

Połączone Biblioteki WFIS UW, IFIS PAN i PTF

T.2911



2900291100000

3706

~~KSIĄŻNICA  
POLSKIEGO TOW. PSYCHOLOGICZNEGO~~

LA FATIGUE

ET

LA RESPIRATION ÉLÉMENTAIRE DU MUSCLE



PARIS

OLLIER-HENRY, Éditeur,

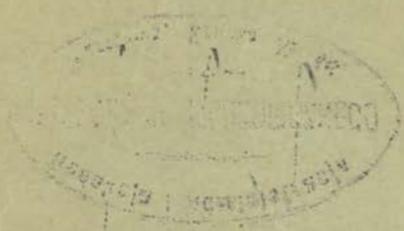
11 ET 13, RUE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE

1986

<http://rcin.org.pl>

[1896]

LIBRARY OF THE  
POLISH ACADEMY OF SCIENCES



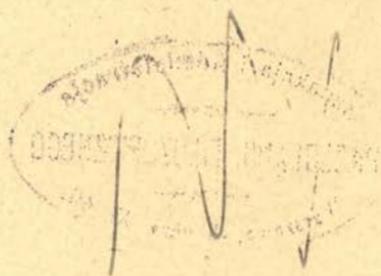
LA FATIGUE  
ET LA  
RESPIRATION ÉLÉMENTAIRE DU MUSCLE



~~KSIĄŻNICA~~  
~~POLSKIEGO TOW. PSYCHOLOGICZNEGO~~

M-122500

005350



D<sup>r</sup> J. JOTEYKO

DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

2911  
Leczenie "Przełazi filozoficznego"  
oficyna autora  
D<sup>r</sup> med. Józefa Joteyko.

LA FATIGUE

ET

LA RESPIRATION ÉLÉMENTAIRE DU MUSCLE



PARIS

OLLIER-HENRY, Éditeur.

11 ET 13, RUE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE

1986 [1896]

Połączone Biblioteki WFiS UW, IFiS PAN i PTF

**T.2911**



29002911000000



nr. inw. 3706

A MON MAITRE M. CH. RICHEL

Professeur de physiologie à la Faculté de médecine de Paris.

A MES MAITRES DE LA FACULTÉ DE PARIS



## AVANT-PROPOS

Ce travail a été accompli au laboratoire de physiologie de la faculté de médecine de Paris. Qu'il me soit permis d'exprimer ma profonde reconnaissance à mon éminent maître, M. le professeur Ch. Richet pour tous les précieux conseils qu'il a bien voulu me donner pendant ces deux années passées chez lui, ainsi que pour la bienveillance avec laquelle il m'a admise dans son laboratoire.

Je remercie également M. Langlois, chef du laboratoire, qui m'a guidée dans bien des cas difficiles et qui m'a initiée à la technique des appareils de physiologie.

Enfin, je remercie M. Pachon, professeur agrégé à la faculté de Bordeaux, MM. Athanasiu et Vidal et Mlle Pompilian, pour l'aide sérieux qu'ils m'ont prêté au cours de ce travail.



## PREMIÈRE PARTIE

### EXPÉRIENCES ANTÉRIEURES SUR LA FATIGUE ET LA RÉPARATION DU MUSCLE.

C'est à Kronecker que revient l'honneur d'avoir le premier étudié *les lois de la fatigue* sur un muscle de grenouille (1872). Cet auteur s'était servi de la disposition suivante : on décapite la grenouille et on détruit la moelle pour empêcher tout mouvement réflexe. Le gastrocnémien mis à nu est relié à un appareil enregistreur. On excite le muscle par l'intermédiaire du nerf sciatique, également mis à découvert. Deux forts éléments de Grove actionnent un chariot de Dubois-Reymond ; on n'utilise que les chocs de rupture, changeant de sens alternativement ; une excitation toutes les 4 secondes ; intensité maximum, ce qui permet de donner le maximum de raccourcissement. Le gastrocnémien soulève un poids variant entre 20 et 50 grammes. La vitesse du cylindre enregistreur est très lente. Dans ces condi-

tions, les contractions s'inscrivent successivement sur le cylindre tournant sous forme de lignes verticales et leur hauteur décroît proportionnellement au degré de fatigue du muscle. En joignant par une ligne le sommet de ces lignes verticales on obtient ce que Kronecker appela *la courbe de la fatigue*.

Or, d'après Kronecker, la courbe de la fatigue est *une ligne droite* (1<sup>re</sup> loi), mais cette loi n'est vraie que dans le cas où le muscle est excité par des courants induits à intensité constante maximale, à des intervalles égaux, la vitesse du cylindre étant uniforme, et encore faut-il que le poids soit *en surcharge* (Ueberlastung). Poids en surcharge signifie, que pendant les intervalles des excitations il repose sur un support et n'est soulevé qu'au moment de l'excitation (il n'y a donc que fatigue dynamique dans ce cas); dans le cas contraire, lorsque le muscle est constamment tendu, le poids est dit *en charge* (fatigue dynamique et statique). Cette loi est exacte si toutes les conditions mentionnées plus haut se trouvent réunies, sauf au commencement de l'expérience, où il se produit quelques anomalies dans l'excitabilité.

Un muscle de grenouille (triceps fémoral) chargé de 20 gr. peut fournir un nombre de contractions variant entre 250 (Janvier) et 2700 (octobre). La fatigue est proportionnelle au nombre d'excita-

tions, tandis que la hauteur de la contraction est proportionnelle à l'intensité du courant. Des poids très considérables produisent l'élongation du muscle et une diminution de l'excitabilité; cette élasticité imparfaite est la cause de la descente très rapide de la courbe d'un muscle très chargé; il vaut donc mieux employer des poids légers (ne dépassant pas 50 gr.), puisque l'élasticité du muscle est influencée très fâcheusement par un poids lourd soulevé pendant toute la durée de l'expérience (en charge) ou périodiquement (en surcharge).

Le *seconde loi* de la fatigue formulée par Kronecker découle de la première: la différence de soulèvement de deux contractions successives est une constante, c'est ce que Kronecker appelle *la différence de fatigue*. La différence de fatigue diminue à mesure que les intervalles des excitations augmentent, autrement dit, la fatigue est proportionnelle au nombre d'excitations. La différence de fatigue reste constante même pour des poids variables, (3<sup>me</sup> loi) les courbes correspondant aux différents poids sont parallèles entre elles.

Quant au muscle travaillant avec un poids en charge, il existe quelques particularités dans sa courbe. La courbe de la fatigue d'un muscle en charge reste une ligne droite jusqu'à une certaine li-

mite, c'est-à-dire jusqu'au moment où la hauteur des contractions est devenue égale à l'élongation du même muscle produite à l'état de repos par le même poids (4<sup>me</sup> loi). A partir de ce point la courbe de la fatigue devient une hyperbole.

Telles se présentent dans leurs traits principaux les lois de la fatigue formulées par Kronecker. Dans un autre travail accompli avec Gotsch (1880) le même auteur a étudié les lois de la fatigue du muscle tétanisé et a reconnu, que le muscle tétanisé obéissait aux mêmes lois de la fatigue que le muscle donnant des contractions isolées ; en particulier, la ligne du tétanos est de même une droite, et il y a ascension de la ligne lorsque les excitations augmentent d'intensité, tandis que la fatigue est proportionnelle au nombre d'excitations.

D'autres auteurs, en particulier Tiegel, Rossbach et Hartnack ont prouvé de même, que pour les animaux à sang chaud la courbe de la fatigue était représentée par une ligne droite.

Certains auteurs se sont élevés contre différentes parties des conclusions de Kronecker. Ainsi Valentin (Arch. de Pfluger 1882) a trouvé, que les premières excitations du gastrocnémien de grenouille non seulement ne diminuaient pas de hauteur, mais augmentaient sensiblement ; cependant la contra-

diction est plutôt apparente que réelle, puisque lors de ses premières contractions le muscle n'était pas encore fatigué, et d'après Kronecker, la ligne droite n'apparaît qu'au moment de la fatigue commençante.

Quant à la réparation du muscle fatigué, c'est également à Kronecker qu'on doit des expériences intéressantes sur ce sujet. Lorsqu'au commencement de la fatigue on suspend l'excitation pendant un certain temps, le muscle ne se répare pas et les contractions qui suivent ne sont pas plus hautes. Mais lorsque le muscle s'est déjà contracté pendant un certain temps et qu'on le laisse se reposer un moment, en renouvelant l'excitation, on s'aperçoit que les contractions s'élèvent notablement au-dessus du niveau des secousses précédentes, mais après 3 ou 4 excitations elles deviennent ce qu'elles étaient auparavant.

