

Hommage très respectueux
à M^{rs} le Juge, Prof. Th. Fournesco

J^r Boume

GEORGES BANU

DOCTEUR ÈS SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS
DOCTEUR EN MÉDECINE DE LA FACULTÉ DE BUCAREST
ASSISTANT A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

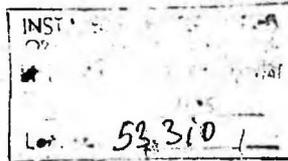
22 June 1922

RECHERCHES PHYSIOLOGIQUES

SUR LE

DÉVELOPPEMENT NEURO-MUSCULAIRE

CHEZ L'HOMME ET L'ANIMAL



01 JUN 2004

PARIS

IMPRIMERIE DE LA COUR D'APPEL

L. MARETHEUX, Directeur

1, RUE CASSETTE, 1

1922



PRÉFACE

Au début de ce travail, ma reconnaissance va tout d'abord à M. le Professeur L. LAPICQUE. C'est à ses côtés, dans l'activité du laboratoire de Physiologie que j'ai pris contact avec les méthodes nouvelles et leur féconde application; il m'a fait profiter de sa rigueur scientifique; il m'a donné l'exemple d'un constant labeur. Les deux années vécues auprès de lui marqueront une phase des plus importantes dans mon développement scientifique.

Je saisis l'occasion d'exprimer ici ma gratitude à M. le Professeur MARFAN pour le bénéfice que j'ai retiré de son enseignement clinique, la possibilité qu'il m'a donnée de travailler dans son laboratoire, et la confiance qu'il a bien voulu me témoigner en me nommant assistant dans son service.

J'emporterai dans mon pays les idées scientifiques que j'ai trouvées en France; ces principes de base acquis grâce à mes maîtres, je m'efforcerai de les développer, et leur diffusion sera le meilleur gage de mon respectueux souvenir.

Une partie de ces recherches a été poursuivie en collaboration avec M. BOURGIGNON. Je suis heureux de rappeler ici le souvenir de cet agréable travail en commun.

Mon guide le plus constant dans ces recherches fut II. LAUGIER.
C'est lui qui m'a initié aux idées de notre maître M. LAPICQUE.
C'est avec lui que mon travail s'est poursuivi en Sorbonne, dans
l'entente la plus parfaite. Qu'il trouve ici mes remerciements
sincères et l'expression de ma profonde amitié.



INTRODUCTION

Pendant la vie embryonnaire et chez le nouveau-né s'effectuent, avec une grande rapidité, une différenciation et un développement progressifs de toutes les fonctions physiologiques de l'individu.

Le système neuro-musculaire, en particulier, subit de profondes transformations à mesure que ses fonctions apparaissent, deviennent plus complexes et plus parfaites.

Si l'on veut essayer de suivre les modifications de ce système neuro-musculaire au cours de cette évolution du début de la vie, on peut avoir recours à des méthodes histologiques, à des méthodes biochimiques ou à des investigations physiologiques.

Les méthodes histologiques permettent, pour une part, de donner un substratum anatomique à cette évolution des fonctions du système. Mais elles ne donnent que des résultats partiels et incomplètement satisfaisants.

Alors que, vers la sixième semaine, le système nerveux périphérique paraît avoir acquis un développement histologique presque complet, alors que le système musculaire paraît avoir un développement histologique complet à la naissance, les mouvements vers cette époque sont encore très loin d'avoir les caractères de l'adulte.

Il y a donc des particularités dans l'établissement des fonctions auxquelles les méthodes histologiques ne trouvent guère de support correspondant.

Pour ce qui est des *recherches biochimiques*, elles sont peu nombreuses, à objet très limité, et les conclusions indécises auxquelles elles ont abouti ne permettent point d'expliquer le développement des fonctions.

Les méthodes qui paraissent les plus propres à déceler et à suivre les particularités de l'évolution du système neuro-musculaire sont les *méthodes physiologiques* (recherches sur la contraction musculaire et sur sa forme, recherches sur l'excitabilité).

Or, en raison des notions nouvelles qui ont été récemment apportées en physiologie, on a maintenant la possibilité de pénétrer dans l'intimité même du processus d'excitation, et de caractériser sa rapidité avec une finesse et une sensibilité extrêmes.

En effet, par l'étude de la *chronaxie*, on arrive à saisir avec une extrême précision, d'une façon à peu près indépendante des contingences expérimentales, la rapidité du développement du processus d'excitation dans le nerf et le muscle.

Étant données la relation générale qui a été établie entre la rapidité du processus d'excitation et la rapidité de contraction des muscles, il était à présumer que pendant les premiers mois de la vie, à mesure que les fonctions musculaires deviennent plus rapides, plus adaptées, plus complexes, on assisterait à un perfectionnement parallèle dans la mise en jeu du processus de l'excitation.

C'est à l'étude de ce problème que sont consacrées les recherches expérimentales personnelles qui sont exposées dans cette thèse.

CHAPITRE PREMIER

LES MOUVEMENTS PENDANT LA VIE FŒTALE ET APRÈS LA NAISSANCE

Au cours du développement du système neuro-musculaire, trois séries de phénomènes évoluent parallèlement :

- 1° La différenciation histologique et histochimique des tissus;
- 2° L'apparition et le développement de l'excitabilité du système neuro-musculaire;
- 3° L'apparition des divers mouvements.

Nos recherches expérimentales ont porté sur l'étude précise du développement de l'excitabilité de l'appareil neuro-musculaire.

Avant d'exposer nos recherches, et pour donner un tableau plus complet du développement des fonctions neuro-musculaires au cours des premiers mois de la vie, nous donnerons une rapide revue générale des connaissances actuelles sur le développement des mouvements et sur la différenciation histologique et histo-chimique de l'appareil neuro-musculaire.

Les mouvements du fœtus.

On peut distinguer deux ordres de mouvements : 1° ceux des organes de la vie de relation (mouvements des membres, mouvements du tronc); 2° ceux des organes de la vie végétative (cœur, estomac, intestin).

I. — MOUVEMENTS DE LA VIE DE RELATION.

Les premiers mouvements du FŒTUS HUMAIN, perceptibles par la mère, apparaissent entre la dix-septième et la dix-huitième semaine de la gestation; le diagnostic de la grossesse se fait de la quinzième à la dix-septième semaine; néanmoins, il est admis que les mouvements peuvent se produire même avant cette date. D'après des recherches sur la torsion du cordon, les mouvements ne pourraient apparaître avant la huitième semaine (après la huitième, vers la seizième, le cordon présente une torsion sur son axe qui dénote les mouvements fœtaux) (1).

Ceci concorde avec l'observation de CHARLES MEYER, qui a attiré l'attention sur les mouvements très précoces des fœtus, et est confirmé par l'étude de MINKOWSKI (2).

Cet auteur observe des mouvements chez des fœtus à partir de deux mois et demi. Il examine les fœtus dans des cas d'interruption précoce de la grossesse par opération césarienne. Le fœtus étant mis dans une cuvette avec de la solution physiologique à 37°, les mouvements et les réflexes persistent de quelques minutes à une demi-heure.

Le fœtus de deux mois et demi présenterait des mouvements de la tête, du tronc et des extrémités. Les mouvements observés sont : rotation, soulèvement et abaissement de la tête, incurvation et extension du tronc, rotation, abduction et adduction, flexion et extension au coude, à l'épaule, au poignet, à la hanche, etc.

Le caractère de ces mouvements est d'être lents, asymétriques, arythmiques, incoordonnés, de caractère choréiforme, s'étendant à une seule articulation ou à plusieurs, à un seul membre ou à plusieurs membres à la fois.

Enfin, les fœtus de cet âge ont des réflexes cutanés et des réactions motrices généralisées.

De trois à quatre mois et demi, ces mouvements sont plus accentués, et les réflexes ont le caractère tonique.

1. W. M. FELDMAN. — The principles of ante-natal and post-natal Child physiology. London, 1920, p. 204-208.

2. M. MINKOWSKI. — Réflexes et mouvements de la tête, du tronc et des extrémités du fœtus humain, pendant la première moitié de la grossesse. *Comptes rendus Société de Biologie*, 31 juillet 1921.

De quatre à cinq mois, les réflexes sont plus développés.

Enfin, tous ces fœtus présentent un tonus élastique des membres, maintenant une position déterminée; la position fœtale des membres semble être une résultante du tonus des muscles, des téguments et de la pesanteur.

CHEZ LES ANIMAUX, l'étude des mouvements fœtaux a été faite par PREYER (1), qui les a observés chez les cochons d'Inde, à l'époque où le placenta présente 1 cm. 1/2 de diamètre. Par la méthode graphique, BRAXTON HICKS (2), le premier, a réussi à préciser ces mouvements. L'étude systématique a été faite par AHLFELD (3). PREYER considère dans la motricité des membres et du corps des mouvements allokinétiques et autokinétiques.

A. MOUVEMENTS ALLOKINÉTIQUES. — On groupe sous ce terme :

1° Des mouvements *passifs* [par exemple ceux déterminés chez le fœtus humain par la palpation légère de la paroi abdominale (signe de la grossesse appelé signe du « ballottement ») ou par les changements de position de la mère]. Ils comprennent, d'une part, des déplacements dus aux manœuvres extérieures, et qui ne sont pas de véritables mouvements, et, d'autre part, des réactions propres du fœtus à l'excitation extérieure qu'il subit, et qui rentrent alors dans les mouvements réflexes.

2° Des mouvements dits *irritatifs*, et qui sont dus à l'excitation que peuvent fournir au système neuro-musculaire les substances circulant dans le sang maternel et fœtal, substances qui peuvent d'ailleurs soit fournir une excitation, soit modifier simplement l'excitabilité des centres réflexes [exemple : strychnine, expériences de PREYER et ensuite de GUSSEROW (4) qui, en injectant de la strychnine à la mère, ont déterminé des convulsions chez le fœtus]. Pour GRAHAM (5), la plupart des mouvements fœtaux seraient d'origine irritative; en effet, ses expériences ont prouvé qu'à l'exception des mouvements de déglutition et de succion, tous les mouvements sont dus à des irritations produites par les divers degrés d'asphyxie maternelle. La compres-

1. PREYER. — L'âme de l'enfant; physiologie spéciale de l'embryon (trad. de Varigny), Paris, 1887, p. 158 et suivantes.

2. BRAXTON HICKS. — *Transact. Lond. Obst. Soc.*, XXII, 1880.

3. AHLFELD. — In FELDMAN, p. 205.

4. GUSSEROW. — *Archiv f. Gynäk.*, 1872.

5. E. A. GRAHAM. — *Surgery, Gynecology and Obstetrics*, XIX, 1914.

sion de l'artère utérine du cordon ombilical, de la trachée maternelle ou l'inhalation de gaz carbonique produisent de violents mouvements chez le fœtus.

Ces résultats, obtenus sur les cochons d'Inde, se rattachent de façon satisfaisante à l'action générale bien connue du sang asphyxique; action générale qui est déterminée sans doute par l'apparition d'ions H dans le sang fœtal.

3° Les mouvements *réflexes*. Les premiers en date sont provoqués au cours des manœuvres obstétricales. On les a d'abord observés chez le fœtus humain [au cours de la présentation de la face on a noté la succion de l'index de l'accoucheur; le hoquet est aussi un des premiers réflexes]. LEE (1) en a donné une description complète. Ils sont causés par des contractions réflexes de l'utérus qui déterminent des mouvements fœtaux par compression. Comme FÉRÉ (2) l'a fait remarquer, ces *réflexes* fœtaux consécutifs aux contractions utérines peuvent être dus à des réactions maternelles plus générales: émotion, fatigue, bruits violents, odeurs vives, sensation de froid, etc.

B. MOUVEMENTS AUTOKINÉTIQUES. — Ils correspondent à l'activité propre des centres moteurs du fœtus.

Il est classique [FELDMAN] (3) de distinguer, d'une façon un peu arbitraire, les mouvements *impulsifs* (mouvements des membres et du tronc) et les mouvements *instinctifs* (mouvements de succion, de déglutition et de la respiration).

La déglutition se produit dans l'utérus, ainsi que le prouvent la composition du méconium qui contient des éléments du liquide amniotique, le vernix caseosa et lanugo. Cette déglutition n'est possible qu'à partir du quatrième mois, car elle met en jeu un grand nombre de muscles, les nerfs centraux et le centre médullaire de la déglutition. AHLFELD note les mouvements de succion dès le quatrième mois.

1. DE LEE. — Principles and Practice of Obstetrics. Philadelphia and London, 1917, p. 59.

2. FÉRÉ. — Sensation et Mouvement. Paris, 1900.

3. FELDMAN, p. 192.

II. MOUVEMENTS DES ORGANES DE LA VIE VÉGÉTATIVE.

C'est le *cœur* qui en fournit le premier exemple. Les battements ont été découverts au cours de la vie intra-utérine par MAJOR, étudiés par LEJUMEAU DE KERGADEDEC⁽¹⁾, et particulièrement par LAENNEC. PFLUGER⁽²⁾ a trouvé les battements cardiaques dès la huitième semaine. Le *péristaltisme intestinal* a été découvert en 1881, par PREYER, à l'aide de l'excitation électrique, mécanique ou chimique. Plus tard, au cours des opérations abdominales, on a remarqué que les mouvements péristaltiques de l'intestin fœtal à cette époque se produisent d'une façon spontanée. L'estomac présente des mouvements semblables qui ont été étudiés par CARLSON et GINSBURG⁽³⁾ sur l'enfant né quinze jours avant terme. Ces mouvements qui intéressent l'estomac en totalité ressemblent à ceux qui se produisent chez l'adulte, à l'occasion de la faim, mais ils sont plus fréquents chez l'enfant. Ces mouvements peuvent apparaître chez les anencéphales, ce qui prouve ainsi leur indépendance du cerveau et du cervelet. Il est important de remarquer que la motricité organique apparaît à une époque où le système nerveux n'est pas encore développé, les muscles à eux seuls constituent le système de contraction. La faiblesse de ces mouvements dénote, d'ailleurs, la lenteur d'évolution du système musculaire.

Les mouvements de l'enfant nouveau-né.

