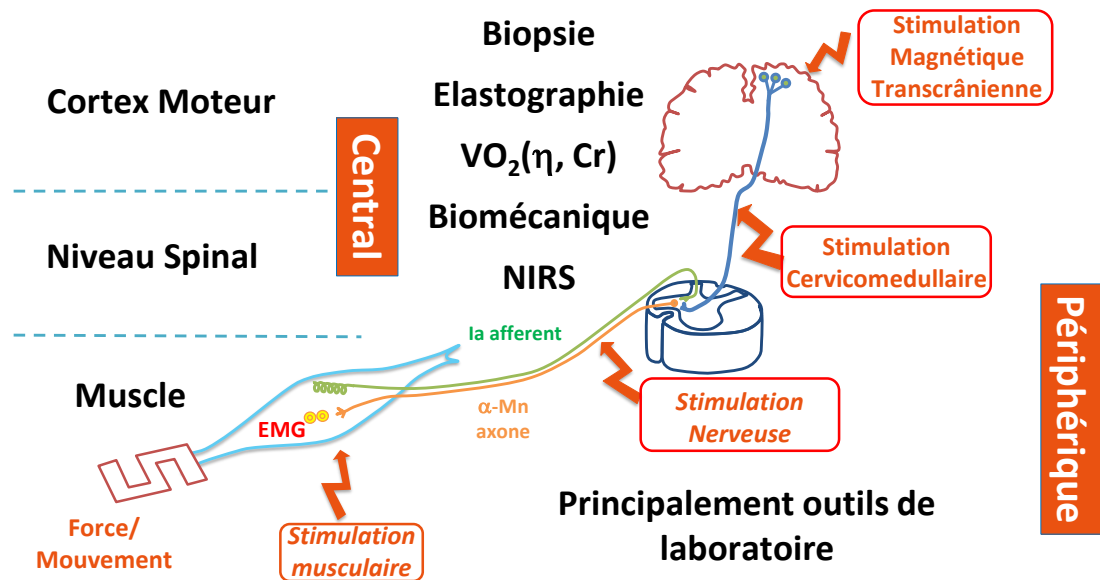
LES VERTUS DE LA FATIGUE



LES VERTUS DE LA FATIGUE





Adapté de Millet et al. *Eur J Appl Physiol* 2011

Eur J Appl Physiol (2011) 111:2489–2500
DOI 10.1007/s00421-011-1996-y

MINI REVIEW

Electrical stimulation for testing neuromuscular function: from sport to pathology

Guillaume Y. Millet · Vincent Martin ·
Alain Martin · Samuel Vergès

<https://doi.org/10.1007/s40279-019-01203-9>

CURRENT OPINION

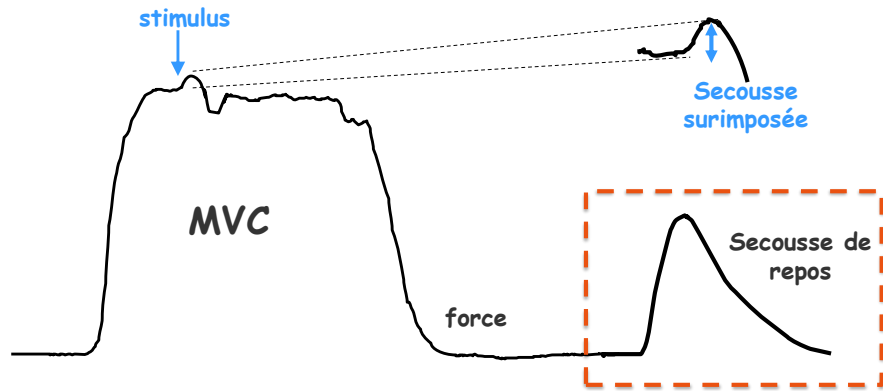


Quantification of Neuromuscular Fatigue: What Do We Do Wrong and Why?

Nicolas Place¹ · Guillaume Y Millet^{2,3}

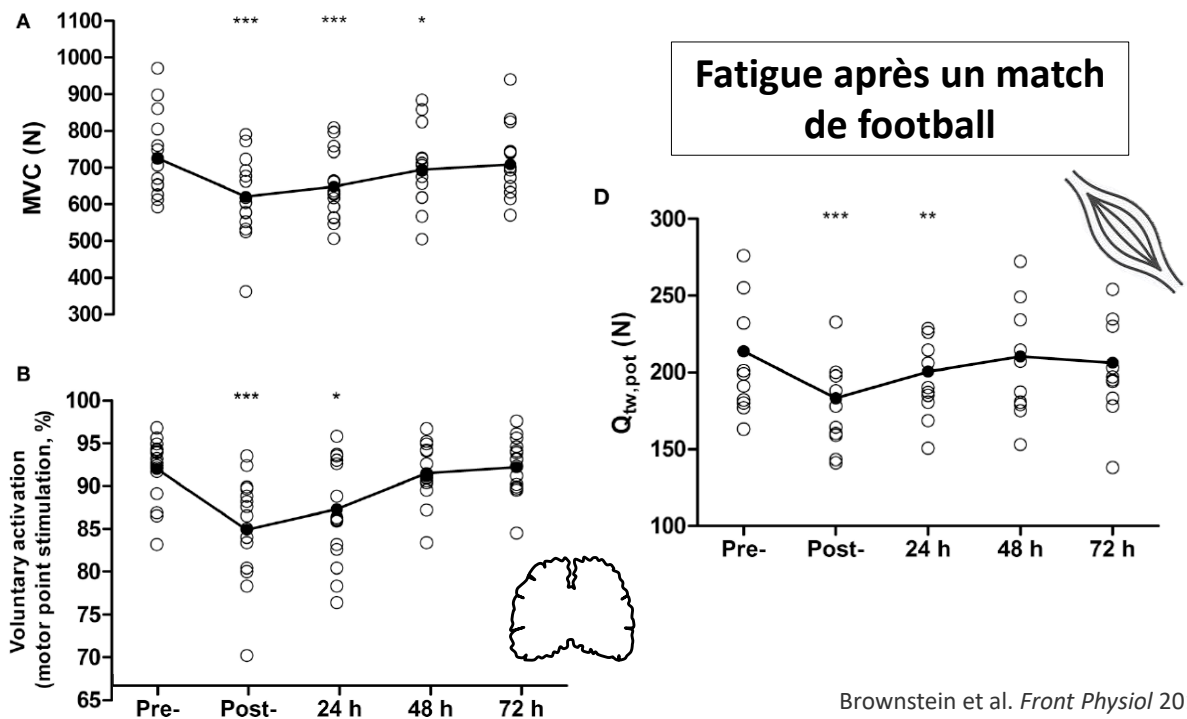


Fatigue centrale

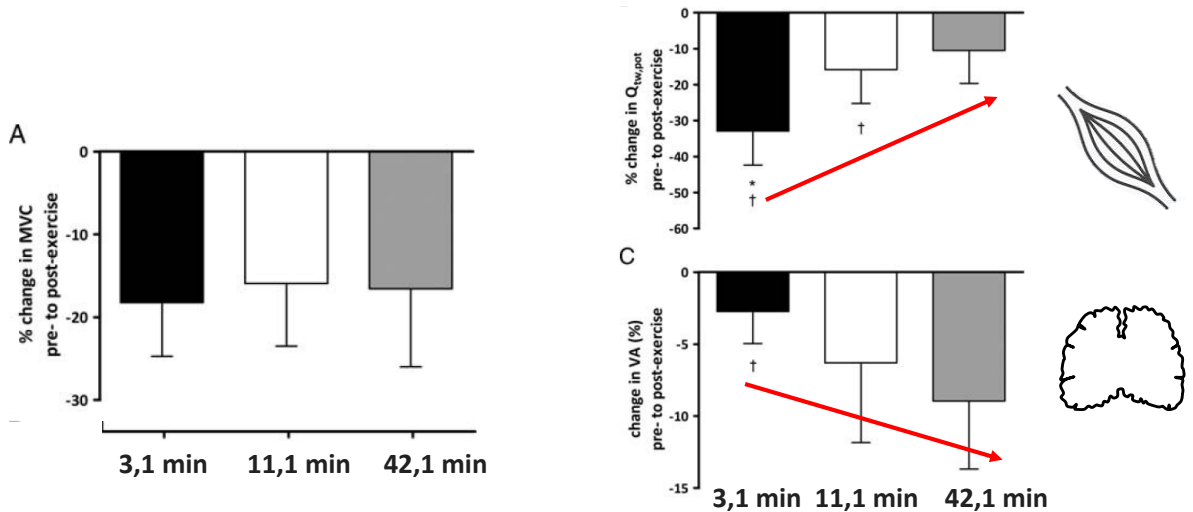


Fatigue musculaire/périphérique

Merton J Physiol 1954



Répartition fatigue centrale/périphérique



Thomas et al. *Med Sci Sports Exerc* 2016



Fatigue périphérique/musculaire

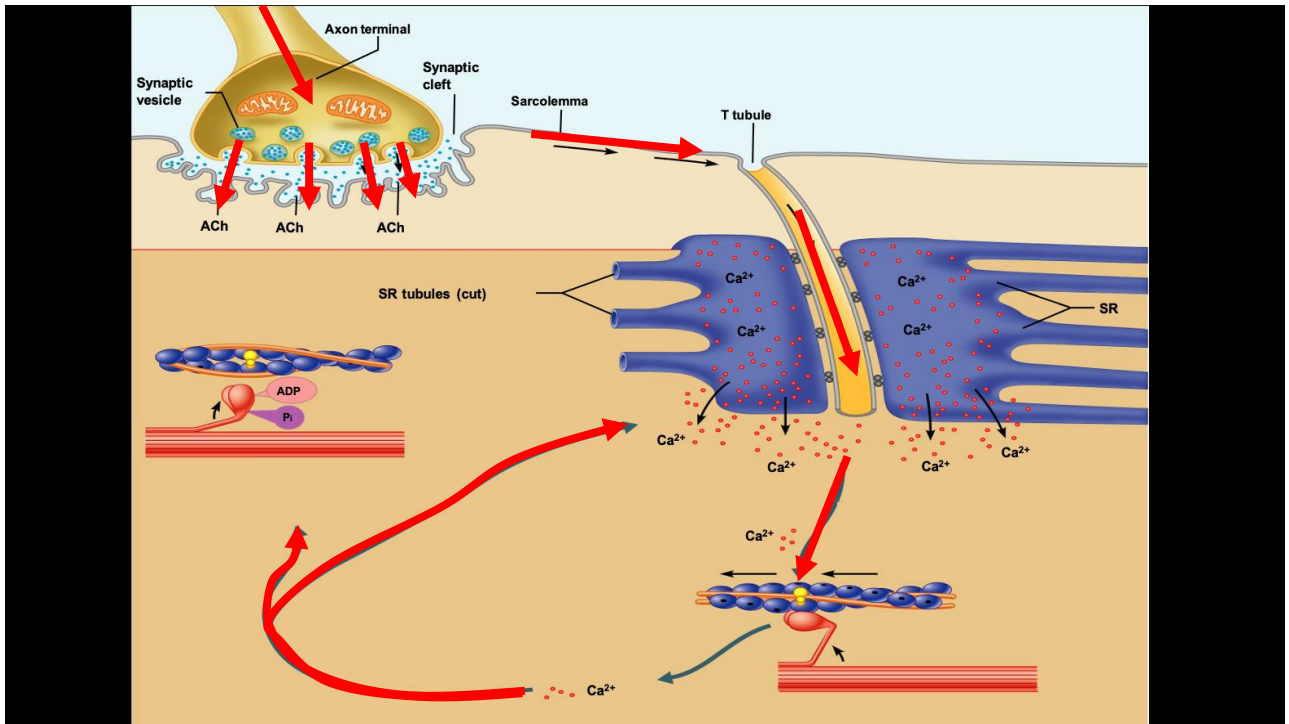
Raisons classiques

- Acidose
- Déplétion glycolytique

Autres origines périphériques de la fatigue

- Accumulation de Pi
- Accumulation de K⁺
- Dommages musculaire ⇒ Peu dans disciplines FFESSM (musculature exc?)





