

Traumatologie des Lanceurs en Athlétisme

Dr Louis PALLURE

Praticien hospitalier

Spécialiste MPR - médecin de médecine et traumatologie du sport et de médecine manuelle-ostéopathie - Pr de sport et musculation DE.

J'ai mis toute ma passion et une bonne part de mes connaissances et de mon expérience de médecin de terrain dans l'écriture de cet ouvrage dont le coeur est consacré à la Traumatologie des Lanceurs en Athlétisme que j'ai fait précédé par des rappels de physiologie de l'effort et de bien d'autres, qui sont à lire attentivement si l'on veut comprendre d'abord et ensuite prendre en charge les différentes pathologies des Lanceurs.

Il est dédié à tous les Lanceurs et Lanceuses des équipes de France cadets, juniors, espoirs et élite dont j'ai eu le privilège de m'occuper, à leurs coaches et tout spécialement à Jacques Pelgas, un immense entraîneur de Lanceurs et un homme merveilleux, mais aussi à tous ceux de niveau national, régional et départemental, aux athlètes et dirigeants de mon club : Athlé 66, à ceux du comité départemental d'Athlétisme des Pyrénées Orientales et de la Ligue Occitanie, à la Fédération Française d'Athlétisme, sa direction technique, ses CTR, à toute la grande famille de l'Athlétisme et à tous ceux qui s'intéressent à l'Athlé et aux Lanceurs. Dr L



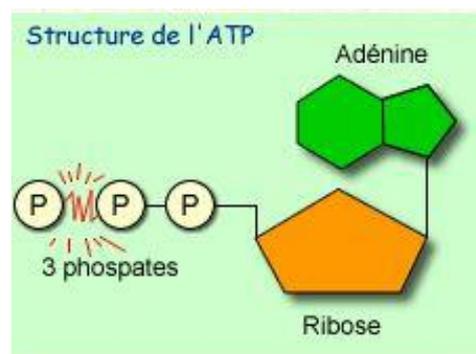
II - P H Y S I O L O G I E D E L ' E X E R C I C E M U S C U L A I R E

A- Les ressources métaboliques

L'exécution du geste dans les lancers de poids, disque et marteau étant inférieure à 3 secondes, il correspond à un exercice d'intensité maximale et de durée brève, de type anaérobie alactique (voie du phosphagène) et il en est de même pour le javelot malgré une course d'élan plus longue. Dans la mesure où en compétition chaque essai est entrecoupé de plusieurs minutes de repos, on peut conclure que les ressources (stock) en phosphagène se reconstituent entre les essais et ne seront donc pas un facteur limitant de la performance dans les 4 disciplines.

1- L'ATP

En biologie cellulaire, l'ATP (adénosine tri-phosphate) a une importance fondamentale dans le domaine des échanges d'énergie. C'est une molécule chimique riche en énergie qui en se combinant aux 2 protéines contractiles musculaires d'Actine et de Myosine va libérer de l'énergie. Il intervient pour transporter l'énergie à l'intérieur de chaque cellule humaine depuis la graisse ou le sucre apporté par la circulation dans les cellules jusqu'à l'usine qu'est la mitochondrie où vont se produire les réactions chimiques successives nécessaires à la contraction musculaire. La réserve d'énergie sous forme d'ATP dont dispose l'organisme pour accomplir un travail musculaire est faible et ne permet qu'un exercice physique de quelques secondes. Seul le renouvellement constant des molécules d'ATP va permettre à la contraction musculaire de se poursuivre et de créer la force nécessaire pour bouger ou résister à une charge.



