

par seconde pour la vitesse du courant nerveux sensitif. Ses expériences contestées, mais non réfutées n'ont pas été infirmées expérimentalement, et ses résultats numériques demeurent seuls debout, car tous les autres, sans exception, relèvent de la méthode de Schelske.

La différence considérable qui existe entre la vitesse de la vibration nerveuse et celle de la vibration électrique dans les fils métalliques, a été invoquée pour différencier ces deux vibrations. Mais cet écart est loin d'être aussi considérable qu'on le supposait, la conduction électrique dans les conducteurs organiques est très lente (Beaunis), et l'on peut arriver à ralentir considérablement la propagation de l'électricité (d'Arsonval).

De l'irritabilité et de l'excitabilité du nerf. — Nous n'avons pas à revenir ici sur la différence entre l'irritabilité et l'excitabilité.

L'irritabilité est la propriété fondamentale du nerf comme de tout tissu vivant ; l'excitabilité est la mesure du degré de l'activité nerveuse.

Sur beaucoup de points, les nerfs se conduisent comme les muscles. Il est donc inutile d'insister et de répéter ce qui a été dit à propos des muscles.

Le nerf est irritable par lui-même, indépendamment du sang qu'il contient et de ses connexions avec toute autre partie du système nerveux.

Quand on coupe un membre, on peut constater que, pendant un certain temps, les filets nerveux de ce membre, excités par un courant électrique déterminent des contractions musculaires. Chez les animaux à sang chaud, cette résistance du nerf est assez courte. Brown-Séguard a vu chez les lapins la sensibilité persister environ vingt-deux minutes, trente-deux minutes chez le chien, quarante-cinq minutes chez le cobaye (deux heures même chez le lapin Richet). On peut observer cette insensibilité en faisant sur soi-même l'anémie

d'un membre au moyen de la bande d'Esmarch, si employée en chirurgie dans l'amputation des membres. Quand la bande de caoutchouc a été fortement appliquée depuis l'extrémité périphérique du membre et que le lien constricteur est établi solidement, la sensibilité et la motilité volontaire disparaissent au bout d'une demi-heure. Mais cette expérience est réellement douloureuse, car les nerfs, obéissant en cela à une loi générale avant de perdre leur excitabilité, passent par une phase d'hyperirritabilité, quand on sectionne un nerf, ou quand, comme dans le cas précédent, on anémie ce nerf.

Le nerf répond alors à des excitations plus faibles que lorsqu'il était dans les conditions normales, et le fait est constant, qu'il s'agisse de nerfs des animaux à sang chaud, ou des animaux à sang froid ; la durée des phases seule varie. Quand la cause destructive agit lentement, comme dans les lésions pathologiques des nerfs, les mêmes faits sont observés, l'hyperesthésie, que l'on constate chez quelques malades, n'est souvent que le prodrome d'une paralysie consécutive, mais il faut tenir compte, dans ce cas, de l'irritation du tronc nerveux par le processus morbide.

Chez les animaux à sang froid, la vitalité du nerf peut persister plusieurs jours ; cette durée est fonction de la température. En été, le nerf de la grenouille cesse d'être excitable au bout de quelques heures ; en hiver, cette excitabilité persiste trois et même quatre jours. Ici encore nous retrouvons cette loi générale :

La durée de la résistance d'un tissu est certainement liée à la plus ou moins grande activité chimique. Quand la température est basse, les échanges interstitiels sont ralentis, la vie persiste plus longtemps. Au contraire, quand la température est élevée, l'intensité des échanges amène vivement la mort des éléments.

Les nerfs moteurs et les nerfs sensitifs présentent quelques différences :

Cl. Bernard avait admis que le nerf anémié ou sectionné

meurt dans le sens de sa conduction, c'est-à-dire que l'excitabilité (indice de la vie du nerf) va en disparaissant le long du trajet du nerf sensitif de la périphérie aux centres, et inversement pour le nerf moteur. Cette question est loin d'être élucidée. Il faut tenir compte, dans ces recherches, des variations importantes de l'excitabilité que l'on rencontre sur le nerf vivant dans tout son trajet.

Le nerf moteur meurt avant le nerf sensitif. Le fait est facile à établir. Si l'on sectionne la patte d'un lapin en laissant le nerf sciatique seul en connexion avec l'animal, on voit que rapidement l'excitation du tronc nerveux ne donne plus lieu à aucune contraction dans les muscles qu'il innerve, mais que les mouvements généraux de l'animal indiquent que l'excitation centripète est arrivée aux centres. Toutefois, il est fort possible, fort probable même, que, dans ce cas, ce n'est pas la conductibilité du nerf moteur qui est atteinte, mais les terminaisons nerveuses motrices, plaques ou buissons terminaux. Il se produit ainsi une véritable curarisation.

