



LE SYSTÈME MUSCULAIRE

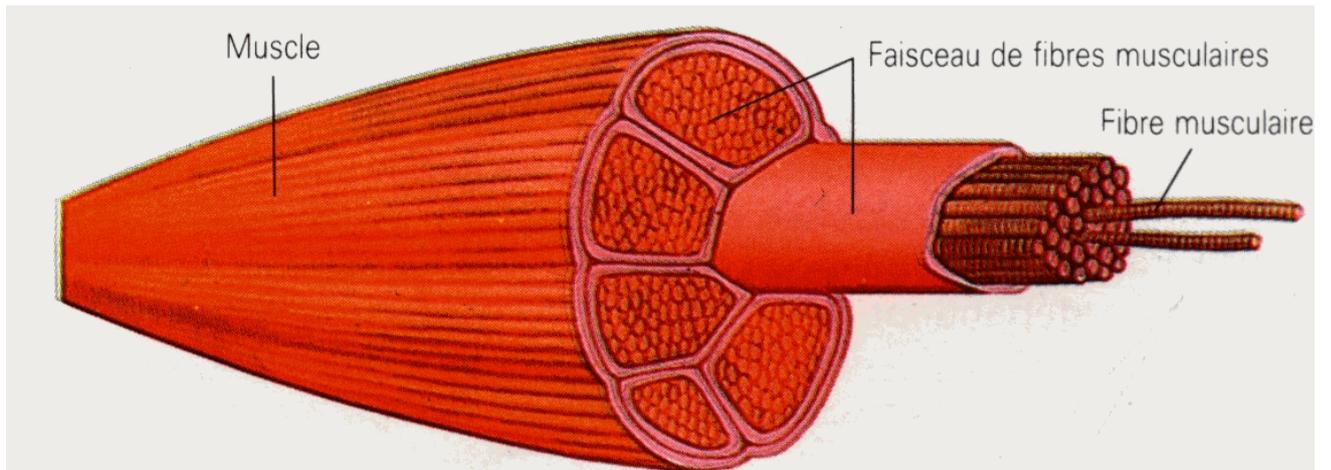


QU'EST-CE QU'UN MUSCLE ?

Un muscle est un **organe** composé de **fibres musculaires**, qui sont elles-mêmes des **cellules**.

Le muscle a 3 actions principales : se contracter, se relâcher et s'étirer

Les muscles sont les seuls organes capables d'assumer les mouvements d'autres organes (yeux, viscères...) et les mouvements du squelette (marcher, lever un bras...).



Il existe 2 catégories de muscles :

- Les **lisses** : ils tapissent la paroi des **artères** (pour permettre la vasodilatation et la vasoconstriction de celles-ci), de l'**intestin**...
Les muscles lisses sont **autonomes**.
- Les **striés** : ils sont attachés au squelette (cœur excepté) via les tendons (les tendons sont des tissus conjonctifs).
Les muscles striés sont des muscles **volontaires** (cœur excepté).

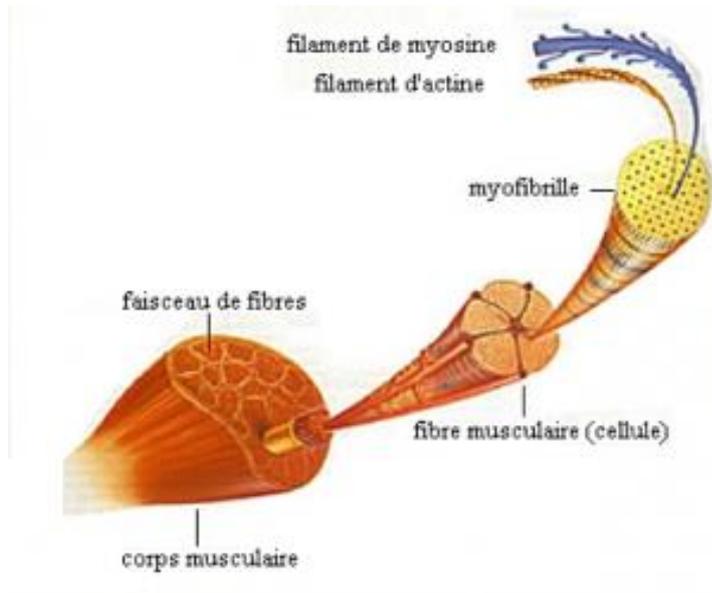
3 types de tissus entre dans la composition du muscle :

- Le **tissu conjonctif** : il **structure** le muscle (il unit les fibres, un peu comme un essaim d'abeilles), **lubrifie** la surface des fibres lors de la contraction et **transmet de la force** aux pièces osseuses. Il entoure le muscle mais également les faisceaux de fibres et les fibres elles-mêmes : on parle dans ce dernier cas des sarcolemmes.
- Le **tissu musculaire** : il est composé de **fibres musculaires striées**.
- Le **tissu nerveux** : il est responsable de l'**innervation motrice** (entre le cerveau et les muscles) et de l'**innervation sensitive** (entre nos 5 sens (œil, oreille...) et le cerveau).

