

L'ATP, molécule indispensable à la vie cellulaire

Le mouvement est l'une des manifestations les plus visibles de la vie cellulaire. D'autres sont moins évidentes (synthèses, transport de molécules,...). Essayons de mettre en évidence quelques-unes de ces activités.

1 Manifestations de la vie cellulaire

1.1 LE MOUVEMENT DE CYCLOSE DANS LA CELLULE VEGETALE:

Nous avons déjà observé le mouvement de [cyclose](#) qui affecte les chloroplastes.

Les mouvements de cyclose sont ralentis lors d'une privation de dioxygène ou lorsque les cellules sont traitées par des inhibiteurs de la respiration cellulaire. Ils sont accélérés par addition d'ATP.

1.2 LA CONTRACTION MUSCULAIRE

Les expériences de myographie chez la grenouille ne pouvant être réalisée en classe, il conviendra d'utiliser un film pour constater que la stimulation électrique (directe ou par l'intermédiaire du nerf sciatique) du muscle gastrocnémien du mollet entraîne sa contraction.

Si l'on traite au préalable le muscle avec un "poison" qui bloque la synthèse d'ATP, la contraction n'a plus lieu.

1.3 LA SYNTHÈSE DE GLYCOGÈNE DANS LES CELLULES HÉPATIQUES

Des observations microscopiques de coupes de foie permettent de mettre en évidence la synthèse de glycogène dans les hépatocytes.



Les hépatocytes sont des cellules au cytoplasme granuleux où les plages claires correspondent notamment à des enclaves glycogéniques ou lipidiques.

Une coloration spéciale confirme la richesse en glycogène du cytoplasme hépatocytaire. Au microscope électronique le glycogène se présente sous forme de particules denses aux électrons, regroupées en rosettes.

La synthèse de glycogène (fonction étudiée en classe de 1ère S), polyoside de formule $(C_6H_{10}O_5)_n$, correspond à une polymérisation de glucose qui consomme de l'énergie fournie sous forme d'ATP.



Relevez le point commun qui affecte les conditions de réalisation de toutes ces activités cellulaires.

2 Les myofibres, des cellules spécialisées:

Les muscles squelettiques sont responsables des mouvements volontaires du squelette ainsi que du maintien de la posture. Ils sont constitués de fibres que l'on qualifie de "striées". Nous allons découvrir pourquoi et notre étude nous permettra de comprendre comment un muscle se raccourcit lors d'une contraction.

2.1 ORGANISATION MICROSCOPIQUE D'UN MUSCLE STRIE

Un muscle squelettique est constitué de plusieurs centaines, voire milliers de fibres (**myofibres**) incluses dans une charpente conjonctive qui assure sa fixation aux os par des tendons. Chaque [myofibre](#) est une

cellule que l'on peut présenter comme mille fois plus longue que large: en effet, leur diamètre varie entre 10 et 100 μm et leur longueur atteint plusieurs cm.

On remarque de très nombreux noyaux à leur périphérie, qui s'expliquent par la réunion de plusieurs cellules (syncytium) au cours de leur développement embryonnaire. Dans le cytoplasme, réduit à une mince frange périphérique, l'espace est occupé par des cylindres: les **myofibrilles**, montrant, transversalement, une organisation particulière.



A partir de préparations microscopiques de muscle strié (en coupe transversale, en vue longitudinale par dilacération) vous rendrez compte, par des dessins d'observation, de cette organisation.

Comprenez-vous pourquoi ces muscles sont dits "striés"? Dans quel sens est disposée cette striation?

2.2 LES DEUX TYPES DE MYOFILAMENTS DU MUSCLE STRIE

Le microscope électronique va nous révéler que chaque myofibrille est formé d'une succession d'unités de contraction: les **sarcomères**, unis à chacune de leur extrémité par une strie: la **strie Z**. Entre deux stries Z on découvre deux types de **myofilaments** de nature protéique:

des myofilaments fins d'**actine** rattachés aux stries Z,

des myofilaments épais de **myosine**.

Leur disposition explique l'alternance de **bandes claires I** (comme isotrope) et de **bandes sombres A** (comme anisotrope), entrecoupées d'une **zone claire H** (comme "hell") que l'on avait pu constater au fort grossissement du microscope optique.



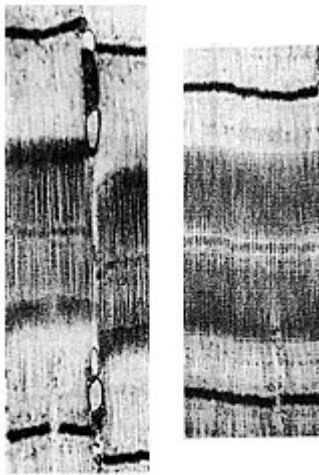
Vous pourrez conduire cette étude ultrastructurale. Vous terminerez cette étude, notamment, en schématisant un sarcomère et en montrant la disposition des myofilaments au niveau de la bande claire et au niveau de la bande sombre.

3 Les interactions moléculaires dans la contraction musculaire

Il existe deux types de contraction musculaire:

la contraction musculaire isométrique (lorsqu'un muscle est tendu) et que sa longueur n'est pas modifiée, seule sa tension peut augmenter dans l'effort,

la contraction isotonique, qui se manifeste par un raccourcissement lorsque le muscle, par un tonus constant, vainc une résistance (un poids par exemple). C'est cette dernière qui sera l'objet de notre étude qui nous permettra de comprendre comment est assuré le raccourcissement du muscle à l'échelle du sarcomère (électronographies) et des molécules d'actine et de myosine.



