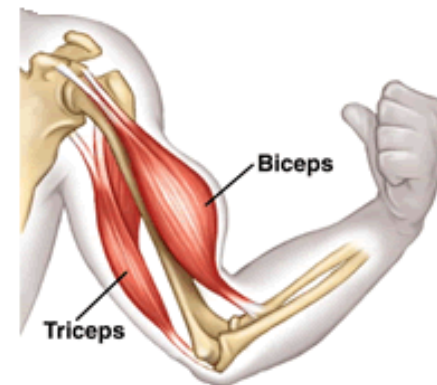




THEME 3B - Contraction musculaire et apport d'énergie

TP1 - Les cellules musculaires et la contraction

Les **mouvements** volontaires et involontaires sont réalisés par les **muscles** qui mobilisent le squelette par l'intermédiaire des **tendons**. Pour réaliser le mouvement, les muscles doivent se **contracter**, ce qui implique un **raccourcissement** du muscle. La contraction implique les protéines constitutives du muscle : l'**actine** et la **myosine** qui interagissent entre-elles, en lien avec des molécules énergétiques comme l'ATP et des ions comme le calcium (Ca^{2+}).



Problème : Comment les protéines musculaires se raccourcissent-elles grâce à une consommation d'énergie ?

Matériel et données :

- Manuel BELIN p424 à 431 et Documents 1 à 4
- Microscope optique et échantillons de muscles (poisson), solution d'ATP, solution de CaCl_2
- PC équipé d'une connexion internet et du logiciel LibMol

Aides et supports :

- Fiche Protocole « La contraction musculaire »
- Fiche technique LibMol
- Documents secours

Propositions d'activités	Capacités / Critères de réussite
<u>ACTIVITE : Etudier la contraction musculaire et ses besoins énergétiques</u> ➤ ETAPE 1 : Proposez une stratégie pour déterminer comment les protéines musculaires permettent le raccourcissement des cellules par une consommation d'énergie et l'utilisation du calcium. ☎ Appelez le professeur pour vérification ➤ ETAPE 2 : Réalisez les manipulations proposées afin d'identifier l'impact de l'ATP et du calcium sur la longueur des cellules musculaires et de comprendre la nature de l'interaction entre actine et myosine. ☎ Appelez le professeur pour vérification ➤ ETAPE 3 : Récapitulez vos résultats sous une forme judicieuse. ➤ ETAPE 4 : Rédigez un texte permettant de répondre à la problématique. En fin de séance, <u>rangez le matériel</u> et <u>nettoyez la paillasse</u>.	Recenser, extraire des informations <i>Quoi ? Comment ? Attendu ?</i> Manipuler (Microscope optique) <i>Maîtriser la lumière (diaphragme, condensateur), maîtrise de la mise au point (utilisation de la vis micrométrique), centrer l'objet à présenter, <u>injecter une solution entre lame et lamelle en même temps que l'observation</u>.</i> Utiliser un logiciel de modélisation (Rastop/LibMol) <i>Ouvrir le fichier, colorer les structures par chaîne, modifier l'aspect (squelette / bâtonnets), identifier l'actine et la myosine, localiser les carbones asymétriques des acides aminés étudiés, déterminer l'angle de déplacement de la myosine.</i> Présenter les résultats à l'écrit <i>Techniquement correct renseigné correctement, organisé pour répondre à la question (annotation, ordre des éléments pour comprendre, mots clés ...).</i> Adopter une démarche explicative <i>On a vu que ... ; Or on sait que ... ; On conclut que ...</i> Gérer et organiser le poste de travail

Fiche protocole « Etudier la contraction musculaire à différentes échelles »

Matériel et protocoles d'utilisation du matériel

Matériel

- Microscope optique
- Lames et lamelles
- Pincettes fines, aiguille montée et ciseaux
- Echantillon de muscle (poisson ou lapin)
- Solution d'ATP 6 g/L (0.3 g / 50 mL)
- Solution de CaCl₂ 5%
- Solution aqueuse de glycérol à 50%