Si l'anémie n'est pas prolongée trop longtemps, l'irritabilité nerveuse peut se réparer. Brown-Séquard a montré dans de nombreuses expériences, que l'on pouvait pousser très loin l'anémie, jusqu'à la perte complète de l'irritabilité et faire revenir le muscle en rétablissant le cours du sang, soit quand l'anémie a eu lieu par compression des vaisseaux, en cessant cette compression, soit sur un membre séparé, en faisant une circulation artificielle avec du sang oxygéné.

On constate généralement, au moment du retour du sang, une hyperexcitabilité surtout de la sensibilité. Il est facile de constater cette phase dans l'expérience citée plus haut de la bande d'Esmarch.

Infatigabilité des nerfs. — Quand on étudie la marche de l'excitabilité d'un nerf au moyen du myographe, on constate après un laps de temps variable avec l'intensité de l'excitation, la durée de la température, que la contraction musculaire

diminue pour disparaître ensuite. Il est évident que le muscle se fatigue ; en est-il de même du nerf ? Ici encore il faut tenir compte de la plaque terminale motrice, qui paraît, elle, être susceptible de se fatiguer. Quant au conducteur, son infatigabilité paraît démontrée par plusieurs expériences.

On curarise un animal, avec la dose minima, en le maintenant vivant par la respiration artificielle et pendant tout le temps que dure la curarisation, on excite, par une série de secousses, un nerf moteur ; quand le curare commence à s'éliminer, on voit les contractions musculaires se produire dans les muscles innervés par le tronc nerveux qui vient de recevoir pendant plusieurs heures des excitations incessantes (Boroditch). Une autre expérience est due à Heidenhain. On excite les deux nerfs sciatiques d'une grenouille par un courant induit, mais sur l'un des nerfs A on arrête la conductibilité par la *section physiologique*. (Nous verrons plus loin que ce procédé consiste à faire passer sur une partie du trajet d'un nerf un courant continu, qui détermine, dans cette portion, un état spécial, dit électrotonique, qui le rend non conducteur). Le gastrocnémien de la patte B non traversée par le courant continu entre en tétanos, et bientôt apparaissent tous les indices de la fatigue. On ouvre alors le courant continu et le gastrocnémien A se contracte immédiatement, bien que son nerf ait reçu jusqu'ici les mêmes excitations que l'autre nerf.

Wedensky a cherché également par des expériences très ingénieuses, si le nerf est absolument infatigable ou si l'on peut saisir le développement lent de cette fatigue. Cette recherche est fort importante, car il faudrait, dans le premier cas, admettre qu'il n'y a pas de dépense de forces vives et que le nerf n'est qu'un simple conducteur. Si, au contraire, un nerf en activité meurt plus vite qu'un nerf au repos, ce serait une preuve de l'activité essentielle du nerf.

Chez un animal à sang chaud on prend le nerf sciatique, on le lave à 33° avec une solution saline à 1 p. 100. Le nerf est transporté à diverses températures dans une chambre humide, avec des électrodes impolarisables pour électriser le nerf et recueillir le courant d'action du nerf par le téléphone ou le galvanomètre.

A mesure que le nerf meurt, le son téléphonique perd sa netteté et présente des bruits différents. On détermine le *seuil* d'irritation, et l'on étudie par le téléphone la vitalité du nerf excité et du nerf témoin.

La vitalité des nerfs *excités* varie de six à quatorze heures,

cela dépend de la température à laquelle on opère, de la narcotisation faite sur l'animal avant l'extirpation des nerfs, et enfin et surtout (c'est le facteur le plus important) du nombre de coupes transversales que l'on fait sur le nerf.

Or, le nerf témoin, qui ne reçoit que des excitations passagères, nécessaires pour constater au téléphone, de temps en temps, sa vitalité, présente le même temps de survie que le nerf qui reçoit des excitations continuelles.

On doit ajouter que lorsque la vitalité commence à s'affaiblir, on ne constate aucune reprise si on laisse le nerf se reposer.

Tous ces faits montrent bien « l'infatigabilité » des conducteurs nerveux.

