

Compte rendu de TP : Étude de la contraction musculaire

I. Objectif du TP

L'objectif de ce TP est d'étudier les propriétés du muscle squelettique et la relation entre le **stimulus électrique appliqué** et la **réponse mécanique observée**.

Les expériences ont permis d'analyser :

- la relation entre l'intensité du stimulus et la force musculaire produite,
- l'effet de la durée de l'impulsion,
- l'influence de la fréquence de stimulation (sommation et téтанos),
- la fatigue musculaire et son évolution dans le temps,
- ainsi que l'effet de la perception visuelle sur le maintien de la contraction volontaire.

Toutes les mesures ont été réalisées sur un même sujet (comparaison **intra-individuelle**).

II. Matériel et méthode

Les mesures ont été effectuées à l'aide :

- d'une électrode placée au niveau du **poignet**,
- d'un capteur de force fixé à l'extrémité du **majeur**,
- et d'un générateur de stimuli électriques contrôlant l'intensité, la durée et la fréquence des impulsions.

Le protocole expérimental s'est déroulé en plusieurs étapes :

1. Étude de la relation **intensité du stimulus / force produite** (0 à 20 mA).
2. Étude de la relation **durée du stimulus / réponse musculaire**.
3. Influence de l'**intervalle entre deux impulsions successives**.
4. Effet du **nombre d'impulsions consécutives** à 50 ms d'intervalle.
5. Étude de la **fatigabilité musculaire** et du **contrôle volontaire de la force** à l'aide d'un dynamomètre.

III. Résultats et observations

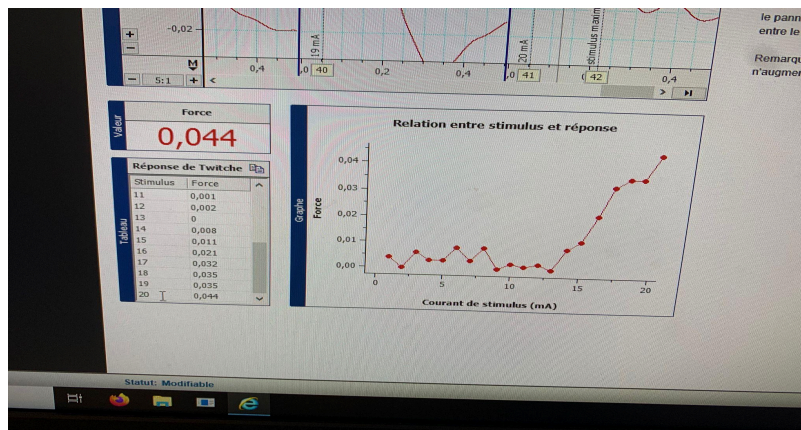
1. Relation entre l'intensité du stimulus et la force produite

Le tracé obtenu montre une réponse très faible et variable pour des intensités de 0 à environ **14 mA**.

La **première contraction visible** apparaît à **8 mA**, traduisant le **seuil d'excitabilité musculaire**.

Au-delà de 14 mA, la force de contraction **augmente progressivement** de manière plus régulière jusqu'à 20 mA.

