



**UNIVERSITÉ
DE GENÈVE**

FACULTÉ DE MÉDECINE



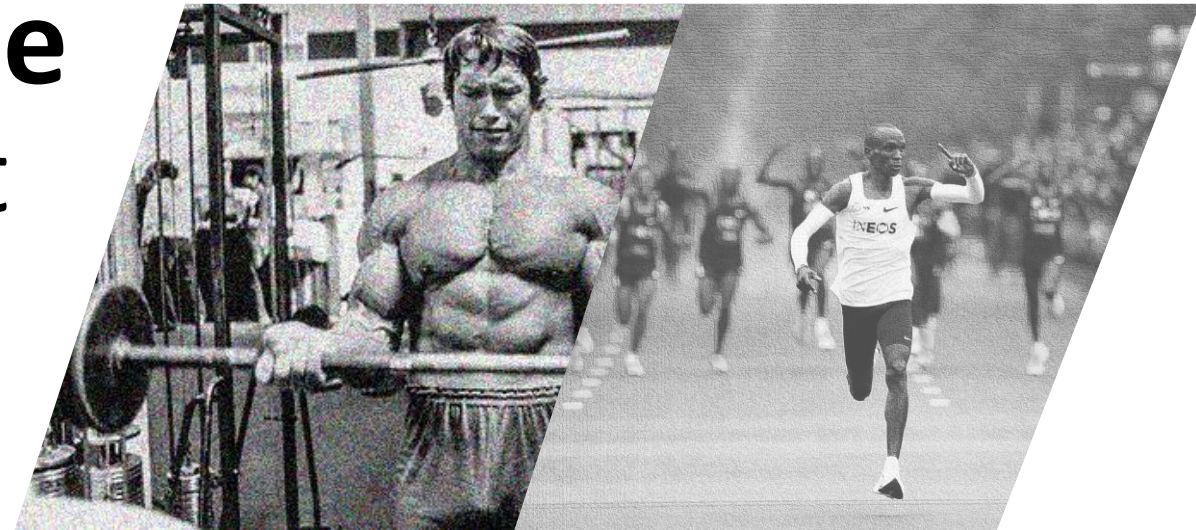
**Hôpitaux
Universitaires
Genève**

Entraînement physique – Définition, principes et adaptations

Locomotion, activité physique – 1BA

Bachelor 1ère Année - SCIENCES MÉDICALES DE BASE
Centre médical universitaire (CMU) – Université de Genève (UNIGE)

16.04.2026



 <https://moodle.unige.ch/course/view.php?id=4229>

Ivo NETO SILVA, PT, MSc, PhDc

Service de soins intensifs adultes – Département de médecine aiguë (DMA) | HUG

Chargé de recherche et implémentation (Responsable clinique et scientifique) – domaine de la physiothérapie | Direction des soins | HUG

Groupe de recherche en hémodynamique (GRH) et Centre de recherche sur le muscle squelettique et le mouvement (CR2M) | Faculté de médecine | UNIGE

Plan d'enseignement

HORAIRE 1^{ère} année 2025-2026

SEMAINE 24



	Lundi 13.04.2026	Mardi 14.04.2026	Mercredi 15.04.2026	Jeudi 16.04.2026	Vendredi 17.04.2026
08h15-09h00			Chimie organique 13 S. Matile / S. Hoogendoorn <i>CMU/Champendal</i>		
09h15-10h00		Réponse cardio-vasculaire et respiratoire à l'exercice I. Neto Silva <i>CMU/Champendal</i>		Entraînement physique I. Neto Silva <i>CMU/Champendal</i>	
10h15-11h00	Energie du mouvement I. Neto Silva <i>CMU/Champendal</i>	Pharmacologie 1 M. Besson <i>CMU/Champendal</i>	Activité Physique et Capacité fonctionnelle (recommandations et mesures) I. Neto Silva <i>CMU/Champendal</i>	Cas de liaison Mucoviscidose 7 G. Berra <i>CMU/Champendal</i>	
11h15-12h00				MFE 6 : La MFE illustrée M. Bideau / D. Haller-Hester / C. Gillibert <i>CMU/Champendal</i>	
12h15-13h00					

Objectifs d'apprentissage

A la fin de ce cours, vous devriez être capable de :

- Connaître les principes de l'entraînement physique
- Maîtriser les terminologies plus importantes qui seront abordées
- Comprendre les adaptations physiques comme réponse à l'entraînement

Programme

- **Les principes de l'entraînement**

Individualisation, spécifié, réversibilité, progressivité et périodicité

- **Terminologies**

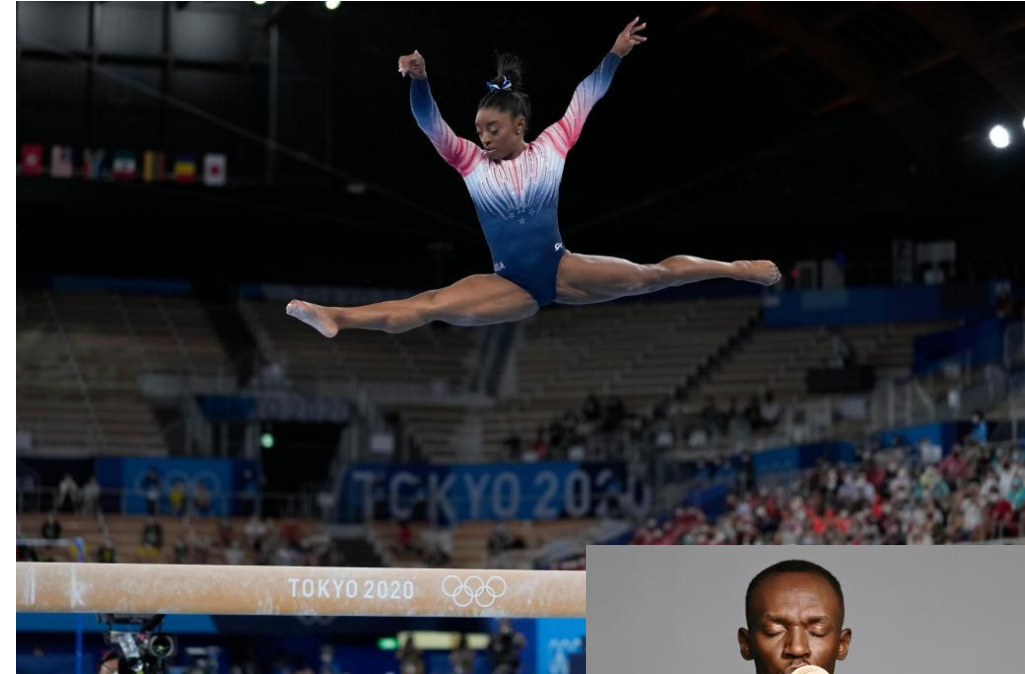
La force musculaire, la puissance musculaire, l'endurance musculaire, la puissance aérobie et la puissance anaérobie.

- **Les adaptations à l'entraînement**

De force, aérobie et anaérobie.

L'entraînement physique

- Le principal objectif de la physiologie du sport et de l'exercice physique est de déterminer comment le corps répond au stress induit par la répétition d'exercices.
- Ces adaptations physiologiques, qui apparaissent après une exposition chronique à l'exercice, améliorent ainsi vos capacités et vos performances.



Simone Biles, EUA, 7 médailles d'Or 🏆, JO 2016 et JO 2024



Usain Bolt, Jamaïca, 8 médailles d'Or 🏆, JO 2008, JO 2012 et JO 2016

Rappel – L'exercice physique

Exercice physique :

- « Sous-catégorie d'activité physique qui est planifiée, structurée et répétitive et qui répond à un but précis, **l'objectif étant l'amélioration ou le maintien de l'une ou plusieurs des composantes de la forme physique.** »

