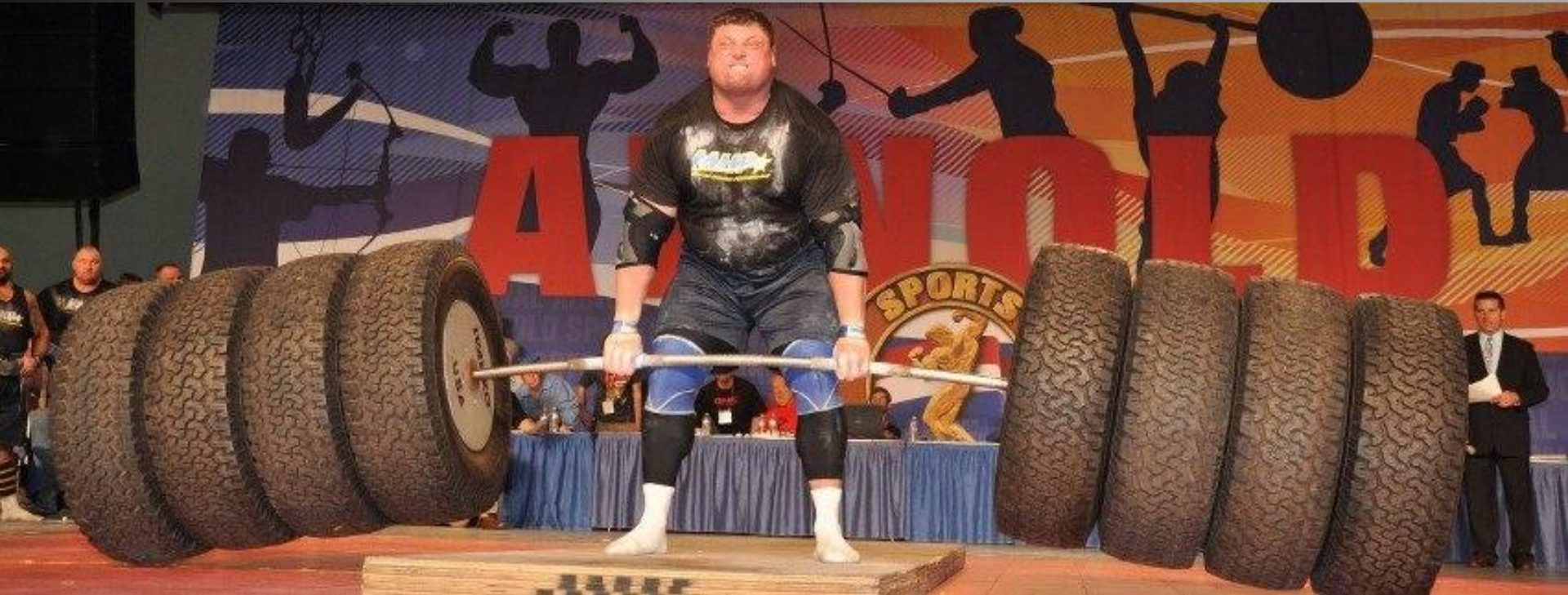


LES MÉCANISMES DE LA FORCE

Le Jeune Aurélien
CESA 2012

LES MÉCANISMES DE LA FORCE



- Définition de la force:

C'est la capacité à mobiliser ou à résister à une charge importante grâce à des tensions musculaire

LES MÉCANISMES DE LA FORCE

Dans les mécanismes de la force, on distingue plusieurs facteurs :

- **Facteurs structuraux** : Touchant à la composition du muscle, prise de volume et/ou de masse musculaire. C'est l'hypertrophie.
- **Facteurs nerveux** : Concerne l'utilisation des unités motrices.
- **Facteurs d'étirements** : en rapport avec l'étirement : lequel potentialise la contraction



Facteurs structuraux »»

- Composition du muscle, prise de volume, de masse musculaire.
- C'est l'hypertrophie.

FACTEURS STRUCTURAUX

l'hypertrophie sarcoplasmique

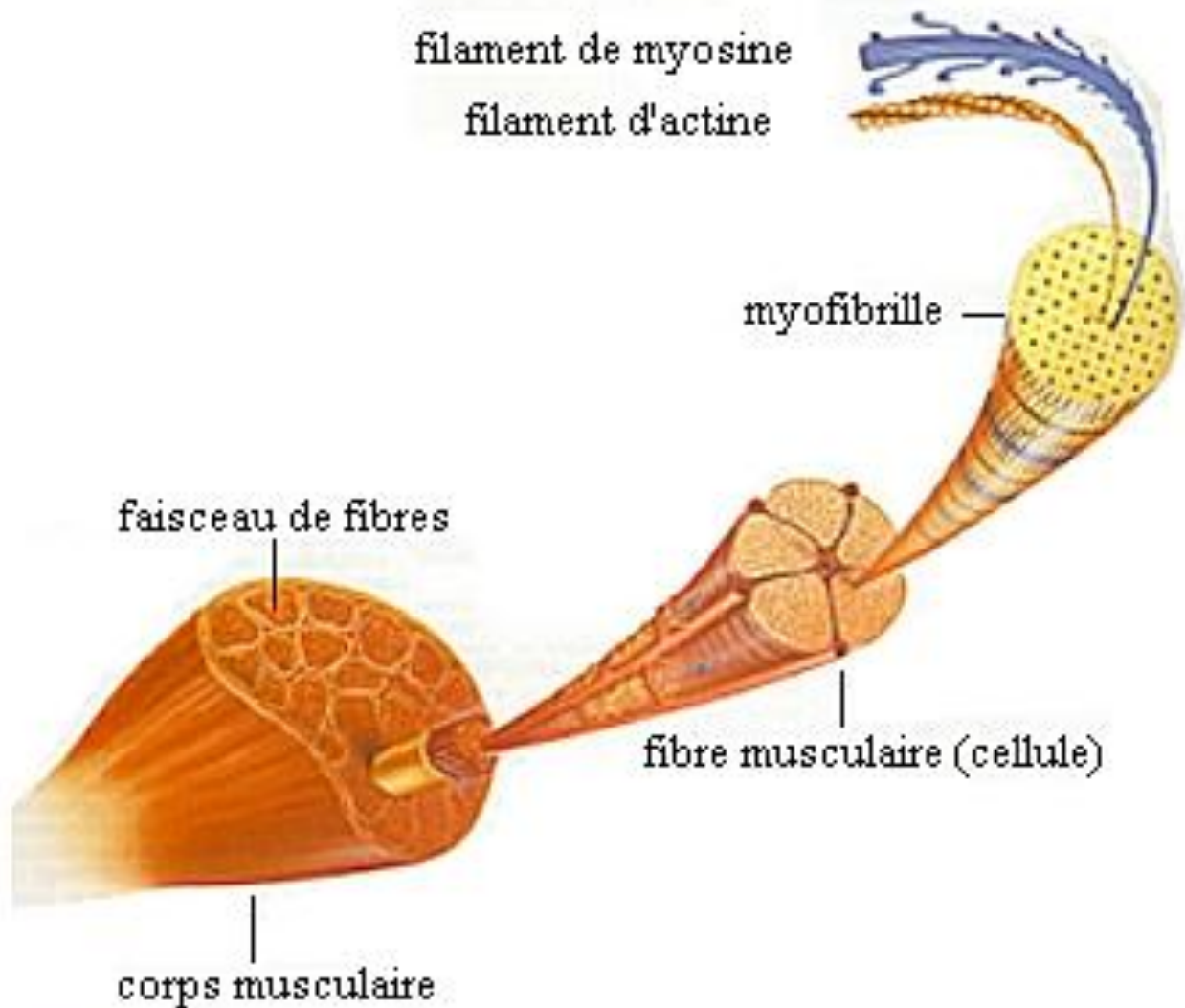
l'hypertrophie myofibrillaire

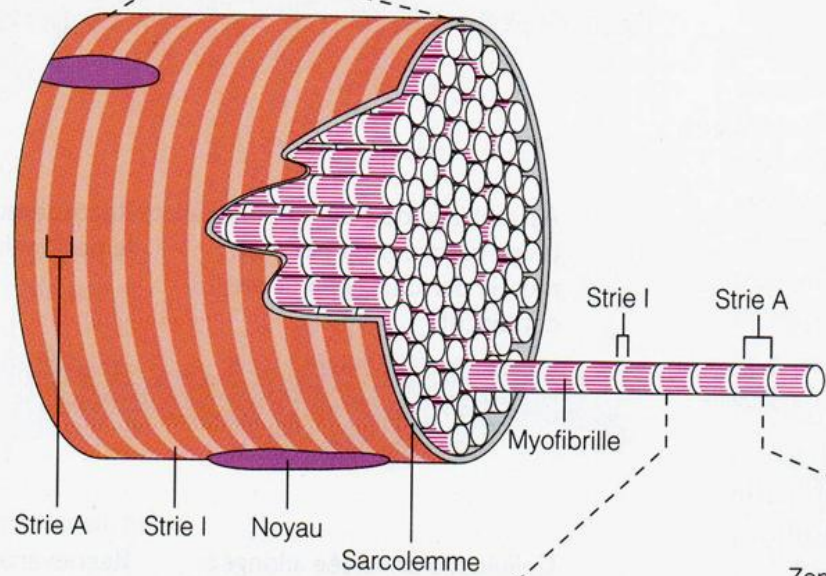
L'hypertrophie vasculaire

L'hypertrophie conjonctive

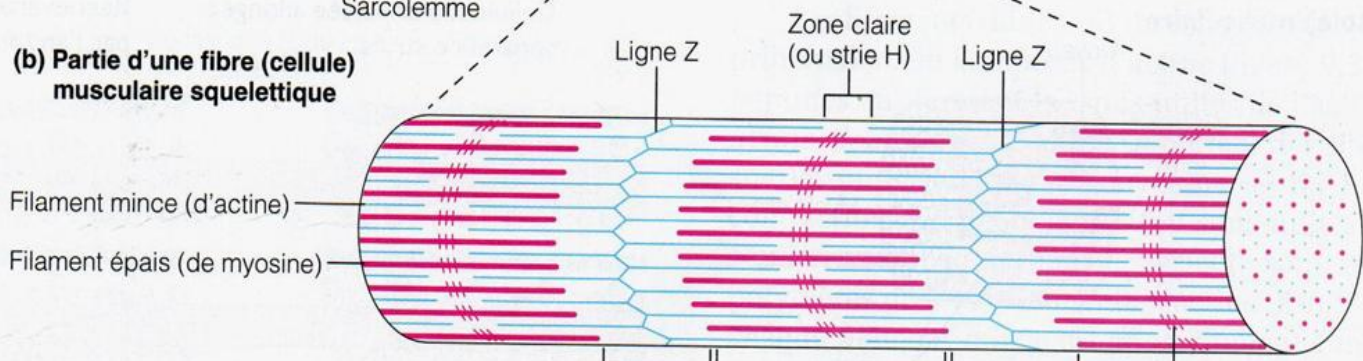
L'hyperplasie, augmentation fibres ???