On sait depuis l'ancienne expérience de Ranke, que le lavage du muscle fatigué avec une solution de sel marin (7 0/00) suffisait à rendre le muscle excitable. Kronecker a répété la même expérience, mais dit-il, il existe des grenouilles complètement réfractaires à l'action du sel marin. Mais en revanche, ce qui est très intéressant, un muscle complètement épuisé devient excitable par l'injection d'une petite quantité de sang oxygéné dans le torrent circulatoire,

et il devient aussi excitable par l'injection du hypermanganate de potasse. Cependant l'oxygène apporté au moyen de l'hypermanganate n'est pas toujours efficace tandis que l'oxygène des globules rouges l'est dans tous les cas. Il semblerait donc, que l'élimination des produits nocifs formés pendant la fatigue (lavage du muscle par une solution inoffensive) n'a pas le même effet que l'apport de l'oxygène. Dans une expérience très instructive, Kronecker injecta alternativement une solution d'hypermanganate et une solution de sel marin. Le sel marin exerça une influence minime sur la hauteur des contractions du gastrocnémien et même la légère augmentation observée a été probablement due à des traces d'hypermanganate contenues dans la seringue, tandis que la grenouille s'est montrée très sensible à l'action de l'hypermanganate. Ici le résultat obtenu avec l'hypermanganate fut tellement évident, qu'on pourrait le comparer pleinement à l'action du sang artériel.

La courbe de la fatigue au lieu d'être une ligne droite comme normalement, a présenté une série de lignes à convexité supérieure correspondant à la circulation artificielle de l'hypermanganate.

Le même auteur a vu sur les muscles du chien, fatigué par de nombreuses excitations, les contractions augmenter sensiblement de hauteur après une injec-

tion de la solution à 10 ‰ de sel marin et de 0,05 ‰ d'hypermanganate de potasse.

Les lois de la fatigue des muscles de l'homme ont été étudiées par Mosso. Lorsqu'il s'agit de l'homme les difficultés de l'expérimentation deviennent beaucoup plus grandes que chez les animaux, auxquels on fait subir les mutilations nécessaires pour isoler un muscle. Grâce à un appareil ingénieux appelé *ergographe*, Mosso parvint à isoler le travail des muscles fléchisseurs d'un doigt, de manière qu'aucun autre muscle ne puisse les aider lorsqu'ils sont fatigués. Le dynamomètre ne peut être utilisé dans ce genre d'expériences, il a l'inconvénient de ne pas fournir des indications constantes, vu le nombre considérable des muscles qui agissent lorsque nous fermons le poing. Chez l'homme l'étude de la fatigue présente un grand intérêt, car on peut étudier la fatigue volontaire et la fatigue produite par des chocs d'induction et dissocier jusqu'à un certain point ce qui appartient à la fatigue centrale et à la fatigue périphérique. En effet, en étudiant la fatigue des grenouilles, on n'obtient que des phénomènes de fatigue périphérique, tandis que chez l'homme on peut facilement étudier la fatigue produite par la contraction volontaire des muscles.

Voici en quelques mots la description de l'ergo-

graphe ; la main se trouve solidement fixée de même que l'indicateur et l'annulaire de la main droite ; le médus peut se mouvoir librement ; c'est lui qui va se fléchir et fournir du travail jusqu'à extrême fatigue ; on attache au médus une ficelle terminée par un poids (2 kilogr. en moyenne).

Un métronome bat un coup toutes les deux secondes ; suivant ce rythme la personne en expérience contracte les fléchissures du médus, soulève le poids à une certaine hauteur et ce soulèvement sera enregistré sur un cylindre tournant.

Cette méthode a permis à Mosso d'arriver à des résultats fort intéressants. Dans un grand nombre de cas la hauteur de la contraction va en décroissant de manière que le sommet de toutes les contractions se trouve sur *une ligne droite* (quoique l'irrégularité est beaucoup plus grande que pour les muscles de grenouille).

Mais dans certains cas, surtout avec des poids lourds, la courbe présente *une convexité tournée en haut ou en bas*. Rarement elle forme une double courbe (un S renversé). Le profil de la fatigue change pour bien des causes : influence des poids, fréquence avec laquelle le poids est soulevé, fatigue précédente ou repos, différence de saison, de régime, l'influence des émotions, etc.

Mais, chose remarquable, chaque individu a sa courbe de fatigue qui lui est propre (lorsqu'il est placé dans les mêmes conditions), les tracés se reconnaissent facilement les uns des autres même après des années. Mais la quantité de travail peut varier dans des très grandes limites.

Pour éliminer l'action volontaire dans les phénomènes de fatigue chez l'homme, Mosso a excité directement le nerf médian au moyen de deux boutons métalliques recouverts d'une éponge imbibée d'eau légèrement acidulée et reliés à un appareil électrique. Le muscle suit la même courbe s'il est excité par la volonté ou par l'électricité, mais en irritant le nerf on obtient une quantité de travail mécanique supérieure à celle qui s'obtient au moyen de la volonté.

« Avec la volonté, dit Mosso (Arch. ital. XXIII), nous pouvons faire des efforts plus grands et soulever des poids très lourds, mais l'aptitude au travail s'épuise vite et l'excitation nerveuse volontaire devient inefficace, tandis que l'excitation nerveuse artificielle agit encore. La quantité plus grande de travail fournie par un muscle excité par l'électricité dépend de ce que la fatigue des centres nerveux manque dans ce cas, tandis que dans les mouvements volontaires celle-ci vient de nous rendre

incapables de travail avant que le muscle soit épuisé ! »

En effet, lorsque le muscle est fatigué par les excitations électriques, *il réagit* encore sous l'influence de la volonté ; après que le muscle est épuisée par l'action de la volonté, on obtient encore des contractions par l'électricité. L'excitation électrique tétanisante du nerf continuée jusqu'à épuisement de la force du muscle, laisse donc encore chez celui-ci un reste d'énergie qui peut être utilisé par la volonté et *vice versa*. Dans ces expériences, la fatigue centrale apparaît avec évidence ; pendant l'excitation du nerf les centres se reposent et excités à leur tour, fournissent encore une certaine somme de travail.

Une particularité intéressante à noter, c'est que les tracés obtenus après le jeûne ressemblent à s'y méprendre à ceux obtenus après des grandes fatigues, des marches forcées ou des veilles prolongées.

Malgré la grande ressemblance, il y a cependant une différence qui les sépare ; » la faiblesse du muscle provenant du jeûne, dit Mosso, se distingue par la rapidité, avec laquelle disparaît cette état de faiblesse dès qu'on prend de la nourriture, tandis que dans la fatigue nerveuse et dans celle produite par des marches forcées, la nourriture n'a qu'une faible influence restauratrice ; un temps beaucoup plus consi-

dérable est nécessaire à la réparation, le repos du système nerveux au moyen du sommeil est indispensable. »

La réparation de la fatigue chez l'homme a encore été peu étudiée. Zabloudovsky avait remarqué que le massage active d'une façon remarquable la réparation des muscles fatigués. Mosso et Maggiora sont arrivés aux mêmes résultats. Ce dernier auteur est arrivé aux conclusions suivantes relativement à l'action du massage 1) le massage appliqué sur un muscle en repos en augmente la résistance au travail et il retarde la manifestation de la fatigue, 2) le massage peut empêcher l'accumulation de la fatigue dans un muscle accomplissant des travaux très rapprochés les uns des autres, 3) sur un muscle fatigué par une cause qui agit sur tout le système musculaire (marche, veilles) le massage exerce une action restauratrice, qui peut reporter jusqu'à la quantité normale la production du travail mécanique. 4) Dans le muscle affaibli par le jeûne, on peut par le massage améliorer les conditions de résistance au travail. 5) L'effet bienfaisant du massage ne se manifeste plus lorsqu'on l'applique sur un muscle dans lequel la circulation du sang a été supprimée.