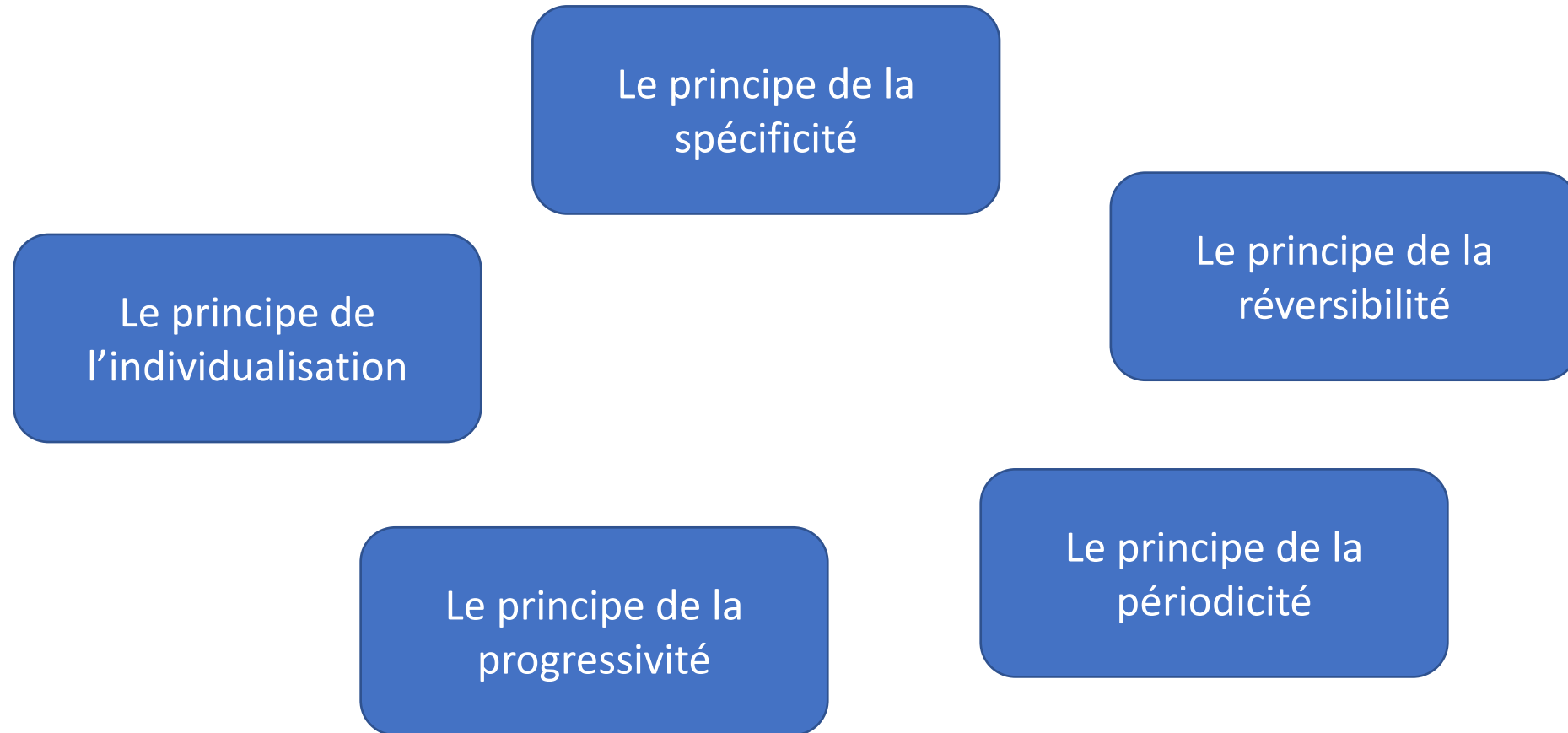
Planifié

Structurée

Répétitive

But précis

Les principes de l'entraînement physique



Les principes de l'entraînement physique

Le principe de l'INDIVIDUALISATION

L'hérédité joue un rôle majeur dans la vitesse et le degré d'adaptation du corps à un programme d'entraînement.

Ces variations individuelles sont en relation avec des variations d'ordre cellulaire, métabolique ou impliquant la régulation nerveuse et endocrinienne.

Deux personnes différentes ne possèdent pas les mêmes caractéristiques génétique (sauf dans un cas de figure...)



Photo : Monozygotic twins

Les principes de l'entraînement physique

Le principe de la SPECIFICITE

Les adaptations à l'exercice et à l'entraînement sont hautement spécifiques de l'activité, du volume et de l'intensité des exercices réalisés.

Ce principe explique que les programmes d'entraînement doivent solliciter les systèmes physiologiques essentiels à la réalisation de la performance, dans une discipline donnée.

(Par exemple, le marathonien ne va pas soulever des poids libres comme axe principal de son programme d'entraînement).



Photo : Arnold Schwarzenegger

≠



Photo : Eliud Kipchoge, médaille d'or 🏆 au marathon, JO2016 et JO 2020

Les principes de l'entraînement physique

Le principe de la REVERSIBILITE

L'entraînement en endurance augmente ainsi la capacité à réaliser des exercices plus intenses sur des périodes plus prolongées.

Mais lorsque vous arrêtez de vous entraîner, votre niveau d'aptitude va s'effondrer et redevenir celui d'un sujet sédentaire. Les gains obtenus par l'entraînement vont donc être perdus.



Les principes de l'entraînement physique

Le principe de la PROGRESSIVITE

Un entraînement progressif implique que la résistance proposée aux muscles est progressivement augmentée, puisque le muscle devient régulièrement de plus en plus fort.

Les concepts de surcharge et progressivité constituent les bases de tout entraînement.

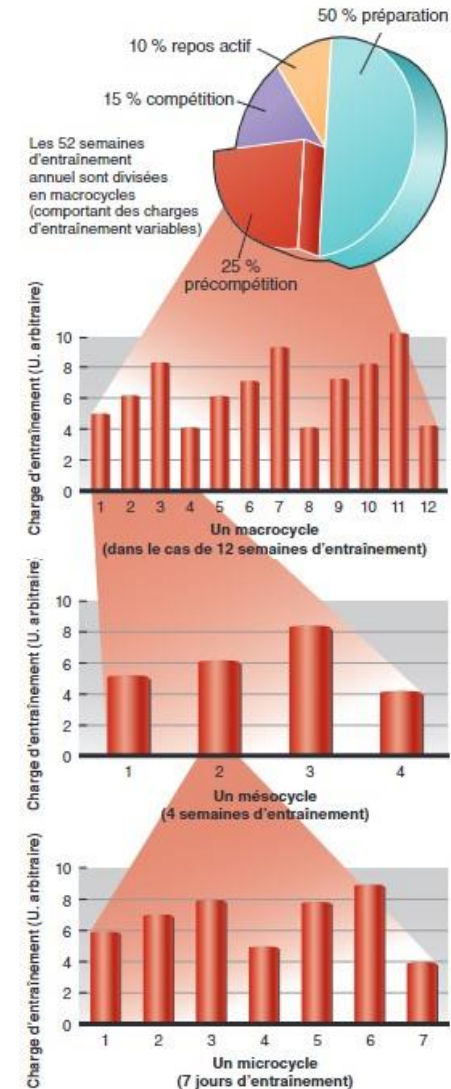


Les principes de l'entraînement physique

Le principe de la PERIODICITE

Il consiste à planifier l'entraînement sous forme de cycles progressifs à la fois en spécificité, intensité et volume. L'objectif est d'amener l'athlète à son meilleur niveau de forme le jour de la compétition.

Le volume et l'intensité de l'entraînement varient tout au long d'un macrocycle qui s'étend, en général, sur toute une saison sportive.



Exemple de périodisation traditionnelle

Les terminologies

- Force musculaire
- Puissance musculaire
- Endurance musculaire
- Puissance aérobie
- Puissance anaérobie

« Force musculaire »

- Définie comme la charge maximale développée par un muscle ou un groupe musculaire.
 - Symbolisé par le **1-RM** ou 1 répétitions maximales.
 - Devient la référence en termes de prescription de l'entraînement.
- A l'aide des certains équipements de laboratoire (Appareil isocinétique, dynamomètre), on peut mesurer :
 - **Force statique.**
 - **Force dynamique**, pour différentes angulations et différentes vitesses.

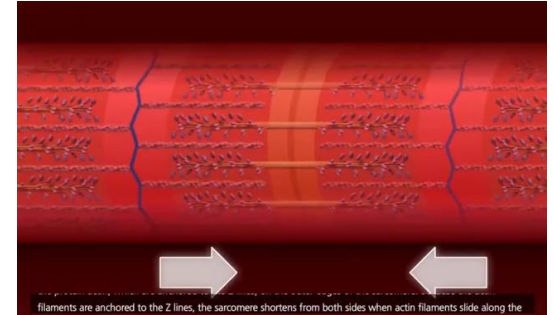


« Puissance musculaire »

- Résultat de → force *versus* vitesse, c-a-d,

Puissance = force x distance/temps

(force = charge, distance/temps = vitesse)



Composante	Athlète A	Athlète B	Athlète C
Force ^a	100 kg	200 kg	200 kg
Puissance ^b	100 kg soulevés de 0,6 m en 0,5 s = ???	200 kg soulevés de 0,6 m en 2 s = ???	200 kg soulevés de 0,6 m en 1 s = ???

- La force est déterminée par la charge maximale qui ne peut être soulevée qu'une seule fois (1-RM).
- La puissance est déterminée en développant 1-RM le plus vite possible. Elle est calculée en multipliant la force par la hauteur à laquelle est soulevée la charge et en divisant par le temps.

« Puissance musculaire »

- Résultat de → force *versus* vitesse, c-a-d,

Puissance = force x distance/temps

(force = charge, distance/temps = vitesse)

Composante	Athlète A	Athlète B	Athlète C
Force ^a	100 kg	200 kg	200 kg
Puissance ^b	100 kg soulevés de 0,6 m en 0,5 s = 120 kgm.s ⁻¹	200 kg soulevés de 0,6 m en 2 s = 60 kgm.s ⁻¹	200 kg soulevés de 0,6 m en 1 s = 120 kgm.s ⁻¹

- La force est déterminée par la charge maximale qui ne peut être soulevée qu'une seule fois (1-RM).
- La puissance est déterminée en développant 1-RM le plus vite possible. Elle est calculée en multipliant la force par la hauteur à laquelle est soulevée la charge et en divisant par le temps.

