

Relation entraînement-performance

Montpellier Janv 2017

L2 46.3C Evaluation de la performance



Robin Candau
 Université de Montpellier I
 Faculté des Sciences du Sport
 Robin.candau@univ-montp1.fr
<http://robin.candau.free.fr>



Contrôle terminal : QCM

Questions de T Brioche et R Candau au prorata des volumes horaires dispensés

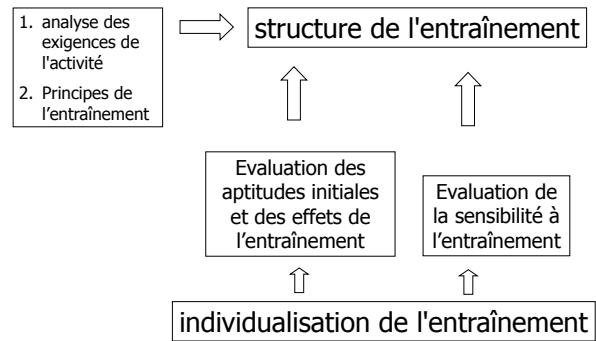
- 4 articles à télécharger avec chacun au moins une question :
 - Lemeur Y. L'entraînement polarisé. 2015
 - Mujika et al. Med Sci Sports Exerc. 2003 Jul;35(7):1182-7. Review.
 - Philippe A, Sanchez AMJ, Candau R. Jours de fête : le lactate responsable du sentiment de bien-être qui nous envahit après l'effort ? **Sport et Vie n°147, 24-27, 2014**
 - Sanchez AMJ, Candau R. Interférence ? **Sport et Vie n°149, 2014**
- **Travail personnel avec chacun au moins une question**

Travail personnel



1. Construire profil personnel de vitesse par rapport aux records du monde
2. Construire 3 séances d'intervalle
3. Reconstruire le tableau des facteurs de gains de VO2max par Midgley et al, 2006
4. Travail sur l'entraînement polarisé et sur l'entraînement des Kenyans

Bases du processus d'entraînement



- Bases du processus d'entraînement

Plan

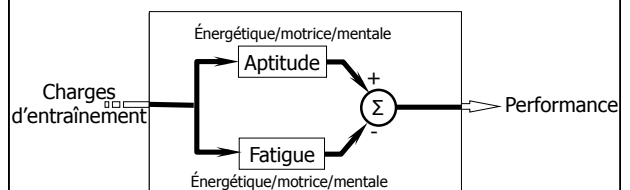
- Analyse de l'activité et principe d'entraînement
 - Volume minimal requis
 - Intensité facteur essentiel
 - Respect de la spécificité
 - Concept de transfert positif
 -
 -
- Structure de l'entraînement
- Individualisation
 - Evaluation des aptitudes initiales et tests de terrain
 - Sensibilité individuelle à l'entraînement
- Conclusion

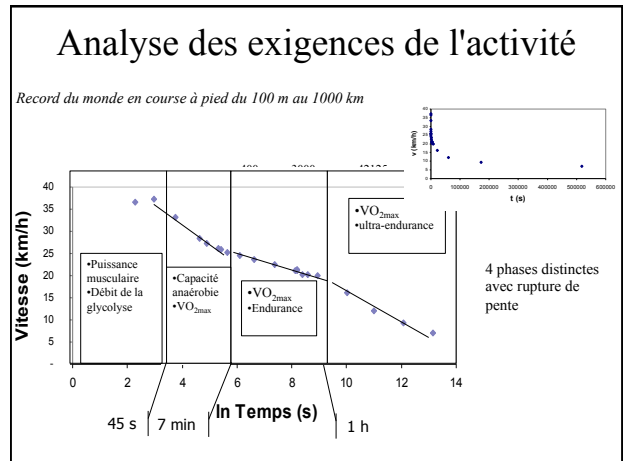
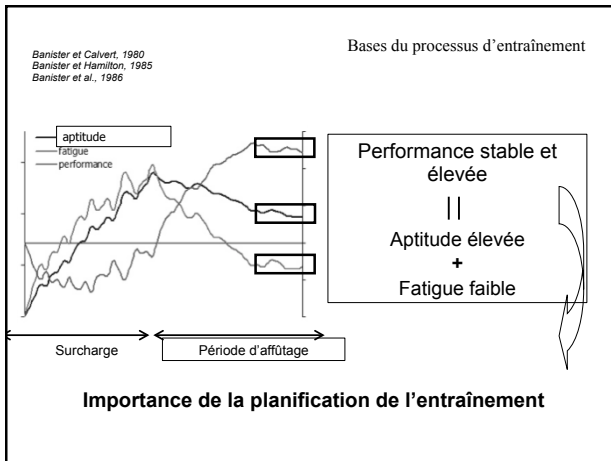


Bases du processus d'entraînement

L'entraînement est un art qui nécessite :

- des connaissances
- de l'expérience
- du bon sens
- un bon feeling





Analyse des exigences de l'activité

Développement de la puissance musculaire et de la glycolyse

Facteur limitant	Forme d'entraînement
<ol style="list-style-type: none"> commande motrice et coordination % surface fibre rapide (IIx) Glycogène phosphorylase et PFK 	<ul style="list-style-type: none"> •musculature lourde avec 3-12 répét •Travail à vitesse optimale •sprints spécifiques de 2 à 40 s (répétition 2 à 10)

Analyse des exigences de l'activité

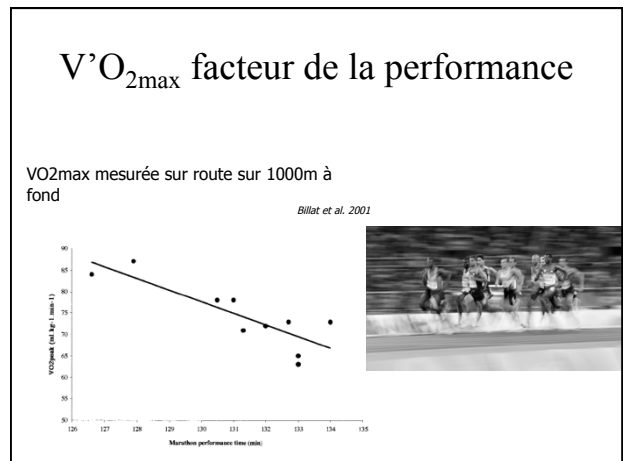
Développement de la capacité anaérobie

Facteur limitant	Forme d'entraînement
<ul style="list-style-type: none"> •Aptitude à recycler H⁺, Pi et ADP • Résistance à la fatigue neuromusculaire (Pompes Na/K⁺) 	<p>Intervalles courts de 30'' à 4 min. Récupération : de 3 à 10 min Nbre de répétition : 3 à 10</p>

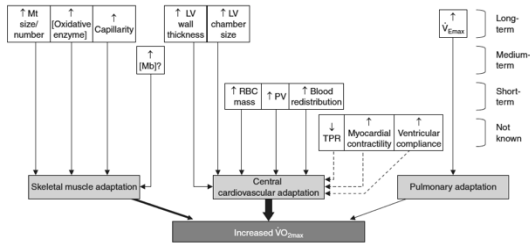
Analyse des exigences de l'activité

Développement de VO_{2max}

Facteur limitant	Forme d'entraînement
<ul style="list-style-type: none"> •Débit cardiaque maximal (80%) •Volume d'éjection systolique •Volume de sang •Concentration en hémoglobine •Diffusion alvéolo-artérielle <p>Facteurs périphériques (20%)</p>	<p>Intervalles :</p> <ul style="list-style-type: none"> •15s d'exercice / 15s de récupération active •30/30 •1min/1min •3min/3min •5 min/ 3min, 10 min/3min •Intervalles naturels •Intervalles à vitesse décroissante <p>Placer 1, 2 à 3 séances de ce type par semaine en variant les plaisirs.</p>



Les facteurs responsables des gains de $\dot{V}O_2'_{max}$



TPR = total peripheral resistance; $\dot{V}E_{max}$ = maximal minute ventilation

Midgley et al., 2006

Devoir à la maison : reconstruire le schéma en Français

fin le 24/1/17

Intensité la plus efficace?



• 40–70% $\dot{V}O_2'_{max}$ peut augmenter $\dot{V}O_2'_{max}$ chez le sujet non-entraîné (intensité minimale dépend de $\dot{V}O_2'_{max}$ initiale)

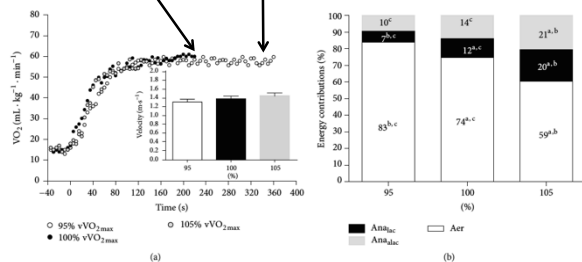
• 95-100% $\dot{V}O_2'_{max}$ nécessaire pour l'élite (les skieurs de fond de l'élite mondiale présentent une portion significative de leur entraînement à cette intensité : 15-20%)



95% de $\dot{V}O_2'_{max}$ est plus efficace que 100% ou 105



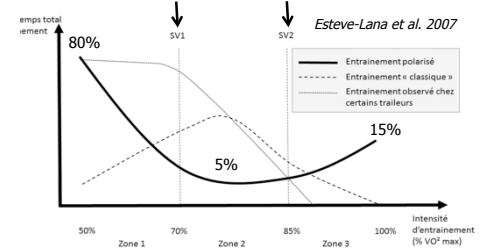
Sousa et al., 2014



Plus efficace pour la capacité anaérobie

Entraînement polarisé

1. Placer ses valeurs de fréquence cardiaque et puissance mécanique correspondant à chacun des deux seuils directement sur le graphique et proposer une répartition des volumes d'entraînement en fonction de l'intensité pour une semaine type de préparation.
2. Résumer l'article Lemeur 2015 « l'entraînement polarisé » pour pouvoir répondre aux QCM



Entraînement de l'élite mondiale sur marathon



Portuguese marathoner Carlos Lopes (2 h 7 min 11 s in 1985) performed two speed workouts per week:

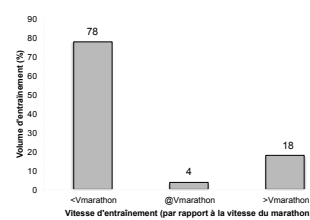
- 15 x 400 m at v_{3000m} and
- 6 x 2000 m at $v_{10,000m}$, almost all of the year with a high weekly total distance (200 to 240 km).

(Paiva, 1996, Billat 2001)

Meilleurs marathoniens portugais et français

Répartition du volume conforme à la méthode polarisée

$T < 2h12$



Travail personnel sur l'entraînement polarisé

Qu'en est-il pour les Kenyans et Ethiopiens?

Rechercher des info sur le sujet :

1. recherche générale
2. Puis plus spécifique sur sites dédiés (e.g. Volodalen)



Historique du travail intermittent

- →
- → utilisation massive
- Gerschler et Rudolf H → concept et son application



Historique : approche scientifique

Les premiers travaux scientifiques remontent à 1960 :

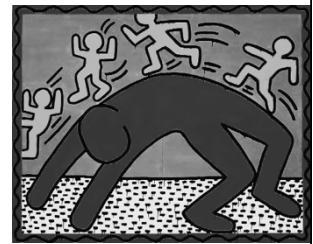
- Astrand et coll. Intermittent muscular work. Acta Physiol Scand 1960 ; 48 : 448-453
- Christensen et coll. Intermittent and continuous running. Acta Physiol Scand 1960 ; 50 : 269-286

Per Olof Astrand



Historique

L'entraînement par intervalles

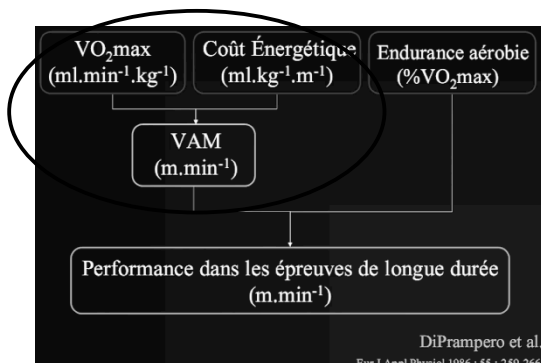


Combas

- Saltin et coll. Intermittent exercise: its physiology and some practical implications Advances in exercise physiology, Karger, Basel, 1960 ; 34 : 87-114

Bengt Saltin

Développé grâce aux intervalles (2 à 3 fois plus de travail possible)



DiPrampero et al.

Eur J Appl Physiol 1986 ; 55 : 259-266

Relation entre VMA et V'O_{2max}

$$V \text{ dernier pallier} = (A/T + (V'O_{2max} - V'O_{2repos})) / C$$

$$VMA = (V'O_{2max} - V'O_{2repos}) / C$$

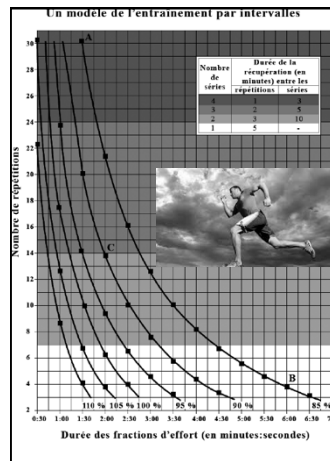
Où A est la capacité anaérobie
T est le temps
C est le coût énergétique



Lorsque l'on affirme que VMA = V dernier pallier on suppose implicitement que A/T est négligeable ce qui n'est pas tout à fait le cas

Caractéristiques d'un exercice intermittent

- Intensité de l'exercice (%VMA, %VO_{2max}, %record)
- Durée de l'exercice (minutes, secondes)
- Durée de la récupération (minutes, secondes)
- Type de la récupération (active, passive avec ou sans occlusion)
- Nombre de répétitions de l'exercice (n)



Méthode pour organiser des intervalles

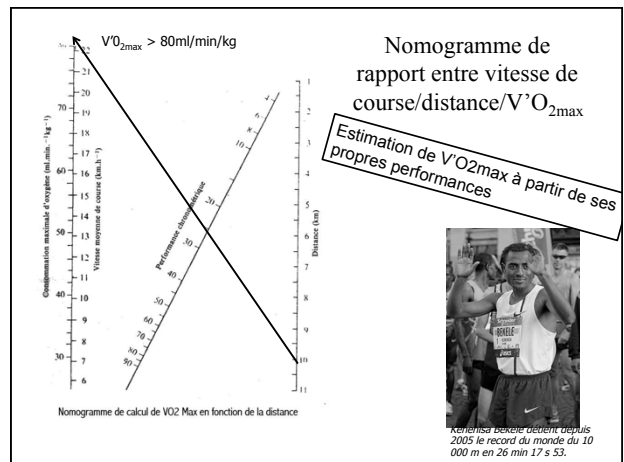
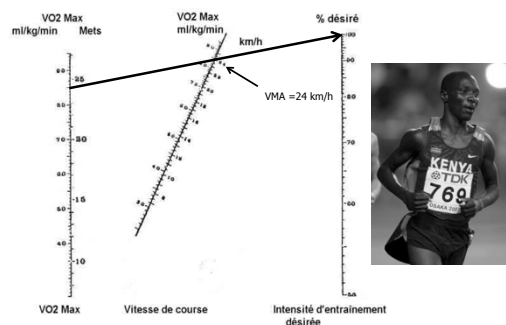
Epuisement atteint à la fin → stimulation soit optimale.

1. Développement capacité anaérobie (I > 100% de PMA)
2. Développement VO_{2max} (I entre 95-100% de PMA)
3. Endurance entre 85 et 95% de PMA

Concevez 3 séances pour développer ces 3 aptitudes (introduire facteur 0,5 sur la durée des récup)

Thibault and Marion, 1998 MSSE

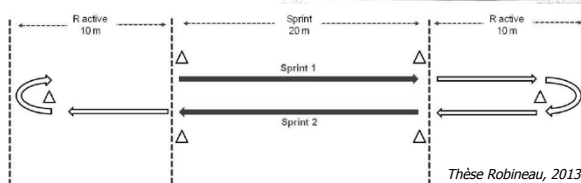
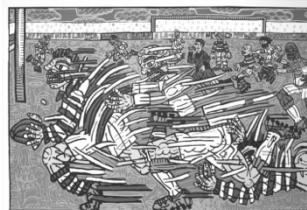
Nomogramme de détermination de la vitesse d'entraînement en fonction de VO_{2max} et de l'intensité désirée



Kenyaise braver record depuis 2005 le record du monde du 10 000 m en 26 min 17 s 53.

Intermittent court ou répétition de sprint

Impact sur V'O_{2max} et sur les aptitudes aux sprints

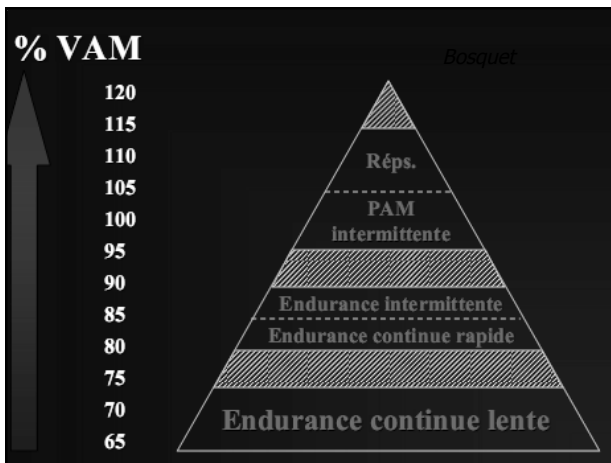


Thèse Robineau, 2013

Figure 6. Test de répétition de sprints (12x 20m, départ toutes les 15s, R active: 2x 10m) R active : récupération active.


