

Bibliothèque numérique

medic@

**Marey, Etienne-Jules. - Histoire  
naturelle des corps organisés. [Cours  
du Collège de France]. XV. Variations  
de la secousse musculaire**

*In : Revue des cours  
scientifiques de la France et de  
l'étranger, 1867, IV, p. 833-836*



(c) Bibliothèque interuniversitaire de médecine (Paris)  
Adresse permanente : <http://www.bium.univ-paris5.fr/histmed/medica/cote?marey084>

# REVUE DES COURS SCIENTIFIQUES DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

QUATRIÈME ANNÉE

NUMÉRO 53

30 NOVEMBRE 1867

## COLLÉGE DE FRANCE.

## HISTOIRE NATURELLE DES CORPS ORGANISÉS.

COURS DE M. MAREY (1).

XV

## Variations de la secousse musculaire.

La température animale est soumise à des variations souvent assez étendues, même chez les espèces que l'on a appelées à température constante. Chez ces dernières, en effet, la fixité presque complète de température n'appartient qu'aux régions centrales du corps; tous les organes périphériques sont soumis à des variations plus ou moins grandes. Or, ces changements de la température exercent une très-grande influence sur les caractères du mouvement dans les muscles qui les subissent.

Tout le monde connaît certains effets de la chaleur et du froid sur les mouvements; il n'est personne qui n'ait éprouvé cet engourdissement des muscles de la main que le froid amène et qui nous rend incapables d'exécuter avec les muscles propres de cet organe des mouvements rapides ou énergiques. Cette sorte de paralysie temporaire du muscle se dissipe par le réchauffement; elle atteint les degrés les plus divers selon l'intensité du froid qui la produit.

D'autre part, l'influence de la chaleur sur les muscles n'est pas moins puissante; elle agit en sens inverse du froid, communique aux mouvements une agilité et une énergie plus grandes jusqu'à une certaine limite, à partir de laquelle la chaleur altère profondément les muscles et abolit leur fonction.

La méthode graphique se prête très-bien à l'étude de ces influences, dont elle permet de mesurer les effets avec une rigueur extrême.

*Des effets du froid sur la secousse musculaire.* — Le froid modifie la secousse et lui donne une durée beaucoup plus considérable qu'à l'état normal. On en peut juger par l'expérience suivante faite au moyen du myographe comparatif.

J'applique sur l'appareil une grenouille dont j'ai coupé la moelle épinière, et je constate d'abord que les deux muscles gastrocnémiens donnent des secousses parfaitement identi-

ques, de sorte que les deux graphiques s'accompagnent dans toute leur étendue. Pour provoquer ainsi des secousses simultanées dans les deux membres de l'animal, je plante deux épingle dont l'une traverse la tête et l'autre la peau de la région coccygienne de la grenouille, et je mets ces épingle en communication avec les deux fils du courant induit. Les deux muscles sont alors excités simultanément.

Pour provoquer une extrême dissemblance entre les mouvements des deux pattes, il suffit d'entourer l'un des gastrocnémiens de la grenouille de quelques fragments de glace; aussitôt on voit s'allonger la secousse de cette patte, et l'on obtient des graphiques semblables à ceux qui sont représentés figure 385.

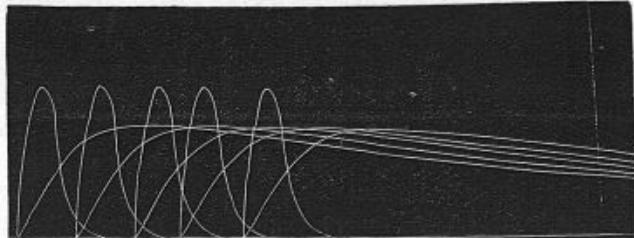


FIG. 385. — Influence du froid sur les mouvements d'une patte de grenouille.

On pourrait objecter que le contact de l'eau avec la substance musculaire modifie la structure des fibres dans lesquelles elle pénètre par endosmose. Il suffit, en effet, de jeter dans l'eau une grenouille dépourvue de sa peau pour voir en quelques minutes ses muscles se gonfler, blanchir, devenir durs au toucher. Ces modifications de l'élément contractile ne peuvent avoir lieu sans que la fonction soit altérée. Il faut donc faire agir le froid de la glace sur le muscle d'une manière médiate, sans que l'eau arrive au contact de la substance musculaire.