2- L'Oxygène (O₂)

L'oxygène est une molécule chimique déterminante dans l'activité musculaire. Sa présence ou son absence dans la cellule musculaire au moment de l'activité physique va conditionner le déroulement de la réaction chimique productrice d'énergie :

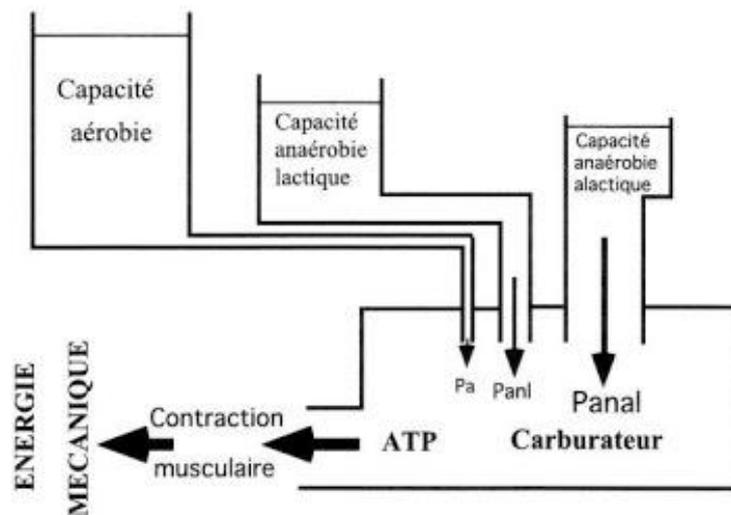
- en présence d'O₂ (en aérobiose), le bilan énergétique provenant de la dégradation d'une molécule gramme de glucose (soit 180 grammes), carburant de toute cellule animale ou végétale et mis en réserve dans le foie et les muscles chez l'homme est de 39 ATP, soit 400 000 calories.

- en l'absence d'O₂ (en anaérobiose) le bilan énergétique provenant de la dégradation d'une molécule gramme de glucose est de 2 ATP.

En anaérobiose la cellule musculaire a donc besoin de 19 fois plus de glucose pour produire la même quantité d'énergie et le même travail musculaire (le rendement en anaérobiose est 19 fois inférieur).

Cet oxygène prélevé au niveau atmosphérique est acheminé jusqu'au muscle par une chaîne dite "de transport de l'oxygène"; le renouvellement de l'ATP au sein de la cellule musculaire va dépendre de la présence ou non de cet oxygène.

3- Les 3 filières énergétiques de renouvellement de l'ATP



Trois filières vont intervenir dans le renouvellement des molécules d'ATP :

- la 1ère filière est la filière aérobie qui ne produit pas ou peu de déchets.
- les 2 autres sont des filières anaérobies dont l'une produit de l'acidose.

a- La filière aérobie

La filière aérobie correspond au processus de régénération de l'ATP à partir de la dégradation complète des glucides (cycle de Krebs), des lipides (bêta oxydation des acides gras) et même des acides aminés pour les performances de longue durée > 3 heures.

Cette filière O₂ qui utilise majoritairement comme carburant les sucres et les graisses : glycogène musculaire et acides gras circulants, est inépuisable quand elle utilise comme carburant les graisses. Elle permet une production constante et élevée d'ATP.

Dans un effort de longue durée, cette filière permet la reconstitution du stock d'ATP sous forme de phosphagène très vite épuisé et l'élimination de l'acidose lactique, considérée longtemps comme un déchet d'une des 2 filières anaérobies, mais plus maintenant. Ce dernier mécanisme d'élimination de l'acidose lactique est encore appelé "paiement de la dette d'oxygène". Championne toute catégorie de la production d'énergie, cette filière aérobie a un inconvénient, c'est sa grande inertie, son débit maximal n'étant obtenu qu'après plusieurs minutes d'effort.

b- La filière du phosphagène ou filière ATP-PC anaérobie alactique

C'est la 1ère filière anaérobie conduisant au renouvellement de l'ATP ou filière du phosphagène. Elle représente l'ensemble des réserves d'ATP et de créatine phosphate (PC) présentes au niveau des muscles.

