

Première partie : Relation de l'organisme avec le milieu extérieur  
Thème 04 : L'activité du muscle strié squelettique

**Leçon 11 : DIFFERENTS ASPECTS DU FONCTIONNEMENT DU MUSCLE SQUELETTIQUE**

INTRODUCTION

Les muscles squelettiques sont impliqués dans les relations de l'organisme avec le milieu extérieur, soit pour provoquer un mouvement, soit pour maintenir une posture. En effet comprendre la façon dont le muscle intervient dans ces réactions nécessite une analyse des rapports qui existent entre contraction et structure musculaire et la façon dont s'effectue la commande musculaire.

I. ASPECTS MECANIKES DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE

1. Dispositif expérimental (Fig. 1)

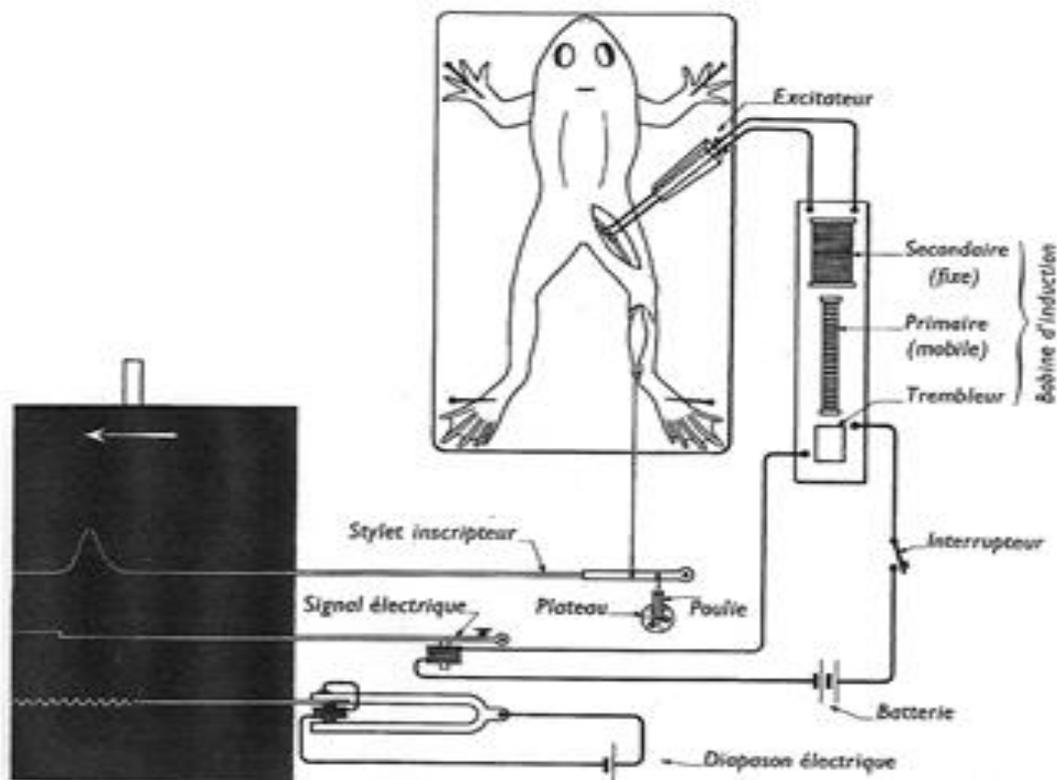


Figure 1 : Dispositif d'enregistrement de la contraction musculaire

➤ **Préparation de l'animal**

Sur une grenouille décérébrée et déméduillée, on dissèque le muscle gastrocnémien (muscle du mollet) et on le relie à un myographe. On dégage ensuite le nerf sciatique de la cuisse et on le relie aux électrodes excitatrices.