« Endurance musculaire »

- Capacité du muscle à répéter de nombreuses contractions, ou à maintenir longuement des contractions statiques.
- Elle peut être déterminée par le nombre de répétitions qu'on est capable de réaliser à un pourcentage donné du 1-RM.
 - Normalement à 75%.
- L'amélioration de l'endurance dépend de :
 - Augmentation de la 1-RM
 - Adaptations métaboliques locales
 - Adaptations circulatoires locales



« Endurance musculaire »

- Capacité du muscle à répéter de nombreuses contractions, ou à maintenir longuement des contractions statiques.
- Elle peut être déterminée par le nombre de répétitions qu'on est capable de réaliser à un pourcentage donné du 1-RM.
 - Normalement à 75%.

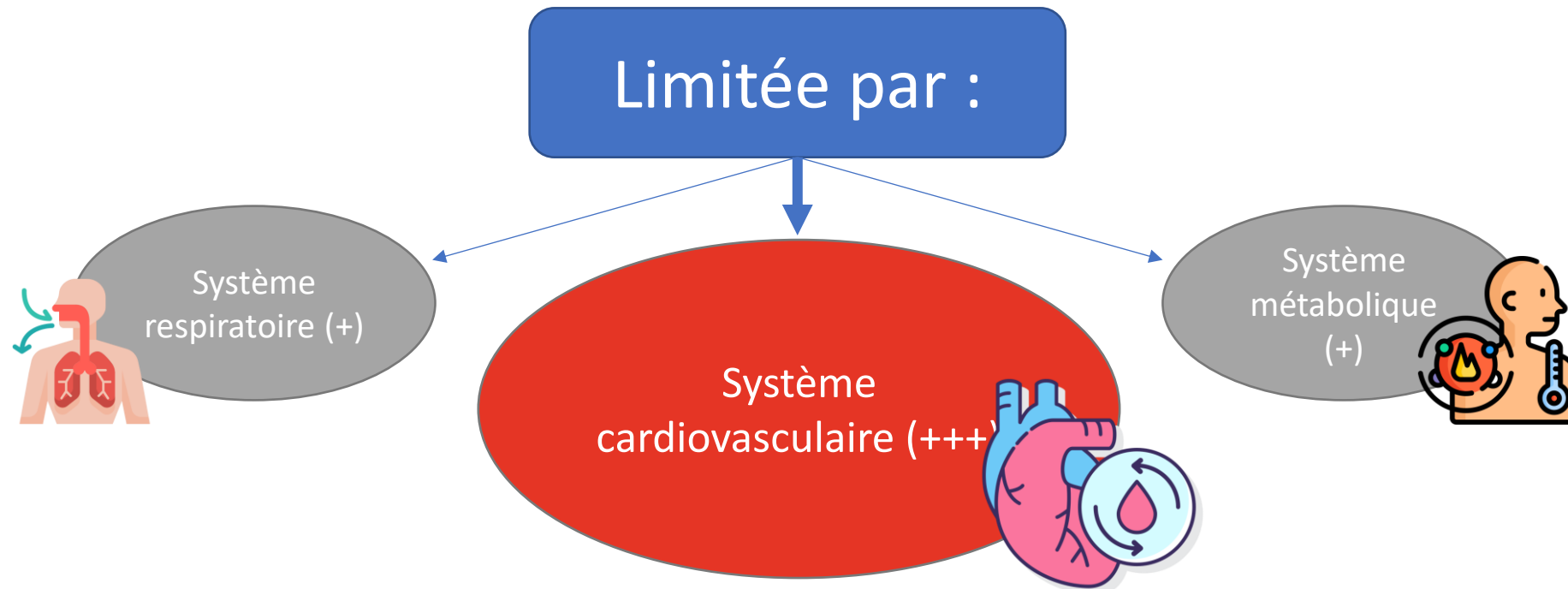


Composante	Athlète A	Athlète B	Athlète C
Force ^a	100 kg	200 kg	200 kg
Puissance ^b	100 kg soulevés de 0,6 m en 0,5 s = 120 kg.m.s ⁻¹	200 kg soulevés de 0,6 m en 2 s = 60 kg.m.s ⁻¹	200 kg soulevés de 0,6 m en 1 s = 120 kg.m.s ⁻¹
Endurance musculaire^c	10 répétitions avec 75 kg	10 répétitions avec 150 kg	5 répétitions avec 150 kg

c. L'endurance musculaire est déterminée par le plus grand nombre de répétitions permettant de soulever 75 % de 1-RM.

« Puissance aérobie »

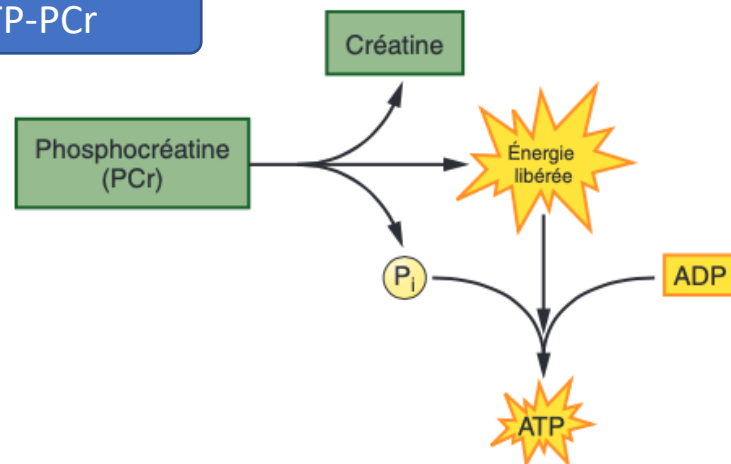
- Débit d'énergie produit par le métabolisme cellulaire et dépend de la disponibilité et de l'utilisation de l'oxygène.
 - Capacité maximale de resynthèse de l'ATP par voie aérobie.
 - Puissance permettant arriver à la VO₂max.



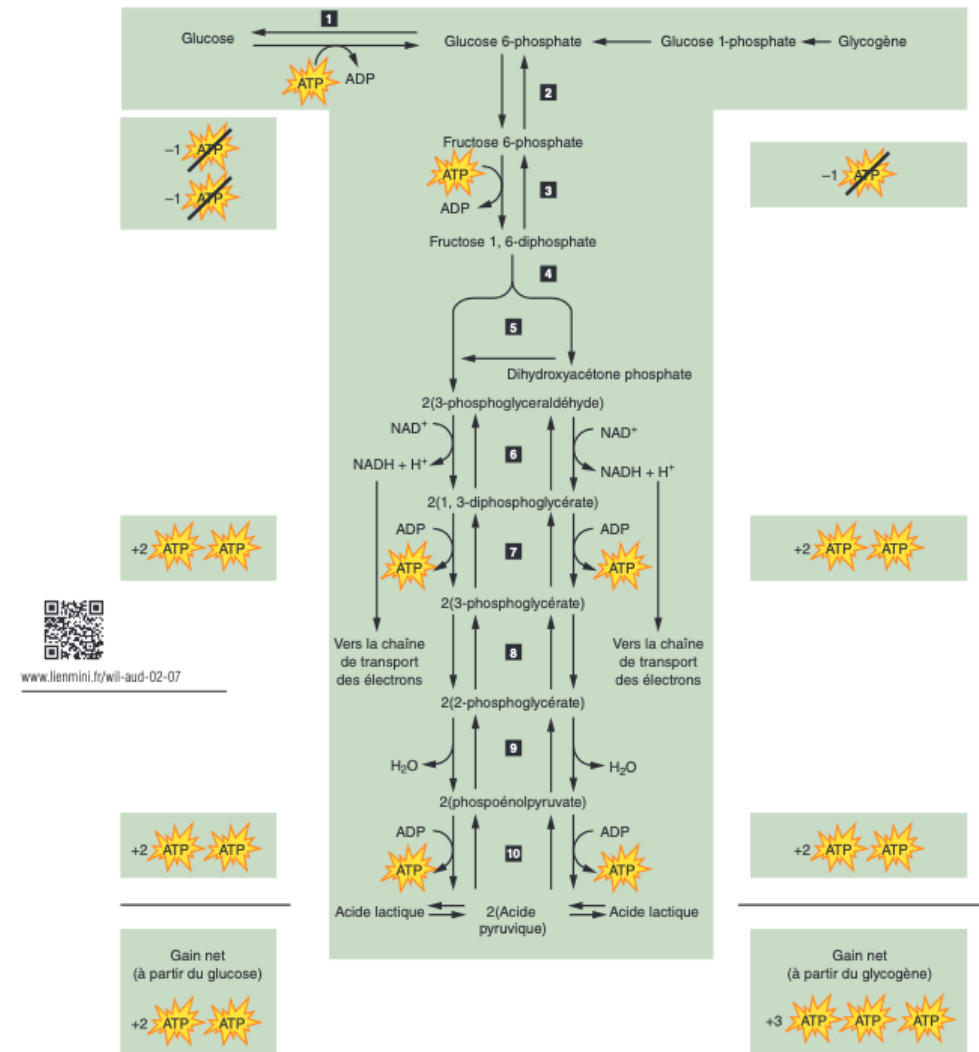
« Puissance anaérobie » ou « Capacité anaérobie »