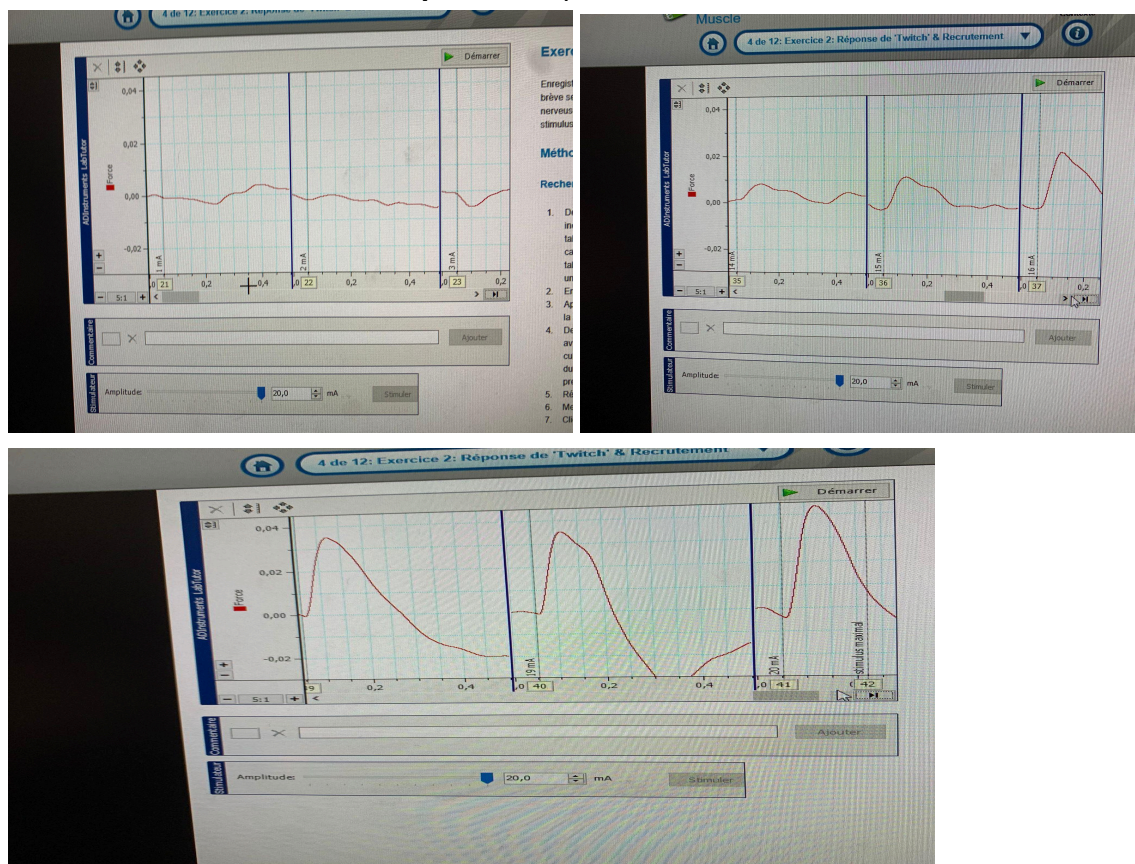
Cette évolution s'explique par le **recrutement progressif des unités motrices** : à faible intensité, seules quelques fibres sont activées ; à mesure que l'intensité augmente, un plus grand nombre de fibres musculaires participent à la contraction.



2. Influence de la durée du stimulus

Un second enregistrement a été réalisé avec une durée de stimulus fixée à **0,5 ms** et des intensités croissantes de **1 à 20 mA**.

La première réponse musculaire n'apparaît qu'à **15 mA**, indiquant qu'une **impulsion plus brève nécessite une intensité plus forte** pour atteindre le seuil d'excitation.



Le tracé reste comparable à celui de la première expérience, avec une augmentation progressive de la force après le seuil, traduisant une **relation directe entre l'énergie du stimulus et la réponse musculaire**.

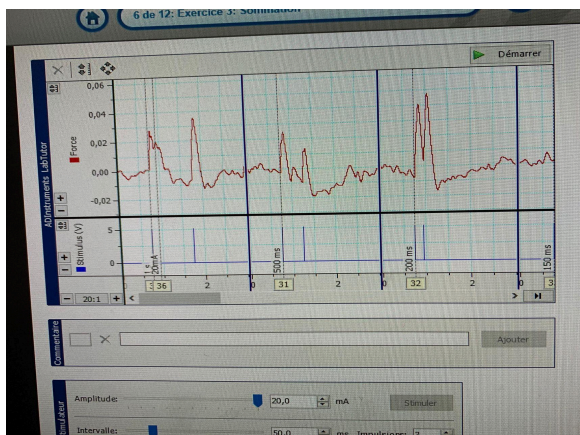
3. Effet de l'intervalle entre deux impulsions

Des stimulations doubles ont été appliquées avec des intervalles de **1000 ms, 500 ms, 200 ms, 150 ms, 100 ms et 50 ms**, pour une intensité constante de **20 mA**.

Les résultats montrent que :

- lorsque l'intervalle est long (**1000 à 200 ms**), les deux réponses sont bien distinctes et de force comparable ;
- à mesure que l'intervalle diminue (**150 à 100 ms**), la **deuxième réponse s'atténue**, la première n'ayant pas encore totalement disparu (période réfractaire partielle) ;
- à **50 ms**, la **première réponse devient non détectable**, tandis que la deuxième reste très variable et irrégulière.