Nb : on parle de « **circuit court** », ou de réflexe, lorsque le passage de l'ordre aux muscles se fait directement, sans passer par le cerveau.

LA COMPOSITION D'UN MUSCLE

Cliquez sur l'image ci-dessous pour la voir plus nette !

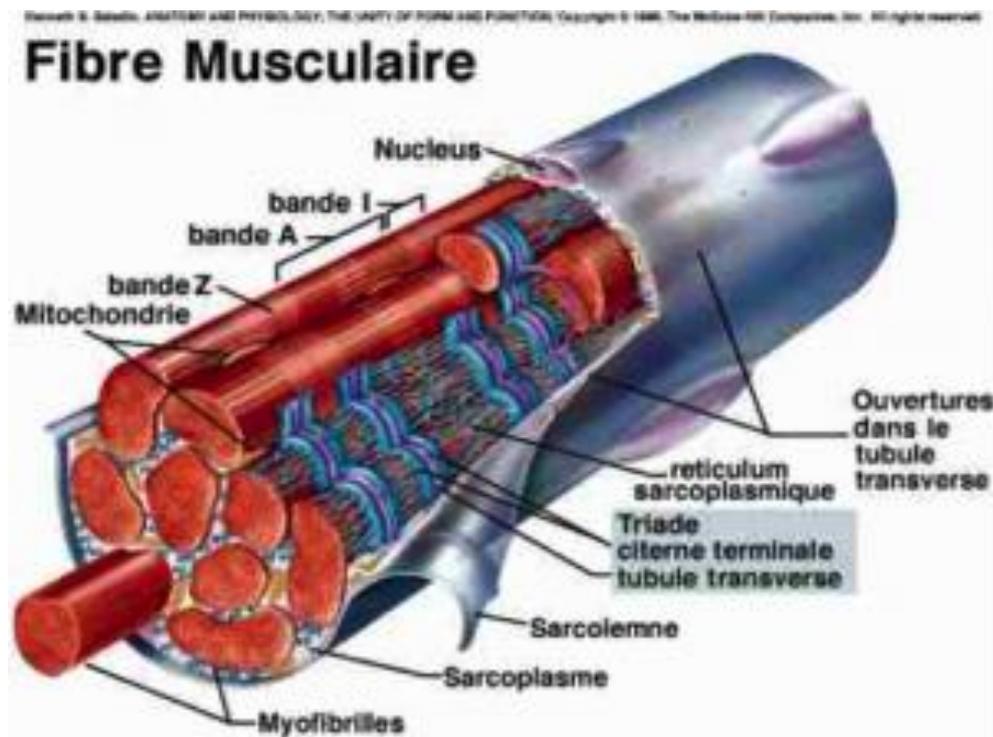


Il existe 2 types de tissu conjonctif :

- Le **tissu conjonctif aréolaire**
Son rôle est de **charpenter** le muscle et de **lubrifier** la surface des fibres lors de la contraction.
- Le **tissu conjonctif dense**
Il est composé de tendons et de lames tendineuses. Son rôle est de **transmettre de la force** aux pièces osseuses. Le tissu conjonctif dense est équipé de récepteurs sensibles aux tensions développées par la contraction par l'étirement : on appelle ces récepteurs les « **organes tendineux de Golgi** ».

L'organe tendineux de Golgi a pour rôle d'informer sur la tension qui règne dans un muscle. Cet organe réagit plus lorsque le muscle subit une contraction active que lorsqu'il subit un étirement passif (domaine de réaction du fuseau neuromusculaire).

LA FIBRE MUSCULAIRE



Fibre musculaire = cellule musculaire = myofibre. Les 3 termes peuvent être utilisés.

La fibre musculaire est une cellule multinucléée, c'est à dire qui comporte plusieurs noyaux. Elle renferme plusieurs myofibrilles.

