

Bases physiologiques de l'entraînement en TRAIL



François Nicot

<http://securite-en-montagne.e-monsite.com>

Le pratiquant, au cœur du débat

Facteurs psychologiques
Représentations mentales

Cadre de vie

Motivation
(intrinsèque / extrinsèque)

Disponibilité
(profession, famille, ...)

« Objectifs réalistes »

Potentiel d'état
et de progrès

Habiletés physiques, techniques, tactiques

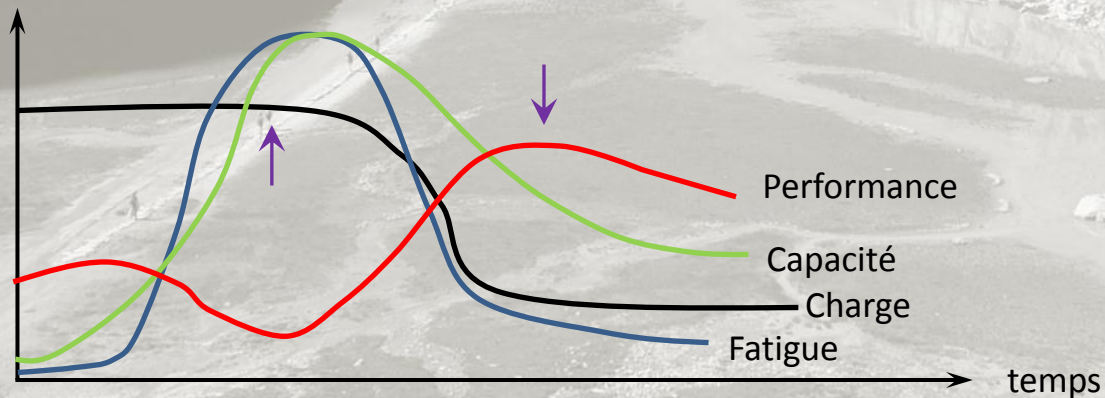
Les grands principes de l'entraînement (1)

Charge d'entraînement = Quantité x Intensité

Planifier la charge d'entraînement → gérer alternance entre Travail et Récupération

Conséquence de l'entraînement :
→ améliore les capacités / habiletés physiques
→ induit de la fatigue

Performance = Capacité - Fatigue



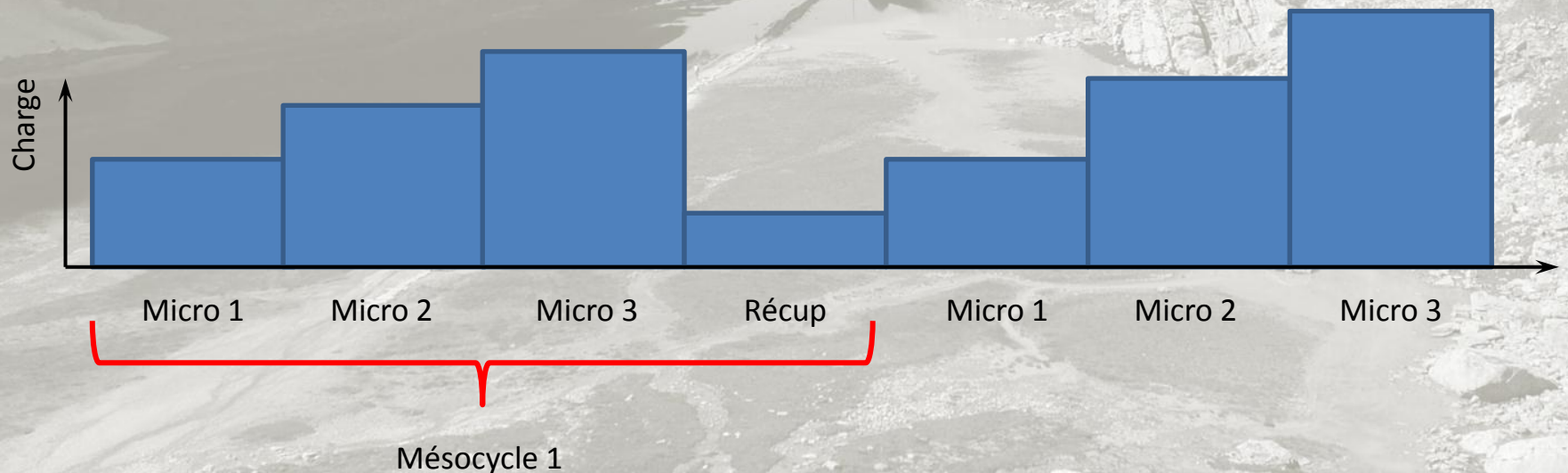
Les grands principes de l'entraînement (2)