Influence de la température. — Il a été question plus haut de l'influence de la température sur la durée de la vitalité des nerfs privés de l'apport de sang oxygéné. Mais il est important également de voir quelle influence exerce la température sur l'excitabilité des nerfs vivants. Un premier fait établi, c'est qu'une variation brusque de température constitue un excitant du nerf, un corps froid à 3°, ou un corps chaud à 50° appliqué sur le tronc nerveux détermine une contraction brusque. Sur la grenouille, le nerf paraît atteindre son maximum d'excitabilité vers 20°, mais on peut dire que chez ces animaux la vie du nerf est possible entre 0 et 40°.

Le froid amène l'anesthésie, mais il agit sans doute et surtout sur les plaques terminales. Avant l'emploi de la cocaïne, on utilisait fréquemment le froid produit par l'évaporation de l'éther pour obtenir une anesthésie locale (A. Richet); toutefois les expériences de Waller, de Romberg montrent que le tronc nerveux peut être aussi touché par le froid. En plongeant le coude dans l'eau glacée, on refroidit le tronc du nerf cubital très superficiel à cet endroit et après une certaine phase douloureuse (hyperexcitabilité) on observe l'anesthésie de la région innervée. On a invoqué la même origine pour les paralysies *a frigore* du facial, du radial.

M. Gotch a tout récemment (congrès de Liège, 1892) signalé des différences très remarquables de l'excitabilité des nerfs, quand

on place simplement le tronc nerveux en contact avec un corps à températures différentes.

Sur un chat anesthésié, on sectionne le sciatique, puis on place le bout périphérique de ce nerf sur un tube de verre dans lequel on fait passer alternativement un courant d'eau à 20° et à 5°; suivant la nature de l'excitant, on observe des excitabilités variables pour des températures différentes. C'est ainsi qu'avec un courant d'induction, les mouvements, très nets à 20°, disparaissent quand le nerf est refroidi à 5°. Le phénomène inverse se produit pour les courants galvaniques. Il en est de même pour les excitations mécaniques. En employant des excitants chimiques appliqués directement sur le nerf, on observe une contraction tétanique à la température de 5°, alors que le nerf ne réagit pas quand l'eau qui passe dans le tube de soutien est à 20°.

Excitants chimiques. — En règle générale les troncs nerveux sont peu excitables par les excitants chimiques, mais il n'en est pas de même des terminaisons nerveuses.

Une goutte d'acide dilué appliquée sur la peau d'une grenouille donne lieu à des réactions douloureuses très nettes tandis que mise sur le tronc nerveux, on n'observe aucun phénomène. L'air qui ne paraît pas agir sur le tronc nerveux, est un excitant douloureux des terminaisons cutanées, quand elles ne sont plus protégées par l'épiderme: brûlures, vésicatoire, etc.

Excitants mécaniques. — Un choc brusque, un pincement sur un tronc nerveux détermine une contraction, et en multipliant le choc on peut obtenir le tétanos du muscle. Le *tétanomoteur* de Heidenhain est constitué par un marteau actionné par une roue dentelée qui frappe rapidement le nerf.

En employant des poids tombant d'une hauteur différente sur le nerf, Hallsten a pu montrer que la secousse musculaire obtenue à la suite de chaque excitation était proportionnelle à la hauteur de chute, c'est-à-dire à l'intensité de l'excitation.

L'inflammation est un des facteurs qui augmentant de plus l'excitabilité des nerfs. Certains nerfs mêmes ne sont sensi-

bles que lorsqu'ils sont atteints par ce processus morbide, tels les nerfs viscéraux.

Electricité nerveuse. — Les phénomènes électriques que l'on observe dans les nerfs, présentent une grande analogie avec ceux décrits dans les muscles, nous n'insisterons donc que sur les caractères spéciaux.

Quand on relie la surface d'un nerf avec sa section au moyen d'un circuit galvanométrique, on constate, comme pour le muscle que le courant va de la périphérie à la section, que cette dernière est négative par rapport à la première, le point de savoir si ce courant persiste quand le nerf est au repos a soulevé les mêmes controverses que pour le muscle, inutile de les répéter ici. La force électromotrice des courants observées est plus faible que celle des muscles. Pour les muscles on a trouvé 0,035 à 0,075 volts et pour les nerfs 0,022 à 0,016 volts.

On a signalé l'existence d'un courant nerveux à l'état de repos toujours dirigé dans le sens de la conduction nerveuse ces courants seraient extrêmement faibles (Mendelsohn).

Chaque fois que l'on excite le nerf, son courant électrique propre change de sens, c'est la variation négative de Dubois Raymond, déjà étudiée pour le muscle, ou courant d'action.