Une disposition fort ingénieuse, employée par du Bois-Reymond pour refroidir ou réchauffer les nerfs, va nous servir pour étudier sur les muscles les effets d'une basse température. Une petite caisse métallique traversée par un courant d'eau froide ou chaude supportait le nerf, et l'air communiquait la température dont on voulait étudier les effets. Je vais recourir au même moyen.

Il n'est pas nécessaire de construire spécialement pour cette expérience une caisse métallique dans laquelle circulera le courant d'eau qui doit échauffer ou refroidir notre muscle. Le commerce nous fournit un objet très-propre à cet usage. C'est cette espèce de petite bouteille d'étain qui sert à renfermer les couleurs des peintres.

(1) Voyez les numéros des 23 mars, 6 et 13 avril, 4 et 11 mai, 3 et 17 août, 21 septembre, 12 et 26 octobre, 9, 16 et 23 novembre 1867, p. 275, 296, 318, 353, 374, 568, 601, 679, 726, 763, 794, 809 et 820.

Je vide l'une de ces bouteilles, et j'applique à son fond un bouchon muni d'une tubulure, tandis qu'une autre tubulure est adaptée au goulot. C'est par ces deux tubes que doit passer le courant d'eau plus ou moins refroidie. La minceur et la flexibilité des parois de cette petite bouteille me permettent de la modeler en forme de gouttière dans laquelle le muscle viendra se loger. Cette gouttière est assez mince pour se glisser entre le muscle et la plaque de liège du myographe, sans qu'il soit besoin de rien changer à la disposition ordinaire de l'expérience.

Cherchons maintenant le moyen de graduer les changements de la température de l'eau qui circulera dans l'appareil, afin de suivre exactement la série des effets produits par les changements de la température.

Pour cela, adaptons la bouteille d'étain sur le trajet d'un tube par lequel se fera l'écoulement de l'eau contenue dans un réservoir élevé. Il ne s'agit plus que de refroidir graduellement l'eau de ce réservoir, le courant qui en sort transmettra au membre les changements de température.

Supposons que le réservoir mette une minute à se vider par

subir pas dans toute son épaisseur l'action de la température qui lui est appliquée. Ses parties profondes, et surtout sa partie supérieure qui n'est point en contact avec la gouttière, sont influencées plus lentement, mais il est bien difficile d'éviter cet écueil. Vous allez voir du reste que l'expérience, telle qu'elle est instituée, donne déjà des résultats satisfaisants.

La figure 109, obtenue à l'aide du myographe simple, nous montre la série des changements graduels qu'éprouve la secousse dans un muscle soumis à un refroidissement de plus en plus prononcé. C'est à partir de la troisième secousse que ces changements commencent à se produire ; ils deviennent de plus en plus apparents jusqu'à la fin du graphique. Le défaut d'espace m'a empêché de montrer les dernières secousses avec toute leur longueur, mais la direction très-oblique de leur descente suffit pour montrer qu'elles sont extrêmement longues.

Cette modification des caractères de la secousse par le froid ressemble beaucoup à celle que produisent la fatigue et la ligature de l'artère, mais elle est beaucoup plus rapide. Il

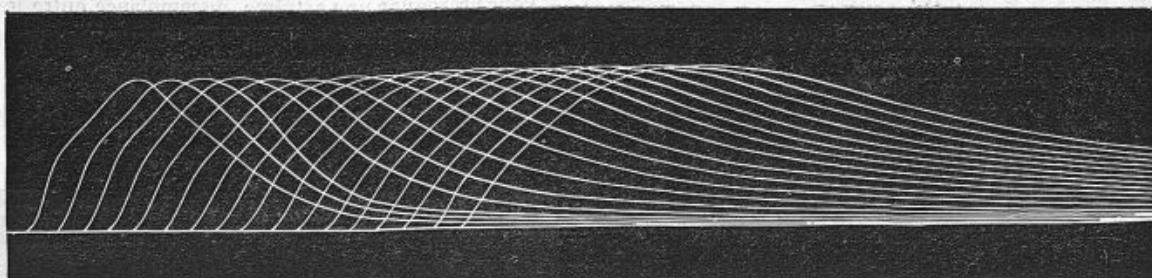


Fig. 386. — Influence du refroidissement du muscle sur les caractères de la secousse.