Saison annuelle : 1 à 3 macrocycles séparés par des objectifs de compétition

Macrocycle : 2 à 6 mésocycles

Mésocycle : ensemble de 3 semaines (microcycles) terminé par un cycle de récupération

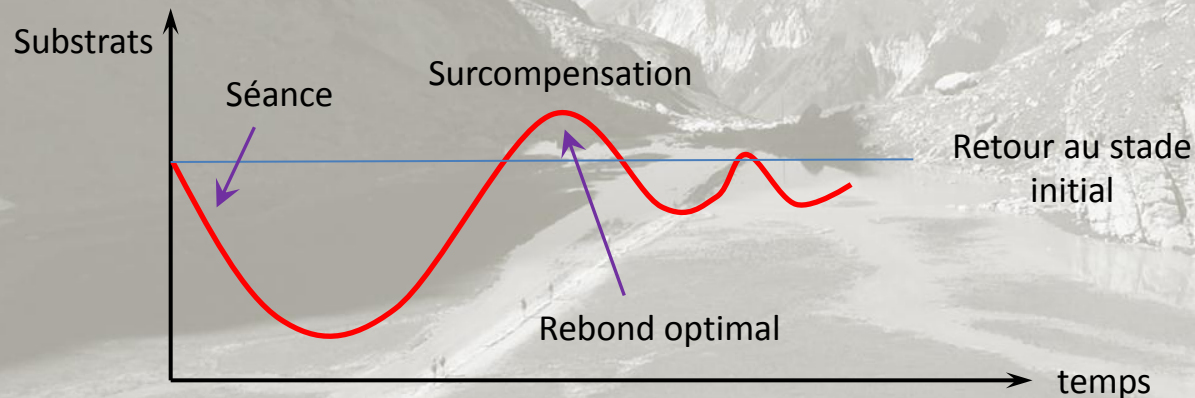
Microcycle : Unité de base de l'entraînement (semaine)



Les grands principes de l'entraînement (3)

Comment construire un microcycle (semaine d'entraînement) ?

- **Progressivité** (on augmente d'abord le volume, puis l'intensité)
- **Alternance** (dans le volume, l'intensité et la nature des séances)
- **Spécificité** (courir souvent pour courir vite et longtemps)
- **Surcharge / Surcompensation**



Attention au surentraînement !

Gestion du sommeil, de la récupération, de l'alimentation

Etirements (30 min / jour minimum...)

Les déterminants du Trail



Milieu montagne (altitude, climat, type de terrain, orientation)

Endurance extrême (distance, D+ et D-)

Ruptures de rythme, transitions montée/descente

Montée → puissance aérobie (VMAa)

Descente → solidité musculaire (collagène musculaire)

Plat → vitesse de course (VMA)

Maîtrise de la trajectoire

Stabilité des appuis

Résistance mentale

Gestion de l'effort (savoir doser son effort sur le long terme)

Gestion nutritionnelle

Gestion de l'équipement

Quelques définitions

Endurance : Capacité à exercer sur une longue période un travail musculaire en filière aérobie (avec oxygène)

Ex. Puis-je courir longtemps ?

Puissance aérobie : Puissance que peut produire un travail musculaire en filière aérobie

Ex. Puis-je courir vite pendant au moins 6 minutes ?