- Les **myofibrilles** sont les **éléments contractiles** du muscle (en rouge sur le schéma), composées de 2 types de filaments contractiles : la **myosine** (filament épais et sombre, qui est une variété de protéine) et l'**actine** (filament fin et clair, qui est également une variété de protéine)
- Le **nucléus** : c'est le noyau d'une cellule (pour rappel, une fibre musculaire a plusieurs noyaux)
- Le **sarcolemme** : c'est la membrane autour d'une fibre musculaire (en bleu sur le schéma). Très résistante, elle est constituée de tissu conjonctif
- Le **sarcoplasme** : c'est le liquide cellulaire. Ce liquide contient notamment de la myoglobine, du glycogène, des graisses, des protéines et des sels minéraux

Nb : la **myoglobine** est le transporteur intracellulaire principal de l'oxygène dans les tissus musculaires et stocke l'oxygène dans les muscles. Sa couleur rouge et son abondance dans certains muscles ou chez certaines espèces expliquent la différence d'apparence entre viande blanche et viande rouge.

- Le **sarcomère** : c'est un bout de myofibrille, un compartiment où sont disposées les filaments d'actine et de myosine). Il est délimité par 2 stries, qu'on appelle « Z » en raison de leur forme
- Les **tubules transverses (Tubules " T ")** : ce sont des replis internes du sarcolemme en forme de tunnel. Ils servent de réseau de communication interne

- Le **réticulum sarcoplasmique** : il a un rôle de stockage du calcium (nb : pas de contraction musculaire sans calcium)
- La **mitochondrie** : c'est l'élément de la cellule dans lequel se réalisent les réactions avec l'oxygène (en rouge sur le schéma, entre les myofibrilles). Elle est en quelque sorte une sorte de **centrale** au sein de la cellule

LA CONTRACTION MUSCULAIRE

Le muscle est commandé par le nerf moteur constitué de neurones moteurs (responsables du mouvement) qu'on appelle les **motoneurones alpha**. Ces motoneurones se trouvent dans la substance grise de la moelle épinière et innervent un certain nombre de cellules musculaires : les fibres musculaires.

Nb : le système musculaire ne pouvant fonctionner sans le système neurologique, on parle de **système neuromusculaire**.

L'UNITÉ MOTRICE

L'unité motrice est composée de **3 éléments** : le **motoneurone alpha**, la **jonction neuromusculaire** et le **sarcomère** (actine + myosine).

L'unité motrice est l'unité de base de l'expression de la force. La force résulte donc du nombre plus ou moins grand d'unités motrices sollicitées par le système nerveux au cours de l'exercice
nb : **on ne crée pas de nouvelles fibres !!**

On parvient simplement à en **mobiliser davantage**. On crée en revanche de nouvelles **myofibrilles**, qui en plus de se multiplier, s'épaississent.

LES 3 SURFACES D'INSERTION DES MUSCLES

Les insertions des muscles peuvent être soit :

- **Osseuse** (ou cartilagineuse)
- **Aponévrotique** (constitué de tissus conjonctifs, lorsque le muscle est attaché via un tendon)
- **Cutanée** (ex : les yeux, dont les sourcils s'attachent directement sur la peau)

LES 5 PROPRIÉTÉS DU MUSCLE

1. **Contractilité** : le muscle se raccourcit, s'épaissit et se durcit

2. **Elasticité** : l'élasticité du muscle est parfaite, c'est-à-dire que le muscle, après avoir été contracté ou étiré, revient complètement à sa position initiale, sans aucun allongement résiduel
3. **Tonicité** : il y a en permanence un minimum de tension dans le muscle, même au repos. Cette caractéristique améliore notre instinct de survie
4. **Excitabilité** : il existe un seuil d'excitation du muscle, qui peut être mécanique, thermique, électrique ou chimique. Soit le muscle est excité, soit il ne l'est pas. C'est ce que l'on appelle la loi du tout ou rien. Un muscle ne peut être excité à moitié ou à 70%
5. **Innervation** : un muscle est innervé. Le système musculaire est intimement lié au système nerveux. La transmission de l'influx nerveux se fait via la libération d'un médiateur chimique qu'on appelle l'**acétylcholine**

LES 4 PHÉNOMÈNES ENTRAÎNÉS PAR LA CONTRACTION DU MUSCLE

1. **Mécaniques** : ils permettent par exemple aux leviers osseux de bouger. Les mouvements de traction concentrique se répètent jusqu'à **50 fois par seconde**, ce qui produit un raccourcissement du sarcomère
2. **Thermiques** : le muscle produit une petite quantité de chaleur, même au repos. Il consomme donc des calories, ce qui explique pourquoi la dépense calorique est naturellement plus importante lorsque l'on a une masse musculaire importante. Pour donner un ordre d'idée, la consommation est d'**environ 10 calories par minute et par kilo de muscle**, ce qui représente environ **700 kcal sur 24h pour une masse musculaire de 50kg**.
3. **Électriques** (cf. paragraphe suivant)
4. **Hormonaux** : la contraction musculaire est en effet déclenchée par la libération d'un médiateur chimique, l'**acétylcholine**

