

Bases énergétiques de l'activité physique

A- Les sources énergétiques

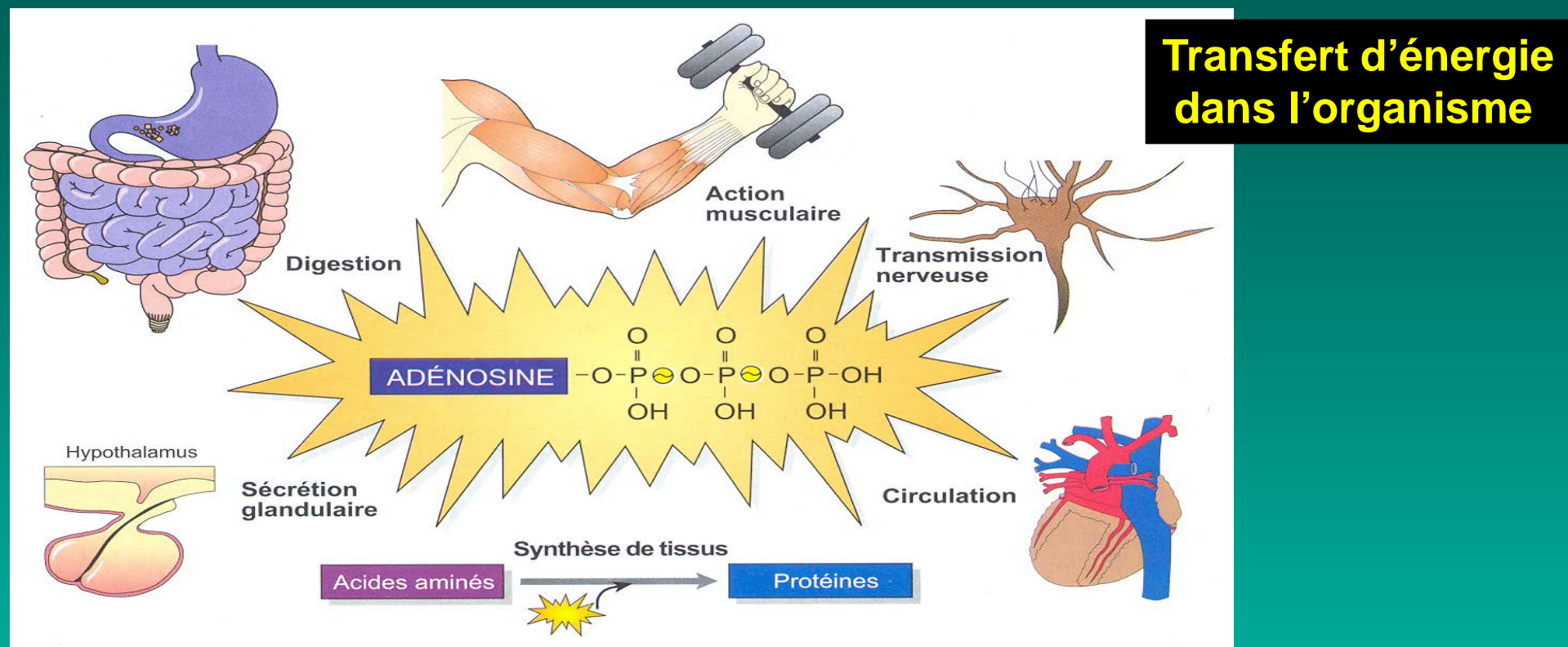
- Bioénergétique : les filières ε et leurs caractéristiques
- Déterminants de la performance en endurance
- Causes de la fatigue

[B- Régulation hormonale du métabolisme énergétique à l'exercice]

C- Adaptations métaboliques à l'entraînement

1-

Bioénergétique : les filières ε et leurs caractéristiques



Chez l'homme, l'énergie est fournie par l'oxydation des **aliments**.

→ **Besoins énergétiques de l'organisme:**

- repos : dégradation glucides et graisses
- exercice : utilisation préférentielle glucides

Bioénergétique

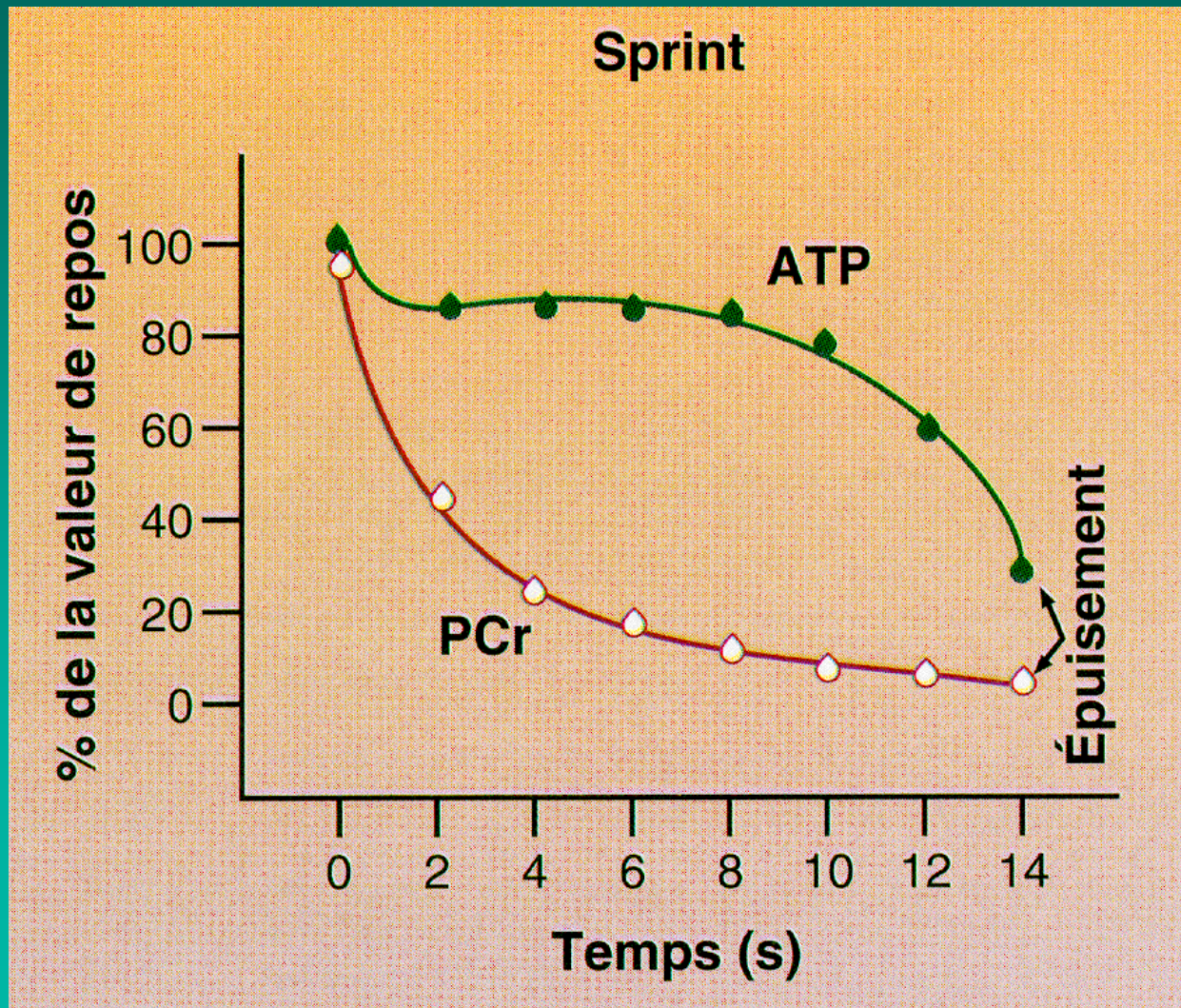
3 systèmes peuvent conduire à la production cellulaire d' **ATP**

1. *Le système ATP - PCr*
2. *Le système glycolytique*
3. *Le système oxydatif*

1 - Le système ATP - PCr

- Système énergétique le plus simple
- Reconstitution de l'ATP à partir de l'ε stockée dans P-Cr
- Procédé rapide:
 - ne nécessite aucune structure cellulaire ;
 - anaérobie
- Réserves ATP - PCr **faibles** :
 - poursuite d'un exercice pendant ± 5-10 sec

**Variations des taux musculaires d'ATP et PCr
lors des premières secondes d'un exercice
maximal intense**



2 - Le système glycolytique

Système anaérobie plus complexe mais ne produit pas de grandes quantités d'ATP...