VMA : Vitesse Maximale Aérobie

C'est la vitesse maximale à laquelle je peux courir pendant (~) 6 minutes

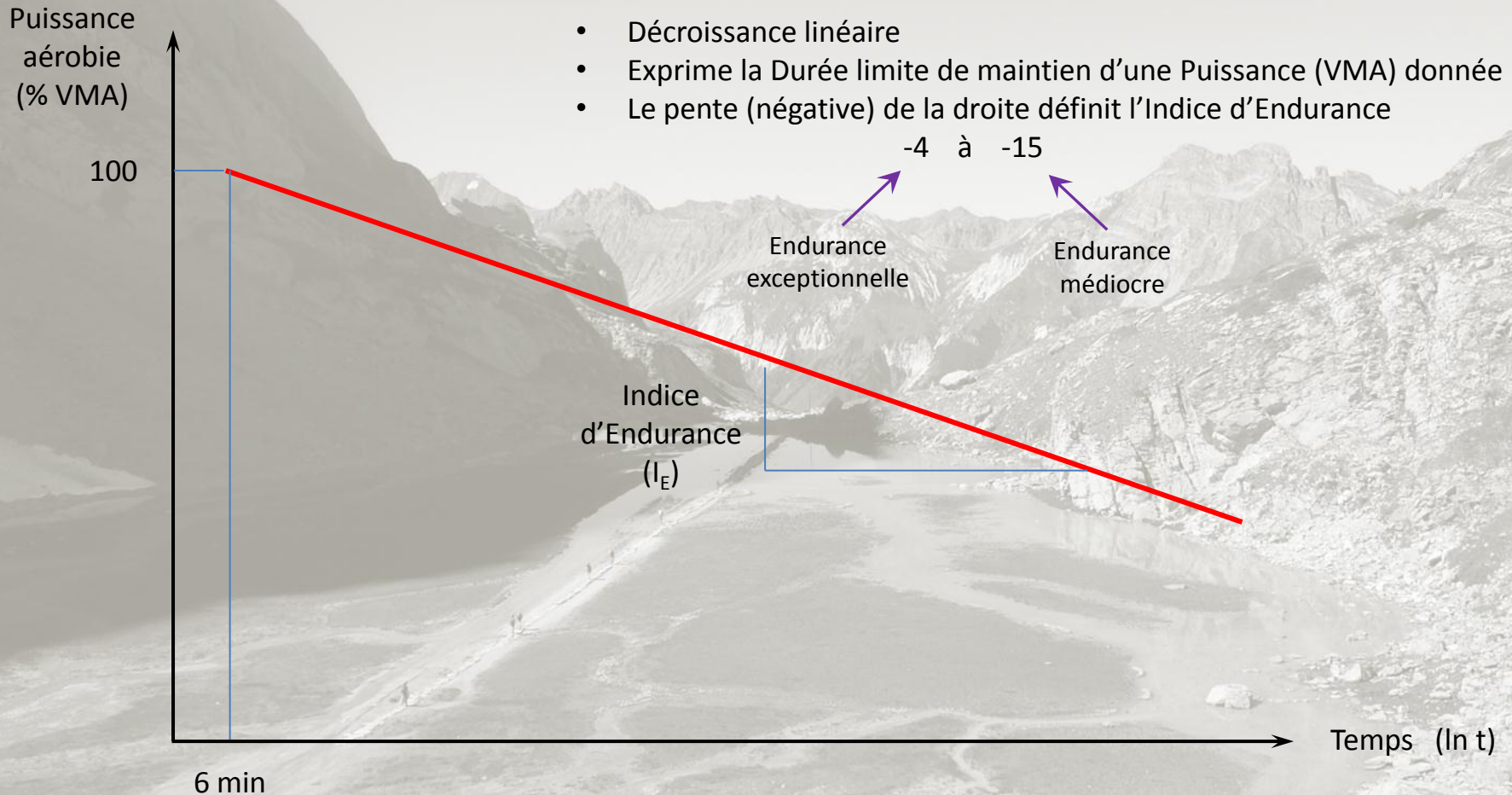
VMAa : Vitesse Maximale Aérobie ascensionnelle

C'est la vitesse ascensionnelle maximale (dénivelé / minutes) à laquelle je peux courir pendant 6 minutes

T_{lim} : Durée limite pendant laquelle je peux maintenir la VMA (de 4' à 11')

Seuil anaérobie : Pourcentage de la VMA à partir duquel il y a dérive de la concentration en lactates (~ 80 %)

Endurance et Puissance aérobies (1)