- Débit d'énergie produit par le métabolisme cellulaire sans l'utilisation de l'oxygène.
 - La capacité de anaérobie représente la capacité maximale du système anaérobie c-a-d
 - système ATP-PCr et
 - système glycolytique.

système ATP-PCr

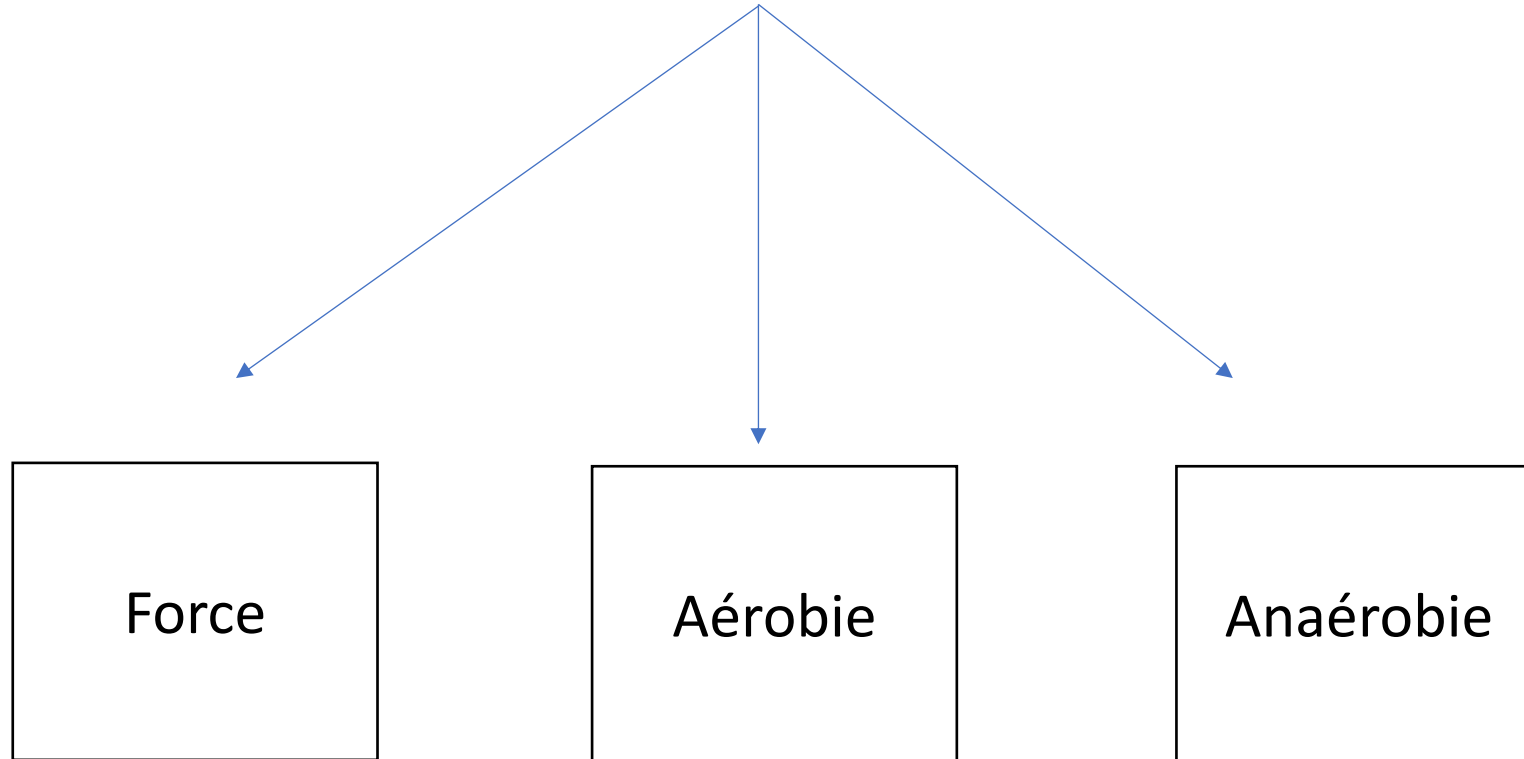


système glycolytique



Adaptations physiologiques à l'entraînement physique

Adaptations physiologiques à l'entraînement



Adaptations physiologiques à l'entraînement de FORCE

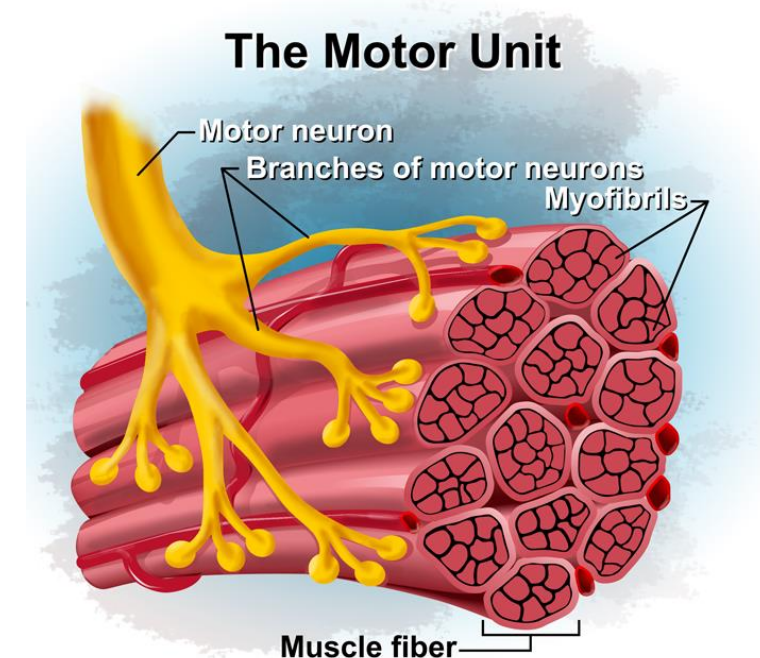
Adaptations à l'entraînement de **FORCE**

• Facteurs nerveux du gain de force musculaire

- Synchronisation et recrutement d'unités motrices supplémentaires

Amélioration de la synchronie de contraction des unités motrices

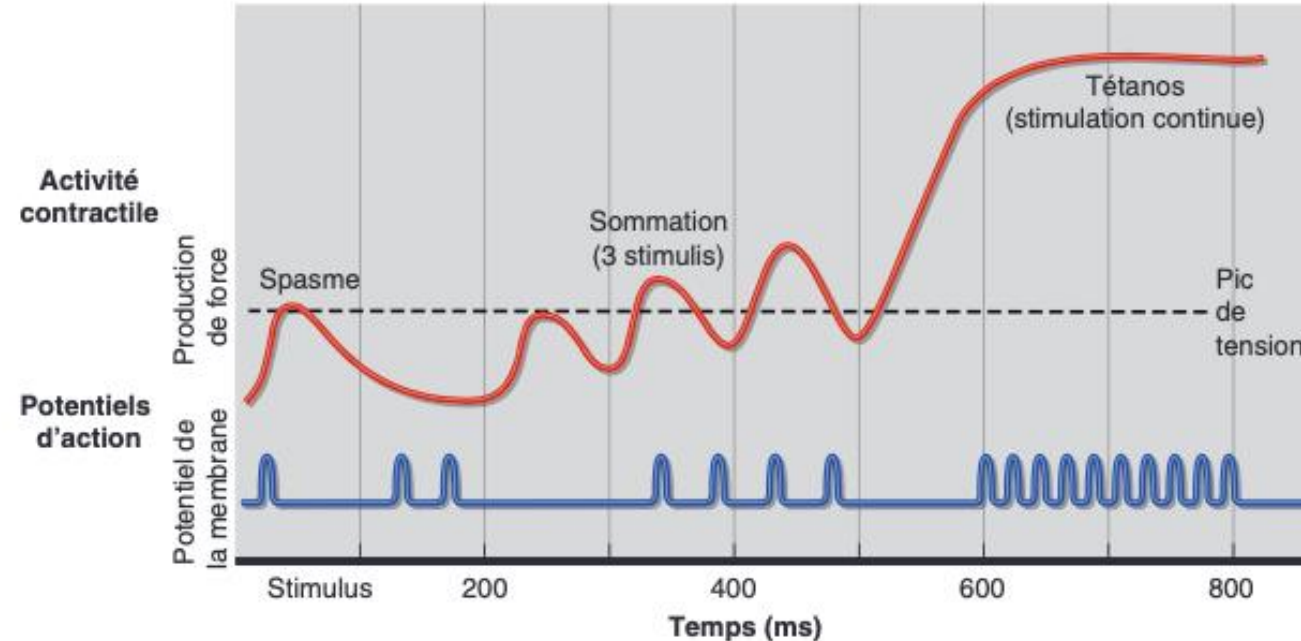
- ↑ musculation → la synchronisation des unités motrices,
- ↑ la synchronisation permet d'améliorer le niveau de force développé et la capacité d'exercer des forces constantes.