FICHIERS SECOURS :

- Fichier image +ATP/-ATP

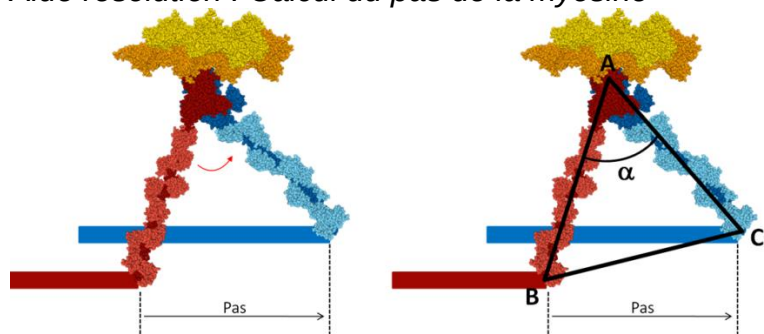
OBSERVATION MICROSCOPIQUE DES CELLULES MUSCULAIRES

1. **Prélevez un fragment de muscle** (1 cm de long maximum)
2. **Dilacérez chaque fragment** et placez-le entre lame et lamelle, dans de l'eau
3. **Observez au microscope optique et mesurez la longueur de chaque fragment**
4. **Injectez la solution d'ATP et mesurez la taille du fragment**
5. Puis, injectez du CaCl₂ et mesurez la taille du fragment
6. **Ranger le matériel** utilisé et **nettoyer** l'espace de travail

Matériel

- PC équipé du [logiciel LibMol](#)