L'oscillation négative peut être mise en évidence sur les nerfs comme sur les muscles. Quand on excite un nerf, on voit apparaître immédiatement l'oscillation négative, et, fait important, cette oscillation se transmet dans les deux sens. Or en supposant que l'oscillation négative est déterminée, ou tout au moins est en rapport étroit avec l'état d'activité du nerf, on trouve dans ce fait une nouvelle preuve de la conductibilité du nerf dans les deux sens.

On peut encore étudier ces courants en utilisant le téléphone.

On réunit en faisceau deux ou trois nerfs sciatiques de grenouilles et on les met en relation par une extrémité avec un téléphone Siemens, tandis que l'autre extrémité est excitée par un courant induit

à oscillations très rapides. Le téléphone permet de percevoir les vibrations du courant d'action propre au nerf, qui varie lui-même suivant l'intensité de l'excitation, mais si l'excitation devient trop forte, les sons téléphoniques cessent de se produire. Si, alors, on fait passer dans le nerf, entre deux points donnés, un courant constant, on peut distinguer les modifications qu'apporte l'action électrotonique au nerf excité. Le catélectrotonus renforce l'intensité des courants d'action alors que l'anélectrotonus la diminue.

Si le nerf est tué par des vapeurs d'ammoniaque, immédiatement tous les phénomènes auditifs disparaissent; avec des courants très forts, le téléphone permet encore de distinguer les actions unipolaires qui sont caractérisées par un timbre spécial du son téléphonique. On peut constater ces courants d'action chez l'homme. Le sujet en expérience plonge les deux mains dans deux baquets contenant une solution conductrice, les baquets sont reliés à deux téléphones appliqués aux deux oreilles de l'observateur. Chaque fois que le sujet ferme énergiquement l'un ou les deux poings, on entend dans le téléphone un bruit rappelant le son que l'on perçoit par l'auscultation directe du muscle. (Wedensky.)

Electrotonus. — Quand on fait passer un courant continu dans un nerf, on n'observe pas pendant le passage du courant de contraction dans le muscle innervé, le nerf est cependant le siège de phénomènes spéciaux qui ont été désignés sous le nom d'électrotoniques et qui sont caractérisés par : 1^o des modifications de l'excitabilité; 2^o des manifestations électriques.

Dans la région qui avoisine le pôle négatif ou *cathode* (région intrapolaire et extrapolaire), il y a augmentation de l'excitabilité ou suivant l'expression employée catélectrotonus; la région correspondante au pôle positif ou *anode* est au contraire moins excitable (anélectrotonus).

Le meilleur procédé pour vérifier ce fait est celui de la recherche du seuil d'excitation, c'est-à-dire de l'excitation minima qui suffit pour déterminer une contraction. Après avoir fixé les deux électrodes d'un courant de pile sur le trajet du nerf, on excite les différents points du nerf, à l'aide d'électrodes reliés à une bobine d'induction, avant, pendant et après le passage du courant continu. On peut voir ainsi

que pendant le passage du courant (période électrotonique,) il faut pour obtenir la plus faible contraction rapprocher la bobine induite (augmenter la tension) dans la région positive (anélectrotonisée), l'écarter au contraire dans la région négative (catélectrotonisée).

Au moment de la rupture du courant continu, il se produit un phénomène inverse : augmentation de l'excitabilité au pôle positif, diminution au pôle négatif, mais cette dernière est peu durable et elle est suivie d'une augmentation, de sorte qu'après le passage du courant tout le nerf serait finalement plus excitable.

Eulenburg et Erb ont voulu appliquer ces résultats à l'homme, mais la nécessité où l'on se trouve alors d'agir à travers la peau, de former ainsi des courants de diffusion, rendent les recherches presque impossibles et il n'y a pas lieu de s'étonner des résultats contradictoires observés. Erb soutenant que les lois de l'électrotonus sont vérifiables chez l'homme, Eulenburg affirmant le contraire. La logique nous conduit à donner raison à Erb.

Un courant continu n'amène pas seulement une modification dans l'excitabilité, mais encore dans la conductibilité du nerf électrisé. Avec un courant fort la conductibilité peut être supprimée. Cette méthode d'arrêt est connue sous le nom de section physiologique.

Il se produit en même temps des modifications électriques dans le nerf électrisé : augmentation du potentiel dans la région extra-polaire du pôle positif, diminution dans la région extra-polaire du pôle négatif. Cette variation peut se constater en appliquant sur cette région deux électrodes exploratrices reliées à un galvanomètre. Les courants ainsi produits sont beaucoup plus intenses que les courants de repos et se forment dans le même sens que le courant continu (polarisant).