Adaptations à l'entraînement de **FORCE**

- **Facteurs nerveux du gain de force musculaire**

- Augmentation du recrutement des unités motrices par sommation temporelle (*rate coding*)



- Il existe peu de preuves ou d'études montrant que la sommation temporelle augmente en réponse à l'entraînement de force.
- À l'inverse, il est connu que les mouvements rapides ou balistiques l'augmentent

Adaptations à l'entraînement de **FORCE**

- **Facteurs nerveux du gain de force musculaire**
 - Augmentation de la conduction nerveuse

Augmentation des stimulations nerveuses arrivant au muscle lors d'une contraction musculaire maximale.

Les muscles entraînés :

Pour un même niveau de force submaximal → une activité EMG plus basse (↓) suggérant une meilleure **EFFICIENCE** (↑) dans le mode de recrutement des unités motrices

Adaptations à l'entraînement de **FORCE**

- **Facteurs nerveux du gain de force musculaire**
 - L'inhibition autogène

Les Mécanismes inhibiteurs du système neuromusculaire tels que les organes tendineux de golgi, protègent les muscles contre la production d'une force musculaire trop importante.

L'entraînement en musculation peut progressivement diminuer ou neutraliser ces inhibitions, permettant alors au muscle de produire des forces supérieures indépendamment de l'augmentation de la masse.

Adaptations à l'entraînement de FORCE

- Facteurs nerveux du gain de force musculaire

- Autres facteurs nerveux

↓ de la **coactivation des muscles agonistes et antagonistes** peut également jouer un rôle : un agoniste est plus efficace si son antagoniste est moins actif.

↑ de la fréquence de décharge des unités motrices, liée à des modifications morphologiques de la jonction neuromusculaire, influençant la production de force.

Adaptations à l'entraînement de **FORCE**

- **L'hypertrophie musculaire**

- Hypertrophie des fibres musculaires

L'hypertrophie chronique est justifiée par

- Une augmentation du nombre de myofibrilles ;
- une augmentation du nombre des filaments d'actine et de myosine
- une augmentation du volume sarcoplasmique
- une augmentation du tissu conjonctif
- une association de ces différents facteurs.

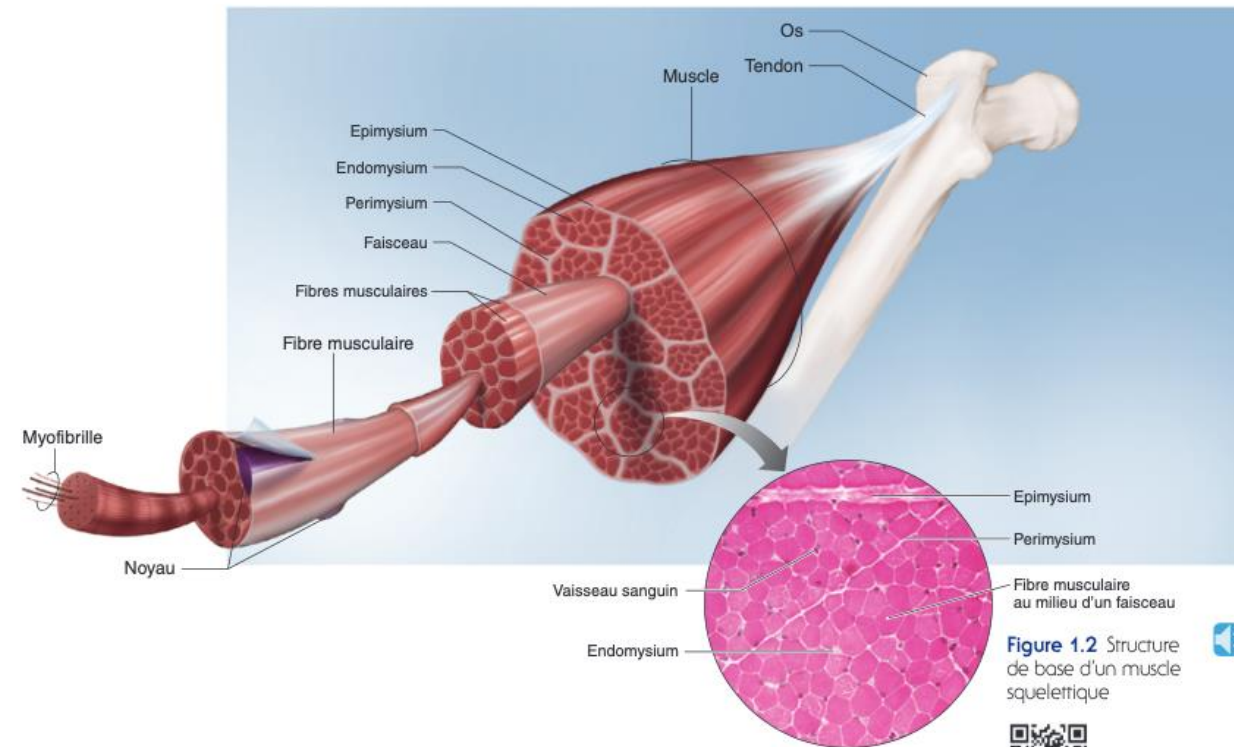


Figure 1.2 Structure de base d'un muscle squelettique



Adaptations à l'entraînement de **FORCE**

- **L'hypertrophie musculaire**

- Hormones et hypertrophie

↑ Testostérone

↑ l'hormone de croissance (*growth hormone, gh*)

↑ Le facteur de croissance analogue à l'insuline (*insulin-like growth factor-1 ; IGF-1*)

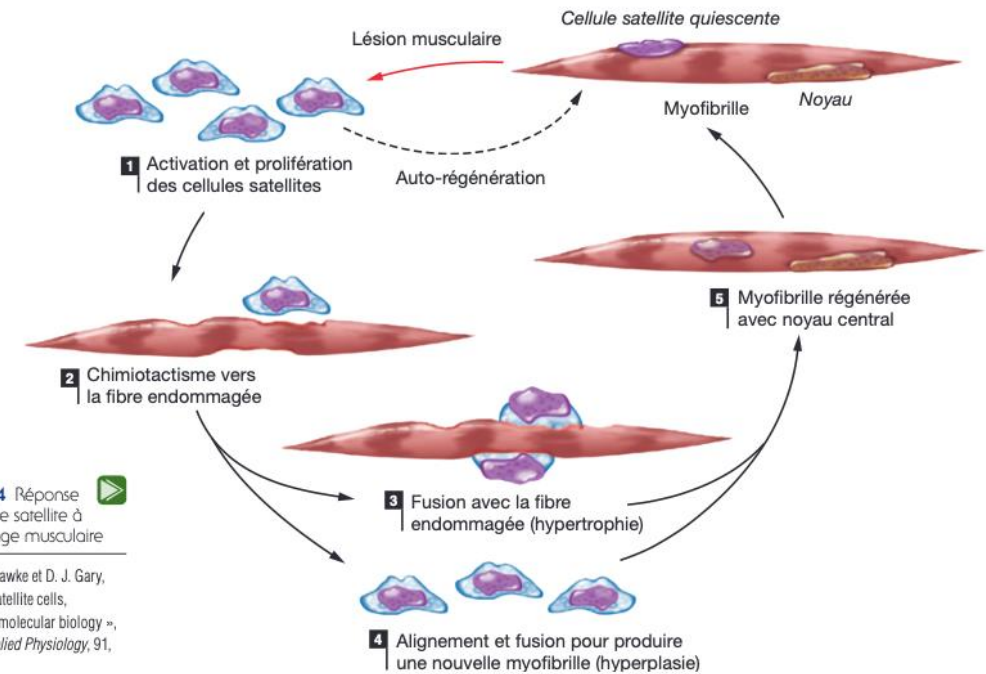
Adaptations à l'entraînement de **FORCE**

- **L'hypertrophie musculaire**
 - Hyperplasie des fibres musculaires

Possibilité manquant encore de données probantes.

Il est possible que cela puisse avoir lieu chez certains sujets et dans des conditions d'entraînement particulières.

- Les nouvelles fibres musculaires peuvent apparaître par division des fibres existantes ou grâce aux cellules satellites, impliquées dans la myogenèse.
- Ces cellules s'activent en réponse aux lésions musculaires, notamment après des exercices excentriques.
- Elles prolifèrent, migrent vers la zone endommagée et fusionnent avec les fibres existantes ou forment de nouvelles myofibrilles.
- Elles apportent aussi des noyaux supplémentaires, favorisant l'hypertrophie et, potentiellement, l'hyperplasie musculaire



Adaptations à l'entraînement de **FORCE**

- **Relation entre l'activation nerveuse et l'hypertrophie musculaire**

Les gains de force résultent essentiellement d'une augmentation de l'activation nerveuse (phase initiale !) - pendant les 8 à 10 premières semaines d'entraînement.

L'hypertrophie musculaire serait préférentiellement observée après des délais plus importants.