CARACTÈRES GÉNÉRAUX:

Ces mouvements ne sont guère différents de ceux du fœtus. Dans les premiers jours, ils sont impulsifs et réflexes; ce n'est qu'ensuite qu'apparaissent les mouvements volontaires. Les mouvements *impulsifs*, réduits et rudimentaires, consistent

1. Dans PREYER, loc. cit., p. 9.

2. PFLUGER. — *Pflüger's Archiv*, XIV, 628.

3. CARLSON et GINSBURG. — *Americ. Journ. Physiol.*, 38, 1915.

essentiellement dans la flexion, l'extension avec pronation des membres supérieurs. Les mouvements *réflexes* déterminés par des excitations externes, comprennent : le premier cri, l'éternuement, le reniflement, le bâillement, le rire, les sanglots, les soupirs, les vomissements et le hoquet.

A l'état de repos, le nouveau-né tend à prendre l'attitude du fœtus « in utero » [BABONNEIX] (1); pour HOCHSINGER (2) ce phénomène est dû à une hypertonie des fléchisseurs, myotonie spéciale au nouveau-né et au nourrisson. Au bout de quelques semaines, à ces mouvements impulsifs et réflexes viennent se surajouter des mouvements *instinctifs* et *volontaires*. Les premiers apparaissent de bonne heure; ils consistent en succion, préhension, action de mordre et de mastiquer. Les seconds sont ceux de l'imitation et de l'expression (protrusion des lèvres, baiser, acte de pleurer, etc.). Entre la dixième et la treizième semaine, apparaissent les premiers mouvements volontaires des mains (préhension, mouvements de manipulation, mouvement du pouce). A cette époque, on observe les mouvements de supination [MUMFORD, POROT] (3), caractérisés par des contractions athétosiques symétriques. Ces mouvements symétriques et synchroniques s'appellent *syncinésies*. Ce nom leur a été donné par VULPIAN (4). Il les a définis « les mouvements qui s'effectuent dans une partie du corps, d'une façon involontaire au moment où ont lieu des mouvements volontaires ou réflexes dans une autre partie ».

L'apparition et l'évolution des syncinésies est en relation avec le développement du système nerveux central. Bien que notre travail porte essentiellement sur le développement neuromusculaire périphérique, nous en donnons cependant quelques notions en raison de leur importance et du caractère particulier qu'elles impriment aux mouvements chez le nourrisson pendant une période de son développement.

Les syncinésies infantiles physiologiques ont été étudiées par

1. BABONNEIX. — Les fonctions nerveuses chez l'enfant, p. 24, *Maladies des Enfants*, t. V, Paris, 1909.

2. HOCHSINGER. — Myotonie du nourrisson. *Revue des mal. de l'enf.*, avril et juin 1902.

3. CIL. BABONNEIX, p. 24.

4. VULPIAN. — Article Moelle Epinière. *Dictionnaire Dechambre*, Paris, 1874, VIII, p. 343-604.

CH. BELL (1), J. MÜLLER (2), FOERSTER (3), CURSCHMANN (4) et PREYER.

Les derniers travaux de MUMFORD, POROT, STROEHLIN (5), COLLIN (6), M^{lle} ROSENBLUM (7), apportent des détails nouveaux; ils complètent les recherches précédentes.

Les syncinésies normales se produisent chez l'enfant toutes les fois qu'il fait des mouvements réflexes ou volontaires.

Les caractères des mouvements associés chez les enfants normaux sont :

1° Bilatéralité, avec quelquefois accentuation plus marquée unilatérale ;

2° Ces mouvements ne peuvent pas être supprimés par la volonté, quand celle-ci est développée; on provoque les syncinésies par de multiples procédés (fermeture énergique de la main sur un doigt, flexion de l'avant-bras sur le bras, avec opposition à ce mouvement, etc.); mais nous ne discuterons pas ici l'étude clinique.

Nos observations confirment les idées précédentes.

Jusqu'au huitième ou dixième mois, les mouvements sont toujours symétriques et bilatéraux. La contraction se fait de deux côtés à la fois, et la main de l'observateur qui s'oppose à ces mouvements se trouve entraînée, phénomène très comparable avec les syncinésies provoquées chez les hémiplegiques.

Chez ces derniers le meilleur moyen de les apprécier est de commander un mouvement auquel on s'oppose ensuite.

Ce n'est que vers le dixième mois, qu'apparaissent les mouvements volontaires. Vers le dixième mois, les syncinésies diminuent sans toutefois disparaître complètement. Vers l'âge de trois ans, les mouvements unilatéraux sont presque la règle, il ne persiste qu'une légère imprécision des gestes.

1. CH. BELL. — Of the nerves which associate the muscle of the chest in the actions of the breathing, speaking and expressions. London, 1822.

2. J. MULLER. — Manuel de physiologie (trad. J.-L. Jourdan), 2^e édit., t. II.

3. FOERSTER. — Die Mitbewegungen bei Gesunden, Nerven- und Geisteskranken, Jéna, 1903.

4. CURSCHMANN. — Beiträge zur Physiologie und Pathologie der kontralateralen Mitbewegungen. *Deutsche Zeitschr. f. Nervenheilk.*, Bd., 31, 1-2 Heft, 1906.

5. G. STROEHLIN. — Les syncinésies; leurs rapports avec les fonctions d'inhibition motrice. Paris, 1911.

6. A. COLLIN. — Le syndrome infantile normal psycho-neuro-musculaire. (Thèse Paris, 1912). Le développement de l'enfant, 1914.

7. M^{lle} ROSENBLUM. — Du développement du système nerveux au cours de la première enfance. *Le Nourrisson*, 1915, p. 249.

Normalement chez l'adulte, certains exercices de coordination compliquée peuvent faire réapparaître momentanément des syncinésies. Ce phénomène, d'après FERNAGU (1), tient à une absence de coordination passagère. Mais on les retrouve surtout dans certains états pathologiques caractérisés par une *débilité motrice*. Sous l'aspect des mouvements associés, homolatéraux, contralatéraux, de compensation, ces diverses syncinésies réflexes se trouvent dans certains états anormaux. C'est ce qui se produit dans l'hémiplégie, les lésions du faisceau pyramidal, les ramollissements, les convulsions, les encéphalites, etc.

DUPRÉ fait remarquer que les mouvements syncinésiques semblent être en rapport avec la débilité intellectuelle. On les a observés chez les enfants d'intelligence réduite et chez les idiots. DUPRÉ et MERKLEN (2) ont appuyé cette thèse de 6 observations. D'après LÉVY (3) et DAMSCH (4), la débilité motrice aurait une cause héréditaire; c'est ainsi qu'ils ont décrit le chapitre des enfants avec « *angeborene Mitbewegungen* ».

On a tenté d'expliquer le phénomène des syncinésies à l'aide de plusieurs hypothèses.

EXNER suppose que, chez les petits, l'excitation passe d'un champ cortical au champ voisin.

POUR KRONECKER (5), à cette époque l'action de coordination du cortex sur les centres moteurs profonds ne se produit pas encore, en raison du manque de développement des fibres de relation entre la corticalité et les centres profonds.

GANGHOFNER (6) a émis l'hypothèse d'une insuffisance fonctionnelle du faisceau pyramidal. VULPIAN, puis JACCOUD ont expliqué ce phénomène par l'*automatisme médullaire*. D'après JACCOUD (7),

1. FERNAGU. — Cit. par STROEBLIN.

2. DUPRÉ et MERKLEN. — La débilité motrice; dans ses rapports avec la débilité mentale de l'insuffisance pyramidale physiologique du premier âge. XIX^e Congrès des aliénistes et neurologistes, Nantes, 1909.

3. LÉVY. — Mouvements associés héréditaires. *Neurol. Centralbl.*, n° 13 1^{er} juillet, p. 607; *Angeborene Mitbewegungen. Archiv f. Psychiat.*, 1903, t. XXXVI, p. 279.

4. DAMSCH. — Ueber Mitbewegungen in symmetrischen Muskeln an nicht gelähmten Gliedern. *Zeitschr. f. klin. Med.*, Berlin, 1891, XIX, suppl., p. 170-180.

5. KRONECKER. — *Arbeiten aus d. physiol. Anstalt zu Leipzig*, 1871.

6. GANGHOFNER. — Cit. FELDMAN, *loc. cit.*, p. 367 et in DUPRÉ, Congrès de Nantes, 1909.

7. JACCOUD. — Les paraplégies et l'ataxie des mouvements. Paris, 1864, p. 146 et 488.

» que signifient ces mouvements? Ils dénotent une excitation involontaire de la région inférieure de la moelle, produite par l'excitation volontaire ou non des régions supérieures. Or, cette excitation involontaire à distance n'est réalisable que si le segment inférieur de l'organe est isolé de l'influence dominante du cerveau ».

Les dernières observations relatives à l'insuffisance normale du faisceau pyramidal dans la première enfance sont celles de DUPRÉ et MERKLEN. Ces faits sont admis à l'heure actuelle.

LA MARCHÉ.

L'enfant commence à se tenir debout sans aide vers le onzième ou le douzième mois. Il fait ses premiers pas entre le douzième et le quatorzième mois. Les enfants nourris au sein marchent plus précocement que les enfants soumis à l'allaitement artificiel. Le début de la marche est retardé par le rachitisme, les maladies infectieuses aiguës et les affections du système nerveux. La possibilité de la marche ne dépend pas seulement du développement neuro-musculaire, mais encore de la situation du centre de gravité du corps, centre qui se déplace avec l'évolution morphologique, la conformation du bourrelet graisseux plantaire et d'autres conditions de détail. La démarche de l'enfant présente des modalités particulières. VIERORDT note l'inégalité des pas et la brusquerie de propulsion des membres inférieurs. La volonté et l'éducation n'ont pas grande prise sur la marche.

Le pas de l'enfant est très particulier par certains détails; le pied qui supporte le poids du corps reste longtemps sur le sol, puis la période d'oscillation du pied enlevé est plus courte que chez l'adulte, et ces caractères produisent, dans l'ensemble, l'allure de brusque propulsion du pied.

LES RÉFLEXES.

LES RÉFLEXES DU FŒTUS. — *Chez le fœtus humain*, les réflexes apparaissent de très bonne heure. Ils ont des caractères particuliers, et, d'après MINKOWSKI, leur apparition se produirait dans l'ordre suivant :

Chez le fœtus de *deux mois et demi* (longueur 5-5,5 cm.) on

observe des réflexes *cutanés* (par excitation de la peau), des mouvements réflexes qui naissent par déplacement passif des membres; ces réflexes peuvent être homolatéraux et croisés.

Le plus souvent il s'agit de réactions motrices en masse généralisées et non de réflexes isolés.

Alors que chez l'adulte les réflexes cutanés naissent seulement à des excitations portées sur des zones cutanées très étroitement délimitées, chez les fœtus tout le revêtement cutané peut servir de zone réflexogène.

Chez le fœtus de *trois mois à quatre mois et demi* (longueur sur 4 observations : 3,5; 12,5; 16 et 19 cm.), on observe, en outre des réflexes décrits plus haut, des *réflexes toniques*, probablement d'après MINKOWSKI d'origine cervicale (point de départ : muscles et articulations du cou), déterminés par changement de position de la tête relativement au tronc, ainsi que des réflexes *labyrinthiques* (mouvements de flexion, d'extension, d'abduction ou adduction, de rotation en dedans ou en dehors des deux bras ou des deux jambes, provoqués par le changement passif de position de la tête dans l'espace); il trouve que ces réflexes sont semblables à ceux décrits par SHERRINGTON, MAGNUS et KLEIN⁽¹⁾, sur des animaux décérébrés. Ce n'est pas la rigidité décérébrée de LHERMITTE⁽²⁾ déterminé par le cervelet et la protubérance, et qui n'ont pas des connexions bien démontrées avec le système périphérique à la naissance.

Le fœtus de *quatre mois et plus* (16 et 19 cm.) possède encore :

a) Une extension dorsale spontanée du gros orteil réagissant aussi peu à l'excitation de la plante que les fœtus plus jeunes;

b) Réflexe plantaire en flexion rarement (deux cas), sans participation du gros orteil;

c) Réflexe abdominal (observé aussi par KRABBE⁽³⁾ sur un fœtus de cinq mois);

d) Réflexes diagonaux isolés, l'extension passive de la jambe et la pression sur le pied provoquant une élévation du bras du côté opposé, soit des doigts de cette main, et surtout un écartement du petit doigt;

1. SHERRINGTON, MAGNUS ET KLEIN. — Cit. par MINKOWSKI; *C. R. Soc. Biol.*, 31 juillet 1921.

2. J. LHERMITTE. — La rigidité décérébrée. Données physiologiques et applications chimiques. *Annales de Médecine*, 1921, p. 228, t. X, n° 3.

3. KRABBE. — Cit. par MINKOWSKI.

e) Enfin des phénomènes d'inhibition réflexe, caractéristique, correspondant à ceux des animaux spinaux observés par SHERINGTON et GRAHAM, BROWN⁽¹⁾ [fœtus de chat].

On trouve aussi le tonus élastique des membres avec un cata-tonisme partiel.

Les réflexes de l'enfant du premier âge.

Réflexes tendineux. — Les premiers travaux précis ont été faits par PFISTNER⁽²⁾, puis par BYSCHOWSKI⁽³⁾, car les travaux antérieurs de PELIZAEUS⁽⁴⁾, ZEISSING⁽⁵⁾ et SACHS⁽⁶⁾ sont vagues, sans grand intérêt.

Chez l'enfant, les réflexes tendineux sont d'apparition précoce et ils sont exagérés, jusqu'à l'âge de deux ans. Cette exagération tient du fait que, dans les premiers mois, le cerveau incomplètement développé n'exerce pas d'action modératrice sur la moelle.

Au membre supérieur, les réflexes intenses jusqu'au troisième mois deviennent moins forts ensuite.

Le réflexe rotulien, constant chez l'enfant de tout âge, est exagéré dans les deux premières années. En accord avec PFISTNER, BYSCHOWSKI, LAURENT⁽⁷⁾, nous trouvons que ces réflexes restent exagérés de seize mois à deux ans; contrairement à l'opinion de M^{lle} ZAÏMOWSKI⁽⁸⁾, qui les croit exagérés seulement pendant les premiers six mois.