Endurance et Puissance aérobies (2)

$$100 \times \frac{V}{VMA} = 100 - I_e \log \frac{t}{6}$$

t : temps limite (en min) pendant lequel la vitesse V peut être maintenue

Ex. VMA = 16.5 Km/h
Performance sur **10 Kms** : 40 min
Calcul de l'indice d'endurance :

$$I_e = \frac{100 (1 - V / VMA)}{\log \frac{t}{6}} = 5.3$$

$T = 40$ min

$V = (10 / 40) \times 60 = 15$ Km/h

Estimation de la performance sur le **semi-marathon** :

Vitesse maintenue pendant 90 min : $V = 14.07$ Km/h

Distance parcourue : $90 \times 14.07 / 60 = 21,1$ Km

Performance estimée : 1 heure 30 min

Les clés de la VMA (1)

Puissance aérobie = Consommation d'oxygène

$$PA = VO_2 \text{ (ml/Kg/min)}$$

Equation de Léger-Mercier : $VO_2 = 3.5 \times Vit$
 $VO_2^{\max} = 3.5 \times VMA$

Relation entre fréquence cardiaque et consommation d'oxygène

Equation de Karvonen :

$$\frac{F_c - F_c^{repos}}{F_c^{\max} - F_c^{repos}} = f \left(\frac{VO_2}{VO_2^{\max}} \right) = f \left(\frac{Vit}{VMA} \right)$$

La fonction **f** est à étalonner avec **accéléromètre** et **cardio-fréquencemètre**

Les Clés de la VMA (2)

Loi fondamentale de l'hémodynamique : la loi de Fick

$$VO_2 = \text{Débit cardiaque} \times (CaO_2 - CvO_2)$$

Facteur central

(implication de la pompe cardiaque)

$$Q = F_c \times V_e$$

Q : débit cardiaque

F_c : fréquence cardiaque

V_e : volume d'éjection systolique

Facteur périphérique

(utilisation de l'oxygène par les muscles)