➤ **Dispositif d'enregistrement (Fig. 1)**

2. Déroulement de la séance

- a) Recherche du seuil d'excitation (cf. excitabilité du nerf)
- b) Réponse à une excitation unique (Fig. 2)

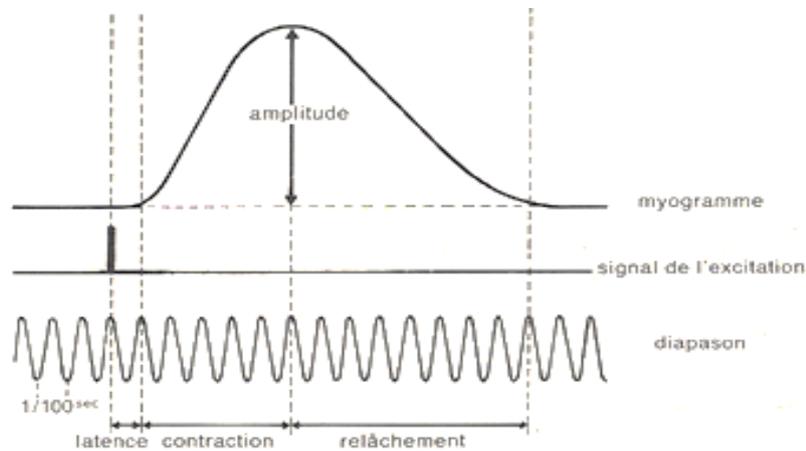
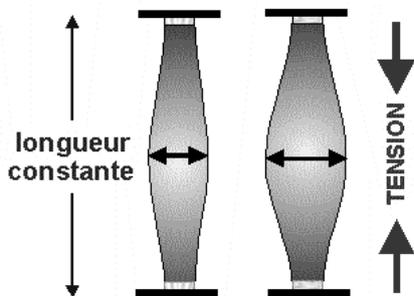


Figure 2 : Secousse musculaire élémentaire

Une excitation efficace provoque une contraction brève et isolée : c'est une secousse musculaire élémentaire que l'on peut décomposer en trois parties :

- ↖ la phase de latence
- ↖ la phase de contraction : au cours de laquelle la longueur du muscle diminue régulièrement (contraction isotonique) ou la tension croît régulièrement (contraction isométrique).
- ↖ la phase de relâchement : pendant laquelle le muscle reprend son état initial

**ISOMÉTRIQUE:**



**ISOTONIQUE:**

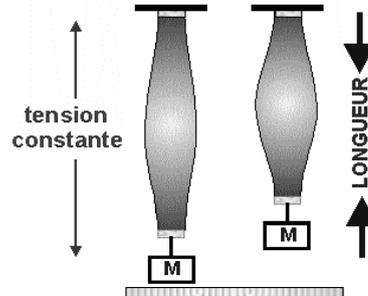


Figure 3 : Types de contraction du muscle

Activité : analyser la **figure 4** et tirer une conclusion

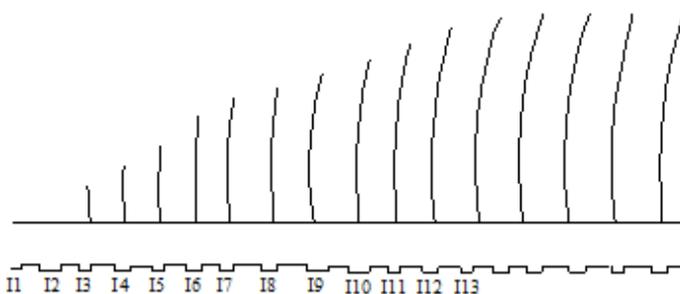


Figure 4 : Variation de l'amplitude de la réponse en fonction de l'intensité de l'excitation

Analyse

Si on augmente progressivement l'intensité de stimulation (**Fig. 4, P1**), on remarque que :

- ⊗ .....
- ⊗ .....
- ⊗ .....

Conclusion : .....