- Fichier **myo5_rigor_pps.pdb**
- Fichier **myo6_rigor_pps.pdb** (facultatif)
- Fiche technique Rastop/LibMol

Aide résolution : Calcul du pas de la myosine



Théorème d'Al-Kashi : $BC^2 = AC^2 + AB^2 - 2 \times AC \times AB \times \cos(\alpha)$

D'où $\text{Pas} = BC = \sqrt{AC^2 + AB^2 - 2 \times AC \times AB \times \cos(\alpha)}$

Formule de sélection : **.CA and (123:A 345:G)**

Sélectionne le carbone asymétrique de l'acide aminé 123 de la chaîne A et 345 de la chaîne G.

MODELISATION DE L'INTERACTION ACTINE-MYOSINE

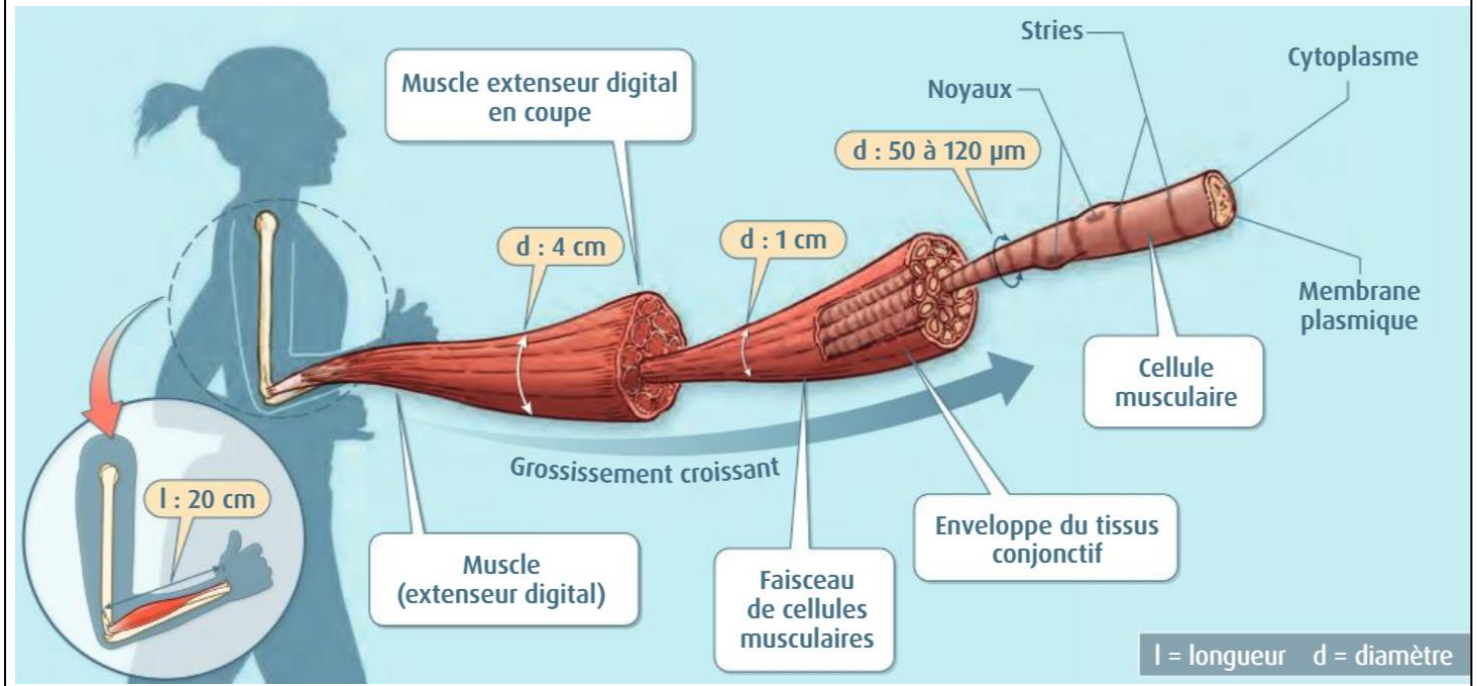
Partie 1 : Identifier les molécules et leur forme

