

# Evaluation de la puissance maximale aérobie



# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

### 1. Introduction

2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

L'activité contractile du muscle est à la base de la réalisation de tous les mouvements



Les muscles sollicités dans une activité sportive doivent disposer de propriétés structurelles et métaboliques qui vont devoir être spécifiques aux besoins de cette activité

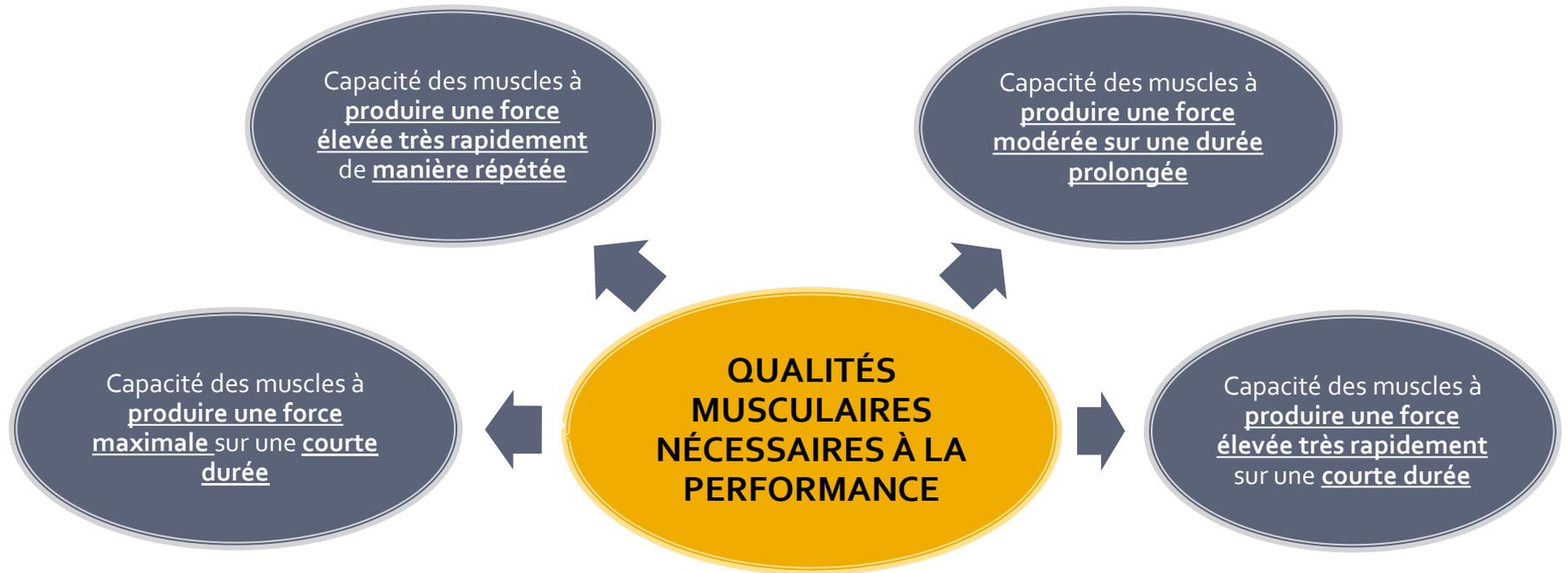
Aspect structurel	Aspect métabolique (ou énergétique)
-Capacité à produire une force la plus élevée possible ( <b>Force maximale</b> )	-Capacité à produire rapidement de l'ATP ( <b>débit énergétique</b> )
-Capacité à produire une force donnée très rapidement ( <b>force explosive / puissance</b> )	-Capacité à produire sur la durée de l'ATP ( <b>capacité énergétique</b> )
- Capacité à produire une force modérée sur une durée prolongée ( <b>endurance de force</b> )	

# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

### 1. Introduction

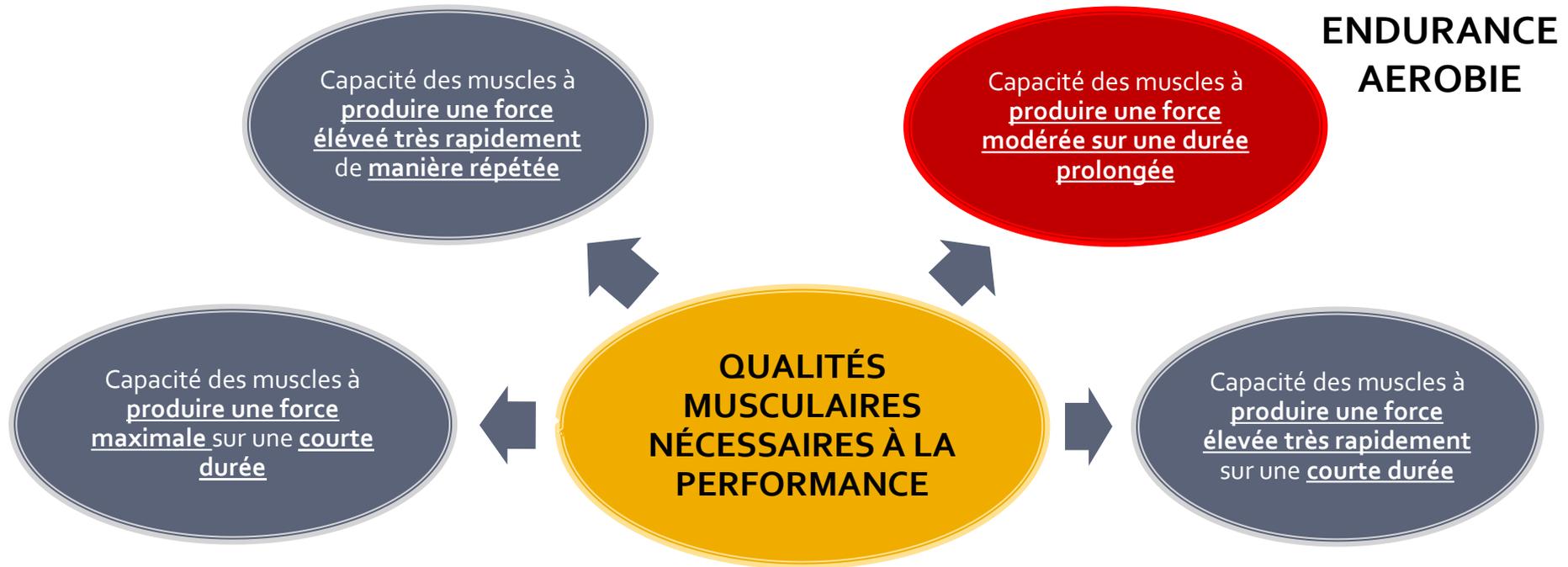
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes



# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes



**Epreuves longue distance**  
Cyclisme, course et ski de fond, natation (800 m et +)...

# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

Quelles ressources physiques conditionnent la performance aérobie ?

Recrutement des unités motrices  
de manière asynchrone  
(Fonctionnement naturel)



Solliciter le moins possible le  
métabolisme anaérobie (car il  
entraîne une fatigue précoce)



**Performance aérobie** : avoir une activité musculaire la plus importante possible sans qu'une fatigue musculaire apparaisse



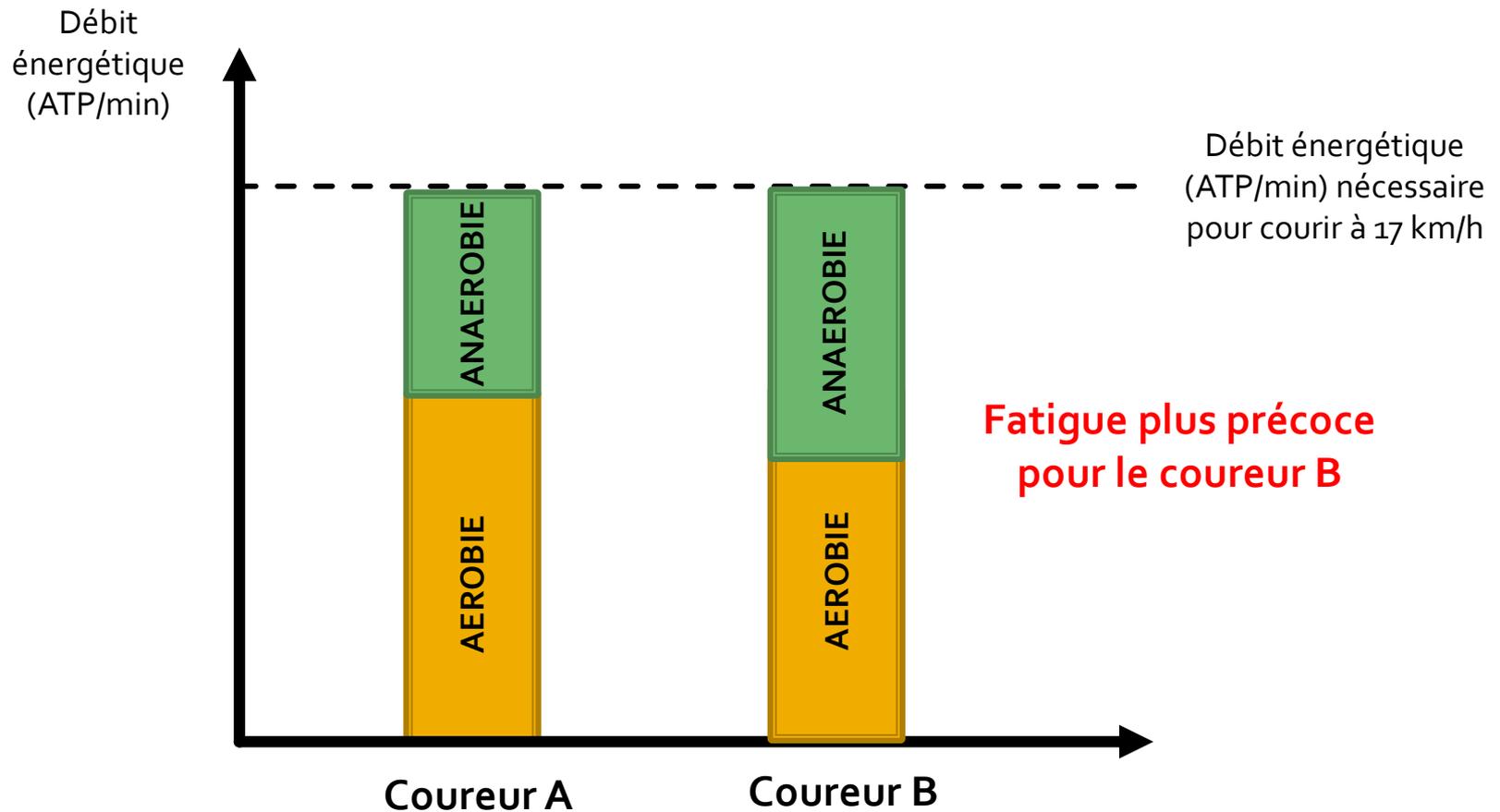
Capacité des muscles à produire une force modérée sur une durée prolongée

# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

Quelles ressources physiques conditionnent la performance aérobie ?

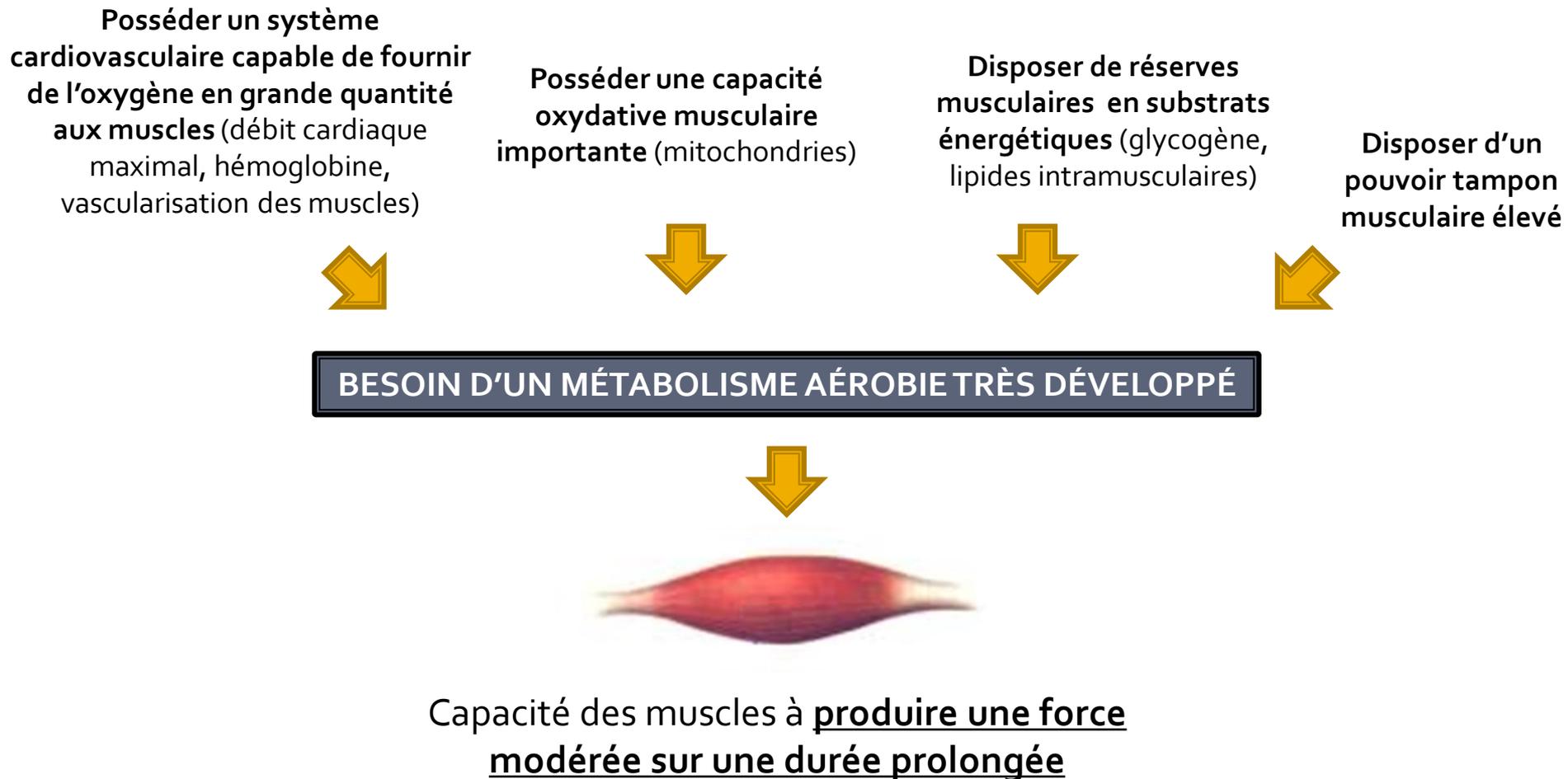


# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

Quelles ressources physiques conditionnent la performance aérobie ?



# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

Quelles ressources physiques conditionnent la performance aérobie ?

### Puissance aérobie

→  $\dot{V}O_2\text{max}$ : consommation maximale d'oxygène

Posséder un système cardiovasculaire capable de fournir de l'oxygène en grande quantité aux muscles (débit cardiaque maximal, hémoglobine, vascularisation des muscles)

Posséder une capacité oxydative musculaire importante (mitochondries)

### Capacité aérobie

Disposer de réserves musculaires en substrats énergétiques (glycogène, lipides intramusculaires)

Disposer d'un pouvoir tampon musculaire élevé

BESOIN D'UN MÉTABOLISME AÉROBIE TRÈS DÉVELOPPÉ

# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

Illustration de l'importance de la puissance et de la capacité aérobie dans la performance en endurance

	Coureur A	Coureur B
Chrono sur 10 km	35 min	35 min
VMA (km/h)	21	20

Pour courir 10 km en 35 min → il faut courir en moyenne en 3'30 au km soit 17,14km/h

Pour le coureur A → il court en moyenne à 81% de sa VMA

Pour le coureur B → il court en moyenne à 85% de sa VMA

# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

Illustration de l'importance de la puissance et de la capacité aérobie dans la performance en endurance

	Coureur A	Coureur B
Chrono sur 10 km	35 min	35 min
VMA (km/h)	21	20
CMA (%VMA ou VO <sub>2</sub> max)	81	85

Pour atteindre un même niveau de performance, on peut avoir des profils différents en terme de VMA et de CMA → critères de performance

# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

## MESURES DIRECTES DE $VO_{2MAX}$

### Méthodes de référence en laboratoire

# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

### La consommation maximale d'oxygène ( $\text{VO}_2\text{max}$ )

**La consommation maximale d'oxygène ( $\text{VO}_2\text{max}$ )** est définie comme « la plus grande quantité d'oxygène pouvant être consommée par un sujet par unité de temps au cours d'un effort musculaire réalisé au niveau de la mer ».

*Astrand et Rodahl 1978*

Exprimée en **l/min** (valeur absolue) ou plus souvent en **ml/min/kg** (valeur relative / poids de l'individu)

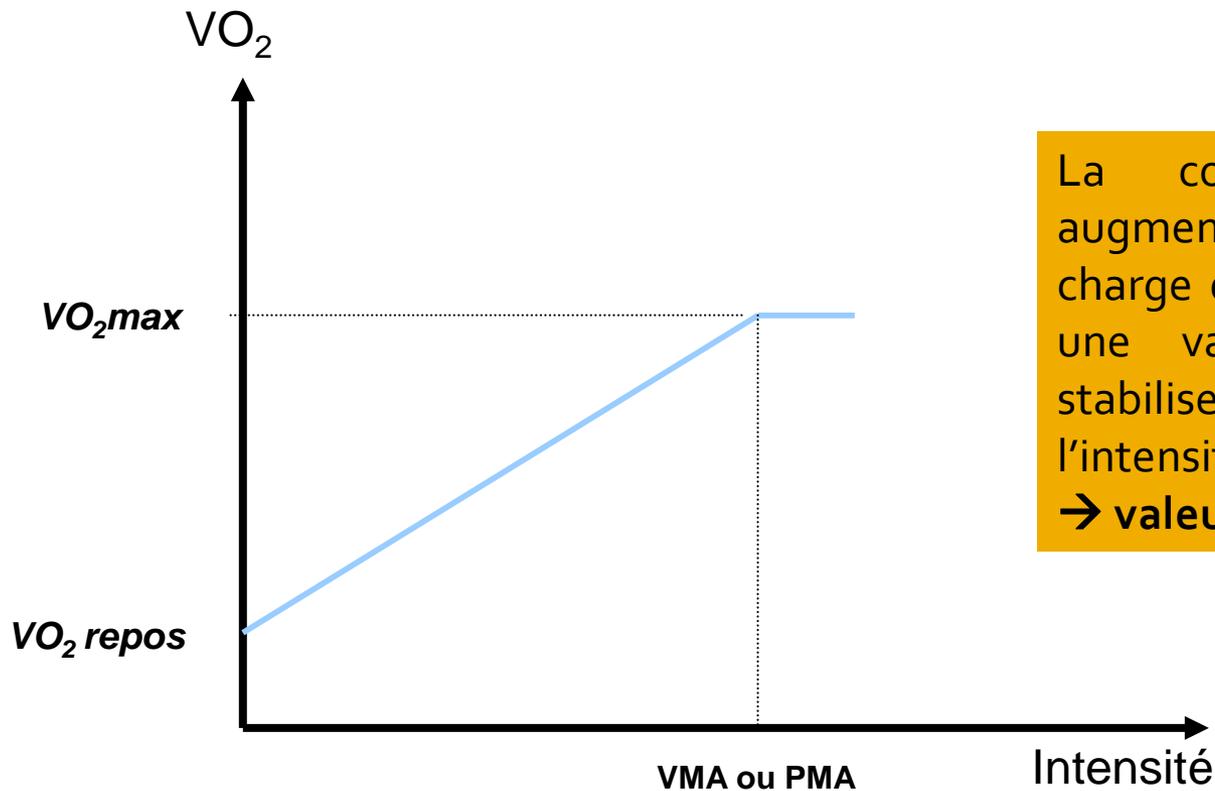
**La  $\text{VO}_2\text{max}$  est le paramètre de référence pour estimer le métabolisme aérobie d'un individu dans une gestuelle sportive donnée**

# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

### La consommation maximale d'oxygène ( $VO_{2max}$ )



La consommation d'oxygène augmente linéairement avec la charge de travail jusqu'à atteindre une valeur maximale qui se stabilise malgré l'augmentation de l'intensité

→ valeur maximale =  $VO_2 \text{ max}$

# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

### Détermination de la $VO_{2max}$ en laboratoire

#### Recommandations de la société française de Médecine du sport:

- **Durée du test** : entre 8 et 20 min
- **Incrémentation** : augmentation progressive à partir de 70 % $VO_{2max}$  pour une détermination plus précise des seuils
- **Effort peut être coupé de courtes de récupération entre paliers ( 1 min)**
- **Récupération active à la fin du test** pour éviter les malaises vagues
- **Ergomètre utilisé doit être spécifique à la discipline sportive du sujet**
- **Respect de 48h de repos relatif avant le test**
- **Ne pas boire de café, manger ou fumer dans les 2 à 3h précédents le test**



# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

### Détermination de la VO<sub>2</sub>max en laboratoire

#### Ergocycle

Type de protocole	Sportif de tout niveau	Cyclistes, triathlètes
Echauffement (en W)	60 pendant 3 min	100 pendant 3 min
Incrémentation (W/min)	30	50
Cadence (rpm)	70	70 ou 80

#### Tapis roulant

Type de protocole	Grand public / Sportif
Echauffement (km/h)	8 km/h ou 10 km/h pendant 3 min
Durée des paliers (min)	2 min
Paliers	Pente 0% / 2 km/h par palier

# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

### Détermination de la VO<sub>2</sub>max en laboratoire

#### Ergocycle à bras

Type de protocole	Equipe de France Aviron	Equipe de France de kayak
Echauffement (en W)	60 pendant 3 min	20 W pendant 1 min
Incrémentation (W/min)	30	50
Cadence (rpm)	70	Libre

# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

### Détermination de la $\dot{V}O_{2\max}$ en laboratoire

$\dot{V}O_2$  peut être obtenue à partir de différents paramètres:

- Ceux du système cardio-vasculaires :  $\dot{V}O_2 = \dot{Q} \times (CaO_2 - CvO_2)$

*Difficile à mesurer*

- Ceux du système pulmonaire :

$$\dot{V}O_2 = \dot{V}_I \times FiO_2 - \dot{V}_E \times FeO_2$$

Volume d'air inspiré  
Par minute (l/min)

Fraction d' $O_2$  dans  
l'air inspiré (%)

Fraction d' $O_2$  dans  
l'air expiré (%)

Volume d'air expiré  
Par minute (l/min)

# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

### Détermination de la VO<sub>2</sub>max en laboratoire

$$\dot{V}O_2 = \dot{V}_I \times FiO_2 - \dot{V}_E \times FeO_2$$

**Exemple** : un athlète de 70 kg court en ayant une ventilation de 110L/min, cela signifie qu'il a inspiré 110 L/min d'air ambiant et rejeté 110L/min d'air dans l'air ambiant

Le pourcentage d'oxygène dans l'air ambiant est de 21% (FiO<sub>2</sub>) et le pourcentage d'oxygène rejeté va varier en fonction de son utilisation par le corps → plus l'exercice est intense, plus le corps consomme d'oxygène et moins il va en rejeter → si ce coureur rejete un air composé à 17% d'oxygène, on peut donc estimer sa VO<sub>2</sub>

$$\dot{V}O_2 \text{ (L/min)} = 110 \times 0,21 - 110 \times 0,17 = 19,95 - 14,40 = 4,4 \text{ L/min d'O}_2 \text{ consommé}$$

$$\dot{V}O_2 \text{ (L/min/kg)} = 4,4/70 = 0,062 \text{ soit } 62 \text{ ml/min/kg}$$

# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

### Détermination de la $\dot{V}O_{2max}$ en laboratoire

- Mesure directe de  $\dot{V}E$  et  $\dot{V}I$  :
  - Turbine à hélice
  - Pneumotachographe
- Mesure directe de  $FeO_2$  et  $FeCO_2$  : un capillaire relie le masque à des analyseurs d' $O_2$  et  $CO_2$



# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

### Détermination de la $VO_{2max}$ en laboratoire

#### Critères d'atteinte de la $VO_{2max}$ (au moins 3 sur 5)

- **Plafonnement de  $VO_2$**  ( $\nearrow$  inférieure à  $2.1 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
- **Epuisement** (échelle de Borg = 7-10)
- **$FC_{max}$  proche de  $FC_{max}$  théorique** ( $208 - 0,7 \times \text{age}$ )
- **Lactatémie** > à  $8 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$
- **$QR = VCO_2 / VO_2 > 1,05$**

**Le QR témoigne du type de substrat utilisé !**

**Un  $QR > 1$  témoigne d'une élimination de  $CO_2$  extra-métabolique**

Production de  $CO_2$  due au tamponnage de  $H^+$  (*exercice intense = glycolyse anaérobie très active*)



# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

### Détermination de la $\dot{V}O_2\text{max}$ en laboratoire

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



Réponse globale de l'organisme à une contrainte



Varie en fonction du mode d'évaluation

Type d'exercice	$\dot{V}O_2\text{max}$ (%)
Course sur tapis roulant (pente > 3%)	100
Course sur tapis horizontal (plan horizontal)	95-100
Exercice de pédalage (position verticale )	92-96
Exercice de pédalage (position horizontale )	82-85
Exercice de pédalage (position verticale sur une seule jambe )	65-70
Exercice des membres supérieurs	65-75

# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

### Valeurs de référence

Sport	VMA ou PMA	VO <sub>2</sub> max (ml/min/kg)
Coureurs demi-fond et fond	22-24 km/h	70-80
Cyclistes pro	450-550 W	70-80
Footballeurs pro	16-20km/h	55-70
Aviron élites	450-550 W	70-80
Sédentaires hommes	11 - 12km/h	40-45
Sédentaires femmes	10-11 km/h	35-40

# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

### Valeurs de référence

Discipline	Niveau de performance	VMA	Références
800 m	≈ 2 min 10	≈ 19 km/h	Billat et al. 2009
1500 m	≈ 3 min 50	≈ 22 km/h	Ferri et al. 2012
1500 m	≈ 4 min 15	≈ 20 km/h	Billat et al. 2009
10 km	≈ 28 min	22 à 23 km/h	Billat et al. 2003
Marathon	≈ 2h10	≈ 23 km/h	Billat et al. 2001

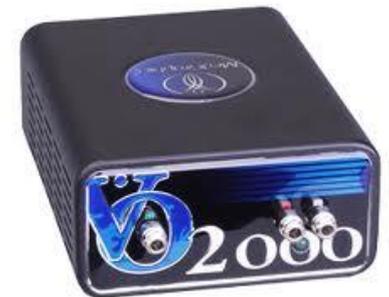
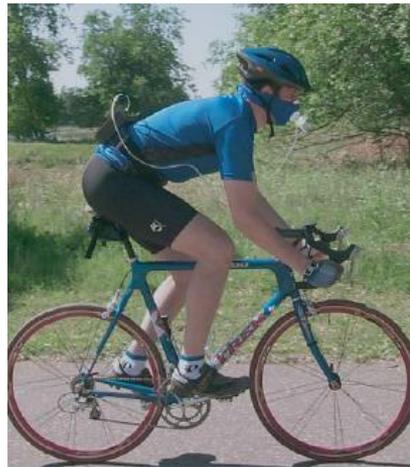
# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

### Détermination directe de la $VO_{2max}$ sur le terrain

Désormais possibilité de mesurer directement la  $VO_{2max}$  sur des tests de terrain classiquement utilisé pour déterminer la VMA ou la PMA → utilisation d'appareils portatifs de mesures des échanges gazeux (K4b2 ou VO2000)