FACTEURS STRUCTURAUX

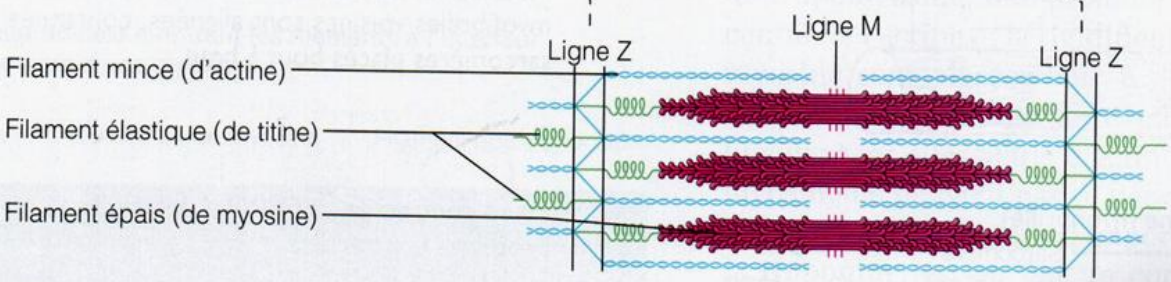




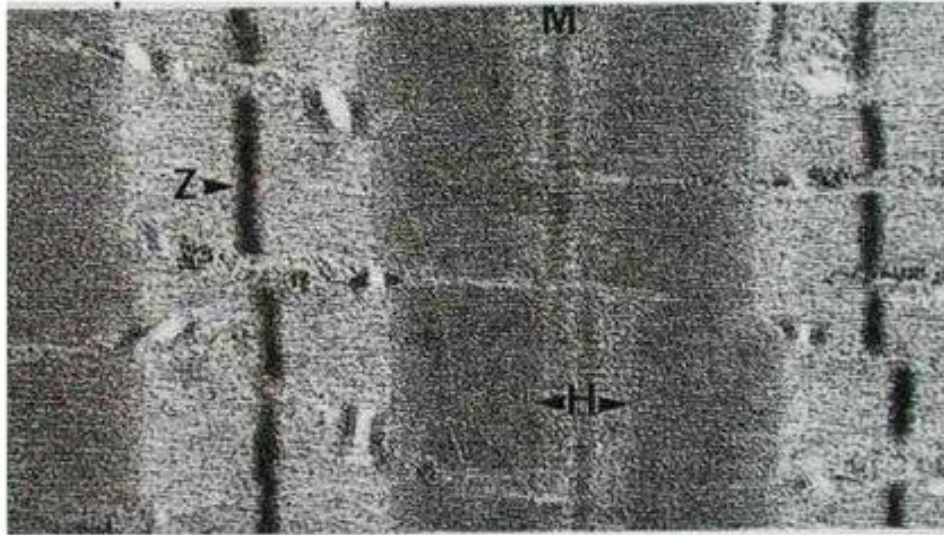
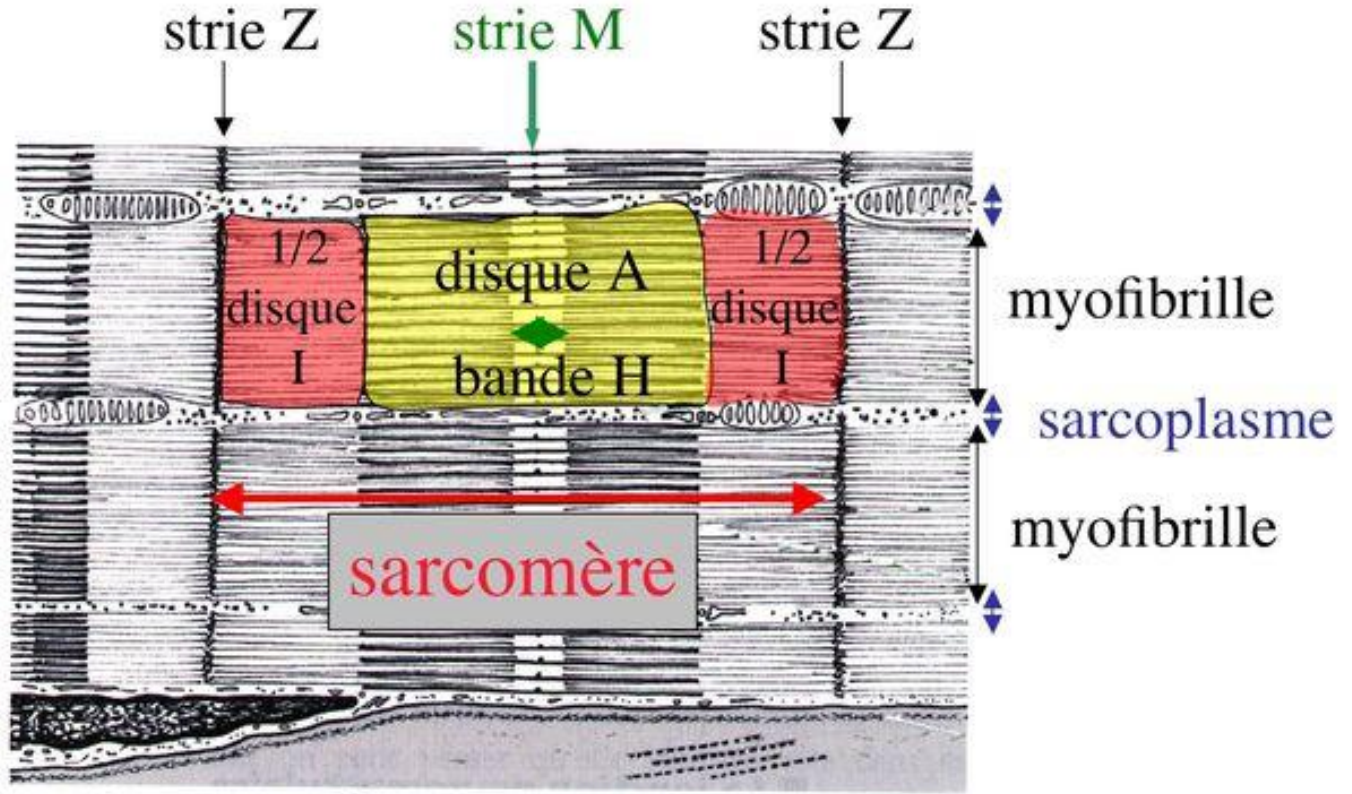
(b) Partie d'une fibre (cellule) musculaire squelettique



(c)



(d)



L'HYPERTROPHIE SARCOPLASMIQUE

l'hypertrophie sarcoplasmique , augmentation du liquide intracellulaire (sarcoplasme)

- ▶ Entraînement en lactique. On fait du volume.
- ▶ Travail d'intensité de 65 à 70%.
- ▶ Capacité d'être plus fort pendant un temps plus important.

L'HYPERTROPHIE SARCOPLASMIQUE

- ▶ Effet: augmentation de la quantité de glycogène et de la quantité d'eau dans les cellules.
- ▶ La fibre musculaire est davantage remplie en glycogène, donc elle prend du volume.
- ▶ 1g de glycogène retient près de 3g d'eau, le volume du liquide sarcoplasmique va augmenter, donnant du volume au muscle.

L'HYPERTROPHIE MYOFIBRILLAIRE

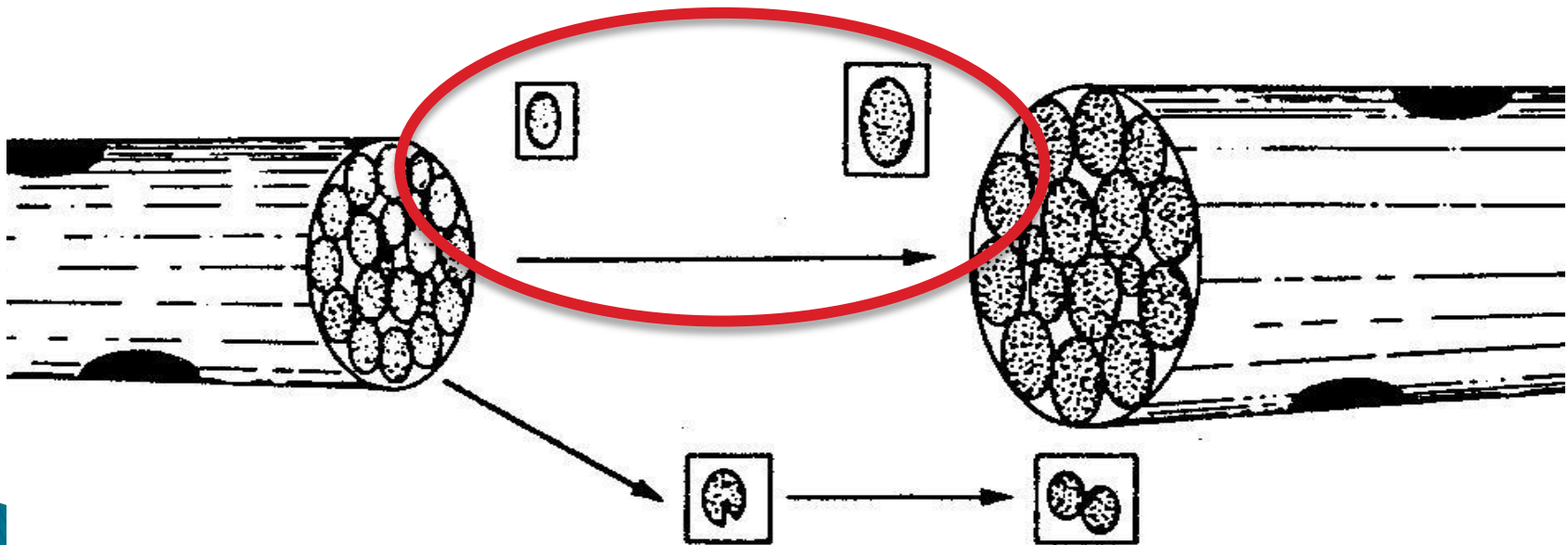
l'hypertrophie myofibrillaire :

- ▶ Faire de la masse musculaire, augmentation du matériel contractile (myofibrilles).
- ▶ Augmentation de la synthèse des protéines contractiles (filaments d'actine et de myosine), ce qui a pour effet d'augmenter la taille des myofibrilles.
- ▶ Il s'en suit un épaissement des fibres musculaires, et donc du muscle tout entier.

L'HYPERTROPHIE MYOFIBRILLAIRE

L'augmentation de la taille des myofibrilles:

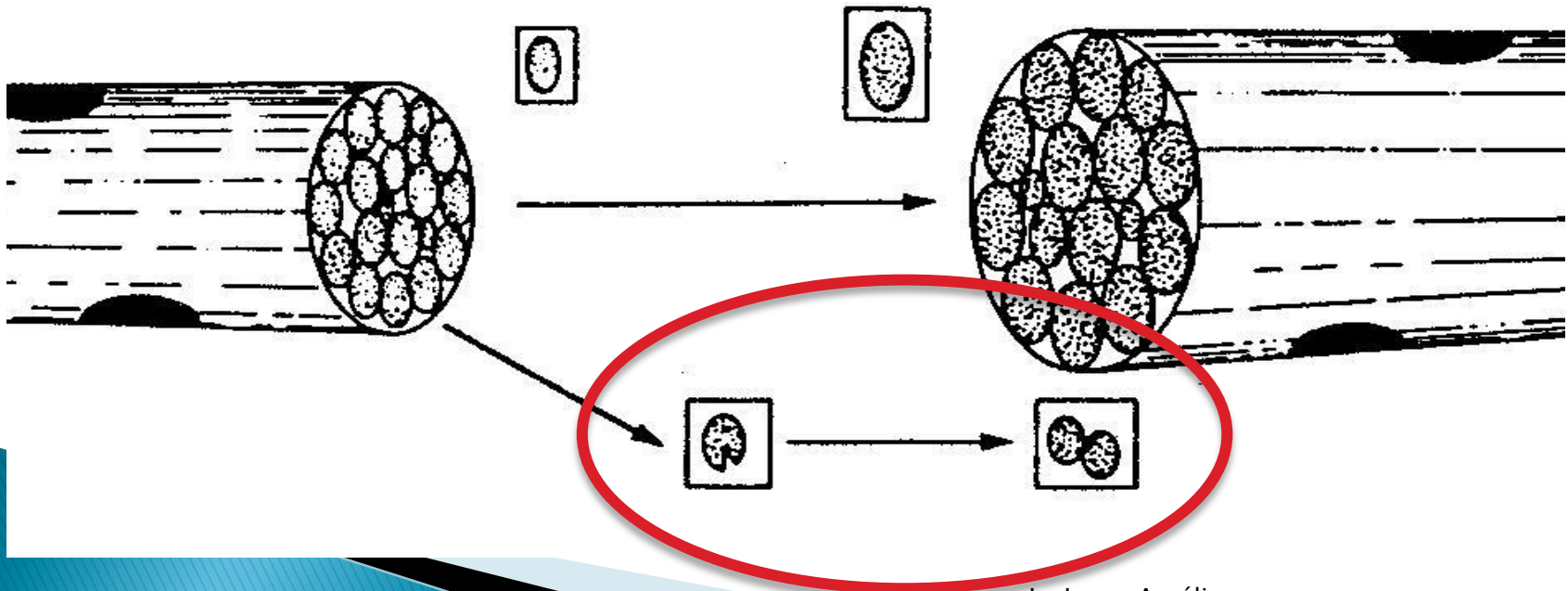
- ▶ Par addition de filaments d'actine et de myosine à la périphérie.



L'HYPERTROPHIE MYOFIBRILLAIRE

La multiplication des myofibrilles:

- ▶ Fissuration longitudinale.



LES SARCOMERES

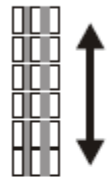
La multiplication du nombre de sarcomères peut se faire de 2 manières:

en parallèle  Fibres et myofibrilles

en série  amplitude  Augmentation
du nombre de sarcomère
en série au niveau de la
myofibrille

LES SARCOMERES

← Sarcomères en série →



Sarcomères en parallèle



Un faisceau de myofibrilles est constitué de sarcomères en série et en parallèle

L'HYPERTROPHIE VASCULAIRE

- ▶ L'hypertrophie vasculaire augmentation de l'afflux sanguin (en nombre et taille – vasodilatation – des capillaires périphériques) c'est que l'on appelle la **congestion**.

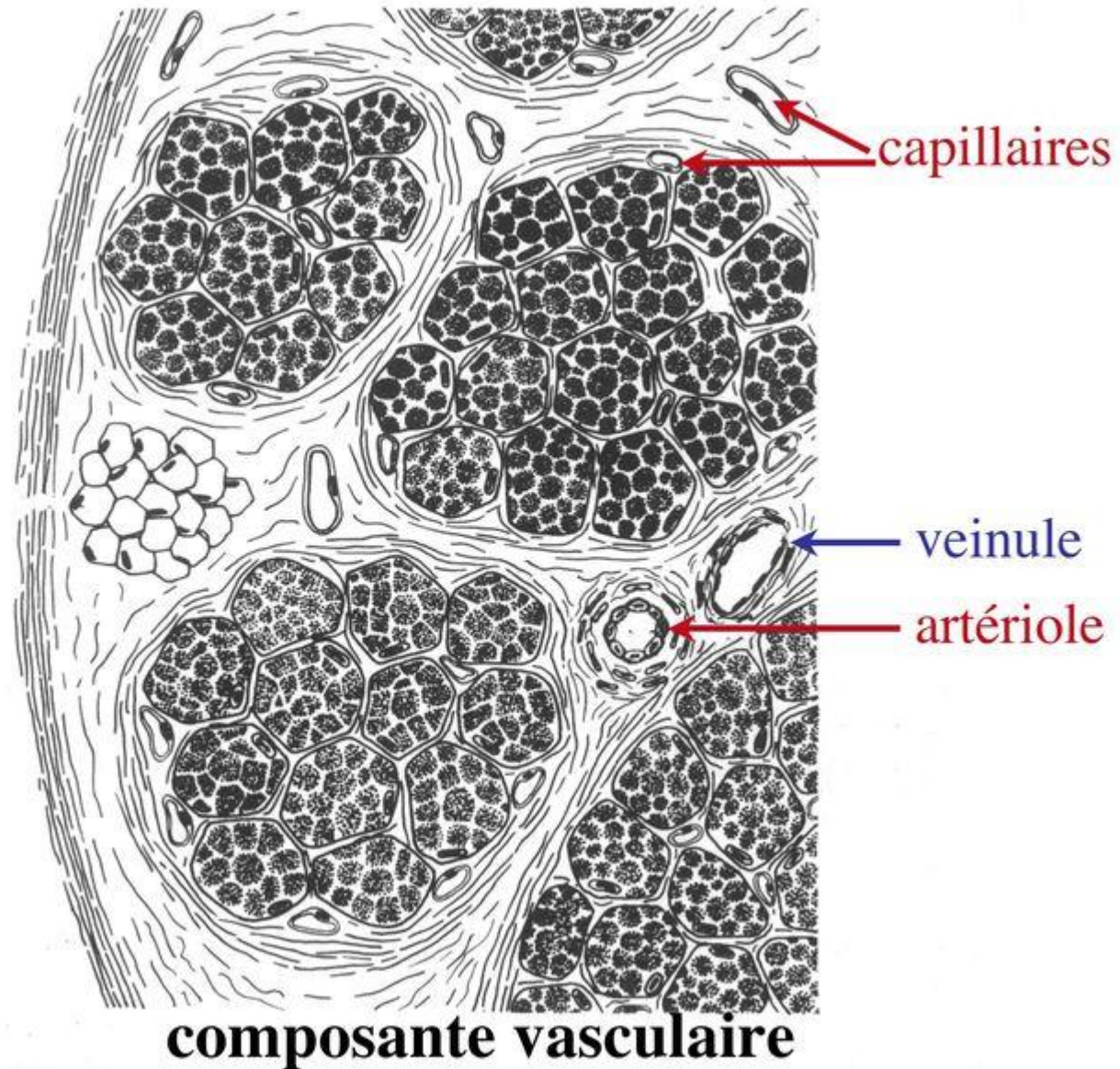


- ▶ Travail d'intensité entre 60 et 65%.
- ▶ Entraînement en série longue et faible intensité.
L'hypertrophie vasculaire est importante quelque soit l'objectif !!!!!