C'est une source d'énergie précieuse intervenant dans les efforts brefs et de grande intensité de quelques secondes en puissance, avec pic de puissance à 6 secondes; qualité naturelle peu améliorable et correspondant au débit du robinet, et jusqu'à 20-25 secondes en capacité, qualité acquise grâce à un entraînement spécifique dit de capacité de vitesse et correspondant au réservoir. Cette filière ne produit pas de d'acidose = filière alactique.

c- La filière Lactique : conception classique

C'est la 2ème filière anaérobie de production d'ATP. Elle utilise comme carburant le glucose.

Ce glucose utilisé en anaérobiose aboutit à la production d'acide lactique, considérée longtemps comme un poison musculaire et s'accompagne de douleurs et de contractures musculaires locales caractéristiques d'une fatigue réelle.

Cette filière lactique capable de fournir de l'énergie pendant 30 secondes à 1 minute en puissance (robinet) et jusqu'à 3 minutes en capacité (réservoir) n'atteint son débit maximal qu'après quelques secondes. Elle intervient dans les efforts supra-maximaux (400 m en athlétisme, 100 m en natation).

d- Conception moderne de la filière lactique

Pour résumer la conception moderne de la filière lactique, les Lactates ne sont plus le méchant de la classe et leur toxicité est un mythe et il est à présent incontestable que le lactate ne peut plus être considéré comme l'ennemi du sportif.

Au contraire, tout indique que de nombreux aspects de la production de Lactates sont bénéfiques pour les performances athlétiques.

4- La continuité énergétique

L'ATP est la forme immédiate d'énergie renouvelable à partir de 3 filières :

- une aérobie
- les deux autres anaérobies.

La capacité de chaque filière à fournir de l'ATP va dépendre du type d'activité exercé :

- à une extrémité il y a les activités brèves et intenses inférieures à 20 secondes: lancers, sprint, accélérations, dans lesquelles la presque totalité de l'ATP provient de la filière du phosphagène.
- à l'autre extrémité l'énergie nécessaire aux activités de longue durée (de 15 mn jusqu'à l'infini) est du ressort presque exclusif de la filière O₂.
- entre les deux se situe la filière lactique.

Pour progresser dans une activité physique donnée il s'agira pour le sportif d'améliorer sa vitesse dans sa filière dominante.

B- La sensori-motricité

Sur le plan neuro-physiologique, on peut définir la sensori-motricité comme l'inter-action entre les fonctions musculaires et les fonctions sensorielles, avec :

- d'un côté le sensoriel qui correspond à la prise d'informations et leur acheminement vers le système nerveux central : cerveau et moelle épinière.
- de l'autre la motricité qui correspond à la contraction musculaire.

A noter que la sensori-motricité précède l'intelligence motrice. Cette dernière construisant les savoirs et les connaissances propres aux différents domaines de la motricité, qui n'est que l'activité du corps incluant la conscience et les sensations, comme peut l'être la pensée qui est l'activité de l'esprit.

La prise d'information du circuit de la sensori-motricité va se faire via des récepteurs qui sont des capteurs qui vont informer le cerveau en permanence :

- *récepteurs visuels et du système vestibulaire de l'oreille interne* donnant des renseignements sur la position et les mouvements de la tête dans l'espace et intervenant dans l'équilibre, la coordination et l'adresse

- *proprio-récepteurs* des muscles (fuseau neuro-musculaire), des tendons (organes tendineux de Golgi) et des articulations de la tête, du rachis cervical et de la zone du pied, renseignant sur la position et les mouvements des différents segments corporels et sur le tonus musculaire. Ils contrôlent le regard, l'équilibre tête-tronc, l'équilibre global.

Cette sensori-motricité peut être entraînée par des exercices de force, d'adresse et de coordination entre les différents muscles intervenant dans la gestuelle des Lanciers (coordination inter-musculaire) et à l'intérieur des muscles (coordination intra-musculaire). La finalité de cet entraînement étant d'optimiser le déroulement des différents processus moteurs conduisant au geste technique efficient.