1 molécule de glucose → 2 ATP

1 molécule de glycogène → 3 ATP {+ lactate}

Ne nécessite aucune structure cellulaire

1-2 :

*Permettent aux muscles de produire des forces considérables;
Fonctionnent de manière prédominante dans les **premières minutes** de l'exercice, en particulier s'il est **intense** .*

Facteur limitant : accumulation d'acide lactique

Concentration intramusculaire du glycogène, H non entraînés

→ biopsie musculaire

Muscles	Concentrations en g .100g ⁻¹ tissu frais	Concentrations en mmol.kg ⁻¹ poids frais*	Auteurs
Vaste externe (quadriceps)	1,38 ± 0,05	85 ± 3	(Bergström et Hultman 1967a)
	1,75 ± 0,18	108 ± 11	(Ehrenstein, Emans et Müller-Limmroth 1970)
	1,57 ± 0,18	97 ± 11	(Harris, Hultman et Nordesjö 1974)
	1,42 ± 0,18	88 ± 11	(Blomstrand et Saltin 1999a)
	1,56 ± 0,30	87 ± 14	(Bangsbo et coll. 1992b)
Jumeau externe (triceps sural)	2,01	124	(Costill et coll. 1971b)
Soléaire (triceps sural)	2,66	164	(Costill et coll. 1971b)
Deltoïde	0,98 ± 0,07	60 ± 4	(Hultman 1967a)

3 - Le système oxydatif

Dégradation des substrats en présence d'O₂
= respiration cellulaire
= processus aérobie

Nécessite une structure cellulaire : mitochondries

*Rendement énergétique énorme ↔ source essentielle d'ε
lors des activités aérobies !! ... ↔ Système C-R*

1 molécule de glycogène → 37- 39 ATP

1 molécule d 'acide palmitique → 129 ATP

Réserves de l'organisme en substances énergétiques

	g	kcal.
Glucides		
Glycogène hépatique	110	451
Glycogène musculaire	250	1025
Glucose sanguin	15	62
Total	375	1538
Lipides		
Sous-cutanés	7800	70980
Intramusculaires	161	1465
Total	7961	72445

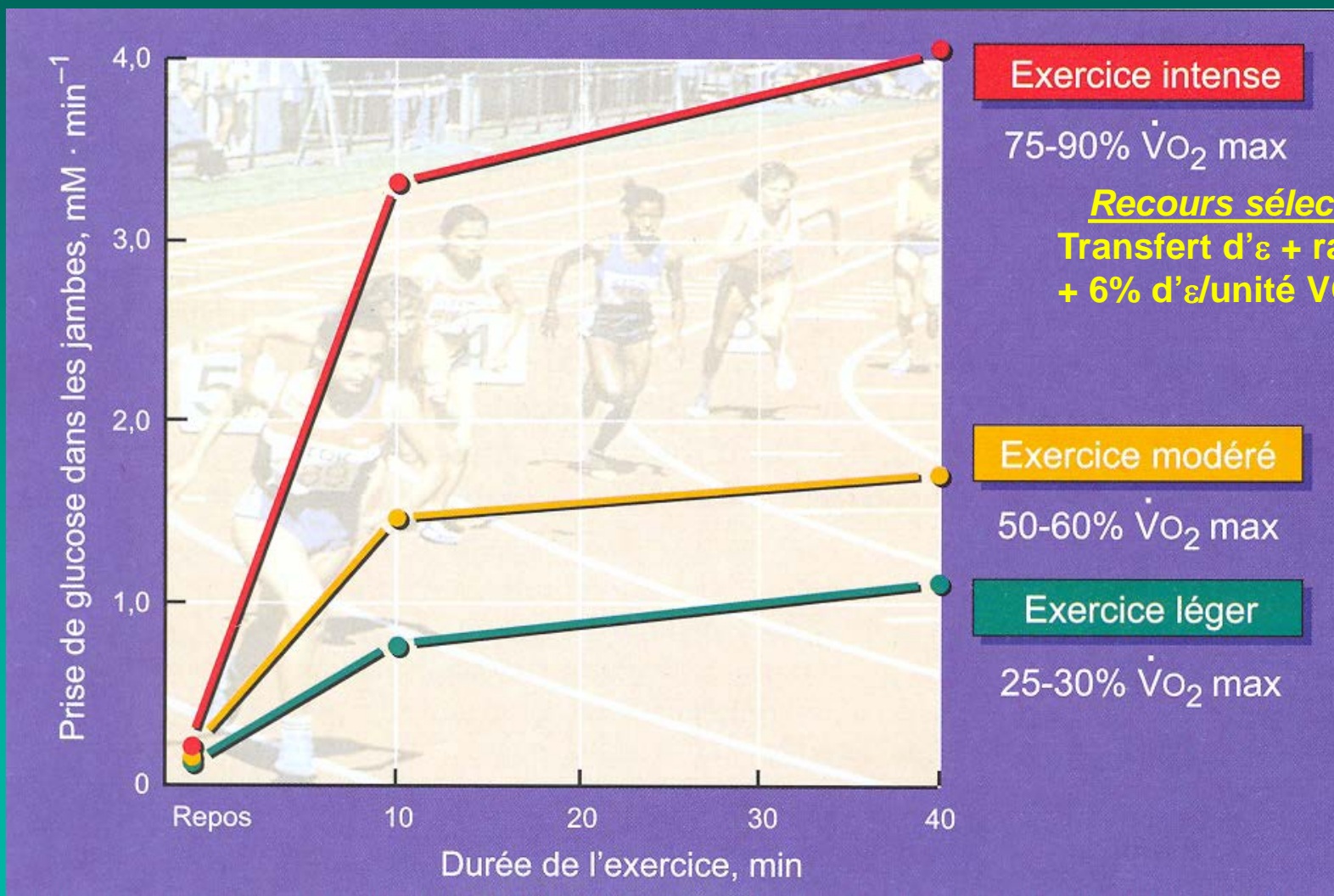
Ces valeurs sont estimées pour un sujet d'environ 65 kg et 12% de graisse.

Potentiel calorique!!

...

...accessibilité des substrats
...notion de débit énergétique

Equilibre des glucides durant l'effort physique (D-I)



Exercice intense

75-90% $\dot{V}O_2$ max

Recours sélectif aux HC
Transfert d' ϵ + rapide
+ 6% d' ϵ /unité $\dot{V}O_2$ consommé