Théorie “classique” : acidose =

- a) $\searrow$ activité enzymatique (e.g. PFK)
- b) $\searrow$ largage Ca^{2+} & $\searrow$ sensibilité de la troponine au Ca^{2+}
- c) $\searrow$ force des ponts Actine-Myosine

Protective effect of lactic acid in fatiguing muscle contractions

The authors concluded:

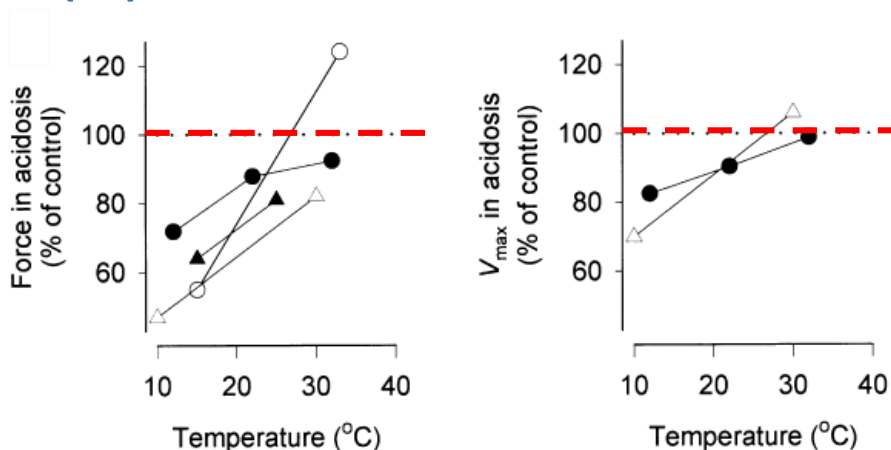
“The accumulation of lactic acid protects against muscular fatigue” so that “in contrast to the often stated role of lactic acid as a cause of muscular fatigue, lactic acid may protect against fatigue”.

0 50 100 150 200 Time (min)

— Controls — Lactic acid added with K^+ — K^+ then 20 mM lactic acid.

Nielsen et al. *J Physiol* 2001

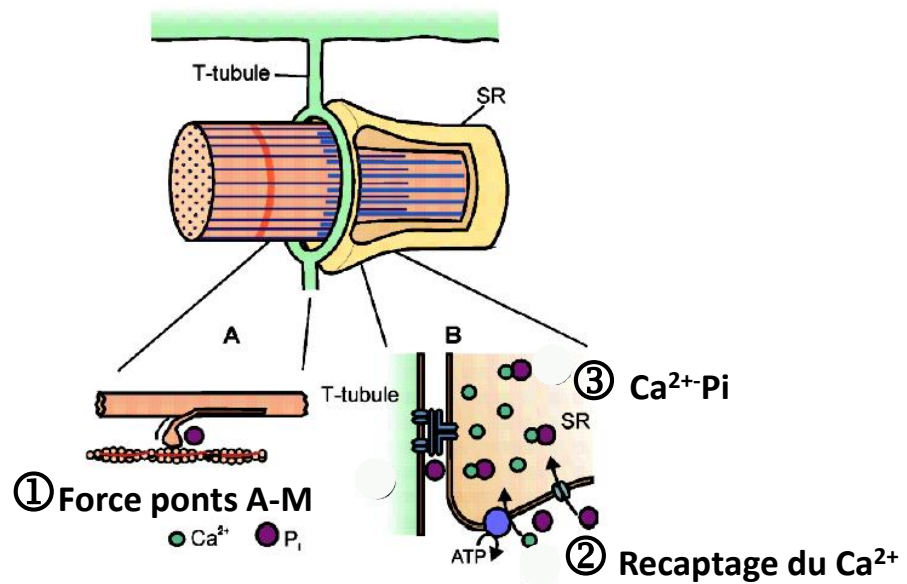
Acidose (H^+)



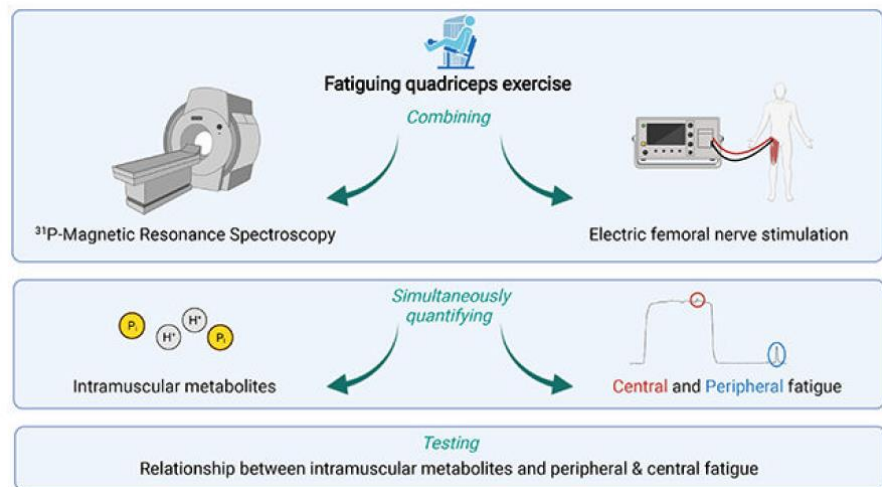
Muscle Fatigue: Lactic Acid or Inorganic Phosphate the Major Cause?

Håkan Westerblad,¹ David G. Allen,² and Jan Lännergren¹

Rôle du P_i



Rôle du P_i

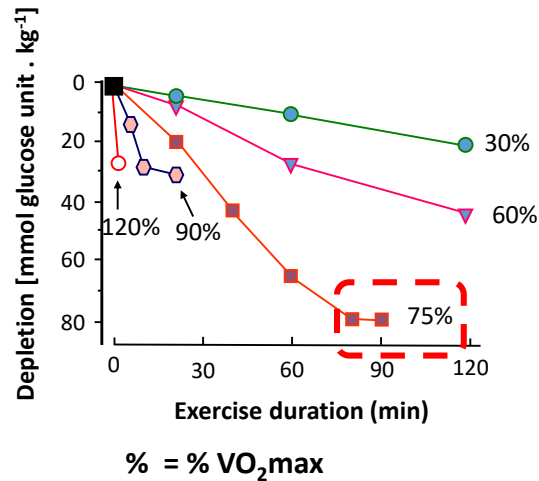


'Maker' P_i , but not **'Marker'** H^+ , is a primary cause of peripheral fatigue

Conclusion

Hureau et al. *J Physiol* 2022

Déplétion glycogénique musculaire

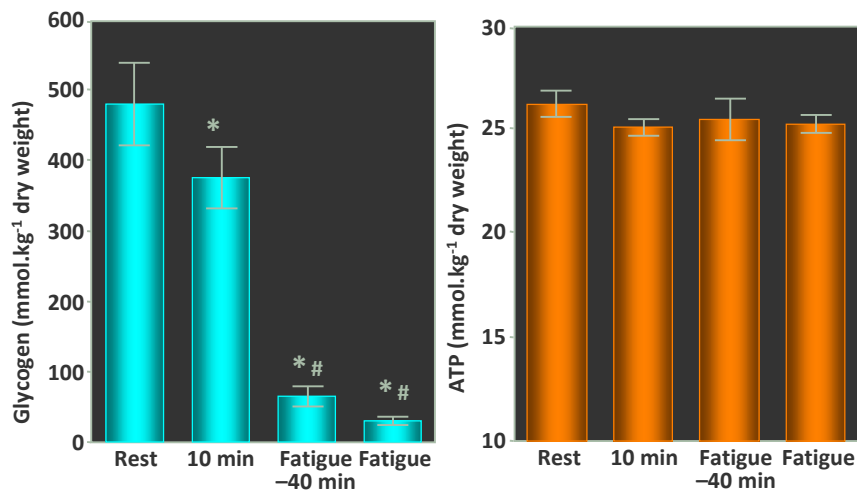


ou exercices
intermittents de
haute intensité

Saltin & Karlsson Adv Exp Med Biol 1971



Déplétion glycogénique musculaire



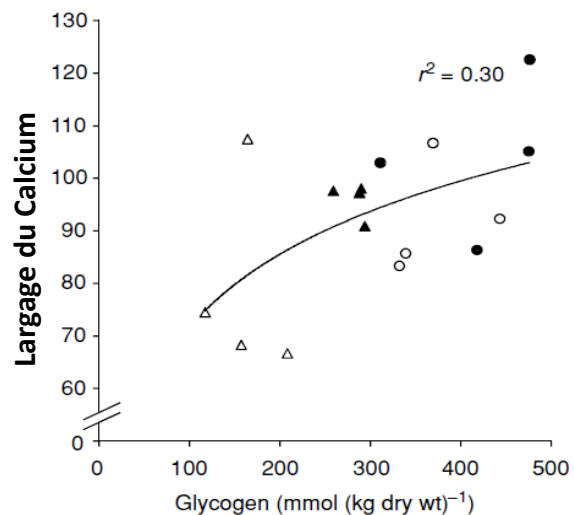
Febbraio & Dancsey. J Appl Physiol, 1999