1- A propos des récepteurs musculaires

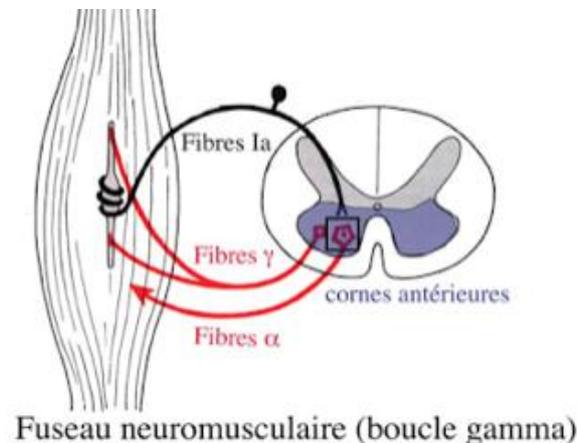
Ils sont à l'origine de la sensibilité proprioceptive consciente et inconsciente. Ce sont des récepteurs hautement spécialisés qui informent le système nerveux central sur la position spatiale des différents segments corporels. Deux d'entre eux sont spécifiques du système musculaire :

a- Les fuseaux neuromusculaires (FNM)

Ce sont des mécanorécepteurs proprioceptifs situés au sein même du muscle strié squelettique. Ils sont constitués de 4 à 10 fibres musculaires spécialisées intra-fusales placées en parallèle et plus fines que les fibres musculaires ordinaires (les fibres musculaires striées extra-fusales). Elles n'ont aucun rôle mécanique sur la force développée par le muscle.

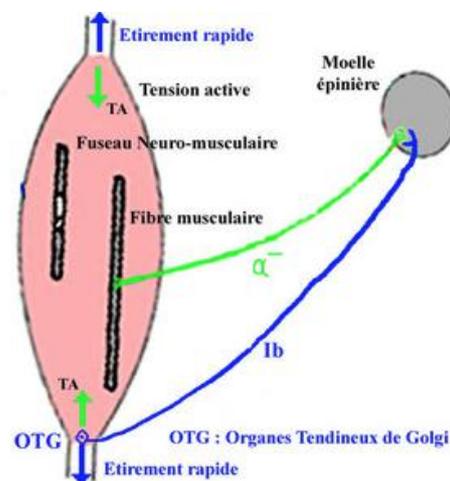
Ces FNM sont des indicateurs à la fois de longueur du muscle et de variation de longueur du muscle. Lorsque le muscle est étiré passivement, les FNM le sont également et il existe un mécanisme d'ajustement de la longueur du fuseau neuro-musculaire qui lui permet de continuer à informer le système nerveux de la longueur du muscle, quelle que soit cette longueur. Cette adaptation est réalisée par l'intermédiaire des moto-neurones gamma.

NB : un circuit en parallèle est un montage biologique dans lequel les appareils sont placés parallèlement les uns aux autres. Le courant peut revenir à la source par plusieurs chemins différents.



b- Les organes tendineux de Golgi (OTG)-

Ce sont également des mécanorécepteurs proprioceptifs situés à la jonction du tendon et du muscle squelettique spécifiquement sensibles à la tension du muscle : le stimulus qui les active est la force exercée sur le tendon du muscle. Ils codent la force (la tension) exercée sur le muscle, à la différence des fuseaux neuro-musculaires qui codent la longueur et les changements de longueur du muscle.



Du fait de leur disposition en série par rapport aux fibres musculaires, les organes tendineux de Golgi peuvent être activés à la fois lors d'un étirement passif du muscle et lors d'une contraction. Ils sont cependant d'avantage excités lors d'une contraction active que pour un étirement passif.

Rappelons qu'un circuit en série est un montage biologique dans lequel les éléments du circuit sont reliés les uns à la suite des autres. Le courant n'a alors qu'un seul chemin possible pour revenir à la source de courant.

Cette disposition différente (en parallèle pour les FNM et en série pour les OTG) permet à ces deux types de récepteurs de transmettre des informations de nature différente et complémentaire sur l'état du muscle : les fuseaux neuromusculaires détectent les modifications de longueur du muscle et permettent de maintenir cette longueur constante alors que les organes tendineux de Golgi détectent la tension du muscle (la force exercée par ou sur le muscle) et la régule en cas de forces excessives.