Semblant être comme le facteur essentiel dans le gain de force, elle n'apparaît que lorsque la durée d'entraînement dépasse 10 semaines (phase tardive)

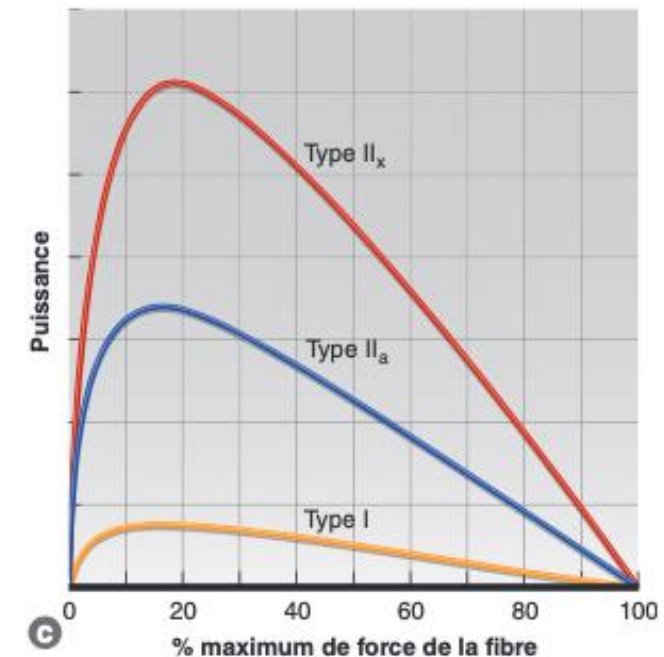
Adaptations à l'entraînement de **FORCE**

- **L'atrophie musculaire et la baisse de force avec l'inactivité**
 - L'immobilisation (NB.: vue pendant le cours sur l'activité physique)
 - Arrêt de l'entraînement (en lien avec principe de la réversibilité)

- **Modifications de la typologie des fibres musculaires**

Plasticité des fibres grâce à l'entraînement... pas encore de consensus.

Néanmoins, les fibres paraissent répondre à leur environnement et stimulation ayant ces éléments la capacité pour les modifier (*fiber type shift*).



Adaptations physiologiques à l'entraînement AÉROBIE et ANAÉROBIE

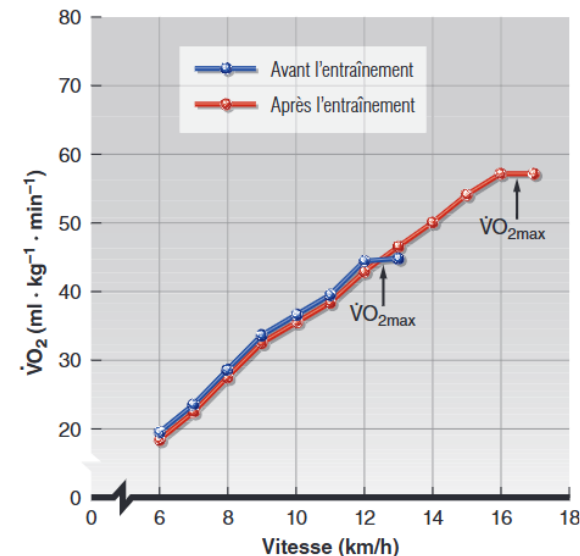
Adaptations à l'entraînement **AEROBIE**

• Les adaptations cardio-vasculaires à l'entraînement aérobic



- a) les dimensions du cœur,
- b) le volume d'éjection systolique,
- c) la fréquence cardiaque,
- d) le débit cardiaque,
- e) le débit sanguin,
- f) la pression artérielle,
- g) le volume sanguin.

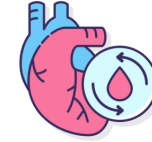
Tous ces éléments présentent une interdépendance entre eux.



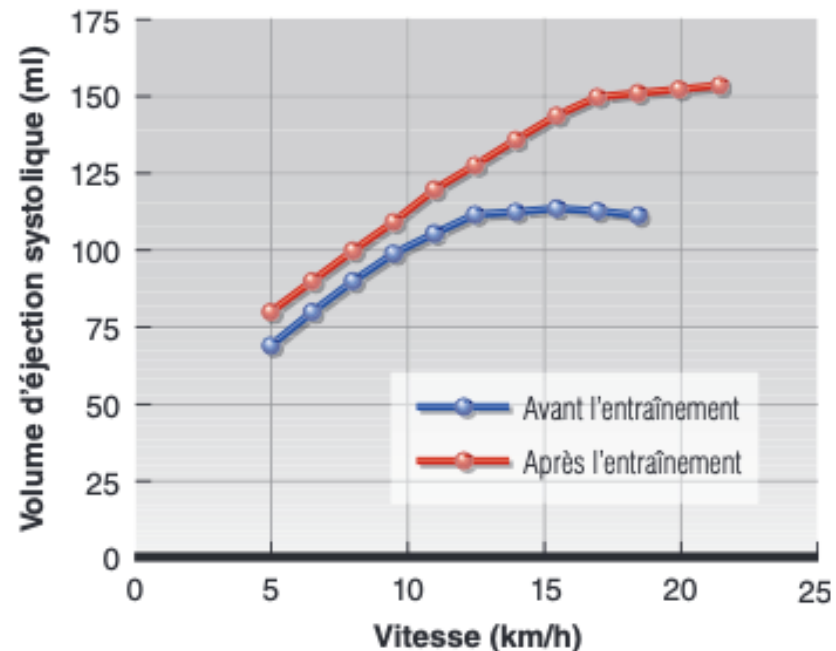
Variations de VO₂ max après 12 semaines d'entraînement en endurance. VO₂ max a augmenté de 46 % (de 39 à 57 ml.kg⁻¹.min⁻¹). La vitesse correspondante sur tapis roulant est passée de 12 à 17 km/h.

Adaptations à l'entraînement **AEROBIE**

• Les adaptations cardio-vasculaires à l'entraînement aérobic

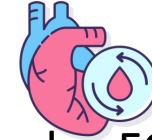


- Amélioration du système de transport de l'oxygène
- Changement des dimensions cardiaques et épaissement de la paroi cardiaque (Ventricule G +++)
- Augmentation du volume ventriculaire gauche et du volume d'éjection systolique (V_s) au repos comme à l'exercice maximal et sous-maximal.

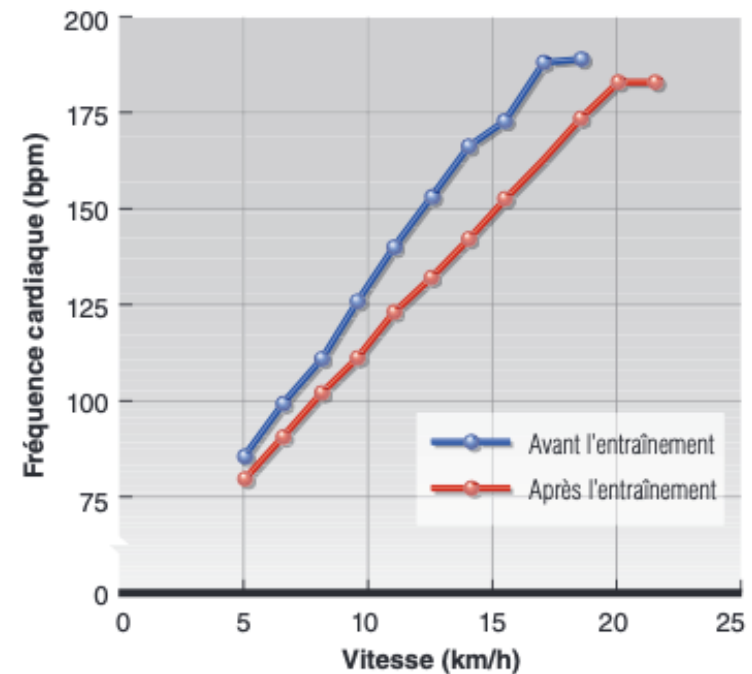


Adaptations à l'entraînement **AEROBIE**

• Les adaptations cardio-vasculaires à l'entraînement aérobic

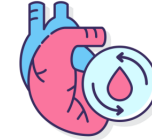


- L'entraînement aérobic ↓ FC de repos. Les athlètes très endurants peuvent avoir des FC de repos de 40 bpm voire moins.
- L'entraînement aérobic réduit aussi la fréquence cardiaque à l'exercice sous-maximal.

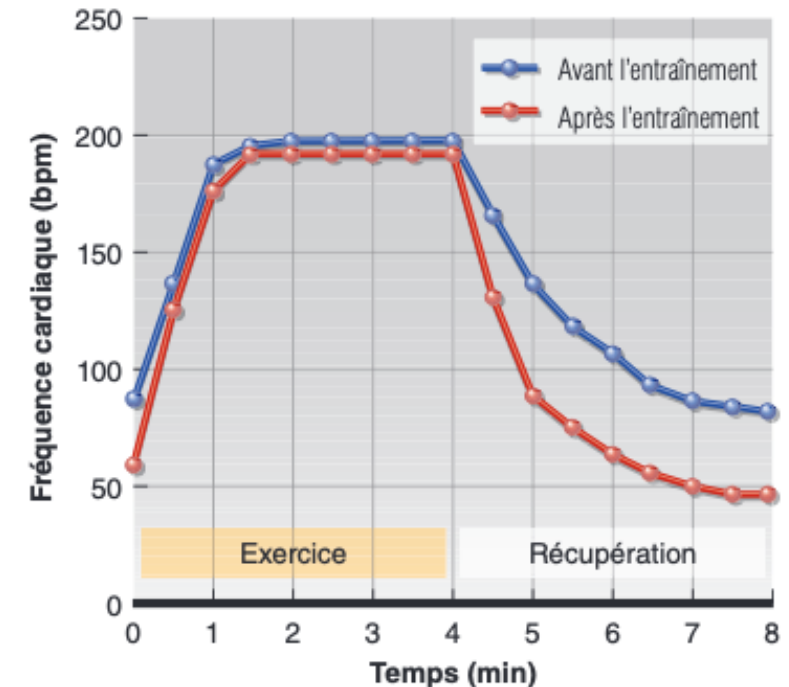


Adaptations à l'entraînement **AEROBIE**

• Les adaptations cardio-vasculaires à l'entraînement aérobic

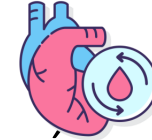


- **La fréquence cardiaque maximale est peu affectée.** Sa diminution éventuelle est liée à une augmentation du volume d'éjection systolique.
- Le délai de récupération de la fréquence cardiaque (FC de récupération) diminue au fur et à mesure de l'entraînement et témoigne de l'amélioration de l'aptitude à l'exercice aérobic.