Les travaux de CATTANEO⁽⁹⁾, FURMANN et EULENBURG⁽¹⁰⁾ sont du

1. BROWN, F. GRAHAM. — *Journ. Physiol.*, 1914-1915, p. 208.
2. PFISTNER. — In *Traité de Pathologie de PFAUNDLER*.
3. BYSCHOWSKI. — *Zabadann ad odruchami, Medycyna i kronika lezarska*, Varsovie, 1908, t. XLIII, p. 26-60 et *Ueber das Verhalten einiger Haut und seinen Reflexe bei Kindern im Laufe des ersten Lebensjahres. Deutsche Zeitsch. für Nervenheilkunde*. Leipzig, 1908, t. XXXIV, p. 416-427.
4. PELIZAEUS : *Ueber die Kniephänomen bei Kindern. Archiv f. Psychol.*, Berlin, 1883, p. 402-409.
5. ZEISSING. — Halle a S., 1887.
6. SACHS. — *Traité des maladies nerveuses des enfants*.
7. LAURENT. — *Evolution des réflexes chez l'enfant. Thèse de Toulouse*, 1904-1905.
8. M^{lle} ZAÏMOWSKY. — *Considérations sur l'état des réflexes chez les enfants. Thèse de Paris*, 1908-1909, n° 244.
9. CATTANEO. — *Ueber einige Reflexe im Kindesalter, Jahrbuch für Kinderheilkunde*, 1902.
10. EULENBURG. — *Ueber einige Reflexe im Kindesalter, Neurol. Centralblatt*, 1882, p. 469-472.

même ordre. Chez l'enfant, il existe le réflexe *rotulien consensuel* découvert par FURMANN et BYSCHOWSKI et étudié par REONO⁽¹⁾; on l'attribue à une insuffisance de développement de la moelle; on le retrouve d'autre part dans certains états pathologiques quand le faisceau pyramidal a perdu le perfectionnement fonctionnel précédemment acquis.

Telles sont aussi les conclusions de SOUQUES ET CHAUVET⁽²⁾.

Le *réflexe achilléen* existe constamment chez le nourrisson. Nous l'avons trouvé presque toujours dans nos recherches, comme l'ont trouvé BYSCHOWSKI, NOÏCA, MARDÉ⁽³⁾ et LAURENT.

Au cours des trois premières semaines existe le clonus du pied.

Le réflexe rotulien est le premier en date; pendant longtemps, il reste exagéré; le réflexe achilléen est d'obtention plus difficile. Son évolution et son développement sont parallèles au réflexe rotulien. Il apparaît nettement après le sixième mois.

Réflexes cutanés. — Ils ne sont pas encore bien étudiés. On ne connaît bien jusqu'ici que le cutané plantaire et le *réflexe du visage*. Ce dernier, étudié par MORO⁽⁴⁾, consiste dans la contraction de l'orbiculaire des lèvres, quand on percute légèrement la face soit au niveau d'une commissure, soit au point de CHWOSTEK [on l'obtient mieux quand le nourrisson est endormi].

Le réflexe plantaire : Comme BABINSKI l'a montré en 1896, c'est le seul qui puisse nous renseigner sur l'état du faisceau pyramidal. Cet auteur, à propos du phénomène des orteils dans l'enfance, dit que : « Le chatouillement de la plante du pied provoque normalement chez le nouveau-né l'extension des orteils. Or, si l'on considère qu'à la naissance le système pyramidal n'est pas encore développé, on trouvera dans ce fait une

1. REONO. — Sur la myotonie des nouveau-nés et sur les réflexes tendineux et cutanés de la première enfance, *Pediatrics*, n° 5, 1907.

2. SOUQUES et CHAUVET. — Inversion des réflexes tricipitaux; réflexe contre-latéral du quadriceps chez un ancien hémiplégique, peut-être tabétique. *Société neurologique*, 9 mai 1912.

3. NOÏCA et MARDÉ. — *Comptes rendus de la Soc. de Biologie*, 1908, t. XV, p. 690.

4. MORO : Réflexes du visage chez les nourrissons, *Wiener klin. Woch.*, n° 21, 1906.

confirmation de l'idée que le phénomène des orteils est en relation avec un trouble dans le fonctionnement du système pyramidal. »

PASSINI⁽¹⁾, LOUIS LE SOURD, JOHN LOVETT MORSE⁽²⁾, ENGSTLER⁽³⁾, confirment dans des travaux ultérieurs cette constatation. Voici dans le tableau suivant les chiffres d'ENGSTLER à propos de l'évolution du réflexe plantaire.

AGE	EXTENSION	PAS DE RÉFLEXE	FLEXION
Prématurés	94 %	6 %	0 %
1 semaine	92	7	1
2 à 8 semaines	92	7	1
9 à 16 semaines	82	7	11
17 à 24 semaines	79	9	12
7 à 9 mois	75	10	15
10 à 12 mois	77	8	15
1 an et demi	46	23	31
2 ans	13	23	64
3 ans	3	1	90

Les critiques ultérieures de SCHULER et MAX COHN⁽⁴⁾ ont été infirmées par les travaux histologiques de MAX GALLEWSKI⁽⁵⁾.

Cet auteur a examiné histologiquement des cerveaux et des moelles d'enfants de quelques semaines à huit mois. Il constate un parallélisme entre le développement des gaines de myéline et la physiologie des voies pyramidales. L'enfant acquerrait pendant les premières semaines de la vie une certaine richesse en myéline qui n'augmenterait que lentement pendant les premiers mois. On voit que le réflexe de Babinski possède une réelle valeur comme signe révélateur de l'insuffisance physiologique du faisceau pyramidal. En résumé, et d'accord avec BROUCHTEIN⁽⁶⁾ et LERI⁽⁷⁾, on

1. PASSINI. — Ueber der normalen Grosszahnreflex bei Kindern. *Wiener klin. Woch.*, 1900, n° 41.
2. JOHN LOVETT MORSE. — A study of the plantar reflex in infancy. *Neurolog. Centralblatt*, 1901, n° 10.
3. ENGSTLER. — *Wien. klin. Woch.*, 1905, t. VIII, p. 567.
4. COHN. — *Anat. Anz.*, vol. XX, 1901.
5. GALLEWSKI. — *Inaugural Dissertation*, Breslau, 1902.
6. BROUCHTEIN. — Réflexe normal des orteils chez les enfants. *Recueil des travaux psych. et neurol.*, Saint-Petersbourg, 1903, t. I, p. 336.
7. LERI. — Le réflexe des orteils chez les enfants. *Revue neurologique*, Paris, 1903, t. XI, p. 689.

peut donner sur le réflexe plantaire les conclusions suivantes (1) :

1° A la naissance, l'extension des orteils est la règle, presque générale; 2° après trois ans la flexion apparaît, l'extension devenant exceptionnelle; 3° l'extension disparaît en même temps que les attitudes spasmodiques des nouveau-nés. Ces phénomènes rendent compte de l'insuffisance du développement du faisceau pyramidal.

Le réflexe d'Oppenheim : réflexe jambier, présente une valeur bien moindre; la zone réflexogène décrite par BERTOLOTTI (2) est extrêmement étendue, et on peut provoquer la flexion du pied sur la jambe et l'extension du gros orteil par la moindre excitation. — Ceci n'est que la persistance de la zone *réflexogène des téguments cutanés* du fœtus très jeune; en effet, d'après les études de MINKOWSKI, entre deux mois et demi et cinq mois presque tout le revêtement cutané peut servir de zone réflexogène.

Les réflexes de défense : très délicats à rechercher chez l'adulte sont encore de recherche plus difficile chez l'enfant. L'enfant ne peut se tenir au repos sur le lit d'examen, et l'interprétation des excitations est des plus difficiles. BABINSKI considère que les causes d'erreur sont multiples. STEPHEN CHAUVET (3), CRUCHET (4) et d'autres qui ont cependant constaté l'existence de ces réflexes, n'ont pas obtenu de leur étude des résultats bien satisfaisants.

1. Consulter aussi pour le réflexe plantaire les travaux du Dr D. MONTER et du Dr BERSOT. Etude sur le réflexe plantaire. *Versammlung. der Schweizer. Neurolog. Gesellschaft in Zürich am 8. und 9. Juni 1919. Arch. suisses de Neurologie et de Psychiatrie*, p. 163. Band V, Hefl 1, et Henri BERSOT. Développement réactionnel du réflexe plantaire du bébé né avant terme à celui de deux ans, p. 947, vol. VIII, Hefl 1, fasc. 1, 1921, et p. 212, vol. VII, H. 1., fasc. 2, 1921.

2. BERTOLOTTI. — Etude de la zone réflexogène chez l'enfant. Quelques remarques sur la loi d'orientation des réflexes cutanés à l'état normal et pathologique. *Revue neurologique*, Paris, t. XII, p. 1160.

3. STEPHEN CHAUVET. — L'infantilisme hypophysaire, précédé d'une introduction à l'étude des infantilismes et d'une classification des syndromes hypophysaires. Paris, 1914.

4. CRUCHET. — Sémiologie du système nerveux des enfants. (La Pratique des maladies des enfants.)

CHAPITRE II

DÉVELOPPEMENT HISTOLOGIQUE NEURO-MUSCULAIRE ET APPARITION DES FONCTIONS

L'écorce cérébrale du fœtus est exclusivement composée de substance grise. La couche sous-corticale, dont l'aspect blanc chez l'adulte est dû à la myéline, et aux graisses phosphorées qui entourent les nerfs, fait complètement défaut.

Un assez grand nombre de faits et d'observations ont été recueillis tant par les histologistes que par les physiologistes et les cliniciens.

Nous présentons dans ce chapitre, rapprochées et coordonnées autant que possible, ces données histologiques et physiologiques relatives au développement neuro-musculaire chez le fœtus et le nouveau-né.

Système nerveux.

Les premières fibres myélinisées apparaissent vers le huitième mois de la vie intra-utérine. Ce sont celles de la sensibilité générale, tactile, musculaire ou articulaire.

En outre, à *la naissance*, on trouve myélinisés le système olfactif et visuel ainsi que la zone thalamique et une partie du centre ovale. Le reste de l'encéphale est encore non myélinisé.

Ainsi que FLECHSIG l'a montré, la conduction des excitations afférentes et efférentes ne s'effectue pas par les fibres non myélinisées.

Histologiquement, les différentes couches cellulaires du cortex se différencient seulement vers le sixième mois.

Parallèlement à ce développement histologique se différencient lentement les fonctions du cerveau.

A cette époque on constate :

a) Une première couche interne de cellules polymorphes qui apparaissent au sixième mois de la vie intra-utérine; cette couche assure la conduction des actes instinctifs;

b) Une couche moyenne qui se constitue vers la même époque et qui reçoit et transmet les excitations afférentes;

c) Une couche externe, non encore développée à la naissance, couche d'association, ou couche psychique.

Elles ont été étudiées chez le fœtus et le nouveau-né, tant chez l'animal que chez l'homme. Dans les premiers jours qui suivent la naissance, le cerveau semble inexcitable au point de vue électrique. Les recherches expérimentales de SOLTSMANN (1) sur le chien et le chat nouveau-né ont montré que :

1° A la naissance, l'excitation des centres moteurs corticaux ne provoque aucune réaction, ni au niveau des membres, ni au niveau de la face. Ce n'est que vers le dixième jour que ces mouvements apparaissent, d'abord aux membres antérieurs, puis aux membres postérieurs, enfin à la face.

2° Au début, les localisations cérébrales sont imprécises, et une excitation au niveau d'une zone déterminée ne provoque alors que des réactions diffuses; puis, au fur et à mesure de l'évolution, chaque zone corticale possède un territoire de plus en plus défini, pour présenter finalement la précision de localisation des animaux adultes.

3° L'extirpation de la zone motrice du cortex, chez le chien nouveau-né avant le dixième jour, ne provoque pas des troubles dans le cerveau opposé, donc aucun trouble moteur. L'écorce paraît plus excitable chez les animaux qui présentent à la naissance un développement complet.

D'après TARCHANOFF (2), l'écorce n'est pas excitable jusqu'au treizième jour chez le lapin qui naît aveugle; au contraire,

1. O. SOLTSMANN. — Ueber einige physiologische Eigenthümlichkeiten der Muskeln und Nerven des Neugeborenen. *Jahrbuch für Kinderheilkunde*, 1877-1878, p. 1-20; et *Centralbl. med. Wissensch.*, 1875.

2. TARCHANOFF. — *Rev. mens. Méd. et Chirur.*, 1878.

L'écorce est excitable dès le premier jour chez le cobaye qui est complètement développé à la naissance.

Les expériences de BARY (1) ont montré que l'excitation corticale chez le jeune chien et chez le jeune chat, ne provoque que des contractions en masse, jamais isolées. La contraction présente une période latente longue, elle est de courte durée, et c'est impossible d'obtenir des contractions cloniques et des convulsions épileptiformes. Les fonctions cérébrales chez le *fœtus* sont très limitées, puisque les mouvements *fœtaux* s'observent jusque chez les anencéphales; les mouvements fœtaux ne semblent donc pas d'origine cérébrale, mais apparaissent comme des mouvements d'ordre réflexe, ou impulsifs. Il existe donc une indépendance marquée, entre les mouvements fœtaux et l'activité cérébrale.

A l'aide de la méthode graphique, FRANCIS WARNER (2) en 1889 a étudié les mouvements fœtaux dans leurs rapports avec l'activité cérébrale. Il observe presque constamment des mouvements spontanés qu'il dénomme microkinétiques. Ces mouvements disparaissent au cours du sommeil. Les mouvements de la face apparaissent vers l'âge d'un mois.

A l'âge de trois mois, on note des mouvements sensoriels. L'enfant détourne la tête par moment vers la lumière.

Vers quatre mois, il se produit certains phénomènes d'inhibition.

Les mouvements microkinétiques sont inhibés par la sensation lumineuse. A l'âge de trois ans, les mouvements microkinétiques sont commandés par l'activité sensorielle. Ils disparaissent totalement vers l'âge de dix ans.