## DEUXIÈME PARTIE

### Expériences personnelles

#### CHAPITRE I

##### LA FATIGUE DU MUSCLE NORMAL

Nous n'avons que quelques mots à dire dans ce chapitre, si ce n'est que nous avons vérifié les lois de la fatigue établies par Kronecker, non seulement pour les courants forts, nous aussi pour les courants à intensité faible. En effet, en excitant le nerf de grenouille avec des courants très intenses on ne se place pas dans des conditions physiologiques, l'organisme n'ayant généralement à réagir que contre des excitations de faible ou de moyenne intensité. En outre les courants très forts altèrent le nerf. Nous avons employé une pile de Daniel, un chariot de Gaiffe réglé de manière à ne donner de contractions qu'à la rupture du courant ; une excitation

toutes les 3 secondes, un poids variant entre 30 et 50 gr. ; un tour du cylindre enregistreur en 45 minutes ; le myographe de Marey.

Les grenouilles ont présenté des différences individuelles très grandes, les unes étant complètement épuisées après 10 minutes d'excitation, les autres se contractant très bien pendant une demi heure et même beaucoup plus longtemps. En moyenne on peut estimer, que dans ces conditions un gastrocnémien de grenouille de taille moyenne est fatigué au bout de 30 minutes.

Dans la grande majorité des cas nous avons obtenu une ligne droite pour la courbe de la fatigue, et les légères irrégularités obtenues tiennent à l'imperfection des appareils employés. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec la pile Daniel grâce à la constance du courant, tandis qu'avec la pile Grenet les résultats ont été beaucoup moins satisfaisants. Il est vrai, que très exceptionnellement nous avons obtenus des courbes convexes ou légèrement concaves comme celles dont parle Mosso pour la fatigue des muscles de l'homme. Mais ces cas étant très rares, d'une manière générale on peut conclure, que même pour des courants très faibles, *la courbe de la fatigue d'un muscle de grenouille est une ligne droite* (voir fig. 1).

Quant à la réparation, nous l'avons toujours obtenue très facilement (grenouilles avec centres nerveux détruits, mais la circulation s'accomplissant). Un repos de 2 minutes suffit pour donner des contractions plus fortes que précédemment. Un repos de 30 minutes donne le maximum d'effet, les contractions arrivent à avoir à peu près les deux tiers de leur hauteur primitive (celle du début de l'expérience), celle-ci n'étant jamais atteinte. Cette différence est peut être due au dessèchement du muscle et du nerf, quoique nous ayons fait notre possible pour éviter ce fâcheux incident.

## CHAPITRE II

### RÉPARATION DE LA FATIGUE PAR LA RESPIRATION

#### ÉLÉMENTAIRE DU MUSCLE.

#### *Technique*

Nous nous sommes servie dans ces expériences du myographe de Marey, de deux piles de Lalande ou de Daniel, d'une bobine de Gaiffe. Les excitations d'intensité moyenne ne donnaient de contractions qu'à la rupture du courant. Une excitation toutes les deux secondes. Grenouilles pesant 30 à 50 gr. Poids à soulever par le gastrocnémien 30 gr. Température du laboratoire 16 à 18°.

Le dessèchement et le tiraillement du nerf sciatique ont été soigneusement évités.

Pour éviter les phénomènes de putréfaction nous n'avons pas prolongé la durée de chaque expérience au delà de deux heures et demie.

1° *La réparation de la fatigue musculaire se fait même en l'absence de circulation.*

Ce fait, signalé déjà par Valentin, Edouard Weber et Kilian, et parmi les auteurs modernes par M. Ch. Richet, mérite une attention spéciale en raison de son importance, puisqu'il démontre, que la fatigue et la réparation sont jusqu'à un certain point indépendantes de la circulation.

*A). Expériences sur des grenouilles.*

On sectionne la moelle cervicale à une grenouille pesant 40 gr. ; on détruit le cerveau et la moelle. On enlève le cœur. Après 20 minutes d'attente on découvre le nerf sciatique d'un côté, on isole le gastrocnémien qu'on fixe au levier d'un appareil enregistreur. La grenouille fixée à une planchette de liège est excitée par des courants induits par l'intermédiaire du nerf sciatique. On enregistre les contractions du gastrocnémien.

Dans ces conditions voilà ce qu'on observe : le muscle donne des contractions très régulières, aussi régulières qu'un muscle de grenouille non anémiée. La fatigue se produit suivant les lois de la fatigue formulées par Kronecker, c'est-à-dire que la courbe de la fatigue (la ligne unissant le sommet des contractions) est une ligne droite (l'intensité du courant restant constante, les intervalles entre les excitations égaux, la rotations du cylindre enregistreur uniforme) ; la fatigue est proportionnelle au nombre des excitations, la hauteur des contractions est proportionnelle à l'intensité du courant, autrement dit, la différence de soulèvement de deux contrac-

tions successives, est une constante; c'est ce que Kronecker appelle « la différence de fatigue ». Ces lois de la fatigue ont été découvertes par Kronecker pour des intensités de courant maximales; nous avons pu vérifier toute leur exactitude pour des intensités moyennes et faibles, et cela pour des muscles avec et sans circulation.

Mais un fait en apparence paradoxal se produit, c'est que contrairement à ce que l'on pourrait s'attendre *a priori*, le muscle sans traces aucunes de circulation et complètement épuisé par des contractions antérieures, *se répare* après un certain temps de repos.

Donc ici encore le muscle sans circulation se comporte comme un muscle recevant l'afflux du sang.

Nous avons vérifié le fait à maintes reprises, en obtenant toujours le même résultat. Nous reproduisons un de nos tracés que nous croyons suffisamment démonstratif (fig. 7). Ici la réparation d'un muscle très fatigué (mais non complètement épuisé) s'est produite après une demi-heure de repos. Cette réparation, nous l'avons également observée à toutes les phases de la fatigue, même après épuisement complet; néanmoins, elle est d'autant plus difficile à obtenir et d'autant moins complète, que le muscle est arrivé à une phase plus avancée de la fatigue, et qu'il s'est écoulé un temps plus considérable à partir du moment de la mort de la grenouille. Au commencement de la fatigue, 10 minutes de repos sont suffisantes pour donner des secousses sensiblement plus élevées que les secousses précédentes, et une demi-heure de repos suffit amplement pour faire reprendre au muscle son énergie primitive; au milieu de la fatigue, 10 minutes ne produisent presque pas d'effet, tandis qu'une demi-heure de repos suffit pour donner des contractions moitié moindres que celles du début. Vers la fin, lorsque le muscle est complètement épuisé, les mêmes excitations donnent encore des contractions faibles après quelque temps de repos et cela plusieurs fois de suite. Nous avons pu obtenir la réparation encore 4 heures après la mort.

Cependant la grenouille anémiée se comporte un peu différemment qu'une grenouille non anémiée ; d'une manière générale, *elle se fatigue plus vite* et reste moins longtemps excitable. Pour la plupart du temps le lendemain de nos expériences nous avons trouvé les pattes des grenouilles anémiées en rigidité cadavérique (quoique conservées dans une chambre humide) tandis que dans les mêmes conditions les grenouilles non anémiées sont restées facilement excitables pendant 48 heures.

Quand à la fatigue plus précoce des grenouilles sans circulation, pour l'affirmer, nous nous basons sur la moyenne d'un grand nombre d'expériences, car rien n'est plus variable que la résistance des grenouilles à la fatigue. Ce fait signalé par Kronecker mérite d'être rappelé, car il démontre, combien il est difficile de faire des recherches comparatives sur deux grenouilles. Sans parler des grenouilles d'hiver et des grenouilles d'été, qui se comportent tout différemment (nombre de contraction variant entre 250 et 2,700 pour des excitations très fortes d'après Kronecker), nous avons eu souvent l'occasion d'observer, que des grenouilles de même taille, vivant dans les mêmes conditions et captivées à la même époque, pouvaient donner une somme de travail comme 1 à 2. Bien plus, les deux pattes postérieures d'une même grenouille, se comportent un peu différemment, quoique ici, il faut l'avouer, la différence n'est guère considérable ; elle n'est cependant pas négligeable dans des expériences de précision. Généralement, c'est la patte droite qui est un peu plus forte, donne des secousses plus grandes et se fatigue moins vite.

Donc, en résumé, vous pourrions arriver aux conclusions suivantes.

- 1) Une grenouille anémiée se fatigue plus vite qu'une grenouille non anémiée.
- 2) Un muscle d'une grenouille anémiée exposée à l'air répare sa fatigue en l'absence complète de circulation.
- 3) Cette réparation a lieu à toute les phases de la fatigue,

mais est inversement proportionnelle au degré de fatigue à laquelle est arrivée la grenouille en expérience.

4) Cette réparation est inversement proportionnelle au temps qui s'écoule à partir du moment de la mort de la grenouille (et cela indépendamment du degré de fatigue).