L'HYPERTROPHIE VASCULAIRE

- ▶ Des vaisseaux sanguins (artérioles et veinules) circulent dans les cloisons conjonctives du pérимыsium et forment un réseau capillaire artérioveineux au niveau de l'endomysium.
- ▶ Ce réseau entoure chaque fibre musculaire.

L'HYPERTROPHIE VASCULAIRE

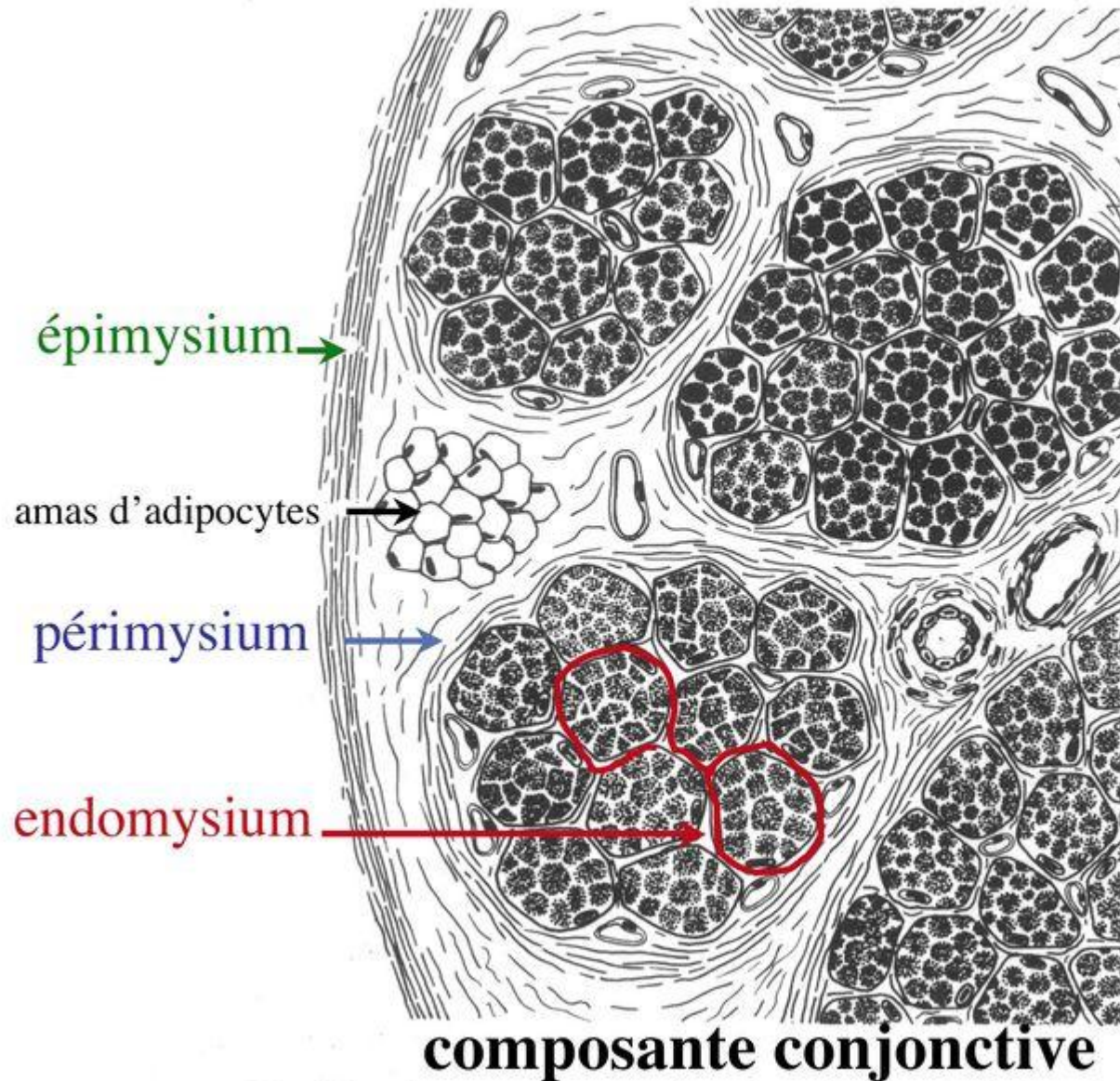


L'HYPERTROPHIE CONJONCTIVE

L'hypertrophie conjonctive est le développement du tissu conjonctif (enveloppes musculaires et tendons).

- ▶ C'est le cas avec tout type d'entraînement.
- ▶ Augmente proportionnellement à la surface de section musculaire

L'HYPERTROPHIE CONJONCTIVE

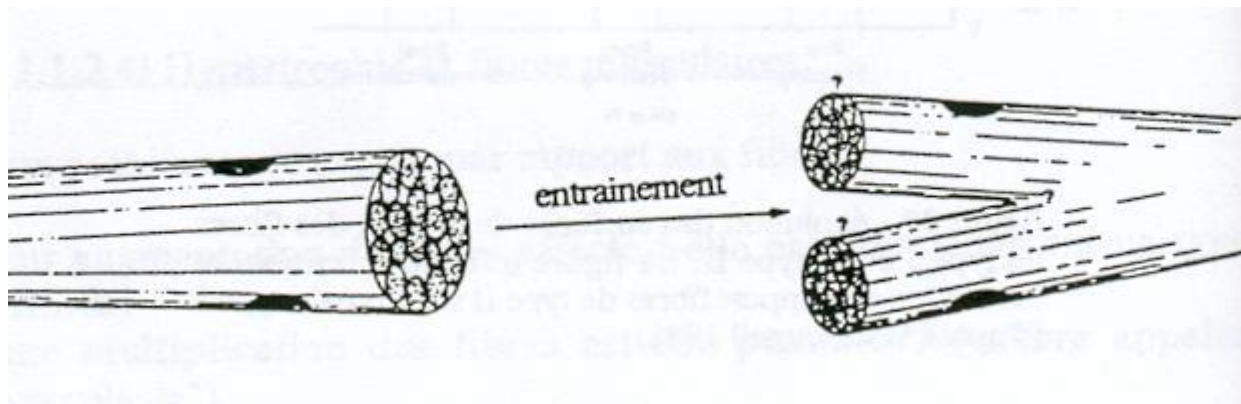


L'HYPERTROPHIE CONJONCTIVE

- ▶ Le collagène et les autres tissus non-contractiles représentent 13 % du volume musculaire (Mac Dougall, 1984).
- ▶ Sur le plan morphologique, l'entraînement physique permet une augmentation de la résistance tensorielle du tendon (Marini, 1984).
- ▶ Adaptation de l'interface muscle-tendon au niveau duquel s'effectue le travail de force.
- ▶ Ces adaptations peuvent contribuer à protéger les articulations et les muscles.

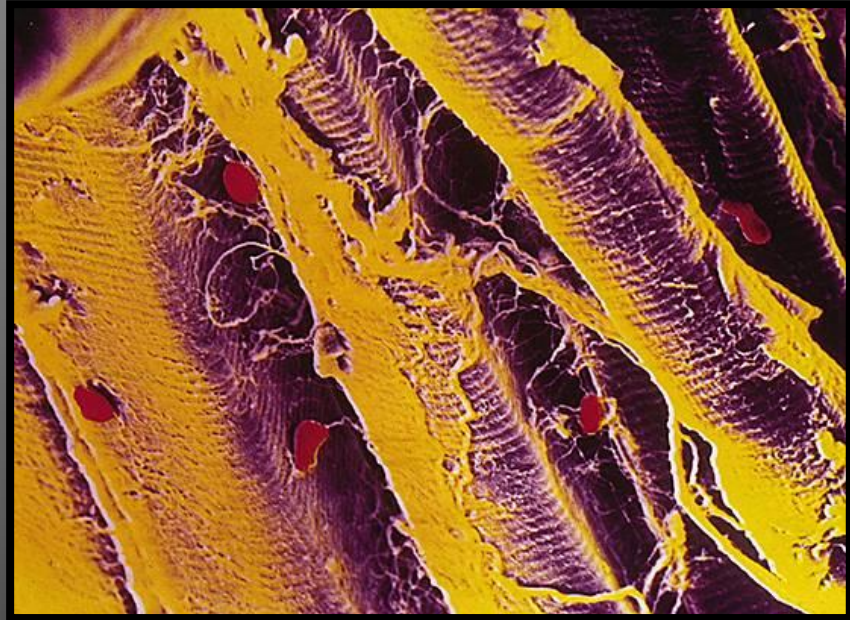
(L'HYPERPLASIE, AUGMENTATION FIBRES ???)

- ▶ L'hyperplasie correspondrait à une multiplication des fibres musculaires.



- ▶ La majorité des travaux sur l'hyperplasie repose sur des modèles animaux (en raison de règles éthiques) car il y a nécessairement une investigation pour compter les fibres.

TYPOLOGIE DES FIBRES



TYPOLOGIE DES FIBRES

Il existe 2 types de fibres répertoriées dans le muscle :

- ▶ les fibres lentes ou de type I
- ▶ Les fibres rapides ou de type II

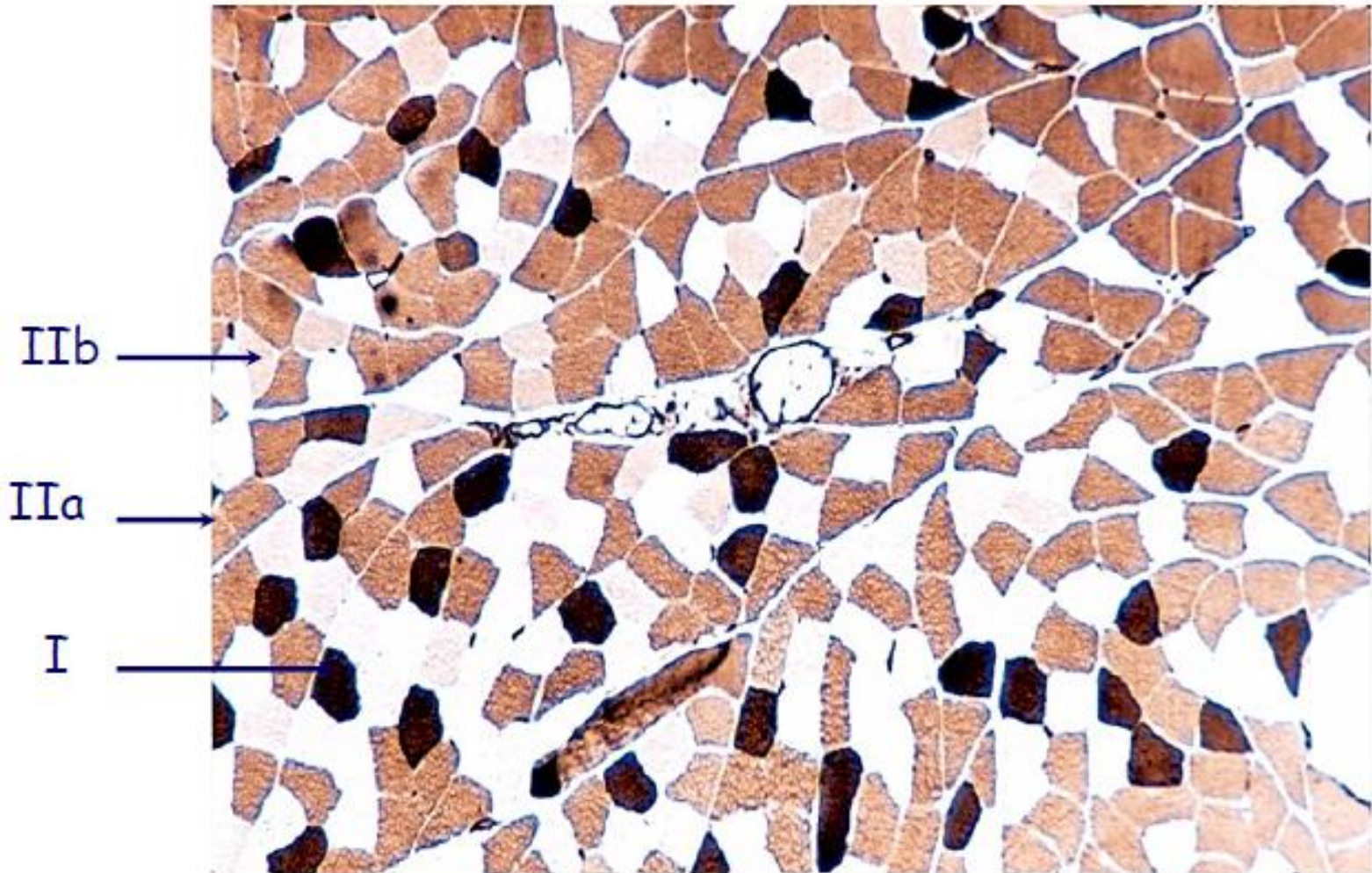
- ▶ la détermination du type de fibres se fait grâce à la myosine, plus précisément à partir des chaînes de myosine lourde (MHC : Myosin Heavy Chain)

TYPOLOGIE DES FIBRES




Les fibres de type II comprennent :

- ▶ Des fibres IIa qui sont mixtes à métabolisme anaérobie et aérobie
- ▶ Des fibres IIb ou IIx qui sont rapides par excellence car à métabolisme anaérobie uniquement.
- ▶ Les trois types de fibres sont donc : I , IIa , IIx ou IIb (ancienne terminologie).

