

sent un courant électrique dans les nerfs, et avouent cependant n'en avoir jamais pu découvrir aucune trace à l'aide du galvanomètre. Pour démontrer des courans électriques dans les nerfs avec le galvanomètre, il ne convient pas de mettre les fils de l'instrument en rapport à la fois avec les nerfs et avec les muscles; car, une chaîne de substances animales hétérogènes et de métal suffisant déjà pour engendrer de l'électricité, le fluide agissant dans les nerfs ne serait pas le seul dont le galvanomètre indiquerait la présence, et il se trouverait mêlé avec celui que la chaîne aurait mis en évidence. Il faut donc, dans les expériences de ce genre, mettre les fils en rapport avec les nerfs seulement, et observer si un nerf qui communique avec le cerveau détermine des oscillations de l'aiguille aimantée pendant les mouvemens volontaires. Prevost et Dumas ont procédé de cette manière en examinant le nerf de la paire vague chez des animaux bien portans, et le plexus sciatique chez un animal frappé de tétanos; le galvanomètre ne leur a montré aucun indice d'électricité. Je n'ai pas été plus heureux qu'eux en répétant l'expérience. Pour expliquer l'insensibilité du galvanomètre, et lever la principale objection contre leur hypothèse, Prevost et Dumas admettent arbitrairement que le courant galvanique est double dans les nerfs, et que les deux courans se neutralisent, de manière à ne permettre aucune action sur l'aiguille aimantée. Ils comparent cette aiguille aux faisceaux musculaires entourés par les anses nerveuses; tous deux éprouvent les effets de courans opposés. On voit que, quelque ingénieuse que soit cette idée, elle manque néanmoins de base expérimentale. Si elle est déjà très-hasardée, la manière dont Prevost et Dumas essaient de réduire l'action du feu et des influences chimiques sur les nerfs des muscles à un phénomène d'électricité, l'est encore bien davantage. J'ai déjà fait connaître et apprécier à leur juste valeur, dans la physique des nerfs, les argumens qu'ils allèguent à l'appui de cette hypo-

thèse. Enfin, il faut prendre en considération que, d'après leur théorie, l'attraction mutuelle des anses nerveuses contenues dans les muscles, est la cause du raccourcissement, et la masse du muscle regardée comme une chose purement accessoire. A la vérité, on pourrait faire disparaître cette objection en modifiant l'hypothèse, et admettant que les muscles sont constamment chargés d'une des électricités, et que l'autre leur est amenée par les nerfs, ce qui détermine leurs fibres à se rapprocher des anses nerveuses. Mais, en agissant ainsi, on renoncerait à l'un des élémens de l'explication donnée par Prevost et Dumas, celui qui est tiré de la comparaison des fibres musculaires avec des corps magnétiques; on n'aperçoit pas non plus pourquoi une attraction devrait s'exercer entre les fibres musculaires et nerveuses chargées d'électricités différentes, et pourquoi les courans ne se neutraliseraient pas, comme dans d'autres parties animales, sans solliciter les molécules à s'attirer réciproquement.

Les mêmes objections s'élèvent contre l'hypothèse qu'a proposée Meissner (1). Suivant ce physiologiste, le fluide dont il suppose les nerfs remplis s'écoule dans les muscles, forme des atmosphères électriques autour de chacun des atomes dont l'application bout à bout donne naissance aux fibres musculaires, écarte ainsi, dans leur milieu, ces fibres qui se trouvent fixées à leurs deux extrémités, et donne lieu par là au raccourcissement, absolument de même que quand on place plusieurs balles de moelle de sureau à la suite les unes des autres sur un fil, qu'on unit plusieurs de ces fils ensemble par les bouts, et qu'on électrise le tout, en le suspendant au conducteur de la machine électrique, on le voit, en effet, se raccourcir par l'effet de l'écartement des fils. Cette explication ne conviendrait pas à la flexion en zigzag des fibres musculaires; elle s'appliquerait mieux aux divisions transver-

(1) *System der Heilkunde*, Vienne, 1832.