**c) Réponse à plusieurs excitations d'intensité égale**

**On utilise une intensité liminaire et on porte deux stimulations (Fig. 5).**

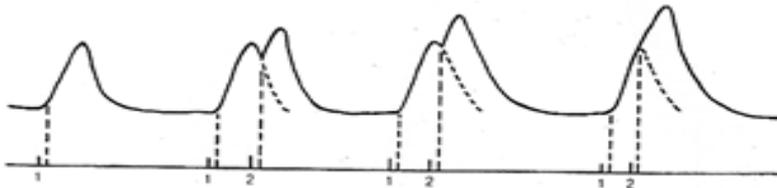


Figure 5 : Myogramme obtenu avec deux excitations d'intensité liminaire

⊗ Si la deuxième stimulation intervient après la phase de décontraction de la première réponse, on obtient ..... : les secousses sont isolées.

⊗ Si la deuxième stimulation intervient au moment du relâchement de la première réponse, on obtient .....

..... : on parle de fusion incomplète, il y a donc un phénomène de sommation.

⊗ Si la deuxième stimulation intervient au moment de la phase de contraction de la première réponse, on obtient..... : on parle de fusion complète, il y a encore un phénomène de sommation.

**On utilise une intensité suffisante pour provoquer une contraction maximale (Fig. 6)**

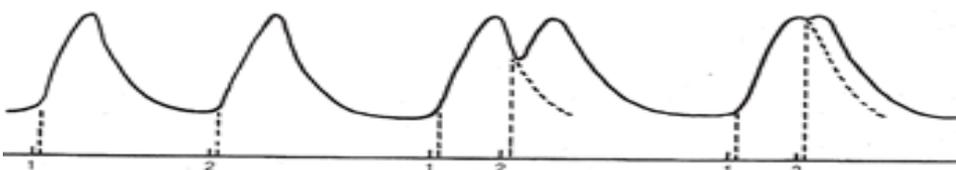
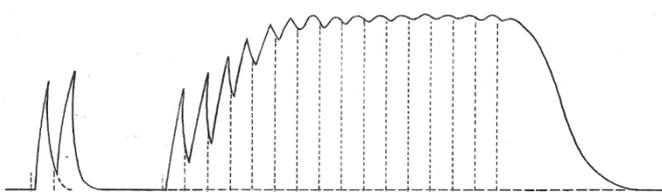
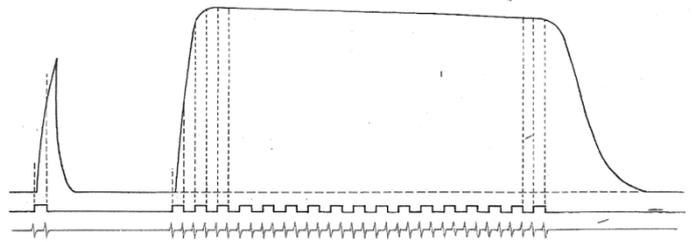


Figure 6 : Myogramme obtenu avec deux excitations en fonction de l'intensité de l'excitation

⊗ Avec deux excitations, on obtient une courbe à amplitude constante qui présente, selon le moment où intervient la deuxième stimulation, soit ....., soit .....

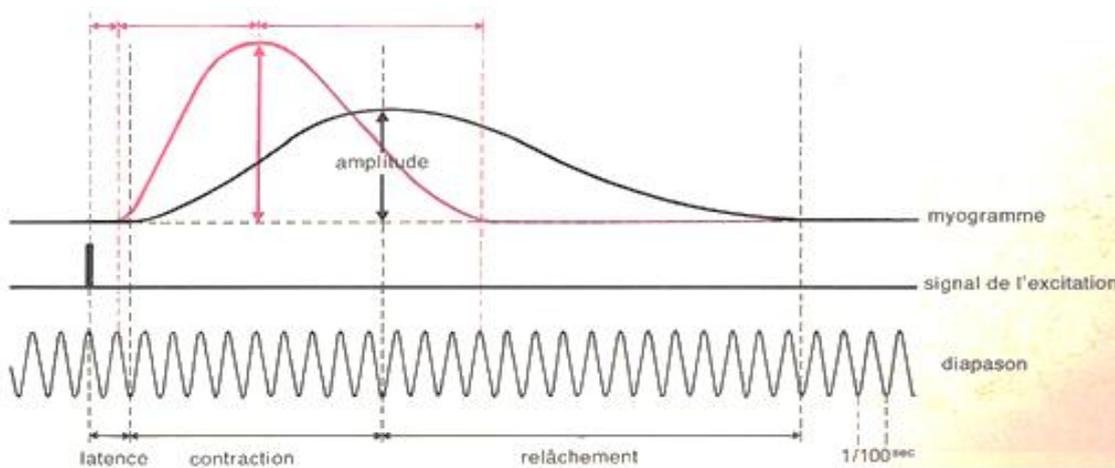
**On utilise une série de stimulations identiques. (Fig. 7 et 8)**