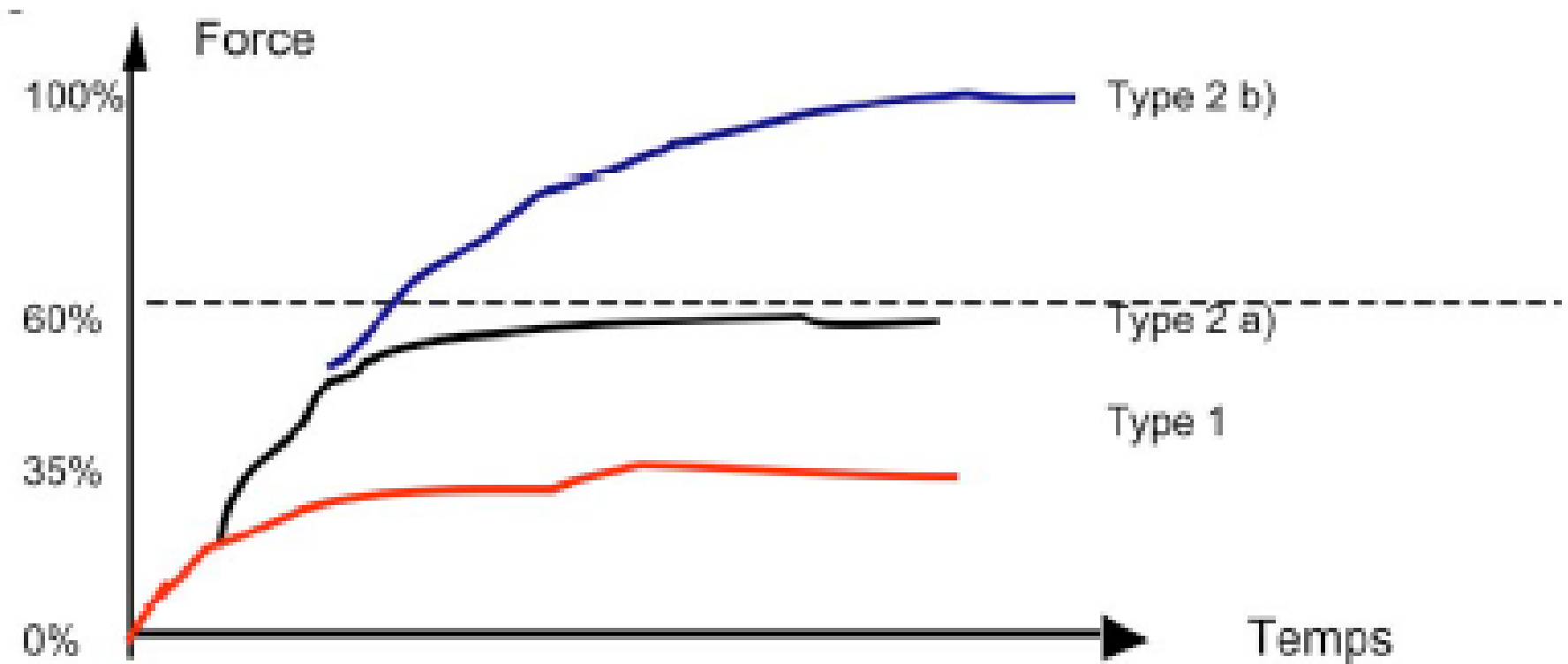
TYPOLOGIE DES FIBRES



TYPOLOGIE DES FIBRES

fibres	taille	force	résistance à la fatigue
<p>LENTES ou I</p>		<p>↑ faible</p>	<p>→ importante</p>
<p>IIa ↗</p> <p>RAPIDES ou II</p>		<p>↑ moyenne</p>	<p>→ moyenne</p>
<p>↘ IIx</p>		<p>↑ importante</p> <p>↓</p>	<p>→ faible</p>

TYPOLOGIE DES FIBRES



TYPOLOGIE DES FIBRES

	<u>Fibre I</u>	<u>Fibre II a</u>	<u>Fibre II d</u>
Couleur	<u>rouge</u>	<u>rosé</u>	<u>Blanche</u>
Diamètre	<u>petit</u>	<u>grand</u>	<u>Grand</u>
Nb myofilaments	<u>Faible</u>	<u>moyen</u>	<u>élevé</u>
Glycogène	<u>élevé</u>	<u>moyen</u>	<u>Faible</u>
Nb mitochondries	<u>élevé</u>	<u>moyen</u>	<u>Faible</u>
Nombre de capillaires	<u>élevé</u>	<u>moyen</u>	<u>Elevé</u>
ATP-PC	<u>*</u>	<u>**</u>	<u>***</u>
ATP-AL	<u>**</u>	<u>***</u>	<u>*</u>
ATP-O ²	<u>***</u>	<u>**</u>	<u>*</u>

Caractéristique des différentes fibres musculaires

TYPOLOGIE DES FIBRES

Fibres I (fibres rouges)

Caractéristiques fonctionnelles :

- ▶ Utilisation du métabolisme oxydatif
- ▶ Fibres activées par motoneurones modérés, vitesse de conduction lente
- ▶ Seuil d'activation bas donc souvent mobilisées pour contractions de faible niveau
- ▶ Très résistantes à la fatigue donc exercices prolongés

TYPOLOGIE DES FIBRES

Fibres II (fibres blanches)

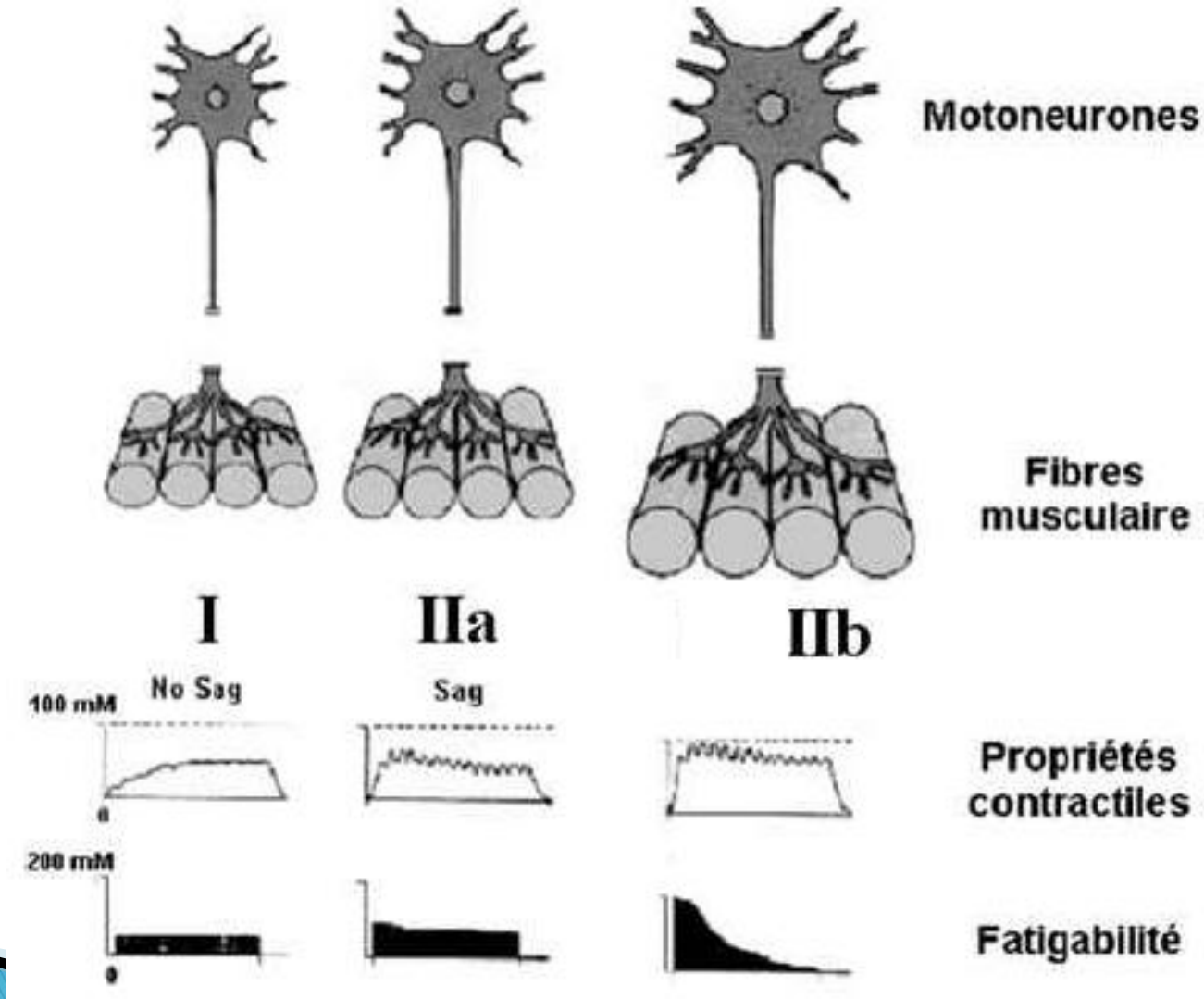
Fibres IIa

- ▶ Utilisation du métabolisme oxydatif et glycolytique
- ▶ Résistance à la fatigue plus faible que type I
- ▶ Force de contraction + élevée que type I

Fibres IIb ou IIx

- ▶ Utilisation du métabolisme glycolytique
- ▶ Résistance à la fatigue très faible
- ▶ Force de contraction très élevée

TYPOLOGIE DES FIBRES



TYPOLOGIE DES FIBRES

Répartition des différentes fibres au sein du muscle

En moyenne, les muscles contiennent :

- ▶ 50 % de fibres de type I
- ▶ 25 % de fibres IIa
- ▶ 25 % de fibres IIb

Le % de fibres varie considérablement en fonction des muscles

Exemple : muscle vaste externe de l'homme

- ▶ 53 % de fibres I
- ▶ 33 % de fibres IIa
- ▶ 14 % de fibres IIb

TYPOLOGIE DES FIBRES

Ces 3 types de fibres forment la plupart des muscles squelettiques mais proportion liée à leur fonction usuelle :

- ▶ Muscles posturaux (cou, dos, jambe) : proportion ++ de fibres I
- ▶ Muscles actifs (bras, épaule) : proportion ++ fibres II

Certains groupes musculaires sont composés en majeure partie par un seul type de fibre

- ▶ ex : soléaire : fibres lentes.

TYPOLOGIE DES FIBRES

Pourcentage de fibres I dans différents muscles

	Jumeaux	Vaste externe	Soléaire	Triceps brachial	Biceps brachial	Deltoïde
Prélèvement biopsique	54±10	57±13	72±12	40±11	-	-
Prélèvement autopsique	53±8	43±8	89±7	34±11	54±10	61±10



Mixte



Lent



Rapide

Toujours une dominante mais
jamais un seul type de fibres !!!

TYPOLOGIE DES FIBRES

La typologie de la fibre peut changer.