Déplétion glycolénique musculaire

20 km contre-la-montre
en ski de fond

**Donc stratégies pour
lutter contre la
déplétion glycolénique
restent importantes :
“Train the gut”**



Ørtenblad et al. *J Physiol* 2011

Fatigue périphérique/musculaire

Raisons classiques

- Acidose
- Déplétion glycolytique

Autres origines périphérique de la fatigue

- Accumulation de Pi
- Accumulation de K^+_e
- Dommages musculaire

Altération du couplage E-C



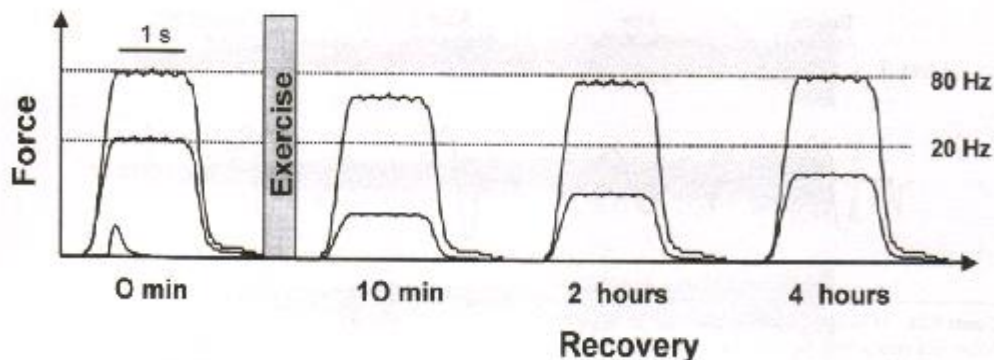
Fatigue basse-fréquence

Fatigue basse fréquence

Certains types d'exercices ou de stimulations

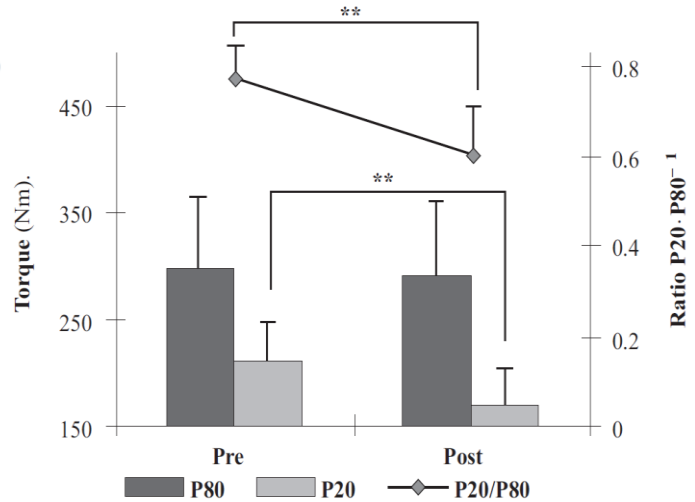
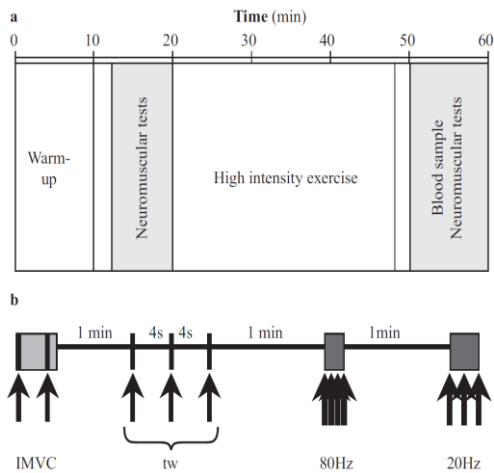


Perte préférentielle de force aux stimulations à basse fréquence = Fatigue basse fréquence (LFF)



Fatigue basse fréquence

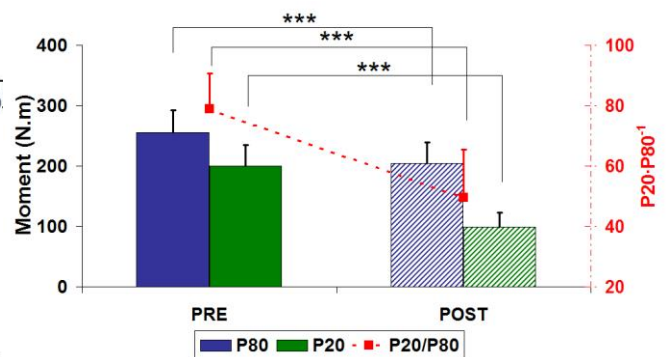
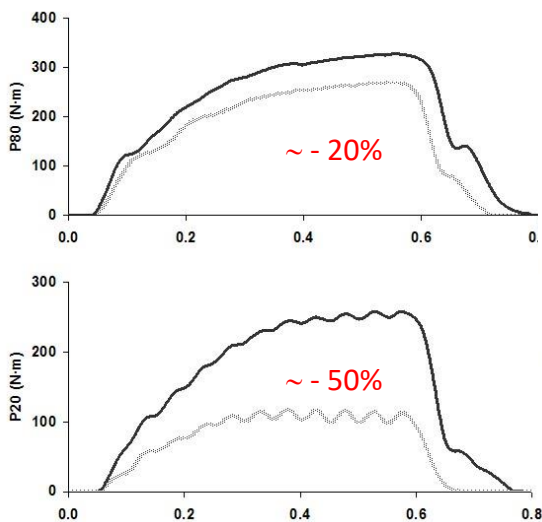
peut survenir pour des exercices
intenses concentriques



Lattier *Int J Sports Med* 2004

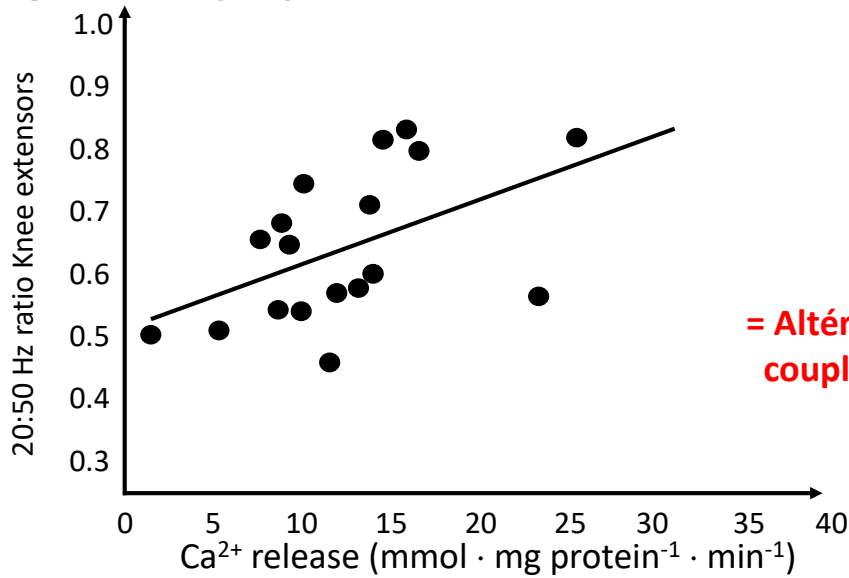
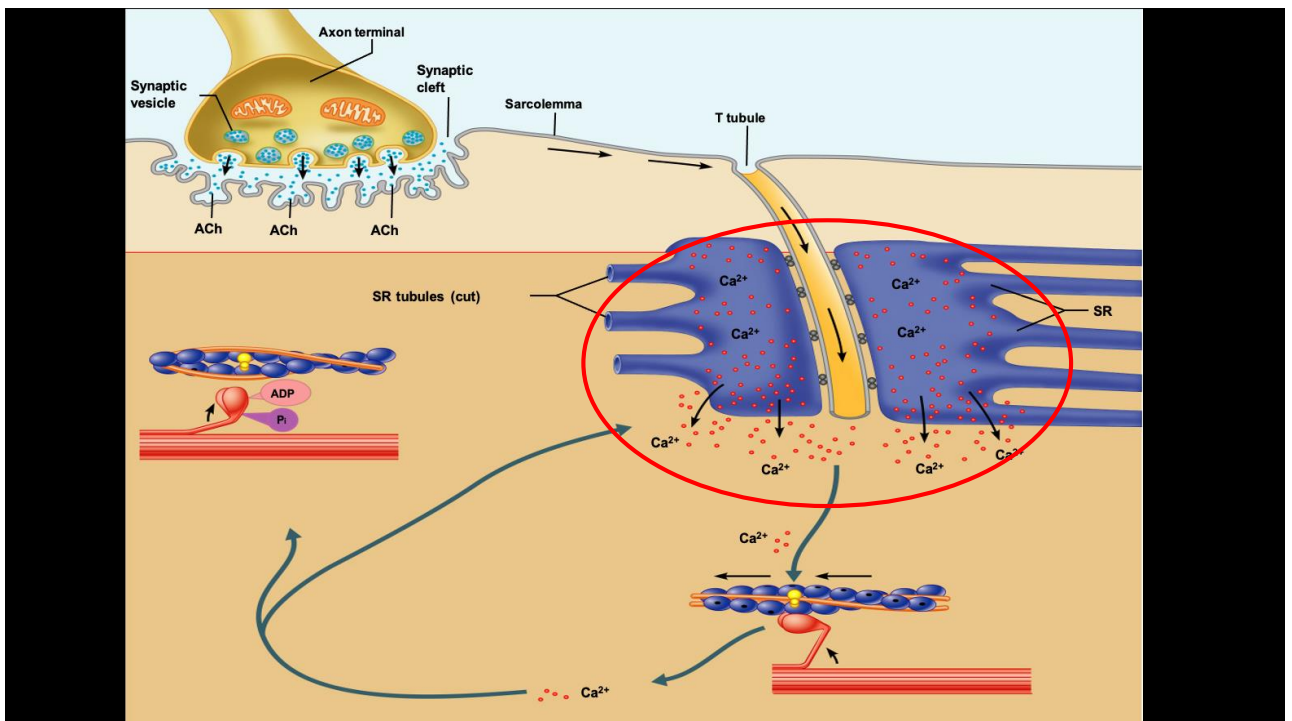
Fatigue basse fréquence

Mais survient
surtout lors
d'exercices
excentriques

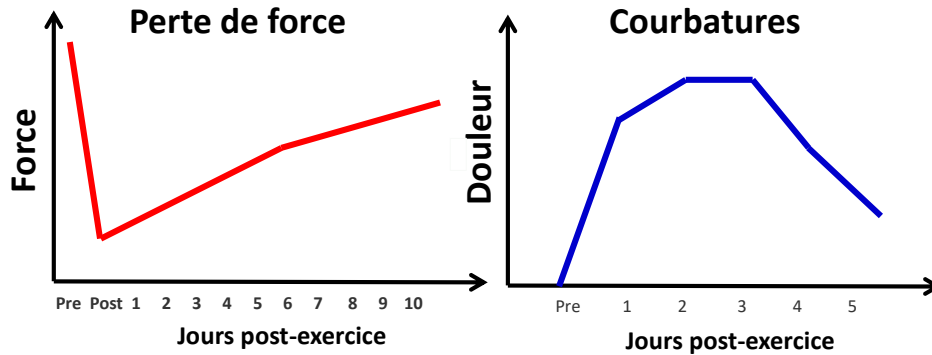


Martin et al. *Med Sci Sports Exerc* 2004

Fatigue basse fréquence

Hill et al., *J Physiol*, 2001

Dommmages musculaires



Causes variées : stress oxydant mais surtout stress mécanique (contractions excentriques)

Myocène® (conflit d'intérêt)