*B). Expériences sur l'écrevisse.*

Nous avons démontré le même fait de réparation de la fatigue sans circulation pour les muscles de l'écrevisse. Dans ce but nous nous sommes servie de la patte d'écrevisse détachée du corps. On sait, que la pince d'écrevisse n'a que deux mouvements, la dilatation de la constriction. Deux muscles président à ces mouvements: le muscle dilatateur très grêle qui s'insère au tubercule interne de la branche mobile de la pince, tandis que le muscle contracteur très fort s'insère au tubercule externe de cette même branche. Il s'en suit, que le resserrement ou la dilatation de la pince, sont produits par la branche mobile. M. le professeur Ch. Richet en étudiant la forme de la contraction musculaire chez l'écrevisse, s'est servi du procédé suivant: on détache du corps de l'écrevisse une patte entière; on fixe solidement à une planchette de liège la pince fixe ouverte à son bout, un excitateur est placé dans la patte (à l'endroit de la section), l'autre pénètre dans le bout ouvert de la pince fixe. On attache un fil à la branche mobile et on la relie avec un levier enregistreur d'un myographe ordinaire. De cette manière, à chaque passage du courant induit, la pince mobile va se rapprocher de la pince fixe et ce mouvement sera enregistré par le cylindre tournant. Nous avons adopté la même méthode et nous sommes vivement reconnaissante à notre éminent maître de nous avoir ainsi facilité nos recherches.

L'étude de la fatigue de la pince de l'écrevisse est rendue assez difficile par une particularité, qui a été déjà signalée par M. le professeur Ch. Richet, c'est la facilité avec laquelle

le muscle de la pince entre en contracture et même en tétanos ; même avec des excitations assez espacées et à intensité moyenne, les secousses isolées font bientôt place à un tétanos physiologique. Ce tétanos se change facilement en rigidité cadavérique, donc on ne peut en tirer aucune conclusion au point de vue de la fatigue et de la réparation.

En second lieu, les contractions de la pince d'écrevisse sont loin de présenter le même degré de régularité que les secousses du gastrocnémien, et on n'a plus ici la ligne droite qui représente la courbe de la fatigue chez la grenouille. En outre, il arrive fréquemment, que l'excitabilité de la pince disparaît tout d'un coup, sans présenter des contractions à hauteur décroissante.

Après de nombreux essais nous sommes cependant arrivés à obtenir des tracés suffisamment démonstratifs pour affirmer que la réparation de la fatigue de la pince de l'écrevisse a lieu tout aussi bien que la réparation d'un muscle de grenouille. Le tracé ci-joint est trop éloquent par lui-même pour avoir besoin d'interprétation (fig. 8).

2). *La réparation de la fatigue d'un muscle anémié n'a pas lieu dans un milieu privé d'oxygène.*

Il résulte des expériences précédentes, que la réparation de la fatigue musculaire a lieu même en l'absence de circulation. Ces expériences étant faites à l'air atmosphérique, nous avons pensé que ce phénomène était sous la dépendance de la respiration élémentaire du muscle, dû par conséquent aux échanges, pouvant se produire entre le tissu musculaire et

l'oxygène de l'air. L'expérience a pleinement confirmé notre hypothèse.

Pour vérifier notre hypothèse, nous avons fait deux séries d'expériences, dans une première série nous avons fatigué des muscles de grenouilles dans l'eau bouillie ; dans l'autre, nous avons expérimenté dans l'hydrogène.

*Expérience du 15 décembre 1895.* — Une grenouille pesant 45 gr. est préparée comme dans les expériences précédentes : système nerveux central détruit et cœur enlevé. On la fixe sur une planchette de liège et on la place dans un cristalliseur contenant de l'eau bouillie recouverte d'une épaisse couche d'huile. On excite le sciatique pour avoir des contractions isolées du gastrocnémien. On arrive jusqu'à l'épuisement complet. On laisse reposer pendant 40 minutes. Au bout de ce temps on recommence à exciter la grenouille avec des courants de même intensité. Pas de contractions. On laisse encore reposer et on excite de nouveau. L'immobilité de la patte est complète.

*Expérience du 9 décembre.* — On recommence la même expérience avec une grenouille de 50 grammes. Mêmes résultats. Pas de réparation. Cette même grenouille exposée à l'air donne des contractions très énergiques.

*Expérience du 20 décembre.* — Mêmes résultats obtenus en excitant la patte entière d'une grenouille.

Nous croyons inutile de décrire toutes nos expériences. Le résultat était invariablement le même.

*Expérience du 11 décembre (Hydrogène).* — Une grenouille anémiée est fixée à une planchette de liège et introduite dans une cloche, dont les bords enduits de vaseline pour empêcher la pénétration de l'air reposent sur un support en verre. La partie supérieure de la cloche est fermée par un bouchon en caoutchouc présentant trois ouvertures ; par la première passe un tube en caoutchouc communiquant avec un appareil fournissant incessamment de l'hydrogène (zinc et acide sulfurique) ; ce tube avant de pénétrer dans la cloche passe par un flacon contenant de la potasse caustique pour retenir les traces d'arsenic que l'hydrogène pourrait contenir ; ce tube pénètre jusqu'au fond de la cloche et se trouve presque en contact immédiat avec la grenouille. Par la seconde ouverture ménagée dans le bouchon de la cloche pénètrent les fils conducteurs de l'appareil électrique terminés par des électrodes excitatrices en forme de crochet qui maintiennent solidement le nerf sciatique de la grenouille. Le muscle gastrocnémien est en partie recouvert par la peau pour éviter le dessèchement et ainsi que le nerf, protégé par du papier imbibé de solution physiologique. Enfin, par la troisième ouverture du bouchon sort un tube de dégagement pour l'air de la cloche et pour l'excès d'hydrogène. Dans ces conditions, avant de commencer à exciter la grenouille, on fait passer dans la cloche un fort courant d'hydrogène afin de chasser complètement l'air qu'elle pourrait contenir. On excite la grenouille jusqu'à épuisement complet. On laisse reposer 1/2 heure. Au bout de ce temps on reprend les excitations. Pas de contraction. On attend encore quelque temps.

La patte reste immobile, n'est plus excitable.

Il est impossible d'invoquer dans cette expérience l'action nuisible de l'hydrogène, puisque l'autre patte de la grenouille quoique plongée dans l'hydrogène en même temps que la première, est demeurée par-

faitement excitable. 24 heures après l'expérience on trouva la patte fatiguée la veille en rigidité cadavérique, tandis que l'autre était encore excitable.

Cette expérience répétée une trentaine de fois a toujours donné le même résultat, ce serait donc s'exposer à des redites que de les décrire toutes. Mentionnons cependant pour être exacte, que deux ou trois fois après épuisement complet et repos la patte s'est encore légèrement contractée, mais alors nous avons pu toujours constater que le débit d'hydrogène n'était pas suffisant, et après avoir changé d'appareil et l'avoir remplacé par un autre plus considérable, nous n'avons jamais remarqué rien de semblable.

Un fait digne de remarque, c'est qu'une grenouille anémiée se fatigue dans l'hydrogène beaucoup plus vite que si elle est à l'air et cette différence nous a même paru assez considérable ; elle donne à peine les deux tiers du travail d'une grenouille à l'air.

En outre, une grenouille non anémiée fatiguée dans l'hydrogène répare sa fatigue, mais moins bien qu'à l'air.

Toutes ces expériences démontrent nettement que l'apport de l'oxygène est indispensable pour la réparation de la fatigue.

On pourrait même tenter d'établir une espèce d'échelle basée sur la rapidité avec laquelle survient la

fatigue et la lenteur de la réparation, et dire, qu'un muscle normal (c'est-à-dire, chez un animal qui respire et possède par conséquent du sang oxygéné) à l'air se fatigue tardivement et se répare facilement; vient ensuite le muscle d'un animal ne respirant pas (avec moelle sectionnée), recevant donc une quantité minime d'oxygène par la circulation, mais l'empruntant à l'air ambiant : en 3<sup>me</sup> lieu le muscle avec circulation mais placé dans l'hydrogène ; enfin un muscle sans circulation et placé dans l'hydrogène ne se répare pas.

Cette division ne correspond-elle pas à la quantité disponible d'oxygène ?