Intensité (%VAM)	Effet sur ...			Type de Séance
	Capacité anaérobie	PAM	EA	
110	Très élevé	Très élevé	-	
105	Très élevé	Très élevé	-	
100	Élevé	Très élevé	-	
95	Moyen	Élevé	Moyen	
90	Faible	Moyen	Élevé	
85	Faible	Faible	Très élevé	
80	Faible	Faible	Élevé	
75	Faible	Faible	Moyen	
70	Faible	Faible	Faible	
65	Faible	Faible	Faible	

PAM : Intensités sous-maximales ne modifiant que l'aptitude aérobie (Carrozzini et al., 1991 ; Helgerud et al., 2000 ; Weston et al., 1997 ; Edge et al., 2008)
EA I : Intensités supramaximales modifiant aptitudes aérobie et anaérobie (Gill et al., 1995 ; MacDougall et al., 1996 ; Rodas et al., 2000 ; Simoneau et al., 1987 ; Tabela et al., 1998 ; Weber et al., 2002 ; Edge et al., 2008)
ECR :
ECL :



Analyse des exigences de l'activité


Développement de l'endurance

Facteur limitant	Forme d'entraînement
 <ol style="list-style-type: none"> 1. % fibres lentes et IIa 2. distance moyenne entre capillaires et mitochondries, 3. densité mitochondriale, 4. aptitude à oxyder des lipides 5. efficacité des systèmes de thermolyse 	<ol style="list-style-type: none"> 1. min, récupération de 30s-10 min. 2. Longues sorties en continu (1 à 2 par semaine) ; préserver l'appareil locomoteur! 3. Entraînement à jeûn de 10 à 40 min représente une sollicitation efficace 4. Séance d'imitation de la compétition

% V'O_{2max} maintenu en fonction du temps selon Saltin

Intensité de l'effort (exprimée en fraction de VO_{2max}) = 0,940 - (0,001 x temps (exprimé en minutes)).

- Un ½ marathon se court à 0,940 - (0,001 x 60) = 88% VMA .
- Et celui qui boucle son marathon en trois heures sera vraisemblablement à 76% (= 0,940 - (0,001 x 180))




Analyse des exigences de l'activité

Disciplines techniques

Performance = puissance métabolique / économie

$$= (A/t + VO_2) / \text{économie}$$

Optimiser l'économie de déplacement (volume important à faible intensité et à vitesse spécifique de compétition)


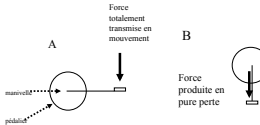


Analyse des exigences de l'activité

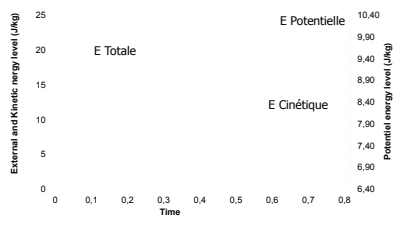
Optimiser l'économie de déplacement

Travail technique visant à optimiser :

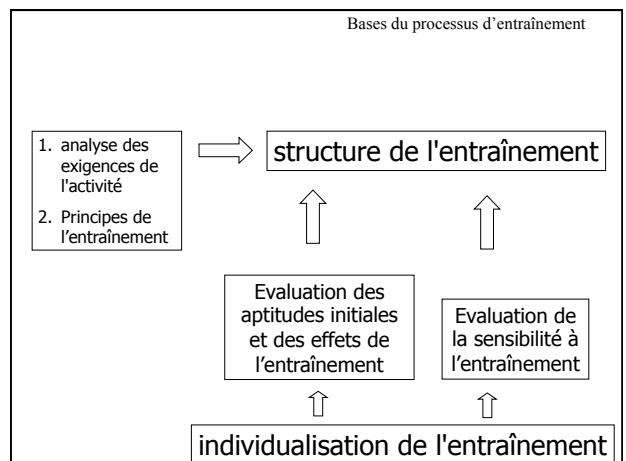
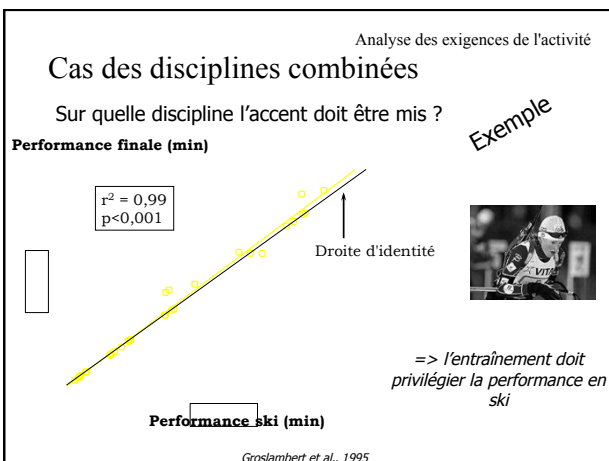
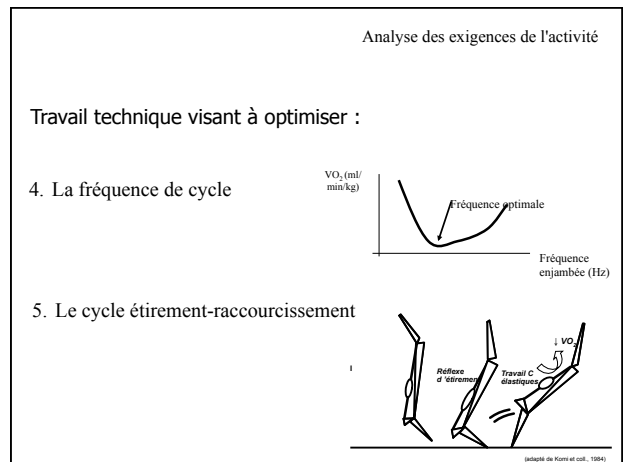
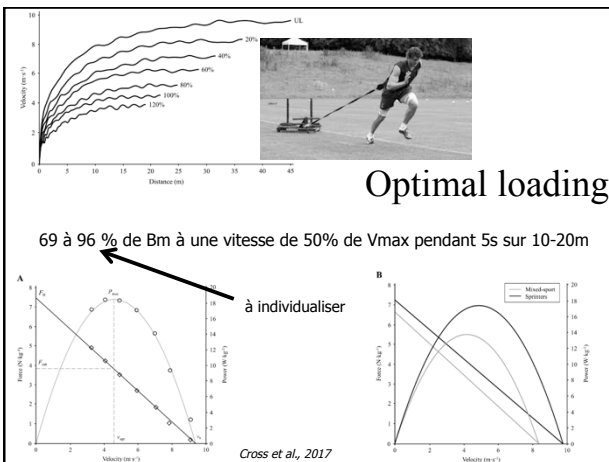
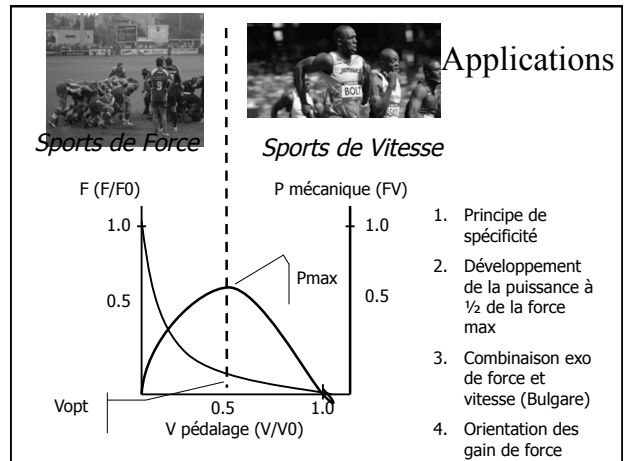
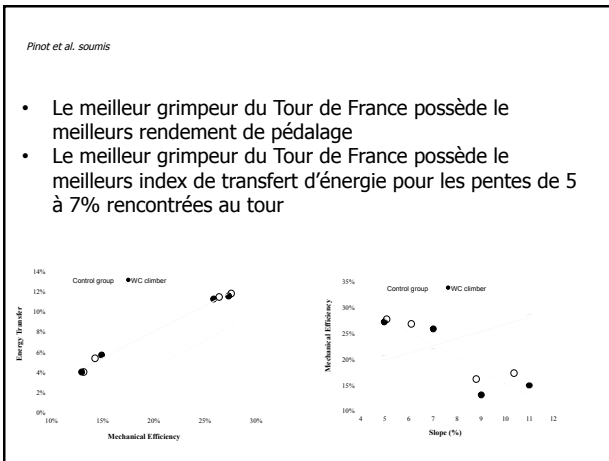
1. les résistances aérodynamiques (travail systématique de la position)
2. les résistances de friction
3. L'Orientations des forces dans le sens du déplacement
4. Les échanges d'énergie potentielle-cinétique

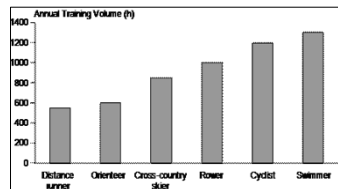
Pinot et al. soumis



- Comme dans la marche, dans le cyclisme en côte l'énergie cinétique est convertie en énergie potentielle
- Les meilleurs grimpeurs du Tour de France semblent posséder les meilleurs index de transfert d'énergie



Volume requis pour l'élite



Attention!
Augmentation
annuelle
maximale <20%
en principe

Figure 6. Representative peak annual training volumes for champion athletes from different sports. Ballistic and eccentric loading differences, demands on technical entrainment, and non-specific training volume may all contribute to the differences.

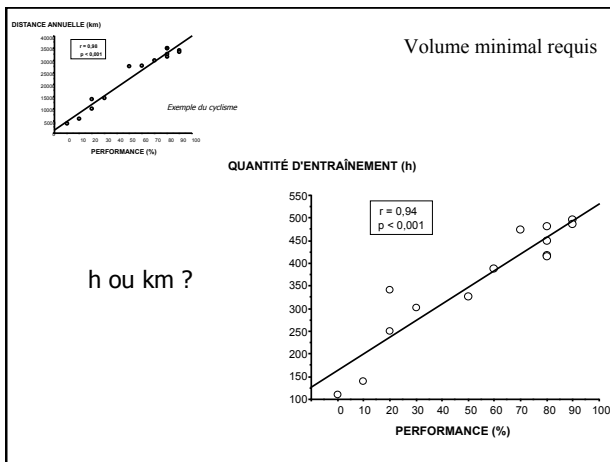
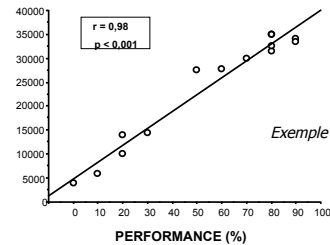


Volume minimal requis

Le volume annuel d'entraînement dépend :

- Du niveau de l'athlète, de ses motivations et de ses disponibilités
- Indication grâce au volume recommandé par les fédérations sportives en fonction des catégories d'âge

DISTANCE ANNUELLE (km)



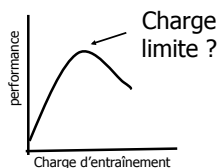
La relation entraînement-performance est-elle linéaire ?

- Relation linéaire forte entre la dépense énergétique quotidienne et le niveau de VO₂max ($r = 0,92$, *Berthouze et al.*).
- Une réduction prolongée de l'entraînement => diminution de performance (Neufer, 1989).

Mais la relation est plus complexe qu'une simple relation linéaire (chute de performance en période de surcharge et surcompensation ultérieure)

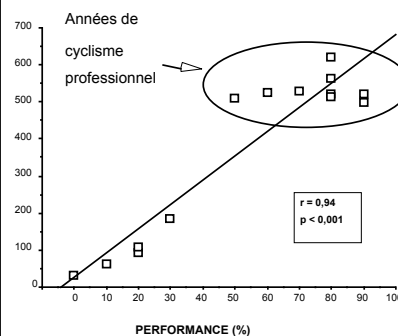
Existence d'un volume limite?

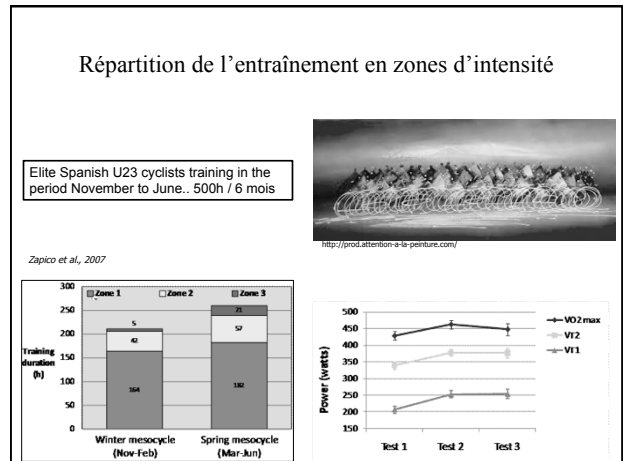
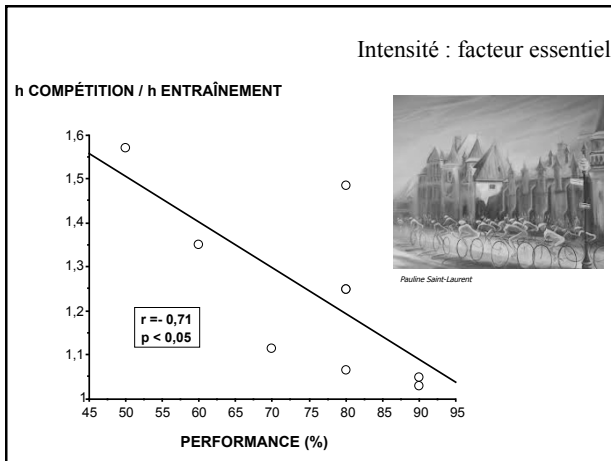
- Stagnation des performances au delà d'une certaine quantité
- Kuipers (1998) a même décrit une relation en forme de « U-inversé », en considérant le cas des surcharges qui peuvent engendrer une diminution de performance
- réduit, appelées « affûtage » pour améliorer la performance le jour J.



Intensité : facteur essentiel

HEURES COMPÉTITION

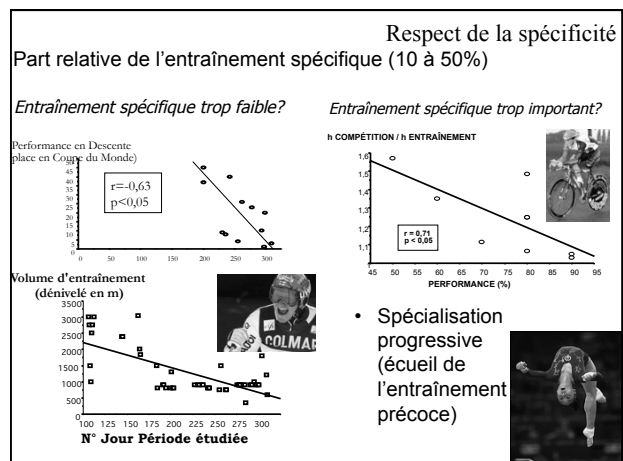
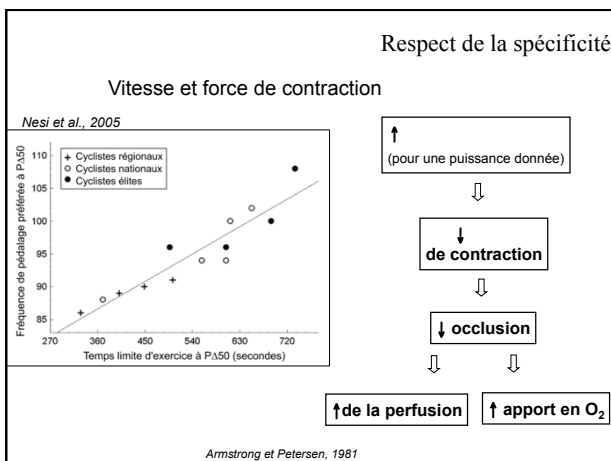
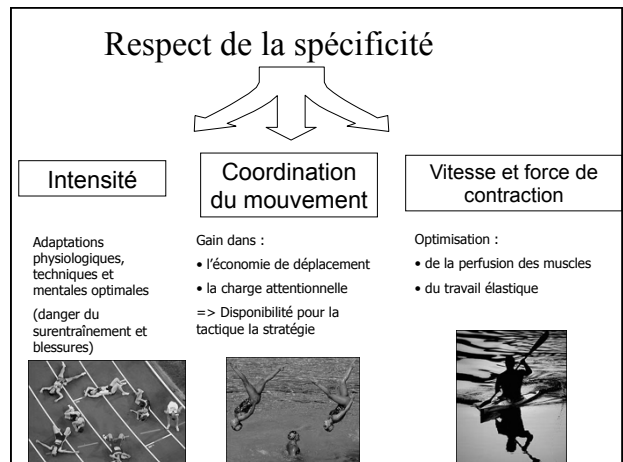