notre tube ; je place au-dessus de lui un vase de grande dimension dans lequel est de l'eau que la glace fondante entretient à zéro. Un tube fait passer l'eau de ce vase dans le réservoir, et le remplira en une minute s'il coulait seul. Mais comme, d'autre part, le réservoir se vide lui-même en une minute, si nous ouvrons les deux tubes d'écoulement, son contenu restera toujours le même, seulement sa température s'abaissera graduellement par une substitution incessante de l'eau chaude à l'eau froide. Cette température tendra indéfiniment à se rapprocher de celle du vase dans lequel l'eau est à zéro.

Le courant qui s'échappe du réservoir participera à cet abaissement de la température, dont la progression sera d'une régularité parfaite, si nous avons soin d'agiter sans cesse le liquide du réservoir.

Toutefois, dans son trajet à travers le tube dans lequel elle circule, l'eau tend sans cesse à se mettre en équilibre avec la température ambiante ; l'eau chaude à se refroidir, l'eau froide à s'échauffer. Il ne faudrait donc pas juger de la température à laquelle le muscle est soumis d'après celle de l'eau que contient le réservoir. C'est dans le voisinage du muscle qu'il faut prendre cette température, si l'on veut l'estimer rigoureusement. A cet effet, je place sur le courant, au-dessous de la bouteille d'étain, un manchon de verre que l'eau traverse et qui contient un thermomètre. Nous pourrons ainsi évaluer plus exactement la température à laquelle le muscle est soumis.

Reste encore une cause d'erreur, c'est que le muscle ne

peut pas se mouvoir dans l'eau. Il faut aussi remarquer que le froid accroît légèrement l'amplitude des secousses, mais beaucoup moins que leur durée. Cette influence ne se fait sentir que pendant les premiers instants ; elle est bientôt suivie d'une décroissance de l'amplitude, comme nous l'avons vu dans le graphique comparatif (fig. 385).

L'analogie si prononcée qui existe entre les effets de la fatigue, du refroidissement et de l'arrêt de la circulation, tend à faire rechercher si quelque condition commune n'existe pas dans ces trois cas. Il semble qu'on puisse la trouver dans la disproportion entre la circulation du sang à l'intérieur du muscle et les actions chimiques dont cette circulation doit fournir les matériaux et enlever les résidus. Dans la fatigue, c'est l'excès de la production des actes chimiques sur le départ de leur produit qui gènerait l'action du muscle ; dans le cas de ligature d'artère, la circulation supprimée explique tout naturellement l'épuisement des matériaux qui devraient alimenter la fonction ; enfin, dans l'application du froid à un muscle, le ralentissement énorme qui se produit dans la contraction amènerait les mêmes effets que la ligature artérielle.

Ce ralentissement de la circulation par le froid n'est point hypothétique, c'est la conséquence nécessaire de la constriction que le froid produit dans les petits vaisseaux.

Il y a là un vaste sujet d'étude relativement aux phénomènes interstitiels qui se passent dans le muscle pendant sa fonction. Il faudrait aussi soumettre les muscles à l'exploration

par la méthode d'Aeby, au moyen de l'appareil si simple que je vous ai montré (fig. 361, p. 797), et chercher quelle est la vitesse du transport de l'onde musculaire sur les muscles soumis à ces diverses influences qui modifient les caractères du mouvement provoqué. Le temps ne me permet pas de pousser plus loin l'étude de ces phénomènes si importants, et qui méritent une étude plus approfondie.

*Influence de la chaleur sur la secousse musculaire.* — La chaleur exerce sur les muscles des effets différents, suivant le degré plus ou moins élevé de la température employée. En appliquant à un muscle une chaleur d'intensité croissante, nous assisterons donc aux deux phases successives d'accroissement et de destruction de l'action musculaire.

