

CHAPITRE 6

LES TISSUS MUSCULAIRES :

I. CARACTERISTIQUES GENERALES :

1) DIFFERENTS TYPES DE MUSCLES

- Le tissu musculaire strié squelettique : il constitue les muscles squelettiques qui recouvrent le squelette et s'y attache.
- Le tissu musculaire strié cardiaque : il constitue le muscle cardiaque (myocarde)
- Le tissu musculaire lisse : dans la paroi des organes creux (estomac, vessie, intestin...)

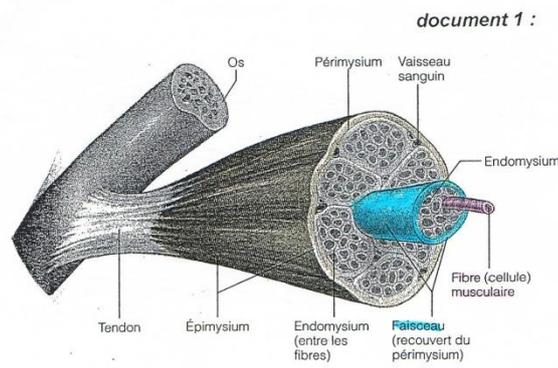
2) FONCTIONS DES MUSCLES

- Production du mouvement
- Maintien de la posture
- Stabilisation des articulations
- Dégagement de chaleur

3) CARACTERISTIQUES FONCTIONNELLES DES MUSCLES

- **Contractilité** : capacité de se contracter
- **Excitabilité** : les myocytes sont des cellules excitables capables de percevoir un stimulus chimique et d'y répondre
- **Extensibilité** : faculté d'étirement
- **Elasticité** : faculté de reprendre leur longueur de repos

II. LES MUSCLES SQUELETTIQUES :



1) ANATOMIE MACROSCOPIQUE :

Un muscle squelettique est un organe bien délimité, dont la majeure partie est faite de TM strié squelettique. Il renferme des vaisseaux sanguins, des neurofibres, et du TC.

- Le tissu conjonctif : Les gaines de TC protègent les fibres musculaires, les soutiennent et sont la voie d'entrée pour les vaisseaux et neurofibres.
- Innervation et irrigation sanguine : chaque fibre musculaire est contractée par une terminaison d'une neurofibre qui régit son activité. Chaque muscle est desservi par une artère et par une ou plusieurs veines.
- Attaché aux os : elle peut être directe ou indirecte.

2) ANATOMIE MICROSCOPIQUE D'UNE FIBRE MUSCULAIRE SQUELETTIQUE :

■ Structure :

Longue **cellule cylindrique plurinucléé**, les noyaux ovales se trouvent juste au-dessous de la membrane plasmique appelée **sarcolemme**, car la majeure partie du cytoplasme est rempli par les **myofibrilles**.

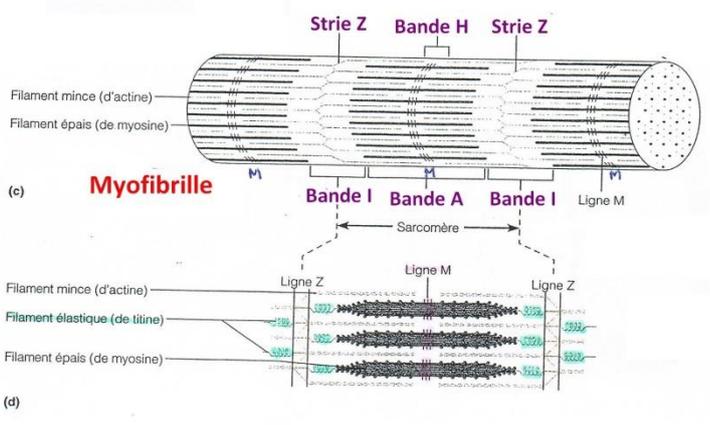
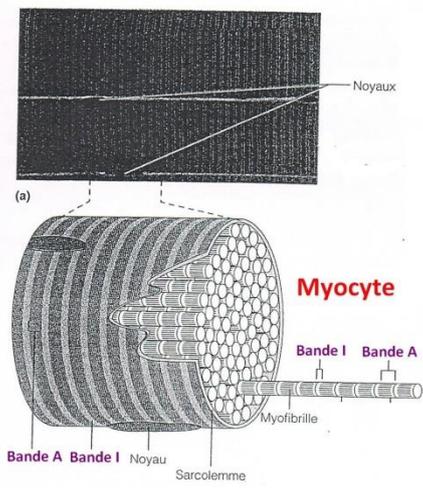
Le cytoplasme appelé **sarcoplasme** contient :