Cette observation illustre le **phénomène de sommation temporelle** et les **limites de la réponse musculaire à haute fréquence** : le muscle n'a plus le temps de se relâcher entre deux stimulations successives.



Sommation		
Intervalle du stimulus (ms)	Force (première réponse)	Force (deuxième réponse)
1000	0,027	0,035
500	0,024	0,013
200	0,04	0,047
150	0,027	0,046
100	0,017	0,019
50	non détectable	0,028

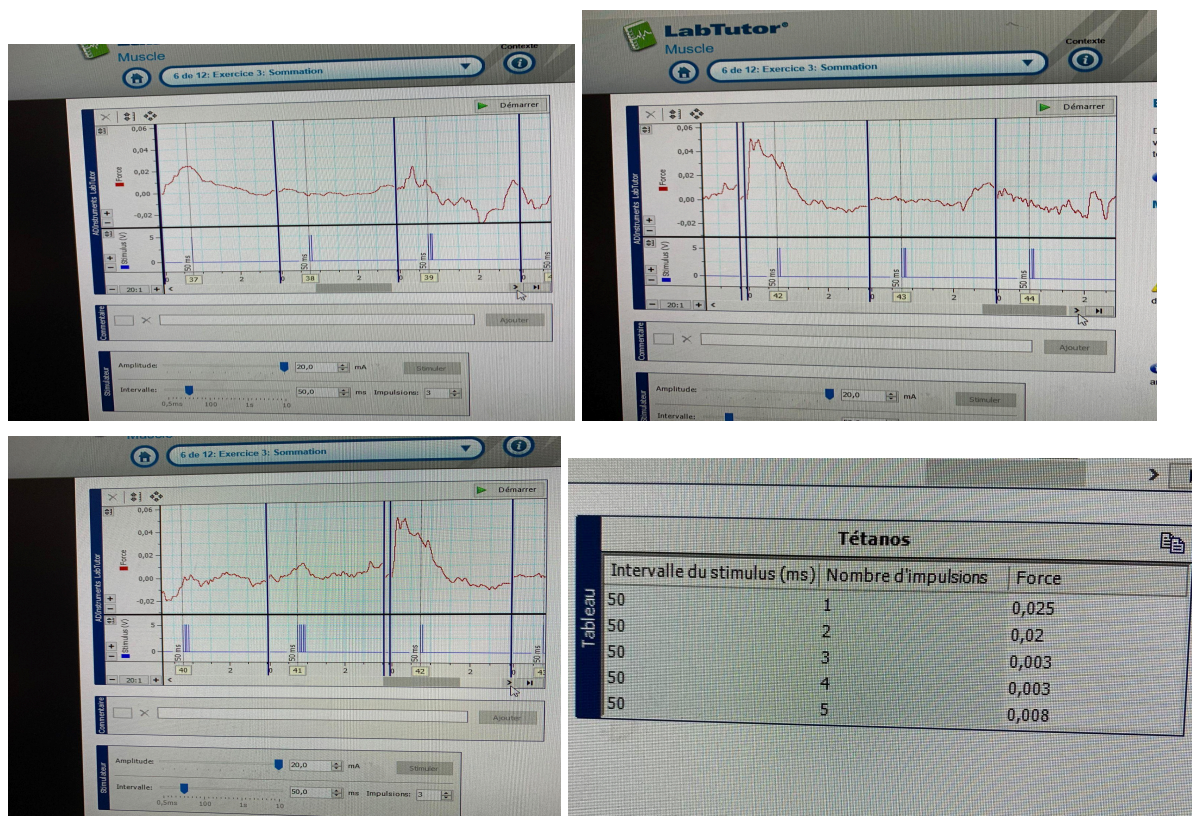
4. Effet du nombre d'impulsions successives (fréquence de 50 ms)

Pour approfondir, des séries de **1 à 5 impulsions consécutives** espacées de 50 ms ont été appliquées.

On observe que **la force totale augmente avec le nombre d'impulsions**, traduisant un **effet de sommation**.