Le développement de la coordination des mouvements est parallèle au développement du système nerveux central. KRASNAGORSKI (3) donne une méthode pour l'étude de la coordination, c'est la méthode des réflexes associés. Cette méthode permet de suivre le développement physiologique des centres nerveux. On considère deux sortes de réflexes associés : le réflexe conditionnel et le réflexe de l'intervalle ou de la trace.

1. BARY. — *Inaug. Dissert.*, Saint-Petersbourg, 1898.

2. FRANCIS WARNER. — *Journal Mental Science*, 36, 1889.

3. KRASNAGORSKI : *Jahrb. f. Kinderheilk.*, 69, 1907 et *Jahrb. f. Kinderheilk.*, 1914, p. 261.

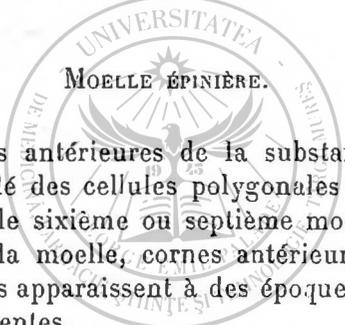
Par cette méthode, cet auteur découvre que :

1° Le mécanisme de l'association temporaire débute au sixième mois. Cette date est reculée chez les arriérés intellectuels et chez les enfants qui présentent des troubles de la nutrition;

2° Le réflexe de l'intervalle débute avec la deuxième année de la vie.

FÖRSTER (1) confirme les vues de KRASNAGORSKI; pour lui aussi, les actes de coordination sont d'obtention lente chez l'enfant.

L'*histo-chimie* du cerveau fœtal montre que, parmi les graisses, la myéline fait complètement défaut. La lécithine et les protéines, qui sont en quantité très minime chez le fœtus, s'accroissent après la naissance. La neurokératine manque dans le cerveau fœtal; l'eau et le calcium, très abondants chez le fœtus, se raréfient avec l'âge. (Cerveau fœtal, 0,168 % de calcium, cerveau à la naissance, 0,107 % de calcium.)



Dans les cornes antérieures de la substance grise fœtale, SLIOTOFF (2) a décelé des cellules polygonales multipolaires qui apparaissent vers le sixième ou septième mois. Dans les différentes parties de la moelle, cornes antérieures, cornes postérieures, ces cellules apparaissent à des époques diverses et sont de structures différentes.

D'après FLECHSIG, il n'y a pas de rapport étroit entre l'apparition des divers éléments cellulaires et l'âge du fœtus. La myélinisation des fibres débute vers le sixième ou le septième mois de la vie intra-utérine. Ce fait s'est trouvé confirmé par de multiples recherches histologiques de FLECHSIG, KÖLLIKER, BECHTEREW (3), KARUSIN. A la naissance, et même pendant le dernier mois de la vie fœtale, la moelle se trouve complètement développée et myélinisée, hormis le faisceau pyramidal. D'après les auteurs précités, ce faisceau n'atteint son complet dévelop-

1. FÖRSTER : Die Mitbewegungen bei Gesunden, Nerven und Geisteskranken. Léna, 1903.

2. SLIOTOFF. — *Inaug. Dissert.*, Saint-Pétersbourg, 1902.

3. BECHTEREW. — Les voies de conduction du cerveau et de la moelle. Trad. Bonne, Paris, 1900.

pement et sa myélinisation que vers le troisième mois après la naissance. Son développement dépend, en effet, de celui des zones motrices de l'écorce. Il n'y a aucune relation avec le développement des cellules antérieures qui se trouvent déjà différenciées à la naissance. Le développement du faisceau pyramidal peut être retardé chez le nourrisson par les troubles gastro-intestinaux; dans certains états pathologiques généraux, dans certaines maladies de la nutrition, la myélinisation d'après SLIOTOFF s'accomplirait d'autant plus tardivement que ces états sont d'apparition plus précoce.

Ce développement est en relation avec le signe de Babinski qui est positif après la naissance. Le signe est positif jusqu'à la deuxième année, cette date étant variable. Elle peut être reculée chez les atrophiques, dans les affections héréditaires et au cours des troubles digestifs.

Les fonctions de la moelle apparaissent au fur et à mesure de la différenciation histologique.

Les fonctions sont de deux ordres. D'une part, la moelle préside à la formation des réflexes, et d'autre part, elle transmet ces réflexes à l'écorce cérébrale. A la naissance, la première fonction existe seule, la seconde n'est pas encore apparue. C'est pourquoi il n'existe pas encore à cette époque d'inhibition des réflexes. Expérimentalement, sur les animaux, on a constaté que l'action d'inhibition existe cependant sur certains animaux nouveau-nés. Ainsi PREYER a observé que certains bruits provoquent des mouvements dans la musculature du pavillon de l'oreille chez le cochon d'Inde. Cet acte est inhibé quand le museau de l'animal est serré dans une pince. TARCHANOFF (1) remarque que les animaux moins développés à la naissance : chien, chat, lapin, etc., ne présentent pas d'action inhibitrice. L'enfant doit être comparé aux animaux moins développés à la naissance. L'absence d'inhibition explique la fréquence des convulsions infantiles dans les premiers temps.

1. TARCHANOFF. — Sur les centres psychomoteurs des animaux nouveau-nés et leur développement dans différentes conditions. *Revue mensuelle de Médecine et Chirurgie*, 1878.

NERFS PÉRIPHÉRIQUES.

POUR REMAK la fibre nerveuse était complètement développée à la naissance, mais AXEL KEY et RETZIUS ont bien montré que les nerfs, la gaine de Schwann et les noyaux présentent à cette époque des caractères qui les différencient de l'âge adulte. La couche protoplasmique qui entoure la gaine de Schwann alors est très abondante et les noyaux sont nombreux; ces faits ont été confirmés par les travaux de KNUTH. Mais c'est à WESTPHAL⁽¹⁾ qu'est due l'étude la plus importante sur la question. D'après lui, à la naissance, les fibres nerveuses périphériques sont très peu myélinisées, leur calibre est plus petit que chez l'adulte. Leur section est cinq fois plus petite. Fréquemment on y trouve des fascicules irréguliers de forme variqueuse.

Nous aurons à rapprocher les constatations sur le calibre et la forme de la fibre nerveuse chez le nouveau-né des résultats que nous avons obtenus sur la chronaxie des nerfs; on trouvera là une nouvelle confirmation de la loi établie par les recherches de L. LAPICQUE et LEGENDRE⁽²⁾, recherches dont nous exposerons les détails plus loin et qui mettent directement en rapport la chronaxie des fibres nerveuses avec leur morphologie.

Les gaines nerveuses du nouveau-né diffèrent de celles de l'adulte au double point de vue quantitatif et qualitatif. Quantitativement la pulpe est moins abondante, avec des solutions de continuité. Qualitativement, le contenu des gaines présente des réactions chimiques particulières.

L'acide osmique colore la pulpe nerveuse en vert pâle ou gris-jaune, jamais en noir comme chez l'adulte. Chez les enfants plus âgés, la coloration, même si elle devient noire, n'est pas le même noir intense de l'adulte.

Par la coloration de WEIGERT-PAL (bichromate de K, héma-

1. A. WESTPHAL. — Die elektrischen Erregbarkeitsverhältnisse des peripherischen Nervensystems des Menschen im jugendlichen Zustand und ihre Beziehungen zu dem anatomischen Bau desselben. *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrank.*, p. 1-96, XXVI Band, 3 Heft, 1894.

2. L. LAPICQUE et LEGENDRE. — Relation entre le diamètre des fibres nerveuses et leur rapidité fonctionnelle. *Acad. des Sc.*, 8 décembre 1913 et : La rapidité fonctionnelle des fibres nerveuses mesurée par la chronaxie et son substratum anatomique. *Bull. du Museum*, n° 4, 1913.

toxyline), on obtient également des colorations particulières. L'héματοxyline colore la gaine de Schwann en noir intense. L'activité maxima du développement des gaines se situe de la troisième à la sixième semaine après la naissance. WESTPHAL ajoute que, même à la deuxième année, leur développement complet n'est pas atteint.

Les cylindraxes. — A la naissance, l'acide osmique les colore en vert au lieu de la coloration blanche ou gris-blanc qu'il leur donne chez l'adulte. On trouve assez fréquemment, après coloration, des cylindraxes libres de volume appréciable présentant des zones de précipitation à la périphérie. Ces cylindraxes libres sont visibles jusqu'à la troisième ou sixième semaine, après la naissance.

Les incisures de Schmidt et Lantermann chez le nouveau-né ne sont pas encore développées, on ne peut pas les reconnaître. Les noyaux de la gaine de Schwann ont un développement très grand par rapport à celui de la fibre. Ils sont très nombreux et entourés d'une grosse masse protoplasmique.

En résumé on voit que :

- 1° Les nerfs périphériques ne sont pas encore formés à la naissance dans leurs différentes parties constitutives;
- 2° Le développement acquiert son maximum d'activité de la troisième à la sixième semaine, après la naissance;
- 3° Le développement complet n'est atteint que vers la deuxième année;
- 4° Cette évolution est irrégulière. Chez différents sujets d'âge identique le stade de développement est différent.

Les nerfs se développent successivement. — La myélinisation s'effectue dans l'ordre suivant : d'abord les nerfs moteurs, puis les nerfs mixtes, enfin les organes sensoriels. Le nerf auditif fait exception, il est complètement développé à la naissance. Le nerf optique est le moins développé. D'après SOKOLOFF, c'est la 3^e et la 6^e paire qui se myélinisent les premières. La 9^e paire se myélinise la dernière. SOLTSMANN (1) et VON ANREP (2), ont constaté

1. O. SOLTSMANN. — Experimentelle Studien über die Funktionen des Grosshirns der Neugeborenen. *Archiv f. Kinderheilk.*, IX, 106-108.

2. VON ANREP : Ueber die Entwicklung der hemmenden Funktionen bei Neugeborenen. *Plüger's Archiv*, XXI, p. 78-80.

que l'action de la 10^e paire est insignifiante jusqu'au quatorzième jour après la naissance. БАКИТКО (1) conclut que la myéline apparaît autour des nerfs craniens et spinaux vers le cinquième mois et toujours dans l'ordre : nerfs moteurs, nerfs mixtes, nerfs sensitifs.

A la naissance, la gaine des racines des nerfs moteurs est complètement formée, tandis que les cylindraxes des nerfs mixtes et des nerfs sensitifs sont encore non myélinisés (sauf l'auditif).

Leurs fonctions motrice et sensitive existent dès la naissance, ainsi que SOLTSMANN l'a montré à l'aide de l'excitation électrique. Cet auteur s'est adressé au lapin et au chien nouveau-né. Il a trouvé que l'excitabilité des nerfs moteurs atteint son complet développement vers la sixième semaine. L'excitabilité sensitive est constituée vers la douzième semaine. On admet qu'il existe chez l'enfant une évolution semblable. Chez eux, la fréquence des convulsions serait due au défaut de développement du système inhibiteur; dans ces conditions une excitation même très légère à point de départ gastrique ou gingival (développement dentaire) suffit à produire de violentes réactions. L'hypothèse de l'origine physiologique de ces convulsions s'oppose à la théorie de FINKELSTEIN (2) qui suppose l'existence d'une diathèse spasmodique. D'après cet auteur l'hyperexcitabilité des nerfs périphériques serait due à la pauvreté de l'organisme en sels de calcium. En raison de leur résistance particulièrement grande à cet âge, les nerfs périphériques supportent des voltages de courants plus considérables que chez l'adulte. Cette résistance accrue persiste pendant les trois premières semaines. On attribue d'une part cette résistance à l'état spécial de la peau du nouveau-né, recouverte de lanugo. Et comme le cuir chevelu est plus riche en cette substance, la résistance du cerveau persiste plus longtemps. Mais, d'autre part, le peu de sensibilité des nerfs du nouveau-né à ces grands voltages tient aussi au développement imparfait des fibres nerveuses. Nous avons ailleurs mis en évidence ce fait.

1. БАКИТКО. — *Inaug. Dissert.*, Saint-Petersbourg, 1902.

2. FINKELSTEIN. — *Lehrbuch der Säuglingskrankheiten*. Berlin, 1905-1912.

L'INEXISTENCE DE LA PLAQUE MOTRICE COMME ENTITÉ ANATOMIQUE.

Quant à la plaque motrice, dont l'existence n'est pas prouvée anatomiquement, elle ne peut pas être considérée, au cours du développement histologique du système neuro-musculaire, comme un élément anatomique séparé. Elle ne peut donc pas marquer le degré d'évolution anatomique de ce système comme on l'a admis jusqu'à aujourd'hui. L'hypothèse que la plaque motrice est un facteur intermédiaire entre le nerf et le muscle est fautive, et aussi les expériences qui sont basées sur ce principe. Ainsi les recherches de PREVER, tendant à montrer à l'aide du curare l'absence de plaque motrice à la naissance, ne reposent sur aucune base solide. En effet, il ressort des recherches de L. et M. LAPICQUE (*Théorie de la curarisation*) que les phénomènes de curarisation ne sont point conditionnés par l'existence d'une plaque motrice.

L. et M. LAPICQUE (1) ont constaté que le curare n'agit pas, comme on l'admettait, sur la plaque motrice, mais au niveau de la fibre musculaire même; c'est un poison musculaire, qui agit dans le même sens sur tous les muscles, et qui se traduit par une augmentation de la chronaxie; l'action est d'autant plus marquée que le muscle est plus rapide, que la chronaxie est plus petite. La chronaxie du muscle augmentant (ces expériences ont prouvé qu'elle peut augmenter jusqu'au décuple et davantage), l'excitation du nerf ne se transmet plus au muscle dès que la chronaxie du muscle a doublé; ce fait caractérise la *curarisation*.

D'autres poisons exercent aussi une action curarisante; mais leur action est différente, soit sur le muscle, soit sur le nerf. Ainsi, tandis que le curare touche la chronaxie musculaire, en diminuant sa rapidité, la strychnine diminue la chronaxie nerveuse.