x 20

Exercice modéré

50-60% $\dot{V}O_2$ max

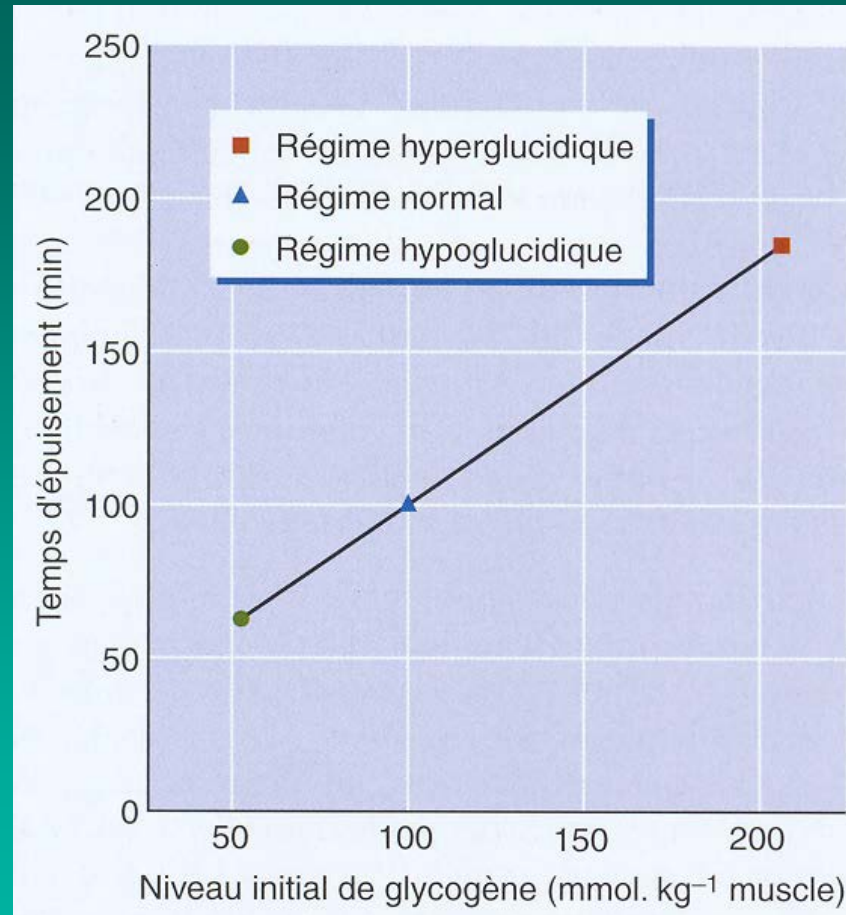
Exercice léger

25-30% $\dot{V}O_2$ max

x 7

Influence des stocks de glycogène musculaire sur le temps d'épuisement

*exercice réalisé
à 75% VO₂max*



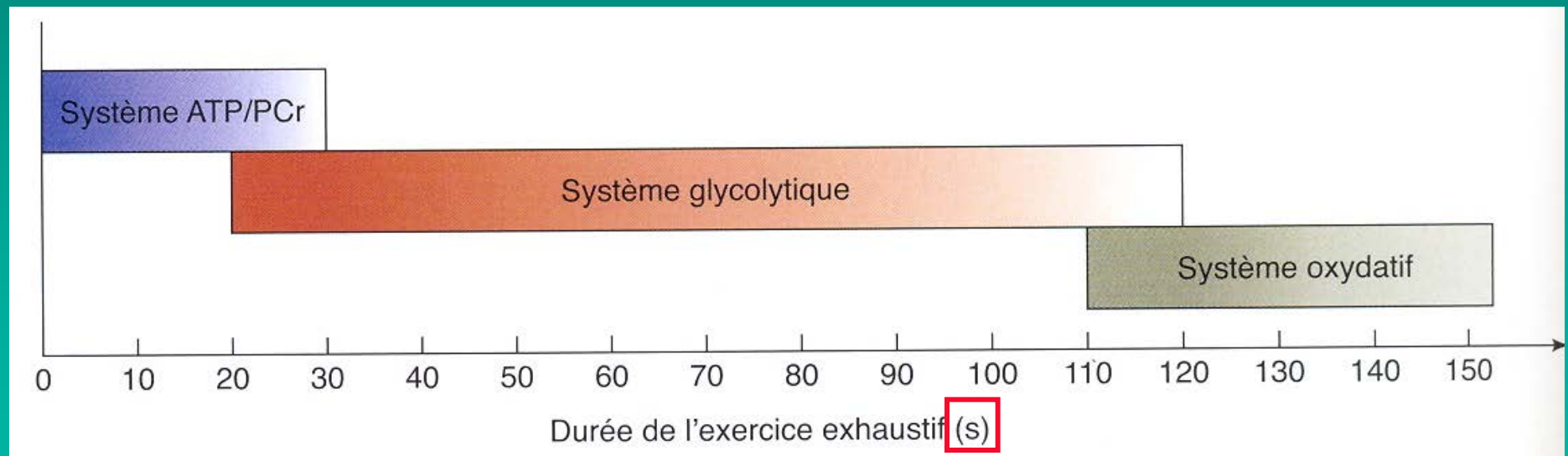
...x 4

Glucides: au moins 55% ration calorique totale - Sportif
> 60-65% - Athlète d'endurance

Bioénergétique de la performance:

Interaction des trois systèmes énergétiques

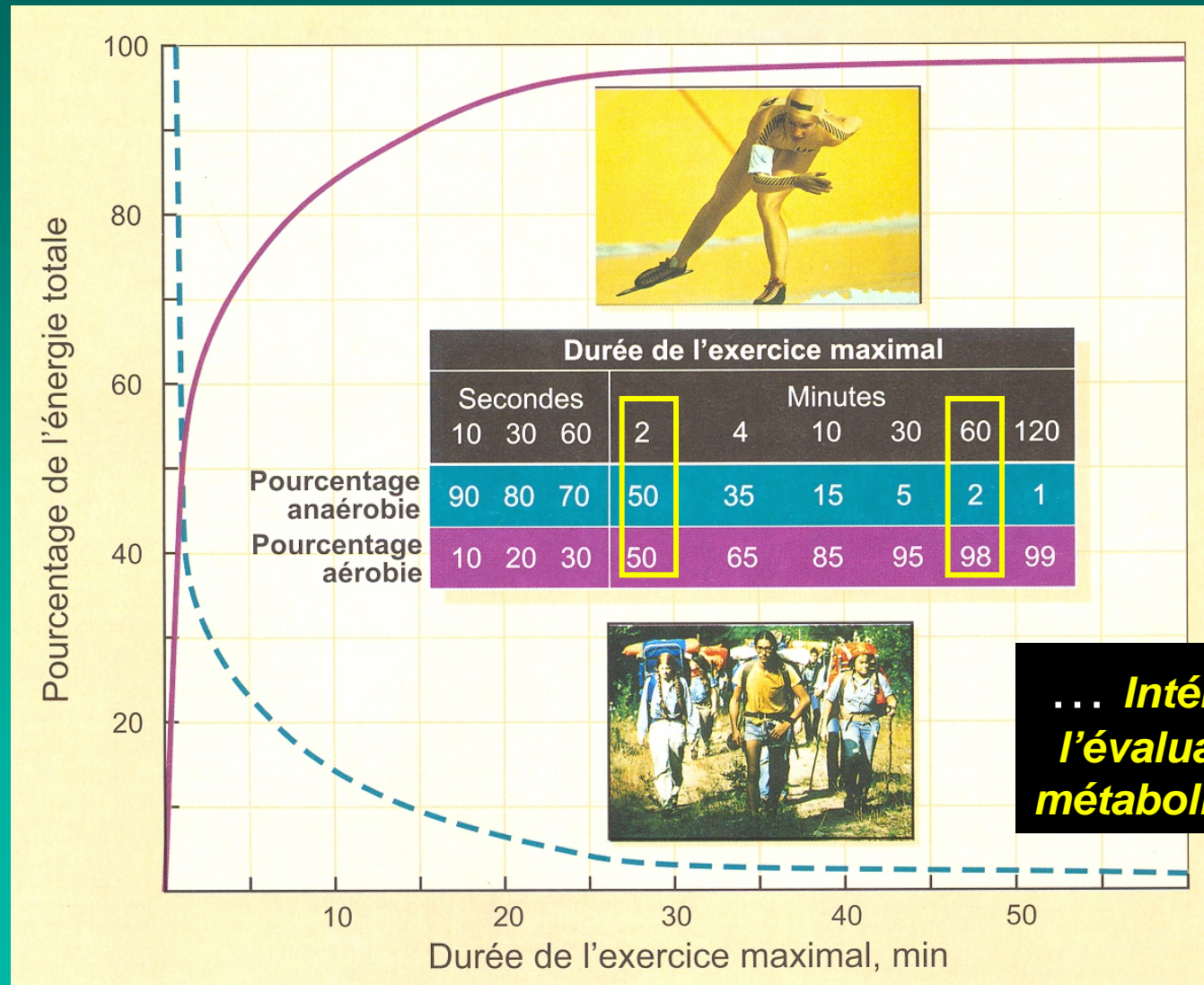
- Différences inter-individus des capacités métaboliques à l'effort...
- Ne fonctionnent pas de façon indépendantes les uns des autres...
- Les 3 systèmes interviennent ensemble *mais* dans des proportions différentes...



Système producteur d' ϵ dominant lors d'exercices exhaustifs de différentes durées

Bioénergétique de la performance:

contribution relative de l'énergie aérobie et anaérobie au cours d'activités physiques maximales de durée variable



... Intérêt +++ de l'évaluation de ce métabolisme aérobie

La dépense énergétique au repos et à l'exercice

→ estimation par la mesure de la consommation d'O₂
et de son équivalent calorique

ex: 1- au repos

0,3L O₂/min soit 18L/h ou 432L/jour
équivalent calorique

4,8 kcal/LO₂ consommé

→ dépense énergétique quotidienne:

kcal/jour = L d'O₂ consommé/jour x kcal utilisées/LO₂
432LO₂/jour x 4,8 kcal/LO₂
2074 kcal/jour

2- à l'exercice

DE(kcal) = VO₂(L.min⁻¹) x Temps(min) x 4,82(coefficient moyen
d'utilisation des substrats)