Plusieurs réponses rapprochées entraînent une fusion partielle des contractions individuelles, pouvant aller jusqu'à une contraction quasi continue lorsque les impulsions sont nombreuses.

Ce phénomène correspond à la **tétanisation musculaire**, résultat de la stimulation répétée des mêmes fibres avant leur relâchement complet.



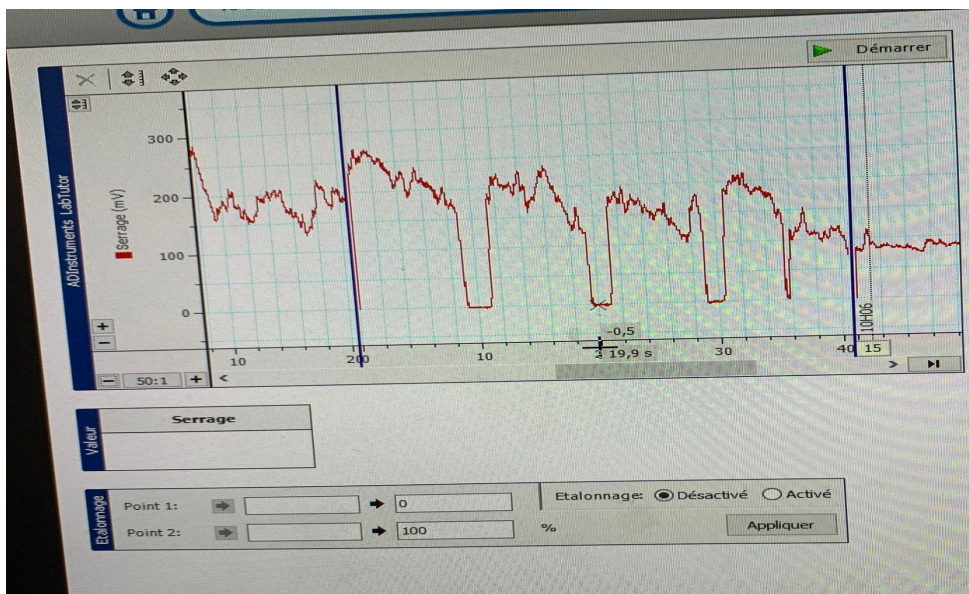
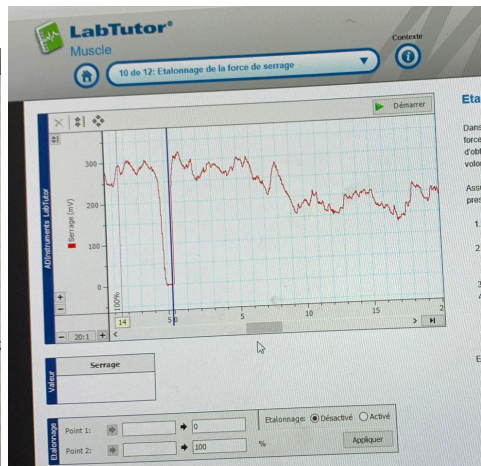
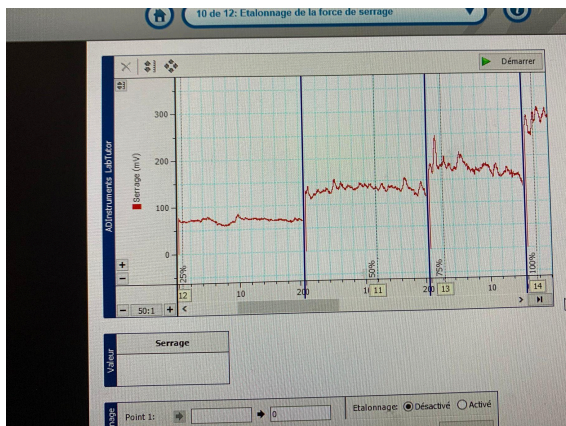
5. Étude de la fatigabilité musculaire

Un test de **contraction volontaire** a ensuite été réalisé à l'aide d'un **dynamomètre**.

Le sujet devait maintenir une force correspondant successivement à **25 %, 50 %, 75 % et 100 %** de sa contraction maximale pendant **20 secondes** chacune.