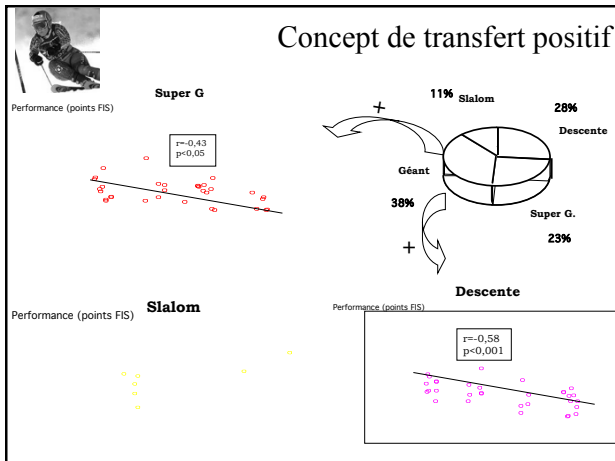


Importance de l'intensité

- volume étaient maintenus, induisait une baisse de VO_{2max} et de perf (en 5 semaines surtout) d'autant plus importante que l'intensité était diminuée (1/3 et de 2/3).
- A l'inverse, avec l'intensité maintenue, pas de diminution Hickson et al., 1981, 1982, 1985) que le volume ou la fréquence aient été diminués de 1/3 ou 2/3

http://prod.attention-4-la-perf.com





Concept de transfert positif

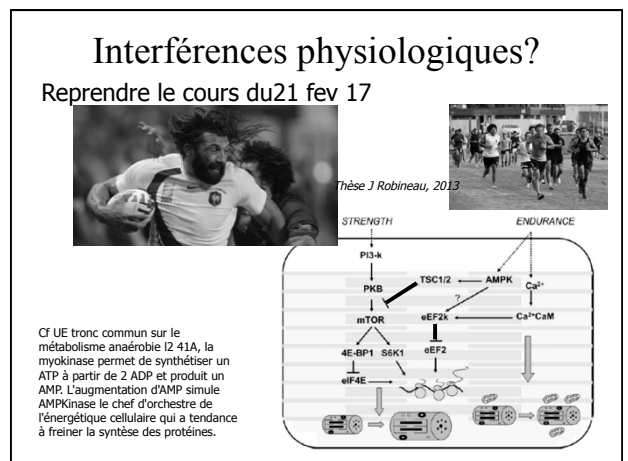
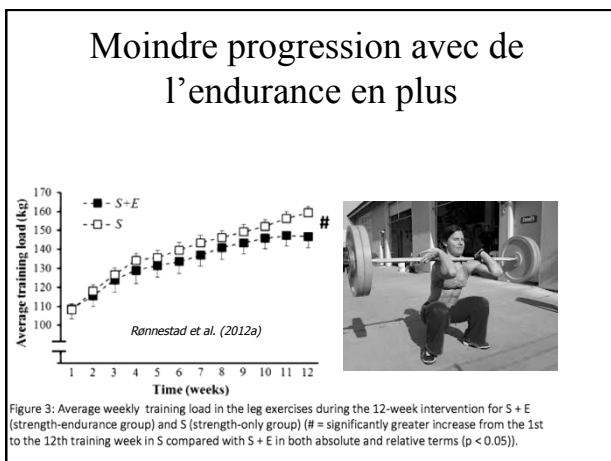
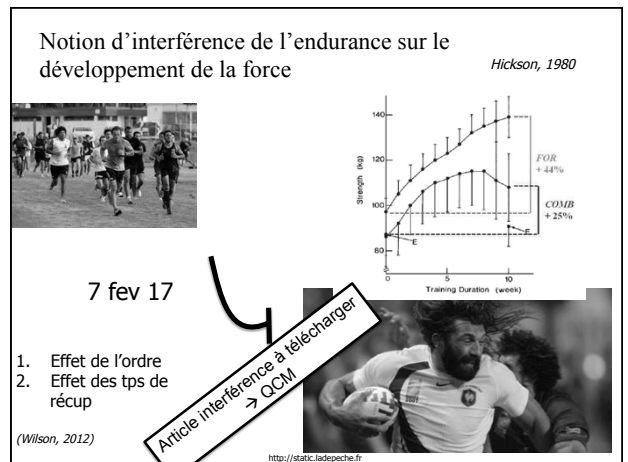
Performance	Entraînement			
	Natation	Cyclisme	Course à pied	Triathlon
Natation (vitesse %)	$\tau = 33$ $r = 0,33^{***}$	NS	NS	$\tau = 17$ $r = 0,33^*$
Course à pieds (vitesse %)	NS	$\tau = 39$ $r = 0,52^{***}$	$\tau = 47$ $r = 0,64^{***}$	$\tau = 58$ $r = 0,54^{***}$

Millet et al., 2002

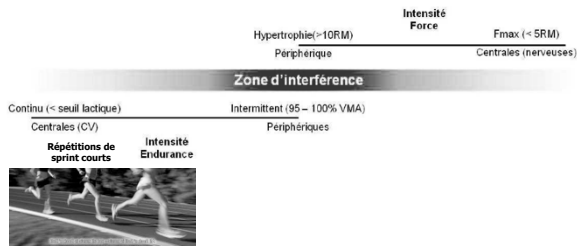
Spécificité de l'entraînement

Millet et al., 2002

Performance	Entraînement			
	Natation	Cyclisme	Course à pied	Triathlon
Natation (vitesse %)	$\tau = 33$ $r = 0,33^{***}$	NS	NS	$\tau = 17$ $r = 0,33^*$
Course à pieds (vitesse %)	NS	$\tau = 39$ $r = 0,52^{***}$	$\tau = 47$ $r = 0,64^{***}$	$\tau = 58$ $r = 0,54^{***}$



Zone d'interférence



Thèse J Robineau, 2013

Interférences physiologiques?

- Les répétitions de sprints seraient moins problématiques que l'entraînement continu
- Ou simple effet de surcharge lié à l'importance de la sollicitation supplémentaire dû à l'entraînement d'endurance (diminution du glycogène, accumulation H⁺, Pi et ADP, traumatisme) ? Un volume d'entraînement très important compromettrait les adaptations ?
- Interférences notamment quand les mêmes muscles sont concernés par les 2 types d'entraînement
- Programmation bi quotidienne possible?



Thèse J Robineau, 2013

Programmation de l'entraînement combiné

- 3 entraînements aérobie / semaine et d'une durée < 30 min
- Les entraînements en force ne doivent pas être conduits jusqu'à l'épuisement
- L'ordre force puis endurance pourrait être optimal pour les gains de force
- Un temps de récup de 6h semble être bon entre les deux séances, la fatigue n'étant pas un stimulus pour le développement de la force
- Eviter de planifier, dans la même journée, une séance de musculation mixte (bas et haut du corps) après un effort d'endurance type intermittent court.



Wilson, 2012 ; Thèse J Robineau, 2013

Remplacer l'entraînement en endurance par de la force

Gains de performance par suite d'une amélioration de :

1. La force
2. La raideur
3. Le coût énergétique

Millet et al. (2002)

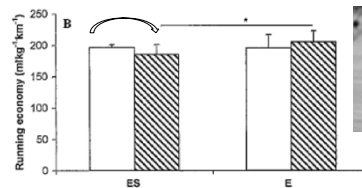
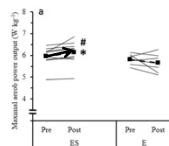


Figure 2: Changes in running economy pre and post-intervention period for the endurance-strength (ES) and the endurance-only (E) group (* = significant difference with $p < 0.05$).

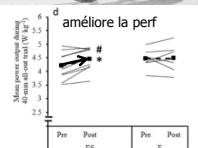
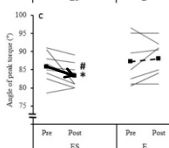
La musculation améliore le coup de pédale et la performance

20 séances sur 10 semaines, 5 séries de 10-4 RM

La musculation améliore PMA



La musculation améliore le coup de pédale



Rønnestad et al. 2015

Adaptations neuro-musculaires

Augmentation de la :

1. vitesse de montée en force
2. Force max

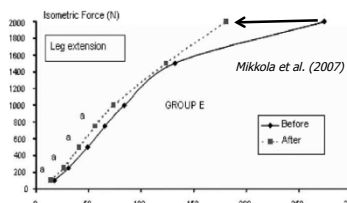


Figure 1: Force-time curve of the leg extensor muscles in isometric action before and after the 8-week training period in the experimental group (a = group-by-training interaction, $p < 0.05$).



Principe de plaisir

- Le sport ne devrait-il pas rester un jeu ? *A fortiori* chez l'enfant et l'adolescent ? Même les athlètes

doivent éprouver du plaisir dans leur pratique afin d'encaisser leurs lourdes charges d'entraînement.

- La séance est d'autant mieux supportée qu'elle est librement consentie et qu'elle est ludique en particulier pour les exercices intenses et épuisants

Principe de variété de l'entraînement

- adaptation transitoire puis une stagnation des performances →
- Surprendre l'organisme afin de déterminer des adaptations à un niveau supérieur

- Variétés dans :

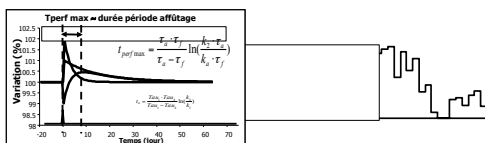
-

-

types d'entraînement, les lieux d'entraînement et les camarades d'entraînement)



Principe de surcompensation → Affûtage



Affûtage = après une surcharge, ↓ non-linéaire des charges afin ↑ la perf

Gain de perf de 2% en moyenne (6% à -1%) chez 100 nageurs qui préparaient les JO de 2000. Contre perf chez 10% d'entre eux (Mujika *et al.*, 2002).

Période de surcharge



Eviter le surentraînement à long terme

- Définition du surentraînement : effondrement des performances qui requiert une longue période de récupération (jusqu'à plusieurs mois)
- Définition du surentraînement à court terme, ou «overreaching», qui est recherché et caractérisé par une faible réduction des performances et réversible plus rapidement (Fry *et coll.*, 1991).

Surcharge

Période de 3 à 4 semaines composées de charges d'entraînement lourdes qui déterminent une chute transitoire de performance



<http://www.webactus.net/>

(Bosquet *et al.*, 2007)

Méta-analyse qui repose sur 27 études portant exclusivement sur des sportifs confirmés, fait part de variations de performance comprises entre -2,3% et 8,9% et d'une amélioration moyenne de 2%.



Réduction des charges d'entraînement



La réduction des charges d'entraînement doit être opérée sur le volume d'entraînement, l'intensité est maintenue voir augmentée, la fréquence d'entraînement est presque maintenue

Caractéristiques de l'affûtage

1. durée de l'affûtage,
2. amplitude de la réduction des charges,
3. équilibre entre l'intensité et le volume,
4. dynamique de la réduction de la charge d'entraînement,
5. contenu des séances



Recommandations sur le volume

1. ↓ Du volume de 60 à 90% (revue de littérature de Mujika Padilla, 2003) ; ex : ↓ de 12km quotidiens à 2 km
2. la méta-analyse de Bosquet et coll. (2007) suggère une diminution optimale du volume chez des athlètes confirmés entre 40 et 60%



Fréquence d'entraînement



1. Réduction des charges est obtenue par la diminution de la durée des séances plus que par la fréquence des entraînement
2. Réduction de la fréquence < 20% en particulier pour les sportifs de haut-niveau et dans les activités où la composante technique est importante

Intensité



- Le maintien voire l'augmentation de ce paramètre serait indispensable pour optimiser la performance
- Son maintien associé à une réduction de volume augmenterait la taille, l'activité ATPasique et la vitesse de raccourcissement des fibres II (Neary et al., 2003)
- Toutefois, une réduction de l'intensité, une intensité correspondant à la compétition a permis des gains de performance (Shepley et al., 1992)

Dynamique de la réduction du volume

(Banister et al., 1999)

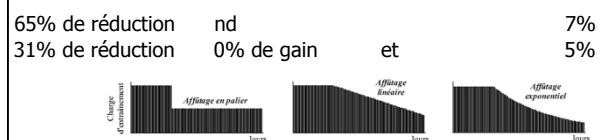


Figure 1. Représentation des formes de réduction de l'entraînement lors de l'affûtage.

Et les autres formes d'affûtage non étudiées?

La simulation avec le modèle des effets de l'entraînement peut explorer ce terrain

Forme d'entraînement

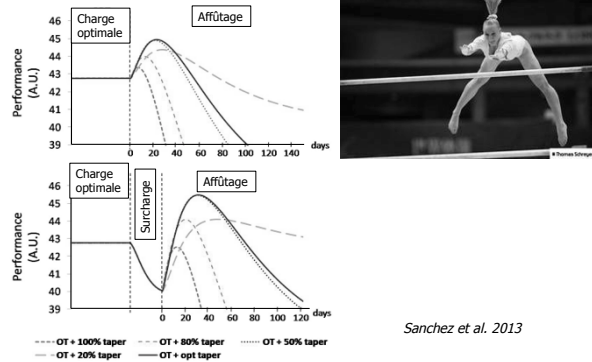
Respect de la spécificité de l'entraînement



Variabilité interindividuelle

- patrimoine génétique,
- al., 1999)
- âge, niveau d'entraînement,
- type d'activité → durée plus longue)
- **Lourdeur des charges précédant l'affûtage**
d'autant plus long que l'entraînement a été rude et inversement pas d'affûtage pour un entraînement modeste)

Modélisation- simulation chez des gymnastes de haut niveau



Sensibilité individuelle à l'entraînement

Bilan des applications directes :

1. Délais de récup avant un nouveau travail spécifique de qualité ≈ 1-10 j
2. Durée d'affûtage ≈ 1 à 4 semaines pour les athlètes d'élite et pas nécessaire pour le néophyte
3. Durée maximale de repos avant la nouvelle saison < Temps de recouvrement de la perf initiale
4. Simulation de différentes stratégies d'entraînement

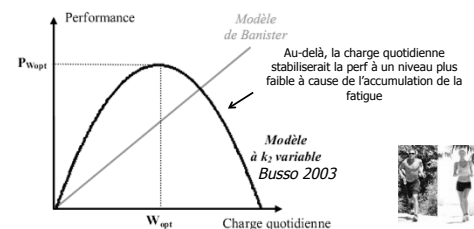
détermination individuelle possible

4. La charge optimale (celle qui détermine les gains de perf les plus importants)
5. La surcharge (120% de la charge optimale)
6. Les types d'entraînement qui autorisent un transfert positif sur la performance

Essor des outils connectés

Strava

Charge optimale



$$W_{opt} = \frac{k_1 e^{-1/t_1} (1 - e^{-1/t_2}) (1 - e^{-1/t_3})}{2k_2 (1 - e^{-1/t_1}) e^{-1/t_2}}$$

De l'utilité d'un carnet d'entraînement pour quantifier les charges d'entraînement



- Charge d'entraînement :
1. Volume (min ou n répét)
 2. Intensité (FC, V, charge addi) avec ou sans pondération
 3. Nature de l'exercice

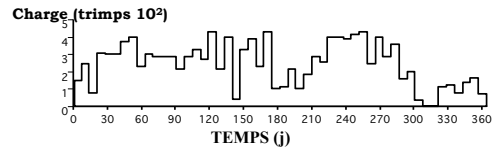
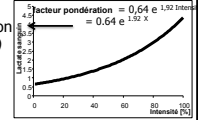
- Performance :
1. En compétition
 2. Imitation de la compétition
 3. Stat individuelles sur actions décisives en match
 4. Puissance maintenue
 5. V à une FC cible
 6. Charge / RPE

Quantification des charges avec FC (Banister et Hamilton, 1985)

$$\text{Charge} = \text{Durée} \cdot \text{Intensité} \cdot \text{Facteur pondération}$$

(trimps) (min) (%max) (sans dimension)

$$\text{Intensité} = (F_{c_{\text{exercice}}} - F_{c_{\text{repos}}}) / (F_{c_{\text{max}}} - F_{c_{\text{repos}}})$$



Charge de travail sport co

http://img9.gtstatic.com/wallpapers/1921426914651704608ed0cdf6515e0c_large.jpeg

$$\text{Travail}_{\text{distance parcourue}} = \text{coût}_{\text{mécanique}} \cdot \text{distance} \cdot \text{masse}$$

$$W_{\text{total}} = \text{Travail}_{\text{distance parcourue}} + \text{Travail}_{\text{cinétique}}$$



Travail cinétique intermittent

<http://therugbybowler.com>

$$\text{GPS: Position} \rightarrow \text{Vitesse} \rightarrow \text{accélération} \rightarrow \text{Force} \rightarrow$$

$\Delta_{\text{temps}} \quad \Delta_{\text{temps}} \quad \text{masse} \quad \text{vitesse}$

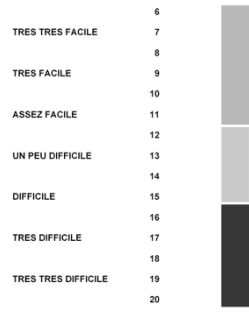
$$\text{Puissance} \rightarrow \text{Travail cinétique} \rightarrow \text{Travail cinétique total}$$

$\Delta t \quad \Sigma \text{travaux cinétiques}$

Méthode de Foster

ECHELLE DE BORG

Perception de la fatigue



$$\text{Charge Foster} = \text{RPE} \times \text{durée}$$

Quantification de la charge de travail et de la performance

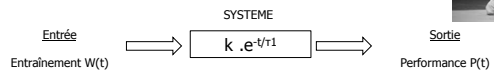
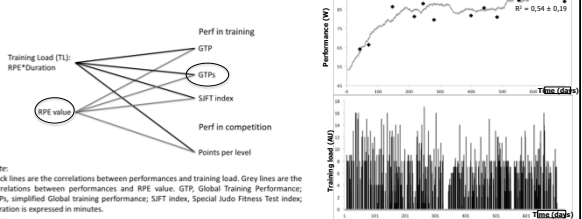


Fig 1 Correlations between performances and training loads



Note:
 Black lines are the correlations between performances and training load. Grey lines are the correlations between performances and RPE value. GTP, Global Training Performance; GTPs, simplified Global training performance; SFT index, Special Judo Fitness Test index; Duration is expressed in minutes.