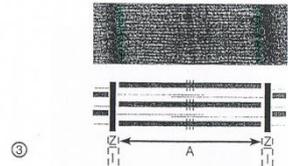
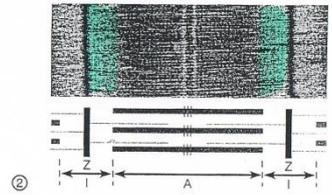
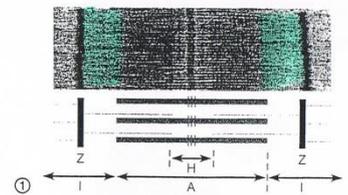
- une réserve importante de glycogène
- des molécules de myoglobine

■ **Ultrastructure :**

Les myocytes squelettiques contiennent les organites habituels mais aussi d'autres modifications :

| | | | |
|--------------------------|--|---|---------------------------------|
| MYOFILAMENTS | Elles occupent toute la longueur de la cellule. Elles sont de structure protéiques, qui constituent les éléments contractiles du myocyte. | | |
| | <p>ORGANISATION DES MYOFIBRILLES DANS LA FIBRE MUSCULAIRE : La région du myofibrille entre 2 stries Z est appelée sarcomère comprenant 1 bande A (sombre), et 2 demi-bandes I (claires). Sarcomère = unité fonctionnelle du muscle, ie unité contractile du myocyte squelettique. Chaque myofibrille est composée d'un très grand nombre de sarcomères.</p> <p>STRUCTURE DES MYOFIBRILLES : Elles sont composées de myofilaments. Ces filaments sont disposés de façon ordonnée ce qui explique l'aspect strié des myofibrilles.</p> | | |
| | | Myofilaments épais | Myofilaments fins |
| structure | (16 µm) : composés de molécules de myosine (200) | (8 nm) : composés de molécules d'actine | composés de molécules de titine |
| composition | Ressemblance avec un club de golf : tête à deux lobes et une tige cylindrique. Au niveau de la tête bilobée, il y a que chaque lobe un site de liaison de la myosine sur l'actine. Il peut y avoir hydrolyse de l'ATP. | - molécules d'actine G polymérisées formant l'actine F - molécules de tropomyosine - molécules de troponine | |
| Réticulum sarcoplasmique | Lieu de la mise en réserve du Ca^{2+} dans la cellule (myocyte). Il peut être libéré lors de la contraction du myocyte. Rôle = régulation de la concentration en calcium (libérer et recapter) | | |
| Tubules transverses | Le sarcolemme pénètre à l'intérieur du myocyte et forme un long tube appelée tubule T ou tubule transverse. L'intérieur du tubule T est en continuité avec le liquide interstitiel où baignent le myocyte. Les tubules T encerclent chaque sarcomère. Rôle = voie d'entrée pour le liquide interstitiel qui peut profondément pénétrer dans la cellule pour y amener les nutriments, le dioxygène et drainer les déchets métaboliques. | | |





3) CONTRACTION DE LA FIBRE MUSCULAIRE :

■ Mécanisme moléculaire de la contraction :

- **Théorie du glissement des myofilaments** : quand une fibre musculaire se contracte, les sarcomères se raccourcissent. Les myofibrilles se raccourcissent donc. L'ensemble du myocyte se raccourcit. La longueur des myofilaments ne varie pas. La contraction résulte du glissement des myofilaments fins sur les myofilaments épais.

Le glissement des myofilaments fins sur les myofilaments épais est possible grâce aux liaisons tête de myosine sur les filaments d'actine. Chaque tête s'attache et se détache au niveau de nombreuses molécules d'actine G adjacentes.

- **Attachement des têtes de myosine aux molécules d'actine** :

Dans la cellule au repos, la concentration sarcoplasmique en calcium est faible.