Simple à réaliser

Assis sur le support

Rapide

2 minutes par quadriceps

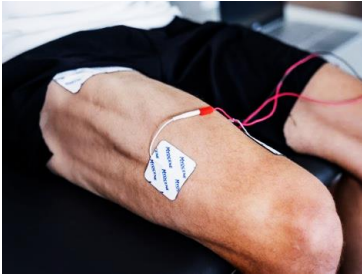
Transportable

Se pose sur une table

**Sans mouvement
volontaire**

Ne demande pas d'effort au sportif

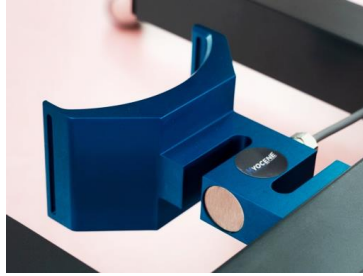
3 PILIERS DANS LA TECHNOLOGIE



MYO-CONTRACTEUR

NEUROSTIMULATION TRÈS SPÉCIFIQUE

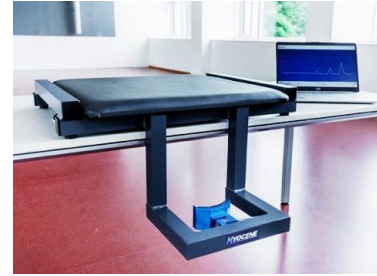
Génération d'une contraction parfaitement contrôlée et quantifiée



MYO-CAPTEUR

MESURE DE LA FORCE EXTRÊMEMENT PRÉCISE

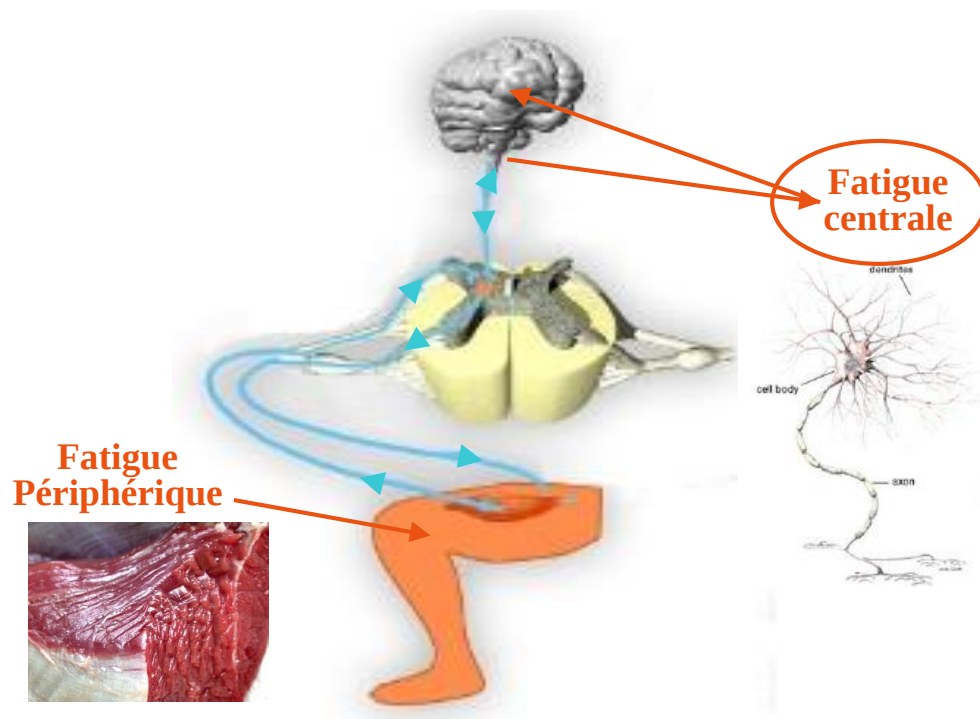
Grâce à un capteur de force développé sur mesure



MYO-IA

IA ET ALGORITHME SPÉCIFIQUE

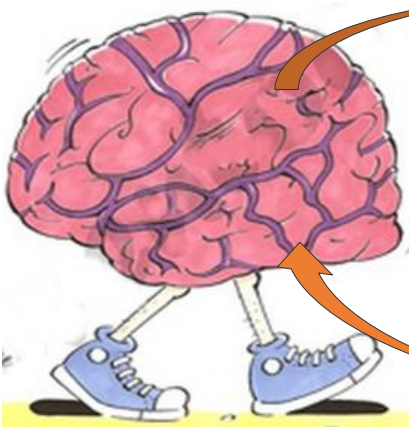
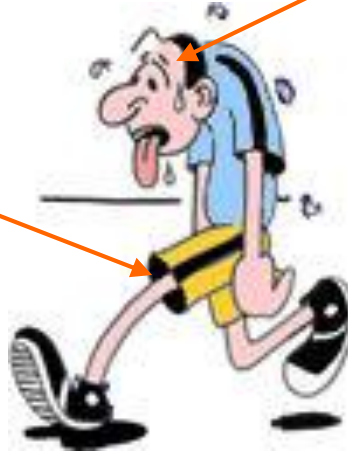
L'algorithme calcule l'indice de fatigue à partir de 48 mesures réalisées en 2' - Exécuté au sein d'un logiciel dédié

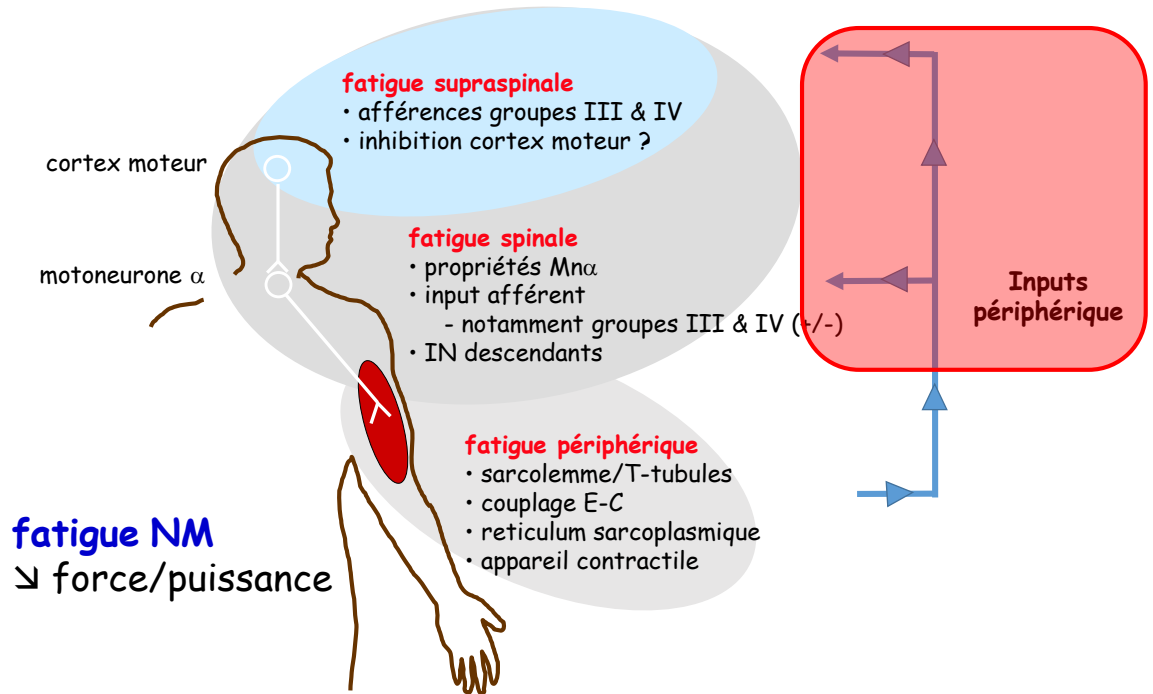


Pas aussi simple que ça...

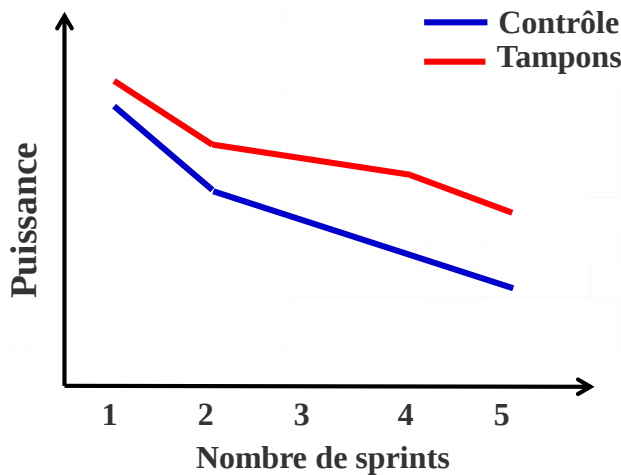
Fatigue
Périphérique
(musculaire)

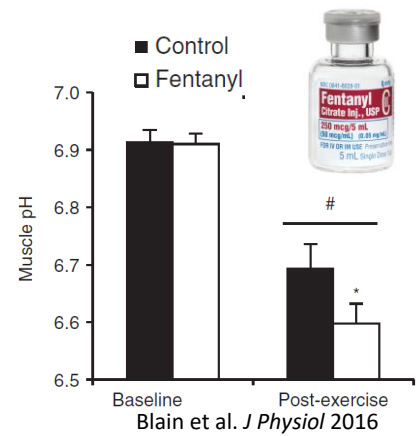
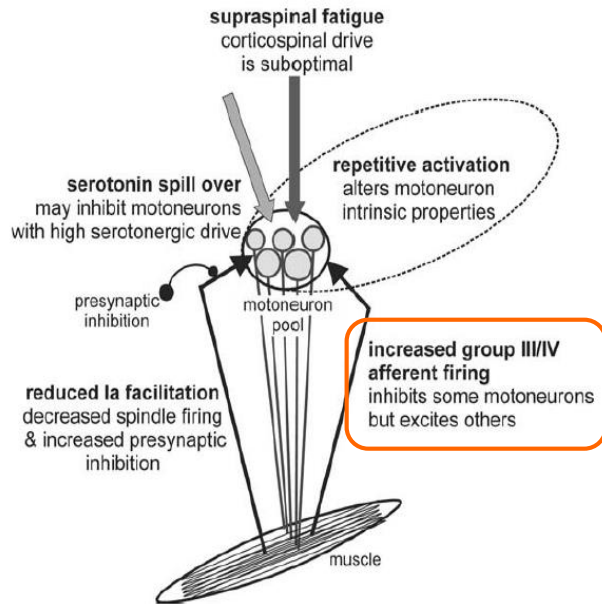
Fatigue
centrale
(nerveuse)





~~L'acide lactique est responsable de la fatigue ?~~
 oui mais...substances tampons

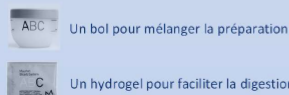
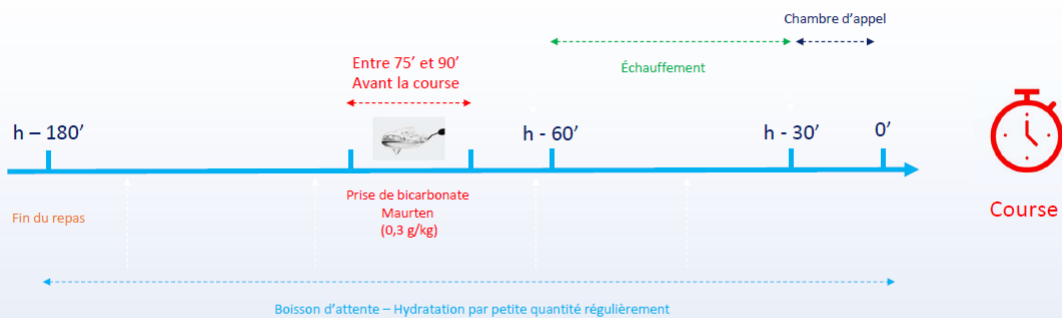