$CaO_2 - CvO_2$: différence artério-veineuse

CaO_2 : contenu artériel en O_2

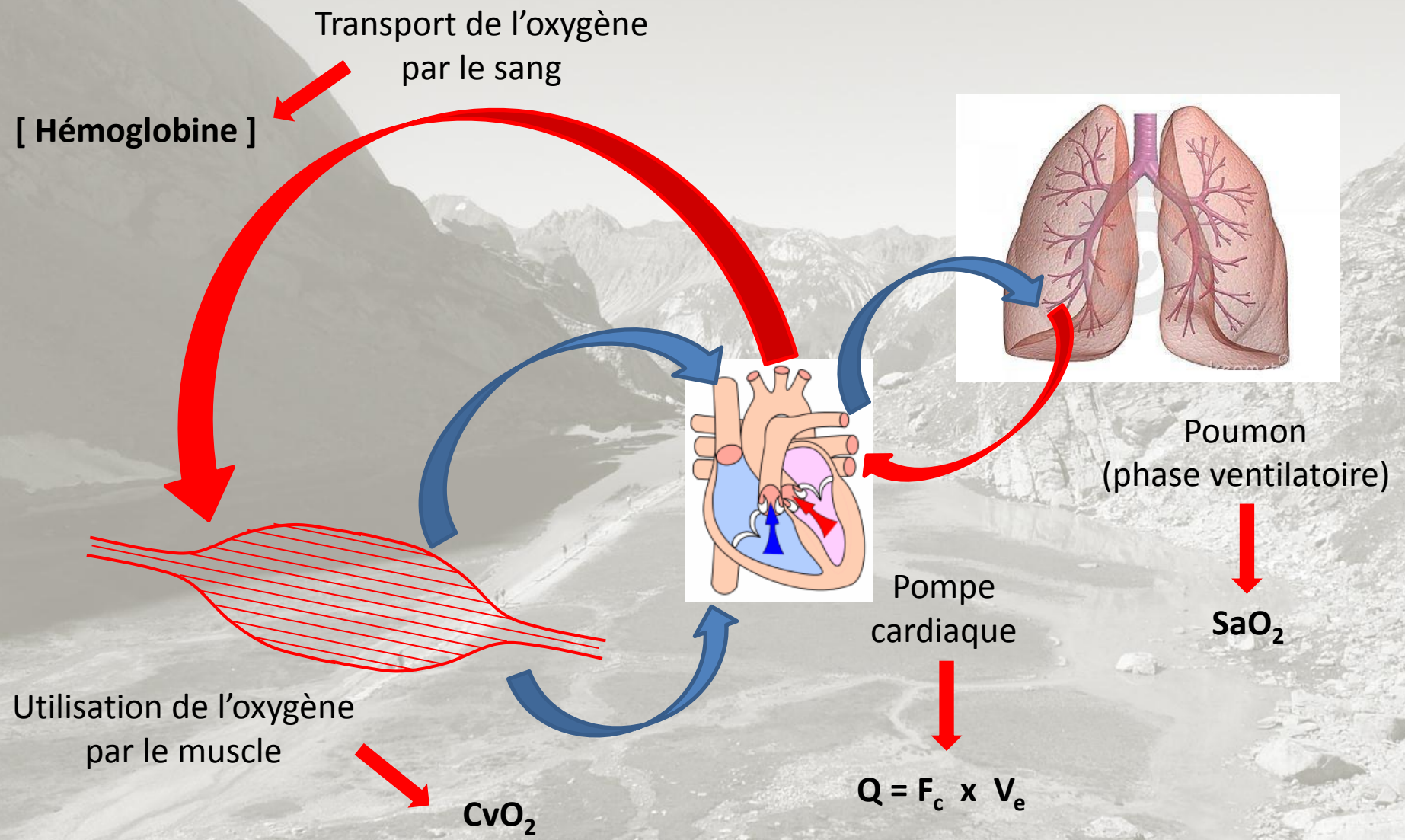
CvO_2 : contenu veineux en O_2

$$CaO_2 = SaO_2 \times \text{Transport}_{O_2}$$

Saturation artérielle en O_2

Concentration en
hémoglobine

Les clés de la VMA (3)



Les clés de la VMA (4)

Les facteurs déterminant VO_2^{\max}

$$VO_2^{\max} = \text{Débit cardiaque}^{\max} \times (CaO_2 - CvO_2)^{\max}$$

Facteur central : $Q^{\max} = F_c^{\max} \times V_e^{\max}$

F_c^{\max} élevée

V_e^{\max} élevée (puissance cardiaque)

Facteur périphérique : $(CaO_2 - CvO_2)^{\max}$

CaO_2 élevée

- Meilleure perfusion alvéolaire (étape ventilatoire, *hématose*)
- Meilleur acheminement de l'Oxygène jusqu'aux muscles par le sang (étape circulatoire : *hémoglobine*)

CvO_2 faible

- Meilleure extraction de l'oxygène par les muscles
- Activité mitochondriale plus performante
- Densité des *mitochondries*, des fibres lentes (I)
- Vascularisation des fibres, *myoglobine*

Les clés de la VMA (5)

Comment améliorer la VO_2^{\max} ?

Facteur central : $Q^{\max} = F_c^{\max} \times V_e^{\max}$

$$F_c^{\max} - F_c^{\text{repos}}$$


Fréquence cardiaque de réserve

$$\left\{ \begin{array}{ll} F_c^{\max} = 220 - \text{age} & < 35 \text{ ans} \\ F_c^{\max} = 206.5 - \text{age} \times 0.685 & > 35 \text{ ans} \end{array} \right.$$

Paramètres sollicités par des entraînements **proches de VO_2^{\max}**

Effet de l'entraînement : V_e 

Au repos, Q est inchangé

F_c^{repos} 

Une fréquence de repos basse est le témoin d'un V_e élevé

Facteur périphérique : $(CaO_2 - CvO_2)^{\max}$

Paramètres sollicités par des entraînements en **endurance fondamentale**
(60 % VO_2^{\max})

Les clés de la VMA (6)

De la VO_2^{\max} à la VMA

- La vitesse de course implique à la fois des paramètres énergétiques (VO_2^{\max}) et des paramètres techniques (qualité de la foulée, paramètres biométriques).
- Tous les coureurs ayant une même VO_2^{\max} n'ont pas la même VMA. Car tous n'ont pas la même efficacité de course.
- On définit le coût énergétique du Km/h par le rapport VO_2 / vitesse. Il est en moyenne de 3.5



$$VO_2 = 3.5 \times Vit$$

Eq. de Léger-Mercier

Les clés de la VMA (7)