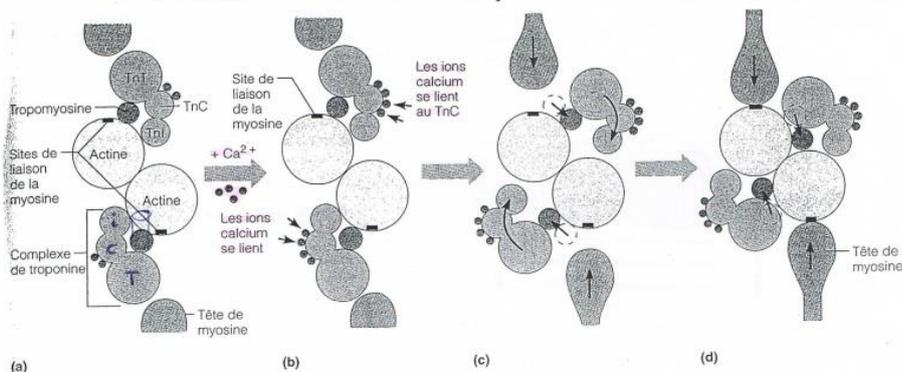
Lors de la contraction, la concentration sarcoplasmique en calcium est importante : les ions calcium se fixent sur la TnC de la troponine, ce qui modifie la conformation troponin, la TnI se détache de l'actine, la

tropomyosine peut alors se déplacer, ce qui expose le site de liaison de l'actine à la tête de myosine qui peut s'y lier.

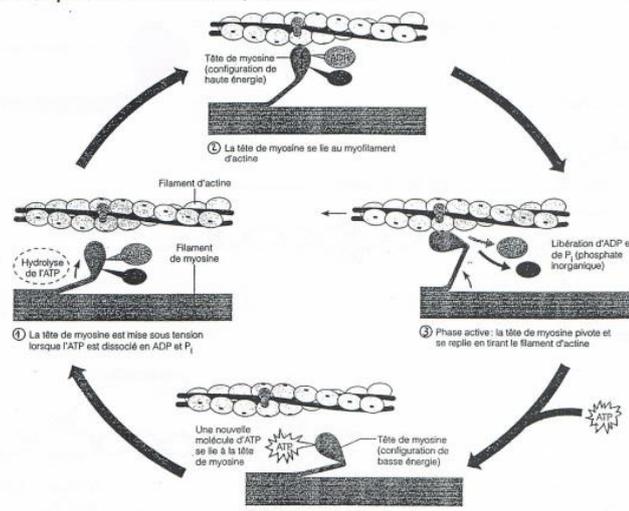
- **mécanisme du glissement des filaments d'actine** : la tête de myosine lie les molécules d'actine, mais aussi une ATPase afin de produire l'énergie potentielle nécessaire à son changement de conformation, permettant le glissement du myofilament fin en le tirant vers le centre du sarcomère.

L'arrêt se fait lorsque les ions calcium sont récupérés dans les citernes du RS (activation des pompes calcium). Les myofilaments reprennent leur position initiale et la fibre musculaire se relâche.

document 8 : Liaison de la tête de myosine à la molécule d'actine



document 9 : Séquence des événements qui produisent le glissement des filaments d'actine lors de la contraction.



■ Commande nerveuse de la contraction :

Pour que les myocytes se contractent ils doivent être stimulés par des neurones moteurs (=motoneurones), dont les corps cellulaires se trouvent dans le SNC. Les axones de ces neurones sont regroupés dans les nerfs moteurs qui innervent les muscles squelettiques.

| | |
|--|--|
| <p>Synapse neuromusculaire</p> | <p>Terminaisons neuromusculaires : à l'entrée du nerf moteur dans le muscle, l'axone de chaque neurone moteur se ramifie et chaque ramification se termine par une multitude de terminaisons axonales. Elles contractent une seule fibre musculaire. Elles contiennent de nombreuses vésicules synaptiques remplies d'acétylcholine. Elle est séparée de la fibre musculaire par une fente synaptique.</p> |
| <p>Stimulus nerveux</p> | <p>arrivé du PA à la terminaison neuromusculaire → Ouverture des canaux Ca^{2+} → entrée des Ca^{2+} → exocytose des vésicules synaptiques libération des molécules d'Acétylcholine → diffusion dans la fente → fixation sur ses récepteurs spécifiques dans la plaque motrice</p> |
| <p>Production et propagation d'un PA au niveau de la plaque motrice</p> | <p>Cette fixation se fait sur des récepteurs en forme de rosette. Les sous-unités du canal changent de conformation et le canal s'ouvre. Les ions Na^+ entrent, la membrane se dépolarise ce qui correspond à un potentiel gradué appelé potentiel récepteur.</p> <p>stimulation du myocyte forte → libération d'Ach très importante → nombre de canaux Na^+ dépendant ouverts accrue → entrée de Na^+ importante → le potentiel récepteur atteint un seuil critique du déclenchement du PA → propagation du PA dans la sarcolemme → toute les directions depuis la plaque motrice</p> |

■ Couplage excitation-contraction :

Le couplage excitation-contraction correspond à la succession des évènements à partir de la génération du PA au niveau de la plaque motrice jusqu'à la contraction de la fibre musculaire.