Au final ces deux circuits réflexes ont en commun de ne pas fonctionner en boucle fermée : leurs fibres afférentes issues de ces deux récepteurs se projettent sur des inter-neurones spinaux qui reçoivent les influences synaptiques d'une grande variété de sources (récepteurs cutanés, articulaires, voies descendantes) aptes à moduler la réponse musculaire.

Rappels de Neuro-physiologie

- **Un neurone** = une cellule nerveuse constituant l'unité fonctionnelle de base du système nerveux. Ils transmettent un signal bio-électrique appelé influx nerveux.

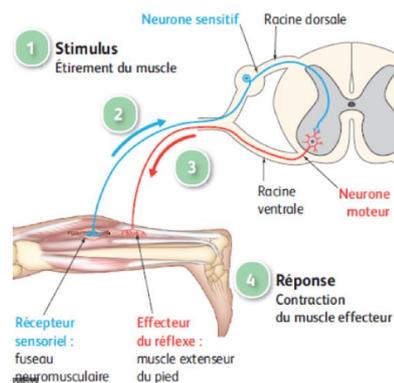
- **Une synapse** = zone de contact fonctionnelle entre deux neurones, ou entre un neurone et une cellule musculaire ou des récepteurs sensoriels.

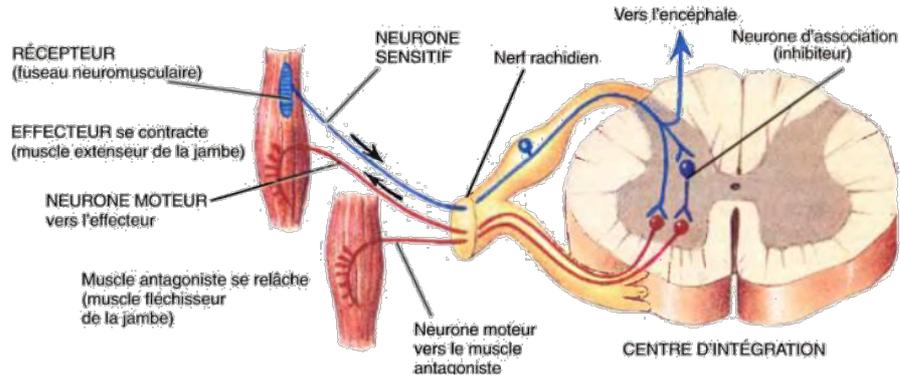
- **Un réflexe** = une réponse musculaire involontaire, stéréotypée et très rapide à une stimulation sans qu'il y ait intervention du cortex cérébral ou de la volonté et la voie neurologique qu'il emprunte est un circuit court, avec une seule synapse.

- Le réflexe myotatique

Le réflexe myotatique ou réflexe d'étirement est le réflexe de défense qui déclenche une contraction d'un muscle en réponse à son propre étirement.

Il est le support physiologique du tonus musculaire qui correspond à l'état de tension permanente qui s'exerce sur les muscles afin de s'opposer à l'action de la gravité. Tonus musculaire qui maintient les postures dans l'espace en assurant une contraction légère des muscles et intervient également dans le rétablissement de notre position suite à un déséquilibre, afin d'éviter une chute. En clinique, c'est un excellent outil diagnostique qui permet de vérifier le bon fonctionnement du système neuro-musculaire (par exemple recherche du réflexe rotulien et achilléen, en percutant les tendons rotuliens et d'Achille par un marteau réflexe, ce qui provoque un étirement des 2 tendons et une contraction immédiate de la jambe et du pied.