Lors du maintien à 100 %, on observe une **diminution progressive de la force**, traduisant la **fatigue musculaire** liée à l'accumulation de métabolites et à l'épuisement énergétique.

Lorsque le même protocole est répété par intervalles, avec **courtes périodes de repos**, on note que la force **diminue à chaque reprise**, signe d'une **fatigue cumulative** malgré les pauses.



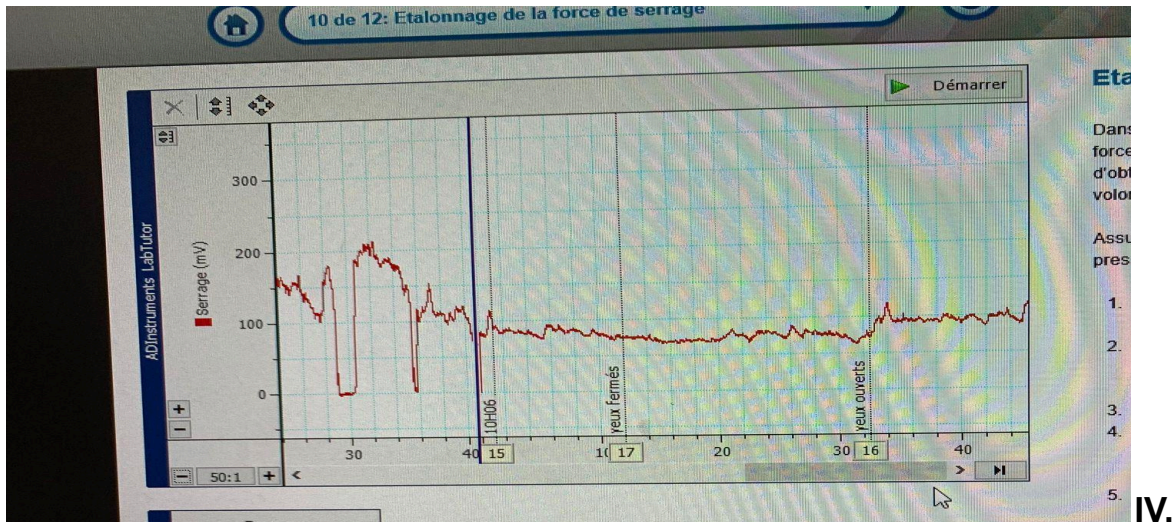
6. Influence de la perception visuelle sur la force volontaire

Enfin, le sujet a été invité à maintenir une contraction à **50 % de la force maximale** successivement :

- **yeux ouverts,**
- **yeux fermés,**
- puis à nouveau **yeux ouverts.**

Les résultats montrent une **légère diminution de la force lorsque les yeux sont fermés,** puis une **augmentation à la réouverture des yeux.**

Cela suggère que la **rétroaction visuelle** aide à mieux contrôler et stabiliser la force musculaire, tandis que son absence entraîne une **sous-estimation de l'effort fourni.**



Conclusion

Ce TP a permis d'observer les principaux mécanismes de la contraction musculaire :

- la **relation entre le stimulus et la force**,
- le **seuil d'excitation**,
- la **sommation des réponses** lors de stimulations rapprochées,
- la **fatigue musculaire** au cours d'efforts prolongés,
- et le **rôle du contrôle sensoriel visuel** dans la régulation de la contraction volontaire.

Les comparaisons intra-individuelles ont mis en évidence la cohérence des phénomènes physiologiques observés chez un même sujet et leur dépendance à la fréquence et à la durée du stimulus, ainsi qu'à la motivation et la perception sensorielle.

LabTutor® Muscle

12 de 12: Compte rendu

Courant de stimulus (mA)