Agostinho et al., 2014

Rating of perceived exertion (RPE) → **Modèle** → GTPs (Global Training Performance simplified)

Agostinho et al., 2014


ECHELLE DE BORG
Perception de la fatigue

6	
7	TRES TRES FACILE
8	
9	TRES FACILE
10	
11	ASSEZ FACILE
12	
13	UN PEU DIFFICILE
14	
15	DIFFICILE
16	
17	TRES DIFFICILE
18	
19	TRES TRES DIFFICILE
20	



Adapted from Sterkowicz et al., 1999

GTPs = ½ nb de jetés + ½ nb de tractions sur kimono



Aruga et al., 2006

Méthode simple (incluant un facteur confondant la fatigue)

Méthode de Foster =

ECHELLE DE BORG
Perception de la fatigue

6	
7	TRES TRES FACILE
8	
9	TRES FACILE
10	
11	ASSEZ FACILE
12	
13	UN PEU DIFFICILE
14	
15	DIFFICILE
16	
17	TRES DIFFICILE
18	
19	TRES TRES DIFFICILE
20	

X durée

Méthode de Busso et al., 1995 pour activité explosive


Pour les activités autres que l'endurance :

- Nbre répet au lieu de la durée
- Coefficients différents pour chaque type d'entraînement

Ex: 50 squats x 1 + 20 lancers x 0,6 + 100 bondisset x 0,1)

$$= (50 \times 1) + (20 \times 0,6) + (100 \times 0,1)$$


⇒ Charge = 72 unités d'entraînement



<http://www.reps-maville.com>


Méthode alternative

Coeff_i = RPE_i / RPE_{match}



	RPE	Coeff	W
■ 2 Tactiques 40'	8	0,50	1
■ 1 Vitesse 20'	9	0,56	0,56
■ 2 Technique 60'	11	0,69	1,38
■ 2 Muscu haut du corps	16	1,00	2
■ 1 PMA	18	1,12	1,12
■ 1 Match	16	1,00	1
TOTAL semaine			7,06

Méthode du travail mécanique du centre de masse (Fenn, 1930)




W_{cin} (J) = ½ m (V_{max}² - V_{min}²)
= 0,5 * 88 * (44,62/3,6)² - 0 = 6,8 kJ

44,62 km/h en 4s!

- W_{cm} (J) = C_m m d = C_m m (v_m t)
= 2 * 88 * (44,62/3,6/2 * 4) = 4,3 kJ

Où W_{cin} = travail cinétique; W_{cm} = travail nécessaire pour courir à une vitesse moyenne stabilisée donnée; V_{max} = vitesse maximale de sprint = 44,62 km/h; V_{min} = vitesse minimale = 0, C_m = Coût mécanique = 2 J/kg/m, d = distance parcourue, t = temps = 4s

Charge de travail



- W = W_{cin} + W_{cm} = 11,1 kJ
- W' = W / t = 2,78 kW

Travail contre la gravité

$$m = 4 \cdot 20 \cdot 2 + 20 = 180 \text{ kg}$$

- $W_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot H$
 $= (88 + 4 \cdot 20 \cdot 2 + 20) \cdot 9,81 \cdot 1$
 $= 2,63 \text{ kJ}$

- $W'_{\text{pot}} = W_{\text{pot}} / T$
 $= 2,63 / 1 = 2,63 \text{ Kw}$

Où W_{pot} est le travail potentiel en kJ, W'_{pot} est le travail potentiel en kW, m est la masse en kg, g la gravité en m/s/s, ΔH variation de hauteur en m



Sous le contrôle d'Arnold

Le 11 juillet 2013, Kilian Jornet (57kg) a battu le record d'ascension du Mont-Blanc (4810m) depuis Chamonix (1037m) en 4 heures 57 minutes.

Quelle est le travail ? **fournit contre la gravité ?**

$$W_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot \Delta H$$

$$= 57 \cdot 9,81 \cdot (4810 - 1037)$$

$$= 2110 \text{ kJ}$$



98

Quel était le travail correspondant au coût mécanique de la marche dans la neige (W_{cm})?

$$W_{\text{cm}} = \frac{\text{coût mécanique de la marche}}{2} \cdot \text{distance} \cdot \text{masse}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 16\,000 \cdot 57$$

$$= 1824 \text{ kJ}$$

$$W = W_{\text{cm}} + W_{\text{pot}}$$

$$= 1824 + 2110$$

$$= 3934 \text{ kJ}$$

99



Travail et Puissance aérodynamique



$$W_{\text{aero}} = \frac{1}{2} \cdot SCx \cdot \rho \cdot V^3$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 0,25 \cdot 1,22 \cdot (55/3,6)^3$$

$$= 544 \text{ W}$$

$$W_{\text{aero}} = W_{\text{aero}} \cdot T$$

$$= 543,81 \cdot 3600$$

$$= 1957 \text{ kJ}$$

Où W_{aero} = Puissance aérodynamique ; SCx = Coefficient de traînée aérodynamique ; ρ = densité de l'air 1,22 kg/m³ ; V = vitesse moyenne = 55 km/h ; T = temps = 3600s

Conclusion

- plus adaptée, des méthodes alternatives peuvent être retenues
- Le développement des outils connectés change la façon de s'entraîner et de quantifier les charges
- Les méthodes pour quantifier les charges d'entraînement existent

Généralisation d'une approche systématique des réponses individuelle à l'entraînement en vue d'optimiser la programmation de l'entraînement

1. analyse des exigences de l'activité
2. Principes de l'entraînement

structure de l'entraînement

Evaluation des aptitudes initiales et des effets de l'entraînement

Evaluation de la sensibilité à l'entraînement

individualisation de l'entraînement



Structure de l'entraînement

- dynamique des charges de travail sur la semaine avec un objectif particulier (développement, choc, régénération, transition...)

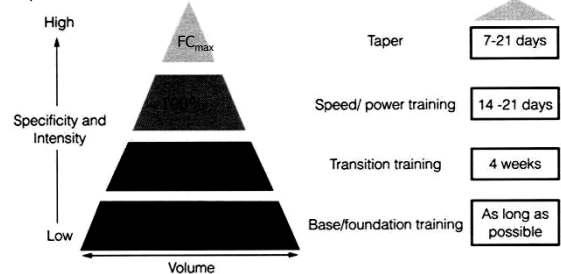
- pré-compétition
- compétition
- affûtage

l'existence de ces périodes est liée au fait qu'un sportif ne peut garder une condition optimale pendant une saison complète. La performance passe obligatoirement par une phase d'amélioration, de stabilisation et puis de décroissance (Matveiev)

Structure de l'entraînement

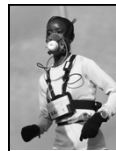
Une proposition de l'école sud-africaine

Hawley et al., 1997



Phase of training	Typical workout	Comments
Base training	Duration: 30 minutes to several hours Intensity: 70–75% of $\dot{V}O_{2max}$ 75–80% of maximal heart rate Frequency: 7–12 sessions per week	<ul style="list-style-type: none"> Undertaken during non-competitive period for as long as possible (3–6 months) High volume of training Low to moderate intensity Prolonged, continuous exercise
Transition training	Duration: 30–90 minutes Intensity: 85–90% of $\dot{V}O_{2max}$ 90–95% of maximal heart rate Frequency: 2–3 sessions per week	<ul style="list-style-type: none"> Undertaken 6 weeks prior to competitive season for 3–4 weeks Moderate volume of training Maximum steady-state/race pace Continuous or intermittent exercise
Speed training	Duration: 30–60 minutes Intensity: Maximal Frequency: 2–3 sessions per week	<ul style="list-style-type: none"> Undertaken for 2–3 weeks after transition training prior to major competitions Low volume of training Faster than race pace Intermittent exercise with long recovery between work bouts

Hawley & Burke, 1998



Ecole Kenyane

Beaucoup de travail intense en altitude

Au camp d'entraînement près d'Embu au Kenya se déroulent les trois premières semaines de mars pour préparer les Championnats du Monde de Cross. Les coureurs masculins courent environ **225 km par semaine** et les féminines **145 à 160 km**. Au camp d'Embu, les coureurs kenyans courent à une vitesse égale pour gagner les championnats du monde (2'45" à 2'48" pour les hommes et 3'10" à 3'00" pour les femmes) sur une base presque journalière, et le programme de la semaine inclut des côtes à fond, du travail d'intervalle, des séances de rythme énorme, et 19 exercices au total, tous sur un terrain accidenté à 2000 m d'altitude. Ces trois semaines de tartes sont précédées de 5 mois de développement qui préparent les membres de l'équipe du Kenya à survivre à Embu. Le travail important du stage final ne pourrait pas être réalisé sans cet important travail de base.

MOIS D'OCTOBRE

Trois entraînements par jour : 6 heures, 10 heures, 16 heures.

Les entraînements de 6 et 16 heures n'ont rien d'extraordinaire, le matin 7 à 10 km de course modérée et l'après-midi 30 à 40 minutes de "circuit kenyan d'entraînement" qui comporte des étirements, des exercices d'équilibre, des exercices de pliométrie. Ceux de 10 heures varient chaque jour et sont de plus intense, sorte longue de 10-20 km, travail de côte 15 répétitions d'une côte pentue de 200 à 300 m, fartlek alternant 2 minutes allure compétition et 1 minute de footing facile, ou bien une séance de 12 km à allure continue (on peut dire au seuil anaérobie), malgré tout le mois d'octobre est très dur, une semaine type d'octobre totalise une distance de 180 à 200 km, une grande charge, si l'on considère que l'entraînement de septembre est presque nul. La période du mois d'octobre est souvent vue comme un cycle d'entraînement choc, par ceux qui ne sont pas familiers avec la course kenyane, et en effet, la période à haut risque de blessure pour les coureurs kenyans est le mois d'octobre. Cependant le volume d'entraînement semble moins gargantuesque lorsque l'on considère le vécu des coureurs kenyans; Les enfants kenyans d'âge scolaire courent au moins 150 km par semaine pour se rendre à l'école.

<http://athletics73.over-blog.com/>

...il préfère s'entraîner chez lui au Kenya, à 2400m d'altitude.

Ses entraînements sont très durs, mélangeant résistance et vitesse. Il s'entraîne jusqu'à 3 fois par jour, 5 jours par semaine et ne court jamais le dimanche...

<http://www.volodalen.com/32historique/keino.htm>

Ecole Européenne

- Effectuer un travail de qualité à PMA
- Réaliser l'essentiel du travail foncier à vitesse modérée (en dessous du seuil) afin de limiter la fatigue en évitant la zone entre le seuil et PMA

≥ PMA



≤ au seuil



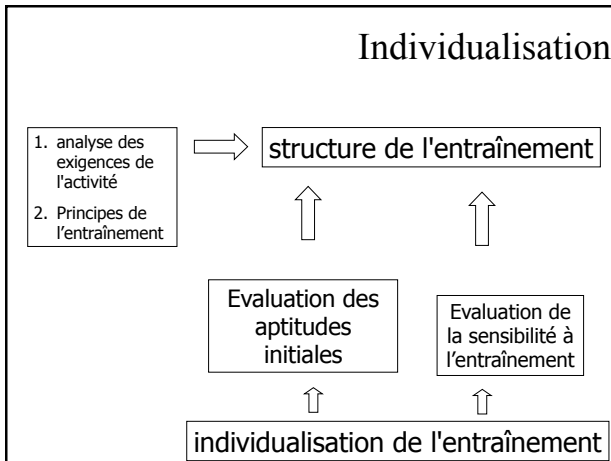
Table 6. Typical training sessions performed by highly trained athletes in five intensity zones (Aasen, 2008).

Zone	VO2 (%max)	Examples of training sessions	Manageable duration ^a
1	45-65	Continuous bouts	60-360 min
2	66-80	Continuous bouts	60-180 min
3	81-87	6 x 15 min, 2-min rec 2 x 25 min, 3-min rec 5 x 10 min, 2-min rec 8 x 8 min, 2-min rec LT 40-60 min 50 x 1 min, 20-s rec	50-90 min
4	88-93	10 x 6 min, 2-3-min rec 8 x 5 min, 3-min rec 15 x 3 min, 1-min rec 40 x 1 min, 30-s rec 10 x (5 x 40 s, 20-s rec), 2- to 3-min breaks 30-40 min steady state	30-60 min
5	94-100	6 x 5 min, 3-4-min rec 6 x 4 min, 4-min rec 8 x 3 min, 2-min rec 5 x (5 x 1 min, 30-s rec), 2- to 3-min breaks	24-30 min

^a LT, lactate threshold (max steady state); rec, recoveries.

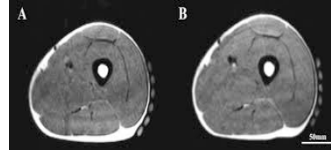
<http://www.sportsci.org/2009/ss.htm>

Individualisation



Estimation de la surface de section anatomique musculaire (CSA)

$$CSA = (4,68 \text{ circonférence}) - (0,64 \text{ pli cutané}) - 22,69$$



(Housh et coll., 1995)

La CSA estimée nécessite la mesure de la circonférence du bras et de la cuisse mais aussi de la masse grasse du biceps et du quadriceps. Ces mesures ont été réalisées avant et après chaque période d'entraînement. Le sujet était allongé avec les bras placés le long du corps, les paumes de main orientées vers les cuisses. Les mesures étaient réalisées 10 cm au dessus de l'olécranon et 20 cm au dessus de la partie supérieure de la rotule. Trois essais étaient effectués à chaque session pour les mesures de masse grasse bicipitale et du droit fémoral. La moyenne est retenue

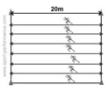
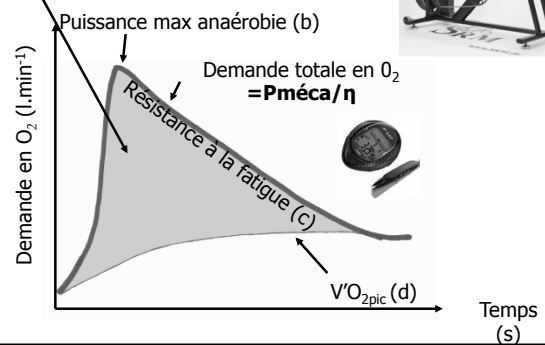
Evaluation des aptitudes initiales

$$\text{Performance} = \frac{\text{puissance métabolique}}{\text{économie}}$$

$$= \frac{(A/t + VO_{2max} f)}{(1) (2) (4)} \quad / \quad \text{économie} \quad (3)$$



Déficit en O₂ (a) pour un exercice "all out"



Application du radar : Quantification capacité anaérobie dans les sports co et activités d'opposition

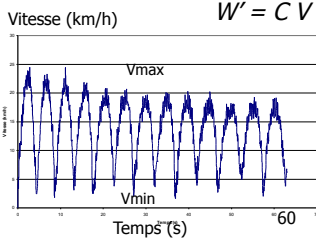


$$V \rightarrow \text{Puissance}, W' \rightarrow VO_{2max} \text{ et } A/T$$

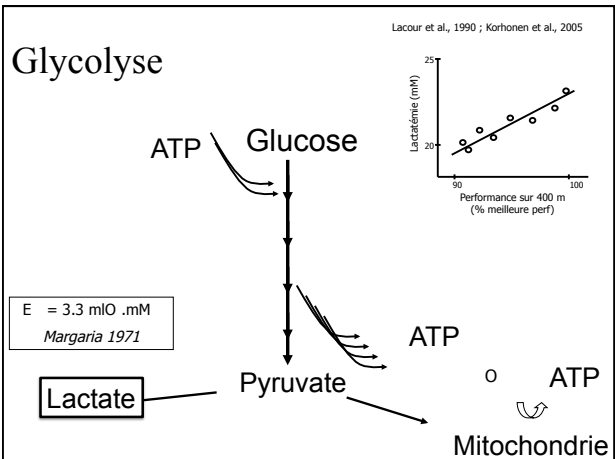
$$W' = C V + W'_{cin} = T + VO_{2max}$$

$$\text{Où } W'_{cin} = 1/2 m (V_{max}^2 - V_{min}^2) / t / \eta$$

V = vitesse instantanée, correspondant à V, A = capacité anaérobie en mlO₂/kg, T = 60 s, m = masse du sujet, t durée moyenne 1 accélération et rendement musculaire = η 0,50



Glycolyse



Capacité à répéter des sprints

TEST de référence
 n = 5 à 40 répétitions
 Récupération = 25 s

H : 40 m
 F : 30 m

Capacité à répéter des sprints

Indice de fatigue :

$$100 - \left[\frac{\text{record} * n}{\text{tempstotal}} \right] * 100$$

Capacité à répéter des sprints

Bouillon et Boisquet (2005)
 Travail dirigé (Kinesithérapie, Université de Montpellier)

Capacité à répéter des sprints

TEST de Bangsbo 1994
 n = 7 répétitions
 Récupération = 25 s

Capacité à répéter des sprints

TEST de Bangsbo 1994
 n = 7 répétitions
 Récupération = 25 s

Ansoly

$$100 - \left[\frac{\text{record} * n}{\text{temps .total}} \right] * 100$$

(4'50)
 4'53
 4'72
 4'75
 4'99
 5'03
 5'13

4'53 * 6 = 27.48
 Somme = 29.15
 Dim. Perf = 5.73%

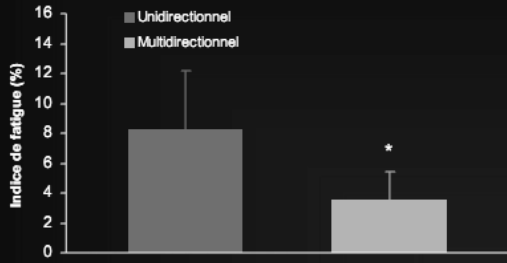
Kevin

$$100 - \left[\frac{\text{record} * n}{\text{temps .total}} \right] * 100$$

6'40
 6'40
 6'30
 6'25
 6'30
 6'40

4'53 * 6 = 37.50
 Somme = 38.05
 Dim. Perf = 1.44%

Capacité à répéter des sprints



Bosquet et Dansereau. *J Sport Sci* 2006 ; soumis

Evaluation des aptitudes initiales

$$\text{Vitesse maximale aérobie} = (V'O_{2\max} - V'O_{2\text{repos}}) / C \quad (1) \quad (2)$$

Test de course sur piste (Léger et Boucher, 1980)

mlO₂ / m/kg

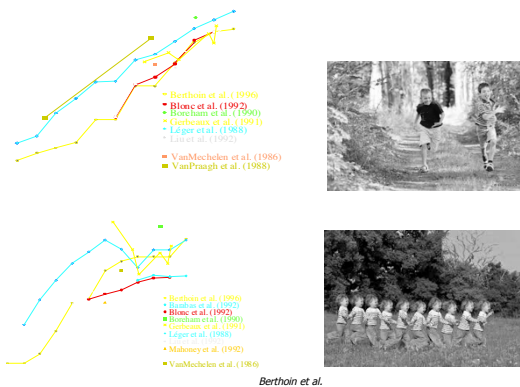


$$C = (V'O_{2\max} - V'O_{2\text{repos}}) / V$$

$$V_{\text{palier}} = (A/t + V'O_{2\max}) / \text{économie}$$

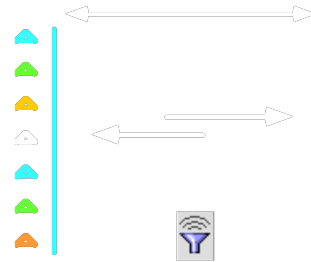
Parce que $A/t \ll V'O_{2\max}$ $V_{\text{palier}} = \text{Vitesse maximale aérobie}$