1. Ouvrez le fichier **myo5_rigor_pps.pdb** (myosine avec état relâché et état tendu)
2. Affichez les molécules sous forme de « squelette »
3. Colorez les molécules par chaîne
4. Identifiez les myofilaments d'actine et de myosine

Partie 2 : Déterminer le raccourcissement produit par une myosine

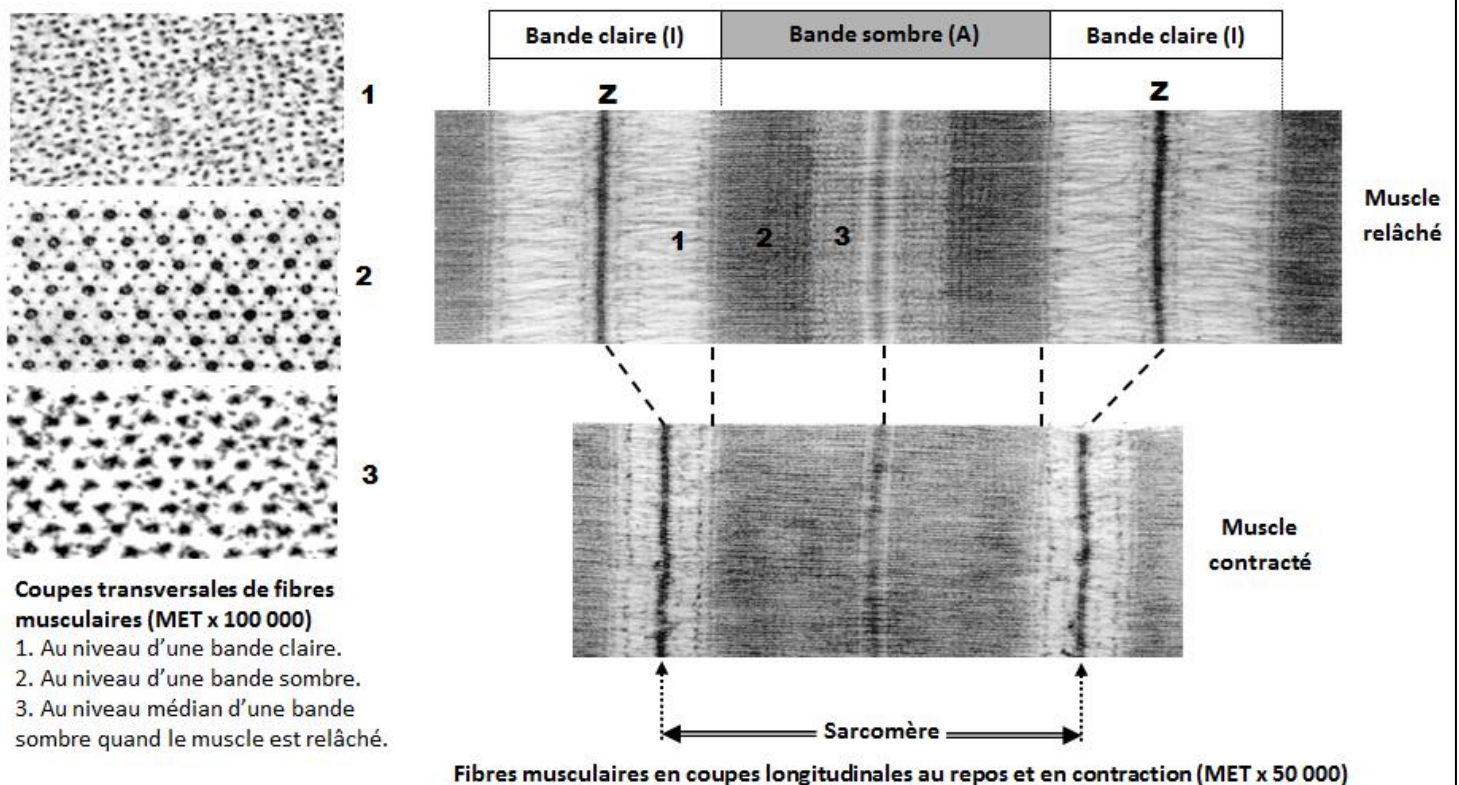
1. Sélectionnez les carbones asymétriques (.CA) des acides aminés suivants :
 - 531 et 909 chaîne A ; 45, chaîne R (chaînes de la myosine avant mouvement)
2. Déterminez la longueur du segment [531-909] et l'angle 45-531-909
3. Sélectionnez les carbones asymétriques (.CA) des acides aminés suivants :
 - 531 et 909 chaîne H ; 45, chaîne N (chaînes de la myosine après mouvement)
4. Déterminez la longueur du segment [531-909] et l'angle 45-531-909.
5. Calculez la valeur du pas de la myosine (voir formule ci-contre).

Document 1 : Les différents niveaux d'organisation du muscle (doc4p425 BELIN)