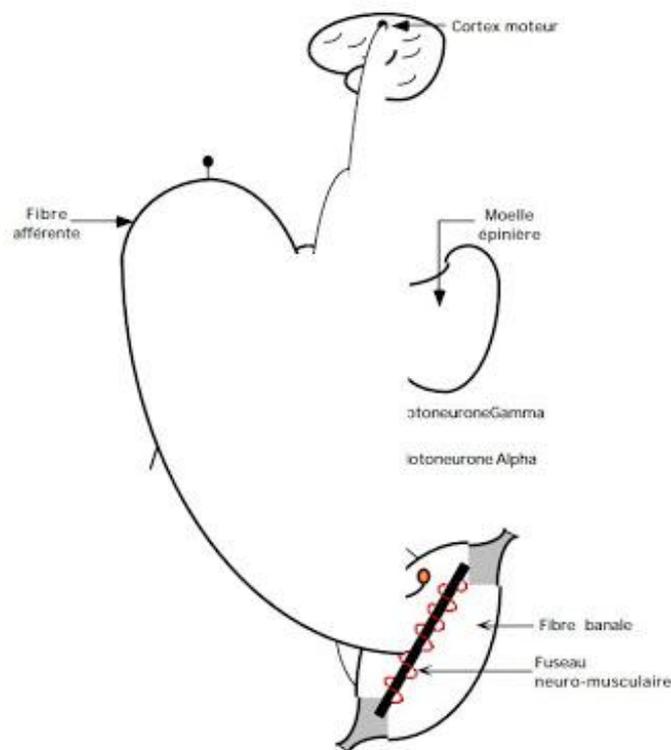




Afférence sensitive à partir du fuseau neuro-musculaire et nerf moteur qui va commander au muscle effecteur par l'intermédiaire de la moelle épinière.

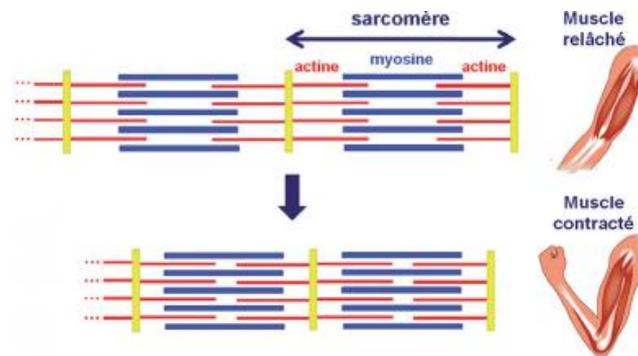
- Les voies nerveuses afférentes proprioceptives

Elles partent de la périphérie (fuseau neuro-musculaire) et remontent jusqu'au cortex moteur cérébral. Les voies efférentes partent du cortex moteur, vers la périphérie, pour commander aux muscles effecteurs intervenant dans la gestuelle des Lancers.



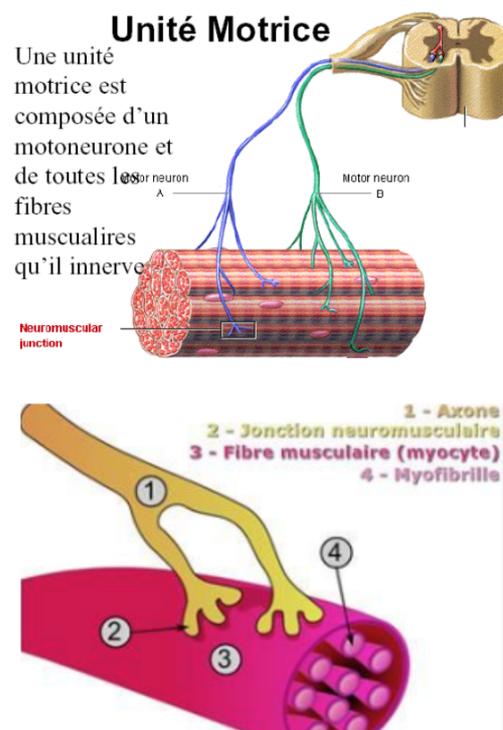
Afférences proprioceptives à partir du fuseau neuro-musculaire (FNM). Elles remontent jusqu'au cortex moteur qui traite l'information en provenance de la voie sensitive proprioceptive et élabore une réponse adaptée qui sera transmise par voie descendante aux muscles, par l'intermédiaire du nerf moteur au niveau de la moelle épinière.