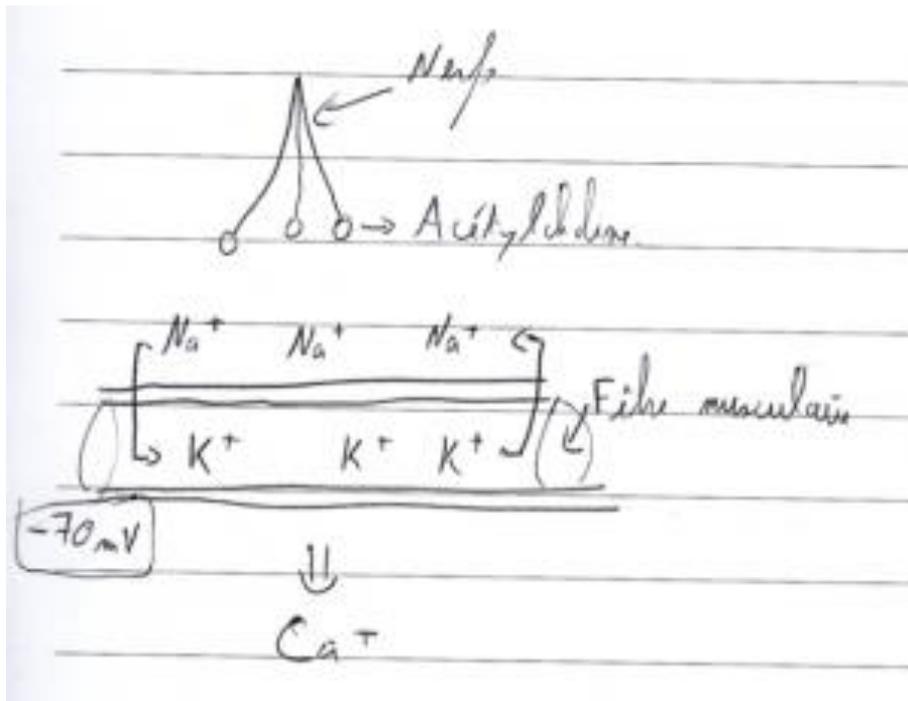
ZOOM SUR LES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES

Au repos, il y a une différence de potentiel électrique entre la surface du muscle (sodium ou Na⁺) et l'intérieur (potassium ou K⁺). Cette différence de potentiel électrique est de l'ordre de -70mV.

La contraction nécessite **4 phases** :

- **Un message**
- **L'acétylcholine** (le médiateur chimique)
- **La dépolarisation** (entre le sodium, à l'extérieur de la fibre musculaire, et le potassium, à l'intérieur). Lorsqu'il y a dépolarisation, la différence de potentiel électrique passe de -70mV à environ 15 / 20mV.
- **La contraction**

Avec un schéma dessiné à la main, cela donne :



Na⁺ : sodium

K⁺ : potassium

Ca⁺ : calcium

A quoi sert le calcium ? A libérer l'ATP (l'énergie de la cellule) pour que les filaments (actine / myosine) puissent glisser et ainsi avoir une contraction musculaire

LE SYSTÈME SENSITIF

Il est composé des **fuseaux neuromusculaires** (situés dans les muscles) et des **organes tendineux de Golgi** (situés dans les tendons). Cet ensemble permet l'activité tonique de la musculature. Il est responsable de la **régulation posturale**.

On distingue plusieurs types de réflexes liés à ce système sensitif :

• LE RÉFLEXE MYOTATIQUE

il entraîne la **contraction réflexe** des muscles étirés de façon dynamique (réflexe de protection pour éviter que le muscle ne se blesse).

Si le réflexe est insuffisant, on peut avoir une élongation ou une contracture

Il est donc généralement préférable d'éviter les étirement trop forts et/ou trop rapides.