sales que j'ai observées dans les petits faisceaux primitifs chez les Insectes, puisque ces faisceaux se dilatent un peu et deviennent ventrus à l'endroit des divisions transversales. Du reste, elle ne différerait pas essentiellement de la précédente. Dans celle-ci, les muscles en repos seraient déjà constamment chargés d'électricité positive et négative, et le mouvement tiendrait à ce qu'un courant électrique opposé venant à émaner des nerfs, les deux courans se neutraliseraient dans les muscles; suivant la seconde hypothèse, qui suppose un état électrique des nerfs, l'état inverse devrait se constituer de lui-même dans les muscles, d'après les lois générales de la distribution de l'électricité. Les deux théories rencontrent une insurmontable difficulté dans la remarque précédemment faite qu'on ne conçoit pas pourquoi, au moment de la réunion des deux courans, celui des nerfs et celui des muscles, les extrémités périphériques des nerfs et les fibres musculaires devraient s'attirer mutuellement, ou pourquoi, suivant l'opinion de Meissner, les fibres primitives des muscles devraient s'écarter les unes des autres. En effet, pour que l'électricité détermine des molécules à se mouvoir les unes vers les autres, il ne suffit pas que celles-ci soient électrisées; sont-elles animées d'une électricité inverse, mais non isolées, les courans se réuniront, mais les molécules demeureront immobiles. Des morceaux de papier ne sont attirés par le succin frotté que parce qu'à l'état sec ils ne sont conducteurs qu'à moitié. Au voisinage du succin ou de la cire à cacheter qu'on a frottés, l'électricité inverse se développe par suite de la décomposition du fluide primitif. Les deux électricités tendent à se réunir, et le papier est attiré vers le corps plus pesant que lui, parce qu'il enchaîne jusqu'à un certain point l'électricité tant que la réunion n'a point eu lieu par l'effet du contact. Dès que le papier est humide, il cesse d'être attiré, attendu qu'alors il devient conducteur parfait. Dans cet état, il reçoit l'électricité de la cire à cacheter frottée,

sans être attiré. Un conducteur parfait, très-léger, peut être attiré vers un corps électrique, quand il se trouve isolé. Ainsi la lamelle d'or s'incline vers le corps électrique, mais le mouvement s'arrête dès que l'isolation cesse. Il en est de même dans l'exemple choisi par Meissner. Les chapelets de moelle de sureau suspendus au conducteur de la machine électrique s'écartent les uns des autres, parce que, recevant l'électricité de ce conducteur, ils se repoussent dès qu'ils ont acquis celle de même nom. Ce mouvement n'a lieu non plus qu'autant que les boules sont sèches et par conséquent conducteurs imparfaits.

Si nous appliquons ces principes aux muscles, nous voyons que les extrémités des nerfs et les fibres musculaires ne pourraient s'attirer, ou, dans la seconde hypothèse, les fibres musculaires s'écarter, qu'autant qu'elles ne seraient pas conducteurs. Mais elles le sont. A l'état humide, elles conduisent parfaitement l'électricité, et tout aussi bien qu'aucune autre partie animale humide. On pourrait supposer que les muscles sont des conducteurs imparfaits, en se fondant sur une observation de Humboldt, celle qu'en appliquant une ligature peu serrée au nerf crural d'une Grenouille, l'armant d'un pôle au dessus de la ligature, et mettant l'autre pôle en rapport avec le muscle, il ne survient de convulsions qu'autant qu'une certaine étendue du nerf demeure libre depuis le point où il est lésé jusqu'à son entrée dans le muscle; on n'en observe pas quand on lie le nerf immédiatement à son entrée dans le muscle, et qu'on arme l'un et l'autre au dessus de la ligature; il s'en manifeste dès qu'on dissèque une portion de l'étendue du nerf comprise dans le muscle; enfin elles cessent aussitôt qu'on entoure d'un lambeau de chair musculaire la partie du nerf libre entre la ligature et le nerf. De prime abord, en effet, on pourrait conclure de là que le muscle est un conducteur imparfait; mais, en y regardant de plus près, on voit que le résultat de l'expérience tient précisément à