Les études systématiques de L. et M. LAPICQUE (2) ont montré

1. L. et M. LAPICQUE. — Variation d'excitabilité du muscle dans la curarisation, *C. R. Soc. Biol.*, 9 juin 1906, p. 991; Sur le mécanisme de la curarisation, *C. R. Soc. Biol.*, 26 décembre 1908, p. 733; Action du curare sur les muscles des divers animaux, *C. R. Soc. Biol.*, 11 juin 1910, p. 1007.

2. L. et M. LAPICQUE. — Curarisation par la vérratine, antagonismes dans la curarisation, *C. R. Soc. Biol.*, 17 février 1912; Sur l'antagonisme entre le curare et la physostigmine, *C. R. Soc. Biol.*, 27 avril 1912; Action locale de la strychnine

l'action différente des divers poisons sur le muscle et le nerf. Le curare ralentit le muscle, la vératrine l'accélère; la strychnine accélère le nerf.

On voit que les expériences de PREVER ne sont donc point péremptoires, les phénomènes de curarisation étant indépendants de la plaque motrice.

Ce que l'on observe sur le nouveau-né, c'est une action relativement faible du curare en raison de la grande chronaxie de la fibre musculaire. Ceci est en accord avec la loi générale établie par LAPICQUE suivant laquelle l'action du curare est d'autant moins efficace que le muscle a une plus grande chronaxie.

Systeme musculaire.

CARACTÈRES DES MUSCLES; MUSCLES ROUGES ET MUSCLES BLANCS.

Nous analyserons ici, brièvement, les travaux successifs des auteurs qui ont abordé la question.

FÉLIX⁽¹⁾ décrit en premier lieu le développement musculaire. Mais l'étude complète est due à HARTING⁽²⁾ qui considère l'évolution musculaire dans son ensemble. Pour lui, le développement incomplet du système musculaire fœtal est en relation avec l'abondance du tissu conjonctif. A la naissance, la proportion du tissu conjonctif est plus grande par rapport au tissu musculaire que chez l'adulte. DEITERS, HEPP et RIEDEL remarquent le grand développement des fibres musculaires isolées au cours de la vie fœtale. Le développement de cette fibre se fait à la fois en longueur et en largeur, avec multiplication des noyaux, d'après KÖLLIKER⁽³⁾. Pour lui, la fibre musculaire est alors 5 fois plus mince que chez l'adulte. La section est quadrilatère au lieu d'être semi-lunaire ou circulaire. Pour WESTPHAL⁽⁴⁾, les fibres musculaires fœtales sont de diamètre inégal; leur calibre

sur le nerf, hétérochronisme non curarisant, poisons pseudo-curarisants, *C. R. Soc. Biol.*, 10 mai 1913; Quelques points de l'action du curare, *C. R. Soc. Biol.*, 28 juin 1913.

1. FELIX. — *Zeitschrift für wiss. Zoologie*, t. XLVIII.

2. HARTING. — Recherches micrométriques des muscles, Paris, 1858.

3. KÖLLIKER. — *Gewebelehre und Verhandl. der phys.-med. Gesselsch. z. Würzburg*, t. V, 1889.

4. WESTPHAL. — *Loc. cit.*, p. 26.

varie de 5 à 10 μ . A la naissance, elles sont de 5 à 10 μ , et atteignent 28 μ à l'âge de un an. Chez l'adulte, elles sont de 36 μ . Les recherches de WESTPHAL furent confirmées trois ans après par WOJTECIOWSKI et NARBUTT (¹). Le muscle du nouveau-né est particulièrement *riche en noyaux*, est plus pâle, plus riche en eau, plus friable que celui de l'adulte. Le calibre de la fibre est constamment 3 fois plus faible, pour arriver au calibre adulte par développement régulièrement circulaire. RANVIER (²) et ASWADOUROFF (³) ont montré qu'au cours de la vie fœtale certains muscles sont en *avance de développement sur d'autres*. Pour ces auteurs, il y aurait des *muscles blancs et des muscles rouges*, ces derniers étant les moins développés. Ils ajoutent d'ailleurs que chaque muscle est composé de *deux ordres de fibres*, et c'est leur proportion respective qui caractérise chaque groupe musculaire. Ces caractères seraient communs à l'homme et à l'animal, ce qui tendrait à considérer une évolution musculaire commune à tout le règne animal. Les fibres prennent la forme polygonale vers la troisième semaine. MAC CALLUM (⁴) donne le tableau suivant au sujet de la *circonférence des fibres*, de la naissance à l'âge adulte :

	LONGUEUR du corps	SURFACE de section du muscle en mm ² (a)	SURFACE de section d'une fibre en mm ² (b)	NOMBRE des fibres $\frac{a}{b}$
Adulte.	180	116,48	0,000196	142,118
Nouveau-né	50	11,557	0,000102	113,304
Embryon n° 64. . . .	7,4	0,382858	0,00005882	6,509
— n° B	10,2	1,02578	0,00003937	26,055
— n° 65	13,0	1,02164	0,0000226	45,205
— n° 98	17,0	5,7578	0,0000484	128,408
— n° A	20	8,417	0,0000555	151,617

1. NARBUTT. — Newrol Vjestnik, 1902.

2. RANVIER. — Propriétés et structures différentes des muscles rouges et des muscles striés blancs, chez les lapins et les raies, *C. R. Acad. Sc.*, t. LXXVII, 1873; De quelques faits relatifs à l'histologie et à la physiologie des muscles striés, *Arch. de Physiol.*, 1874; Traité technique d'histologie, Paris 1875; Des muscles blancs et muscles rouges chez les rongeurs, *C. R. Acad. Sc.*, t. CIV, 1887; Leçons d'anatomie générale sur le système musculaire, Paris, 1888.

3. ASWADOUROFF. — Comparaison du développement chez l'embryon humain et chez les animaux à l'état adulte. *C. R. Soc. Biologie*, 6 octobre 1888, p. 677.

4. MAC CALLUM. — Bulletin John Hopkins Hospital, t. IX, 1898, p. 208.

D'après GUNDOBIN (¹), *les noyaux sont plus épais*, leur forme est circulaire, et dans les trois premiers mois après la naissance, leur volume est considérable. Après trois mois, ils prennent la forme de bâtonnets; le sarcoplasme est très abondant par rapport aux fibres différenciées. Comme l'a montré WEISS (²), *les fibrilles différenciées, peu au début, remplacent progressivement le sarcoplasme jusqu'à l'âge adulte*. Ce fait rend compte de certains points de physiologie, ainsi que nous le verrons plus loin.

CONSIDÉRATIONS PHYSIOLOGIQUES.

Au point de vue physiologique, on constate la présence du mouvement avant la différenciation des fibres chez l'embryon très jeune. Ces mouvements déterminés expérimentalement sont attribuables au protoplasme. Les mouvements n'ont, d'ailleurs, pas de rapport avec l'intensité de l'excitation.

FANO (³) observe sur les Batraciens, sur le poulet et sur le cobaye, que chaque excitation produite sur le muscle où les fibrilles ne sont pas encore développées et dont les mouvements ne peuvent être attribués qu'au sarcoplasme seul, détermine le même mouvement, qui n'a aucune relation ni avec la grandeur de l'excitabilité, ni avec l'endroit où elle a été produite.

Une fois que les fibrilles ont atteint leur complet développement, le muscle est excitable localement et répond par une petite secousse brève à chaque excitation.

Dès que les fibres musculaires sont prépondérantes, le muscle répond lui-même par des secousses en rapport avec l'intensité de l'excitation.

Les muscles du nouveau-né présentent trois propriétés, ce sont : l'extensibilité, l'élasticité, la contractilité, qui sont, en somme, les propriétés du muscle adulte, mais avec des différences. D'après VIERORDT (⁴), l'extensibilité plus grande à la naissance va diminuant avec l'accroissement du poids du corps

1. A. P. GUNDOBIN. — Die Besonderheiten des Kindesalters. Grundlegende Tatsachen zur Erkenntnis der Kinderkrankheiten. Berlin, 1912, p. 57.

2. G. WEISS. — Le muscle dans la série animale. (Histologie du muscle, contraction musculaire.) *Revue générale des Sciences*, 1901, p. 1113.

3. FANO. — Sulla sviluppo della funzione cardiaca nell'embrione. *Lo sperimentale*, 1885.

4. VIERORDT. — Daten und Tabellen, p. 426, 3^e édition, 1906.

sans d'ailleurs être directement fonction de celui-ci. L'élasticité, capacité de revenir à la longueur originelle quand la force appliquée a cessé d'agir, est plus grande à la naissance et décroît avec l'âge. Voilà d'après cet auteur le tableau :

AGE	POIDS SPÉCIFIQUE	CORFFIC. D'ÉLASTICITÉ en kgr.	CONTRÉSION en kgr.
1 an	1,071	1,271	0,070
21 a s.	1,010	0,857	0,040
30 "	1,058	0,852	0,026
74 »	1,043	0,216	0,017

Au point de vue de leur physiologie, les muscles présentent ce caractère essentiel d'être extrêmement résistants à la fatigue.

BIEDERMANN et RETZIUS ont attiré les premiers l'attention sur la grande résistance à la fatigue des muscles embryonnaires.

Cliniquement l'enfant, jusqu'à deux ans et demi, présente le syndrome d'hypogénésie motrice. Ce syndrome a été décrit par DUPRÉ⁽¹⁾ en 1907. Il l'avait observé sur l'adulte⁽²⁾ et sur l'adolescent. La résistance du muscle à la fatigue est telle que le nourrisson peut rester dans une immobilité absolue sans fatigue apparente de vingt à quarante-cinq minutes. (Signe du bras, COLLIN.)

Ce phénomène correspond à un stade de développement neuro-musculaire où le faisceau pyramidal est encore rudimentaire. (DUPRÉ.)

Quelques considérations chimiques montrent que le développement du muscle est caractérisé par une perte progressive d'eau et une augmentation de substances solides et de cendres. C'est ainsi que, d'après JAKUBOWITCH⁽³⁾, les graisses, les lécithines et cholestérines augmentent tandis que la créatine devient moins abondante. L'acide phosphorique augmente de proportion, l'acide sulfurique ne varie pas. Ces différents faits sont réunis dans le

1. DUPRÉ. — Syndrome de débilité mentale. *Soc. de Neurologie*, 6 juin 1907.

2. Ce développement insuffisant relèverait tantôt d'une agénésie essentielle, tantôt d'une encéphalopathie datant des premières années. Les malades atteints présentent de l'exagération des réflexes tendineux, des syncinésies, le réflexe plantaire en extension, de la maladresse des mouvements, et une hypertonie appelée « paratonic ».

3. JAKUBOWITCH. — *Mediziniskoye Oboszeniye*, 1891 (d'après FELDMAN).

tableau ci-dessous, dû à BAÏMAKOFF (1) sur la proportion de ces substances dans les deux premières années qui suivent la naissance.

AGE	EAU	M. SOLIDES	ALBUMINE
A la naissance.	81,65	18,35	11,38
A 3 mois	79,22	20,78	12,22
A 2 ans	77,21	22,79	13,05

Après deux ans, l'eau diminue davantage et les substances solides augmentent de proportion. De plus, BAÏMAKOFF a étudié les substances albuminoïdes. Ainsi, à la naissance, la proportion de myosine et de globuline est de : globuline, 4,9 %. myosine, 5,01 %. Tandis que la globuline reste la même, la myosine devient plus abondante. A l'âge de deux ans, elle atteint 6,41 %. Cette augmentation est en rapport avec la contractilité de la fibre, ainsi que nous le verrons, et que le montrent d'ailleurs les courbes de contraction. Faisons remarquer que c'est la myosine qui produit la rigidité cadavérique. Celle-ci est bien moins intense chez le fœtus que chez l'adulte. Ce fait s'explique d'abord en raison de la proportion moins grande de la myosine, ensuite parce que l'acide sarcolactique produit par l'activité musculaire fait défaut. Les cendres augmentent de proportion. De 0,84 % à la naissance, elles sont de 1,35 à trois mois et 1,55 à deux ans. Le fer qui est de 0,0004 % à la naissance atteint 0,07 % à deux ans. La créatine augmente aussi, d'après les travaux de MELLANBY (2) sur les lapins :

Lapin : fœtus, 21 jours.	traces
nouveau-né, 7 jours	0,191 %
— 9 —	0,228
— 12 —	283
— 19 —	316
— 25 —	300
— 39 —	390
— 46 —	373
Adulte, —	435

Avec la créatine, l'hypoxantine représente un produit d'oxydation formé par le métabolisme fœtal. Le muscle fœtal contient aussi du glycoène et de la nucléine.

1. BAÏMAKOFF. — Die organisierten Eiweissarten der Muskeln, in den verschiedenen Lebensperioden, bei Kindern und Kälbern. *Inaug. Dissert.*, Saint-Petersbourg, 1904

2. MELLANBY. — *Journ. Phys.*, XXXVI, 1908, p. 445.

CHAPITRE III

CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES SUR LA CHRONAXIE REMARQUES SUR L'ISOCRONISME DU NERF ET DU MUSCLE

Considérations théoriques sur la chronaxie.

Les nouvelles recherches sur l'excitation effectuées d'une part par les électro-physiologistes français [L. et M. LAPICQUE] et d'autre part par l'école des physiologistes anglais [WALLER et KERRH LUCAS] ont mis en évidence que l'excitabilité ne peut être caractérisée par une recherche simple de hauteur de seuil (galvanique ou faradique).

L'étude quantitative de la hauteur de seuil de l'excitation, c'est-à-dire l'intensité nécessaire pour provoquer une excitation, était la base des recherches classiques. Mais les résultats de cette méthode sont variables, en raison des contingences expérimentales et de leur interprétation difficile.

Les contingences dépendent des modifications de la résistance de la peau au cours des déterminations successives, ainsi que des modifications de la position de l'électrode (variation de la densité du courant, à l'électrode effective) ; par ces variations, les déterminations sont peu comparables entre elles.

L'interprétation est difficile d'une part, à cause de ces contingences, d'autre part pour la raison suivante : les modifications des seuils peuvent tenir à des causes diverses ; la forme de l'onde intervient d'une façon prépondérante et on trouve parfois des résultats d'apparence contradictoire, excitabilité augmentée par

le courant galvanique (ondes de longue durée), diminuée par les chocs d'induction (ondes brèves).