**Figure 8** : Myogramme obtenu avec une fréquence élevée : tétanos parfait

- ⊗ Avec une fréquence faible, on obtient un tracé en c
- ⊗ Avec une fréquence plus élevée, on obtient un plateau rectiligne : c'est un **tétanos parfait**
- ⊗ Avec une fréquence encore plus élevée, on n'obtient aucune réponse. En effet, chaque contraction est suivie d'une période réfractaire pendant laquelle le muscle est inexcitable.
- ⊗ Si on prolonge les stimulations dans le temps, on obtient une fatigue musculaire qui se traduit par un allongement de la durée de la secousse élémentaire et une diminution de l'amplitude, donc de la force développée (**Fig. 9**).



**Figure 9** : Influence de la fatigue musculaire

### 3- Les manifestations de l'activité musculaire

#### a- Observation (Fig. 3)

La contraction musculaire peut se manifester sous deux formes:

- La contraction **isotonique** : quand la longueur du muscle varie et la force développée reste constante. Exemple : au cours de la flexion de l'avant-bras
  - La contraction **isométrique** : quand la longueur du muscle reste constante et la force développée varie. Exemple : lorsque l'on maintient un seau qui se remplit sous le robinet
- En réalité, au cours d'un mouvement, le muscle associe les deux types de contractions.
- Si on fait pendre le bras le long du corps, le biceps et le triceps ne sont pas complètement flasques. Tous deux exercent une légère tension sur l'avant-bras : c'est le tonus musculaire.

#### b- Mise en évidence expérimentale des propriétés du muscle

🍏 Si on tire sur un muscle, il s'allonge et reprend sa longueur initiale dès que la traction cesse :

Conclusion : .....

🍏 Si on pince le muscle, il se contracte :

Conclusion : .....

### Remarques

-Les excitants du muscle sont les mêmes que ceux du nerf.

- Un muscle peut s'allonger d'environ 30% et si l'allongement est supérieur, il se produit une déchirure ou élongation.