Déterminants de la performance en endurance

1- La capacité aérobie maximale

2- Le type de fibre musculaire

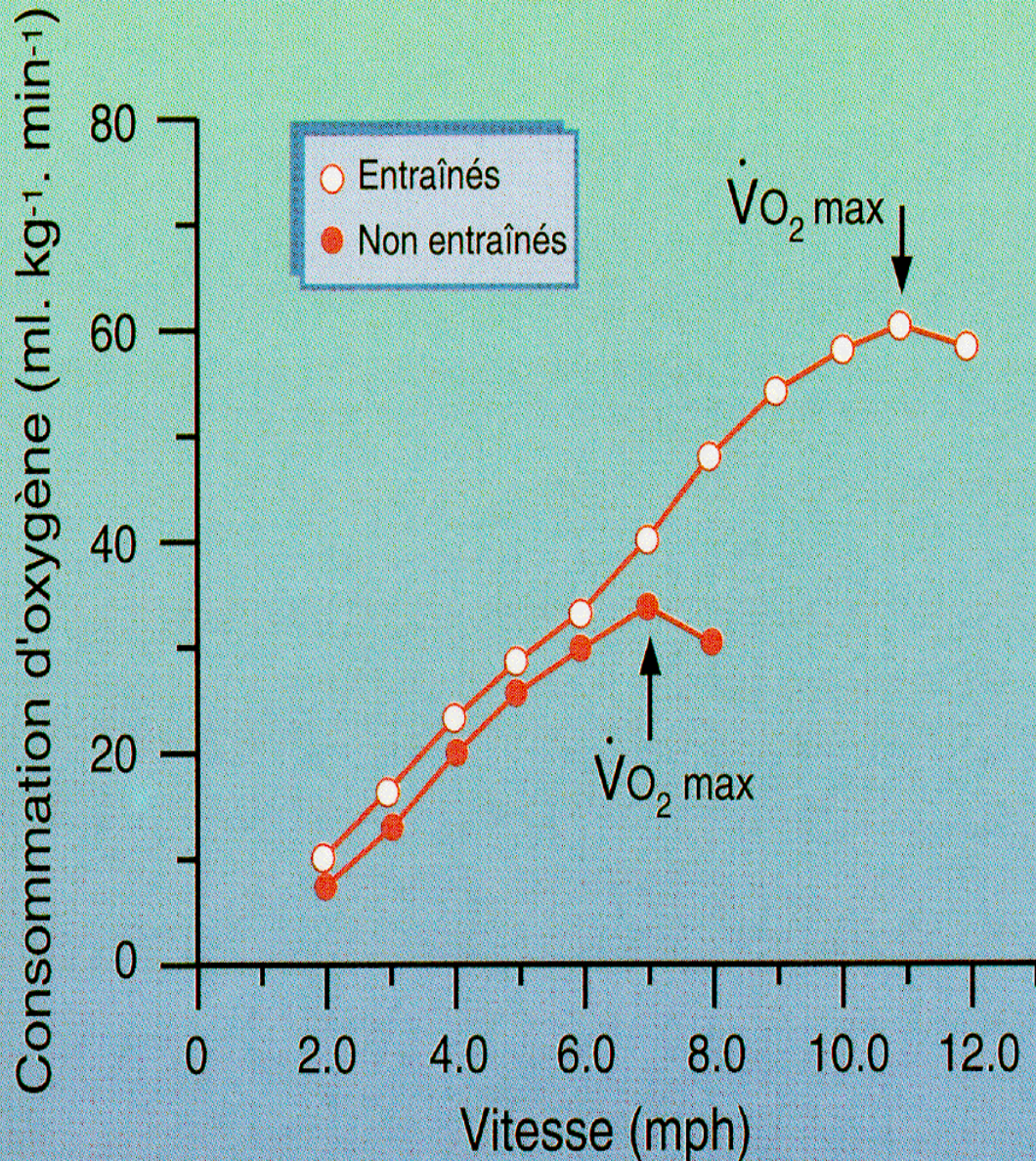
3- Le seuil lactique

4- L'économie de course

5- Composition corporelle

→ *tributaires de l'état d'entraînement...*

1- La capacité aérobie maximale



⇒ La consommation maximale d'oxygène

→ bon indicateur de la performance en endurance = débit max ou puissance max du métabolisme aérobie

Effets de l'entraînement:

- .amélioration $VO_2 \text{ max}$
- .développer l'aptitude à travailler à un % plus élevé de la $VO_2 \text{ max}$

Déterminants de la performance en endurance

Test groups	VO ₂ max (ml · kg · min ⁻¹)	
	Males	Females
Sedentary individuals with average fitness	44–51	35–43
Elite level distance runners	71–90	60–75

Adapted from Martin and Coe 1997.



- Chez l'athlète mûre: VO₂ max *atteinte* après 8-18 mois d'entraînement aérobie intensif
- **Paramètre global**: évalue à la fois l'efficacité des systèmes respiratoire + CV + musculaire

Déterminants de la performance en endurance

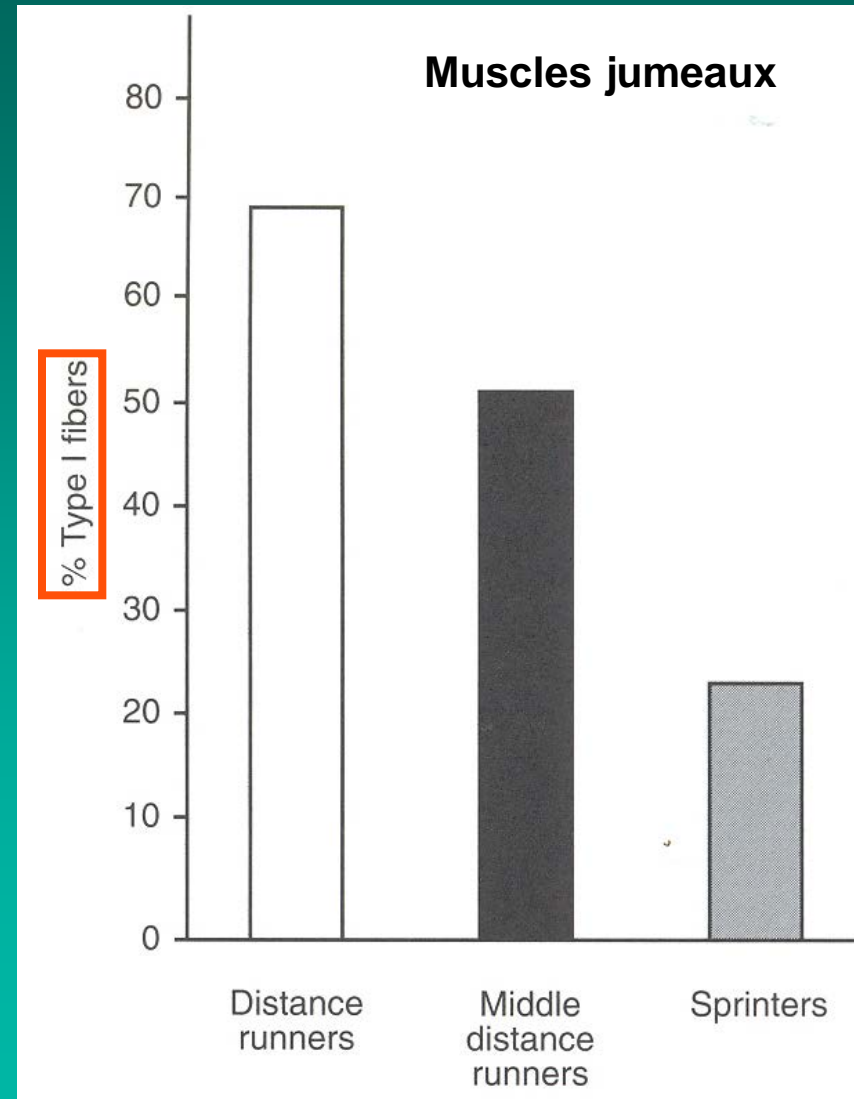
2- Le type de fibre musculaire

Importance relative des fibres de type I

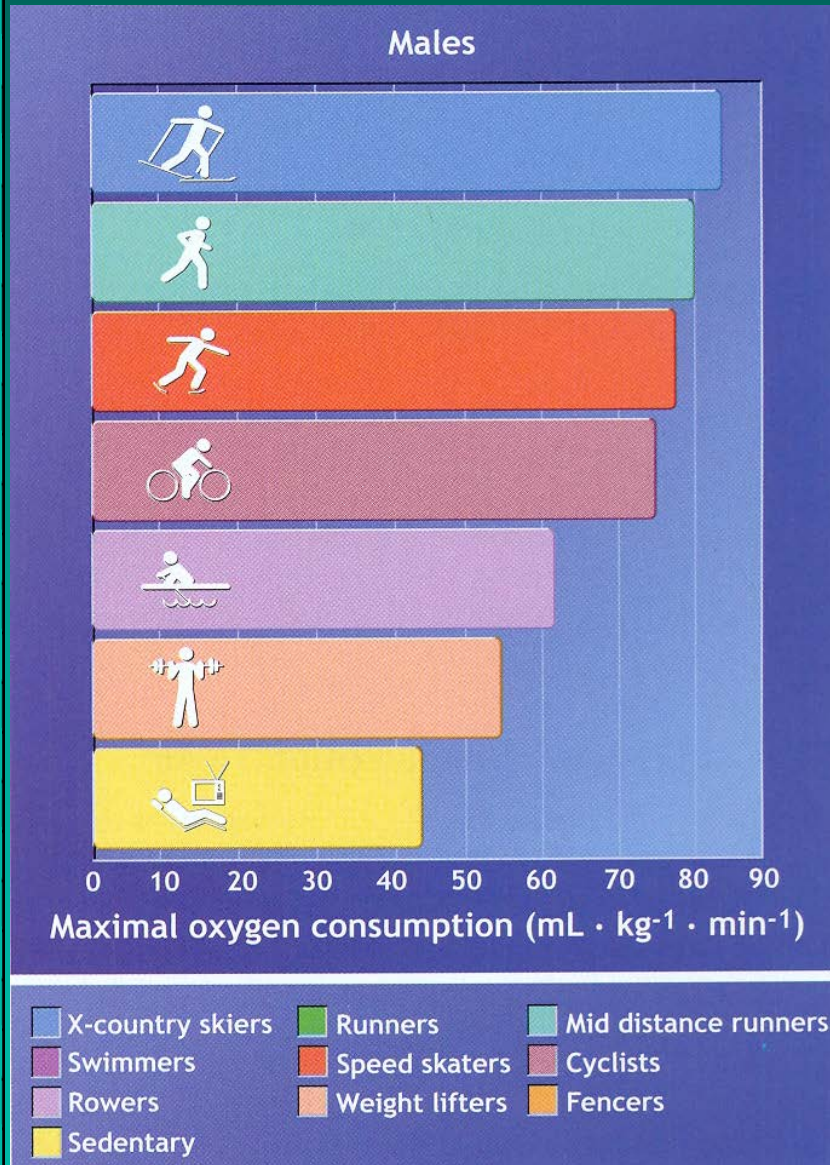
→ la production d'ATP par oxydation des glucides et des graisses fonctionne très efficacement...