Contraction paradoxale. — L'électrotonus seul permet

d'expliquer le phénomène désigné sous le nom de contraction paradoxale. Si l'on excite un nerf moteur par un courant électrique, on voit les autres muscles innervés par des branches nerveuses qui partent du nerf excité en dehors des deux électrodes, mais à une faible distance se contracter également. Or il ne s'agit pas ici de variation négative, car une excitation mécanique portée sur la région comprise entre les deux électrodes ne détermine aucune réaction, l'électrotonus peut seul être invoqué, sa formation et sa disparition agissant comme la fermeture et la rupture d'un courant.

Il ne faut pas confondre l'électrotonus avec la variation négative. Ils sont tous deux des variations du courant électromoteur des nerfs vivants, mais le premier ne se produit que sous l'influence du courant électrique et dans une portion limitée du nerf, celles voisines des électrodes, tandis que la variation négative a lieu chaque fois que le nerf entre en activité quelle que soit l'excitant mis en jeu et elle se propage dans tout le trajet du nerf.

Onde de fermeture et de rupture des courants. — Lorsque l'on fait passer un courant continu dans un nerf soit en appliquant les deux pôles sur le trajet du nerf (méthode bipolaire), soit en appliquant un pôle sur un point quelconque du corps (électrode indifférente), l'autre électrode sur le nerf lui-même, ou dans son voisinage, sur la peau quand il s'agit de l'homme (méthode unipolaire), on obtient des effets différents au moment de la fermeture et de la rupture du courant suivant l'intensité du courant employé et la direction du courant ; le courant étant dit ascendant quand le pôle positif est le plus éloigné des centres nerveux. Pfluger a étudié ces différentes influences et les résultats qu'il a obtenus ont été désignés sous le nom de lois de Pfluger ou lois des secousses que l'on peut résumer dans le tableau suivant :

INTENSITÉ DU COURANT		COURANT ASCENDANT	COURANT DESCENDANT
Faible.	{ Fermeture.	Contraction.	Contraction.
	{ Ouverture.	Repos.	Repos.
Moyen.	{ Fermeture.	Contraction.	Contraction.
	{ Ouverture.	Contraction.	Contraction.
Fort.	{ Fermeture.	Repos.	Contraction.
	{ Ouverture.	Contraction.	Repos.

Il résulte de ce tableau et des observations faites avec la méthode unipolaire, que l'excitation de fermeture naît au pôle négatif, celle d'ouverture au pôle positif, d'où cette loi générale. L'action excitante du courant galvanique ne se produit qu'aux pôles eux-mêmes et en émane.

Cette loi se trouve vérifiée facilement sur le muscle en prenant des tracés de l'onde musculaire en deux points éloignés d'un muscle à fibres longitudinales. La première secousse observée est conforme à la loi. Pour le nerf, Von Bezold en a donné une démonstration ingénieuse. Il constate que le temps de l'excitation latente n'est pas le même à la rupture et à la fermeture; la différence entre les deux temps perdus correspondant au temps calculé pour la transmission nerveuse d'une électrode à l'autre.

En électrothérapie, on emploie une annotation spéciale. Ka = Kathode, pôle négatif. An = Anode, pôle positif. SS'S" = secousses musculaires plus ou moins fortes. Te = contraction tétanique. F = Fermeture. O = ouverture du courant. D. persistance du courant, le signe — aucune réaction. Un nerf sain avec la méthode unipolaire donne les réactions suivantes :

Courant faible.	Moyen.	Fort.
Ka F S	Ka F S'	Ka F Te
Ka D —	Ka D —	Ka D Te
Ka O —	Ka O —	Ka O S
An F —	An F S	An F S
An D —	An D —	An D —
An O —	An O S	An O S'

Ces réactions peuvent être utilisées pour porter un diagnostic sur l'état d'intégrité d'un nerf. Erb a montré en effet que les courants électriques agissaient différemment sur le muscle et sur le nerf, quand ce dernier était touché par une lésion : c'est la réaction de dégénérescence, que l'on désigne parfois sous l'abréviation DR. Elle est caractérisée par la diminution ou la perte de l'excitabilité faradique et galvanique des nerfs et de l'excitabilité faradique des muscles, l'excitabilité galvanique de ces derniers restant stationnaire ou subissant des variations quantitatives déterminées. Au point de vue du muscle, on obtient une secousse plus grande à la fermeture sur l'anode qu'à la fermeture sur la cathode, ce qui est anormal et peut s'écrire :

$$\text{An FS} > \text{Ka FS}$$