• LE RÉFLEXE MYOTATIQUE INVERSE

Egalement appelé « **réflexe tendineux** » : le muscle étiré se détend encore davantage. Ce réflexe entraîne une inhibition des motoneurones alpha consécutivement à une tension élevée du muscle, et permet de limiter les traumatismes. Il est à l'origine de la technique du contracté-relâché (PNF)

Nb : pour optimiser le réflexe myotatique inverse, il est conseillé de faire un **échauffement de 5-10mn** avant de s'étirer

Il y a donc 2 réflexes de protection du muscle lorsqu'il est étiré : soit il se contracte, soit il se détend encore davantage

• LE RÉFLEXE D'INHIBITION RÉCIPROQUE

La contraction musculaire entraîne un **relâchement réflexe** de son **antagoniste**. Ce relâchement favorisera son étirement

Ex : si on veut travailler sur l'étirement des ischios, on peut travailler en leg extension avant, autrement dit isoler les quadriceps (5×15 reps par ex à 60% RM1 avec récup d'1mn max)

Nb : les 3 formes d'étirement ci-dessus sont **passifs**

• LE RÉFLEXE D'INHIBITION POST ISOMÉTRIQUE

(étirement **actif**)

La contraction isométrique d'intensité modérée entraîne le relâchement accentué dudit muscle et facilite son étirement

Ce type d'étirement est plutôt destiné à des clients habitués, plus qu'à des débutants

Nb : l'échauffement au préalable est moins essentiel que pour le réflexe d'inhibition réciproque, mais il est préférable d'en faire un.

LES DIFFÉRENTS TYPES DE FIBRES MUSCULAIRES

Vous avez certainement déjà entendu parler de fibre lente, de fibre rouge, de fibre 1 ? Voici un résumé de qu'il faut savoir pour l'examen à ce sujet :

- **Fibre 1** = fibre **lente** (**rouge**, car fortement vascularisée)
- **Fibre 2A** = (**rose**, fibre intermédiaire entre 1 et 2X, moins vascularisée)
- **Fibre 2X** = fibre **rapide** (**blanche** car faiblement vascularisée). Elles sont également fortement innervées

La mécanique musculaire est formée de 3 composantes :

- Les composantes **contractiles** : les **sarcomères**

- Les composantes **élastiques parallèles** : ce sont l'ensemble des structures du muscle autres que les éléments contractiles. Il s'agit par exemple du tissu conjonctif, du sarcoplasme ou encore des mitochondries.
- Les composantes **élastiques en séries** : les **tendons**

QUELLE EST LA DIFFÉRENCE ENTRE LA PUISSANCE ET L'EXPLOSIVITÉ ?

- **Puissance = Force x Vitesse**. Tout simplement. Pour améliorer sa puissance, on peut donc augmenter sa force (prendre plus lourd) et/ou augmenter sa vitesse (accroître le rythme)
- L'**explosivité**, en revanche, est la capacité **d'accélérer**. Si l'on prend par exemple l'arraché en haltérophilie, un mouvement d'explosivité par excellence, l'explosivité s'observe au moment où l'athlète accélère la vitesse de montée de barre à partir de mi-cuisses pour passer sous la barre.
Même si cet athlète est puissant, autrement dit qu'il a de la force et qu'il y met une vitesse raisonnable mais stable, il n'arrivera pas à soulever une charge aussi lourde que s'il arrive à être explosif, autrement dit à donner une accélération au mouvement au bon moment.

COMMENT S'ADAPTE PHYSIOLOGIQUEMENT UN ORGANISME QUI DEVIENT PLUS ENDURANT ?

On peut observer qu'il s'adapte via l'augmentation :

- De la **taille** et du **nombre de mitochondries** (= « centrale » au cœur d'une cellule musculaire. Les mitochondries traitent l'oxygène pour l'envoyer aux muscles)
- De la **capillarisation**
- De l'**activité des enzymes clés** du métabolisme oxydatif (les enzymes sont dans la plupart des cas des protéines qui favorisent les réactions chimiques)
- Des réserves en **glycogène** et en **lipides** au sein des fibres musculaires

COMMENT S'ADAPTE PHYSIOLOGIQUEMENT UN ORGANISME QUI DEVIENT PLUS FORT ?

On peut observer qu'il s'adapte via :

- L'**hypertrophie (structural)** : autrement dit via l'augmentation de la masse musculaire
- Des **facteurs nerveux** :
 - Via le **recrutement des unités motrices** (= on arrive à recruter plus de fibres musculaires lors d'un même effort)
 - Via la **synchronisation intra-musculaire**. Les fibres musculaires d'un même muscle sont mieux coordonnées entre elles, autrement dit elles arrivent à se contracter en même temps.
 - Via la **coordination inter-musculaire**. Les muscles sont mieux coordonnées entre eux, autrement dit ils arrivent à se contracter en même temps.

L'augmentation de la force est donc à la fois lié à l'augmentation de la masse musculaire et à l'optimisation du système nerveux.