Si l'oxygène est jusqu'à ce point indispensable aux manifestations de l'activité musculaire, comment expliquer, qu'un muscle privé de circulation et placé dans l'hydrogène se contracte tout de même et dégage de l'acide carbonique. Pour l'expliquer, il faut admettre avec Verworn, qu'un muscle anémié n'est pas complètement dépourvu d'oxygène ; il est vraisemblable que dans le sarcoplasma existe une certaine quantité d'oxygène, pouvant être utilisé lors des phénomènes d'oxydation, s'accomplissant pendant le travail musculaire. Cet oxygène formerait une combinaison avec la substance contractile. D'ailleurs on a retrouvé de l'hémoglobine dans les muscles de

certain animaux inférieurs, qui n'en possèdent pas dans le sang. Si ce point de vue est exact, il n'y aurait rien de surprenant dans le fait, qu'un muscle puisse vivre et se contracter pendant un certain temps dans l'hydrogène jusqu'à ce qu'il épuise sa réserve d'oxygène.

3). *Cette réparation ne s'effectuant pas dans l'hydrogène a lieu lorsqu'on introduit de l'oxygène sous la cloche.*

*Expérience du 8 janvier 1896.* — Une grenouille de 35 gr. est préparée comme dans les expériences précédentes (centres nerveux détruits et cœur enlevé) à 1 heure et demi. Aussitôt on la place dans la cloche, où l'on fait passer un fort courant d'hydrogène. A 2 heures la patte entière gauche commence à être excitée par l'intermédiaire du sciatique jusqu'à épuisement complet par des courants induits assez fréquents et d'intensité moyenne. A 2 heures et demi la patte est complètement épuisée, ne se contracte plus. On cesse alors d'introduire l'hydrogène et on laisse entrer l'air atmosphérique sous la cloche.

Après 15 minutes on observe quelques légères contractions. Immédiatement, sans toucher à la grenouille on introduit de l'oxygène par le même tube qui avait servi auparavant à l'entrée de l'hydrogène. Ce tube est mis en communication avec une cornue où l'on chauffe du chlorate de potasse.

Trois minutes après, la grenouille commence à se contracter assez énergiquement pour des excitations de même intensité. Les contractions deviennent de plus en plus fortes, proportionnellement à la quantité d'oxygène introduit. A

3 heures et demi elles sont très énergiques, la patte entière tressaute à chaque passage du courant.

*Expérience du 10 janvier.* — Pour être à l'abri du reproche, que c'est l'élément *temps* qui intervient, et que l'oxygène devient efficace parce qu'on a attendu plus longtemps, nous laissons reposer une grenouille dans l'hydrogène pendant 1 heure et demi. Les résultats sont absolument les mêmes : les excitations, infructueuses dans l'hydrogène, donnent encore des contractions dans l'oxygène au bout de ce temps.

*Expérience du 15 janvier.* — Pour avoir des tracés de cette réparation dans l'oxygène, nous avons cru pouvoir utiliser le myographe à transmission de Marey, mais cet appareil ne fonctionnant pas dans l'hydrogène, nous avons adoptée la disposition suivante, que nous devons à l'obligeance de M. Athanasiu : l'appareil restant le même, on relie par un fil le tendon du gastro-cnémien à une membrane en caoutchouc, fixée à la partie inférieure d'un petit cylindre en verre rempli d'eau : la partie supérieure du cylindre communique avec un tube en caoutchouc qui ressort par une quatrième ouverture ménagée dans le bouchon et vient aboutir à un tambour inscripteur. De cette façon chaque mouvement du muscle ébranle la colonne d'eau contenue dans le cylindre et cet ébranlement se propage à l'air contenu dans le tube. Grâce à cette disposition, nous avons pu obtenir des tracés, dont nous reproduisons un exemple (fig. 4).

Cette expérience a été répétée un nombre considérable de fois.

## CHAPITRE III

### LES PHÉNOMÈNES DE GLYCOLYSE DANS LES MUSCLES

On sait que d'après Chauveau le travail musculaire n'emprunte rien de l'énergie qu'il dépense aux matières albuminoïdes des humeurs et des éléments anatomiques de l'organisme, mais que c'est à l'état d'hydrates de carbone que le muscle en travail consomme le potentiel qui est la source immédiate de son activité, et cette consommation n'est pas autre chose qu'une combustion totale (Compt. rend. de l'Académie des sciences, nombreuses communications 1896). Seul le travail d'usure donne lieu à des excréta azotés, et c'est la nécessité de ce travail de réparation de nos tissus qui explique l'immense importance de l'azote alimentaire (*La vie et l'énergie chez l'animal*).

Remarquons en passant que cette théorie n'est nullement en contradiction avec les découvertes récentes du professeur Gautier, qui sont venues jeter un jour tout nouveau sur le rôle de l'oxygène dans

les phénomènes de la vie. En effet, si dans une première phase de son activité la cellule fonctionne à l'abri de toute intervention de l'oxygène, à cette première phase essentiellement anaérobie en succède un autre, dans laquelle la destruction des substances ternaires dérivées de la desassimilation anaérobie des albuminoïdes ou provenant directement de l'alimentation) a lieu grâce à un phénomène d'oxydation et c'est cette destruction aérobie qui est la source productrice d'énergie sensible et de chaleur. Dans cette seconde phase le glycogène se transforme en glycose (principalement dans le foie et dans les muscles) et celui-ci est oxydé graduellement dans le sang et transformé en produits de plus en plus simples.

Cette disparition du glycose dans le sang a lieu grâce à l'intervention d'un ferment glycolytique (Lépine) appartenant à la classe des ferments solubles ou diastases ; un kilogr. de sang de chien extravasé fait disparaître en 24 heures à 38° jusqu'à 8 grammes de glycose. Pendant le travail musculaire le glycose est brûlé dans les capillaires sanguins qui traversent le muscle et fournit en majeure partie l'énergie mécanique développée pendant sa contraction (Chauveau).

En même temps le glycogène des muscles disparaît.

Nous inspirant de ces idées nous avons voulu rechercher si la fibre musculaire même (privée de sang) possédait un pouvoir glycolytique, si elle avait le pouvoir de brûler le sucre avec lequel on l'aurait mise en contact. Nous passons bien entendu complètement sous silence la nature si discutée des ferments solubles.

Dans nos expériences nous avons commencé par débarrasser les muscles du sang qu'il contenaient au moyen du lavage par une solution de chlorure de sodium à 7 0/00. Pour rechercher le pouvoir glycolytique des muscles (privés de sang) nous avons eu recours à deux procédés. La première méthode, que nous devons à notre maître M. le professeur Richet et nous saisissons l'occasion de lui exprimer notre profonde reconnaissance pour les précieux conseils qu'il n'a cessé de nous prodiguer pendant toute la durée de ce long travail, la première méthode consiste à faire des expériences de longue durée, mais en employant une substance anti-putride pour éviter les phénomènes de décomposition. La seconde, que nous avons empruntée à Lépine (compt. rend 1895 et Archives de méd. exper. 1895) consiste à faire des expériences de courte durée avec toutes les précautions aseptiques possibles. C'est ce dernier procédé

qui a permis à Lépine de déterminer le pouvoir glycolytique du pancréas et de la salive.

Voici nos expériences :

*Expérience I.* — On sacrifie un chien de taille moyenne. Une canule introduite dans la carotide laisse écouler le sang au dehors ; lorsque l'hémorrhagie cesse, on procède au lavage des organes par la circulation artificielle d'une solution de sel marin à 7 0/00. A cet effet on introduit une canule dans l'aorte thoracique et on fait passer un courant de solution physiol. sous pression ; le liquide traverse tout le système circulatoire et ressort par une veine périphérique qu'on ouvre avec un scalpel. On fait ainsi passer 40 litres de liquide.

Lorsque l'eau qui s'écoule au dehors est devenue complètement incolore, on arrête le courant.

On enlève 750 gr. de tissu musculaire aux membres postérieurs de l'animal. Les muscles sont finement broyés avec une certaine quantité d'eau. On sépare par expression dans un linge les fibres musculaires d'avec l'extrait.

Il reste 600 gr. de fibres et 400 cent. cubes d'extrait. On fait des fibres quatre parties égales, dont chacune est introduite dans un ballon en verre ; on prépare une solution de glycose contenant 75 centigr. de glycose par 200 cent. cubes ; on ajoute à chaque ballon 200 cent. cubes de cette solution. Quant aux 400 cent. cubes d'extrait musculaire, ils sont mélangés avec leur volume d'eau contenant 3 gr. de glycose ; le tout est divisé en quatre parties égales et chacune est introduite dans un ballon. A chacun de ces huit ballons on ajoute 5 0/00 de fluorure de sodium. Chaque ballon contient donc 75 centigr. de glycose.