- ▶ Elles ont une propriété de transformation (plus facile des II vers I)

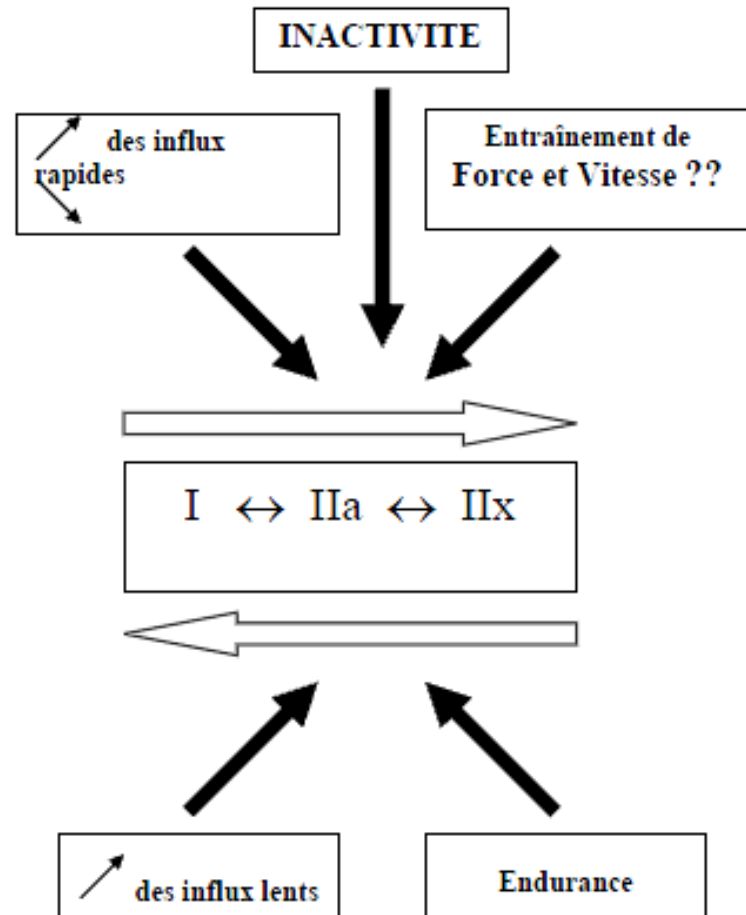
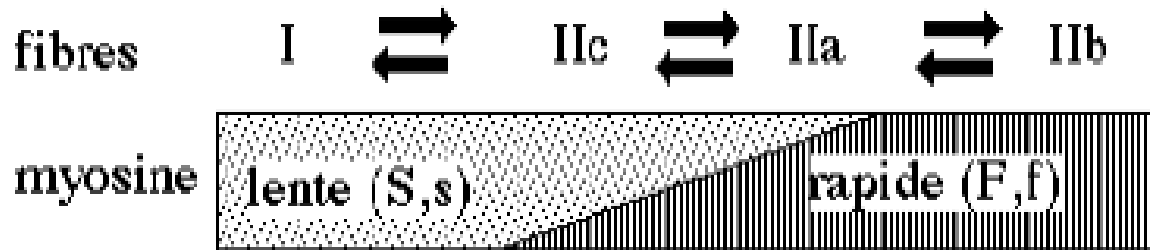


figure 7 : différents facteurs qui déterminent la transformation des fibres.
(Flück et Hoppeler 2003)

TYPOLOGIE DES FIBRES

- ▶ Conventionnellement, nous nous référons au schéma d'Howald avec sa classification et son orientation de plasticité des fibres lentes vers rapides.



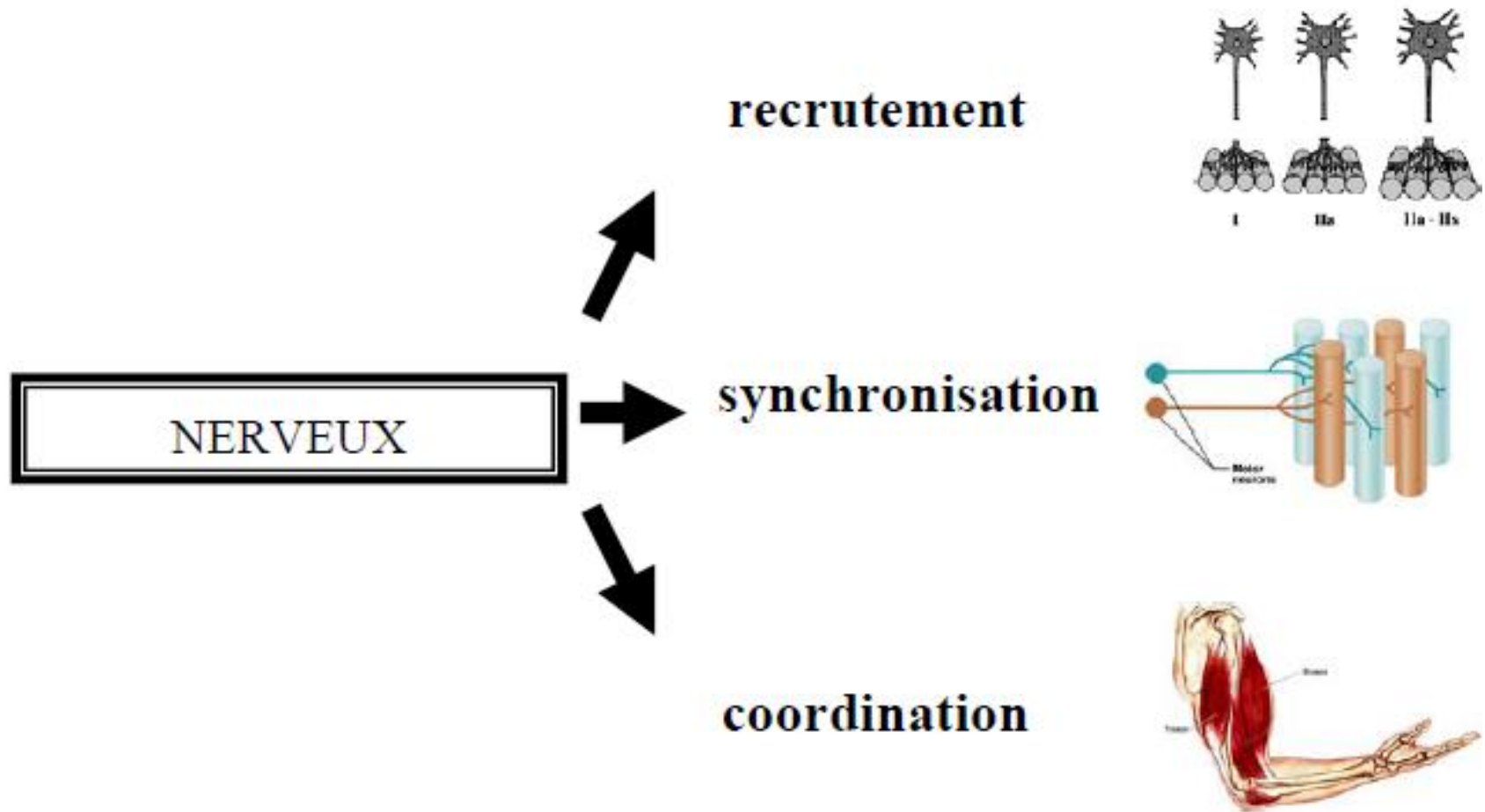
- ▶ La transformation des fibres I en fibres II est en réalité bien plus complexe que la transformation des fibres de type II en type I.



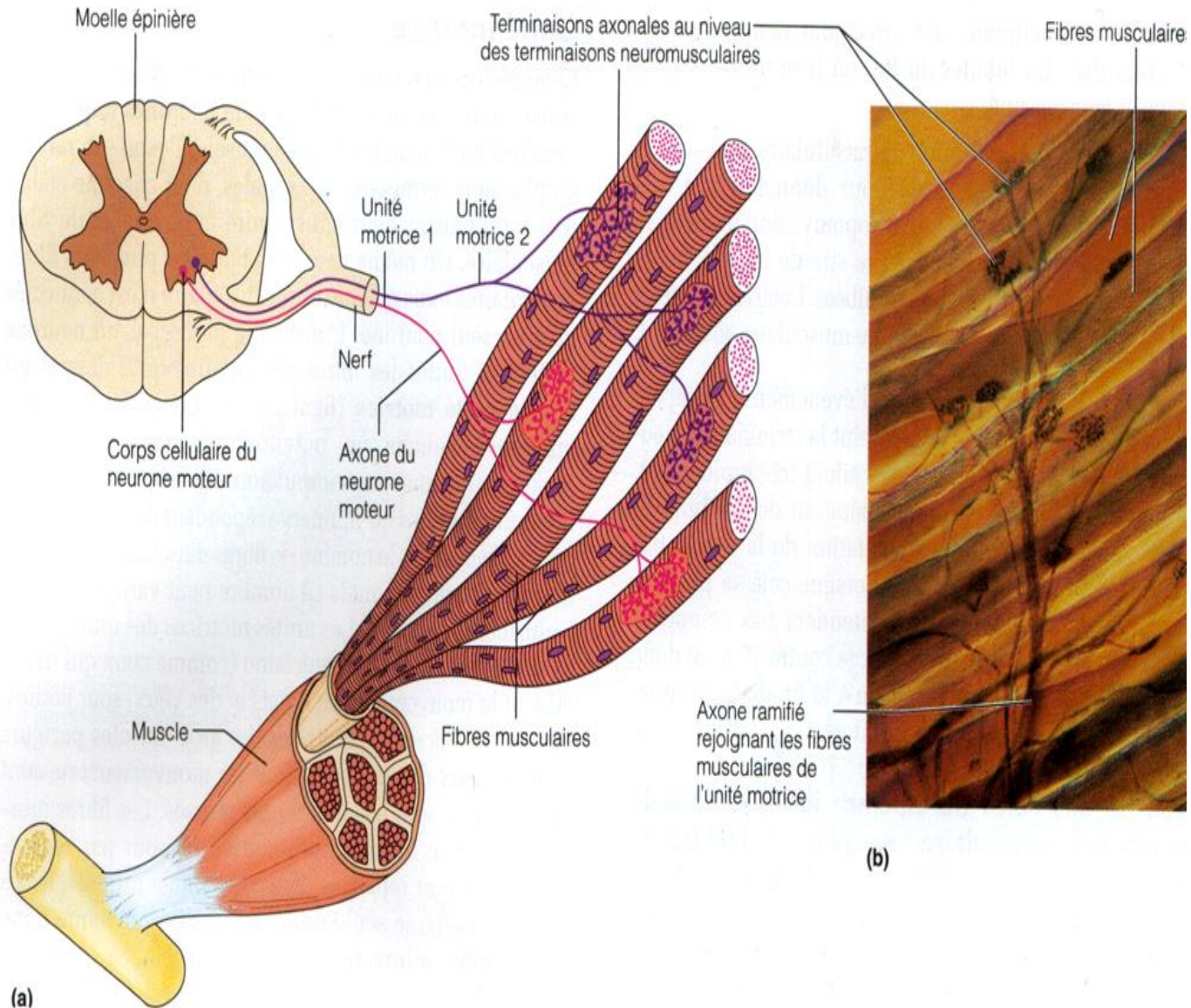
FACTEURS NERVEUX

- » Différents Types de méthodes sollicitant le système nerveux central aboutissant au recrutement et à la synchronisation des unités motrices.

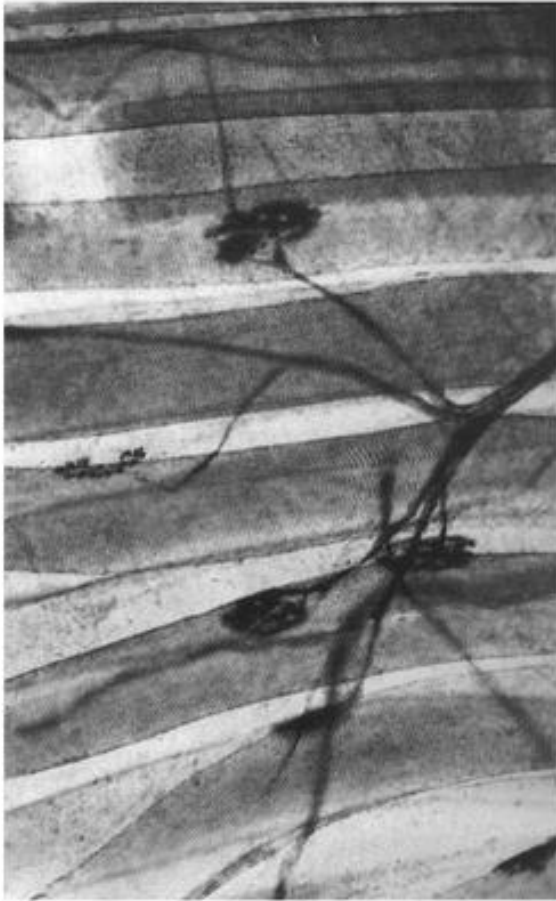
FACTEURS NERVEUX



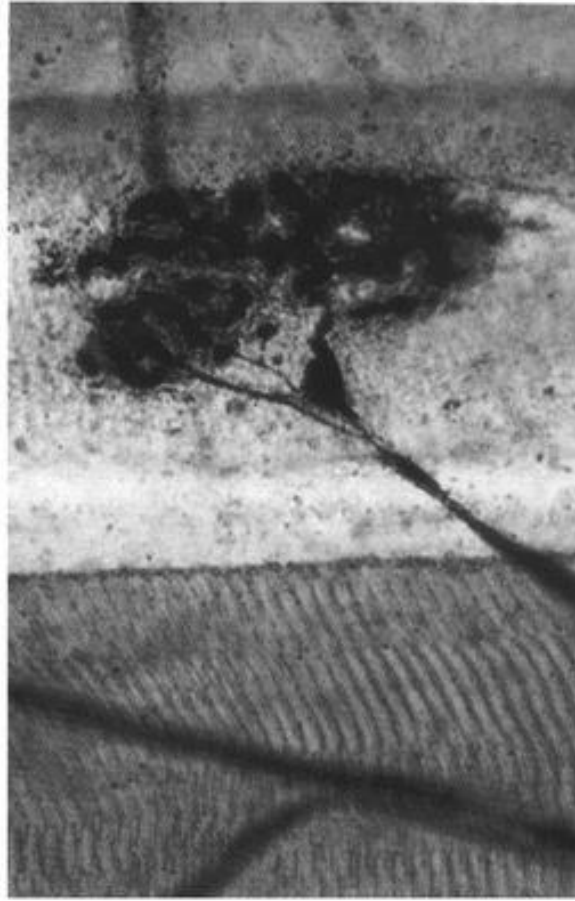
FACTEURS NERVEUX, L'UNITÉ MOTRICE



composante nerveuse motrice



terminaisons axonales
d'un motoneurone alpha
(unité motrice)



terminaison axonale
+ plaque motrice



plaques motrices

FACTEURS NERVEUX

▶ Recrutement des fibres.