Evolution de VMA avec l'âge



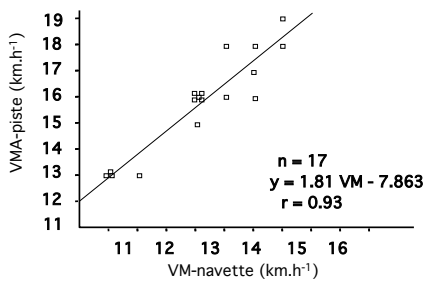
Test navette

- Léger et collaborateurs (1984)

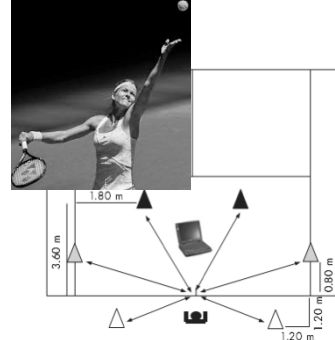


Vitesses maximales en course sur piste et en course navette

$$VMA \text{ (km.h}^{-1}\text{)} = 2.4 * VM - 14.7$$



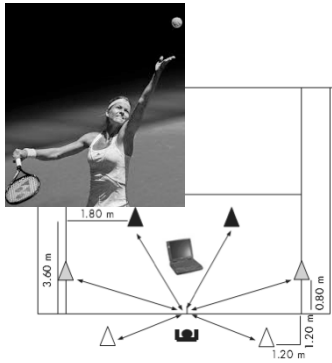
Test incrémental pour les activités intermittentes



- 1 palier = 7 courses navettes orientées sur une des 6 cibles alternées de 15s de récup passive :
 - ✓ 2 courses offensives vers l'avant
 - ✓ 3 courses latérales (neutres)
 - ✓ 2 défensives (arr.)
- Même technique de course qu'en match

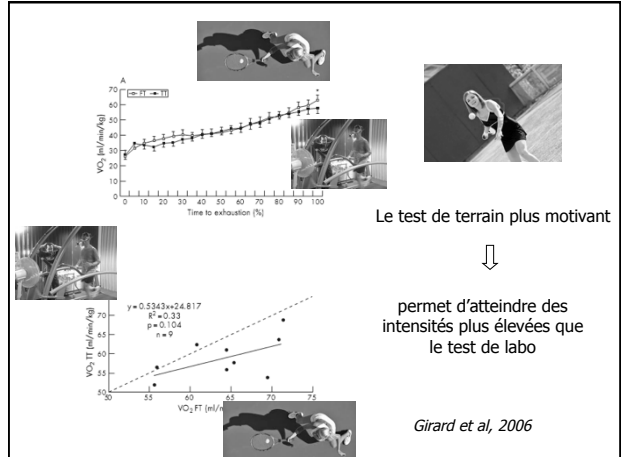
Girard et al., 2006

Test incrémental pour les activités intermittentes



- 1er palier est de 40,5s
- les paliers suivant diminue de 0,8s
- Signal visuel et bip sonore pour les cibles à atteindre piloté par un ordinateur
- Arrêt quand retard de plus d'un mètre

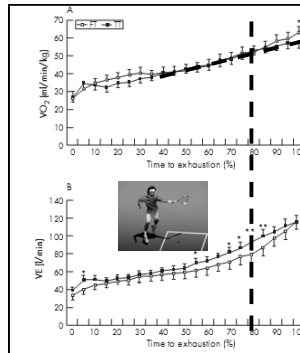
Girard et al, 2006



Test de labo intermittent

- 3 min en continu 9 km/h suivies par
- Paliers d'incrément de 0.5 km/h toutes les minutes (à plat) :
 - 45 s course
 - 15 s de marche à 5 km/h
- Arrêt de l'effort à l'atteinte de l'épuisement

Girard et al, 2006



Détermination intensité seuil

- Perte de linéarité de la relation VO_2 / T
- = 1ere intensité qui détermine une composante lente de VO_2
- = chute du rendement
- = fatigue musculaire
- = seuil ventilatoire
- = intensité max pour volume important de travail

Girard et al, 2006

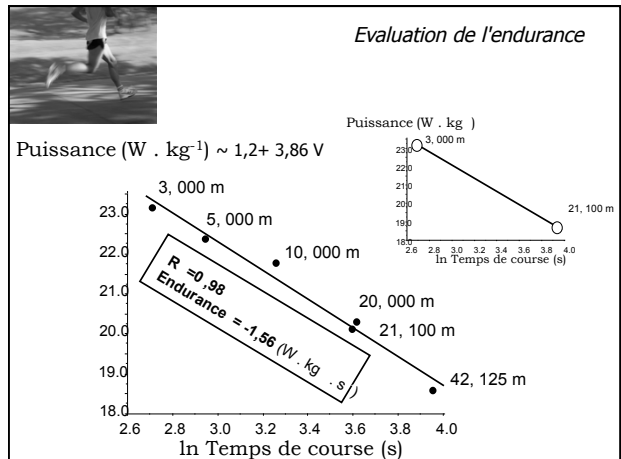
Coefficient de variation test-retest



Paramètre	FT 1	FT 2	CV (%)
T_e (s)	1479 (68)	1454 (103)	1.2
VO_{2max} (ml/min/kg)	57.4 (6.4)	58.2 (6.5)	1.0
HR_{max} (bpm)	194.3 (6.7)	187.3 (1.2)	2.6
[La] (mmol/l)	8.0 (2.8)	7.4 (2.1)	5.2
RPE (points)	17.3 (1.2)	16.7 (1.5)	2.8
VT (% VO_{2max})	73.7 (3.9)	70.9 (8.7)	2.7
VT (% HR_{max})	84.8 (3.9)	87.5 (2.6)	2.2
RCP (% VO_{2max})	90.3 (4.5)	86.5 (8.0)	3.0
RCP (% HR_{max})	94.0 (2.7)	93.6 (1.6)	0.3

Values are mean (SD). HR_{max} , maximum heart rate; [La], blood lactate concentration; RCP, respiratory compensation point; RPE, rating of perceived exertion; T_e , time to exhaustion; VO_{2max} , maximum oxygen uptake, VT, ventilatory threshold.

Girard et al, 2006





Evaluation des aptitudes initiales

Points de repère pour l'entraînement

1. Vitesse maximale aérobie ou FC correspondant à VO₂ max :

capacité anaérobie
Exercice de sprints répétés

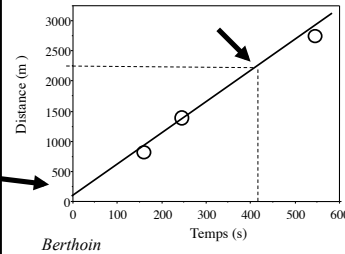
2. Vitesse cible pour le développement de l'endurance et des aspects techniques
< vitesse critique



Evaluation des aptitudes initiales

Concept de Vitesse critique

$$\text{distance} = 5,14 \cdot \text{temps} + 230$$



Performance sur 1000 m = 2 min 35

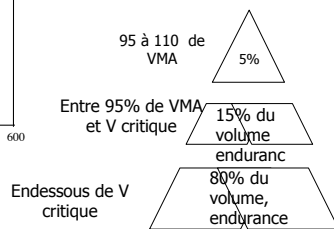
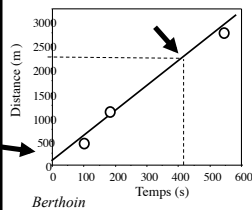
Performance sur 1500 m = 4 min

Performance sur 3000 m = 9 min

Vcritique	5,14 m/s
Vcritique	18,504 km/h
D 420s	2 388,8 m
VMA	5,7 m/s
VMA	20,5 km/h
%VMA	90%

Répartition des volumes d'entraînement

$$\text{distance} = 5,14 \cdot \text{temps} + 230$$



Dessinez une séance de développement :



- De l'endurance fondamentale de l'athlète en question
- De V'O₂max en vous appuyant sur la méthode de la vitesse critique

NB. Vous irez jusqu'à la détermination des temps de passage au km pour l'endurance et temps de passage au 100m, le nombre de répétitions, les temps de récupération etc.

Rappel : calcul d'un temps de passage



Pour une vitesse de 5 m/s le temps de passage au 100 m est facilement grâce à la définition même de la vitesse (v) :

$$v = d / t \quad (1)$$

Ici d = 100 m. En isolant t, on obtient directement la solution :

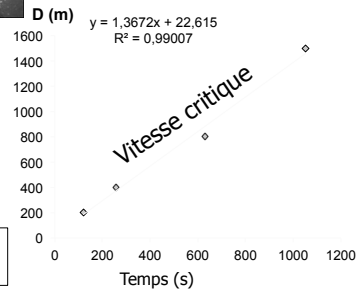
$t = d / v = 100 / 5 = 20$ s pour le passage au 100m (et 10s pour celui au 50m) .

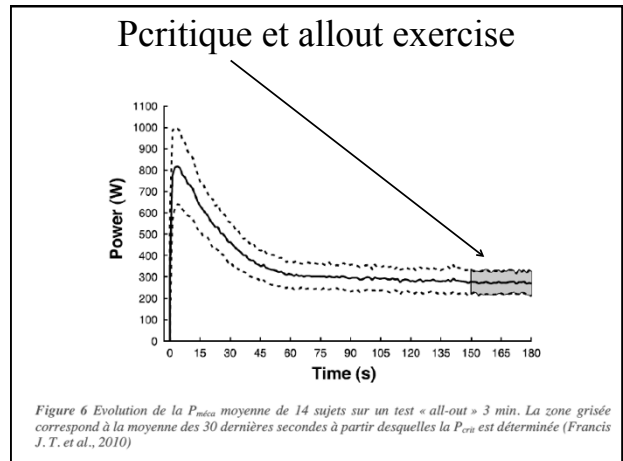
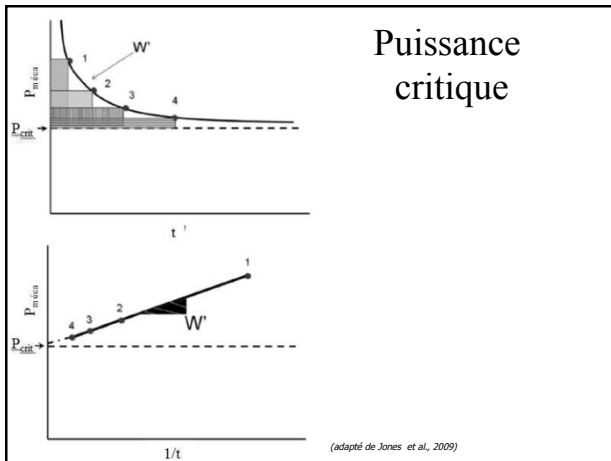


Crawl

120	200
255	400
630	800
1200	1500
2550	3000
V critique	1,4 m/s
V critique	630 4,9 km/h
VMA	1050 1,6 km/h
VMA	5,6 km/h
Vcrit%vma	0,8714625

V critique	1,4 m/s
V critique	4,9 km/h



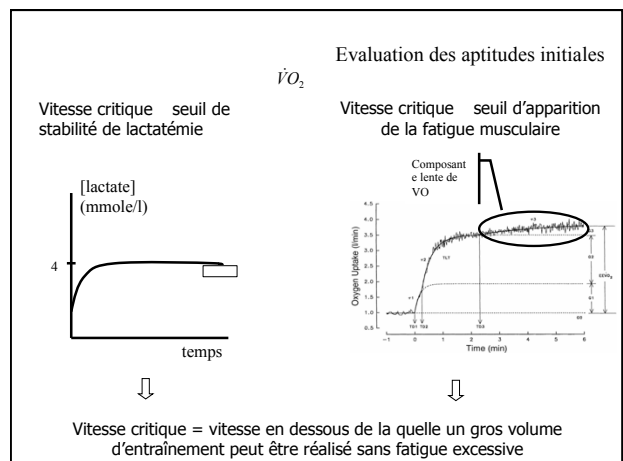
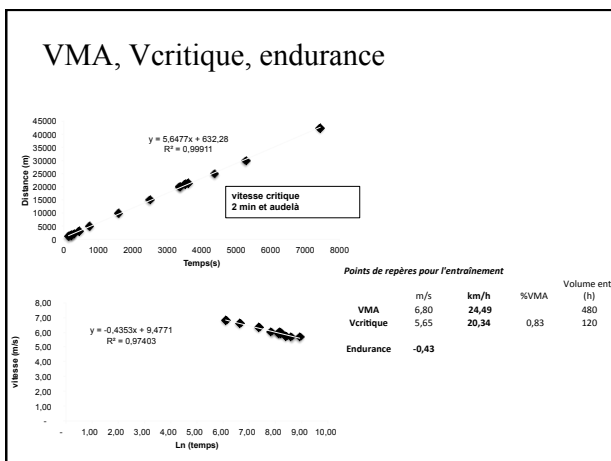


TD Application à l'élite mondiale

Distance (m)	Temps(secs)
100	9,69
200	19,3
400	43,18
800	01:41,1
1000	02:12,0
1500	03:26,0
1609	03:43,1
2000	04:44,8
3000	07:20,7
5000	12:37,4
10000	26:17,5
15000	0:41:29
20000	56:26,0
20000	0:55:48
21098	0:58:33
21285	01:00:00
25000	01:12:45
30000	01:28:00
42195	02:03:59

1. Déterminez VMA de superman en sachant que V_{O2max} peut être soutenue environ 7 min
2. Déterminez les %VMA soutenue sur les diverses distances
3. Précisez les méthodes d'entraînement qui correspondent à ces intensités et les auteurs de référence
4. Proposez une séance type avec même les temps de passage au 50m pour chacune des intensités
5. Déterminez l'endurance de superman et tracez le graph
6. Déterminez la vitesse critique de superman (exercice de 2 min et au-delà) et comparez là à la vitesse marathon
7. Déterminez les volumes d'entraînement en fonction des 3 zones d'entraînement de la méthode polarisée a/ sur l'année, b/ sur la semaine
8. Répétez l'exercice avec vos propres records personnels ou ceux d'un athlète que vous entraînez et comparez à l'élite mondiale

Distance (m)	Temps(secs)	Temps (s)	It (temps)	Vitesse (m/s)	% VMA	Type d'entraînement	Auteurs
100	9,69	9,69	2,27	10,32	152%	sprint	Longues et Coup
200	19,3	19,3	2,86	10,36	152%	sprints répétés	Bischoff, Girard
400	43,18	43,18	3,77	9,26	136%	sprints répétés	Bischoff, Girard
800	01:41,1	101,00	4,62	7,92	116%	entraînement par intervalle hautes intensités	Millet
1000	02:12,0	132,00	4,88	7,58	111%	Intervalles capacité anaérobie, VO2max	Thibaud et Marlon
1500	03:26,0	206,00	5,33	7,28	107%	Intervalles capacité anaérobie, VO2max	Thibaud et Marlon
1609	03:43,1	223,00	5,41	7,22	106%	Intervalles capacité anaérobie, VO2max	Thibaud et Marlon
2000	04:44,8	285,00	5,65	7,02	103%	Intervalles capacité anaérobie, VO2max	Thibaud et Marlon
3000	07:20,7	441,00	6,09	6,80	100%	Intervalles VO2max	Thibaud et Marlon
5000	12:37,4	757,00	6,63	6,61	97%	Intervalles VO2max	Thibaud et Marlon
10000	26:17,5	1578,00	7,36	6,34	93%	Intervalles VO2max	Thibaud et Marlon
15000	0:41:29	2489,00	7,82	6,03	89%	Intervalles endurance	Thibaud et Marlon
20000	56:26,0	3386,00	8,13	5,91	87%	Intervalles endurance	Thibaud et Marlon
20000	0:55:48	3348,00	8,12	5,97	88%	Intervalles endurance	Thibaud et Marlon
21098	0:58:33	3511,00	8,16	6,01	88%	Intervalles endurance	Thibaud et Marlon
21285	01:00:00	3600,00	8,19	5,91	87%	Intervalles endurance	Thibaud et Marlon
25000	01:12:45	4365,00	8,38	5,73	84%	Intervalles endurance	Thibaud et Marlon
30000	01:28:00	5280,00	8,57	5,68	84%	Intervalles endurance	Thibaud et Marlon
42195	02:03:59	7439,00	8,91	5,67	83%	Intervalles endurance	Thibaud et Marlon





Limites

- Modèle simple dans lequel la cinétique de $\dot{V}O_2$ n'est pas prise en compte
- L'ordonnée à l'origine (capacité anaérobie?) n'est pas corrélée avec la capacité anaérobie
- On peut estimer la vitesse critique entre 2 min et au-delà



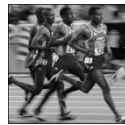
Application dans les disciplines d'endurance

- $V_{critique}$: Zone 1, 80% du volume
- 90-95% $V_{critique}$: Zone 2, 5% du volume
- 95-110% $V_{critique}$: Zone 3, 15% du volume

Détermination des aptitudes énergétiques à partir des records personnel de l'athlète

Record du monde

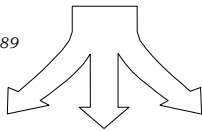
(Péronnet et Thibault, 1989)