Ces résultats variables, suivant la forme de l'onde excitante, ne s'expliquent que par les notions nouvelles sur le rôle de la durée de passage du courant pour la mise en jeu du processus de l'excitation.

Les recherches récentes ont introduit une notion nouvelle qui caractérise d'une façon objective l'excitabilité d'un tissu. Cette notion c'est *la rapidité avec laquelle se développe dans un tissu le processus d'excitation sous l'influence d'un courant* ; c'est cette propriété qui établit la différence entre l'excitabilité d'un muscle rapide et d'un muscle lent, entre un muscle différencié histologiquement et un muscle peu différencié, entre un nerf sain et un nerf dégénéré. Et c'est cette rapidité qui caractérise fondamentalement l'excitabilité de ces tissus.

L'utilisation de cette notion nouvelle apparaît impérieuse.

Cette notion de la vitesse d'excitabilité, différente pour les différents tissus, s'est dégagée peu à peu d'un ensemble de travaux sur l'excitation que nous allons rappeler très brièvement.

Tandis que DU BOIS REYMOND (1) n'avait pas observé l'influence de la durée, FICK (2) et ENGELMANN (3) montrèrent que l'excitabilité des tissus à contraction lente était différente au point de vue quantitatif de celle des tissus à contraction rapide.

FICK établit sur les adducteurs des valves de la moule que le temps a une influence sur l'intensité liminaire pour des durées de l'ordre de 1/10 de seconde, et ENGELMANN constate sur l'uretère du lapin qu'à des durées différentes (1/4, 1/2 ou 1 seconde) correspondent des intensités liminaires différentes.

ENGELMANN conclut que l'influence de la durée est très différente sur les différents tissus, et que, pour caractériser un tissu, il faut faire intervenir un certain *temps physiologique*.

1. DU BOIS REYMOND. — Untersuchungen über thierische Electricität, Berlin, 1848, et Gesammelte Abhandlungen zur allgemeinen Muskel- und Nervenphysik, Leipzig, 1875.

2. FICK. — Beiträge zur vergleichenden Physiologie der irritablen Substanzen, Braunschweig, 1863. — Untersuchungen über elektrische Nervenreizung, Braunschweig, 1864.

3. ENGELMANN. — Beiträge zur allgemeinen Muskel- und Nervenphysiologie, Pflüger's Archiv, 3, p. 404 1870. — Bericht d. preuss. Akad., 1905.

Mais quoique ayant aperçu les différences quantitatives dans la relation qui unit l'intensité à la durée sur différents tissus, ils ne définissent pas avec précision le « temps physiologique » qui ne pouvait pas être soumis à une mesure quantitative exacte.

De nombreux auteurs ensuite [GRÜTZNER, SCHOTT⁽¹⁾, BURKER⁽²⁾], en étudiant la question avec des appareils divers, établirent quelques faits, dans le même ordre d'idées, sans aboutir à des conclusions générales.

Les différences quantitatives que présentent, au point de vue de l'influence de la durée, les différents tissus ne furent mises en évidence et étudiées systématiquement que lorsque l'on eut déterminé avec précision la loi d'excitation.

Lorsque HOORWEG⁽³⁾, d'une part, au moyen des condensateurs et G. WEISS⁽⁴⁾, d'autre part, au moyen des ondes rectangulaires eurent déterminé la relation qui existe entre la durée du passage et l'intensité nécessaire pour la production de l'excitation, L. et M. LAPICQUE mirent en évidence, avec force, les différences considérables qui séparaient les tissus.

Rappelons les résultats essentiels relatifs à la loi d'excitation.

Si l'on cherche, par des durées de passage différentes, quelles sont les intensités nécessaires pour produire le seuil de l'excitation, on constate que, à mesure que la durée de passage augmente, l'intensité nécessaire diminue.

Elle diminue jusqu'à une valeur minima, au-dessous de laquelle elle ne descend plus.

Si l'on représente graphiquement la variation de l'intensité liminaire en fonction de la durée, on trouve une courbe de la forme suivante : voir figure 1, page 38.

On voit que, comme caractéristiques de cette loi d'excitation, il y a deux quantités.

1. SCHOTT. — Ein Beitrag zur elektrischen Reizung des quergestreiften Muskels von seinem Nerven aus, *Pflüger's Archiv.*, t. XLVIII, 1891, p. 354.

2. BURKER. — Ueber die Erzeugung und physiologische Wirkung schnell und langsam verlaufender magnetoelektrischer Ströme, *Thèse Tübingen*, 1847.

3. HOORWEG. — *Pflüger's Archiv*, 52, p. 87, 1892. *Archives de Physiologie*, p. 269, 1898.

4. G. WEISS. — *Archives italiennes de Biologie*, 35, p. 413, 1908. — *Soc. de Biologie*, 8 juin 1901.

D'une part, cette intensité minima obtenue pour les temps longs, et qui a été appelée *rhéobase*, d'autre part, la durée au-dessous de laquelle l'intensité commence à croître et qui est *le temps utile*.

L. et M. LAPICQUE (*) (**) montrent que pour obtenir une élévation de l'intensité liminaire, par diminution de la durée de passage, il fallait descendre à des durées extrêmement différentes suivant les tissus,

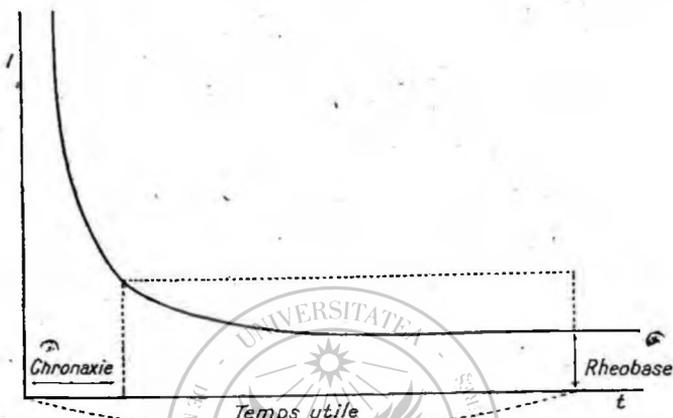


FIG. 1.

en somme que le temps utile est très différent sur les différents tissus, voici, par exemple, pour quelles durées l'intensité liminaire commence à s'élever sur divers muscles :

	sec.
Gastrocnémien de <i>Rana esculenta</i>	0,003
— de <i>Rana fusca</i>	0,007
— <i>Bufo vulgaris</i>	0,009
Droit de l'abdomen chez <i>Rana esculenta</i>	0,013
Muscles longitudinaux du pied de <i>Helix pomatia</i>	0,048
Muscle ventriculaire de <i>Toestudo græca</i>	0,082
Muscle adducteur de la pince, <i>Carcinus mænas</i>	0,300
Muscle longitudinal du manteau, <i>Aplysia punctata</i>	0,800

On voit que les temps à considérer sont d'un ordre de grandeur différent, suivant qu'il s'agit d'un muscle rapide (gastrocnémien) ou d'un muscle lent (muscles d'*Aplysia punctata*).

En raison des difficultés de détermination de ce temps utile [a cause

1. M. et L. LAPICQUE. — *Soc. de Biologie*, 7 mars 1903, 4 avril 1903, 13 juin 1903, 25 juillet 1903; *Journal de Phys. et Path. gén.*, septembre et novembre 1903; *Soc. de Biologie*, 18 février 1905, 18 mars 1905; *Académie des Sciences*, 20 mars 1905; *Soc. de Biologie*, 8 avril 1905, 24 juillet 1909, 7 mai 1910, 22 octobre 1910.

2. M^{me} LAPICQUE. — Thèse de la Faculté des Sciences de Paris (*Annales d'Electrobiologie*, 1905).

du départ progressif de la courbe des Intensités], on remplace la mesure de temps utile par la mesure de la durée pour laquelle l'intensité liminaire est le double de la rhéobase. C'est cette durée qu'on a appelé *chronaxie*. Elle est égale environ à $\frac{1}{100}$ du temps utile.

Ainsi ressort que l'excitabilité d'un tissu est définie par ces deux caractéristiques. (L. et M. LAPICQUE.)

1° *Rhéobase* : Intensité nécessaire pour produire le seuil avec un courant de longue durée;

2° *Chronaxie* : Durée nécessaire pour produire le seuil avec une intensité double de la rhéobase.

Ayant ainsi précisé les caractéristiques de l'excitabilité d'un tissu, L. et M. LAPICQUE montrèrent que les propriétés fondamentales de l'excitabilité de ce tissu sont intimement liées à sa chronaxie. Ils montrèrent que d'une part cette chronaxie est très largement indépendante des contingences expérimentales, que d'autre part, la sensibilité aux courants lentement croissants [L. et M. LAPICQUE (1), K. LUCAS (2)], l'addition latente d'un tissu [L. et M. LAPICQUE (3), K. LUCAS (4)], les caractéristiques de l'influx nerveux sont fonction de la chronaxie [L. et M. LAPICQUE (5), CARLSON].

En outre, ils montrèrent la relation qui existe entre la contractilité et l'excitabilité : « Le processus de contraction se développe d'autant plus rapidement dans un tissu que le processus d'excitation est lui-même plus rapide. » (L. et M. LAPICQUE.)

On voit que l'étude de l'excitabilité par ces méthodes nouvelles s'imposait pendant la période de développement de la fonction neuro-musculaire, chez le fœtus et le nouveau-né.

La sensibilité des variations de la chronaxie dans les états physiologiques et pathologiques ou dans l'action d'agents pharmacologiques en fait un réactif extrêmement précis pour caractériser l'excitabilité au cours du développement; d'autre part, il était particulièrement intéressant de suivre les variations de la vitesse d'excitabilité dans une période de la vie, où les fonc-

1. L. et M. LAPICQUE. — *Soc. de Biologie*, 11 janvier, 29 février, 4 avril 1908.

2. KEITH LUCAS. — *Journal of Physiology*, 36, p. 253, 1907.

3. L. et M. LAPICQUE. — *Académie des Sciences*, 21 mars 1910.

4. KEITH LUCAS. — *Journal of Physiology*, 39, p. 461, 1910.

5. L. et M. LAPICQUE. — *Revue générale des Sciences*, février 1910.

tions se différencient, et où les muscles développent progressivement leur rapidité de contraction, où il se fait tous les jours une adaptation plus délicate des muscles à leurs fonctions.

L'étude des variations de la chronaxie au cours du développement fait le sujet même des recherches personnelles que nous exposerons dans cette thèse.

Remarques sur l'isochronisme du nerf et du muscle dans l'excitation monopolaire.

Nous avons commencé nos expériences par des examens, au point de vue de la chronaxie, sur la grenouille. Au cours de ces examens, nous avons remarqué un phénomène particulier sur l'isochronisme du nerf et du muscle que nous allons exposer ici.

Bien que cette question ne rentre pas directement dans l'objet initial de nos recherches, nous la traitons cependant ici, parce qu'elle a été soulevée au cours de nos recherches même, et parce qu'elle comporte un certain intérêt théorique.

C'est un fait mis en évidence par L. LAPICQUE (1), maintes fois confirmé depuis que, à l'état normal, le muscle et le nerf qui le commande ont la même chronaxie (*isochronisme*). C'est seulement dans des cas pathologiques, ou sous l'influence d'actions pharmacologiques, se fixant électivement sur le nerf ou sur le muscle, que des différences apparaissent entre leur chronaxie; différence d'où résultent des perturbations dans le passage de l'excitation de l'un à l'autre (*Théorie de la curarisation*).

Or, au cours d'expériences effectuées sur la grenouille au moyen de la méthode d'excitation dite unipolaire (une large électrode positive, dite indifférente, placée dans la bouche ou sur la face ventrale de la grenouille et une fine électrode négative à forte densité placée soit sur le muscle, soit sur son nerf moteur), nous avons observé que, d'une façon constante, la chronaxie du nerf se trouvait plus petite que la chronaxie du

1. L. et M. LAPICQUE. — Comparaison de l'excitabilité du muscle à celle de son nerf moteur, *C. R. de la Soc. de Biologie*, 26 mai 1906; Variation d'excitabilité du muscle dans la curarisation, *C. R. de la Soc. de Biologie*, 9 juin 1906.

muscle; elle descend souvent à la moitié, quelquefois au tiers de la valeur de la chronaxie du muscle (1).

Le fait est net, et sans ambiguïté possible : voici deux expériences entre autres :

Expérience du 15 avril 1921, Rana fusca : Détermination de la chronaxie du gastrocnémien et du sciatique correspondant au moyen du rhéotome balistique de WEISS (2), excitation unipolaire, électrodes impolarisables Ag, AgCl, NaCl; modèle en verre rouge de LAPICQUE (3) :

Gastrocnémien gauche : chronaxie	0 σ 50 (4)
Sciatique correspondant —	0 σ 22

16 avril 1921 *Rana fusca*, mêmes conditions :

Gastrocnémien droit : chronaxie	sec. 0 σ 57
Sciatique correspondant —	0 σ 35

Nous nous sommes demandé : *Quelle est la cause de cette différence nette entre la chronaxie du nerf et du muscle dans ces expériences?*

Tout d'abord, il est facile de montrer que ces différences tiennent à l'utilisation de la méthode unipolaire et non à des anomalies d'excitabilité. Si, en effet, toutes choses égales d'ailleurs, on excite le nerf sciatique et le gastrocnémien par la méthode bipolaire (deux électrodes suffisamment distantes placées soit sur le muscle, soit sur le nerf), on obtient alors un isochronisme du nerf et du muscle très satisfaisant, et quelquefois absolument parfait.

Expérience du 14 avril. Rana fusca, excitation bipolaire.

Gastrocnémien droit : chronaxie	sec. 0 σ 61
Sciatique correspondant --	0 σ 61

On voit en outre que, dans l'excitation bipolaire, on obtient pour le nerf et pour le muscle des chronaxies qui sont toutes

1. G. BANU, R. DERIAUD et H. LAGGIER. — Isochronisme du nerf et du muscle et excitation unipolaire, *C. R. de la Soc. de Biologie*, 1921, p. 841.