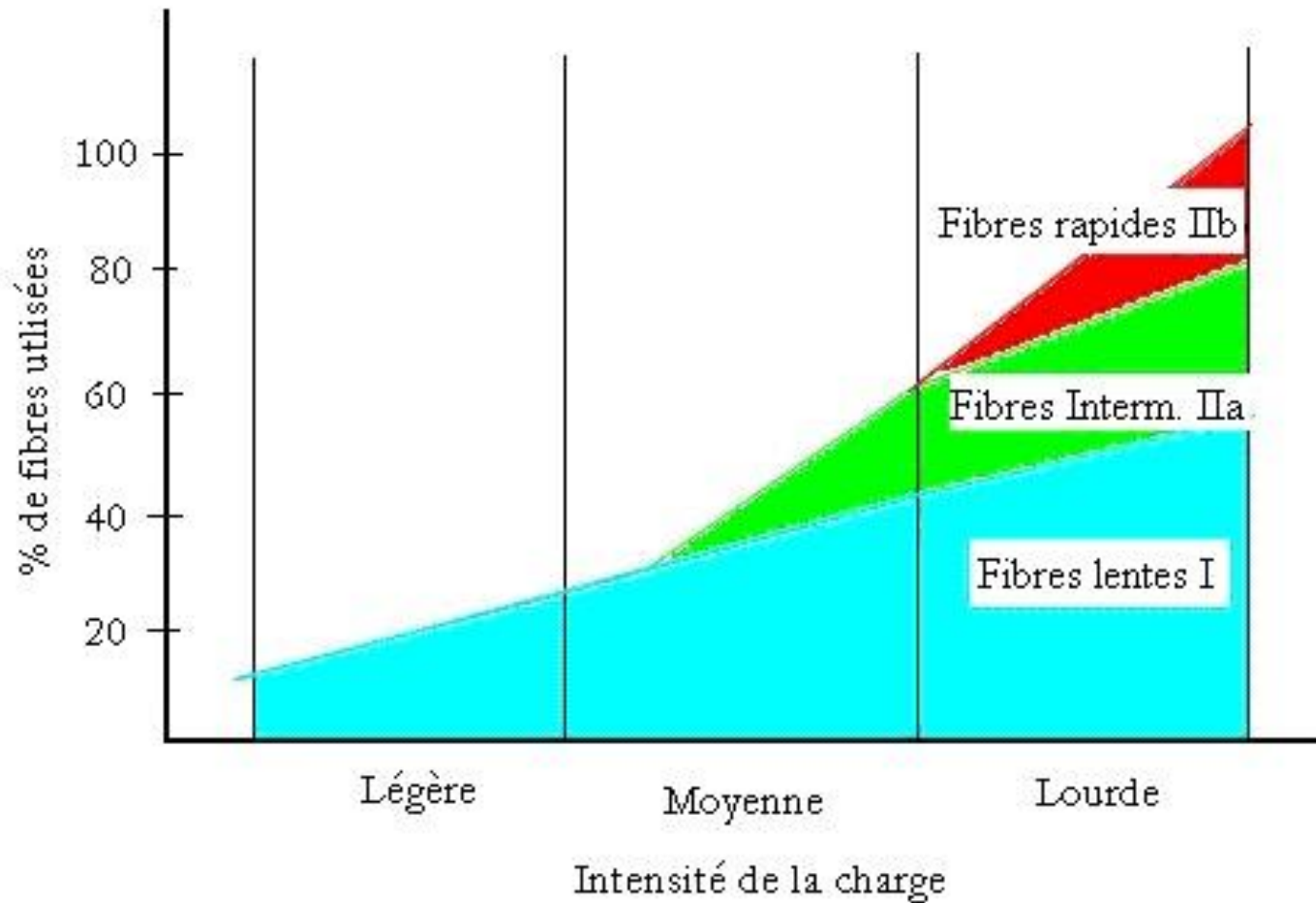
Selon la loi de Henneman

- ▶ les fibres lentes (fibres de type 1) sont recrutées avant les fibres rapides (fibres de type 2) quelque soit le type de mouvement.
- ▶ Une charge légère entraîne un recrutement des fibres lentes (1).
- ▶ Une charge moyenne entraîne le recrutement des fibres lentes et de 2 a.
- ▶ Une charge lourde entraîne le recrutement des fibres intermédiaires et rapides (2a et 2b ou x).

FACTEURS NERVEUX

Recrutement des fibres.

Recrutement des fibres en fonction de l'intensité de charge (Costill 1980)



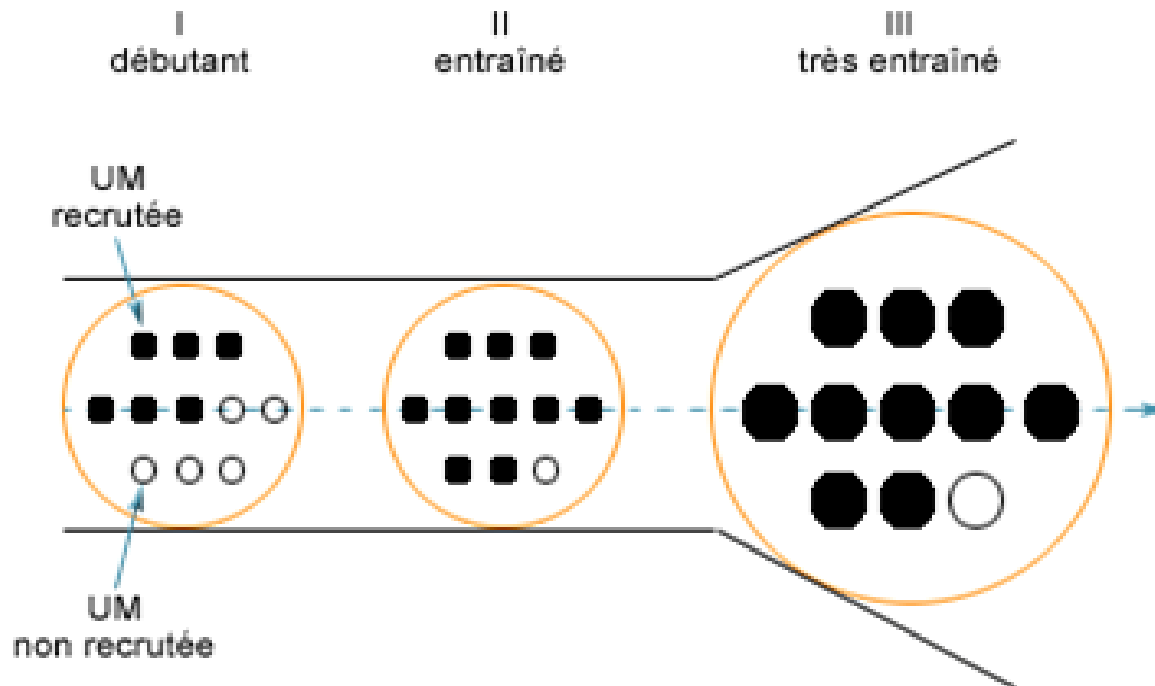
FACTEURS NERVEUX

Recrutement des fibres.

Situation I : le débutant ne recrute que peu de fibres.

Situation II : au bout de quelques semaines le nombre d'UM recrutées augmente sans hypertrophie.

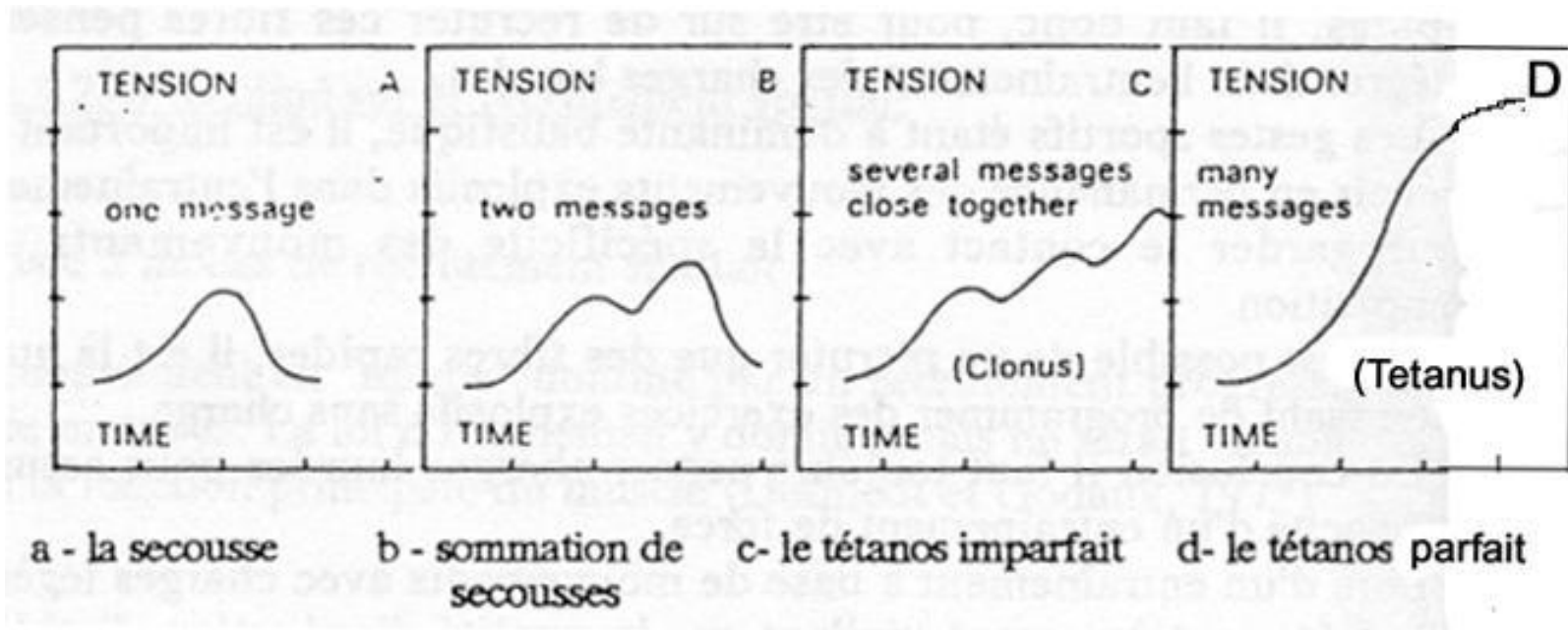
Situation III : lorsque l'entraînement se prolonge c'est surtout l'hypertrophie qui est responsable des gains de force.



Place des phénomènes de recrutement dans l'augmentation de la force (d'après Fukunaga 1976)

FACTEURS NERVEUX

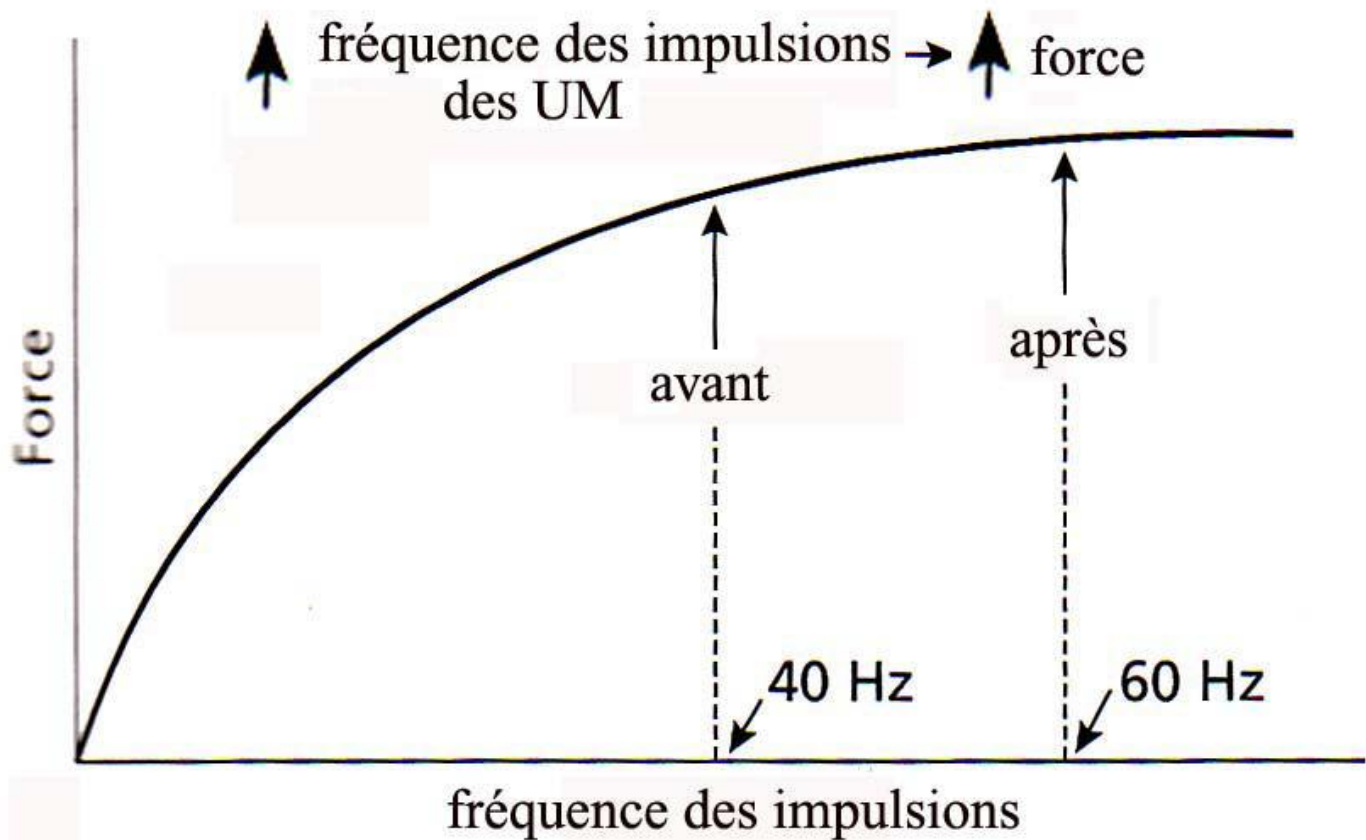
Recrutement temporel



- ▶ Un muscle répond par une secousse à une impulsion. Si une deuxième impulsion survient suffisamment rapidement la secousse est alors supérieure. Une série d'impulsions rapprochées donnera un tétanos imparfait, puis un tétanos parfait.