Taylor et al. *Med Sci Sports Exerc* 2016

Rôle des fibres III-IV



Protocole de prise de bicarbonate





Mental

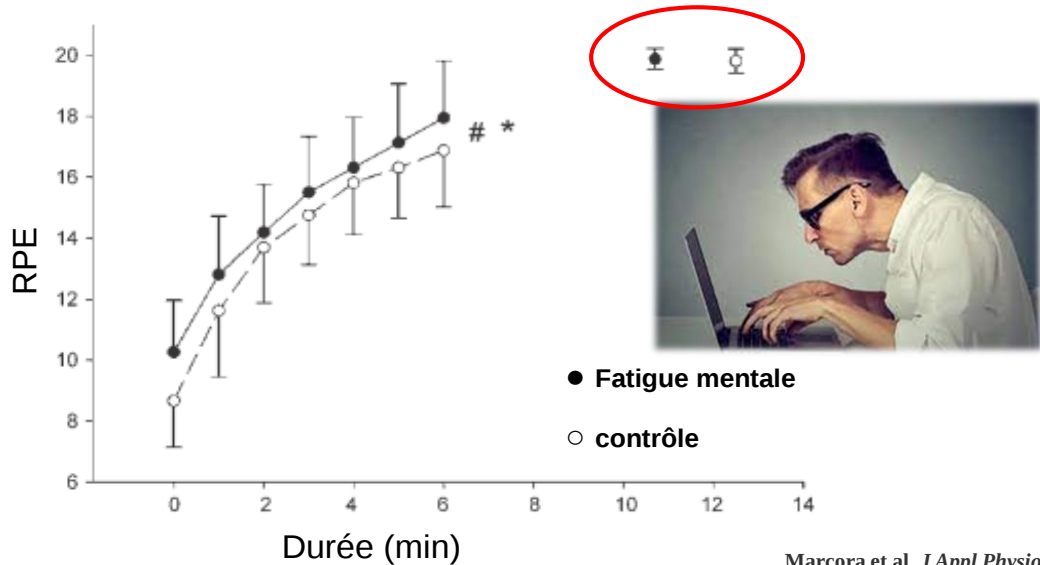


Physique

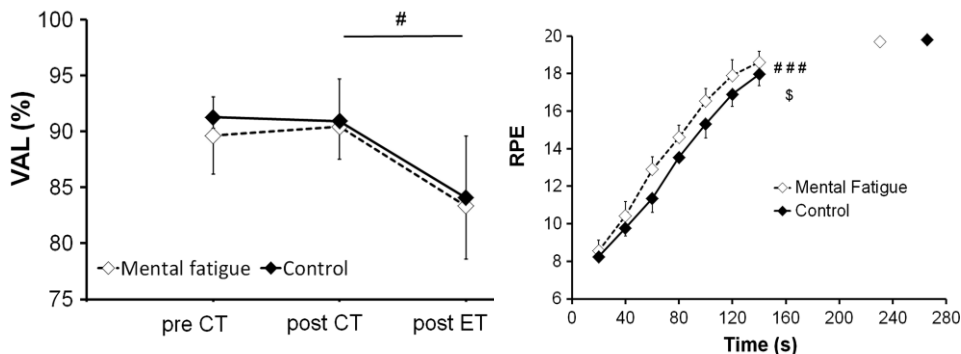


Dépend des disciplines

Fatigue mentale vs physique



Il existe un lien entre fatigue mentale & performance mais pas entre fatigue mentale & fatigabilité



Il existe un débat à ce sujet

Fatigue centrale vs commande centrale

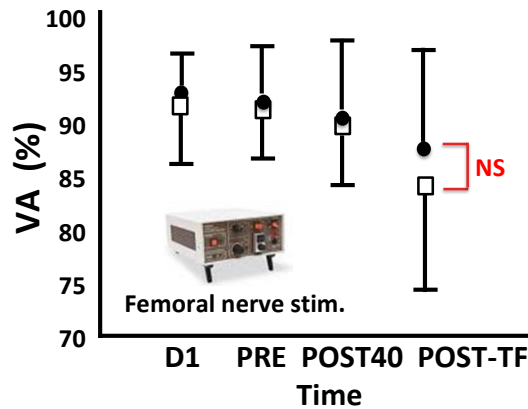
Neurophysiologie ↗

RPE ↗

Idem privation de sommeil ⇒ ↗ RPE

Pageaux et al. *Med Sci Sports Exerc* 2013

Fatigue mentale



- Control
- Sleep deprivation

Est-ce que la privation de sommeil induit de la fatigue centrale ?

Non mais idem : induit une baisse des performances en endurance

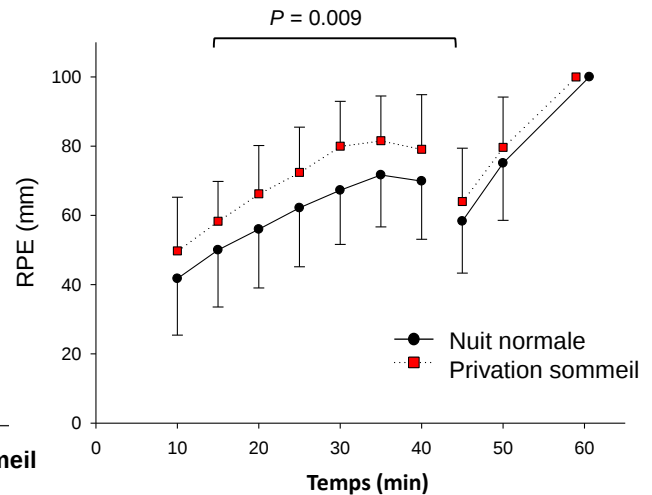
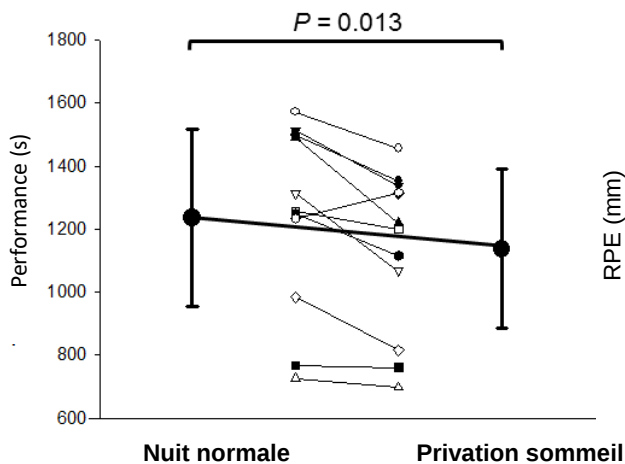
BASIC SCIENCES

Does Central Fatigue Explain Reduced Cycling after Complete Sleep Deprivation?

JOHN TEMESI¹, PIERRE J. ARNAL¹, KAREN DAVRANCHI², RÉGIS BONNEPOY³, PATRICK LEVY⁴, SAMUEL VERGES⁵, and GUILLAUME Y. MILLET¹

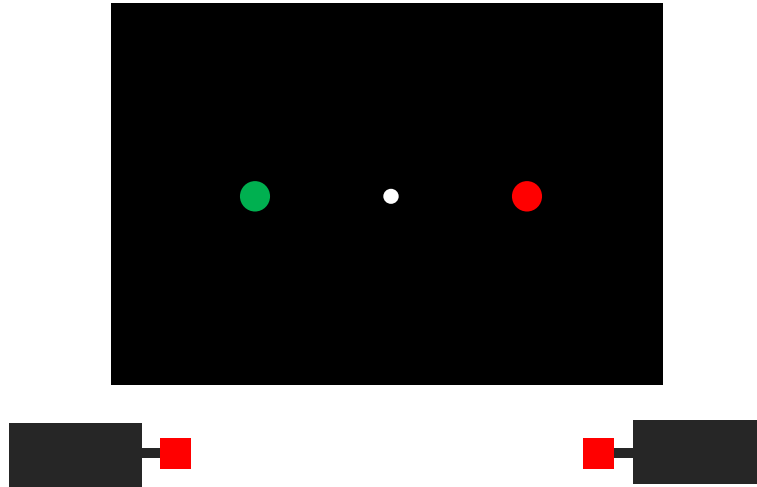
Temesi et al. *Med Sci Sports Exerc* 2013

Privation de sommeil

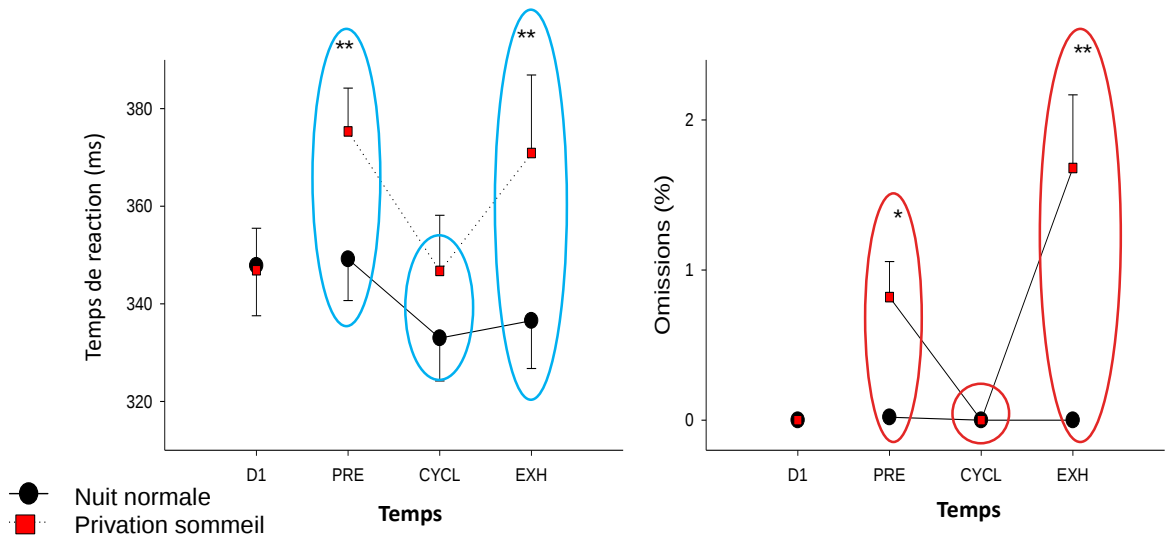


Temesi et al. *Med Sci Sports Exerc* 2013

Test de Simon



Tâche cognitive



Temesi et al. Med Sci Sports Exerc 2013

Fonction cognitive

Baisse des performances aussi dans les sports techniques

Valentino Rossi-Motegi 2016 , before the race

« It was a difficult journey. I did not sleep. I hope to get better.”



- [Lebron James - lacking sleep in the 2015 playoffs](#)

Is not enough sleep why the Cavs lost the playoffs in 2015?



Solutions ?