- Avez-vous obtenu une contraction mesurable avec un stimulus de 0 mA? Qu'est-ce que cela peut vous suggérer à propos du nombre de fibres musculaires se contractant à ce courant de stimulus?
A 0 mA, il n'y a pas de contraction enregistrée car n'ayant pas de stimulus, les fibres musculaires ne se contractent pas.
- Quel a été le plus faible courant nécessaire pour déclencher une contraction (le courant de seuil)? Selon vous, quel pourcentage de fibres dans le muscle s'est contracté pour produire cette faible réponse?
Le courant le plus faible nécessaire pour déclencher une contraction est de 0,044 avec une force de 0,008. Le stimulus maximal est de 20mA avec une force de 0,044. $0,008/0,044 = 0,18$ soit 18% de la force musculaire.
- Quel a été le plus faible courant nécessaire pour déclencher une contraction maximale (la plus forte)? Selon vous, quel pourcentage de fibres dans le muscle s'est contracté pour produire cette réponse maximale?
Le courant ayant déclenché une force maximale est de 0,044 à 0,049 de 20mA. On suppose que 100% des fibres musculaires se sont contractées pour produire cette réponse.
- Que concluez-vous sur ce qui est arrivé au nombre de fibres se contractant au fur et à mesure que le courant augmente de sa valeur seuil à la valeur requise pour déclencher une contraction maximale?
On peut conclure que plus le courant augmente et plus le nombre de fibres se contractent augmente. Le nombre de fibres est proportionnel au courant.
- Pourquoi la variation de la force du stimulus affecte-t-elle la force de contraction?
Comme dit ci-dessus, plus le courant augmente plus le nombre de fibres se contractent et donc plus la force de contraction varie. De même, la force de contraction étant proportionnelle au nombre de fibres, la même proportionnel au courant.

Exercices 3 & 4: Sommation et tétanos

Statut: Modifiable

12 de 12: Compte rendu

ADInstruments LabTutor

Serrage (mV)

300

200

100

0

30 40 15 17 20 30 16 40

yeux fermés

yeux ouverts

50:1

Questions:

La fatigue n'est pas bien encore comprise. Certains facteurs sont proposés pour expliquer la diminution de la force pendant la fatigue: changements dans le 'processus de l'effort', perte de la 'conducte centrale', 'échec' de la propagation neuromusculaire, baisse du calcium libéré dans le couplage excitation-contraction, changements métaboliques dans le muscle et diminution du flux sanguin dans le muscle due à la compression des vaisseaux sanguins.

- Est-ce que les expériences réalisées vous ont aidé à déterminer quels facteurs étaient importants?
Ces facteurs étant importants sont la diminution du calcium libéré mais aussi un échec de la propagation neuromusculaire car les fibres musculaires se contractent de proche en proche, après un relâchement musculaire, le relâchement sera différent.
- Presque tous les volontaires vont montrer une diminution de leur force très proche de la fatigue (pseudo fatigue) quand ils ferment les yeux. Toutefois, il ne s'agit pas d'une véritable fatigue, car la pleine force de 50% peut être obtenue facilement, comme on peut le constater quand le volontaire rouvre les yeux. Quelles explications pouvez-vous donner pour la pseudo fatigue?
Nous pensons que pseudo fatigue est issue du fait que le participant ne voit plus la machine et ne se fait pas à la machine. Sans voir la courbe, il se rend moins compte de la force qu'il exerce.

Statut: Modifiable

50	3	0,003
50	4	0,003
50	5	0,008

6. L'intervalle du stimulus a un effet important sur la force de contraction du muscle. Expliquez ce qui s'est passé quand le muscle a été stimulé à un rythme rapide? Quel a été le temps minimum requis pour que les contractions du muscle du volontaire s'additionnent (sommation)?

Lorsque le muscle est stimulé à un rythme rapide, les deux stimulations s'additionnent. Le temps minimum requis pour que les contractions se somment est de 50ms.

Réponse

7. Vous devez utiliser des stimuli électriques de courte période pour voir les fibres musculaires se contracter de façon continue (tétanos). Certains agents chimiques peuvent déclencher le tétanos en interférant avec les neurones moteurs. Ces agents comportent une toxine produite par la bactérie du sol *Clostridium tétanie*. L'un des symptômes de ces agents est connu comme "paralysie spastique". Expliquez pourquoi ces agents seraient nocifs pour vous et pour vos muscles?

Si ces agents sont nocifs pour nous et nos muscles c'est parce qu'ils font une contraction continue des muscles empêchant la décontraction. Cela peut engendrer des douleurs physiques et psychologiques et peuvent entraîner un décès dans le cas où les muscles cardiaques sont touchés, causant un arrêt cardiaque.

Réponse

Exercice 5: Fatigue musculaire