2. Pour la technique d'utilisation du rhéotome balistique de WEISS, voir : *Arch. ital. de Biol.*, loc. cit.

3. L. LAPICQUE. — Electrodes au chlorure d'argent, *C. R. de la Soc. de Biologie*, 25 juillet 1908.

4. La chronaxie est exprimée en $\frac{1}{1.000}$ de secondes. $\sigma = \frac{1}{1.000}$.

deux du même ordre que celle obtenue en excitation monopolaire pour le muscle. Il résulte donc que, en excitation monopolaire, c'est la chronaxie du nerf qui est diminuée. Quelle en est la cause?

Nous rapportant d'une part aux recherches effectuées sur l'action de la distance des électrodes (1) et, d'autre part, sur les conditions de l'excitation unipolaire, CARDOT et LAUGIER (2), nous avons pensé que l'on pouvait trouver là la raison de cette diminution de la chronaxie nerveuse en excitation monopolaire.

En effet, d'après les recherches de CARDOT et LAUGIER, la chronaxie diminue avec le rapprochement des électrodes. Le phénomène est non douteux; il paraît pouvoir s'expliquer par l'interférence des polarisations anodiques et cathodiques, lorsque les électrodes sont suffisamment rapprochées (3).

La polarisation anodique et cathodique s'étend le long du nerf. Elle se produit au contact du cylindraxe plus conducteur et de sa gaine moins conductrice. Ainsi, d'après ces auteurs, « il ne s'agit plus, comme le pensait NERNST, de la polarisation d'une membrane disposée comme une section transversale, problématique dans le nerf, mais de la polarisation longitudinale au contact du cylindraxe-gaine ».

L'action réciproque de polarisation se marque de plus en plus avec le rapprochement des électrodes. Pour obtenir alors l'excitation, il faut un courant plus intense (rhéobase élevée) et plus rapide (chronaxie petite). La longueur du segment interpolaire cesse d'avoir une action sur les caractères de l'excitabilité au delà d'une certaine limite (1,5 à 2 cm. sur la sciatique de la grenouille). Les véritables caractéristiques de l'excitabilité du tissu sont celles qu'on obtient avec des électrodes suffisamment distantes.

Or, ce phénomène paraît pouvoir fournir une explication pour les différentes chronaxies que nous avons observées dans les expériences précédentes.

1. H. CARDOT et H. LAUGIER. — Influence de l'écartement des électrodes dans les mesures d'excitabilité. *C. R. de la Soc. de Biol.*, 28 mars 1914.

2. H. CARDOT et H. LAUGIER. — Localisation des excitations de fermeture dans la méthode dite unipolaire. *Journ. de Physiol. et de Path. gén.*, t. XIV, n° 3, mai 1912, p. 476-489.

3. Pour la théorie complète du phénomène, voir *Thèse de H. LAUGIER. Elec-
trotonus et excitation, recherches sur l'excitation de l'ouverture*, Paris, 1921,
p. 27-28 et suivantes.

En effet, dans nos expériences, il faut considérer, non les électrodes instrumentales, mais les électrodes effectives; or en excitation dite monopolaire, lorsque l'électrode différenciée placée sur le nerf est négative, le courant qui sort du nerf par cette cathode aborde le nerf par une anode diffuse, électrode virtuelle qui est quelque part dans les tissus au contact du nerf et des tissus voisins. Ainsi le courant aborde le nerf par une région anodique qui peut être très voisine de la cathode différenciée. Or, comme nous l'avons dit, lorsque les électrodes sont très rapprochées par suite de l'action réciproque de la polarisation cathodique et anodique, la chronaxie diminue dans des proportions considérables. On voit qu'ainsi les faits connus permettent de donner une explication plausible de la diminution de la chronaxie en excitation monopolaire.

Une vérification expérimentale s'imposait : placer un nerf excisé dans des conditions analogues à celles de l'excitation unipolaire, et, sans changer la position de la cathode, déplacer l'anode diffuse de façon à faire varier la position du point où le courant aborde le nerf. Dans ces conditions, on doit trouver une chronaxie nerveuse d'autant plus faible que la position de l'anode diffuse crée une anode effective plus proche de la cathode différenciée. C'est ce que l'expérience vérifie.

Expérience du 25 avril. Rana fusca. Sciatique et Gastrocnémien disséqués et isolés de l'organisme.

1° Excitation bipolaire : électrode distante de 2 cm. en A et B (fig. 1) chronaxie :

$$20 \times 10^{-8} \text{ farads.}$$

2° Excitation monopolaire dans les conditions suivantes : le nerf est placé sur une masse de papier filtre imbibé de solution physiologique. Les électrodes instrumentales utilisées sont

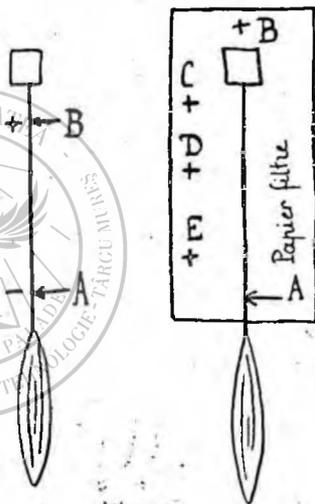


FIG. 2.

FIG. 3.

deux électrodes impolarisables Ag, AgCl, NaCl, modèle en verre rouge de LAPICQUE; les électrodes sont placées comme suit :

L'électrode instrumentale négative est posée sur le nerf même en A, et sa position reste inchangée pendant toute l'expérience, c'est en ce point que le courant quitte le nerf; c'est là que naît l'excitation de fermeture.

L'électrode instrumentale positive est placée sur la masse de papier filtre en B, puis en C, puis en D, puis en E; dans ces conditions, sans qu'il soit possible de suivre exactement le trajet des lignes de force du courant, on conçoit qu'une partie considérable desdites lignes de force passe par la masse de papier conductrice, de sorte que le point où le courant aborde le nerf dans les conditions de densité maxima (anode effective), ce point se rapproche de A; à mesure que l'électrode instrumentale positive se rapproche de A, et que parallèlement la direction des lignes de force s'écarte davantage de la direction du nerf (fig. 2).

Dans ces conditions, on observe :

Anode en B : chronaxie	13×10^{-8} farads.
Anode en C : —	13×10^{-8} —
Anode en D : —	9×10^{-8} —
Anode en E : —	8×10^{-8} —

3° Contrôle en *excitation bipolaire* comme figure 1.

Chronaxie	20×10^{-8} farads.
---------------------	-----------------------------

Le fait expérimental est net : à mesure que l'électrode instrumentale positive s'est rapprochée de la cathode, à mesure que les lignes de force du courant s'écartent davantage de la direction du nerf, c'est-à-dire à mesure que se rapprochent l'anode effective et la cathode, la chronaxie diminue. Le fait que, en excitation monopolaire, on trouve de faibles valeurs pour la chronaxie nerveuse n'est qu'un cas particulier de la diminution de la chronaxie avec la distance des électrodes.

CHAPITRE IV

ÉTUDES SUR LES ANIMAUX

Recherches antérieures.

I. EXCITABILITÉ NEURO-MUSCULAIRE CHEZ LE FŒTUS ET LE NOUVEAU-NÉ.

C'est à XAVIER BICHAT (1) que l'on doit les premiers travaux relatifs à cette question. A l'aide de l'excitation électrique ou mécanique sur le fœtus de cochons d'Inde, il a mis en lumière que certains mouvements caractérisent certains âges du fœtus.

Ces mouvements, en effet, sont d'autant moins rapides que le fœtus est plus jeune.

PREYER (2), par l'excitation et la téτανisation de la moelle épinière du lapin, a confirmé ces vues.

En étudiant le développement de la fonction musculaire chez l'embryon, FANO (3), FANO et BODANO (4) et WEISS (5) ont observé un nouveau caractère de la fibre musculaire embryonnaire, attribué au sarcoplasme. C'est *la moindre excitabilité du muscle embryonnaire*.

Quant aux premières études plus complètes de physiogénie animale, elles sont dues à SOLTSMANN; il s'agit là du développe-

1. Dans PREYER, loc. cit.

2. Loc. cit.

3. FANO. — Sulla sviluppo della funzione cardiaca nell'embrione. *Lo sperimentale*, 1883.

4. FANO et BODANO. — Sulla fisiologia dell cuore embrionale del polo nei primi studi dello sviluppo. *Arch. p. le Scienze Mediche*, t. XIV, 1889.

5. G. WEISS. — Recherches sur le muscle de l'embryon. *Journ. de Physiologie et de Pathologie*, 1899.

ment des centres neuro-moteurs de l'excitabilité neuro-musculaire périphérique et de la contraction musculaire.

L'excitabilité des centres, étudiée sur le chien et le chat nouveau-nés, a montré l'inexcitabilité de l'écorce dans les dix premiers jours de la vie; la localisation au niveau des centres ne débute qu'après cette date. TARGHANOFF, ensuite, poursuivant des recherches analogues, confirme ces conclusions. D'autre part BARRY parvient à des conclusions qui résument tous les travaux accomplis avant lui.

1° L'excitation de l'écorce du chien et du chat nouveau-nés produit de légers mouvements des extrémités dans les dix premiers jours;

2° Les contractions ne sont pas isolées, elles intéressent les extrémités dans leur ensemble;

3° La période latente est très longue, la contraction est lente et il est impossible d'obtenir des contractions cloniques;

4° La production des convulsions épileptiformes est impossible;

5° Le perfectionnement des centres et les localisations se constituent au cours du développement de l'animal.

SOLTMANN, à l'aide d'une série d'expériences sur 20 lapins adultes et 60 jeunes, lapins d'âges divers, donne les chiffres comparatifs suivants :

	PREMIÈRE SÉRIE [écartement des bobines]	DEUXIÈME SÉRIE [écartement des bobines]
Lapin adulte	34-30	64-60
— nouveau-né	12-10	27-24
Lapin adulte	38-34	64-60
— 6 jours	24-20	34-30
Lapin adulte	44-40	64-60
— 10 à 14 jours	34-30	42-38
Lapin adulte	48-42	64-60
— 24 jours	48-38	56-52
Lapin adulte	58-54	64-60
— 1 mois et demi	62-52	68-60

On voit que pour les ondes utilisées dans ces expériences [ondes d'ouverture de bobines d'induction], ondes brèves, le seuil de l'excitation pour l'adulte est plus bas que pour le nouveau-né.

Constatacion qui est en accord avec les recherches que nous exposerons plus loin, où nous montrerons que la chronaxie du nouveau-né est plus grande que celle de l'adulte.

II. CONTRACTIONS MUSCULAIRES.

SOLTMANN et E. MEYER⁽¹⁾ ont étudié la courbe de contraction musculaire chez les animaux. D'après SOLTMANN, la secousse musculaire du chat nouveau-né est caractérisée par une très grande longueur ; le chat de sept jours présente une secousse

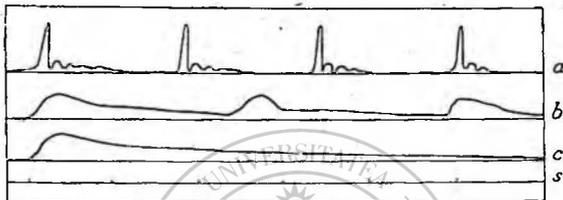


FIG. 4.

a : Chat adulte.
b : Chat de 7 jours.
c : Chat nouveau-né. (SOLTMANN.)

plus courte (trois contractions pour une dans une même durée de temps) ; la plus courte est celle du chat adulte, sa hauteur étant plus grande (quatre contractions pour une dans le même intervalle de temps).

E. MEYER, sur le chien adulte et sur le chien nouveau-né, obtient les courbes suivantes.

La courbe de la secousse du chien adulte présente une période ascendante de 4 à 5 centièmes de seconde ; la période descendante de 7 à 8 centièmes de seconde.

La secousse du chien nouveau-né présente trois périodes : une période d'énergie croissante, de 28 centièmes de seconde, une période de contraction de 24 centièmes de seconde, et une descente mesurant 58 centièmes de seconde. D'après les conclusions de l'auteur le temps perdu semble être identique chez le jeune chien et le chien adulte.

1. E. MEYER. — *Archiv f. Physiologie*, 1875, *Physiol. Abt.*, p. 217.

Mais, sans doute, des recherches futures viendront peut-être mettre en évidence les différences qui doivent certainement exister entre le temps perdu de la contraction du chien nouveau-né et celle du chien adulte.

Le tétanos chez les animaux nouveau-nés s'explique d'une

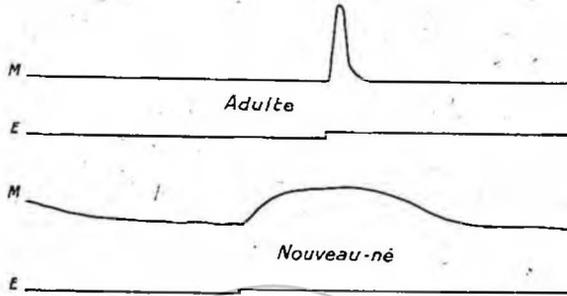


FIG. 5. — Secousse musculaire du chien nouveau-né.

(Contraction du gastrocnémien par excitation du sciatique, comparé à la contraction du même muscle chez l'animal adulte.)

M : Muscle.

E : Excitation par choc d'induction d'ouverture. (E. MEYER.)

manière analogue. Le nombre d'interruptions, du courant excitant nécessaire pour produire le tétanos, est bien moins grand que chez l'adulte. C'est ainsi que MEYER, à l'aide de 3 excitations par seconde, obtient chez le chien de trente-six heures

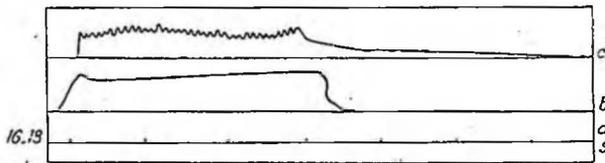


FIG. 6.

a : Interrupteur de courant (16-18, interrupt. p. seconde.)

b : Tétanos du nouveau-né.

c : La courbe de l'adulte. (SOLTMANN.)

un tétanos complet. SOLTMANN obtient le tétanos complet sur le chien ou le chat nouveau-né, avec 16 à 18 excitations par seconde. Ci-dessus, nous donnons les courbes comparatives.