Capacité anaérobie

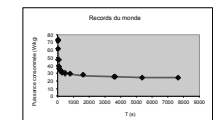
$\dot{V}O_2 \text{ max}$

Index endurance



Performances

Puissance pour courir à aux vitesses données



$$P_v = \text{BMR} + 3,86 V + 0,4 S \frac{V^3}{m} + 2 \frac{V^3}{D}$$

Puissances des métabolismes anaérobie et aérobie

Capacité anaérobie

$\dot{V}O_{2\text{max}}$

Endurance

Puissance consommée dans la locomotion



(di Prampero, 1981)

$$P_v = \text{BMR} + 3,86 V + 0,4 \text{BSA} \frac{V^3}{m} + 2 \frac{V^3}{D}$$

P. Repos=1,2

P. Non-aérodynamiques

P. Aérodynamiques, BSA=1,7m²

P. Phase accélération

Rappel

Puissance

R_a

R_{fri}

g

W_{EXT}

W_{Int}

$$P_{Ra} = 0,5 \cdot SCx \cdot \rho \cdot v^3$$

$$P_{Rfri} = C_{fr} \cdot m \cdot g \cdot v$$

$$P_{pot} = m \cdot g \cdot \Delta H / T$$

$$P_{ext} = (m \cdot g \cdot \Delta H + \frac{1}{2} m (v_{max}^2 - v_{init}^2)) / T$$

$$P_{int} = 0,1 f v (1 + (d/(1-d)) \cdot P)$$

Locomotion à hites vitesses

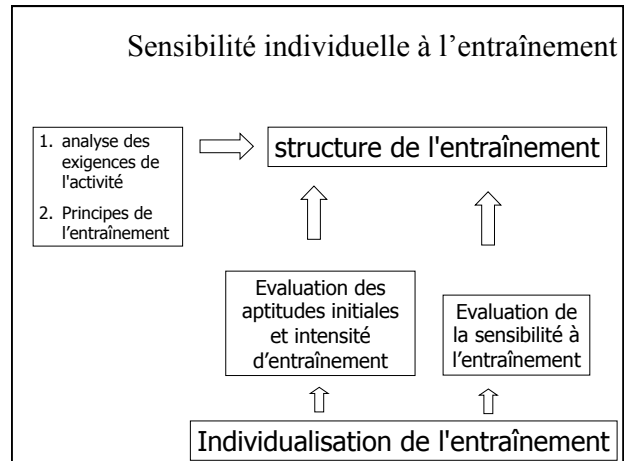
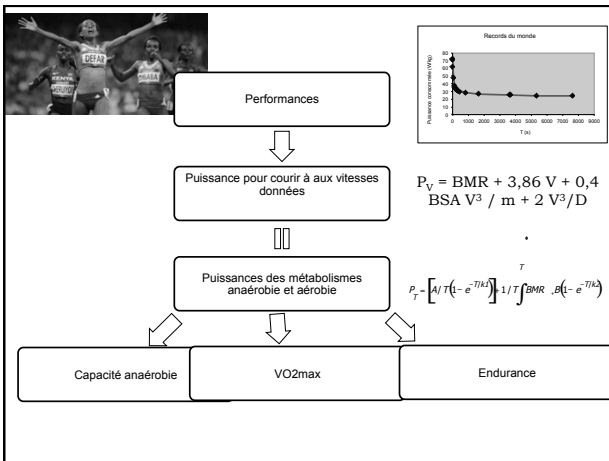
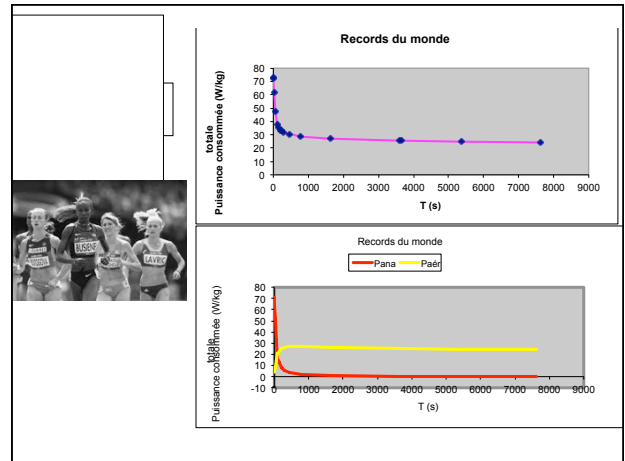
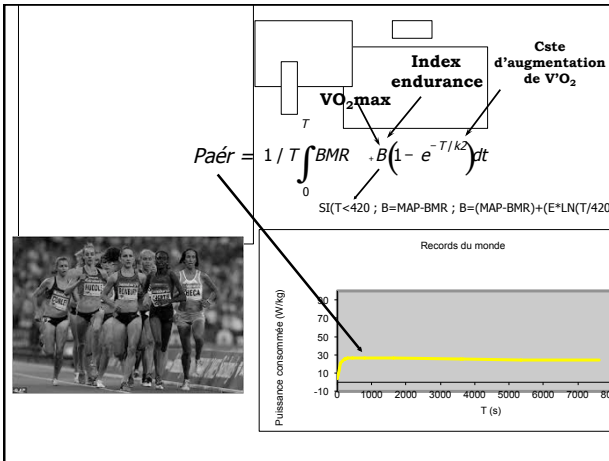
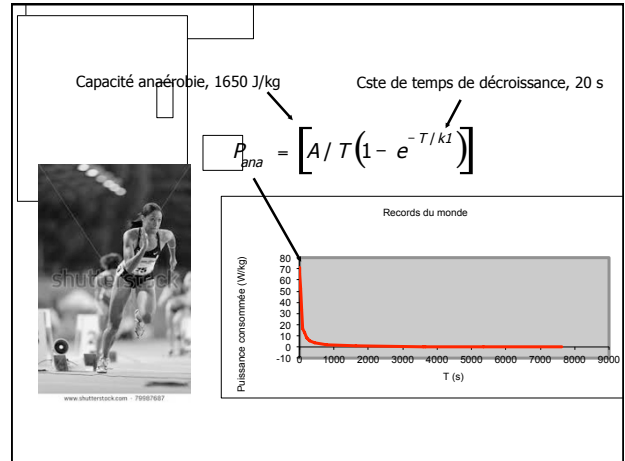
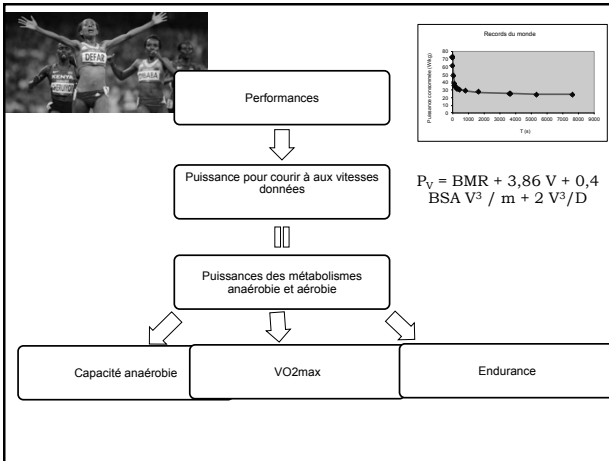
Locomotions appareillées

Locomotions en côte

Locomotions pédestres

$$0,4 \text{BSA} \frac{V^3}{(0,5 Cx \rho = 0,4)}$$

$$3,86 V + 2 \frac{V^3}{D}$$



Concept de charge limite

- coureurs à pied de 30-40 ans de niveau régional (Morton et Banister)
- Pour des athlètes d'endurance de l'élite charge quotidienne de 250 trimpes pendant un mois !
- Détermination individuelle de la charge limite utilité du carnet d'entraînement

Concept empirique



Charge optimale

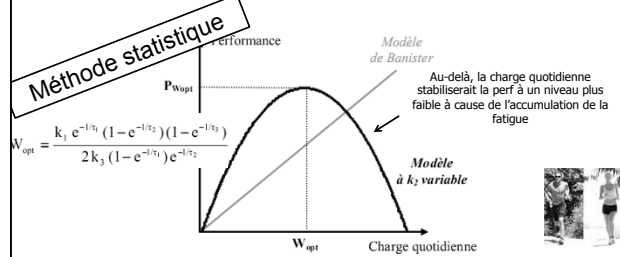


Figure 9. Relation entre la quantité d'entraînement répétée quotidiennement et le niveau de performance à l'état stable, selon le modèle à k_2 variable (noir) et le modèle de Banister (gris).

Busso 2003

Charge optimale

- Au-delà, la charge quotidienne stabiliserait la perf à un niveau plus faible à cause de l'accumulation de la fatigue
- Pour un entraînement sans monotonie, la charge optimale peut être dépassée :

d'où l'utilité de la périodisation avec surcharges et d'affûtages pour atteindre un niveau de performance encore supérieure à celui de la charge optimale

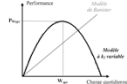


Figure 9. Relation entre la quantité d'entraînement répétée quotidiennement et le niveau de performance à l'état stable, selon le modèle à k_2 variable (noir) et le modèle de Banister (gris).

Busso 2003

Disciplines d'endurance

Cyclo-gomètre Busso et coll., 1991a.	$w = \text{Durée} \times \text{Puissance moyenne} / \text{Puissance Maximale Aérobie}$
Natation Mujika et coll., 1996a,b	$w = 1 \text{ kmI} + 2 \text{ kmII} + 3 \text{ kmIII} + 5 \text{ kmIV} + 8 \text{ kmV} = \text{équivalent de l'entraînement à sec}$ kmI, kmII, kmIII, kmIV et kmV : nombre de kilomètres parcourus aux intensités I, II, III, IV, V. Les facteurs de pondération (1, 2, 3, 5 et 8) sont proportionnels au taux de lactate sanguin mesuré au préalable à différentes vitesses de nage (v_{sup}). Intensité I : $v_{sup} = 2 \text{ mmol.L}^{-1}$; Intensité II : $v_{sup} = 4 \text{ mmol.L}^{-1}$; Intensité III : $v_{sup} = 6 \text{ mmol.L}^{-1}$; Intensité IV : $v_{sup} = 10 \text{ mmol.L}^{-1}$; Intensité V : $v_{sup} = 15 \text{ mmol.L}^{-1}$
Cyclo-gomètre Busso et coll., 1997, 2003	$w = N \times (\%PMA \text{ soutenu} / \%PMA \text{ prescrit})$ %PMA : Pourcentage de Puissance Maximale Aérobie; N : facteur basé sur le nombre de séries d'exercices intermittents, qui diffère selon la période d'entraînement; pendant une période d'entraînement intensif; N = 100 unités; pendant une période d'entraînement réduit; N = 50 unités; pour le test jusqu'à épuisement à charge constante (avec %PMA prescrit = 100%) : N = 20 × (Durée (en min) / 5). Les auteurs ont considéré que toutes les séances prescrites d'une même période avaient la même charge d'entraînement.
Cyclo-gomètre Busso et coll., 2002	$w = n_p \times (\text{Puissance} / P_{max}) \times 100$ n_p : nombre de séquences d'exercice de 5 min; P_{max} : puissance maximale développée sur 5 minutes; 100 correspondait au nombre d'unités d'entraînement allouées pour un test de P_{max} ; un test de mesure de $\dot{V}O_{2max}$ équivalait également à 100 unités d'entraînement.
Natation Aulias et coll., 2003; Hallard et coll., 2005, 2006	$w = \text{moyenne} \left(\frac{\text{kmI}}{\text{kmI}_{max}}, \frac{\text{kmII}}{\text{kmII}_{max}}, \frac{\text{kmIII}}{\text{kmIII}_{max}}, \frac{\text{kmIV}}{\text{kmIV}_{max}}, \frac{\text{kmV}}{\text{kmV}_{max}}, \frac{\text{minVI}}{\text{minVI}_{max}} \right)$ kmI, kmII, kmIII, kmIV et kmV : nombre de kilomètres parcourus aux intensités I, II, III, IV, V et VI; minVI : nombre de minutes à l'intensité VI (exercice de musculation). L'indice « max » indique les valeurs maximales des paramètres concernés au cours de la période étudiée.
Course à pied Wood et coll., 2005	$w = 2 \text{ minI} + 4 \text{ minII} + 6 \text{ minIII} + 10 \text{ minIV} + 16 \text{ minV}$ minI, minII, minIII, minIV et minV sont respectivement le nombre de minutes parcourus aux zones d'intensité I, II, III, IV et V. Les facteurs de pondération (2, 4, 6, 10 et 16) sont en accord avec la réponse du lactate sanguin à chaque intensité. Les zones I et II sont comprises entre 9% FC de réserve et la zone III; zone III = FC au seuil ventilatoire ± 5ppm; zone IV = zone III < FC < zone V; zone V = FC > (FC _{seuil} - 5 ppm).

Thomas, 2009

Disciplines explosives

Entraînement en FORCE-VITESSE	
Haltérophilie Busso et coll., 1990, 1992	$w = \text{Nombre de répétitions} \times \% \text{ Charge maximale}$
Lancer de marteau Busso et coll., 1991b, 1994, 2003	$w = IM + 0,6L + 0,1B$ M : nombre de répétitions en musculation; L : nombre de lancers effectués; B : nombre de bondissements; I : intensité moyenne pour le travail de musculation; 0,6 et 0,1 : paramètres pondérant le volume de travail.

Ex: 50 squats à 90% RM x 1 + 20 lancers à 90% x 0,6 + 100 bondisset x 0,1

$$= (50 \times 0,9 \times 1) + (20 \times 0,9 \times 0,6) + (100 \times 0,1)$$

⇒ Charge = 66 unités d'entraînement



Quantification des performances

Nbre de perf >10 (n=30 souhaitable pour la précision des résultats et des simulations)

- Épreuve de substitution plus courte que la perf réelle ()
- Ou correction de la distance en fonction du poids de l'engin chez lanceurs de marteau ()
- Echelle subjective de 0 à 10 chez des triathlètes (Millet et al., 2002)
- Vitesse à 160 de FC en course à pied (Millet et al., 2002)
- 4 x 100 m avec temps de recup codifiés en natation et al., 2002)

Quantification des performances

- Index de rendement 1 = W / charge en trimp
- Index de rendement 2 = W / RPE

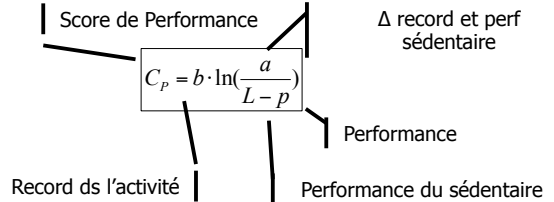


Rendement thermodynamique =
énergie mécanique / énergie chimique



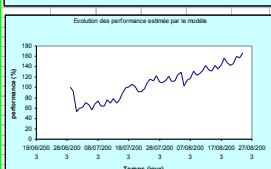
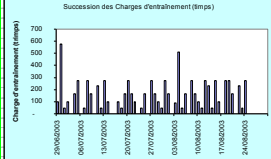
Majorer le poids des performances de niveau élevé

- Exprimer les performances sur une échelle log pour un groupe hétérogène ou pour un suivi sur plusieurs années :

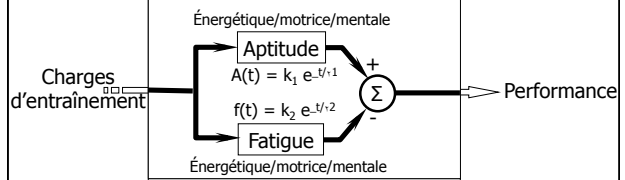
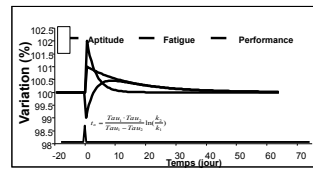


Date	Durée (min)	Fcoeur (b/min)	Type d'exercice	Charge d'entraînement (trimp)	Aptitude (b/min)	Fatigue (b/min)	Perf modèle (%)
29/06/2003	60	144		189	51.1	10.3	100.0
03/07/2003	150	170	natation	576	48	21.1	88.4
07/07/2003	180	180	natation + course p	48	48	21.1	88.4
10/07/2003	120	130	cyclisme	104	22.2	62.6	79.4
13/07/2003					25.0	63.5	61.5
14/07/2003	30	190	course à p	166	24.8	53.7	70.8
15/07/2003	120	140	natation + cyc	276	23.4	62.6	88.7
16/07/2003	120	140	natation + cyc	276	37.5	81.5	90.0
17/07/2003	180	180	natation + course p	48	36.9	69.0	87.9
18/07/2003	180	140	natation + cyc	276	37.7	69.3	74.6
19/07/2003	30	190	course à p	166	45.7	82.0	63.7
20/07/2003					50.1	88.6	63.6
21/07/2003	150	140	natation + cyc	230	49.3	73.5	76.5
22/07/2003	9	180	natation + course p	48	65.7	85.7	69.9
23/07/2003	180	140	natation + cyc	276	68.2	77.5	78.8
24/07/2003	120	120	cyclisme	100	63.9	94.0	65.9
15/07/2003					66.0	89.9	70.0
16/07/2003					68.0	79.1	86.8
17/07/2003	120	120	cyclisme	100	63.8	84.4	96.4
18/07/2003	30	180	course à p	166	62.1	73.1	100.0
19/07/2003	30	180	course à p	166	66.3	59.9	100.0
20/07/2003	180	140	natation + cyc	276	70.4	67.8	102.6
21/07/2003	30	190	course à p	166	71.9	89.6	96.0
22/07/2003	120	120	cyclisme	100	61.7	89.8	91.9
23/07/2003					62.8	86.3	97.1
24/07/2003	30	190	course à p	166	62.1	73.1	100.0
25/07/2003	30	190	course à p	166	62.2	86.8	115.5
26/07/2003	180	140	natation + cyc	276	69.0	73.1	112.4
27/07/2003	180	140	natation + cyc	276	64.8	62.4	122.3
28/07/2003	30	190	course à p	166	61.8	81.2	110.6
29/07/2003	120	120	cyclisme	100	65.6	80.6	109.6
30/07/2003	9	180	natation + course p	48	67.0	83.0	114.0
31/07/2003	180	140	natation + cyc	276	69.9	73.5	121.7
01/08/2003	30	190	course à p	166	103.9	92.1	111.8
02/08/2003	60	140	natation + cyc	92	107.4	95.1	112.3
03/08/2003	150	150	natation + cyc	160	109.6	80.6	126.1
04/08/2003	150	170	natation	610	106.7	77.5	126.1
05/08/2003	30	180	course à p	166	120.0	118.2	102.6
06/08/2003	30	190	course à p	166	120.3	105.0	110.4
07/08/2003	180	140	natation + cyc	276	121.5	106.0	117.6
08/08/2003	180	140	natation + cyc	276	121.5	89.2	131.8

Mode d'emploi
Approuvez votre source des cellules qui contiennent un commentaire (cellules repérables par un petit triangle rouge) et ce dernier apparaîtra pour vous aider à renseigner le champ. Renseignez les cases vides sans modifier les cellules jaugées en couleur car elles contiennent une formule qui s'actualise automatiquement.
Pour choisir les paramètres de fatigue et d'aptitude qui se rapprochent le plus de votre passé d'entraînement en utilisant une des 2 catégories proposées ici et simulez les effets des deux stratégies limites définies dans l'article.