2 ballons (un avec fibres, l'autre avec extrait) sont mis dans la glace.

2 ballons sont immédiatement bouillis à l'autoclave.

A 2 ballons on ajoute un peu d'éther.

2 ballons sont laissés intacts.

Tous sont bouchés avec des tampons d'ouate.

Les ballons des trois dernières catégories sont portés à l'étuve (38°) où ils séjournent pendant 24 heures. Les deux premiers ballons sont plongés dans la glace fondante pendant le même temps.

Au bout de 24 heures on fait bouillir le contenu de ces huit ballons avec un excès de sulfate de soude ; on filtre ; on réduit la quantité de liquide de chaque ballon à 500 cent. cubes et on procède au dosage du sucre. Nous nous sommes servie pour le dosage de la liqueur de Fehling ferrocyanurée (2 gr. de ferrocyanure de potassium pour 100 gr. de liqueur de Fehling) exactement titrée à 0,05 de glycose pour 10 cent. cube de réactif.

Si le ferment glycolytique existe dans le muscle, nous devrions trouver une diminution de glycose dans le ballon porté directement à l'étude sans avoir été bouilli et sans éther les ferments solubles étant surtout actifs à 38°), tandis que dans le ballon bouilli immédiatement, de même que dans celui contenant de l'éther et celui mis dans la glace, la quantité de sucre devrait rester la même (les ferments solubles perdant leurs propriétés à une température voisine de 100 et de 0 degrés et l'éther arrêtant leur action). Voici les résultats obtenus : la quantité de glycose est restée sensiblement la même dans chaque ballon (variations négligeables).

Fibres musculaires		Extrait musculaire	
Glace	0,7432	Glace	0,7421
Antoclave	0,7451	Antoclave	0,75
Ether	0,7392	Ether	0,7495
Sans éther	0,7463	Séther.	0,7482

*Expérience II.* — Les muscles sont préparés comme dans l'expérience précédente. On ne se sert que de l'extrait musculaire obtenu par expression de 800 gr. de fibres. On obtient 400 cent. cube d'extrait ; cette quantité est mélangée avec son

volume d'eau contenant en solution 5 gram. de glycose. Ces 800 gr. de liquide sont divisés en 4 parties égales. Dans chaque ballon se trouve donc 1 gr. 25 de glycose. On ajoute 5  $\frac{0}{100}$  de fluorure de sodium.

1<sup>er</sup> ballon bouilli immédiatement à l'autoclave (120°).

Les 3 autres sont portés à l'étuve (38°) ; le premier d'eux y séjourne 1 heure 1/2, le second 22 h., le troisième 66 heures.

Le dosage donne les résultats suivants :

Autoclave 1,233 gr. de glycose.

Etuve 1 heure 1/2 1,23

Etuve 22 heures 1,20

Etuve 66 heures 1,26

} moyenne 1,23

Ici encore les différences des chiffres étant insignifiantes, on peut conclure, que les quantités de glycose n'ont pas varié.

*Expérience III* (2<sup>e</sup> procédé). — Un chien est lavé avec 50 litres de solution physiologique.

On emploie toutes les précautions aseptiques ; les ballons ont été aseptisés à l'autoclave, les muscles sont broyés aseptiquement. On n'emploie que deux ballons ; on introduit dans chacun d'eux 50 gr. de muscles avec 100 cent. cube d'extrait musculaire. Le premier ballon est immédiatement bouilli, le second non bouilli, tous deux portés à l'étuve, où on laisse macérer les muscles pendant 2 heures. Au bout de ce temps on ajoute à chaque ballon 50 centigr. de glycose dissous dans 20 cent. cubes d'eau et on les remet à l'étuve encore pendant 1 heures (les ferments solubles agissant très rapidement). On fait immédiatement bouillir avec du sulfate de soude, on filtre et on procède au dosage.

On retrouve dans les deux ballons 50 centigr. de glycose à peu de chose près.

*Conclusions.* — Ayant fait près de 300 dosages nous avons presque constamment obtenu le même résultat, ce qui nous permet de conclure, que dans les conditions de nos expériences *le pouvoir glycolytique du muscle (privé de sang) s'est montré nul.*

Ce résultat intéressant à un point de vue général, n'est cependant nullement en contradiction avec les phénomènes de glycolyse pouvant se passer dans le muscle normal, recevant du sang au moyen de la circulation et peut-être même avec des phénomènes de même ordre pouvant s'accomplir dans un muscle détaché du corps, mais contenant du sang dans ses capillaires, les ferments solubles paraissant agir à des doses extrêmement faibles.

## CHAPITRE IV

### L'ACTION DE QUELQUES SUBSTANCES DE LA DÉSASSIMILATION SUR LA FATIGUE DU MUSCLE.

Bien des considérations sembleraient prouver que la fatigue n'est pas due à l'inanition. Il est d'observation vulgaire, qu'après une grande fatigue, c'est, avant tout, le repos que nous recherchons, la prise des aliments n'intervenant qu'en second lieu. *Le temps* est nécessaire pour que la réparation puisse s'effectuer. Sans nier le rôle important de l'inanition il faut admettre qu'un autre facteur de premier ordre, sinon prépondérant intervient dans les phénomènes de la fatigue. Nous avons vu plus haut, qu'une patte de grenouille fatiguée jusqu'à épuisement complet par des excitations électriques, pouvait être rendue capable d'une nouvelle série de contractions par un simple lavage, c'est-à-dire par le passage d'eau salée par l'artère principale du membre. Il semblerait donc, que dans ce cas l'eau salée agi-

rait en entraînant au dehors les substances toxiques produites pendant le travail du muscle. Une autre expérience est encore plus démonstrative : Ranke fit l'injection de l'extrait aqueux d'un muscle qui avait travaillé dans un muscle frais et vit diminuer son aptitude au travail. De même Mosso trouva, que le sang d'un animal fatigué est toxique ; injecté à un autre animal, il produit les phénomènes de la fatigue. Dans ces expériences, Mosso s'était servi d'un chien fatigué jusqu'à épuisement dans une roue tournante.

D'après Mosso, la fatigue est généralement précédée d'une période d'excitation ; or, presque toutes les substances toxiques qui paralysent les éléments nerveux et les fibres musculaires commencent d'abord par les exciter. De même après la mort, la diminution de contractilité est précédée d'une période d'augmentation. Il y a donc une certaine analogie entre l'action des poisons et celle des produits de la fatigue.

Ces substances sont-elles les mêmes que celles produites normalement par l'organisme ou sont-elles différentes ? Dans le premier cas on pourrait supposer que dans les conditions de la vie ordinaire elles sont brûlées au moyen de l'oxygène du sang, détruites dans le foie et dans d'autres glandes

de l'organisme et éliminées par le rein, tandis que pendant la fatigue elles se trouvent en excès dans l'organisme, souillent le milieu avec lequel elles se trouvent en contact et agissant d'une manière paralysante sur les éléments contractiles.

Mais il se pourrait, que les produits de la fatigue différent non seulement au point de vue quantitatif mais aussi au point de vue qualitatif de ceux qui sont fabriqués normalement dans l'organisme. Mosso croit que le muscle ne consomme pas dans ses premières contradictions les mêmes substances que quand il est fatigué ; de même dans le jeûne, nous consommons le premier jour des matériaux qui sont complètement différents de ceux que nous empruntons à nos tissus dans les derniers jours de l'inanition. Si ce point de vue est exact, les substances de la désassimilation pourraient différer dans les deux cas.

Quoiqu'il en soit, jusqu'à présent on ne sait rien de précis sur ces substances toxiques qui engendrent la fatigue et il n'est permis que de faire des hypothèses.

Donc, sans rien préjuger sur la nature de ces substances, nous avons cru contribuer à leur détermination en employant la méthode suivante : prenant des grenouilles comme sujets d'expériences

parce qu'elles présentent l'avantage de rester très longtemps excitables après la destruction des centres nerveux, nous leur avons injecté sous la peau diverses substances de la désassimilation et nous avons étudié leur action sur la courbe de la fatigue. En effet, parmi ces substances les unes se sont montrées paralysantes, ont accéléré la fatigue du muscle, tandis que pour les autres nous avons observé des phénomènes inverses ; augmentation de l'excitabilité et retard de la fatigue. Enfin, certaines d'entre elles ont augmenté sensiblement la résistance à la fatigue, sans donner de contractions plus fortes, tandis que pour les autres il y avait excitation au début de l'action, mais excitation très fugace et la fatigue est survenue aussi tôt que normalement.