FACTEURS NERVEUX

- ▶ Effet de l'entraînement sur l'augmentation de la fréquence des impulsions et la force supérieure produite.



FACTEURS NERVEUX

Synchronisation des unités motrice. (coordination intramusculaire)

- ▶ Pour utiliser son muscle efficacement il faut le faire fonctionner en synchronisant les fibres.

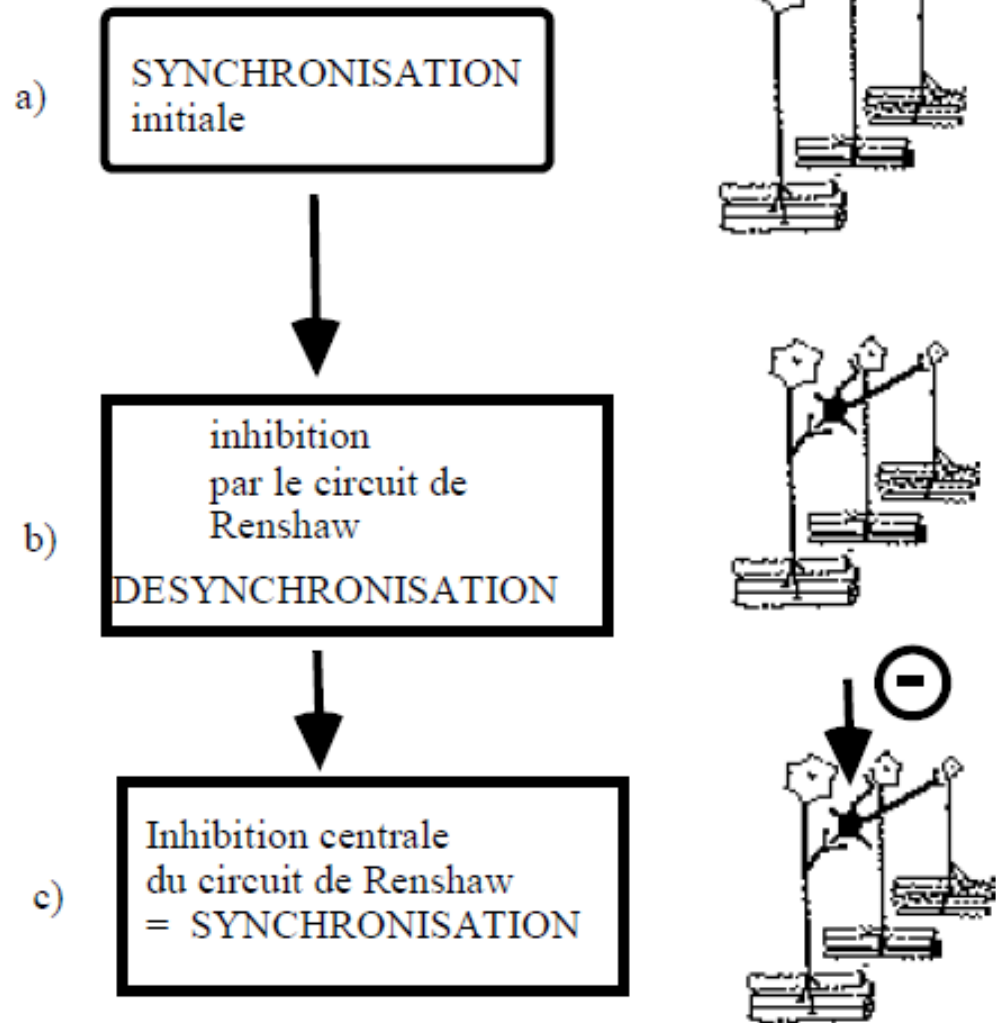


FACTEURS NERVEUX

Synchronisation des unités motrice.

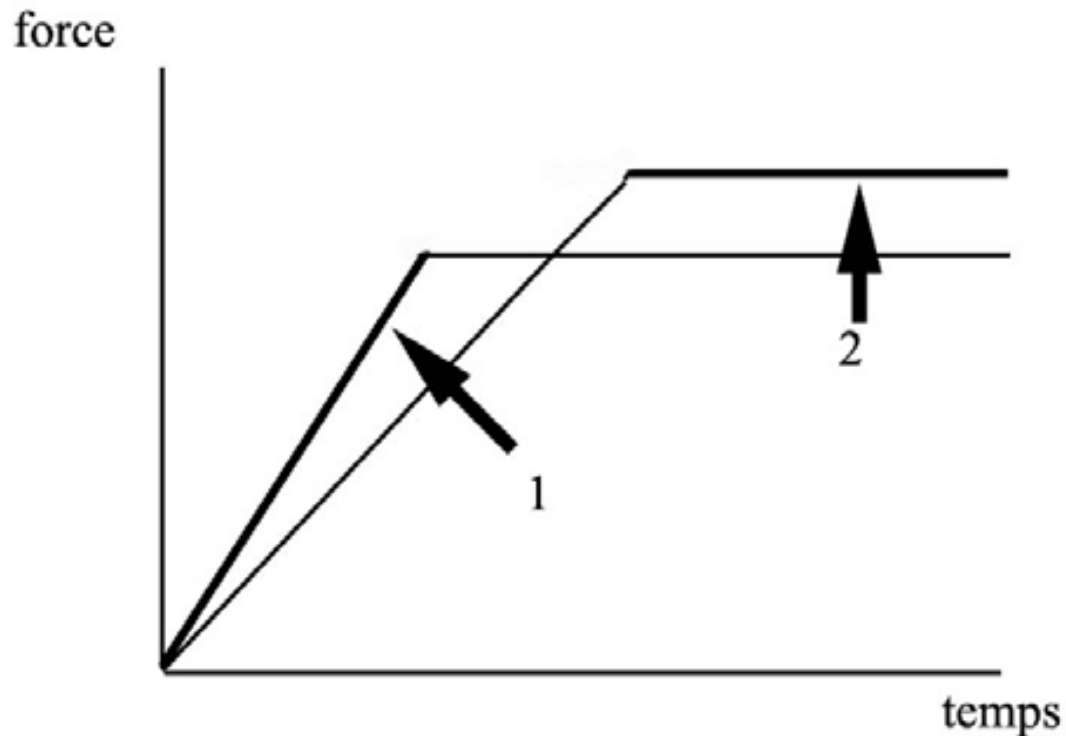
(coordination intramusculaire)

- ▶ Les unités motrices "déchargent" ensemble ainsi les impulsions nerveuses parviennent en même temps dans la fibre musculaire.



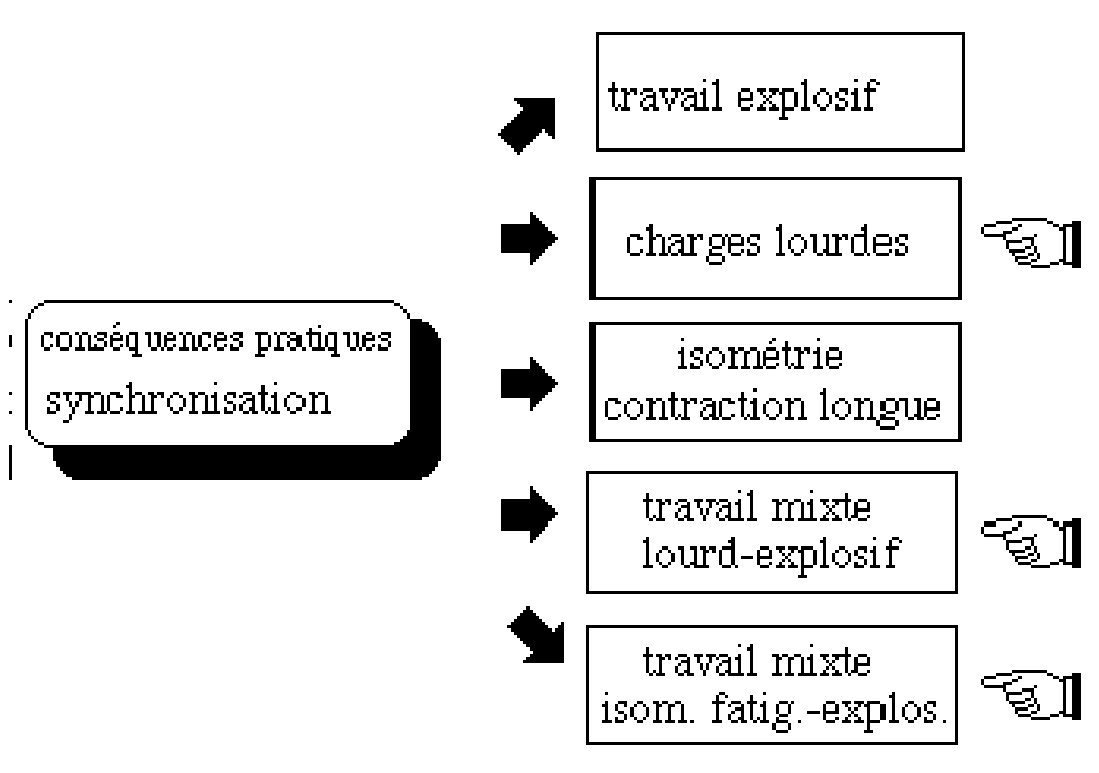
FACTEURS NERVEUX

- ▶ l'effet de la synchronisation des UM sur la montée en force. 1) elle améliore la montée en force, 2) il n'est pas exclu qu'elle agisse sur la force maximale. Selon Stemmler (2002)



FACTEURS NERVEUX

- ▶ les moyens pour améliorer la synchronisation (Cometti, 1989)



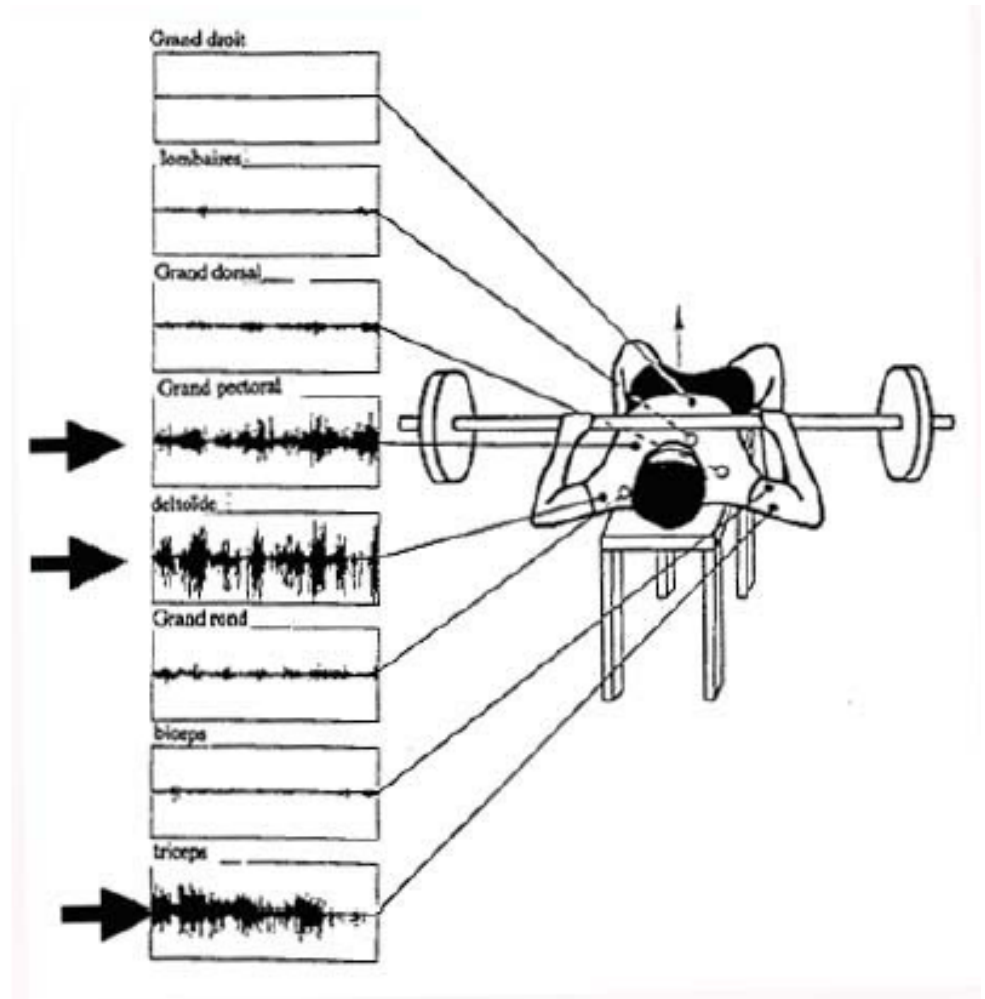
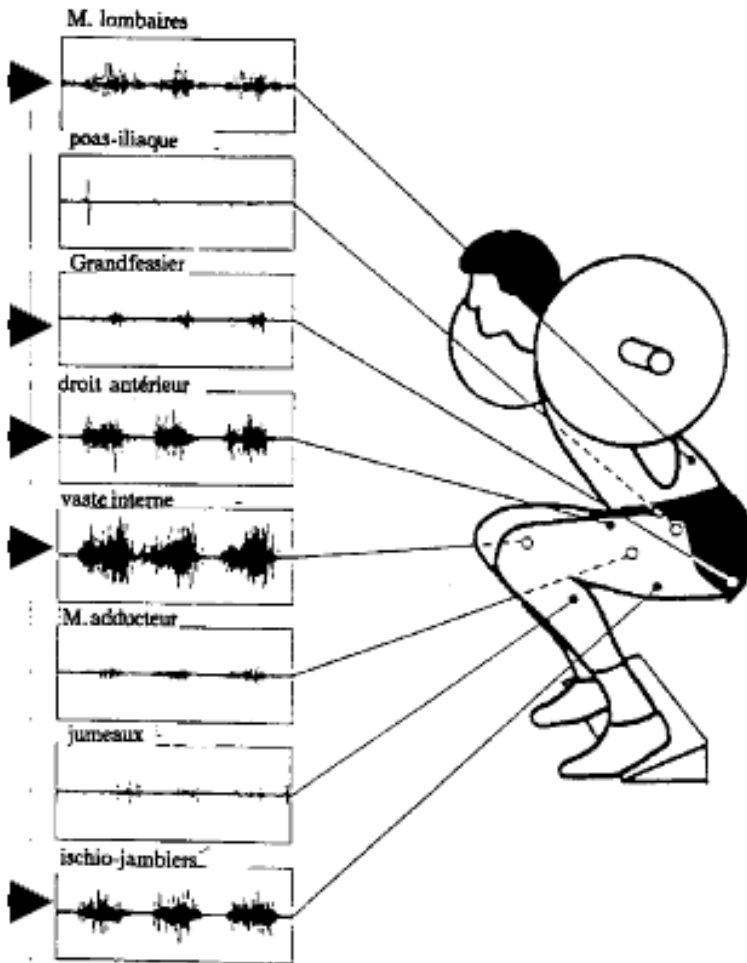
FACTEURS NERVEUX

Coordination intermusculaire.