Fibres lentes ou de type I :

- contenu en myoglobine ↑
- mitochondries ↑
- enzymes oxydants ↑
- densité capillaire ↑
- ...



Les déterminants principaux de la performance en endurance



↔ rendement élevé du métabolisme oxydatif

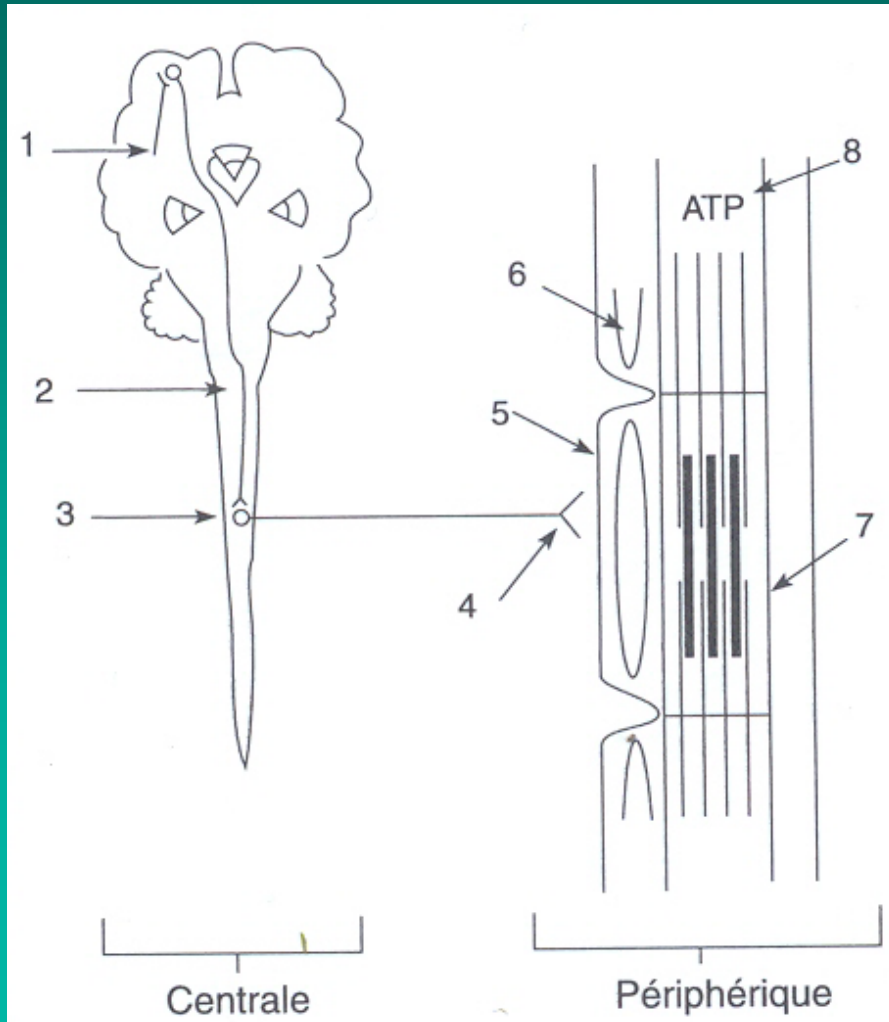
- 1- une VO_2 max élevée
- 2- un % élevé de fibres ST
- 3- des seuils lactiques élevés
- 4- une efficacité de course élevée
- 5- un % mg bas

↳ quantification en laboratoire

3-

Les causes de la fatigue

= sensations générales de lassitude qui accompagnent habituellement la diminution de la performance musculaire



Les mécanismes responsables de la fatigue sont multiples et complexes → *différentes classifications*
Par ex:
fatigue centrale ou périphérique

1- les systèmes énergétiques et la fatigue

... « je n'ai plus d'énergie »!

L'épuisement des stocks de glycogène

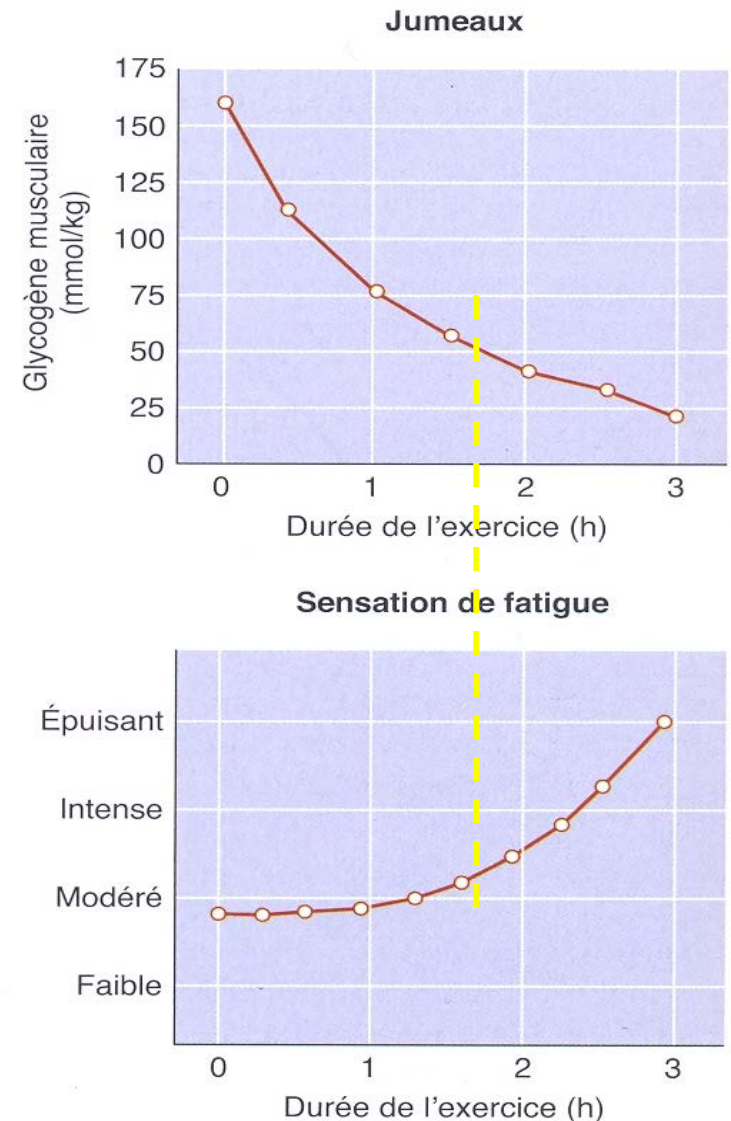
- le taux d'épuisement dépend des caractéristiques (D-I) de l'activité

- est utilisé + rapidement pendant les 1ères min de l'activité

→ dans les efforts prolongés, la sensation de fatigue coïncide souvent avec l'effondrement des réserves de glycogène musculaire