On a beaucoup étudié l'action des substances toxiques sur l'organisme, mais dans ce genre de recherches on s'est principalement efforcé à déterminer les doses toxiques mortelles ou amenant des désordres graves dans l'organisme. Ainsi par exemple on a trouvé que l'urée, même en quantité très notable était inoffensive pour l'organisme (Bouchard), mais on s'était placé au point de vue des troubles mortels engendrés par l'urémie. Notre point de vue a été totalement différent. Nous avons employé des quantités peu considérables des substances, en nous rappro-

chant autant que possible des quantités qui normalement peuvent se rencontrer dans l'organisme et nous les avons étudiées uniquement quant à leur influence sur la courbe de la fatigue. Cette étude est à peine ébauchée ; actuellement nous n'avons expérimenté que l'action de plusieurs substances et nous comptons compléter ces recherches dans l'avenir.

Notre raisonnement a été le suivant : en expérimentant un nombre considérable de substances de la desassimilation et en étudiant leur action sur la fatigue, nous éliminerons forcément de ce cadre celles parmi elles qui produisent une augmentation de l'excitabilité et un retard dans la fatigue, et parmi les substances paralysantes nous n'envisagerons que celles qui agissent à *des doses* qui se rapprochent de celles qui se trouvent normalement dans l'organisme. De cette manière, il ne nous restera qu'un nombre très restreint de substances et celle qui nous paraîtront le plus intéressantes seront l'objet d'une étude plus détaillée et plus minutieuse. En voulant mettre notre plan en exécution, nous avons été arrêtée par une difficulté. Pour pouvoir étudier l'action d'une substance quelconque sur la courbe de la fatigue, il faudrait posséder la courbe type de la fatigue d'un muscle normal. Or ceci est impossible, vu les différences individuelles énormes qui

existent entre les grenouilles relativement à leur énergie musculaire et dont nous avons déjà parlé dans un autre chapitre.

Pour obvier à cet inconvénient nous avons dû prendre pour chaque grenouille en particulier deux tracés de la fatigue, un tracé de la fatigue normale pris d'un côté (gastrocnémien gauche par exemple), puis après un certain temps de repos nous injections la substance en question sous la peau du dos et nous prenions le tracé de la fatigue du côté opposé (gastrocnémien droit par exemple).

Puisque deux à trois heures après la destruction du système nerveux central de la grenouille la perte de contractilité est minime, nous l'avons considérée comme quantité négligeable.

Nous avons eu encore une difficulté à surmonter. Nous avons déjà attiré l'attention sur ce fait, que les deux pattes postérieures d'une même grenouille ne se comportent pas d'une façon absolument égale à l'égard de la fatigue, généralement c'est le côté droit qui est un peu plus fort, Nous avons recherché si cette différence entre la force des deux pattes n'était pas une constante, dans ce cas on pourrait la calculer facilement.

Le côté droit se fatigue un peu moins vite et donne des contractions un peu plus fortes que le côté gau

che, donc les deux courbes de la fatigue (celle du côté droit et celle du côté gauche) ne sont pas parallèles entre elles, mais prolongées par la pensée forment un certain angle. Si la différence était

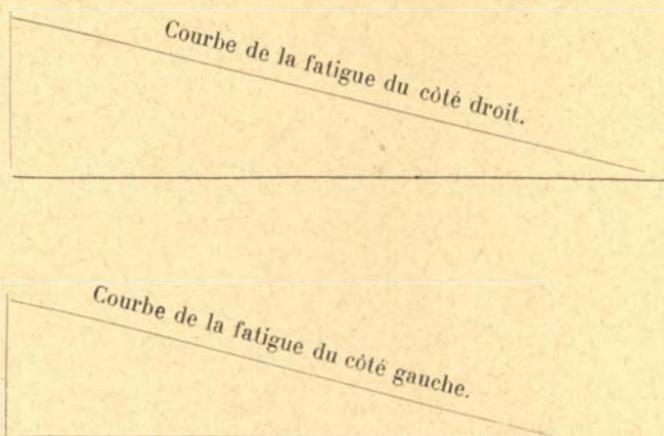


Figure schématique de la courbe de la fatigue du côté gauche et du côté droit.

une constante, cet angle devrait être toujours le même. Mais l'expérience nous a démontré qu'ici encore, les différences individuelles étaient très grandes, donc impossibilité absolue d'en déduire une loi quelconque. Cependant dans ces recherches de précision la moindre variation dans l'énergie de contraction pourrait facilement induire en erreur. Nous avons donc été obligée de recourir

à l'artifice suivant : pour les substances qui nous ont donné une augmentation d'énergie, pour être sûre de nos résultats nous avons commencé par prendre le tracé normal du côté droit (le plus fort) ; nous injectons la substance ; et ce n'est qu'après avoir obtenu un accroissement de force du côté gauche (normalement le plus faible), que nous avons été en droit de conclure, que la substance en question produisait un effet excitant réel. Nous avons fait l'inverse pour les substances déprimantes.

Après nous être assurée que l'injection d'un centimètre cube d'eau distillée ne produisait aucun effet sur une grenouille de taille moyenne, nous avons procédé à nos expériences. Les substances injectées étaient toujours dissoutes dans la même quantité d'eau (soit 1/2 ou 1 centim. cube). Les courants de rupture étaient obtenus grâce à un appareil électromagnétique que nous devons à l'obligeance de M. Langlois.

*Expériences avec l'urée. — Expérience I.* — On détruit le cerveau et la moelle à une grenouille de 20 gr. Après une demi-heure de repos on excite le gartrocnémien gauche avec 2 piles Grenet actionnant un chariot de Gaiffe. Poids en charge 20 gr. Une excitation toutes les 3 secondes. Epuisement au bout de 12 minutes. On laisse reposer 15 minutes et on injecte 2 centigr. et demi d'urée dans la peau du dos. Après 10 minutes, on excite le côté droit. Les contractions sont

sensiblement plus faibles dès le début et la fatigue est complète au bout de 10 minutes.

*Expérience II.* — Grenouille de 30 gr. On injecte 1 centigr. d'urée. A cette dose on observe une légère diminution dans la force musculaire.

*Expérience III.* — A la dose de un demi centigr. l'urée est inactive pour une grenouille de 38 gr.

*Conclusions.* — Ces expériences sembleraient prouver qu'uniquement des doses d'urée extrêmement fortes pour une grenouille exercent une action déprimante, tandis que les doses moyennes ne produisent pas d'effet. D'après Bouchard 1 kilogr. d'homme fabrique en 24 h. 33 centigr. d'urée.

*Expériences avec le carbonate d'ammoniaque.* Grenouille de 15 gr. 2 piles Lalande, distance des bobines 10, poids en charge 30 gr., 20 excitations à la minute. On procède comme précédemment. Premier tracé normal du côté droit; fatigue survenue au bout de 12 minutes. On injecte 2 centigr. et demi de carbonate d'ammoniaque. Le tracé du côté gauche obtenu après l'injection est doublé comme hauteur et comme longueur.

*Expériences avec le carbonate de soude.* — Le carbonate de soude à la dose de 5 centigr. pour une grenouille de 23 gr. produit une légère augmentation d'excitabilité. Le tracé obtenu après l'injection n'est pas plus long que le tracé obtenu avant, mais les contractions de son premier tiers sont sensiblement plus hautes et la courbe de la fatigue au lieu d'être une ligne droite, se présente sous l'aspect d'une ligne très convexe.

*Expériences avec le carbonate de potasse.* — Expé-

*rience 1.* — Grenouille de 20 gr. Poids en charge 15 gr. 20 excitations à la minute. Distance des bobines 15. 2 éléments Lalande. Premier tracé du côté droit, la fatigue survient au bout de 7 minutes. On injecte 2 centigr.  $1/2$  de carbonate de potasse. Second tracé du côté gauche obtenu après l'injection. L'excitabilité est notablement augmentée ; les contractions dès le début sont beaucoup plus hautes et se maintiennent longtemps à un niveau élevé ; la fatigue survient au bout de 15 minutes.

*Expérience 2.* — On injecte 5 centigr. de carbonate de potasse à une grenouille de 25 gr. L'augmentation d'excitabilité est encore plus accusée que dans l'expérience précédente ; la longueur du tracé est deux fois plus longue que normalement et les contractions trois fois plus hautes.