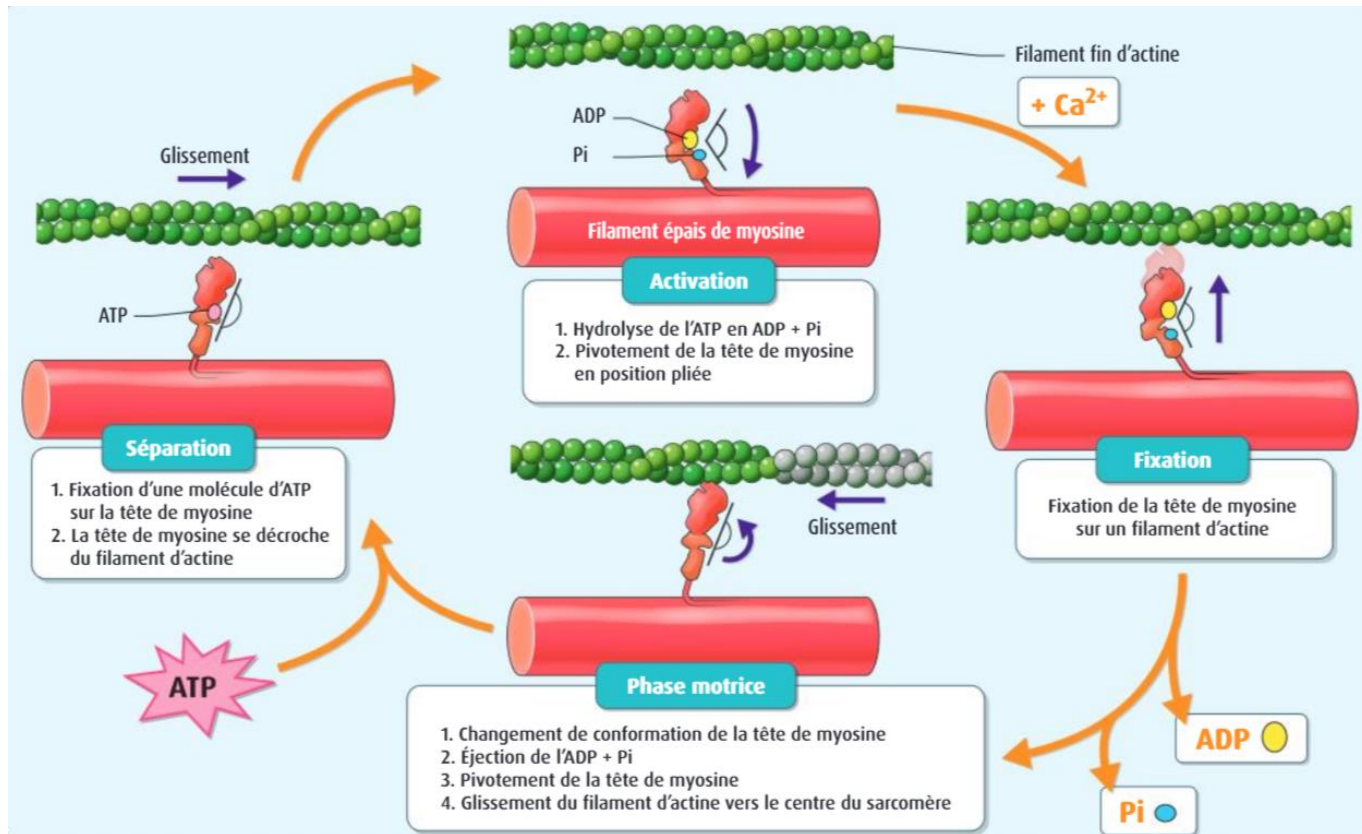
Document 2 : L'organisation des sarcomères

- Les protéines du cytosquelette des cellules musculaires sont appelées **myofibrilles**. Elles sont formées d'une succession de **sarcomères** limités par **deux stries Z**. Ce sont des unités structurales et fonctionnelles qui se raccourcissent toutes de manière comparable. Si la longueur d'un sarcomère passe de $2,5 \mu\text{m}$ à $2 \mu\text{m}$, une myofibrille formée de 20 000 sarcomères se raccourcit de 1 cm.
- Chaque **sarcomère** est formé d'un assemblage **myofilaments** longitudinaux de 2 types :
 - des **myofilaments épais de myosine**, localisés au niveau des bandes sombres,
 - des **myofilaments fins d'actine**, rattachés aux stries Z.



Document 3 : Modélisation de l'interaction actine - myosine (doc 6 p 429)

- La **myosine** est une protéine formée de 2 parties : la **queue** qui est fixée avec de nombreuses autres queues de myosine et forme le myofilament épais et la **tête** qui est capable de se lier à l'actine. La **fixation d'ATP** sur la tête de myosine permet le **détachement de la myosine** pour « ré-armer » la myosine et lui permettre un nouveau cycle. Le **calcium** permet la fixation de la myosine à l'actine, ce qui déclenche le **raccourcissement**.