l'excellence de la faculté conductrice du muscle ; car, ainsi que l'a remarqué Humboldt, on peut substituer de l'éponge humide ou un métal à la chair musculaire, pour entourer le nerf, sans que le résultat change. Pour se convaincre la chair musculaire humide est un très-bon conducteur, toute expérience sur des cuisses de Grenouille avec la simple chaîne suffit, dès qu'on prend pour conducteur du faible courant électrique un lambeau de cette chair, fraîche ou ancienne.

Si l'on réfléchit, en outre, que l'hypothèse de l'analogie entre l'électricité et le fluide nerveux n'a point de base empirique, et que ces deux fluides diffèrent totalement l'un de l'autre eu égard aux corps qui les conduisent et qui les isolent, il ne reste plus aucun motif d'admettre la théorie de Prévost et Dumas, ou toute autre théorie quelconque qui reposerait sur l'électricité.

Comme les fibres musculaires semblent se raccourcir entre les anses nerveuses des muscles, il est probable que les points de ces derniers qui ressentent plus particulièrement l'influence nerveuse, s'attirent et par-là donnent lieu à la flexion en zigzag des fibres. Les renflemens réguliers des faisceaux primitifs des muscles, que j'ai souvent observés au microscope chez les Insectes, indiquent aussi qu'il s'opère encore des attractions dans le sens de la longueur entre des parties beaucoup plus petites des fibres musculaires. Cette seconde attraction dépend également de ce que les fibres musculaires sont mises par le principe nerveux dans un état qui permet à leurs parties aliquotes de s'attirer. Mais il n'est pas possible d'aller plus loin dans l'état présent de la science. L'aptitude que le tissu contractile des Oscillatoires, des *Mimosa*, etc., et le tissu contractile animal susceptible de se résoudre en colle ont à se courber, à se contracter, à se raccourcir, paraît leur appartenir en propre, comme aux muscles, par une conséquence naturelle de leur état vivant. Mais les fibres musculaires diffèrent de ces tissus en ce que l'état vivant qui leur

permet de se contracter ne se réalise jamais que par l'effet ou la décharge du principe nerveux.

Schwann s'est occupé d'expériences tendant à faire découvrir la loi suivant laquelle la force d'un muscle diminue ou augmente avec sa contraction. Il opérait sur le muscle gastrocnémien des Grenouilles, et à l'aide du procédé suivant. On fixe une Grenouille sur une planchette, de manière que sa cuisse soit horizontale, sa jambe redressée perpendiculairement, et sa patte recourbée horizontalement. Cela fait, on coupe le nerf sciatique au haut de la cuisse, et on le met à découvert jusqu'à la jambe, en ménageant autant que possible les vaisseaux, de sorte qu'il pende latéralement, et qu'on puisse le poser sur deux fils métalliques perçant la planche, qui marchent d'abord dans le sens horizontal, puis se recourbent perpendiculairement vers le bas. De ces deux fils, qui ne tiennent point ensemble, l'un va gagner l'un des pôles d'une paire de plaques galvaniques, et l'autre peut, en l'appliquant légèrement à un fil venant de l'autre pôle, être mis en communication avec celui-ci. La peau de la jambe demeure intacte, à cela près d'une petite incision au talon, par laquelle on fait sortir le tendon du muscle gastrocnémien, après l'avoir coupé à la patte. On attache à ce tendon un fil qui monte perpendiculairement vers l'un des bras d'une balance, où on le fixe. A l'autre bras de la balance pend un plateau. Le premier bras, celui qui communique avec le muscle, est sextuplé de longueur, au moyen d'un fil métallique droit qu'on y a lié, afin qu'une petite contraction du muscle produise un grand mouvement du fléau. On charge alors le plateau de manière qu'il l'emporte un peu sur le bras opposé. L'extrémité de ce dernier est maintenue par une baguette horizontale, qui lui permet bien de s'abaisser, mais l'empêche de monter plus haut. Au moyen d'une disposition particulière, cette baguette peut être vissée ou plus haut ou plus bas, et une échelle indique l'étendue du changement qu'on lui fait