Repos Contraction
ULTRASTRUCTURE D'UN
SARCOMERE

3.1 LE RACCOURCISSEMENT DU SARCOMERE

On a brutalement congelé des fibres musculaires au repos et d'autres en pleine contraction. Une observation en microscopie électronique de deux sarcomères de fibres dans ces deux conditions physiologiques, placés côte à côte révèle des différences.



Par deux schémas appropriés, vous rendrez compte des modifications ou constances de chacune des zones du sarcomère: stries Z, bande claire I, bande sombre A, zone claire H.

3.2 INTERACTIONS ACTINE-MYOSINE

Les **myofilaments** ont une structure moléculaire particulière.

Un myofilament épais de myosine est un faisceau de molécules de myosine, constituée chacune d'une tige et de deux têtes, faisant saillie autour du filament: elles constituent des sites de liaison possibles avec les myofilaments d'actine voisins. Ces têtes peuvent changer de configuration spatiale.

Un myofilament fin d'actine est essentiellement constitué de molécules d'actine enroulées en deux brins et portant des sites de liaison sur lesquelles peuvent se fixer les têtes de myosine. Deux fines torsades de tropomyosine rigidifient l'ensemble.

3.3 L'ATP, SOURCE D'ENERGIE DE LA CONTRACTION

3.3.1 Nécessité de l'ATP: expérience de SZENT GYORGI

On a prélevé des fibres musculaires vivantes que l'on a placées dans du glycérol: elles gardent ainsi, sous certaines conditions, la possibilité de se contracter.


En adjoignant de l'ATP la tension du muscle augmente. En ajoutant immédiatement du salyrgan, un "poison" qui bloque l'hydrolyse de l'ATP, après l'addition d'ATP, la tension diminue brutalement.



Quelle information apporte cette expérience sur le fonctionnement musculaire?

3.3.2 La mécanique moléculaire

Pour comprendre la mécanique de la contraction musculaire et les relations moléculaires entre l'actine, la myosine et l'ATP, vous pourrez actionner l'animation du *CHU-Pitié- Salpêtrière* ou à défaut les écrans 3 à 6 du portail "*BIOLOGY Active Learner*".



 Par des schémas simplifiés, précisez les différentes étapes de la contraction musculaire et dites pourquoi le renouvellement de l'ATP est indispensable.

3.3.3 La régénération de l'ATP

On peut évaluer la concentration musculaire d'ATP à 4 à 6 mmol.kg⁻¹ de muscle. Un individu de 70 kg possède environ 30 kg de muscle. A 25°C, l'hydrolyse d'une mole d'ATP libère 30,5 kJ.

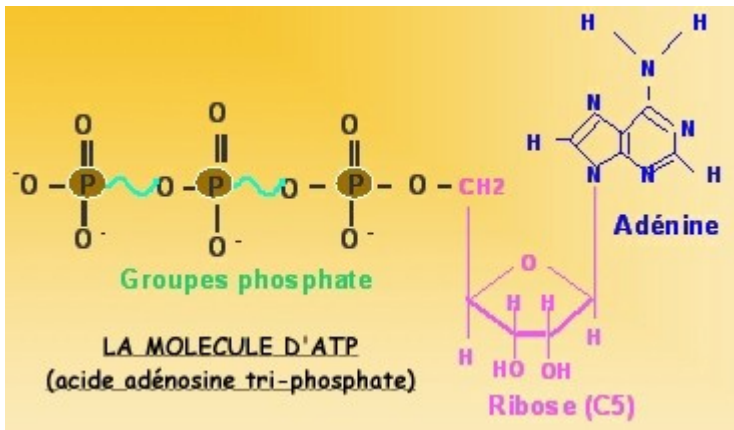
Le tableau ci-dessous indique la dépense énergétique totale de l'organisme, au cours de quelques exercices, estimée pour un individu de 70 kg:

TYPE D'EXERCICE	DEPENSE ENERGETIQUE (en J.m ⁻¹)	PUISSANCE DEPENSEE (en W = J.s ⁻¹)
Marche à 3,6 km.h ⁻¹	160	160
Course à 15 km.h ⁻¹	287	1 190
Course de 100m à 36 km.h ⁻¹	1 300	13 000
Bicyclette à 50 km.h ⁻¹	150	2 090
Patinage de vitesse à 36 km.h ⁻¹	145	1 450
	DEPENSE TOTALE (EN J)	PUISSANCE POUR UNE DUREE DE 70s
Montée d'escalier de 12m (4 étages)	35 000	500

  A l'aide des données fournies, évaluez la quantité d'énergie correspondant au stock d'ATP musculaire chez l'homme.

Mettez en relation les données pour montrer la nécessité d'un renouvellement rapide et permanent de l'ATP musculaire, notamment en calculant l'effort que pourrait fournir un individu avec son seul stock d'ATP.

Quelle quantité d'ATP devrait être stockée quotidiennement pour assurer la dépense énergétique d'un individu (prenons comme exemple un garçon de 18 ans qui consomme 10 000 kJ par jour)?



3.3.4 L'ATP et son cycle:

L'ATP est une molécule de nucléotide d'ARN (adénine + ribose + acide phosphorique) auquel s'ajoutent deux groupements phosphate, rattachés par des liaisons riches en énergie. La rupture de ces liaisons par hydrolyse libère une énergie directement disponible.

Le cycle de l'ATP (hydrolyse et phosphorylation) se fait donc à un rythme extrêmement rapide dans lequel rupture de la liaison phosphate alterne avec régénération de cette liaison.