*Expérience 3.* — On injecte  $71/2$  centigr. de carbonate de potasse à une grenouille de 25 gr. L'effet est presque égal à celui que produisent  $21/2$  centigr, c'est-à-dire que la hauteur des contractions est devenue double de ce qu'elle était précédemment, mais ne se maintient pas longtemps à ce niveau et la fatigue arrive tout aussi vite que celle du côté opposé.

*Expérience 4.* — On injecte 10 centigr. de carbonate de potasse à une grenouille de 29 gr. Premier tracé obtenu par l'excitation du gastrocnémien gauche pendant 25 minutes. Quand au second tracé, la paralysie est presque complète, le muscle se contracte pendant 5 minutes et donne des contractions très faibles dès le début.

*Conclusions.* — Le carbonate de potasse n'agit d'une manière paralysante qu'à des doses énormes de 10 centigr. (ou un peu audessous) pour une grenouille de 20 à 25 gr.

*Expériences avec la neurine. Expérience 1.* — Grenouille de 25 grammes. 2 piles Grenet. Chariot de Gaiffe, intensité maximum. Une excitation toutes les trois secondes. Premier tracé (côté gauche) obtenu en excitant le gastrocnémien pendant 30 minutes (voir fig. 2). On injecte 2 milligrammes de neurine. Second tracé obtenu après l'injection. On voit nettement la diminution de l'excitabilité et la fatigue survenant au bout de 20 minutes (fig. 3).

*Expérience 2.* — Avec 1 milligramme de neurine on obtient un résultat presque égal à celui obtenu avec 2 milligrammes.

*Expérience 3.* — La neurine nous ayant paru particulièrement intéressante, nous avons tâché de déterminer à quoi tenait la paralysie obtenue, était-elle due à une action sur le système nerveux ou bien à une action sur la fibre musculaire même. A cet effet nous *neurinisons* une grenouille (d'après le procédé de Cl. Bernard pour le curare), On détruit le cerveau à une grenouille de 20 grammes en laissant la moelle intacte. On lie la patte droite au-dessous du nerf sciatique. On injecte 2 milligramme de neurine sous la peau du dos. On découvre les nerfs sciatiques des deux côtés. On excite les nerfs avec des courants induits à des intervalles éloignés pour ne pas produire de fatigue. 20 minutes après l'injection légère parésie du côté non lié.

22 m. après la parésie de la patte non liée s'accroît.

30 m. après la patte non liée ne répond presque plus (excitation du nerf).

40 m. après. L'excitation du nerf de la patte non-liée ne donne plus de contraction. L'excitation directe du muscle donne encore quelques contractions fibrillaires, mais pas de mouvements en masse de la patte. La patte liée commence à se parésier légèrement.

50 m. après. Pas de changement notable.

La patte non-liée réagit encore faiblement lorsqu'on excite directement les muscles. L'excitation du nerf est complètement inefficace, 1 heure après La patte non-liée est totalement inexcitable (excitée directement ou indirectement). La patte liée excitée par l'intermédiaire du nerf donne des contractions beaucoup plus faibles que celles du début.

1 heure 20 m. Le nerf du côté lié n'est plus excitable, mais le muscle l'est directement.

1 heure 30 m. Mêmes phénomènes. L'excitabilité directe du muscle est conservée. Le cœur bat encore.

*Expérience 4.* — La neurine à la dose de 4 milligr. est mortelle pour une grenouille de 30 gr.

La mort survient au bout d'une heure.

La perte d'excitabilité parcourt les mêmes phases que dans l'expérience précédente.

*Conclusions.* — Il semblerait résulter de ces expériences que la neurine n'agit que très faiblement sur l'irritabilité de la fibre musculaire.

*Expériences avec le sérum du sang.* — Quoique l'action du sérum ne devrait pas trouver sa place dans ce chapitre, nous ne pouvons nous empêcher d'en dire quelques mots à cause des résultats très nets obtenus. Le sérum de chien injecté à une grenouille exerce une action très excitante, la contractibilité est très notablement accrue.

*Expérience 1.* — Côté droit avant l'injection est excité pendant 10 minutes (voir fig. 5)

On injecte 1/2 cent. cube de sérum de chien (grenouille de 18 gr).

Les contractions obtenues après l'injection (côté gauche) sont deux fois plus élevées que précédemment (fig. 6), mais cette action est fugace, la fatigue n'est pas retardée.

*Expérience 2.* — Dans les mêmes conditions on injecte 1 cent. cube de sérum. L'effet est encore bien plus saisissant. Le tracé après l'injection est doublé comme hauteur et comme longueur, la courbe de la fatigue présente une ligne légèrement convexe.

## CONCLUSIONS

1) La courbe de la fatigue d'un muscle de grenouille est une ligne droite pour des excitations électriques de forte, moyenne et faible intensité.

2) La courbe de la fatigue est également une ligne droite pour un muscle privé de circulation.

3) La réparation de la fatigue musculaire se fait même en l'absence de circulation (à l'air).

4) La réparation de la fatigue d'un muscle anémié n'a pas lieu dans un milieu privé d'oxygène (eau bouillie ou hydrogène).

5) Cette réparation ne s'effectuant pas dans l'hydrogène a lieu lorsqu'on introduit de l'oxygène sous la cloche ; elle est due par conséquent à la respiration élémentaire du muscle.

6) Un muscle privé de sang et broyé avec de l'eau ne possède pas de pouvoir glycolytique.

7) Parmi quatre substances de la désassimilation injectées expérimentalement à la grenouille pour étudier leur action sur la courbe de la fatigue, il

n'y a que la *neurine* qui ait produit un effet déprimant à une dose peu élevée (1 milligr.). L'urée exerce une action déprimante qu'à la dose de 1 centigr.; le carbonate de potasse qu'à la dose de 10 centigr.; tandis que la carbonate de soude et le carbonate d'ammoniaque ont exercé une action franchement excitante.

## TABLE DES MATIERES

### PREMIÈRE PARTIE.

*Expériences antérieures sur la fatigue et la réparation  
du muscle.*

### DEUXIÈME PARTIE.

*Expériences personnelles.*

<i>Chapitre I.</i> La fatigue du muscle normal . . . . .	20
<i>Chapitre II.</i> Réparation de la fatigue par la respiration élémentaire du muscle . . . . .	23
<i>Chapitre III.</i> Les phénomènes de glycolyse dans les muscles . . . . .	35
<i>Chapitre IV.</i> Action de quelques substances de la dés- assimilation sur la fatigue du muscle . . . . .	42
<i>Conclusions</i> . . . . .	55

## EXPLICATION DES FIGURES

*Figure 1.* — La courbe de la fatigue est une ligne droite (gastrocnémien de grenouille, poids en charge 40 gr. une pile Grenet, chariot de Gaiffe ; une excitation toutes les 3 secondes).

*Figures 2 et 3.* — Expérience avec la neurine. Fig. 2 côté gauche se contracte pendant 30 minutes (avant l'injection). On injecte 2 milligr. de neurine Fig. 3 côté droit après l'injection, se contracte pendant 20 minutes.

*Figure 4.* — La première partie du tracé (de gauche à droite) est prise dans l'hydrogène (grenouille anémiée). La fatigue survient. On laisse reposer pendant 40 minutes. Au bout de ce temps on excite de nouveau. La réparation de la fatigue ne s'effectue pas. On introduit de l'oxygène sous la cloche. La seconde moitié du tracé démontre la réparation de la fatigue dans l'oxygène.

*Figures 5 et 6.* — Expérience avec le sérum. Avant l'injection le gastrocnémien du côté droit se contracte pendant 10 minutes (figure 5). On injecte un demi cent. cube de sérum de chien. L'excitabilité augmente d'une manière sensible (fig. 6 côté gauche après l'injection) mais la fatigue n'est pas retardée.

*Figure 7.* — Réparation de la fatigue du gastrocnémien d'une grenouille anémiée et exposée à l'air. Grâce à un repos d'une demie-heure les contractions redoublent d'intensité et se maintiennent pendant 20 minutes à un niveau élevé.

*Figure 8.* — Fatigue et réparation de la pince d'écrevisse détachée du corps et exposée à l'air. Après une demi heure de repos les contractions ont acquis une hauteur considérable et la fatigue est lente à venir.



Fig. 1.



Fig. 2.



Fig. 3.



Fig. 4.



Fig. 5.



Fig. 6.



Fig. 7.



Fig. 8.