subir. L'appareil étant disposé tellement que le long bras de la balance se trouve un peu au dessus de la ligne horizontale, et le muscle étant fixé de manière à être un peu tendu, on fait agir sur le nerf sciatique une paire de plaques d'un pouce carré de surface. La contraction du muscle fait descendre le bras de la balance. On visse alors la baguette horizontale assez bas pour qu'en se contractant le muscle ne puisse plus éloigner d'elle le bras de la balance que d'une quantité minime. Le faible excès de poids du plateau étant considéré comme égal à zéro, on a là le plus fort degré de la contraction. Or Schwann a observé que quand il mettait alors des poids sur le plateau, le fléau de la balance ne trébuchait plus. Donc, à ce point de la contraction, la force du muscle était = 0. Mais si on vissait la baguette horizontale un peu plus haut, on parvenait à retrouver un point où le fléau se remuait. Donc, à ce faible degré de contraction, la force du muscle était égale au poids mis dans la balance, mais le quantum du raccourcissement était la sixième partie de ce dont on avait vissé la baguette plus haut. Si alors on mettait un poids double du précédent, il fallait reporter la baguette plus haut encore, pour que le muscle pût faire mouvoir le fléau. A ce point, la force du muscle était double de celle du cas précédent, et le degré de raccourcissement pouvait être trouvé sur l'échelle. Ainsi cet appareil permettait de comparer la force déployée par le muscle sous l'influence d'une irritation déterminée avec son raccourcissement. Schwann avait encore la précaution de faire agir les irritations à des intervalles égaux, et, après chaque série d'expériences, de vérifier si le muscle se contractait encore sans poids au même point que précédemment, c'est-à-dire qu'il répétait l'expérience en sens inverse; ainsi, par exemple, il observait l'état de l'instrument à zéro, puis à cinquante, puis à cent, ensuite à cinquante et à zéro du poids, et prenait la moyenne entre tous les nombres fournis par un même poids. En suivant cette marche, il a obtenu les

résultats suivans avec une Grenouille sur laquelle les expériences furent faites, en hiver, pendant l'espace de douze heures, avec des interruptions entre chacune.

1^{re} *Expérience.* L'échelle marquait 141, à 0 grain de poids, 17,1 à 60 grains, 19,7 à 120, 22,6 à 180. Donc, lorsque la force du muscle croissait chaque fois de 60 grains depuis sa plus forte contraction jusqu'à une faible contraction, la différence de longueur du muscle, d'après les différens points correspondans à chacune de ces forces, était de 3,0 entre 0 et 60 grains, de 2,6 entre 60 et 120 grains, de 2,1 entre 120 et 180 grains. Après l'expérience, le muscle se contractait de nouveau jusqu'à 13,7, quand il n'y avait pas de poids dans le plateau.

2^e *Expérience.* Lorsqu'on ne mettait pas de poids dans le plateau, le muscle se contractait de telle sorte que l'échelle marquait 13,5; à 100 grains, 18,8; à 260 grains, 23,4. Donc, tandis que la force croissait de 0 à 100, le muscle s'allongeait de 5,3, et tandis qu'elle allait de 100 à 200, il s'allongeait de 4,6. Après l'expérience, le muscle se raccourcissait sans poids à 14,4.

3^e *Expérience.* L'échelle marquait 13,7 à 0 grain; à 50 grains 18,7, à 100 grains 20,3, puis à 50 grains 17,7, et à 0 15,4. Si l'on prend la moyenne des nombres correspondans aux diverses longueurs, on voit que la différence de longueur du muscle était de 4,3 lorsqu'il portait 0 et 50 grains de poids, et de 2,1 entre 50 et 100 grains.