#### 4. Mécanisme de la contraction musculaire

##### a) Observation (Fig. 10)

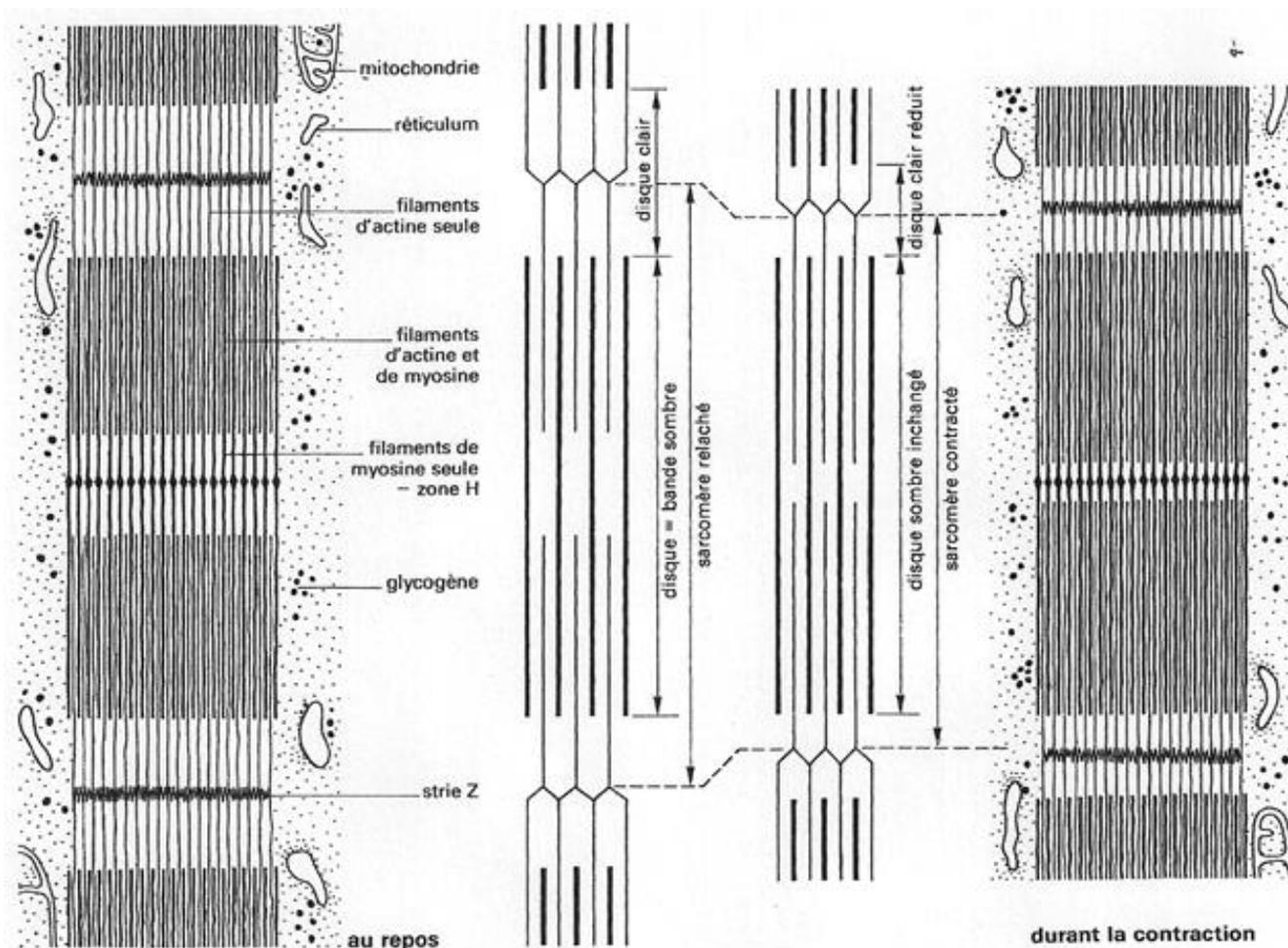
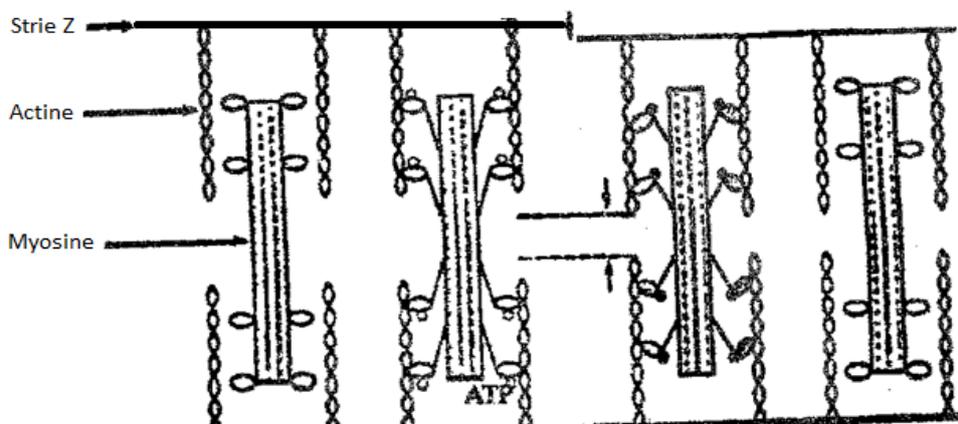