**Matériel coûteux et encore réservé principalement à la recherche**

# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

## ESTIMATION INDIRECTE DE $VO_{2MAX}$

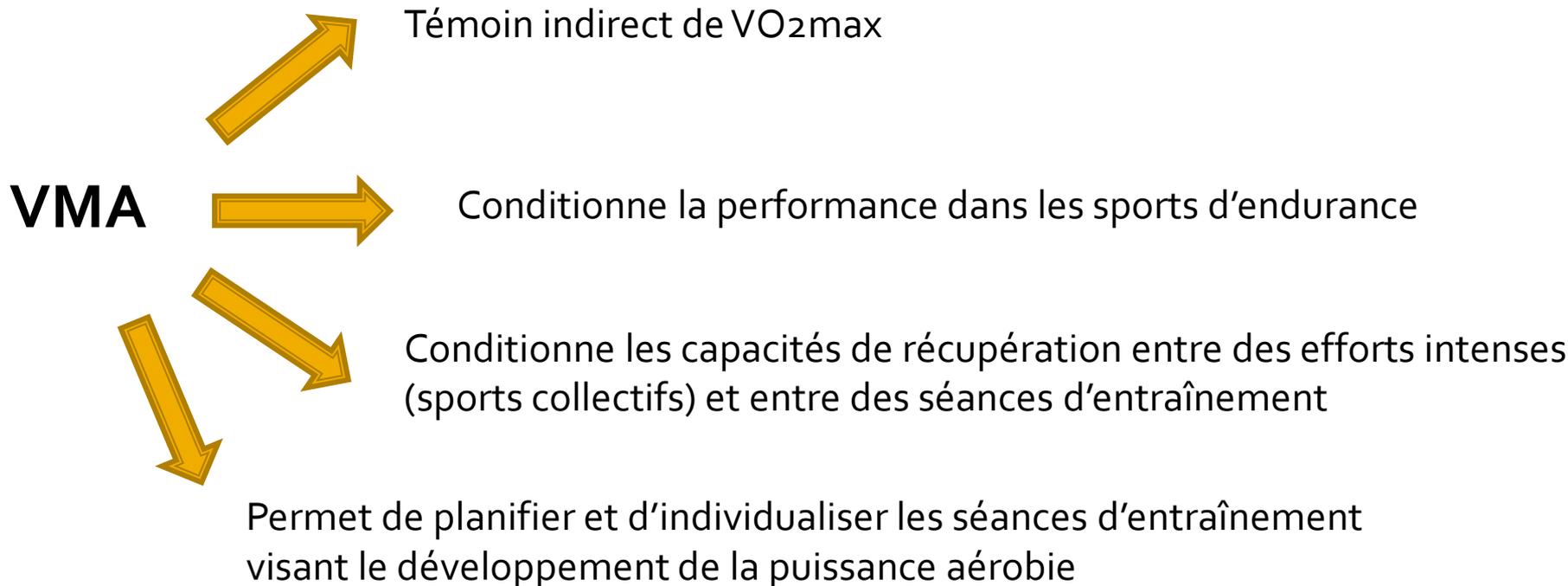
### Tests de terrain

# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

**Vitesse Maximale Aérobie (VMA)** : la vitesse de course à laquelle un individu consomme le maximum d'oxygène ( $VO_{2max}$ ) → pour des vitesses supérieures à VMA, la consommation d'oxygène n'augmente plus et la fourniture d'énergie supplémentaire est assurée par le métabolisme anaérobie



# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

### Critères d'atteinte de $Vo_{2max}$ (et donc de la VMA)

- ~~-  $OR > 1,1$~~
- $[La]_a > 8 \text{ mmol.l}^{-1}$
- $FC_{max} > FC_{max} \text{ théorique}$
- ~~- Augmentation de  $Vo_{2max}$  de moins 150 ml/min entre chaque palier~~
- Epuisement visible

**Critères non disponible pour l'entraîneur sur le terrain**

Durant tous les tests de terrain pour déterminer la VMA, l'entraîneur doit essayer de disposer de ces 3 critères. Généralement, on utilise seulement les critères d'atteinte de  $FC_{max}$  et d'épuisement.



# Evaluation de la performance aérobie

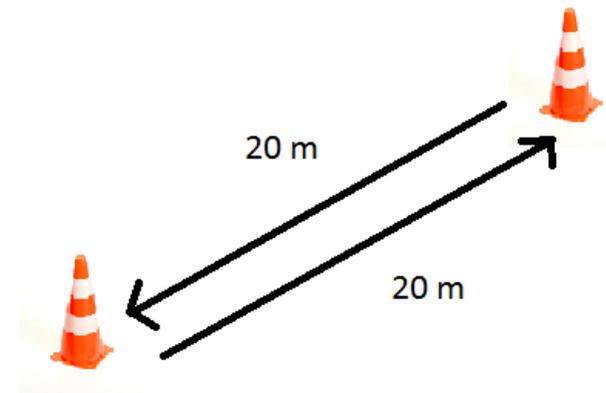
## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

### Test progressif navette de Léger (1981)

#### Mise en place et matériel

- la course navette est délimitée par deux lignes parallèles distantes de 20 m. (Exemple : ligne de touche d'un terrain de handball)
- Une bande sonore est utilisée pour donner l'allure de course avec un Sport Beeper à chaque passage de ligne. On peut aussi donner le signal à l'aide d'un sifflet et d'une bande son mp3.
- Les athlètes doivent posséder un cardiofréquencemètre de manière à s'assurer qu'ils ont été au maximum de leur capacité (FC max théorique atteinte)



# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

### Test progressif navette de Léger (1981)

**Critères d'arrêt du test** : l'individu est en retard 3 fois consécutivement pour arriver sur la ligne

Ce test permet d'extrapoler la  $VO_2\text{max}$  des sujets grâce à la formule suivante :

$$VO_2\text{max} = 5.86 \times VMA - 19.46$$

Pour des enfants de moins de 18 ans :

$$VO_2\text{max} = 31.025 + 3.238 \times VMA - 3.248 \times \text{âge} + 0.156 \times \text{âge} \times VMA$$