- Le PA se propage sur le sarcolemme et le long des tubules T et atteint les triades.
 - Quand le PA arrive aux protéines intégrales (canaux Ca^{2+}) de jonction qui relient les citernes du RS au niveau des tubules T (sensibles au voltage), elles changent de conformation et s'ouvrent pour laisser s'échapper une quantité importante d'ions Ca^{2+} dans le sarcoplasme.
 - Les ions se fixent sur les troponines et la séquence de fixation des têtes de myosines sur l'actine commence.
- Le raccourcissement de la fibre musculaire consécutif au raccourcissement des sarcomères correspond à la contraction et dure 100 ms alors que le PA qui l'a déclenché n'a duré que 1 à 2 ms.**

■ Modalités de la contraction :

- Le myocyte admet **une période réfractaire** à sa contraction : phases de dépolarisation et de repolarisation sur sarcolemme après sa stimulation par un axone moteur.
- La contraction du myocyte est soumise à **la loi du tout ou rien** : une fois amorcé, le PA conduit à la contraction complète et maximale de la fibre musculaire.

4) CONTRACTION D'UN MUSCLE SQUELETTIQUE :

Chaque fibre répond à une stimulation suivant la loi du tout ou rien, mais le muscle squelettique peut se contracter avec une force variable plus ou moins longtemps.

■ L'unité motrice :

Constituée par un neurone moteur et toutes les fibres musculaires qu'il innerve.

Quand un neurone moteur déclenche un PA, toutes les fibres musculaires qu'il innerve répondent par une contraction.

■ Réponses graduées du muscle :

Contractions d'intensités diverses dont sont capables les muscles. Cela est possible grâce à la modulation de la contraction musculaire selon deux modalités :

| | | |
|-----------------|------------------------------------|---|
| Changement de : | la fréquence de stimulation | <p>Sommation temporelle des contractions : permet d'obtenir des contractions uniformes et continues.</p> <p>Les contractions fusionnent en une longue contraction appelée contraction tétanique (mode habituel de contraction des muscles dans l'organisme)</p> <p>Le tétanos ne peut se prolonger trop longtemps car le muscle perd sa capacité de se contracter (= fatigue musculaire). La capacité de production d'ATP par les myocytes devient insuffisante.</p> |
| | la force de contraction | <p>Sommation spatiale des contractions des unités motrices : phénomène de recrutement des unités motrices. La stimulation nerveuse d'un nombre croissant d'unités motrices conduit à une augmentation de la contraction du muscle entier.</p> <p>L'activation des unités motrices est en générale asynchrone. Cela permet de prolonger le tétanos du muscle entier et de retarder la fatigue musculaire.</p> |

■ Contractions isotoniques et isométriques :

La contraction correspond à l'application d'une force (**tension musculaire**) par un muscle, ce qui provoque une force de résistance (**charge**). Il y a donc deux types de contraction d'un muscle : isotonique et isométrique.

Un même muscle est capable d'exercer ces deux types de contractions afin d'assurer une activité coordonnée de plusieurs muscles et d'établir des mouvements harmonieux.

III. LE MUSCLE CARDIAQUE OU MYOCARDE :

La paroi du cœur est formée de trois tuniques : **épicarde, myocarde, et endocarde**.

1) ANATOMIE MACROSCOPIQUE :

Caractéristiques propres à son rôle de pompe.

Les myocytes sont séparés par une trame de tissu conjonctif lâche, l'**endomysium qui renferme de nombreux capillaires**. Il est rattaché au squelette fibreux du cœur.

2) ANATOMIE MICROSCOPIQUE :

Les fibres musculaires sont courtes, ramifiées, et épaisses. Chacune contient 1 à 2 gros noyaux. Il y a des disques intercalaires (jonctions) qui contiennent : **des jonctions ouvertes** (permettant le passage d'ions et de petites molécules) et **des desmosomes** (liant les cellules lors de la contraction, cohésion).