Figure 10 : Interprétation de la contraction musculaire

**ACTIVITE** : comparez les différentes bandes des sarcomères au repos et pendant la contraction

**Interprétation** :

##### b) Le mécanisme du glissement



- Au repos

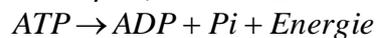
Dans une myofibrille au repos, la tropomyosine cache le site d'attachement actine-myosine.

- L'attachement

L'excitation de la fibre musculaire par l'influx nerveux provoque la libération des ions  $Ca^{2+}$  par le réticulum endoplasmique. Ces ions se fixent sur la troponine qui se déforme en repoussant la tropomyosine : le site d'attachement est libéré. En même temps, les mitochondries produisant des molécules d'ATP, celles-ci se fixent sur les têtes de myosine qui se déforment à leur tour et s'attachent à l'actine.

- Le glissement

La myosine est une enzyme, une  $ATP_{ase}$ . Elle hydrolyse l'ATP selon la réaction suivante :



Le groupement phosphate (Pi) ainsi libéré se fixe sur la tête de myosine qui se déforme une nouvelle fois en pivotant. L'actine, entraîné dans le mouvement glisse le long de la myosine : la sarcomère se raccourcit.

On dit que myosine et actine sont des protéines motrices.

- Le détachement

Le retour à l'état initial nécessite le détachement de l'actine et de la myosine grâce à deux phénomènes simultanés :

- l'absorption active des ions  $Ca^{2+}$  par le réticulum lisse ;
- la fixation d'une nouvelle molécule d'ATP sur la tête de la myosine.

Le retour à l'état initial devient possible : c'est un phénomène passif dû à la contraction des fibres musculaires antagonistes.

## II- ASPECTS ELECTRIQUES DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE

### a- Potentiel de repos musculaire (cf. PR du nerf)

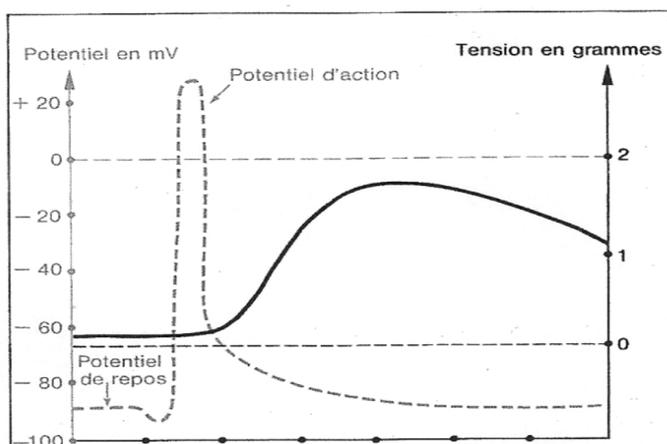
NB : Comme pour la fibre nerveuse, la fibre musculaire est chargée positivement à la surface et négativement à l'intérieur.

### b- Potentiel d'action musculaire

#### - Dispositif expérimental

On réalise une préparation nerf sciatique – muscle gastrocnémien de grenouille et on porte une stimulation efficace sur le nerf grâce à des électrodes excitatrices reliées à un oscilloscope.

#### - Résultats (Fig. 12)



On enregistre le potentiel d'action du muscle intégralement pendant la phase de latence de la réponse mécanique. Les phénomènes électriques (potentiel d'action du muscle ou électromyogramme) précèdent donc les phénomènes mécaniques (myogramme).