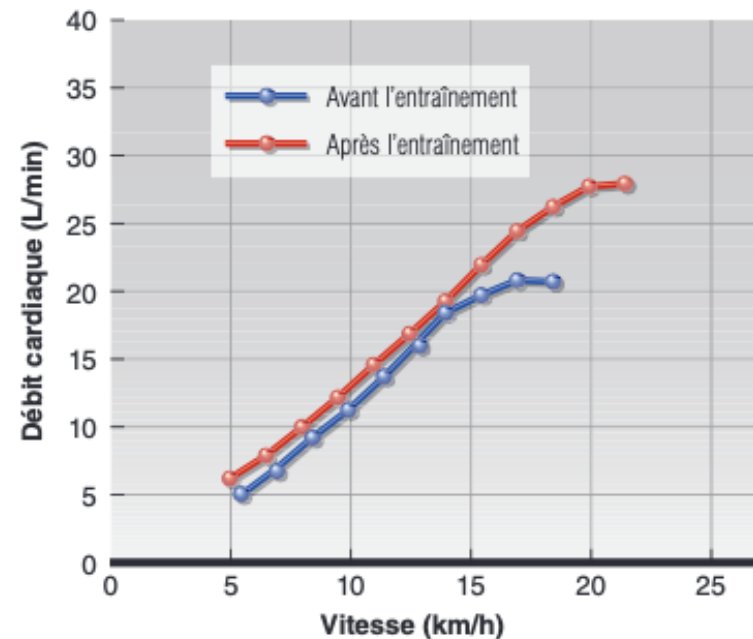


Adaptations à l'entraînement **AEROBIE**

• Les adaptations cardio-vasculaires à l'entraînement aérobic



- Le débit cardiaque maximal augmente dans de larges proportions, en réponse à l'augmentation substantielle du volume d'éjection systolique maximal induite par l'entraînement. L'augmentation du débit cardiaque est le principal facteur responsable de l'augmentation de VO₂max.



Adaptations à l'entraînement **AEROBIE**

• Les adaptations cardio-vasculaires à l'entraînement aérobic



- L'entraînement aérobic augmente le débit sanguin musculaire
 - 1) une meilleure capillarisation avec la création de nouveaux capillaires.
 - 2) l'ouverture de capillaires non fonctionnels au repos (recrutement de capillaire).
 - 3) une meilleure redistribution de la masse sanguine.
 - 4) une augmentation du volume sanguin total.

Groupes	Nombre de capillaires par mm ²	Nombre de fibres musculaires par mm ²	Nombre de capillaires par fibre	Distance de diffusion*
Très entraînés				
Avant exercice	640	440	1,5	20,1
Après exercice	611	414	1,6	20,3
Non entraînés				
Avant exercice	600	557	1,1	20,3
Après exercice	599	576	1,0	20,5

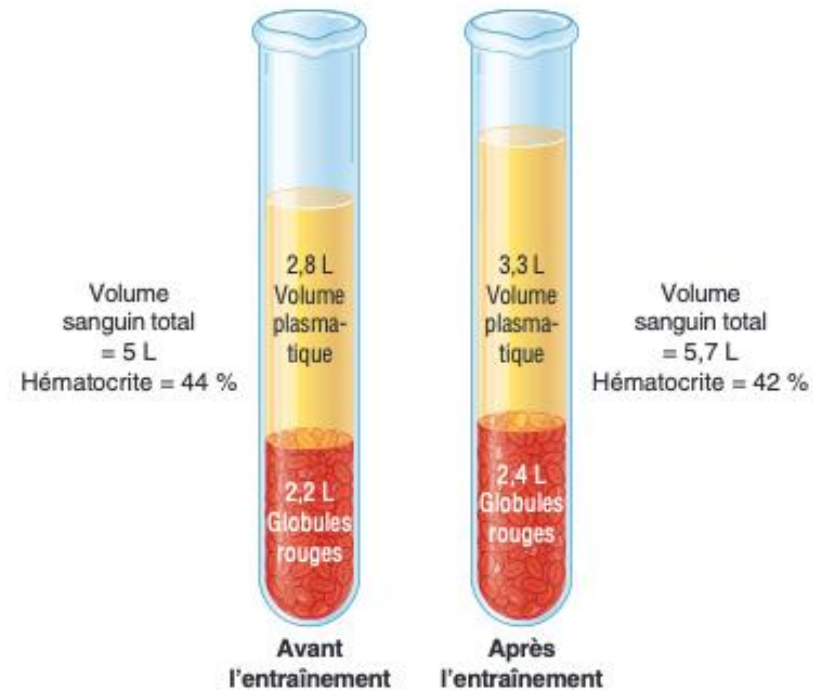
*La distance de diffusion correspond à la moitié de la distance moyenne inter-capillaire sur une coupe transversale de muscle. Elle est exprimée en μm .

Adaptations à l'entraînement **AEROBIE**

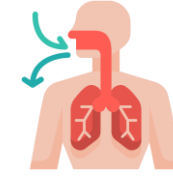
- **Les adaptations cardio-vasculaires à l'entraînement aérobic**

↑ Volume sanguin

↑ du volume > ↑ du contenu → ↓ viscosité



Adaptations à l'entraînement **AEROBIE**



- **Les adaptations respiratoires à l'entraînement aérobic**

- L'entraînement a peu d'effet sur la structure et la fonction pulmonaire
- Après entraînement, l'augmentation de VO_{2max} s'accompagne d'une élévation de la ventilation pulmonaire lors de l'exercice maximal. À la fois le volume courant et la fréquence respiratoire augmentent.
- Lors de l'exercice maximal, la diffusion pulmonaire augmente, particulièrement dans les régions supérieures du poumon.

Adaptations à l'entraînement **AEROBIE**



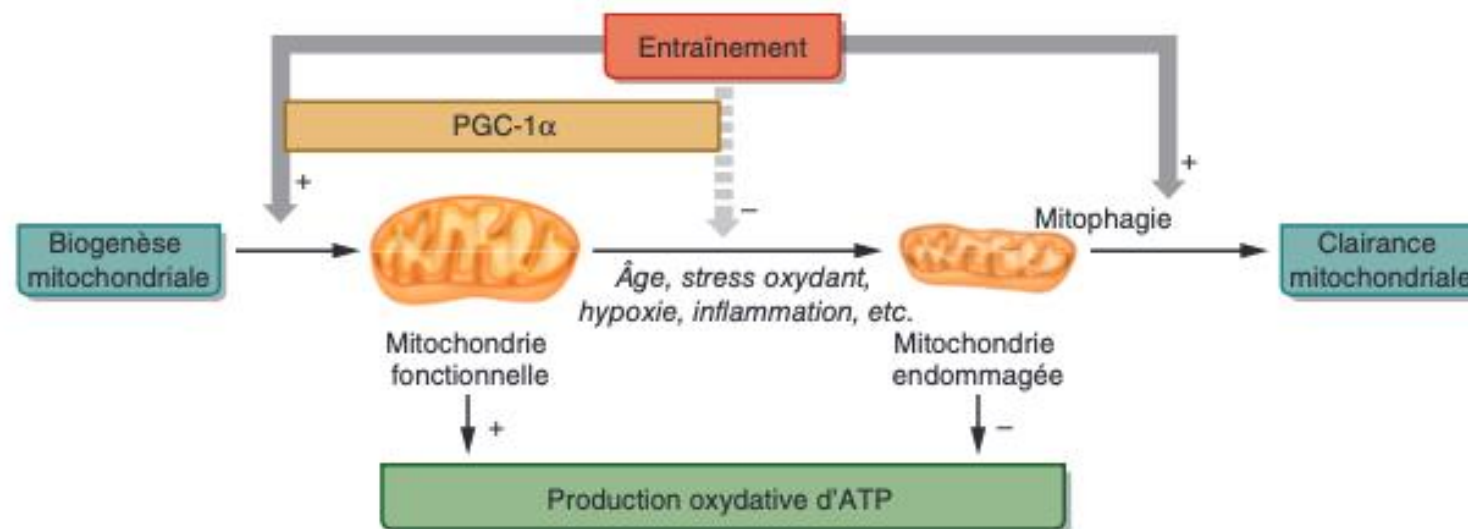
- **Les adaptations musculaires à l'entraînement aérobic**
 - L'entraînement augmente la surface de section des fibres de type I.
 - Après entraînement il semble qu'il puisse y avoir une légère augmentation du pourcentage de fibres de type I. Des fibres de type Iix sembleraient évoluer vers des fibres de type IIa.
 - La densité capillaire augmente avec l'entraînement, cela améliore la perfusion musculaire et facilite la diffusion de O_2 , CO_2 , des nutriments et des sous-produits métaboliques

Adaptations à l'entraînement **AEROBIE**



• Les adaptations musculaires à l'entraînement aérobic

- L'entraînement aérobic affecte la qualité fonctionnelle mitochondriale du muscle en augmentant la production de nouvelles mitochondries saines (biogenèse), limite leur dégradation, élimine les mitochondries endommagées (mitophagie).
- L'entraînement aérobic stimule l'activité de nombreuses enzymes oxydatives.