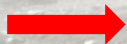
De la VO_2^{\max} à la VMA

- Plus ce rapport est faible, plus l'efficacité de course est élevée. (Le Km/h coûte moins cher à l'organisme en terme d'énergie)



- ✓ Un coureur qui aurait une faible VO_2^{\max} , mais une efficacité de course élevée, ne rivalisera jamais avec quelqu'un dont la VO_2^{\max} est bien meilleure !
- ✓ En général, une efficacité de course élevée est souvent le résultat d'un entraînement de qualité ... et donc d'une VO_2^{\max} plutôt élevée !

- Les facteurs en faveur d'une efficacité de course élevée sont :
 - Rapport Longueur tendons / Longueur muscles élevé
 - Souplesse musculaire faible (mais cela a d'autres inconvénients...)
 - Temps d'appui au sol bref
 - Contrôle de la posture
 - Absence de gestes parasites (« énergie de *gesticulation* »)



Importance de la pratique sur piste

Planifier une saison (1)

Connaître l'athlète

- Ses motivations profondes, intrinsèques et extrinsèques

Que recherche-t-il ?

Quels sont ses objectifs ?

Jusqu'où veut-il aller ?

- Ses contraintes personnelles (liées à la vie privée et la vie professionnelle)

Quelles sont ses disponibilités, au fil d'une saison ?

- Ses déterminants physiologiques (dans le cadre de la course à pied en endurance)

Age, poids, taille

F_c^{repos} , F_c^{max}

VO_2^{max} , VMA, T_{lim} à VMA

Seuil anaérobie, indice d'endurance

Planifier une saison (2)

- Planifier les grands objectifs (compétitifs ou pas)
- Définir les macrocycles, mésocycles et microcycles

En respectant les principes de :

Progressivité, Alternance, Spécificité, Surcharge / Surcompensation

En tenant compte des saisons et de leur climat :

Activités liées à la neige en hiver, vélo et VTT en été

- Bâtir spécifiquement les séances



- ✓ Il n'existe pas de programme-type
- ✓ L'entraînement doit être **individualisé**, en tenant compte des caractéristiques de chaque sportif
- ✓ Il existe autant de programmes qu'il existe d'athlètes
- ✓ Attention aux planifications standard
- ✓ Attention aux entraînements collectifs
- ✓ Une même séance d'endurance sera pour certains à 60 % VMA, et pour d'autres à 80 % VMA !

Construire une séance

Endurance fondamentale / active

50 – 70 % VMA (footing léger)

Seuil anaérobie

75 – 85 % VMA (fartlek, montées, VTT, travail intermittent)

Travail VMA

90 – 110 % VMA (fractionné / intervalle-training)

Comment augmenter la VMA ?

Nécessite de travailler suffisamment longtemps proche de VMA :
typiquement, $2.5 \times T_{lim}$ (10 – 25 min)

Exemple de prescription de séance :

2 x (6 à 10 x (200 m / 100 à 105 % VMA – Rp 40 ") – Ra 3')

Trois séances fondamentales (1)

Séance Endurance Mixte

Profil : 1.5 à 2 heures, 15 à 20 Kms, 500 à 1000 m D+ et D-

Cibles :

*Capacité
énergétique*

Endurance
Ruptures de rythme (*fartlek*)
Transition montée / descente
Favorise la combustion précoce des lipides à des puissances de travail de plus en plus élevées

*Habiletés
techniques*

Travail spécifique de la course à pied
Contrôle des appuis, de la posture
Maîtrise de la trajectoire, adaptation au terrain, anticipation

Conclusion :

Séance plaisante
Récupération rapide
Induit une fatigue musculaire peu à moyennement importante



Le dénivelé induit un travail proche du seuil anaérobie

Trois séances fondamentales (2)

Séance VMaA

Profil : 1 à 2 heures, 15 à 20 Kms, 300 à 1000 m D+ et D-
6 à 10 x (3' D+ / 90% VO₂^{max}, Ra 2' 30 '' D-)

Cibles :

*Capacité
énergétique*

Endurance ++
Puissance aérobie ++++
Ruptures de rythme brutales (montée / descente)
Effort proche VMaA

*Habiletés
techniques*

Travail spécifique de la course à pied
Gestion de la fatigue
Maîtrise de la trajectoire, adaptation au terrain, anticipation

Conclusion :

Séance **TRES difficile**
Gestion d'un contrat
(la dernière montée doit être réalisée au même rythme que la première !)