-Interprétation

L'influx nerveux né à la suite d'une excitation, franchit la synapse neuromusculaire (plaque motrice) et donne naissance sur le muscle à un potentiel d'action musculaire ou électromyogramme. Ce dernier provoque donc la contraction.

III-ASPECTS THERMIQUES DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE

a- Mesure du dégagement de chaleur d'un muscle en activité

Au niveau du muscle, les variations de température sont faibles et durent peu de temps, on ne peut les enregistrer que par des techniques précises. La chaleur dégagée par le muscle entraînera une différence de température qui est fonction de la quantité de chaleur musculaire et qui sera enregistrée au niveau de l'oscilloscope.

b- Résultats (fig. 13)

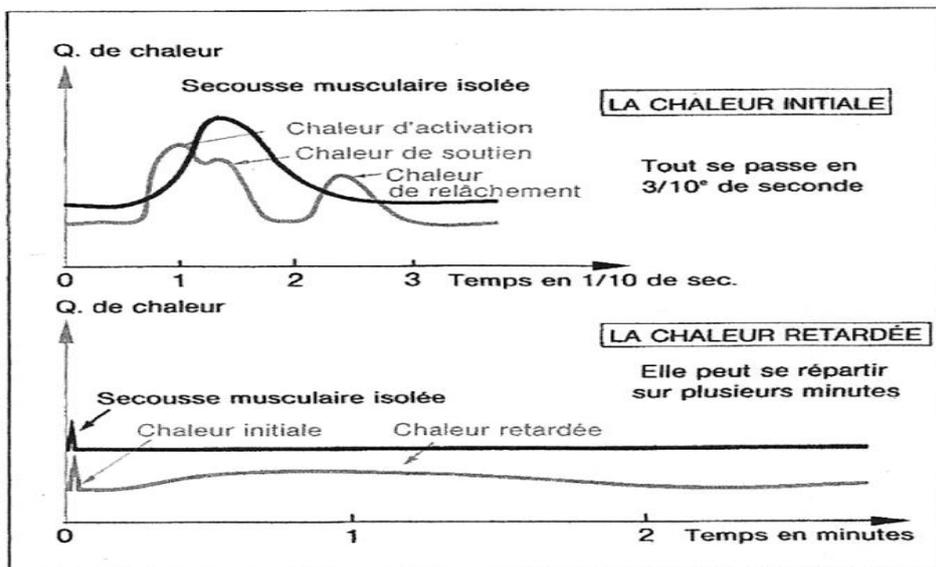


Figure 13 : Les phénomènes thermiques de la contraction musculaire

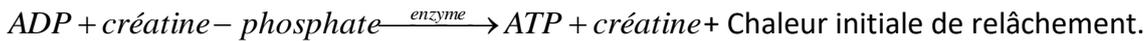
La production de chaleur par le muscle se répartit en :

- une chaleur initiale (Ci) dégagée pendant la secousse musculaire, elle se divise en chaleur de contraction, chaleur de maintien et chaleur de relâchement ;
- une chaleur retardée (Cr) dégagée lentement après contraction, elle est difficile à enregistrer parce que d'intensité très faible.

c-Origines des chaleurs musculaires

- La chaleur initiale de contraction provient de l'hydrolyse de l'ATP au moment de la contraction

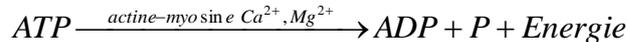
- La chaleur de relâchement est issue de la réaction de synthèse de l'ATP à partir de la créatine Phosphate :



- La chaleur retardée a pour origine, les réactions de resynthèse d'ATP lors de la respiration.

#### IV-ASPECTS CHIMIQUES ET ENERGETIQUES DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE

Le potentiel d'action déclenche des réactions chimiques libératrices d'énergie. Le muscle transforme cette énergie en partie sous forme de travail mécanique et l'autre partie en chaleur.