Lorsqu'un muscle a été préalablement refroidi, et que sa secousse a subi l'allongement considérable que vous connaissez déjà, si l'on réchauffe peu à peu le liquide qui circule dans l'appareil, on assiste à une série de transformations des plus curieuses. La descente des secousses s'abrége rapidement, et l'on voit, malgré l'imbrication des graphiques, la ligne de descente d'une secousse couper celle de la secousse qui la précède. C'est à ce point que se fait la transition entre l'allongement du mouvement par le froid et son accélération par la chaleur,

*2<sup>e</sup> PÉRIODE. — Altération du muscle par la chaleur et perte de la motricité.* — La température maximum employée dans la précédente expérience n'a guère dépassé 35 degrés. Si l'on

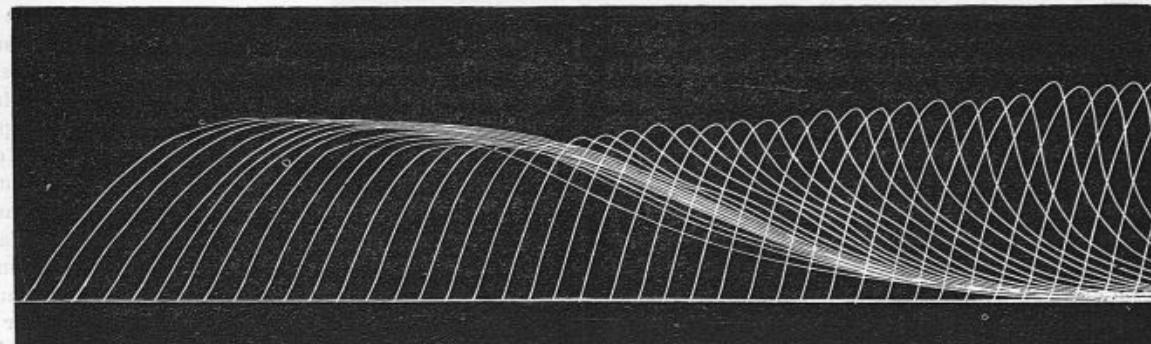


FIG. 387. — Influence de la chaleur sur un muscle préalablement refroidi. — Les secousses deviennent plus brèves et plus amples; leur période ascendante tend à se rapprocher de la verticalité.

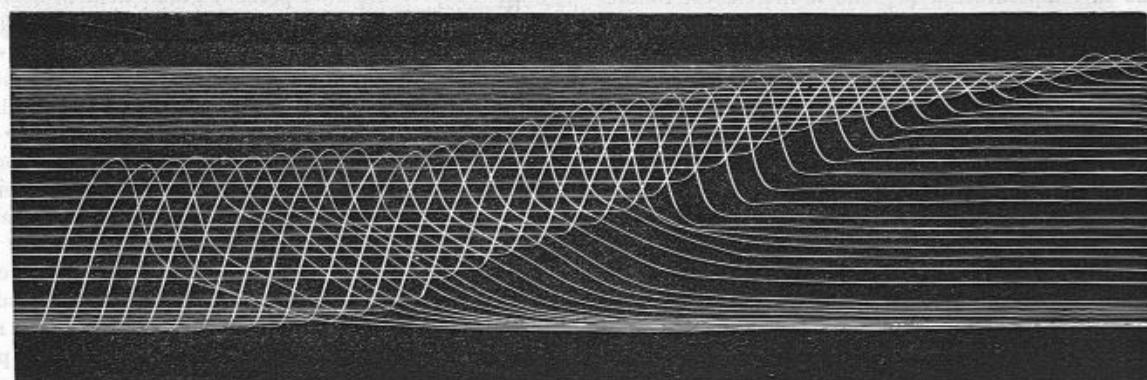


FIG. 388. — Coagulation d'un muscle et perte graduelle de sa fonction sous l'influence d'une température trop élevée.