Caféine

Agit sur le système nerveux central en augmentation le largage de noradrénaline et de dopamine et par un effet hypoalgésique. Exemple : ingestion de caféine = ➡ intensité de la douleur musculaire du quadriceps pendant 30 minutes de vélo haute intensité par rapport à l'ingestion d'un placebo.

- Gums : 50 ou 100 mg par unité
- Tablettes : 100 ou 200 mg par unité
- Gels : 40 à 200 mg par gel
(attention à hypo réactionnelle)



Privation pré-compétition pour potentialiser les effets pas nécessaire

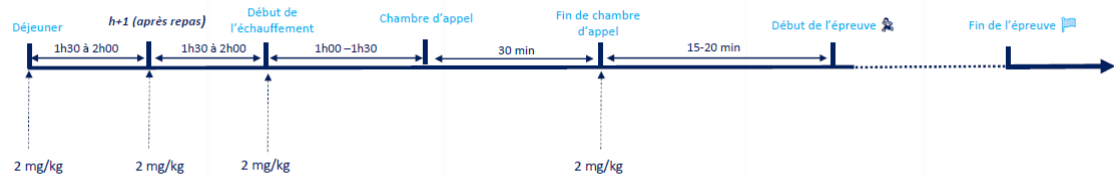
Demi-vie caféine de 4 à 6 h = calculateur sur internet





Protocole caféine

Épreuves de l'après-midi



Produit	Caféine	Délai d'absorption
Café-Expresso	70 à 100 mg	45 à 60 min
Gélule	200 à 300 mg	45 à 60 min
Chewing-gum	50-80 g	15 à 20 min
Gel énergétique	75-100 mg	45 à 60 min



Benefits of Sleep Extension on Sustained Attention and Sleep Pressure Before and During Total Sleep Deprivation and Recovery

Pierrick J. Arnal, PhD candidate^{1,2,3}; Fabien Sauvet, MD, PhD^{1,3}; Damien Leger, MD, PhD^{3,4}; Pascal van Beers, AS^{1,3}; Virginie Bayon, MD, PhD^{3,4}; Clément Bougard, PhD^{1,3}; Arnaud Rabat, PhD^{1,3}; Guillaume Y. Millet, PhD^{2,5}; Mounir Chennaoui, PhD^{1,3}

¹Institut de Recherche Biomédicale des Armées (IRBA), Unité Fatigue et Vigilance, Brétigny sur Orge, France; ²Laboratoire de Physiologie de l'Exercice, Université de Lyon, 42000 Saint Etienne, France; ³Université Paris Descartes, Sorbonne Paris Cité, EA7330 VIFASOM (Vigilance Fatigue et Sommeil), Hôtel Dieu, Paris, France; ⁴Université Paris Descartes, Sorbonne Paris Cité, APHP, Hôtel Dieu, Centre du Sommeil et de la Vigilance, Paris, France; ⁵Human Performance Laboratory, Faculty of Kinesiology, University of Calgary, Calgary, Canada

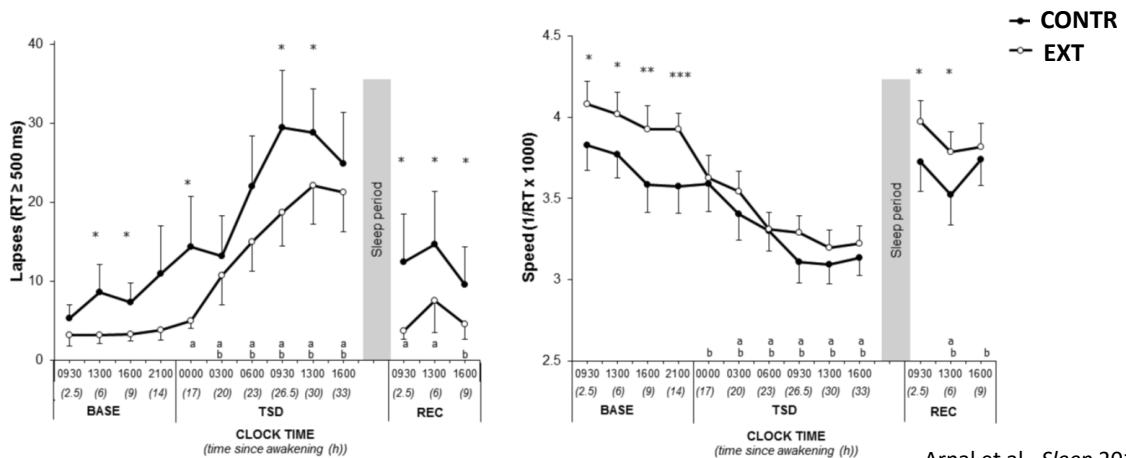
Sleep Extension before Sleep Loss: Effects on Performance and Neuromuscular Function

PIERRICK J. ARNAL^{1,2,3}, THOMAS LAPOLE¹, MÉGANE ERBLANG², MATHIAS GUILLARD^{2,3}, CYPRIEN BOURRILHON⁴, DAMIEN LÉGER^{3,5}, MOUNIR CHENNAOUI^{2,3}, and GUILLAUME Y. MILLET^{1,6}

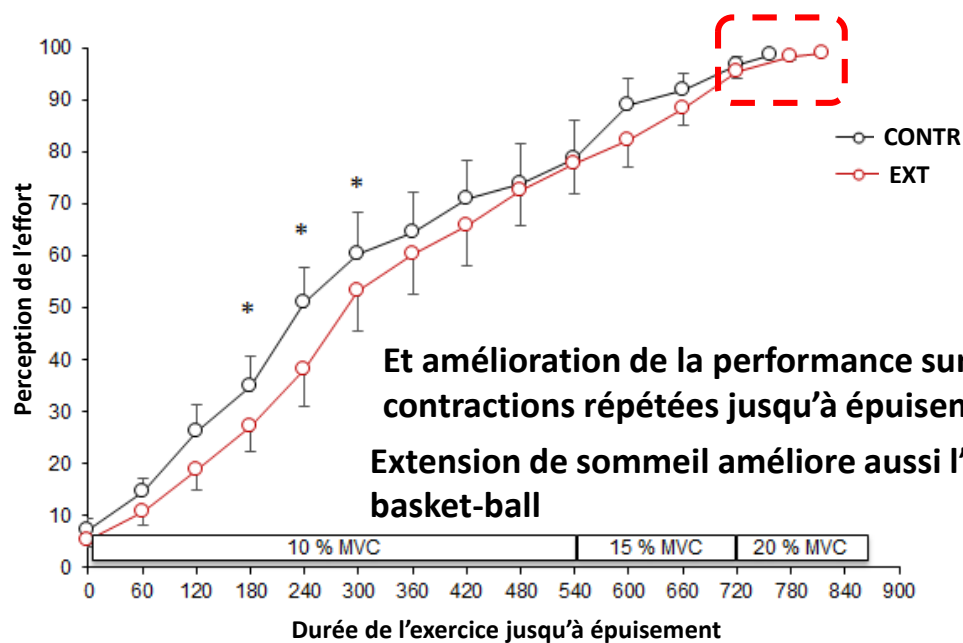


Psychomotor Vigilance Task

- 6 nuits d'extension de sommeil
- 1 nuit de privation de sommeil et récupération



Arnal et al., *Sleep* 2015

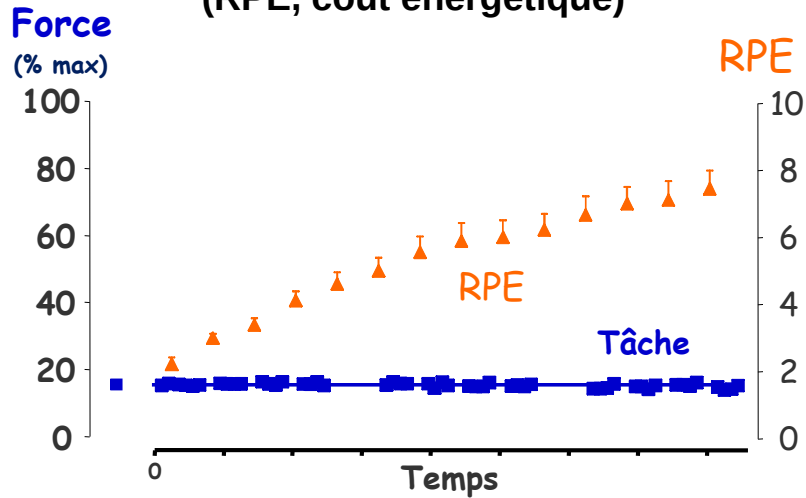


Et amélioration de la performance sur un effort de contractions répétées jusqu'à épuisement

Extension de sommeil améliore aussi l'adresse en basket-ball

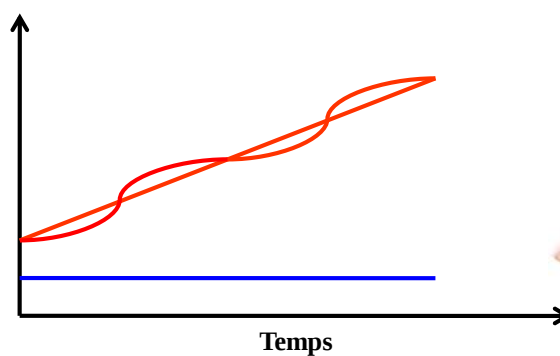


Diminution de la force...et augmentation du coût (RPE, coût énergétique)



RPE = **R**ating of **P**erceived **E**xertion
= Perception de l'effort

Vitesse de course
RPE



Le cerveau a toujours le dernier mot

Eur J Appl Physiol (2003) 90: 411–419
DOI 10.1007/s00421-003-0902-7

REVIEW ARTICLE

Bengt Kayser

Exercise starts and ends in the brain



REVIEW ARTICLE

Sports Med 2011; 41 (6): 1-18
0112-1642/11/0006-0001/\$49.95/0

© 2011 Adis Data Information BV. All rights reserved.

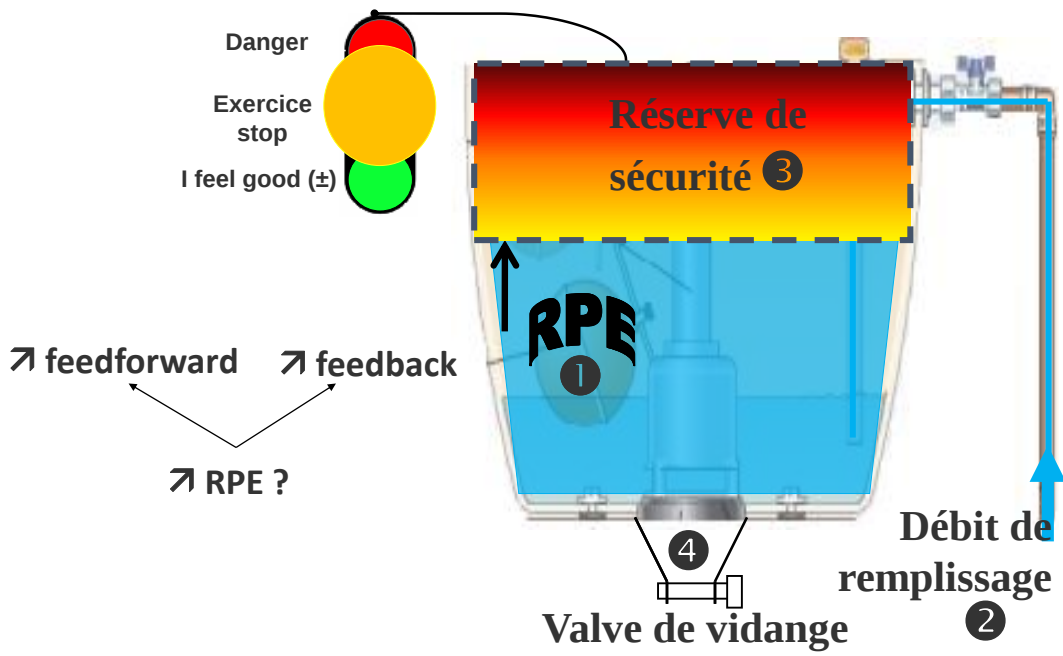
Can Neuromuscular Fatigue Explain Running Strategies and Performance in Ultra-Marathons?