De **grosses mitochondries** s'y trouvent, l'espace restant est comblé par **des gouttelettes lipidiques** et **des myofibrilles**.

| | |
|---------------------------------|---|
| Myofibrilles | <p>Diamètre variable et tendance à se ramifier. Elles présentent une striation, mais les stries sont moins bien définies que dans le myocyte squelettique.</p> <p>On distingue sur les sarcomères des stries Z, des bandes A et I formés de filaments épais de myosine et de filaments fins d'actine.</p> |
| Tubules T | Le sarcolemme forme des tubules T plus larges et moins nombreuses, pénétrant dans les sarcoplasmes au niveau des stries Z. |
| Réticulum sarcoplasmique | Moins développé, dépourvu de grandes citernes terminales, pas de triades. |

3) MECANISME DE LA CONTRACTION :

■ Génération d'un PA au niveau du sarcolemme :

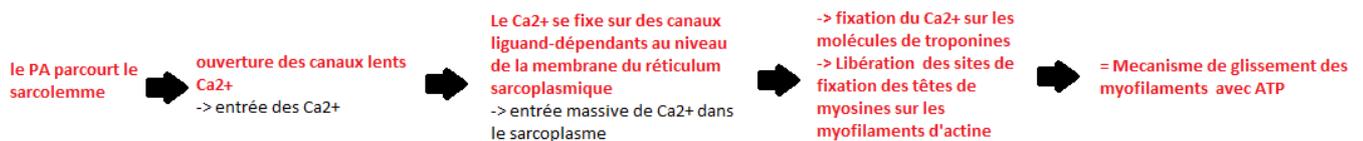
La contraction est déclenchée par un PA qui se propage sur le sarcolemme du myocyte cardiaque.

Le PA généré au niveau des myocytes cardiaques est obtenu par un changement de la perméabilité membranaire aux ions Na^+ , K^+ et Ca^{2+} .

- **Dépolarisation** : la modification du Er du sarcolemme entraîne l'ouverture des canaux rapides Na^+ et l'entrée des Na^+ → inversion du potentiel de membrane.
- **Début de repolarisation** : les canaux se referment presque instantanément
- **Suite de la dépolarisation** : Ouverture des canaux lents Ca^{2+} (entrée d'ions). Cette entrée provoque un plateau dans le tracé du PA.
- **Repolarisation** : les canaux Ca^{2+} se referment tandis que les canaux K^+ s'ouvrent.

■ Couplage excitation-contraction :

L'onde de dépolarisation se propage le long du sarcolemme et arrive dans les tubules T.



La relaxation des myocytes est due à l'activité des pompes Ca^{2+} qui expulsent les calcium à l'extérieur de la cellule.

4) MECANISME DE LA CONTRACTION

■ le myocarde se comporte comme un syncytium fonctionnel :

| | |
|--|---|
| Origine des PA observés dans les myocytes | <p>La grande majorité du myocarde est constitué de myocytes. 1% des myocytes sont des cellules cardionectrices qui constituent le système de conduction du cœur.</p> <p>Les cellules cardionectrices du nœud sinusal et du nœud auriculoventriculaire sont appelées cellules nodales. Elles ont la capacité de se dépolariser spontanément, et elles produisent des PA et les propage à travers le myocarde grâce au système cardionecteur.</p> <p>Automatisme cardiaque : Il y a des synapses électriques entre les cellules cardionectrices et les myocytes cardiaques : ainsi les myocytes dépolarisés se contractent. Le myocarde se contracte alors d'un bloc de façon indépendante sans intervention du système nerveux.</p> |
| Propagation des PA dans les cellules cardionectrices | <p>Ces cellules nodales ont un potentiel de repos de -60 mV mais il est instable, on l'appelle potentiel pacemaker. Il devient de – en – électronégatif et tend vers le seuil de déclenchement d'un PA. Ce potentiel est une dépolarisation lente de la membrane.</p> <p>Cette dépolarisation es due à une diminution de la perméabilité de la membrane au ions K^+ et une entrée de Na^+. Quand le seuil d'excitation (-40mV) est atteintn des canaux rapides Na^+ et Ca^{2+} s'ouvrent : dépolarisation.</p> |
| Déroulement de l'excitation du myocarde | <p>Les influx (PA) parcourent le système cardionecteur du cœur dans l'ordre suivant : nœud sinusal, nœud auriculo-ventriculaire, faisceaux de His, réseau de Purkinje.</p> <p>Le myocarde se contracte de la façon suivante :</p> <ul style="list-style-type: none"> - à partir du nœud sinusal, elle atteint le nœud auriculo-ventriculaire où elle est retardée. - L'onde se propage ensuite dans le faisceau de His. - Elle arrive ensuite à l'apex et remonte dans les parois des ventricules grâce au réseau de Purkinje. <p>Les myocytes ventriculaires sont alors excités et se contractent donc ensemble grâce aux jonctions ouvertes.</p> |
| Electrocardiographie | <p>Technique d'exploration qui permet d'enregistrer l'activité électrique du cœur à l'aide d'un électrocardiogramme.</p> <p>L'ECG est typiquement composé de 5 ondes : P, Q, R, S et T qui correspondent aux étapes de propagation de l'onde de dépolarisation dans le cœur.</p> |
| Contrôle nerveux de l'automatisme cardiaque | <p>Fréquence des dépolarisations lentes observées dans les cellules du nœud sinusale qui est à l'origine de la fréquence des contractions du myocarde et donc de la fréquence des battements cardiaques.</p> <p>Il est soumis à un contrôle permanent par le système nerveux autonome qui établit un rythme sinusal de 60 à 80 battements/minutes.</p> |