Pour régler la température, nous emploierons la même disposition que dans l'expérience précédente, seulement nous ferons circuler dans la caisse métallique sur laquelle repose le muscle un courant d'eau de plus en plus chaude. Pour cela, je remplace le réservoir supérieur, qui contenait la glace fondante, par un réservoir plein d'eau qu'une lampe à alcool maintient à la température de l'ébullition. C'est cette eau qui, coulant sans cesse dans le réservoir inférieur, élève graduellement la température du mélange destiné à circuler à travers la caisse métallique.

*1<sup>re</sup> PÉRIODE. — Excitation de l'action musculaire.* — Puisque le froid prolonge et affaiblit la secousse, il était naturel de prévoir que l'échauffement du muscle produirait le phénomène inverse. C'est ce qui a lieu en effet tant que la température du muscle n'excède pas 30 à 35 degrés centigrades. La figure 387 montre nettement cet effet de la chaleur.

échauffait davantage le liquide qui circule dans l'appareil, on verrait bientôt décroître l'amplitude des mouvements. Le muscle, dans ces conditions, ne revient plus à sa longueur normale; à chaque secousse nouvelle, il semble garder une partie de son raccourcissement. La figure 388 montre ce qui se passe dans ces circonstances. La période ascendante de la secousse est toujours d'une très-grande brièveté; mais la période de descente est incomplète, de telle sorte que, d'instant en instant, la ligne tracée parallèlement à l'abscisse pendant le repos du muscle s'élève davantage. Si l'on cherche la cause prochaine de ce phénomène, on voit qu'il tient à un racornissement graduel de la substance musculaire qui résiste à la distension et se fige dans la position nouvelle où l'a mise le raccourcissement du muscle excité.

Cet effet est produit par la coagulation de la myosine. Kühne, en expérimentant sur cette substance qui forme en

grande partie le contenu des fibres musculaires, a vu qu'elle est liquide à la température de zéro, mais qu'elle se coagule peu à peu aux températures supérieures. La coagulation est de plus en plus rapide à mesure que la température s'élève; elle est instantanée si l'on chauffe la myosine à 45 degrés centigrades.

Il est donc très-intéressant de comparer la modification de la fonction musculaire par la chaleur et les influences de la température sur la coagulation de la myosine. Tout porte à croire que la modification chimique est la cause immédiate de la modification fonctionnelle qui se produit alors. Mais il est difficile d'échauffer un muscle dans toute sa profondeur et d'évaluer sa température centrale; il est même certain que le muscle reste encore assez froid dans sa profondeur lorsque sa surface est déjà coagulée. Heureusement la méthode graphique permet de saisir exactement l'instant où se produit la première trace de coagulation. C'est celui où la ligne de descente ne retombe plus exactement à l'abscisse; à ce moment, la partie du muscle qui reste raccourcie définitivement suffit pour retenir, à la manière d'une bride, le levier du myographe et pour empêcher le graphique de redescendre à son niveau normal. Il m'a semblé que les premières traces de la coagulation musculaire se produisaient au-dessous de la température de 40 degrés; mais comme d'un muscle à un autre le degré de chaleur qui entraîne la coagulation m'a paru varier, je penche à croire qu'il existe des influences encore indéterminées qui modifient la coagulabilité de la myosine, et je crois qu'il sera très-difficile de déterminer à ce sujet un chiffre absolu de température.

Lorsque la température à laquelle le muscle est soumis s'élève graduellement, on passe nécessairement par la période d'excitation, et l'on voit se modifier les caractères des secousses. Ainsi un muscle refroidi perd les caractères que le froid lui avait donnés, et passe par le type normal pour arriver au mouvement brusque et énergique qui constitue la période d'excitation proprement dite. De même, un muscle fatigué perd les caractères de la fatigue et reprend peu à peu le type normal qu'il perdra très-rapidement si la chaleur cesse d'agir.

Mais si, au lieu d'échauffer le muscle d'une manière graduelle, on le soumet immédiatement à une température d'environ 45 ou 50 degrés, la coagulation se produit immédiatement sans excitation préalable, et le muscle perd graduellement l'amplitude de ses secousses, se raccourcit peu à peu, sans passer par la période d'excitation.