3h
70% V02max
Tapis roulant

Costill, 1986

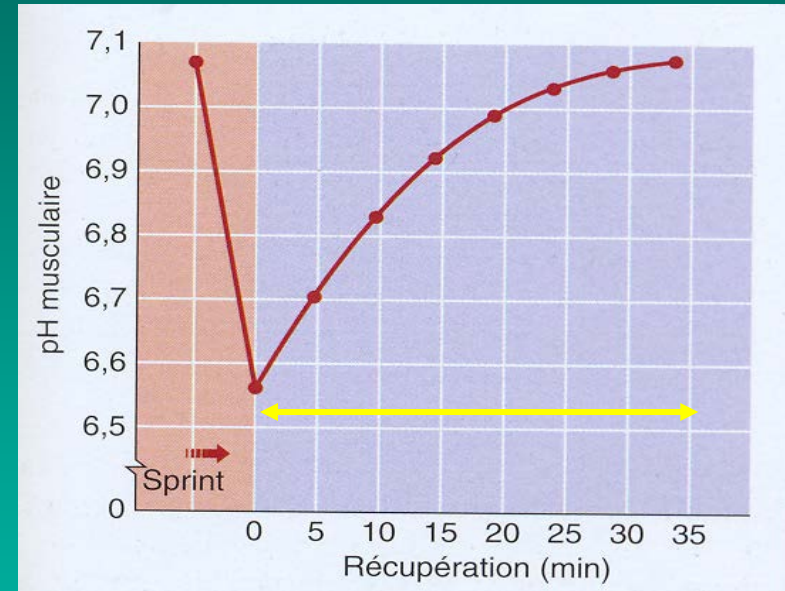
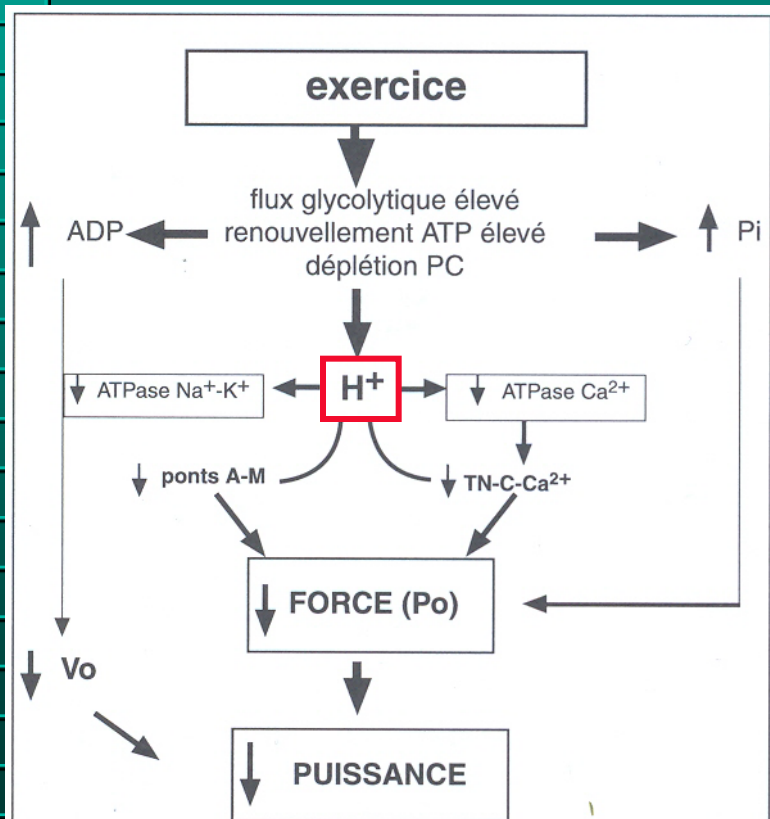


2- Les sous-produits métaboliques et la fatigue

→ acide lactique: sous-produit de la glycolyse

→ accumulation de l'acide lactique ↔ efforts relativement brefs mais très intenses;

...lactate + H^+ Source de fatigue



→ dans les efforts brefs et intenses, la sensation de fatigue coïncide souvent avec l'effondrement du pH musculaire

Bases énergétiques de l'activité physique

A- Les sources énergétiques

[B- Régulation hormonale à l'exercice]

**C- Adaptations métaboliques à l'entraînement
aérobie**

- descriptif
- méthodologie d'entraînement

Adaptations à l'entraînement aérobie

adaptations **cardiovasculaires et respiratoires**

→ amélioration de la circulation centrale et périphérique

adaptations **musculaires et métaboliques**

→ modification du fonctionnement des systèmes énergétiques

Adaptations musculaires:

a- types de fibres

E : % f lentes > 50 % ; IIb → I

b- circulation capillaire

E : + 5-10-15 %

c- teneur en myoglobine

E : + 70-80 %

d- morphologie mitochondriale

e- les enzymes oxydatives

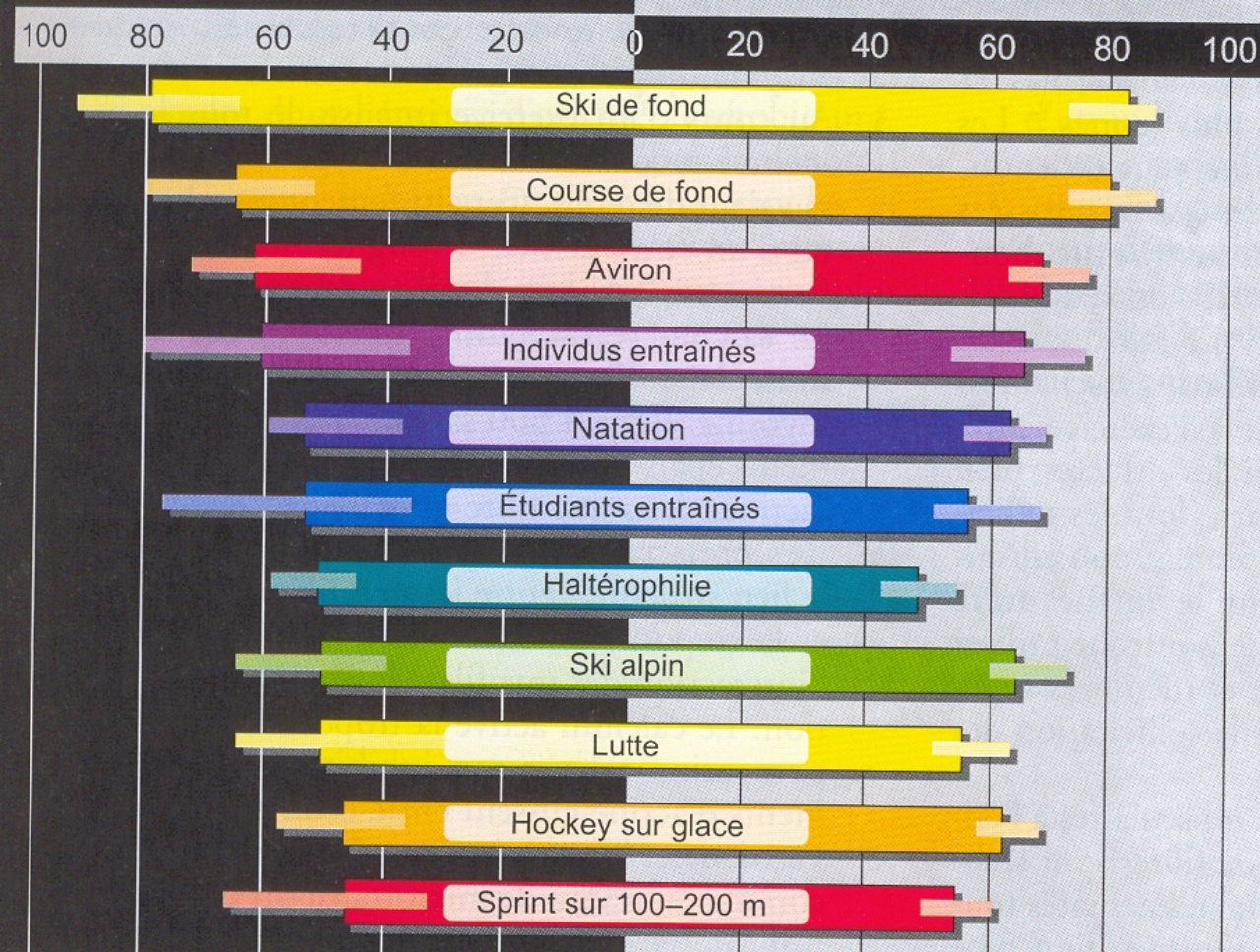
Composition des muscles squelettiques chez l'Homme

	Type de Fibre	
	Fibre Lente	Fibre Rapide
Contenu en myoglobine	élevé	faible
Mitochondries	élevé	faible
Enzymes oxydants	élevé	faible
Densité capillaire	élevé	faible
Phosphagènes	faible	élevé
Contenu en glycogène	faible	élevé
Enzymes glycolitiques	faible	élevé
Vitesse de contraction	lente	rapide
Fatigue	faible	élevée

Peut-on changer le type de fibre ?