The Flush Model

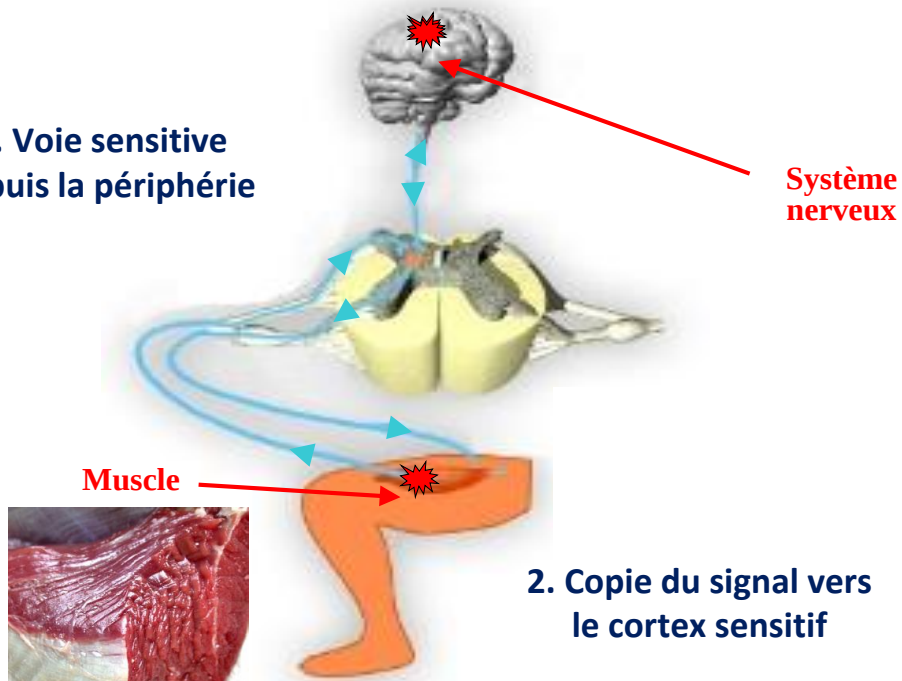
Guillaume Y. Millet^{1,2}

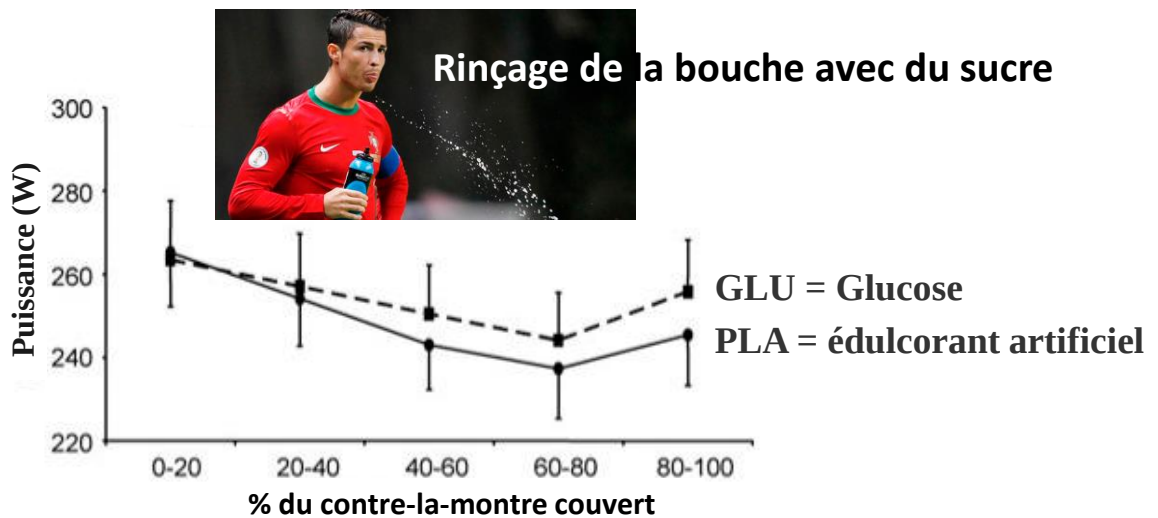
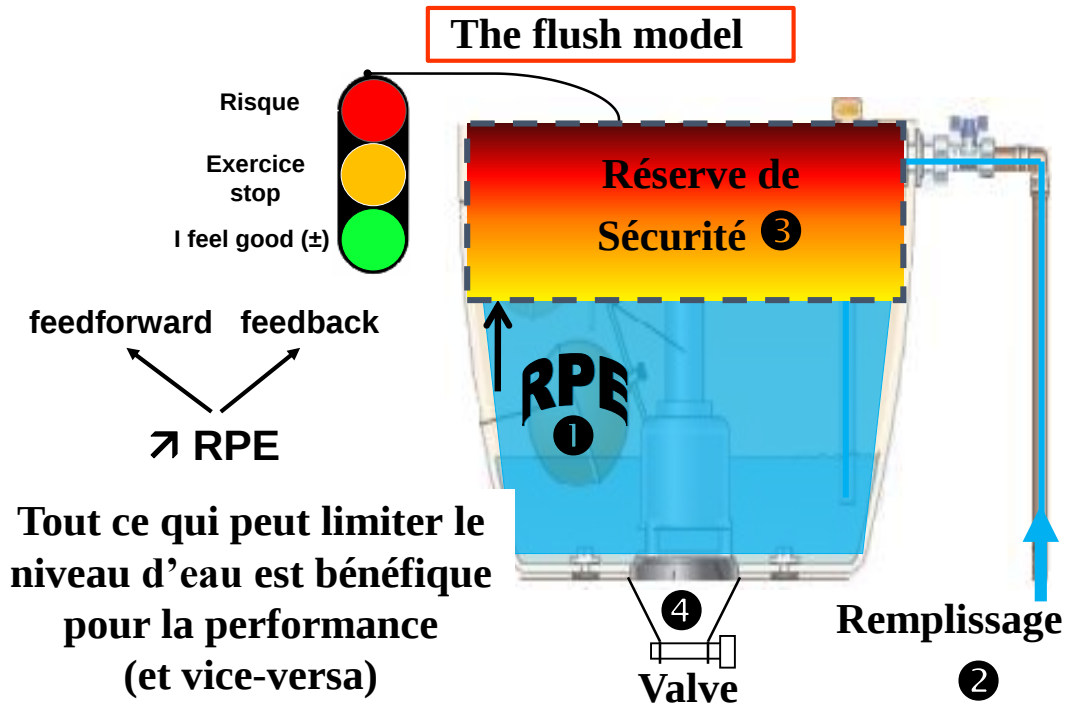
- 1 University of Lyon, Saint Etienne, France
- 2 Inserm U1042, Grenoble, France





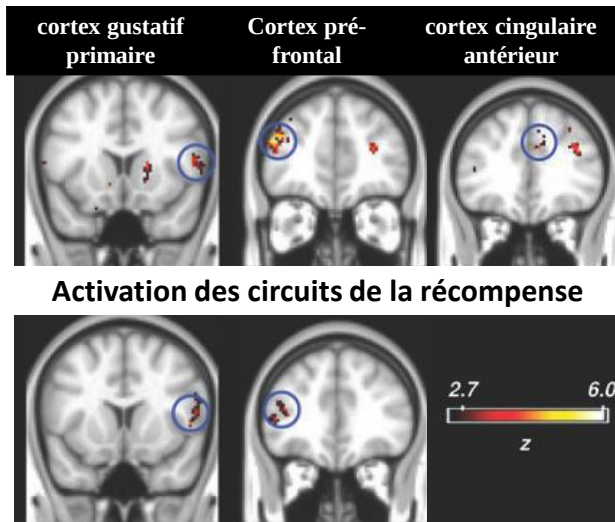
1. Voie sensitive depuis la périphérie





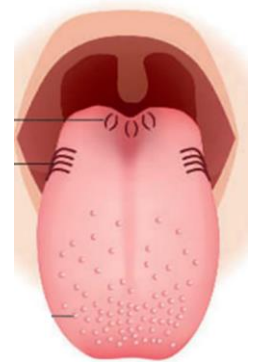
Même RPE malgré une puissance supérieure

Chambers et al. *J Physiol* 2009



Glucose

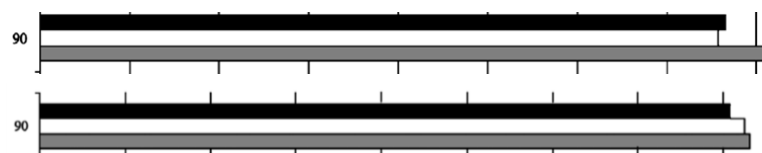
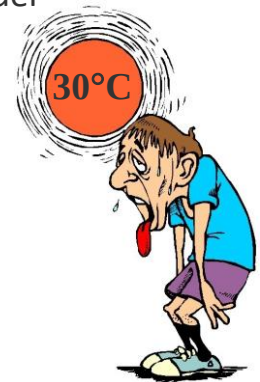
Edulcorant artificiel

Chambers et al. *J Physiol* 2009

Travail mental pour aider à tolérer les sensations désagréables liées à l'exercice dans la chaleur, et supprimer la tentation de diminuer l'intensité de leur travail

↳ ex: imagerie mentale, dialogue interne positif

**Performance (distance courue en 90 min)
est significativement améliorée**



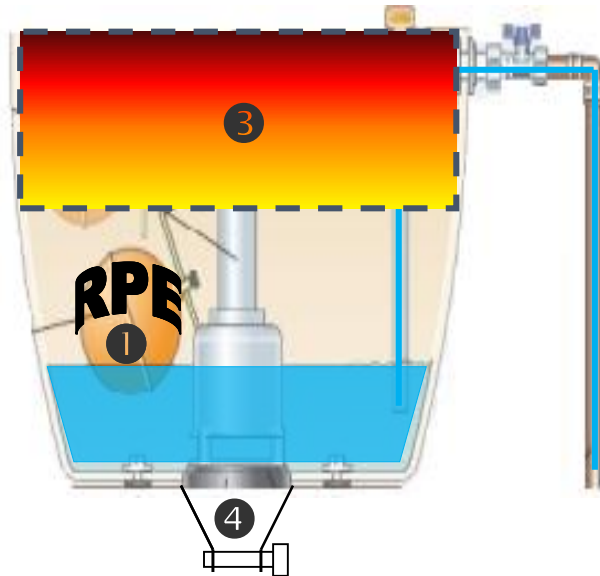
Entraînement mental

Groupe contrôle

Barwood et al. *Med Sci Sports Exerc* 2008

L'athlète prend le départ avec une cuve qui n'est pas vide

Privation partielle de sommeil, stress, fatigue cognitive



EN CONCLUSION SUR LA FATIGUE NEUROMUSCULAIRE:

- Ne concerne pas uniquement les muscles locomoteurs : entraînement des muscles respiratoires
 - Implique des interactions à l'échelle de l'organisme entier via la stimulation de voies afférentes
 - Peut comprendre une composante centrale marquée selon le type d'effort (et les conditions environnementales : non traité aujourd'hui)
 - La fatigue neuromusculaire contribue à la performance dans une approche plus globale (RPE) qui doit prendre en compte :
 - le sommeil
 - la nutrition/aide ergogénique (glucides, caféine, bicarbonates)
 - la fatigue mentale et compétences psychologiques
- ↳ le cerveau a le dernier mot (sauf efforts très courts) :
importance de la préparation mentale !