La figure 389 montre le graphique d'un muscle qui, éprouvé par un long travail et fournissant des secousses faibles et allongées, a été soumis à une température de 50 degrés. Les secousses s'éteignent peu à peu, et le muscle se coagule sans présenter jamais les mouvements brusques qu'on lui aurait rendus par la chaleur modérée.

*Modification de la secousse par la charge à laquelle le muscle est soumis.* — Une force appliquée à soulever un poids élèvera ce dernier à des hauteurs d'autant moindres qu'il sera plus considérable. Il en est de même, dans certaines limites, pour la force musculaire. Celle-ci peut bien être considérée comme constante pendant un certain temps, puisqu'elle donne au myographe une série de tracés identiques entre eux lorsque les excitations électriques sont égales entre elles et se suivent à intervalles égaux. Si l'on fait varier la résistance qui s'op-

pose au raccourcissement du muscle, on verra varier simultanément la forme de l'amplitude du graphique.

Pour obtenir une démonstration bien claire de cette influence, j'ai adapté au myographe un poids à la place du ressort qui sert à tendre le muscle, et j'augmenterai ce poids d'une manière régulière pendant toute la durée de l'expérience. Ce poids variable sera, comme dans mes recherches sur les variations de l'élasticité, un godet dans lequel du mercure coulera uniformément pendant que le graphique se produira.

Je dispose le myographe comme pour obtenir des graphiques en imbrication latérale, et au moment où l'appareil se met en marche, j'ouvre le robinet qui donne écoulement au mercure. Sous une charge très-faible, le muscle donne une grande secousse; celle qui dans la figure 390 est le plus à gauche. Mais comme le mercure accroît incessamment la longueur du muscle, le graphique du levier au repos tombe au-dessous de l'abscisse. La deuxième secousse naîtra donc un peu au-dessous de la première, la troisième un peu au-dessous de la seconde, et ainsi de suite jusqu'à la fin de l'expérience. Les secousses s'échelonnent donc en imbrication oblique descendante, par suite d'un changement graduel de la longueur du muscle au repos. Il se produit, par l'allongement du muscle sous des charges croissantes, le phénomène opposé à celui que nous constatons tout à l'heure, dans les figures 388 et 389, lorsque le muscle se raccourcissait par la coagulation graduelle de la myosine sous l'influence de la chaleur.

Si l'on compare entre elles les secousses dont la figure 390 nous présente la série, on voit que du commencement à la fin de l'expérience elles perdent graduellement leur amplitude. L'augmentation du poids à soulever entraîne donc une diminution graduelle de la hauteur à laquelle la secousse musculaire le soulève. C'est là un effet entièrement mécanique qui nous montre une fois de plus que les lois physiques se retrouvent en biologie lorsqu'on sait les dégager des influences qui les masquent en compliquant les phénomènes.

La même figure nous montre encore un changement de la charge. Le sommet de la secousse s'allonge en forme de plateau supérieur. Mais c'est là un effet de la fatigue qui ne tient pas à la présence actuelle d'un poids à soulever, mais à l'influence du travail préalable. On peut s'en assurer en enlevant le poids du myographe; aussitôt la secousse reprend sensiblement son niveau préalable, recouvre à peu près son amplitude, mais conserve la forme à sommet prolongé que présentent les dernières secousses obtenues avec la charge croissante.

On voit encore que l'augmentation de la charge n'amène pas tout de suite la décroissance de l'amplitude des mouvements, mais que ceux-ci augmentent au contraire pendant les premiers instants de l'expérience. Il suffit de prendre au compas la hauteur de la troisième secousse et de la comparer à celle de la première, pour voir que l'amplitude s'est accrue pendant les trois premiers instants. C'est la démonstration de ce fait bien connu: que les muscles, pour acquérir leur maximum d'action, doivent au préalable être légèrement tendus.

On pourrait rendre bien plus nette la phase d'accroissement de l'amplitude pendant les premiers instants de l'expérience; il suffirait pour cela de réduire presque à zéro le poids initial, qui, dans notre expérience, était un peu trop fort.