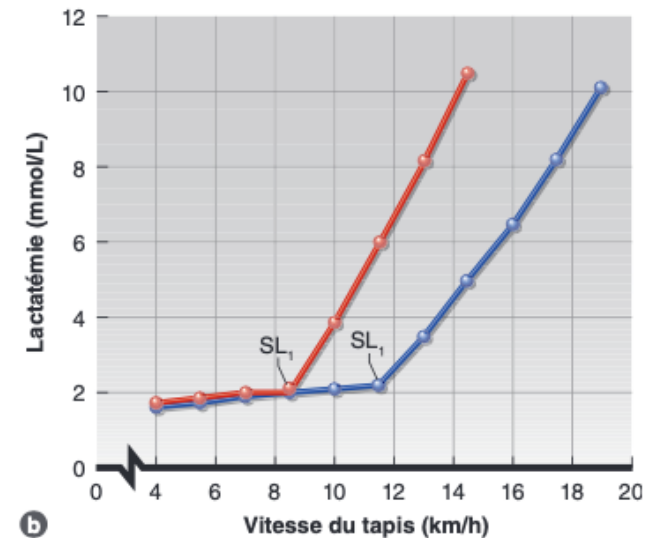
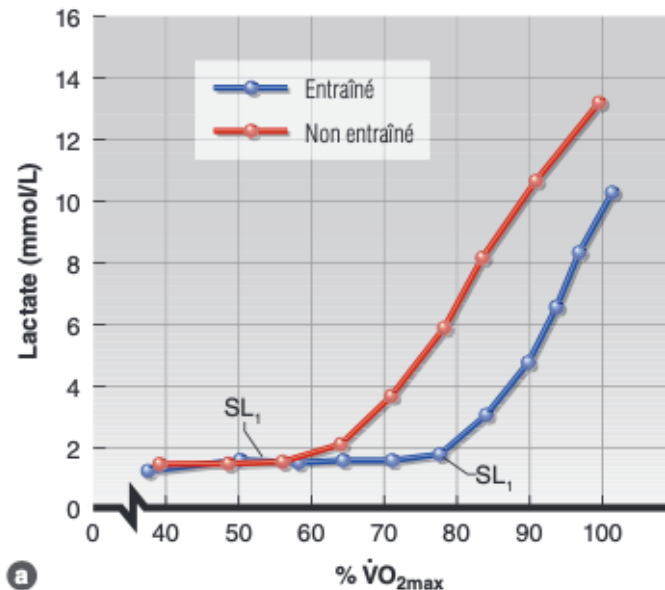


Adaptations à l'entraînement **AEROBIE**

• Les adaptations métaboliques à l'entraînement aérobic



- L'entraînement élève le niveau du seuil lactique ce qui permet de réaliser des exercices d'intensité plus élevée, pour une même lactatémie. Les concentrations sanguines de lactate à l'exercice maximal peuvent augmenter légèrement.
- À l'exercice sous-maximal le quotient respiratoire diminue, témoignant d'une meilleure utilisation des acides gras libres et l'épargne du glycogène.

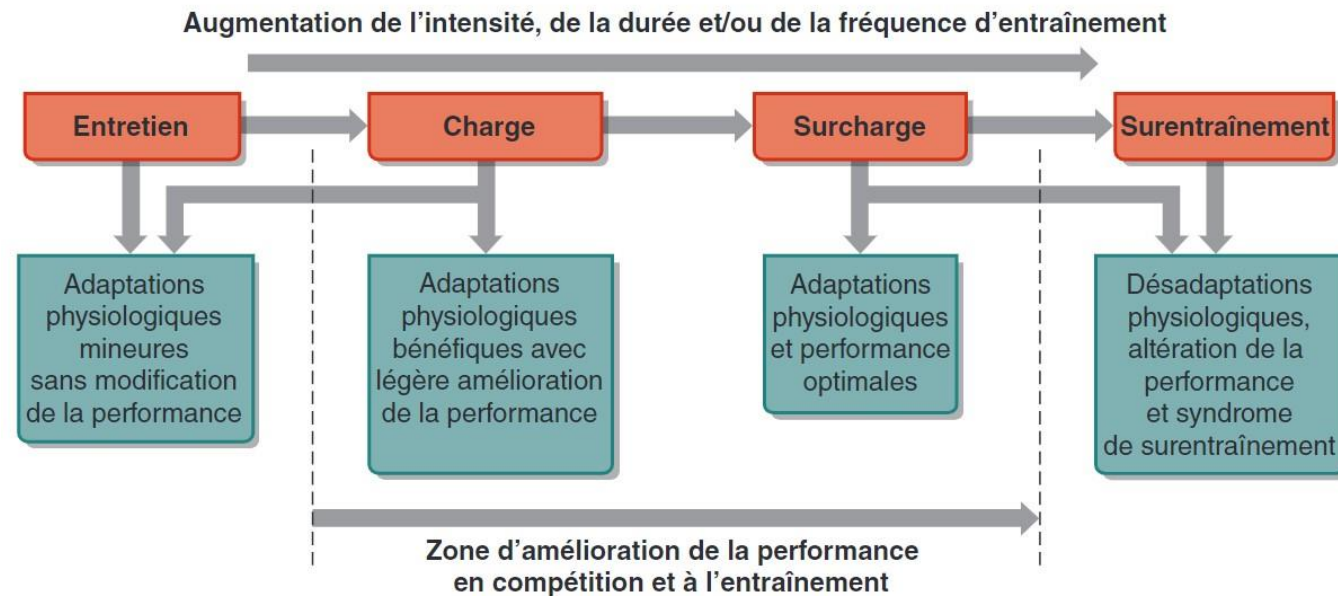


Adaptations à l'entraînement **ANAEROBIE**

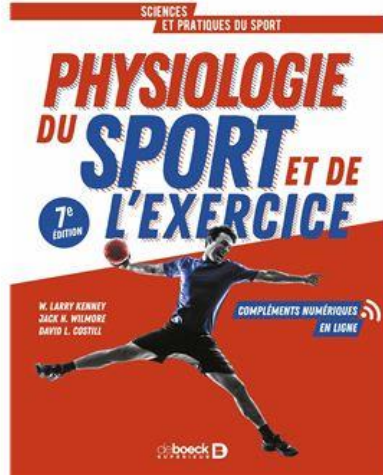
- L'entraînement anaérobie augmente l'activité des enzymes ATP-PCr et glycolytiques – ce dernier potentiellement plus que le premier (ATP-PCr, pas de données probantes actuellement).
- Il n'a pas d'effet sur l'activité des enzymes oxydatives.

Le syndrome du surentraînement

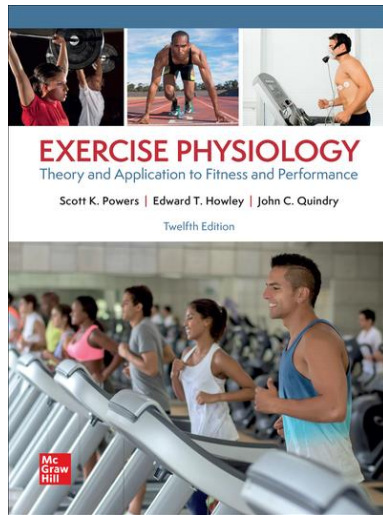
- Le **surentraînement** consiste à s'entraîner plus que l'organisme ne peut le supporter. Il conduit toujours à une diminution de la performance.
- L'origine du surentraînement réside probablement dans une perturbation de l'activité du système nerveux autonome et une altération des fonctions endocrinienne et immunitaire
- Les signes d'apparition du surentraînement sont nombreux et peu spécifiques. L'altération des réponses cardiaques à l'exercice apparaît comme l'un des critères les plus aisés à repérer.



Principales références bibliographiques



- Wilmore, Costill, Groussard, Kenney, Zouhal, & Delamarche. (2021). *Physiologie du sport et de l'exercice*. De Boeck Supérieur.



- Powers, Scott K, and Edward T. Howley. (2024). *Exercise Physiology: Theory and Application to Fitness and Performance*. McGraw-Hill Education.

Merci de votre attention !

ivo.neto@hug.ch