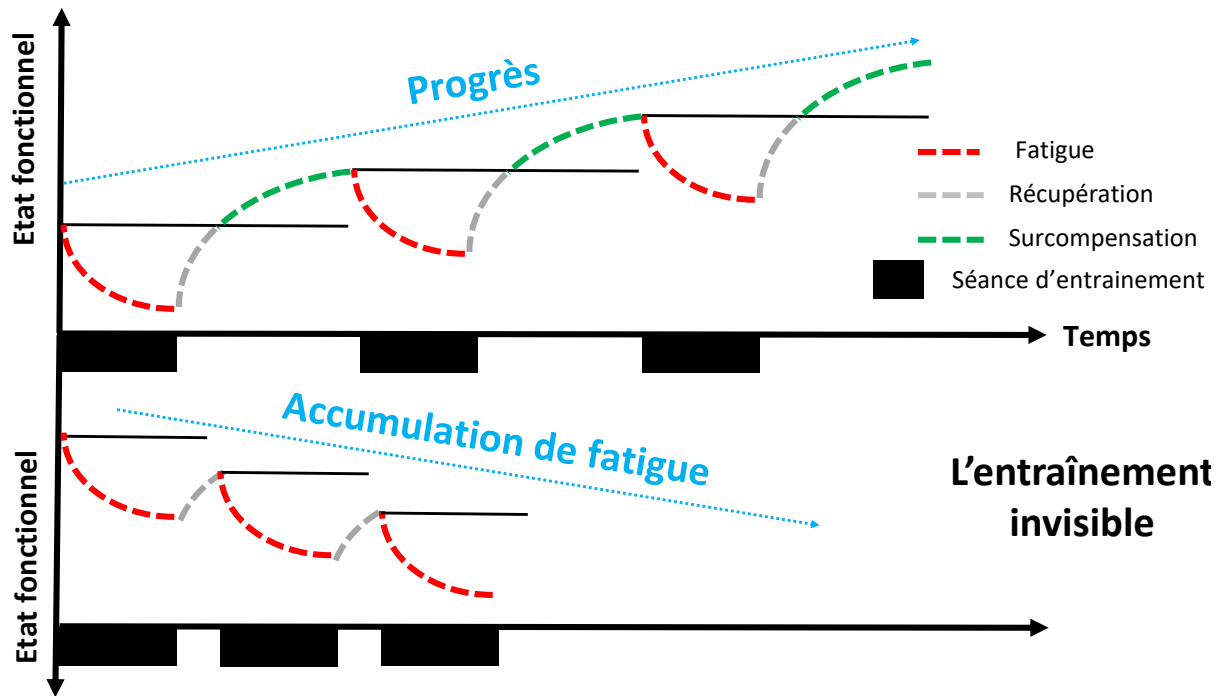




Récupération

Optimiser la récupération permet :

- d'↗ les charges d'entraînement (↘ délais entre les séances ou les séries) et/ou
- de minimiser les risques de surentraînement et de blessures



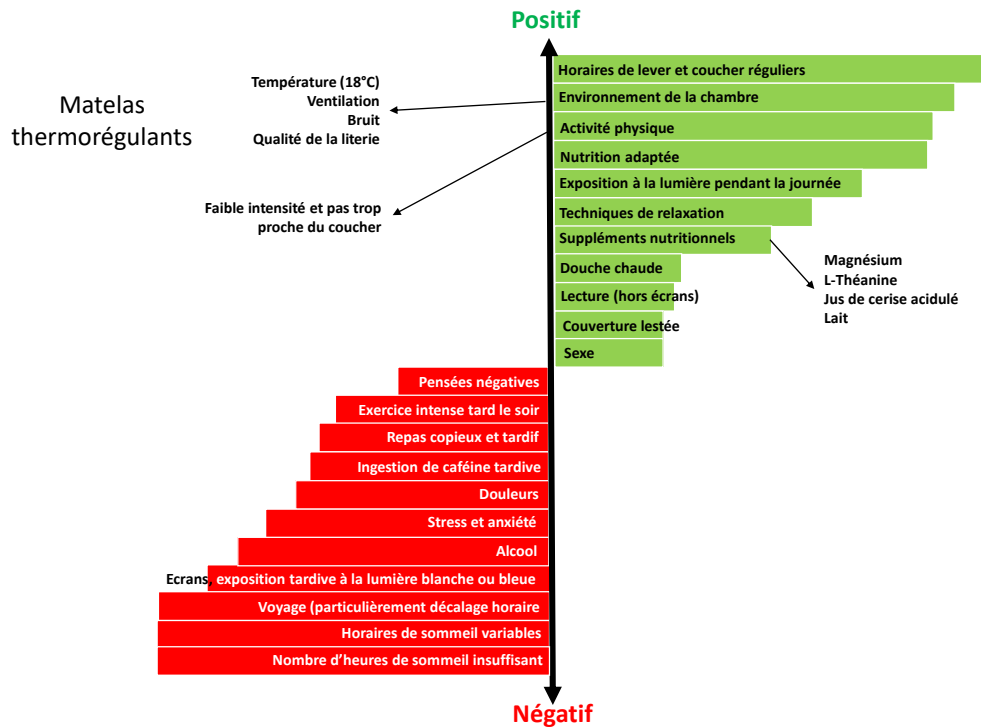
Sommeil



"Sleep is extremely important to me - I need to rest and recover in order for the training I do to be absorbed by my body"

Usain Bolt.

Hygiène du sommeil



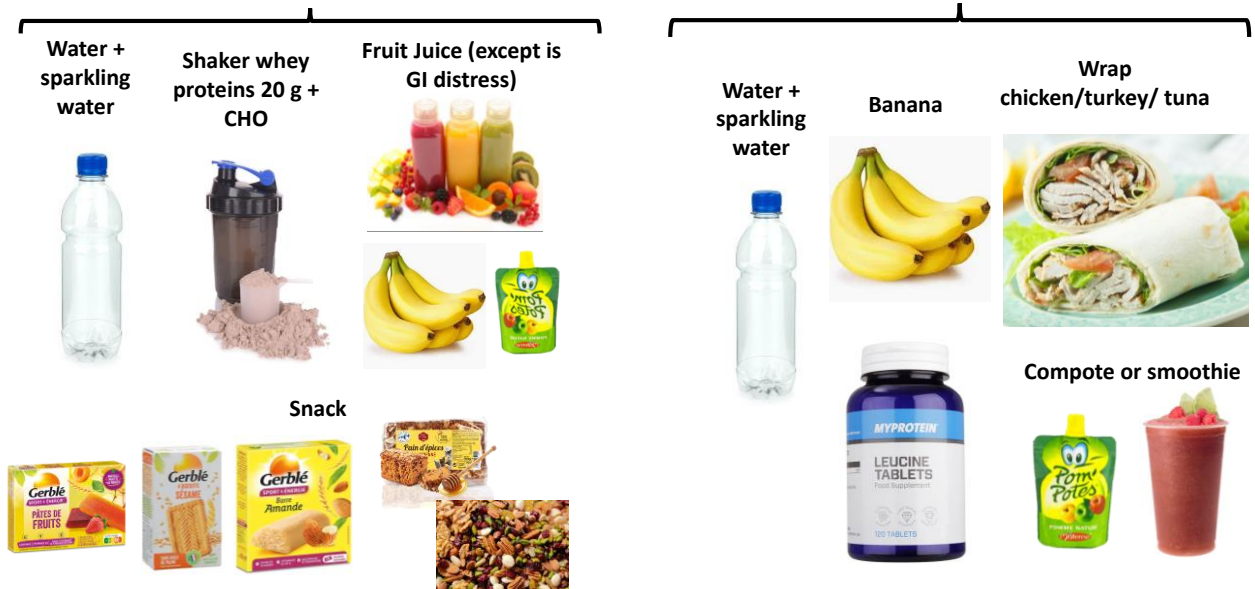
Sommeil

- Sommeil est le facteur n°1 de la récupération (musculaire, énergétique, apprentissage, immunitaire)
- Contraintes vie quotidienne ...mais TV, internet : on peut gagner en temps de sommeil.
- Stratégies siestes: < 20 min ou 1h30 (vacances), si possible à distance du dernier entraînement

Collation post entraînement/compétition (fenêtre métabolique)

First 30 min post training

1-2 h later



Boissons sucrées (**30-35g glucides**)

Dès l'arrivée



Protéine PowerBar **20g de protéines** + **60g de glucides** pour 6 doses (1 dose = 1 cuillère)

Dans les 30min après l'arrivée



Eaux minérales (plates et naturellement pétillantes: St-Yorre, Vichy + Cristaline, Evian, Vittel...)

Dès l'arrivée jusqu'au coucher



Fruits frais (sélection de saison), jus de fruits individuels (raisin ou pomme) et fruits secs (raisins, dates, abricots...)

Heures qui suivent l'arrivée



Compotes individuelles (ex: Andros, Pom'Potes)

Heures qui suivent l'arrivée



Yaourts sucrés (ex: Activia, Michel et Augustin, Laitière vanille...) + prévoir une option soja (ex: Alpro, Sojasun...)

Heures qui suivent l'arrivée



Collation solide du jour (ex: sandwich, pâtes, riz... voir idées page suivante)

Dans les 2 h après l'arrivée

Quelques méthodes de récupération prisées des athlètes



Bottes de
compression



Electrostimulation
à basse fréquence



Bains froids /
cryothérapie



Bas ou collant de
compression



Massage

Université Jean Monnet
Saint-Étienne

PATHS
Graduate School
Université Jean Monnet

ActiFS
Activité Physique
Fatigue Santé

IUF
institut
universitaire
de France

LiBM
Laboratoire
«Biologie de la Motricité»

**Merci de votre
attention**

Guillaume Millet

X **@** **in** **@kinesiologiui**
www.kinesiologiui.com