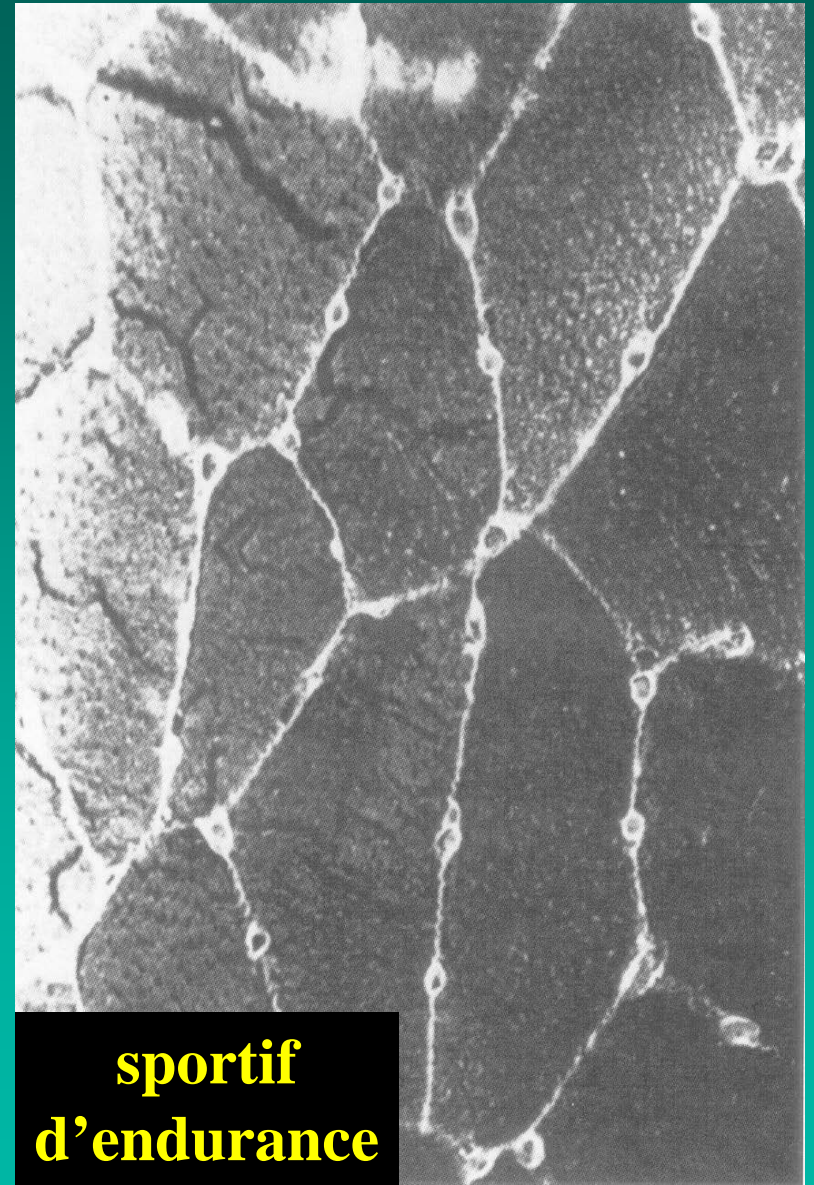
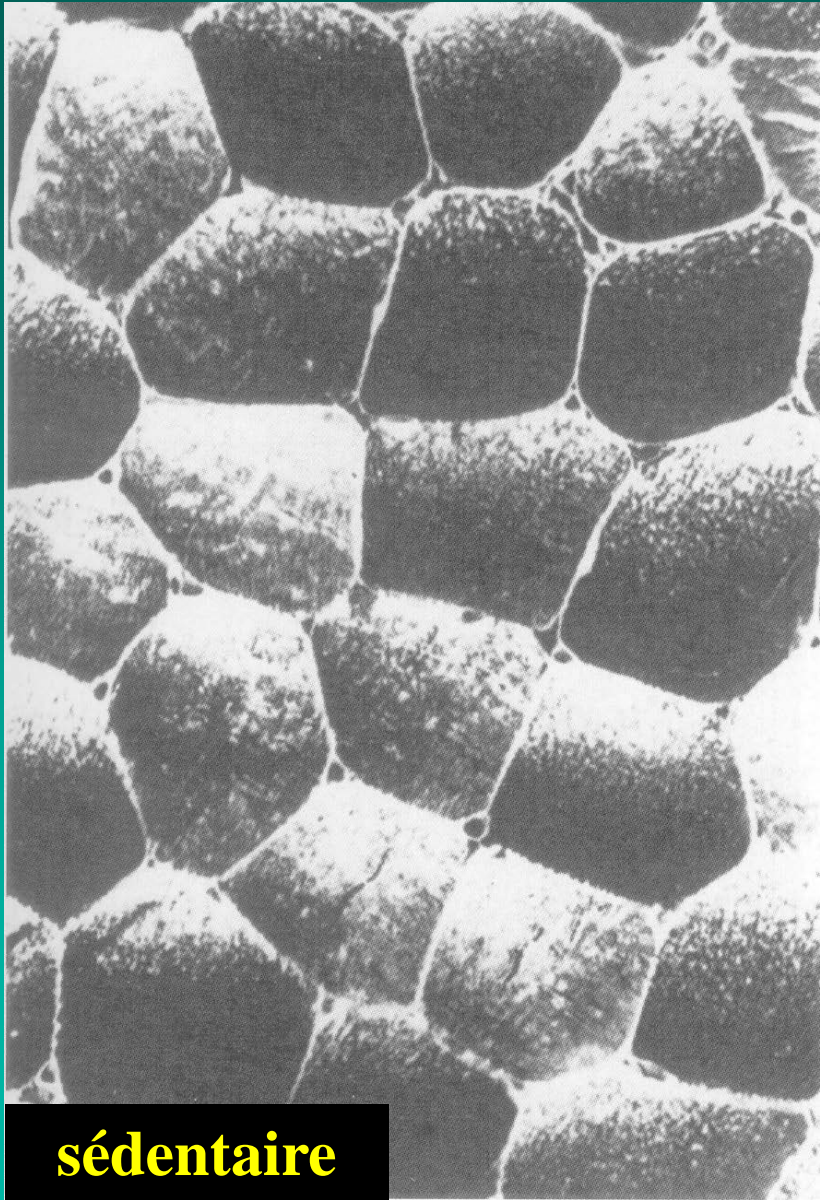
Typologie musculaire
% de fibres ST

Consommation maximale d'oxygène
 $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$



Programme E spécifique :
Incite à la conversion réelle
des fibres de type 2 ↔ 1
(+ 10 à 25 % selon les études)

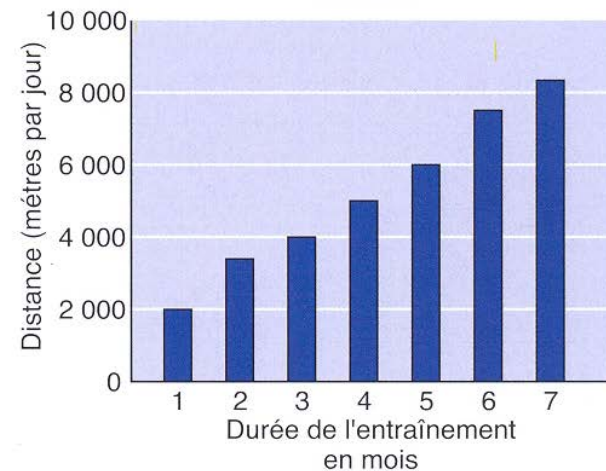
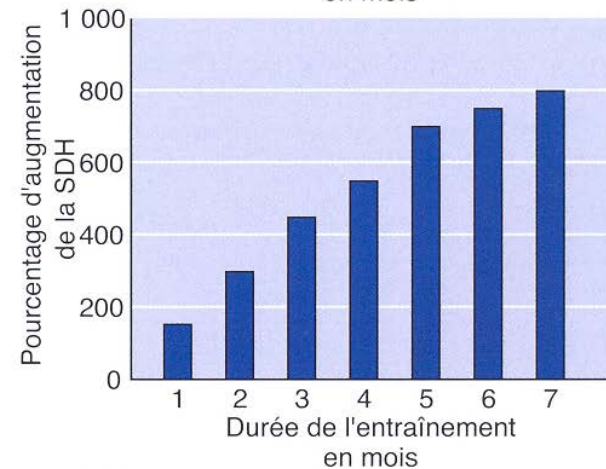
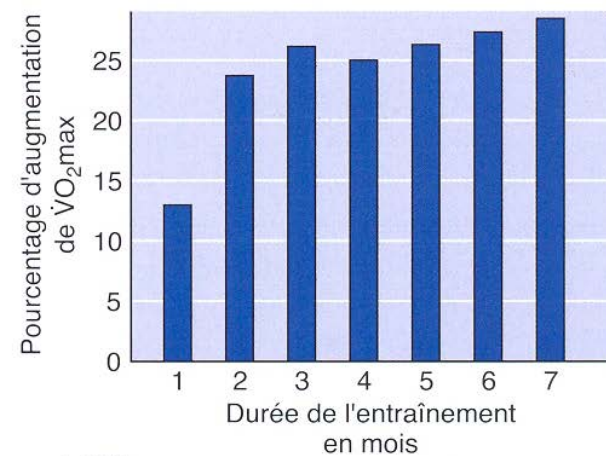
Vue microscopique de fibres musculaires



Systeme oxydatif et entraînement aérobie

mitochondrie : structure et fonction

*Puissance ϵ de la filière aérobie \uparrow
(prod \bullet ϵ /tps ou /vol mitoch)*



Adaptations à l'entraînement aérobie

1. adaptations cardio-vasculaires et respiratoires

2. adaptations musculaires

3. adaptations métaboliques (systèmes énergétiques)