5) PROPRIETES DE LA CONTRACTION

■ Loi du tout ou rien :

La loi s'applique au myocarde entier car les myocytes sont reliés par des synapses électriques.

■ Période réfractaire absolue :

Elle dure presque aussi longtemps que la contraction. Dans le cadre du myocarde, les contractions téaniques sont impossibles. Cette longue période empêche les longues contractions téaniques qui seraient néfastes au fonctionnement du cœur en mettant fin à l'action rythmique du pompage.

IV. LES MUSCLES LISSES :

1) ANATOMIE MACROSCOPIQUE :

On trouve de l'endomysium (TC lâche) qui contient les vaisseaux sanguins et les neurofibres.

Les fibres musculaires sont généralement disposées en couches denses dans les parois des organes creux.

■ Organisation en musculature :

Dans la musculature (organisation du tissu musculaire dans les organes creux) est faite de 2 couches de myocytes lisses denses, disposées perpendiculairement l'une par rapport à l'autre :

- **Couche longitudinale** : parallèle à l'axe de l'organe
- **Couche circulaire** : perpendiculaire à l'axe de l'organe

L'alternance des contractions-relachements de la musculature appelée **péristaltisme** permet au contenu de la lumière d'être propulsé le long des organes.

■ Innervation :

Les muscles lisses sont innervés par les neurofibres des tissus nerveux autonomes.

SCHEMAS

2) ANATOMIE MICROSCOPIQUE :

| | |
|---------------------|--|
| Organites | - le RS est moins développé que celui des fibres musculaires squelettiques - la MP forme des cavéoles où les concentrations en calcium élevées peuvent être retenues - Pas d'organisation en myofibrilles : pas de striation |
| Myofilaments | - Les myofilaments épais - Les myofilaments fins Ils sont enchevêtrés, il n'y a pas de sarcomère. |

3) MECANISME MOLECULAIRE DE LA CONTRACTION :

4) COMMANDE DE LA CONTRACTION :

| | |
|---------------------------------------|--|
| Muscles lisses multi-unitaires | Localisation : paroi des grosses artères ou des grosses voies respiratoires Les fibres musculaires sont indépendantes et richement innervées. La jonction neuromusculaire : Les neurofibres du système nerveux autonome qui innervent les muscles lisses, présentent des varicosités ou s'accumulent des vésicules pleines de NT. Ces NT diffèrent en fonction des muscles lisses innervés et leur action sur la fibre musculaire lisse peut être activatrice ou inhibitrice en fonction du type de récepteur présente dans le sarcolemme. Couplage excitation-contraction : |
| Muscles lisses unitaires | Ils sont appelés muscles viscéraux et sont les plus nombreux des muscles lisses. Dans ces muscles, les myocytes lisses présentent des synapses électriques permettant leur couplage électrique. Ils se contractent alors de façon synchronisés et c'est leur ensemble de couche musculaire qui répond au stimulus. |

5) CONTRACTION DES MUSCLES LISSES :

Les muscles lisses se contractent de **façon lente et continue** et ils sont **résistants à la fatigue**.

Les fibres lisses ont besoin de peu d'énergie, elles sont donc peu de mitochondries et produisent leur ATP plutôt par voie anaérobie.

Ce type de contraction est essentiel dans l'organisme

Réponse à l'étirement :

C'est la réponse qui permet aux organes creux de se dilater afin d'augmenter leur volume sans que leur contenu soit expulsé.