Trois séances fondamentales (3)

Séance Trail

Profil : 3 à 6 heures, 20 à 50 Kms, 1000 à 3000 m D+ et D-

Cibles :

*Capacité
énergétique*

Endurance **++++**
Puissance aérobie **+(+)**
Forts dénivelés D+ et D-
Transition montée / descente
Solidité musculaire

*Habiletés
techniques*

Séance en situation (globale)
Gestion de la nutrition, de l'équipement
Maîtrise de la trajectoire, adaptation au terrain, anticipation

Conclusion :

Allie l'entraînement et le plaisir de la course en montagne
Adaptations physiologiques, techniques, et mentales
Induit une fatigue musculaire très importante

Repères pratiques (1)

Améliorer la VMA (VMAa) :

Travailler proche VO_2^{\max} (95 – 105 %) sur $2.5 \times T_{\text{lim}}$

ex. ($T_{\text{lim}} = 6'$)

5 x (3' / 100 % VO_2^{\max} – Ra 3' / 60 % VO_2^{\max})

2 x (6 à 10 x (200 m / 100 à 105 % VMA – Rp 40 ") – Ra 3')

Améliorer T_{lim} :

Travailler au seuil anaérobie (~ 80%)

Intervalle-Training **4 à 8 x** (10' à 5' / 80 % VO_2^{\max} – Ra 3' / 60 % VO_2^{\max})

Travail continu 20' à 60'

(travail en côte : course, vélo, VTT, ski rando)

Travail pyramidal 15' / 75 % VO_2^{\max} – 10' / 85 % VO_2^{\max} – 15' / 75 % VO_2^{\max}

Repères pratiques (2)

Améliorer la combustion des lipides :

Endurance fondamentale (~ 60 à 70 % VMA)

Entraînement à jeun (mais pas au saut du lit...prévoir un temps de réveil musculaire)

Améliorer l'Indice d'Endurance :

Séances d'endurance fondamentale, séances longues (~ 70 à 75 % VMA)

Séances favorisant l'amélioration de T_{lim} (séances au seuil)

Intérêt des **entraînements croisés** (course, vélo, VTT, ski de fond, ski de rando)

Améliorer la solidité musculaire :

Nécessite la consolidation du collagène musculaire

Mécanisme de consolidation progressive par lésions induites et régénération du tissu musculaire à des niveaux de solidité supérieurs

Travail de course à pied en descente

VTT, vélo, ski de rando

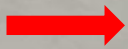
Améliorer la puissance musculaire :

Travail de course (marche active) en montée

Intérêt du VTT (**entraînements croisés**), mais importance de la spécificité (course)

Intérêt du cardio-fréquencemètre

$$\frac{F_c - F_c^{repos}}{F_c^{max} - F_c^{repos}} \approx \frac{VO_2}{VO_2^{max}} = \frac{Vit}{VMA} \quad \% VO_2^{max} \text{ ou } \% VMA$$



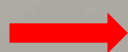
$$F_c^{cible} = F_c^{repos} + (\% VO_2^{max}) \times (F_c^{max} - F_c^{repos})$$

Exemple :

Travail à 80 % VO_2^{max}

$$F_c^{max} = 180$$

$$F_c^{repos} = 40$$



$$F_c^{cible} = 40 + 0.8 \times 140 = 152 \quad (\neq 80 \% F_c^{max} !!!)$$

Remarque :

En montagne (terrain accidenté) VO_2 combine à la fois une vitesse horizontale et une vitesse ascensionnelle

La vitesse de course horizontale et la vitesse ascensionnelle ne renseignent pas directement sur le $\% VO_2^{max}$ sollicité