Ce sont les métabolites (glucose, acides gras, etc.) qui par oxydation fournissent l'énergie musculaire, mais cette énergie n'est pas directement disponible. Ainsi, le muscle utilise tout d'abord les **composés phosphatés** riches en énergie (ATP, phosphagène = phosphocréatine).

L'hydrolyse de l'ATP (**réaction anaérobie**), catalysée par le complexe actine-myosine en présence d'ions  $Mg^{2+}$  et  $Ca^{2+}$ , produit de l'énergie, mais l'ATP doit être régénérée. Pour cela, il existe plusieurs voies métaboliques.

#### **1. Les voies directes de régénération de l'ATP musculaire :**

Le renouvellement des molécules d'ATP dégradées au cours de l'activité musculaire se fait directement par deux voies métaboliques.

##### **1.1) La voie de la créatine-phosphate (CrP)**

La première implique la créatine-phosphate (CrP) présente dans le sarcoplasme, et se déroule ainsi qu'il suit :



La réaction (1) entre la créatine-phosphate et une molécule d'adénosine di-phosphate (ADP) forme ainsi une molécule d'ATP et de la créatine.

##### **1.2) La voie des molécules d'ADP (adénosine di-phosphate)**

La deuxième consiste à la réaction de deux molécules d'ADP, et se déroule comme suit :



Cette réaction (2) permet de former une molécule d'ATP et une molécule d'adénosine mono-phosphate (AMP).

**Synthèse** : Les molécules d'ATP hydrolysées au cours de l'activité musculaire sont ainsi régénérées directement par la réaction entre la CrP et l'ADP, ou alors par celle entre deux molécules d'ADP.

#### **2. Les voies indirectes de régénération de l'ATP musculaire :**

Les voies directes ci-dessus décrites sont des réactions anaboliques (de synthèse), c'est-à-dire endothermiques ou consommatrices d'énergie. Cette dernière provient des diverses réactions qui se déroulent au cours de la dégradation du glucose. Il s'agit successivement de:

##### **2.1) La glycolyse ou la voie anaérobie alactique :**

Elle consiste à la dégradation d'une molécule de glucose dans le sarcoplasme et en absence de dioxygène. On obtient la formation de deux molécules d'acide pyruvique et la libération d'une énergie potentielle chimique que nous notons  $EPC_1$ .

On a alors :



Cette EPC<sub>1</sub> va ainsi permettre la régénération de deux molécules d'ATP, à travers la créatine phosphate (CrP).

## **2.2) La fermentation lactique ou la voie anaérobie lactique :**

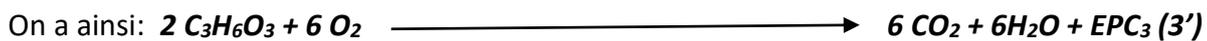
Elle a lieu au cours de l'activité musculaire, à la faveur de la baisse de l'approvisionnement du muscle en dioxygène O<sub>2</sub>. Elle consiste à la dégradation des différentes molécules d'acide pyruvique, en absence de O<sub>2</sub>, dans le sarcoplasme. On obtient la formation d'acide lactique et la libération d'une énergie potentielle chimique que nous notons EPC<sub>2</sub>.



Cette EPC<sub>2</sub> va ainsi servir à la régénération de quatre molécules d'ATP, à travers la CrP, (à partir d'une molécule de glucose)

## **2.3) La respiration ou la voie aérobie :**

Elle consiste à la dégradation totale des acides pyruviques dans la mitochondrie, en présence de dioxygène. On obtient la formation du dioxyde de carbone et de la vapeur d'eau, ainsi que la libération d'une énergie potentielle chimique que nous notons EPC<sub>3</sub>.



Cette EPC<sub>3</sub> va ainsi servir à la régénération de trente quatre (34) molécules d'ATP, à travers la CrP.

## **CONCLUSION**

Les contractions musculaires sont la base des mouvements. Elles nécessitent un apport énergétique dû aux phénomènes électriques et s'accompagnent d'un dégagement de chaleur.