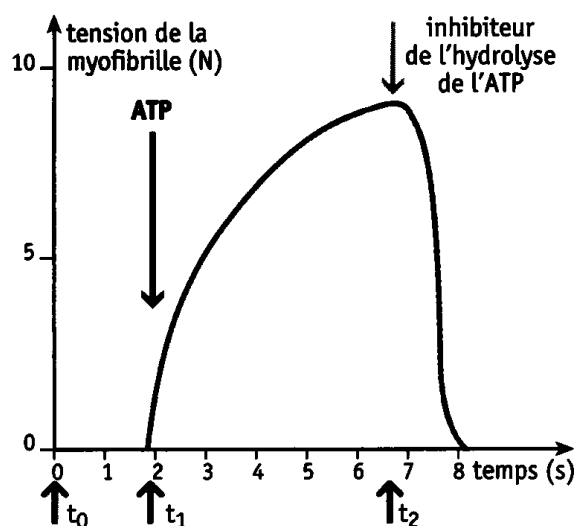


Document 4 : Données expérimentales sur la contraction des cellules musculaires

- Dans un premier temps, on a réalisé des dosages du glycogène et de l'ATP présent dans le muscle d'une grenouille avant et après contraction. Les résultats ont été reportés dans le tableau ci-dessous.
- Ensuite, on a mesuré la tension des myofibrilles (N : Newton) dans diverses conditions et notamment en ajoutant une forte dose d'ATP (t₁) puis en ajoutant un inhibiteur de l'hydrolyse d'ATP, le Salyrgan (t₂).

Remarque : la tension mesurée est proportionnelle à la contraction, des myofibrilles isolées.

		Avant la contraction	Après la contraction
Conditions témoin	glycogène	10,8 g.kg ⁻¹	8 g.kg ⁻¹
	ATP	4 à 6 mmol. kg ⁻¹	4 à 6 mmol. kg ⁻¹
	Le muscle reste contracté pendant toute la durée de la stimulation.		
Après injection d'un inhibiteur de synthèse de l'ATP	glycogène	10,8 g.kg ⁻¹	10,8 g.kg ⁻¹
	ATP	4 à 6 mmol. kg ⁻¹	0
	Arrêt presque immédiat de la contraction musculaire malgré le maintien de la stimulation		



Sources :

- <http://svt.enseigne.ac-lyon.fr/spip/spip.php?article653> (activité LIBMOL)
- <http://svt.enseigne.ac-lyon.fr/spip/spip.php?article649> (activité muscle Psoas Lapin)
- <http://labopathe.free.fr/contraction-musculaire-et-atp.html> (activité Psoas Lapin)
- <https://staps.univ-grenoble-alpes.fr/la-contraction-musculaire-281204.kjsp?RH=1511275100386>
- <http://jean-jacques.auclair.pagesperso-orange.fr/fibre/fibre%20atp.htm>
- <http://svt.discipline.ac-lille.fr/ressources/lycee/specialite/energie-et-cellule-vivante/atp-et-contraction-musculaire> (TP avec CaCl₂ --> Contraction / Inhibiteur + CaCl₂ → pas d'effet)
- https://manuelnumeriquemax.belin.education/svt-terminale/topics/svt-tle-c17-428-a_atp-ca-sup-2-sup-et-contraction-musculaire

VIDEOS :

- <https://www.youtube.com/watch?v=HPcoot65QG4> (contraction en général)
- <https://www.youtube.com/watch?v=e0GnWU-XMB0> (contraction en général)
- <https://www.youtube.com/watch?v=oHdRIwRZRVI> (Vidéo Myosine / Actine)
- <https://www.youtube.com/watch?v=9DQnVisuVFE> (muscle + ATP microscope)
- https://www.youtube.com/watch?v=zq3a_7oSQCs (muscle + CaCl₂ Loupe)
- <https://www.youtube.com/watch?v=8LcJSvNzSBA> (muscle + Cyanure puis CaCl₂ loupe)
- <https://www.youtube.com/watch?v=zgCAJRbUXRs> (muscle + ATP ... + CaCl₂ ?? Lapin Loupe + MO)
A éviter car le muscle se contracte.

État de la myosine	Commande de sélection	Mesures
Pre-powerstroke	.ca and (909:H 531:H 45:N)	angle : 85° ; longueur 26,63 nm
Rigueur	.ca and (909:A 531:A 45:R)	angle : 141,2° ; longueur 28,38 nm