4^e *Expérience.* L'échelle marquait 13,5 à 0 grain, 19,1 à 100 grains, 23,2 à 200 grains. La différence de longueur du muscle entre les points où il portait 0 et 100 grains était donc à celle entre les points où il portait 100 et 200 grains :: 5,7 : 3,1.

5^e *Expérience.* L'échelle marquait 16,8 à 100 grains, 12,7 à 10, puis 16,1 à 100, 18,7 à 200, ensuite 16,1 à 100, et enfin 11,7 à 0 grain. Les moyennes différences de longueur entre

les points où le muscle portait 0 et 100 grains, et ceux où il portait 100 et 200 grains, étaient donc :: 4,1 : 2,4.

Ainsi, dans les deux premières expériences, tandis que la force du muscle croissait d'une quantité égale, sa longueur augmentait approximativement d'une quantité égale aussi. Dans les trois dernières, le muscle ne s'allongeait pas suivant la même proportion que sa force croissait, mais suivant une proportion plus forte lorsqu'il y avait moins de poids sur le plateau. Les autres expériences faites par Schwann lui ont donné absolument le même résultat. Ainsi, dans celles qui eurent lieu le plus tôt possible après la préparation de la Grenouille, par conséquent à une époque où l'état normal était le moins troublé, on obtint pour loi que la force du muscle croissait dans la même proportion que l'organe se contractait moins, c'est-à-dire qu'elle diminuait en raison directe de la contraction du muscle. Plus il s'écoulait de temps entre l'opération et l'expérience, plus les résultats s'écartaient. On peut donc conclure que la loi s'applique assez exactement à l'état normal. Cette loi est celle qui régit les corps élastiques. Elle réfute toute théorie qui tend à expliquer la contraction des muscles par une attraction de leurs molécules exercée en vertu d'une des forces attractives à nous connues, dont l'action est telle que la force d'attraction croisse en proportion du rapprochement des molécules, ou, pour parler avec plus de précision, en raison inverse du carré de la distance. Car lorsque la force attractive des molécules du muscle est assez grande pour qu'elles puissent déjà se rapprocher si elles sont fort éloignées les unes des autres, elle augmente encore quand les molécules se sont déjà rapprochées un peu, c'est-à-dire quand le muscle s'est déjà raccourci. C'est donc dans sa longueur normale que le muscle devrait déployer le moins de force, et celle-ci devrait croître à mesure qu'il se raccourcit, de manière à être parvenue au plus haut point d'intensité lorsque la contraction se trouverait arrivée à

son dernier terme. Mais les expériences de Schwann démontrent que l'inverse précisément a lieu, puisque c'est quand le muscle a sa longueur normale que sa force est le plus considérable, et qu'au plus haut degré de contraction elle est égale à 0. La théorie de Prevost et Dumas ne saurait non plus se concilier avec cette loi. Le courant électrique qu'ils supposent dans les nerfs, excite un courant magnétique transversal, qui attire la fibre musculaire; mais cette fibre devrait être attirée avec d'autant plus de force qu'elle se serait déjà rapprochée davantage de la direction du courant, parce que l'attraction magnétique croît aussi à mesure que l'objet attiré se rapproche. Donc, ici également, la force du muscle devrait s'accroître avec son raccourcissement. L'hypothèse de Meissner s'accorde déjà mieux avec la loi. Là ce n'est pas une attraction directe qui opère le raccourcissement du muscle, mais une répulsion des molécules dans la direction transversale de l'organe. Donc, plus le muscle se raccourcit, plus la distance augmente entre les molécules qui se repoussent, et moins la force avec laquelle elles continuent de se repousser doit être grande. Ici, par conséquent la force diminue réellement avec le raccourcissement. Mais Schwann a calculé mathématiquement que, dans cette hypothèse, la force ne pourrait point diminuer en raison directe du raccourcissement.