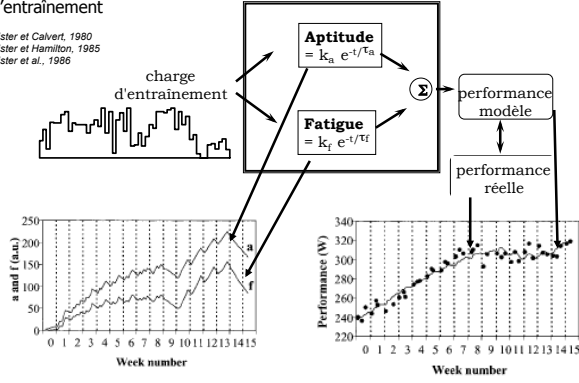


Modèle des effets de l'entraînement



Modélisation des effets de l'entraînement

Banister et Calvert, 1980
Banister et Hamilton, 1985
Banister et al., 1986

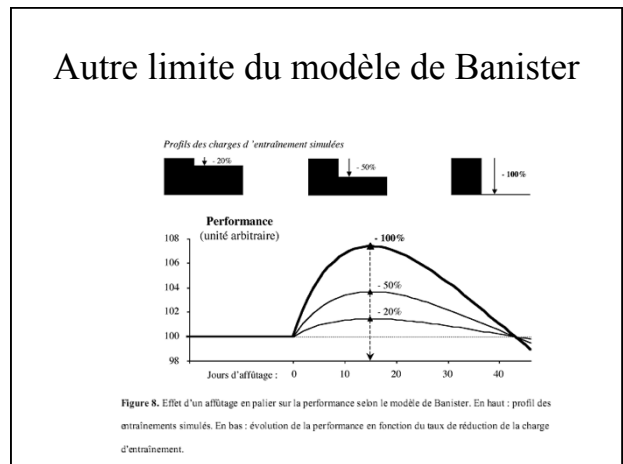
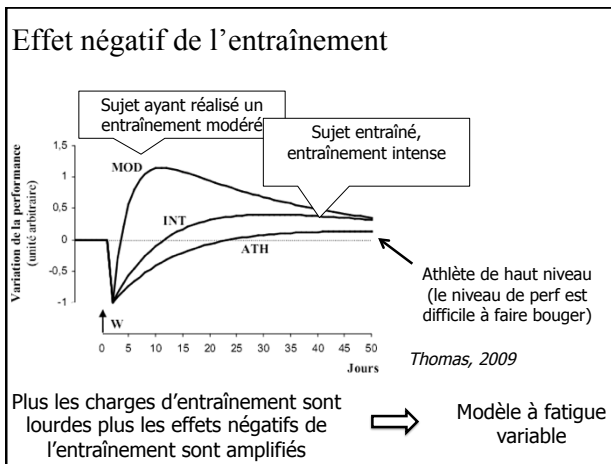
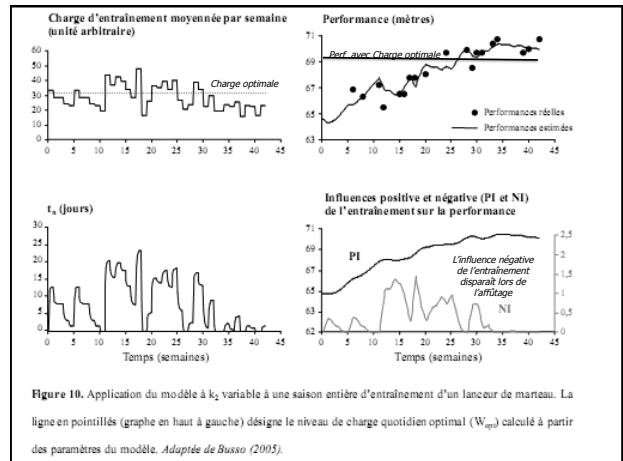
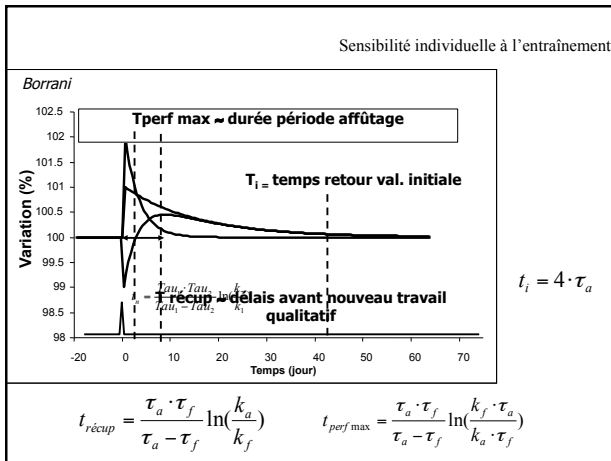


Busso et al., 2003

La sensibilité individuelle à l'entraînement est caractérisée par :

- Les 4 paramètres du modèles (K1, K2, tau1, tau2)
- La charge optimale
- La durée pour atteindre perf max
- La durée de récup
- La durée pour la disparition des effets de l'entraînement

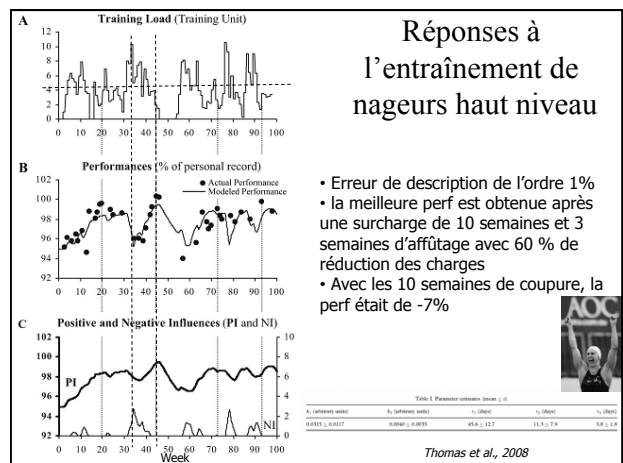




Valeurs des paramètres du modèles pour athlètes et non-athlètes

	k_1 (a.u.)	k_2 (a.u.)	τ_1 (days)	τ_2 (days)	τ_3 (days)
Non-athletes; n = 6	Mean 0.0310	0.000035	30.8	16.8	2.3
(4)	± SD = 0.0073	± 0.000010	± 1.6	± 3.3	± 1.0
Athletes; n = 7	Mean 0.0342	0.0034	43.6	12.7	4.1
(21)	± SD = 0.0096	± 0.0033	± 12.1	± 7.2	± 1.6

Thomas et al., 2009



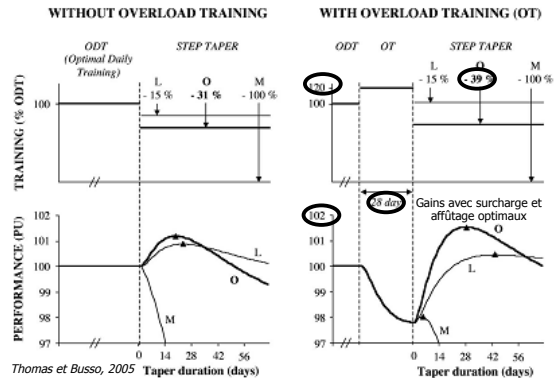
Résultat des simulations



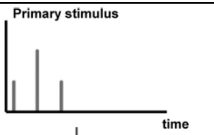
1. Le paramètre majeur dans les gains de performance est l'importance de la surcharge. Cette dernière semble optimale pour 120% de la charge optimale.
2. La durée optimale d'affûtage est de l'ordre de 3 semaines
3. La réduction optimale des charges est d'environ 60%
4. La forme de la réduction ne possède que peu d'importance

Thomas et al., 2008

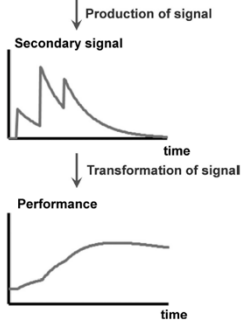
Gains grâce surcharge et affûtage optimaux



Thomas et Busso, 2005

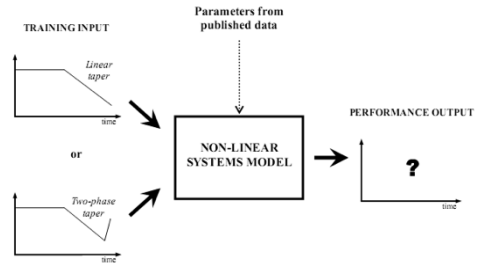


Nouveau modèle des effets de l'entraînement



Busso 2017

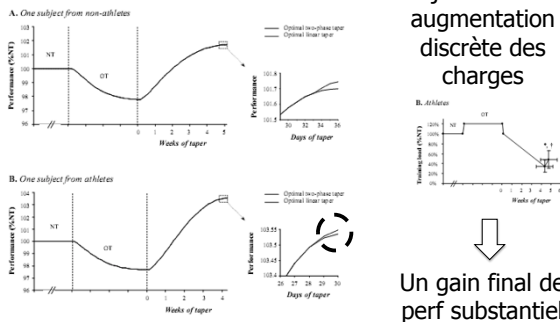
Forme optimale d'affûtage



Thomas et al., 2009

L'affûtage en deux phases semble optimal

Thomas et al., 2009



Influences négatives et positives de l'entraînement



L'effet de la charge d'entraînement réalisée au jour i sur la performance au jour n est quantifiée par :

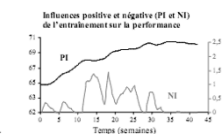
$$E(i/n) = k_1 w_1 e^{-(n-i)\tau_1} - k_2 w_2 e^{-(n-i)\tau_2}$$

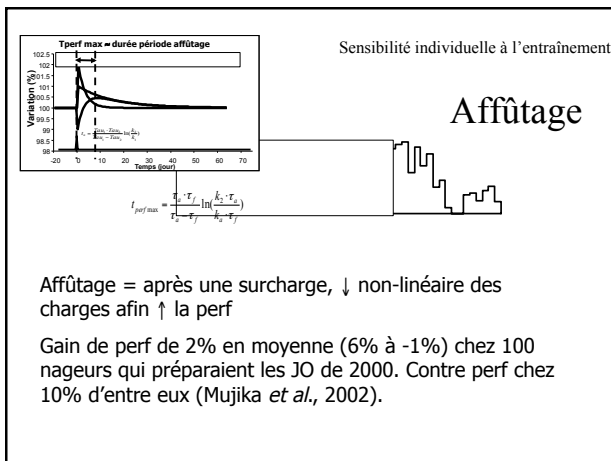
Les valeurs de PI et NI au jour n sont estimées à partir de la somme des influences positives ou négatives de chaque charge d'entraînement passée :

$$NI_n = \sum_{i=1}^{n-1} |E(i/n)|, \text{ quand } E(i/n) < 0.$$

$$PI_n = p^* + \sum_{i=1}^{n-1} |E(i/n)|, \text{ quand } E(i/n) > 0.$$

La performance estimée au jour n vérifie aussi l'équation $\hat{p}_n = PI_n - NI_n$.





- études portant exclusivement sur des sportifs confirmés, fait part de variations de performance comprises entre -2,3% et 8,9% et d'une amélioration moyenne de 2%. (Bosquet *et al.*, 2007)

Question essentielle

Quelles sont les caractéristiques d'affûtage qui permettent d'obtenir les gains de performance les plus grands ?

Paramètres de l'affûtage :

1. la durée de l'affûtage,
2. l'amplitude de la réduction des charges,
3. l'équilibre entre l'intensité et le volume,
4. la dynamique de la réduction de la charge d'entraînement,
5. le contenu des séances

Recommandations sur le volume

1. Du volume de 60 à 90% (revue de littérature de Mujika 2003) ; ex : ↓ de 12km quotidien à 2 km
2. la méta-analyse de Bosquet *et coll.* (2007) suggère une diminution optimale du volume chez des athlètes confirmés entre 40 et 60%

Fréquence d'entraînement

1. Réduction du volume obtenue par la diminution de la durée des séances plus que par la fréquence des entraînement
2. particulier pour les sportifs de haut-niveau et dans les activités où la composante technique est importante

Intensité

- Le maintien voire l'augmentation de ce paramètre serait indispensable pour optimiser la performance
- Son maintien associé à une réduction de volume augmenterait la taille, l'activité ATPasique et la vitesse de raccourcissement des fibres II (Neary *et al.*, 2003)
- Toutefois, une réduction de l'intensité, une intensité correspondant à la compétition a permis des gains de performance (Shepley *et al.*, 1992)

Dynamique de la réduction du volume

Banister et al., 1999

65% de réduction nd 7%
31% de réduction 0% de gain et 5%

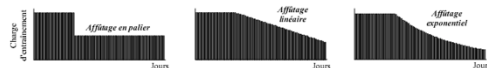


Figure 1. Représentation des formes de réduction de l'entraînement lors de l'affûtage.

Et les autres formes d'affûtage non étudiées?

La simulation avec le modèle des effets de l'entraînement peut explorer ce terrain

Forme d'entraînement

Respect de la spécificité de l'activité

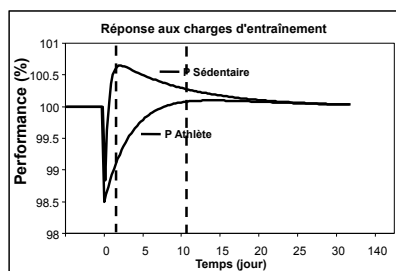


Variabilité interindividuelle

- patrimoine génétique, inter-individuelle des réponses à un entraînement donné, Bouchard et al., 1999)
- âge, niveau d'entraînement,
- type d'activité (sport traumatisant → durée plus longue)
- type d'entraînement précédant l'affûtage (l'affûtage devrait être d'autant plus long que l'entraînement a été rude et inversement pas d'affûtage pour un entraînement modeste)

Sensibilité individuelle à l'entraînement

Durée optimale affûtage



Les athlètes ont recours à de lourdes charges d'entraînement

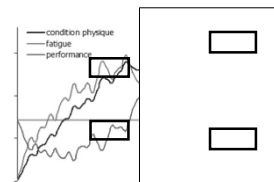
La période d'affûtage est d'autant plus longue que l'athlète est de niveau élevé

1 à 3 semaines chez les athlètes d'élite avec possibilité de la déterminer individuellement

$$t_{\text{opt min}} = \frac{\tau_a \cdot \tau_f}{\tau_a - \tau_f} \ln \left(\frac{k_1 \cdot \tau_a}{k_2 \cdot \tau_f} \right)$$

Sensibilité individuelle à l'entraînement

Affûtage



Deux cas de figure limites :

1. maintien d'un entraînement trop vigoureux → fatigue trop élevée et la performance n'atteint pas son niveau optimal le jour J mais plus tard
2. ↓ drastique de l'entraînement → désentraînement

Déterminer 2 stratégies d'affûtage entre ces 2 bornes et ajustement sur la base du 'feeling' de l'athlète et de son entraîneur

Période de surcharge



Eviter le surentraînement à long terme

- Définition du surentraînement : effondrement des performances qui requiert une longue période de récupération (jusqu'à plusieurs mois)
- Définition du surentraînement à court terme, ou « overreaching », qui est recherché et caractérisé par une faible réduction des performances et réversible plus rapidement (Fry et coll., 1991).

Sensibilité individuelle à l'entraînement



Détermination individualisée :

1. Délais de récup avant un nouveau travail spécifique de qualité ≈ 1-3 j
2. Durée d'affûtage ≈ 1 à 3 semaines après surcharge
3. Durée maximale de repos avant la nouvelle saison



4. Charge optimale (celle qui détermine les gains de perf les plus importants)
5. Surcharge optimale (120% de la charge optimale pendant 3-4 semaines)
6. Simulation de différentes stratégies d'entraînement et prévision de la période d'atteinte de la perf maximale

Conclusion

L'entraînement continuera de fasciner sans doute en raison de la difficulté que l'on éprouve à le maîtriser et cela malgré les connaissances accumulées.