**Mais peu d'intérêts pour l'entraîneur de faire cette extrapolation approximative, la VMA suffit pour planifier l'entraînement et témoigner de progrès ou de régression.**

Minutes	Paliers	Km/h
0	1	8
1	2	8,5
2	3	9
3	4	9,5
4	5	10
5	6	10,5
6	7	11
7	8	11,5
8	9	12
9	10	12,5
10	11	13
11	12	13,5
12	13	14
13	14	14,5
14	15	15
15	16	15,5
16	17	16

Etc...

# Evaluation de la performance aérobique

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobique
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

### Test progressif navette de Léger (1981)

#### Intérêts du test

Le démarrage à des vitesses faibles permet de commencer le test sans échauffement  
→ garantie une bonne reproductibilité du test

Mise en place du matériel très facile

Possibilité de réaliser le test en intérieur (gymnase...)

La reprise d'appui entre chaque aller-retour se rapproche plus du type d'effort fournit en sports collectifs que le test continu de Léger & Boucher

# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

### Test progressif navette de Léger (1981)

#### Limites du test

Détermination approximative de la VMA → le métabolisme anaérobie est en effet grandement sollicité impliqué lors des changements de direction (décélération puis accélération) → **validité du test discutable**

La VMA obtenu avec le test navette est sensiblement inférieure à celle obtenue lors du test Léger-Boucher

# Evaluation de la performance aérobique

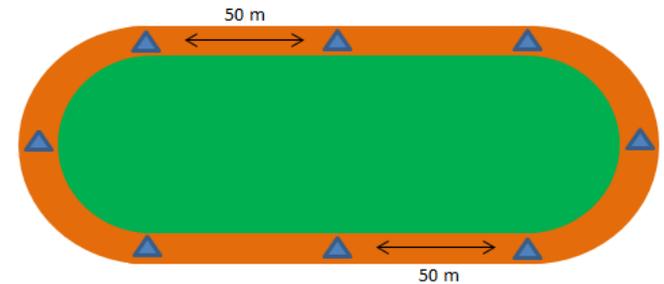
## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobique
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

### Test progressif de l'université de Montréal (Léger-Boucher, 1984)

#### Mise en place et matériel

- Le test est effectué sur une piste de 400 m balisée avec des plots tous les 50 m.
- Sport Beeper pour donner l'allure de course avec un bip à chaque passage de plots. On peut aussi donner le signal à l'aide d'un sifflet et d'une bande son mp3.
- Les athlètes doivent posséder un cardiofréquencemètre de manière à s'assurer qu'ils ont été au maximum de leur capacité (FC max théorique atteinte)



# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

### Test progressif de l'université de Montréal (Léger-Boucher, 1984)

#### Déroulement

A chaque audition du bip sonore ils doivent être dans la zone d'un plot disposé tous les 50 m (tolérance de  $\pm 1$  m)

Chaque palier dure une minute (départ de 8,5 km/h avec une incrémentation de 1 km/h toutes les 2 min)

**Importance d'effectuer le test toujours sur la même surface (herbe, salle, bitume), même conditions météorologiques, au même moment de la journée et avec un jour de repos préalable → permet de garantir la reproductibilité du test**

**Critères d'arrêt du test** : l'individu est en retard 3 fois consécutivement pour arriver au plot

Ce test permet d'extrapoler la  $VO_2$ max des sujets grâce à la formule suivante :

$$VO_2\text{max (ml/min/kg)} = 3,5 \times \text{VMA}$$

# Evaluation de la performance aérobic

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobic
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

### Test progressif de l'université de Montréal (Léger-Boucher, 1984)

#### Intérêts du test

Le démarrage à des vitesses faibles permet de commencer le test sans échauffement  
→ garantie une bonne reproductibilité du test

Mise en place du matériel très facile

Passage d'un grand nombre de sujets en même temps

Validité du test pour mesurer la potentiel maximal aérobic démontrée (Léger et Boucher, 1980)

# Evaluation de la performance aérobie

## Tests de terrain et de laboratoire

1. Introduction
2. Facteurs de la performance aérobie
3. Mesures directes
4. Mesures indirectes

### Test progressif de l'université de Montréal (Léger-Boucher, 1984)

#### Limites du test

Le dernier palier de vitesse est souvent réalisé alors que  $VO_2$  max est déjà atteinte → surestimation de la  $VO_2$  max et de la VMA pour le calcul des vitesses d'entraînement

Incrémentation de 1km/h toutes les deux minutes permet une estimation de la VMA moins sensible que si elle était de 0.5 km/h à chaque minute

Connaissant la VMA,  $VO_2$  max ne peut être extrapolé qu'en tenant compte de l'économie de course qui, selon les individus peut varier entre + 5%