! satisfaire la demande ε et limiter le risque de fatigue

a- les hydrates de carbone

stimulation resynthèse glycogène ;

contenu musculaire en glycogène \uparrow

moins utilisation du glycogène et \downarrow de la glycogénolyse hépatique

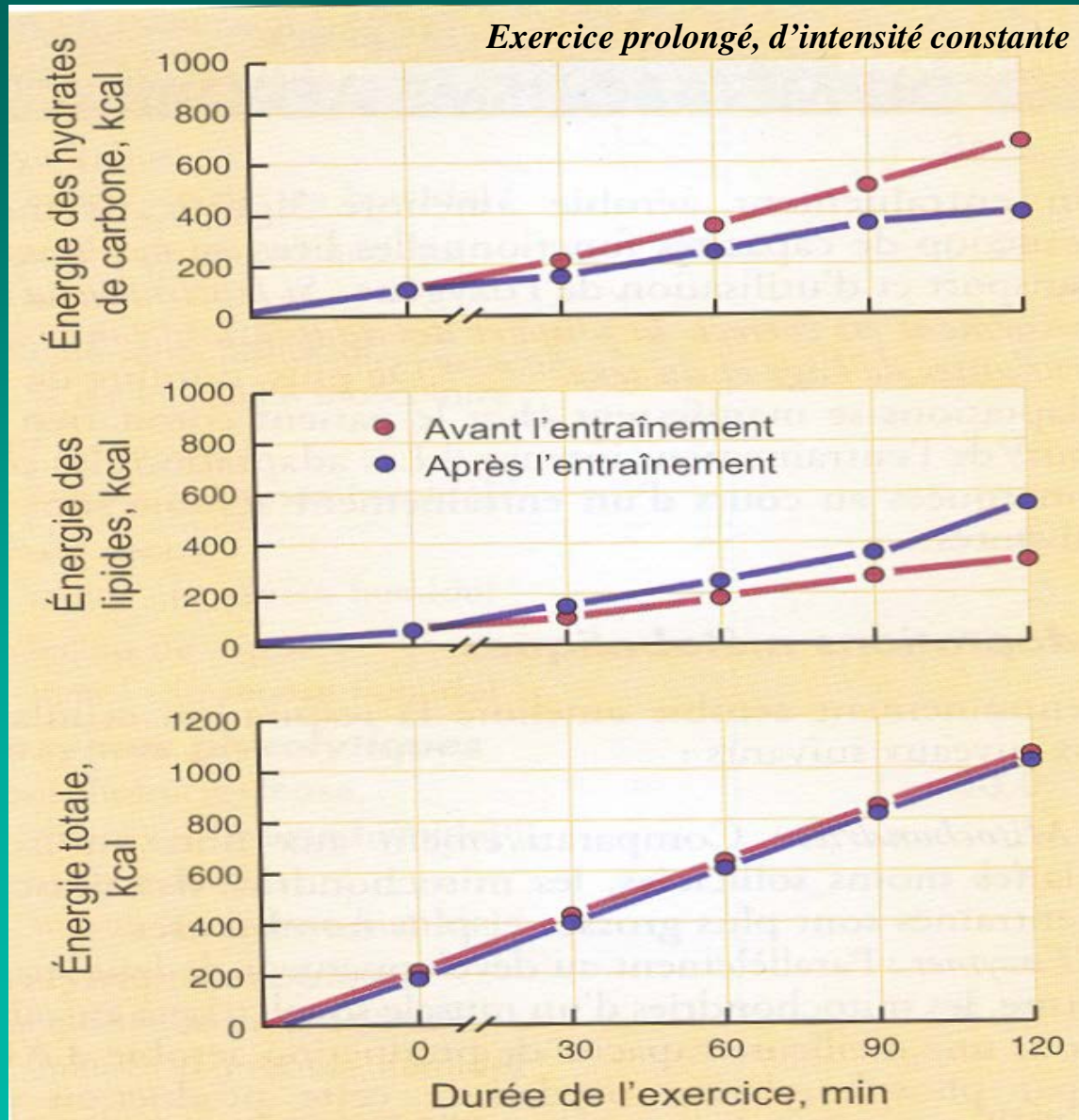
b- les graisses

augmentation des réserves de graisses ;

augmentation l'activité des enzymes musculaires de la β -

oxydation \rightarrow stimulation de la lipolyse \rightarrow AGL \uparrow ...

Le muscle entraîné possède une meilleure capacité de mobilisation, de transport et d'oxydation des graisses au cours d'un exercice sous-maximal



-irrigation musculaire ↑
-activité enzymatique ↑

! très avantageux pour l'athlète d'endurance...

L'entraînement du système aérobie

1. La quantité d'entraînement

varie d'un individu à l'autre; fonction du niveau athlétique

⇔ dépense ε quotidienne adéquate : 750-1000 kcal/jour;
probablement pas nécessaire d'aller au-delà...

2. L'intensité de l'entraînement

...

	Pourcentage de la fréquence cardiaque maximale	Pourcentage du $\dot{V}O_2\text{max}$
	50	28
	60	40
→	70	58
	80	70
→	90	83
	100	100

Relation mathématique entre % $\dot{V}O_2\text{max}$ -%FCM

Capacité aérobie

L'amélioration des syst aérobie se maintient, tant et aussi lgtps que la FC à l'effort se situe à l'intérieur de cette zone

3. Modalités d'entraînement

2 concepts physiologiques :

a- l'intervalle training aérobic

alternance périodes I élevée – I basse ;

pas de récupération complète

! Jamais de retour à l'état de repos

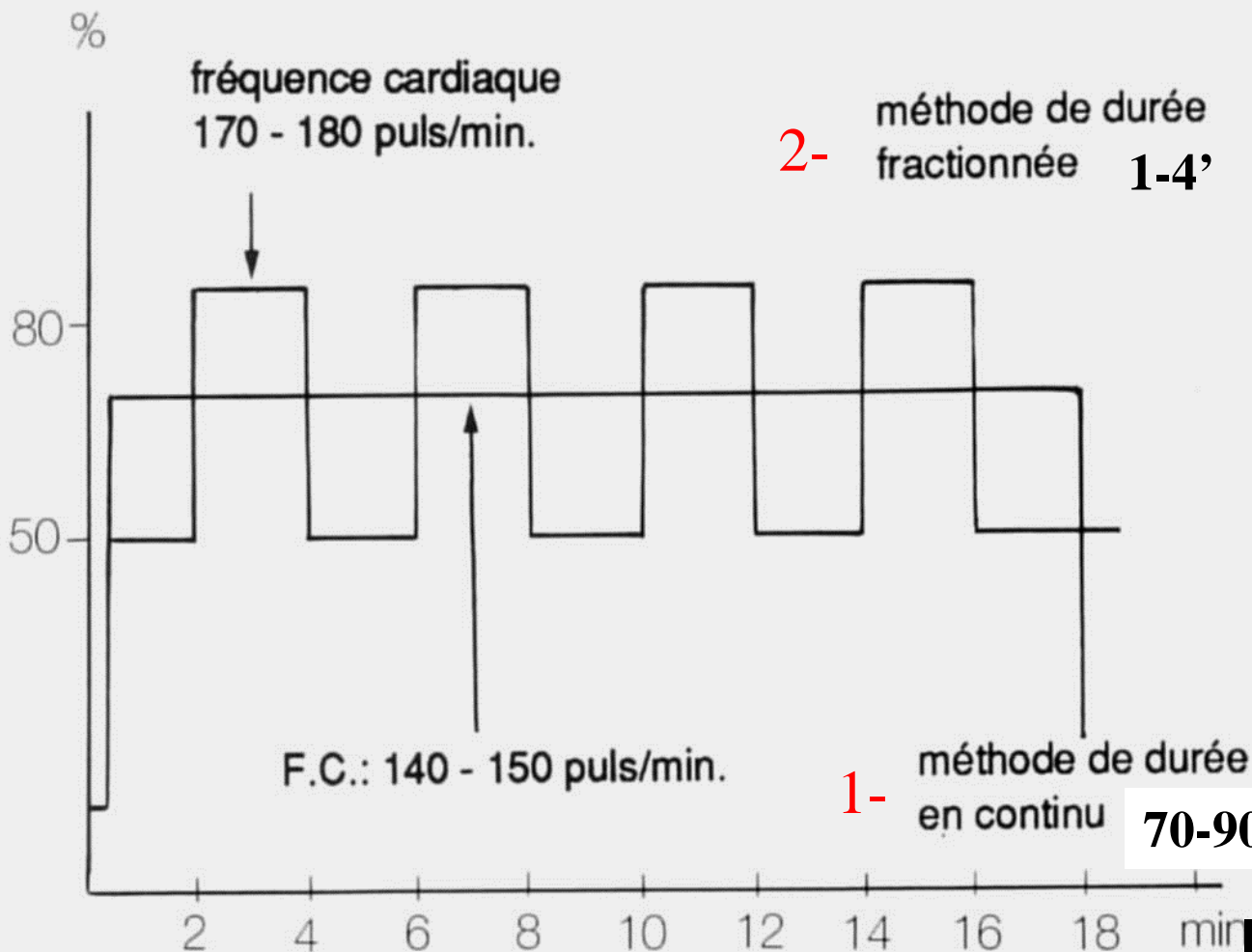
b- l'entraînement continu

effort long ininterrompu se situant dans la

zone aérobic

⇒...en terme de performance, bénéfiques similaires...

Méthodologie de l'entraînement aérobic



Effets physiologiques :

1- système CV +++
- muscle +

2- alternance procédés
- système CV +
- muscle +++

...utilité d'associer les modalités d'entraînements

Evaluation des effets de l'entraînement aérobie

Objectif de l'E: améliorer la performance

1. Mesure VO_2 max

2. Mesure répétée de la lactatémie lors d'un exercice d'intensité croissante (SL1 et SL2)

3. Mesure de la lactatémie lors d'un exercice standardisé d'intensité constante, à différentes périodes de l'entraînement