Perspectives

Individualisation de l'entraînement sur la base :

- (i) d'une évaluation fiable des aptitudes de l'athlète
- (ii) Une approche plus systématique de la réponse individuelle à l'entraînement



Marqueurs du Surentraînements

- Lourdes charges d'entraînement (hautes intensités en particulier) => risques de surentraînement
- Définition du surentraînement : diminution durable de la performance alors que les charges d'entraînement sont maintenues
- Modélisation de l'entraînement : outils excellent pour :
 1. Caractériser le surentraînement
 2. Anticiper sur sa survenue

Anticiper le surentraînement

- Concept de charge limite (utile pour le pratiquant moyen)
- Fonction négative de transfert (~ fatigue, outils plus fin)
- Fatigue perçue
- Concept de charge optimale (gain de perf maximal, point de repère --> 120% pendant 4 semaines max puis affûtage)
- Marqueurs biologiques (ferritine, VGM, testostérone/cortisol, variabilité cardiaque)



Fatigue perçue

- Une aide supplémentaire précieuse
- Sert également pour ajuster l'entraînement d'une semaine sur l'autre

Échelle de Borg	Borg's Scale	
très très facile	6	very, very light
	7	
très facile	8	very light
	9	
assez facile	10	fairly light
	11	
	12	
un peu difficile	13	somewhat hard
	14	
difficile	15	hard
	16	
très difficile	17	very hard
	18	
très très difficile	19	very, very hard
	20	

<http://www.ott.zyinet.co.uk/>

Concept de charge optimale

- Gain de perf maximal, point de repère --> 120% pendant 4 semaines max puis affûtage
- Evaluation possible avec modèle de Busso 2003 (fonction négative de fatigue variable en fonction de la dynamique des charges)



Concept de charge optimale

Obtenu en augmentant systématiquement la charge quotidienne pour une athlète donné

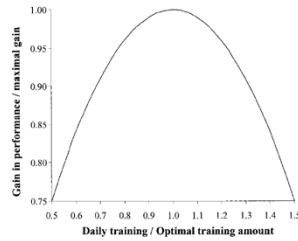
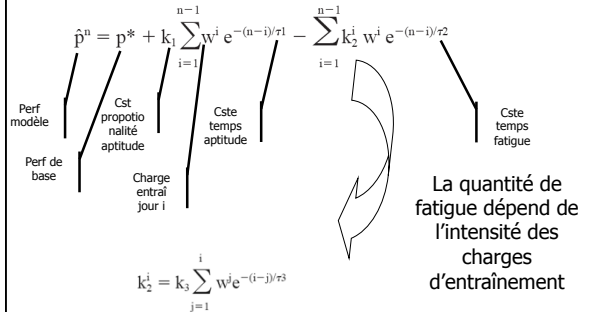


FIGURE 3—Gain in performance at steady state for a same training amount repeated each day. Performance gain was expressed according its maximal value. Training amount was referred to optimal training yielding maximal gain in performance. Computations were made with the model proposed in this study with $\tau_1 = 30$ d, $\tau_2 = 17$ d, $\tau_3 = 2$ d, $k_1 = 0.03$ arbitrary units, and $k_3 = 0.000035$ arbitrary units.

Modèle de Busso 2003



Discrétisation du modèle

- Calculez l'évolution de l'aptitude :
aptitude au jour $i = (k_1 w_{i-1} + A_{i-1}) e^{(-1/\tau_1)}$
- Celle de la fatigue
fatigue au jour $i = (k_2 w_{i-1} + F_{i-1}) e^{(-1/\tau_2)}$
Où $k_2 = (k_3 w_{i-1} + k_{2i-1}) e^{(-1/\tau_3)}$
- Et de la performance $i = \text{perf base} + (\text{aptitude}_i - \text{fatigue}_i)$



Marqueurs biologiques

- Ferritine,
- VGM,
- Testostérone/cortisol,
- Variabilité cardiaque



Testostérone libre / cortisol

- Valeur seuil = $0,35 \cdot 10^{-3}$ Testostérone en nanomole par litre (nmol/L) and on cortisol (C) in micromoles par litre ($\mu\text{mol/L}$) ;
absolue pas très discriminante
- Ou une \downarrow de 30% du rapport
- Grille éditée pour les sports collectifs

Banfi and Dolci, 2007

Testo/cortisol et risques de surentraînement dans les sports collectifs

Testo libre/ cortisol

TABLE 1—Classification of FT/C values observed in the 9 seasons on the basis of 9 different categories.

	July 2000	November 2001	January 2002	March 2002	July 2002	September 2002	December 2002	January 2003	March 2003
FT/C									
0-0.3 normal	16	13	11	14	12	4	3	5	5
0.76-0.9 no risk of overtraining	1	5	2	1	3			2	1
0.71-0.75 very low risk of overtraining	1	2	1	1			1	1	1
0.68-0.7 low risk of overtraining	2	1	2	3		1	2	2	4
0.58-0.65 initial risk of overtraining: warning	1	2	2	3			1	2	
0.51-0.57 risk of overtraining: re-evaluate training programs			2			1	1		
0.43-0.5 high risk of overtraining: stop of training programs						1	1	1	
0.35-0.42 very high risk of overtraining: stop of training programs and competitions									
<0.35 frank overtraining						2	1		



Variabilité cardiaque

L'entraînement détermine une altération de l'équilibre entre système nerveux sympathique et para sympathique

1. autre séance dure
2. Marqueur précoce de l'état surentraînement



La variabilité cardiaque :

- signifie pas que la période entre chaque battement est toujours de 1,0 seconde, mais celle-ci peut varier de 0,5 à 2,0 secondes.
- La VFC dépend de l'état de forme. La VFC d'un coeur en bonne santé est généralement importante au repos. Les autres facteurs qui affectent la VFC sont l'âge, l'hérédité, la position du corps, l'heure et l'état de santé. Pendant un exercice, la VFC décroît lorsque la fréquence cardiaque et l'intensité de l'exercice augmentent. La VFC décroît aussi pendant les périodes de stress.
- La VFC est régulée par le système nerveux. L'activité du système parasympathique fait baisser la fréquence cardiaque et augmenter la VFC, tandis que l'activité du système sympathique fait augmenter la fréquence cardiaque et réduire la VFC.

En pratique

VFC est appréciée par exemple avec un Polar (dans les fonctions OwnZone, OwnIndex et OwnOptimizer). Si, d'une séance à l'autre, VFC diffère pour une allure et une fréquence cardiaque donnée, cela indique des modifications dans l'assimilation des charges d'entraînement.

Protocole plus rigoureux proposé plus loin



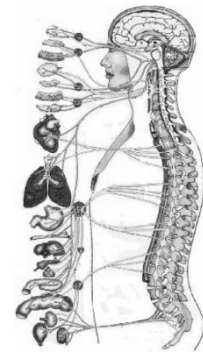
Effets physiologiques

Orthosympathique:

Adrénaline, noradrénaline
 En relation avec les oscillations de pression artérielle
 Glycogénolyse (stimule la libération du glucagon et inhibe la libération d'insuline)
 Accélérateur du rythme cardiaque
 Prépare à l'action
 Augmente la vigilance...

Parasympathique:

Acétylcholine
 En relation avec la respiration (rythme et amplitude)
 Glycogénogénèse (stimule la libération d'insuline et inhibe la libération du glucagon)
 Régule les facteurs de Resynthèse des substrats, l'homéostasie
 Ralentit le rythme cardiaque
 Calme...



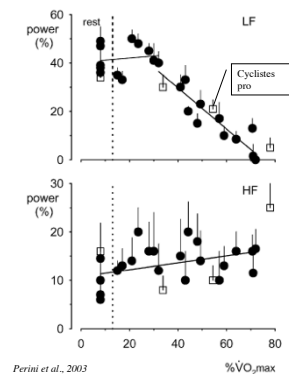
La variabilité cardiaque :

- Utilisée dans la prévention des risques de mort subite, dans les cas diabète avec atteinte du système nerveux autonome
- Est plus faible lors de l'exercice léger par rapport au repos strict
- ↑ en période précompétitive (*al.*, 2006)
- ↓ période de compétition

Effet de l'intensité de l'exercice

- Les basses fréquences ↓ (levée de l'inhibition vagale)
- Les hautes fréquences ↑ (mise en jeu des catécholamines)

A l'exercice



Effet de l'entraînement

- ↓ FC au repos
- ↑ variabilité de FC

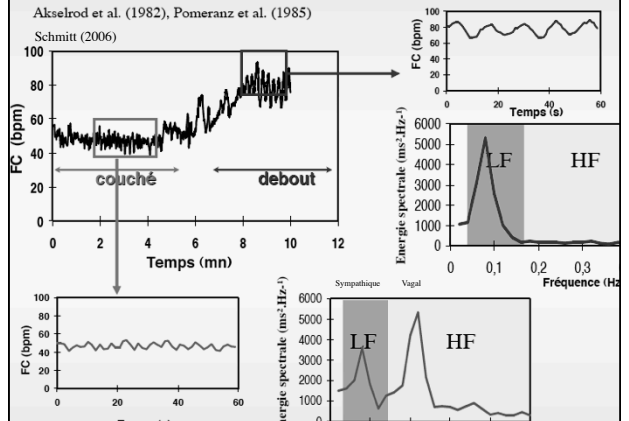
Au repos

Meilleure régulation du système nerveux végétatif

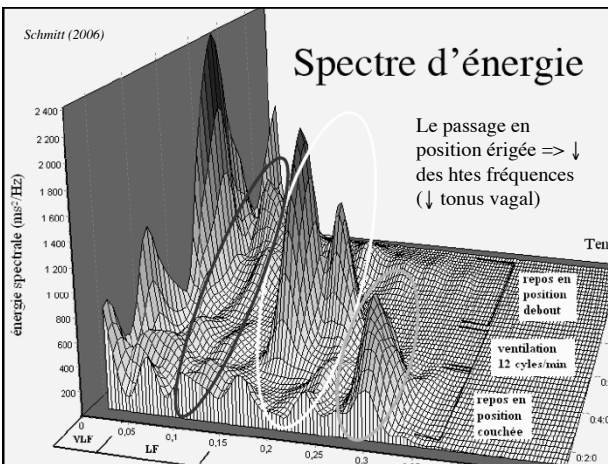
↑ du tonus vagal au bout de 3 mois => impact positif sur la santé et la performance



Fréquence cardiaque et variabilité cardiaque



Spectre d'énergie



VFC- entraînement - hypoxie

Schmitt (2006)

stimulus	Effets sur VFC	Auteurs
Endurance aérobie	HF ↑ BF → VFC totale ↗	Iellamo et al. (2002), Mourou et al. (2003), Pichot et al. (2002), Yamamoto et al. (1991), Carter et al. (2003), Hautala et al. (2003), Iwasaki et al. (2003), Pober et al. (2004)
Anaérobie lactique	HF ↓ BF ↓ VFC totale ↘	Jout et al. (1990), Bonaduce et al. (1999), Pichot et al. (2000), Iwasaki et al. (2006), Cottin et al. (2004), Mourou et al. (2004), Hedelin et al. (2000), Uusitalo et al. (2002)
Aérobie, charge ent > 75%	HF ↓ BF ↓ VFC totale ↘	Iellamo et al. (2002)
Hypoxie	HF ↓ BF ↓ VFC totale ↘	Passino et al. (1996), Bernardi et al. (1996), Mazzuero (2001), Perini et al. (1996), al. (2005), Yamamoto et al. (1996)
Hypoxie et	HF ↓ BF ?	Yamamoto et al. (1991), Bernardi et al. (1996), Buchheit et al. (2004), Povea et al. (2004)

Méthode

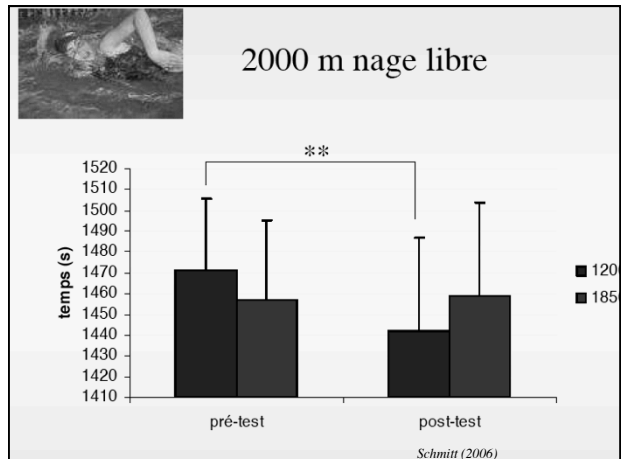
Schmitt (2006)

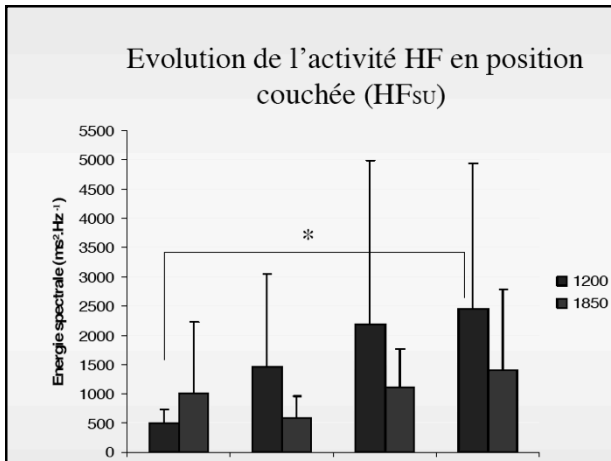
❖ Athlètes de haut niveau

(Burtcher et al. 1996)



2000 m nage libre



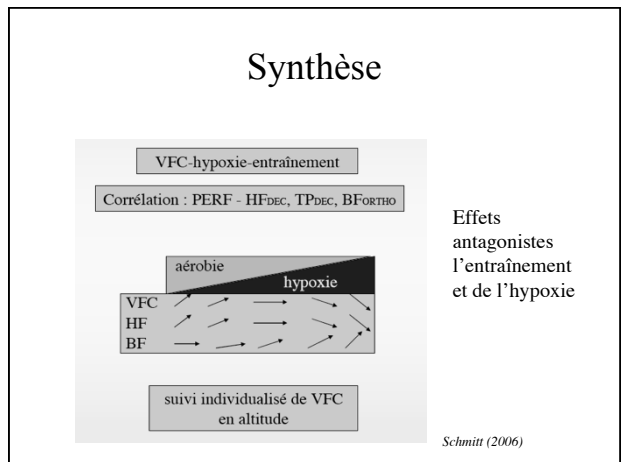
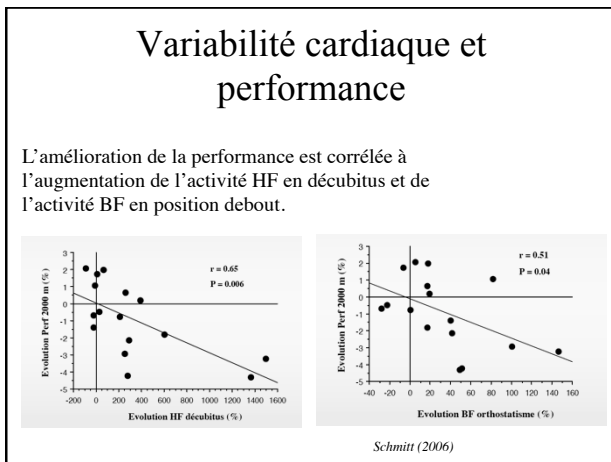


T1200 : 1471 ± 35 vs. 1442 ± 45 s ; P<0.01
 T1850 : 1457 ± 38 vs. 1459 ± 45 s

Un entraînement à dominante aérobie, identique en charge et en intensité, a induit un effet positif à 1200 m et pas à 1850 m.

L'analyse de la VFC peut apporter une explication

Schmitt (2006)



VFC et acclimatation

L'effet hypoxique aigu (1850 m) a induit une baisse de l'activité HF couché pendant les 5 premiers jours, une remontée pendant les 6 jours suivants, et un retour proche du niveau initial le 17ème jour.

Hughson et al. (1994), Liu et al. (2001), Perini et al. (1996), Sevre et al. (2001), Yamamoto et al. (2001)

Schmitt, 2006

Conclusion

- Approche systématique prometteuse pour anticiper sur le surentraînement (charge optimale, simulation de l'entraînement prévu, ajustement final avec fatigue perçue)
- Marqueurs biologiques comme la variabilité cardiaque extrêmement utiles (sortir des schémas classiques sans prendre trop de risque)

Evaluation du cours

- A. Vous avez appris des éléments nouveaux ?
- B. Clarté de l'exposé ?
- C. Structure du cours ?
- D. Iconographie et illustration appropriées ?
- E. Relation théorie/pratique réussie ?
- F. Temps consacré à chaque partie adapté ?



Interval training de haute intensité

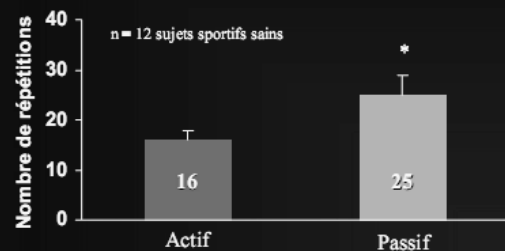
- 80-100%
- Sprint interval training (SIT) Weston (2014), 20, 25 min avec 10 min à haute intensité : 4 à 6 fois 30s, 4 min de récup (Gibala, 2006)
- Effet équivalent avec l'entraînement continu avec durée effective 10x supérieure.
- Adaptation plus spécifique à la périphérie

SIT

- Risque lié aux exercices de htes intensités et long
- 10s 2 min d'exercice
- Probablement difficile à mettre en œuvre sur le sédentaire

Effet du type de récupération sur la performance intermittente

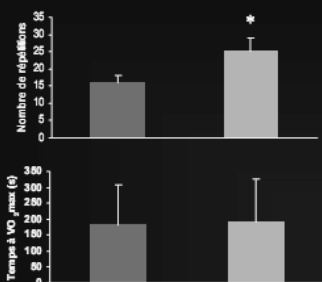
15 secondes à 120% ; récupération = 15 secondes à 0 ou à 50%



Dupont et coll.

Eur J Appl Physiol 2003 · 89 · 548-554

Effet du type de récupération sur la performance intermittente



Dupont et coll.

Eur J Appl Physiol 2003 · 89 · 548-554

Pour développer VO_{2max}, les récupérations actives sont préférables



Puissance consommée (W · kg⁻¹)

$$P_T = \left[\frac{A}{T} (1 - e^{-T/k_1}) \right] + 1/T \int_0^T BMR + B(1 - e^{-T/k_2}) dt$$

Labels: 'Capacité anaérobie' points to the first term; 'Index endurance' points to the second term. 'P. anaérobie' is below the first term, 'P. aérobie' is below the second term. 'VO_{2max}' is above the second term.

Si T < 420s ; B = VO_{2max} - BMR ;
Si T > 420s ; B = (VO_{2max} - BMR) + (E ln(T/420))

(Péronnet et Thibault, 1989)