En terminant cette discussion, il me paraît nécessaire de faire remarquer que tout changement subit de l'état des nerfs musculaires, quelle qu'en puisse être la cause, a pour conséquence l'ébranlement du muscle. La fermeture et l'ouverture de la chaîne galvanique, la destruction soudaine du nerf, la brûlure, l'influence chimique, le tiraillement, toutes ces causes paraissent donner au principe impondérable des nerfs une impulsion en vertu de laquelle il s'élance vers les muscles par un courant ou par des oscillations, que d'ailleurs l'influence extérieure exalte ou diminue la force vitale du nerf. C'est pour cela que des convulsions peuvent survenir dans tous

les états des forces vitales, même alors que celles-ci sont réduites à leur moindre expression, parce que le principe nerveux est susceptible, même avant de s'éteindre, de déployer son aptitude à ce mouvement progressif ou oscillatoire, et qu'il entre en mouvement dès que l'état du nerf change. Ceci nous prouve qu'il y a une différence totale entre irritation et augmentation de la force vitale, qu'on peut irriter un corps animal au point de lui causer la mort, et que les narcotiques, tout en détruisant la puissance vitale des nerfs, dont ils changent si violemment l'état matériel, peuvent cependant encore provoquer des symptômes non moins prononcés d'irritation.

Section seconde.

Des différens mouvemens musculaires.

CHAPITRE PREMIER.

Des mouvemens involontaires et volontaires.

Parmi toutes les différences que peuvent présenter les mouvemens musculaires, la plus frappante est celle qu'on remarque entre ceux qui obéissent aux ordres de la volonté et ceux qui ne les reconnaissent pas. Cependant, lorsqu'on approfondit le sujet, on trouve cette distinction moins naturelle qu'elle ne semble l'être au premier aperçu. Les différentes formes anatomiques du tissu musculaire ne parlent point en sa faveur. Il y a, en outre, bien des mouvemens involontaires de muscles qui sont soumis à la volonté, mouvemens dont quelques uns n'ont pas un rythme moins prononcé que ceux du cœur. Si certains muscles sont entièrement soustraits à l'influence de la volonté, ils ne sont pas pour cela indépendans des états de l'âme, et la division si généralement

admise par les physiologistes a beaucoup perdu de son intérêt depuis qu'on sait que les nerfs exercent tout autant d'empire sur les mouvemens involontaires que sur les autres. Quoique les muscles de la partie organique du corps se distinguent des autres par la cylindricité de leurs fibres et l'absence de stries transversales sur les faisceaux primitifs, et qu'ils ne reconnaissent pas les ordres de la volonté, cependant la vessie urinaire, qui est susceptible de quelques mouvemens volontaires, ne saurait être séparée d'eux sous le point de vue de sa structure. Les faisceaux des fibres de l'iris n'ont point de rides transversales, et pourtant on peut mouvoir l'iris à volonté en tournant l'œil vers le nez. D'un autre côté, quoique les muscles de la partie animale du corps se distinguent par les rides transversales de leurs faisceaux primitifs et par la forme en chapelet de leurs fibres primitives, et qu'ils soient soumis à la volonté, le cœur établit une seconde exception, puisque sa structure le rapproche de ceux-ci, et que le caractère involontaire de ses mouvemens le place dans la catégorie des précédens. La couleur des muscles ne s'accorde pas non plus avec cette division. Les muscles volontaires sont généralement rouges; mais s'il y en a quelques uns de rouges chez les Poissons, la plupart y sont pâles. Les muscles mobiles involontaires sont pâles, pour le plus grand nombre, comme ceux de l'intestin; mais ceux du gésier des Oiseaux et du cœur ont une teinte de rouge foncé, et la tunique musculuse de la vessie, qui obéit à la volonté, est aussi pâle que celle de l'intestin. Cette différence de coloration ne dépend certainement pas du plus ou moins grand nombre de vaisseaux sanguins, ni de la matière colorante du sang. La substance elle-même des fibres musculaires, qui a de commun avec la matière colorante du sang de devenir plus rouge à l'air, paraît être la cause de cette particularité. A la vérité, la division des muscles en volontaires et involontaires repose plus sur des motifs tirés du système nerveux que sur des motifs empruntés aux