- **Un sarcomère** est l'élément constitutif de base des myofibrilles, structure cellulaire responsable de la contraction des fibres musculaires, chaque sarcomère étant formé par des filaments fins d'Actine et épais de Myosine.



C'est la contraction musculaire par raccourcissement des sarcomères, qui engendre la force.

- **Une unité motrice** est constituée par un neurone moteur (ou motoneurone) situé dans la moelle épinière, son prolongement (axone) qui chemine dans le nerf périphérique et l'ensemble des fibres musculaires qu'il innerve



Terminaison de l'axone du nerf moteur (1) au niveau de la plaque motrice de la jonction neuro -musculaire ou est libéré de l'acétylcholine (2), de la fibre musculaire (3), composée de myofibrilles (4).

- **La plaque motrice de la jonction neuro-musculaire** est une zone spécialisée de la membrane des cellules musculaires qui fait partie de la jonction neuro-musculaire et permet la réception de l'acétylcholine, neurotransmetteur libéré par le moto-neurone dans la fente synaptique.

- **Un médiateur chimique** est une substance synthétisée et libérée par une cellule et intervenant sur une autre cellule possédant un récepteur spécifique de ce médiateur. Dans le cas qui nous intéresse, l'acétylcholine est un neurotransmetteur contenu dans les terminaisons des cellules nerveuses et favorisant la transmission de l'influx nerveux.

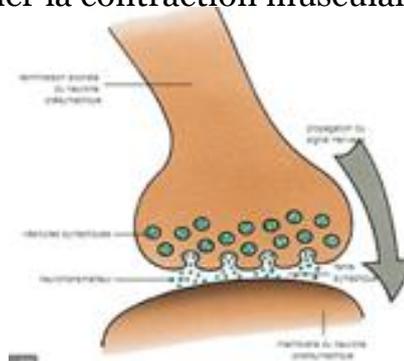
- **Un nerf moteur** = un nerf qui transmet les commandes du cortex cérébral moteur aux muscles par l'intermédiaire de la moelle épinière (centre d'intégration) afin de produire des mouvements volontaires ou involontaires. La plupart des nerfs étant mixtes, c'est-à-dire à la fois moteurs et sensitifs, les nerfs exclusivement moteurs sont des exceptions

Dans les Lancers, les voies efférentes sont constituées par les nerfs moteurs et leurs circuits neuronaux spinaux et supra-spinaux.

Les nerfs vont commander les différents muscles effecteurs intervenant dans la gestuelle des Lancers : grands fessiers pour la hanche; quadriceps et triceps sural pour le genou; rhomboïdes, fixateurs de l'omoplate, adducteurs d'épaule; triceps brachial pour le coude.

Aspects physiologiques de la force

La force est une activité neuro-musculaire qui a besoin d'ATP et du tissu nerveux pour déclencher la contraction musculaire au niveau de la *plaque motrice* (jonction neuro-musculaire) où est libéré de l'*acétylcholine* (médiateur chimique) qui va déclencher la contraction musculaire de l'unité motrice.



- certaines unités motrices ne comprennent que quelques fibres, ce qui leur donne une très grande précision mais un faible potentiel de contraction.

- à l'inverse les muscles puissants possèdent des unités motrices de plusieurs centaines de fibres qui permettent d'atteindre des tensions importantes. Les fibres musculaires d'une unité motrice sont toutes du même type structurel et métabolique et leur recrutement est sélectif :

- pour les charges de moindre importance, seules sont concernées les unités motrices contrôlant les fibres de type I.

- pour des charges plus importantes, les unités motrices des fibres IIb seront également recrutées.

Alexie Alais



Lolassonn Djouhan



Frédéric Dagée