Collaboration entre tous les muscles participant à un même mouvement agonistes.

- ▶ Maitrise du geste spécifique
- ▶ Économie de mouvement
- ▶ schéma moteur, activation coordonnée des muscles.
- ▶ Facteur de performance.

FACTEURS NERVEUX



FACTEURS NERVEUX

coordination intramusculaire : recrutement

- ▶ plus cette coordination est efficace (entraînement, motivation...), plus la force développée est importante.

coordination intermusculaire : synergie musculaire

- ▶ se définit par la collaboration entre tous les muscles participant à un même mouvement agoniste.



FACTEURS D'ÉTIREMENTS



FACTEURS D'ÉTIREMENTS

D'un point de vue anatomique, les facteurs limitant sont :

- ▶ le type et la forme des surfaces articulaires,
- ▶ la capacité d'extension **des muscles, des tendons, des ligaments, et des capsules articulaires.**
- ▶ Ce sont les muscles qui grâce à la régulation de leur relâchement, se prêtent le mieux au travail d'étirement (et donc aux influences de l'entraînement).

FACTEURS D'ÉTIREMENTS

Un muscle étiré produit une force supérieure.

Les explications sont aujourd'hui de 2 sortes :

- ▶ l'intervention du réflexe myotatique
- ▶ le rôle joué par l'élasticité du système tendon-muscle.

FACTEURS D'ÉTIREMENTS

► Explications physiologiques

On considère généralement que l'**augmentation** de l'**efficacité musculaire** due à un **étirement préalable** est la conséquence de **2 phénomènes**:



FACTEURS D'ÉTIREMENTS

LE RÉFLEXE MYOTATIQUE:

- ▶ Contraction réflexe d'un muscle déclenchée par son propre étirement.
- ▶ Le régime pliométrique est particulièrement adapté pour conditionner le réflexe myotatique.
- ▶ Le réflexe myotatique n'est efficace que s'il s'ajoute à la contraction volontaire.

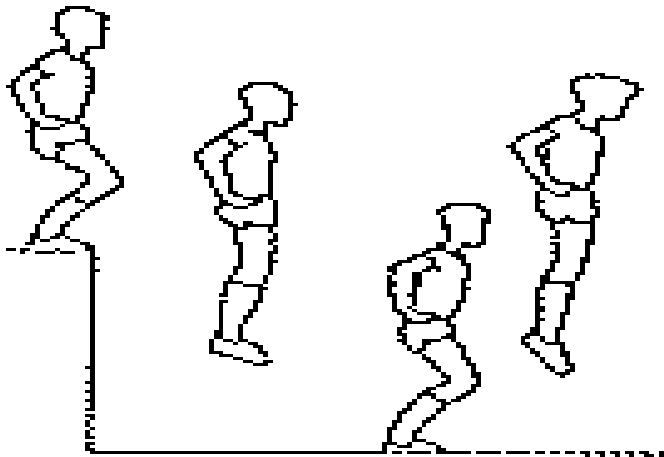
FACTEURS D'ÉTIREMENTS

ORGANE TENDINEUX DE GOLGI

- ▶ Renseigne le corps sur l'état d'étirement du muscle.
- ▶ Rôle de disjoncteur
- ▶ Protection du muscle par contraction

FACTEURS D'ÉTIREMENTS

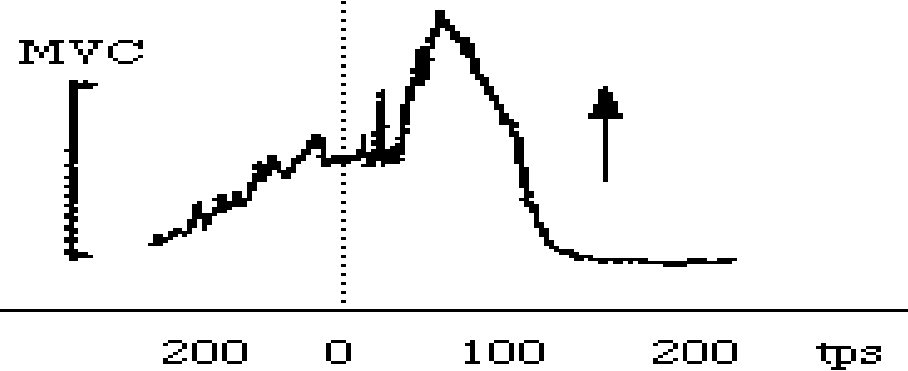
saut en contrebas



débutant



entraîné



FACTEURS D'ÉTIREMENTS

CES, CEP et CC

- ▶ CES: Composante élastique en série (tendons, titine, élastine...)
- ▶ CEP : Composante élastique en parallèle (Enveloppe musculaire: Endomysium, epymysium)
- ▶ CC : Composante contractile (actine, myosine)

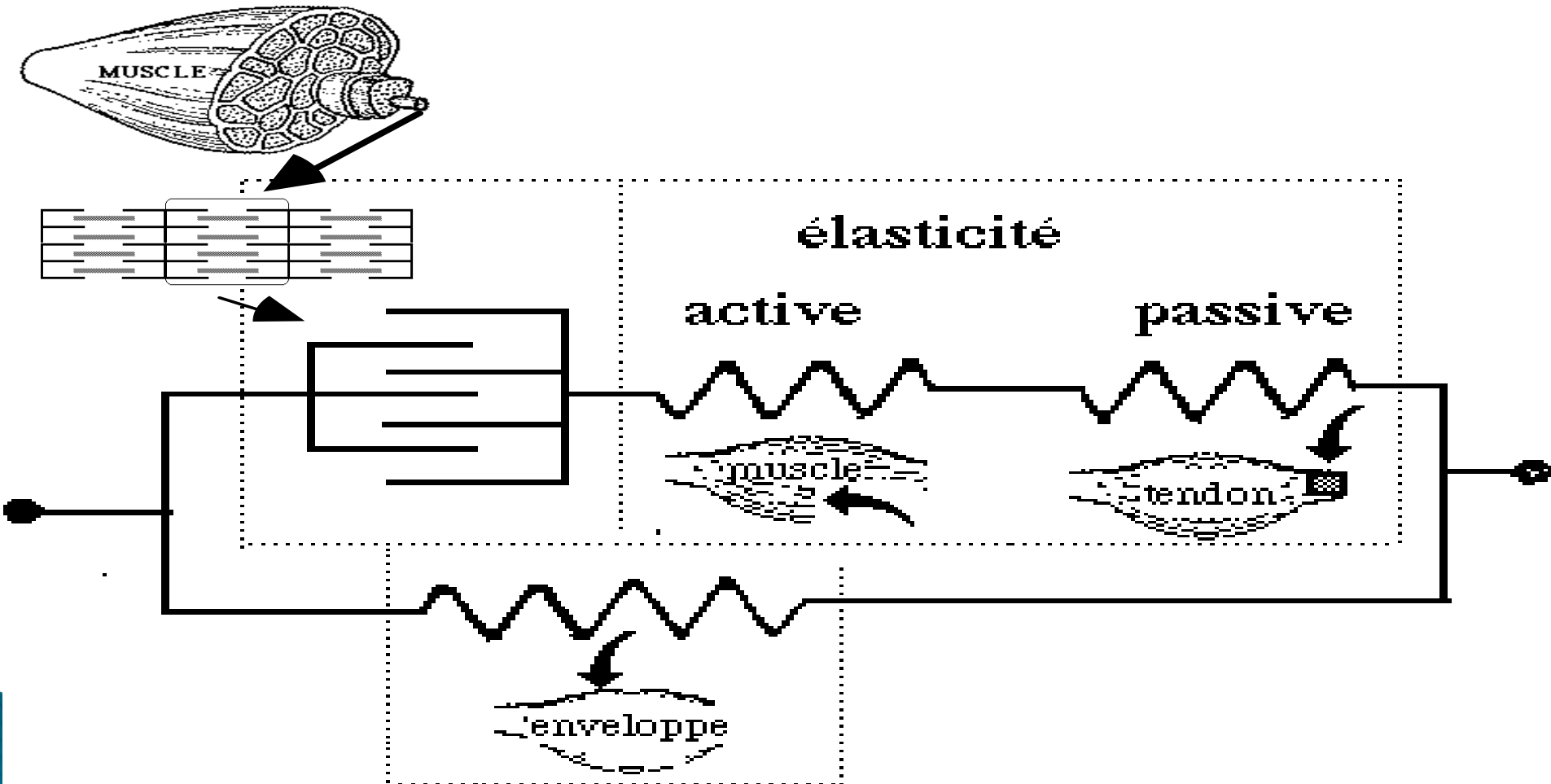
FACTEURS D'ÉTIREMENTS

L'élasticité du système tendon-muscle.

- ▶ Capacité du muscle à emmagasiner et restituer l'énergie élastique.

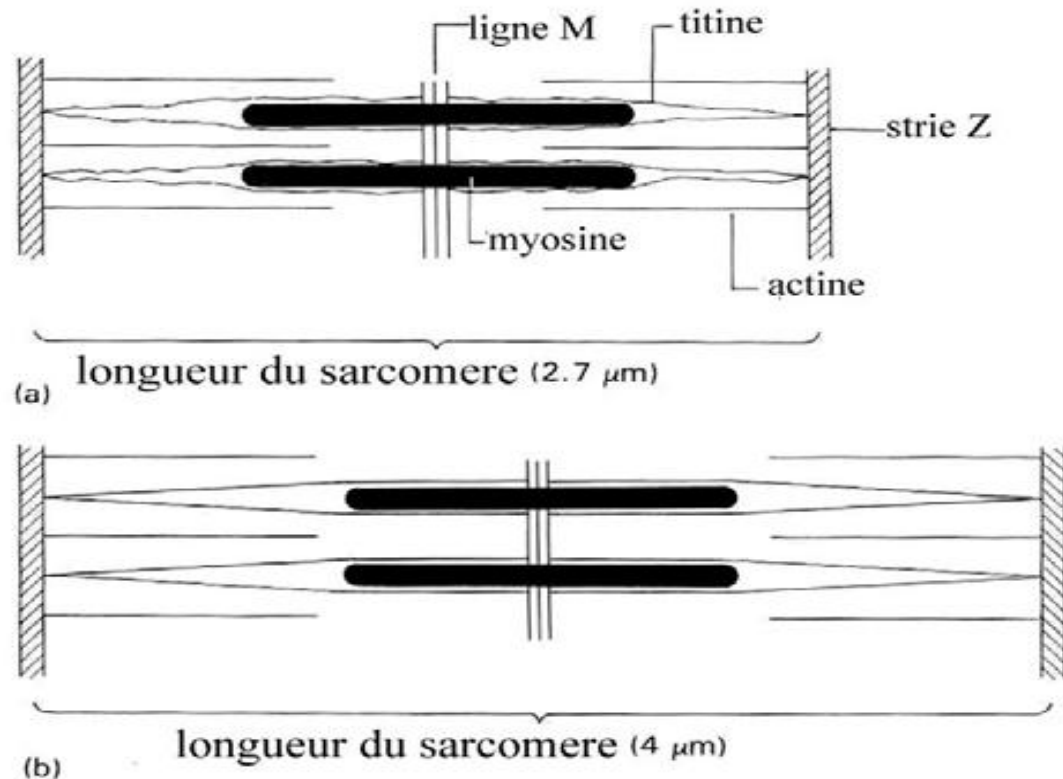
FACTEURS D'ÉTIREMENTS

- ▶ le schéma de Hill (modifié par Shorten, 1987)



FACTEURS D'ÉTIREMENTS

- ▶ Représentation de la titine, elle va de la myosine à la strie Z. En (a) le sarcomère est dans sa position de repos la titine est relâchée, en (b) le sarcomère est étiré la titine est tendue.



- ▶ La titine est donc susceptible de stocker de l'énergie et de la restituer.