Remarquons qu'un courant qui donne des contractions fré-

quentes chez l'adulte provoque le tétanos complet chez le nouveau-né.

En effet, chez ces derniers 16 excitations par seconde suffisent à le produire. Chez l'adulte au contraire, 30-50 excitations sont nécessaires. Pour éviter des redites nous ne ferons que signaler les travaux de WEISS⁽¹⁾ sur le cobaye, de KRONECKER et STIRLING⁽²⁾, BOTAZZI⁽³⁾ et NARBUTT⁽⁴⁾ sur d'autres animaux. Les résultats furent de même ordre.

Les recherches précédentes donnent certaines indications, mais ces résultats sont insuffisants (voir considérations théoriques sur la chronaxie).

En effet, d'une part en ce qui concerne la différence physiologique entre les muscles blancs et les muscles rouges il y a des divergences notables entre les différents auteurs.

D'autre part, si l'on a suivi, avec quelques détails, l'évolution de l'excitabilité des nerfs et des muscles des nouveau-nés, aux ondes d'induction, ces déterminations, portant sur une seule espèce d'onde, ne nous renseignent pas d'une façon satisfaisante sur l'excitabilité.

Technique des recherches sur les animaux.

La source (110 volts) est fermée sur un réducteur de potentiel à contact mobile (gouttière avec solution de sulfate de zinc). Nous nous sommes servi de condensateurs et de courant galvanique.

Pour les condensateurs, nous avons employé le dispositif suivant (voir fig. 7).

La manœuvre est :

Premier temps : Dans un premier temps, par la clef à double contact, on relie O à A et par suite le condensateur à la source (charge).

1. G. WEISS. — Le muscle dans la série animale. *Revue générale des Sciences*, 1901. [Disposition et architecture du muscle, p. 1067; histologie du muscle, contraction musculaire p. 1113.]

2. KRONECKER et STIRLING. — Die Genesis des Tetanus. *Archiv für Anatomie u. Physiologie*, 1878, Phys. Abt., p. 1.

3. BOTAZZI. — Sur le développement embryonnaire de la fonction dans les organes à cellules musculaires. *Arch. ital. de Biologie*, t. XXVII, 1896.

4. NARBUTT. — *Neurolog. Vestnik*, 1902.

Deuxième temps : On relie O à A par la clef à double contact, donc le contact avec le tissu à exciter (décharge de condensateur).

Les résistances ont été interposées dans le circuit général, en série avec le sujet et en dérivation. C'est le dispositif du shunt

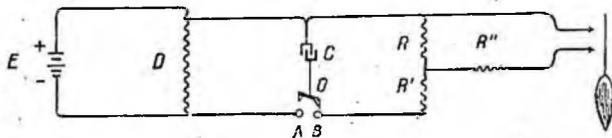


FIG. 7.

E : Source.
 D : Distributeur de potentiel.
 C : Condensateurs à capacité variable.
 O : Clef à double contact.
 R, R', R'' : des résistances sans self, en crayons Conté.

décrit par L. LAPICQUE⁽¹⁾, et qui a pour objet de rendre sensiblement constante la résistance du circuit, sur lequel se déchargent les condensateurs.

Car la durée de la décharge des condensateurs dépendant des résistances utilisées, il faut tenir compte, dans le calcul, de la chronaxie des résistances utilisées à chaque expérience.

Les électrodes impolarisables sont celles de L. LAPICQUE⁽²⁾, modèle en verre rouge.

La technique est la suivante : On exclut les condensateurs du circuit; on cherche le seuil galvanique pour le pôle négatif. On note le voltage nécessaire pour obtenir le seuil de la contraction. On a ainsi la *rhéobase* exprimée en volts. Par cette exploration, on observe les caractères qualitatifs de la contraction.

Pour chercher la *chronaxie*, on double la rhéobase, on met en jeu les condensateurs et on cherche quelle est la capacité qui donne le seuil avec le voltage double du voltage rhéobasique. La capacité obtenue est la capacité correspondant à la chronaxie. La chronaxie en durée s'obtient ensuite à partir de cette capacité par le calcul que voici :

On multiplie la résistance $R + R'$ du schéma [la valeur des

1. L. LAPICQUE. — Sur la résistance du circuit d'excitation dans les mesures d'excitabilité. Dispositif pour les décharges de condensateur. *Journ. de Physiol. et de Pathol. gén.*, janvier 1911.

2. Loc. cit., p. 41.

résistances du circuit dérivé $R'' + \text{électrodes} + \text{nerf}$, étant très grande par rapport à R , peut être négligée dans le calcul] par la capacité C , ainsi obtenue et par le coefficient de LAPICQUE, 0,37; on obtient ainsi la chronaxie en secondes, à condition d'avoir exprimé la résistance en ohms et la capacité en farads.

Nos recherches sur le lapin.

Nos recherches ont porté sur tous les muscles, mais principalement sur ceux qui sont caractéristiques d'une région. Afin d'obtenir des résultats comparables entre eux, nous nous sommes adressé au même point moteur chez les différents sujets. Pour plus de précautions, nos recherches ont été faites par les deux méthodes : à travers la peau et sur le muscle lui-même, préalablement mis à nu. L'excitation était appliquée à l'animal, anesthésié ou non, et c'est parfois le même animal qui était l'objet de nos deux techniques successives.

LES MUSCLES DU LAPIN ET LEURS POINTS MOTEURS.

Ci-dessous la liste et les planches des muscles du lapin, avec l'indication des points moteurs qui, dans une région donnée, présentent des facilités particulières d'examen, et qui, d'autre part, présentent le plus d'intérêt physiologique.

Membre postérieur: cuisse, jambe.

CUISSE :

Côté caudal et externe (face de flexion) :

Biceps crural.

Demi-tendineux.

(Demi-membraneux).

Côté oral.

Couturier (deuxième couche).

Quadriceps par vaste externe (deuxième couche).

JAMBE :

Jambier ou tibial antérieur (première couche).
Fléchisseur com. des orteils (deuxième couche).
Long et court péronier latéral (troisième couche).

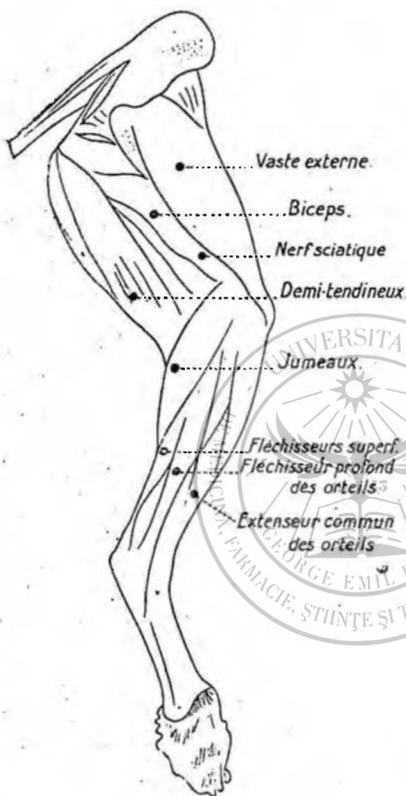


FIG. 8. — Points moteurs des muscles de la face externe de la cuisse.

Muscles de côté plantaire de la jambe.

Jumeaux (première couche).
Fléchisseurs superficiels (deuxième couche).
Fléchisseur profond (troisième couche).

En ce qui concerne l'action, ils sont groupés ainsi :

CUISSE :

Biceps crural : fléchit et étend alternativement l'articulation du genou.

Demi-tendineux : fléchit l'articulation du genou.

Vaste externe : étend l'articulation du genou.

JAMBE :

Jambier antérieur : extension du 1^{er} orteil et rotateur du pied en dehors.

Jumeaux : extension de l'articulation du tarse et fléchissement de l'articulation du genou.

Fléchisseur superficiel : fléchissement des orteils et de l'articulation du genou.

Fléchisseur profond : flexion des orteils.

Extenseur com. des orteils : étend le pied et le porte en avant.

Muscles, membre postérieur, côté interne.

Après avoir enlevé la peau, on aperçoit sur la face interne de la cuisse en allant du bord oral vers le bord caudal : 1^o Coufurier (et la fosse ilio-pectinée avec droit interne, première couche,

adducteurs deuxième couche); 2° Moyen, grand et petits adducteurs, réunis; 3° Droit interne et le bord très mince, du demi-tendineux.

CUISSÉ :

Côté oral.

Couturier.

Quadriceps.

Face interne de la cuisse.

Droit interne (première couche).

Long adducteur (deuxième couche).

Grands et petits adducteurs (deuxième couche).

JAMBE :

Jambier (tibial antérieur).

Jumeaux internes.

Fléchisseur prof. des orteils.

Action des muscles.

CUISSÉ :

Couturier : pousse la cuisse en avant et en adduction.

Droit antérieur et vaste interne : extension de l'articulation du genou.

Adducteur moyen (long) grand et petit : adducteur, porte la cuisse en arrière.

JAMBE :

Jumeaux : extenseur.

Tibial antérieur : extenseur.

Fléchisseur : flexion.

Membre antérieur, côté externe, côté interne :

La classification des muscles du membre antérieur est très simple.

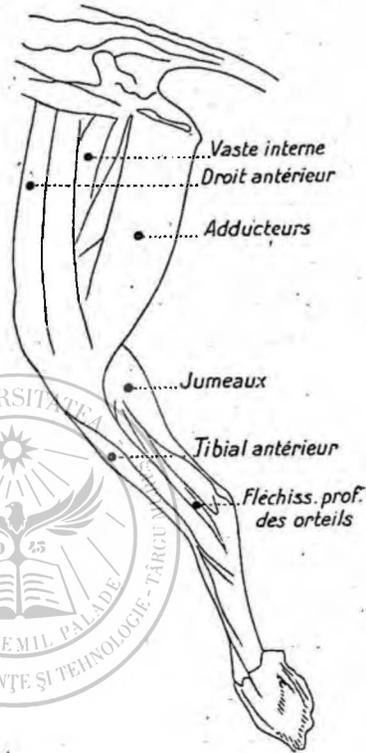


FIG. 9. — Face interne de la cuisse (points moteurs des muscles).

BRAS :

Côté interne : biceps et brachial antérieur, avec action de flexion.
Côté externe ; anconé, avec action d'extension.

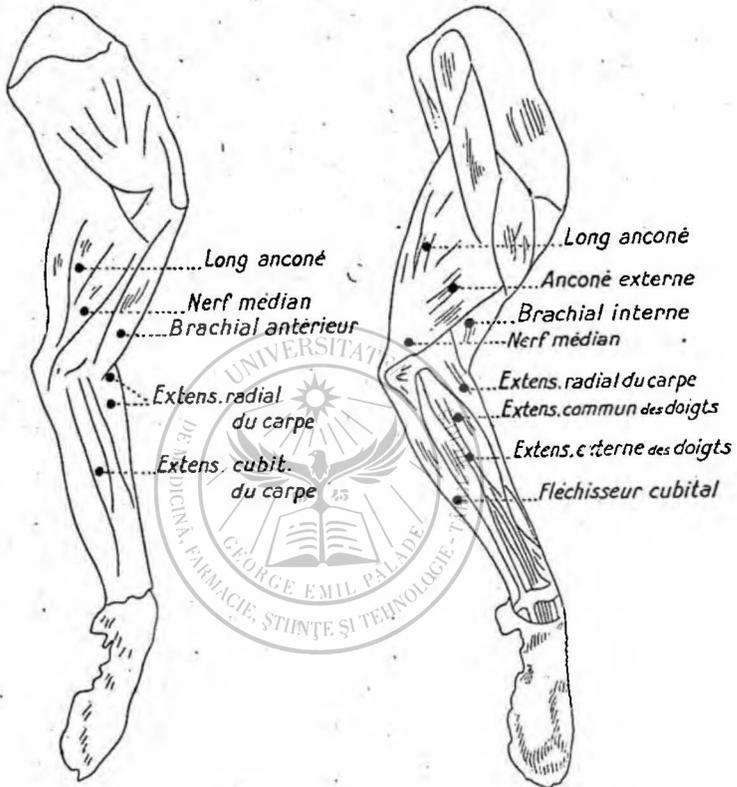


FIG. 10. — Membre antérieur, face interne. (Points moteurs.)

FIG. 11. — Membre antérieur, face externe. (Points moteurs.)

AVANT-BRAS :

Côté interne : les fléchisseurs.
Côté externe : les extenseurs.

CHRONAXIE DU LAPIN ADULTE.

Nous avons examiné tous les points moteurs sans exception, mais les courbes que nous donnons ensuite sont seulement relatives aux muscles d'intérêt physiologique primordial, ceux que nous avons suivis dans leur développement.

MUSCLES-NERFS	CHRONAXIE ⁽¹⁾
Biceps crural	0 σ 14 — 0 σ 28 moyenne 0 σ 18
Demi-tendineux	0 σ 12 — — — — —
Quadriceps	0 σ 14 — 0 σ 18 — — — — —
Couturier	0 σ 17 — — — — —
Adducteurs	0 σ 12 — — — — —
Jambier antérieur	0 σ 45 — — — — —
Jumeaux	0 σ 22 — 0 σ 45 — — — — —
Fléchisseurs	0 σ 28 — 0 σ 40 — — — — —
Extenseurs	0 σ 27 — 0 σ 45 — — — — —
Nerf sciatique	0 σ 18 — 0 σ 26 — — — — —
[réponse obs. sur les fléchisseurs].	
Biceps brach.	0 σ 18 — — — — —
Brachial	0 σ 43 — — — — —
Anconé	0 σ 42 — 0 σ 46 — — — — —
Fléchisseurs	0 σ 12 — — — — —
Extenseurs	0 σ 15 — 0 σ 19 — — — — —
Nerf médian	0 σ 13 — 0 σ 27 — — — — —
(réponse obs. sur anconé-biceps).	

Par comparaison de ces chiffres et l'action physiologique des muscles correspondants, nous déduisons que :

La chronaxie des fléchisseurs et celle des extenseurs est très voisine, celle des fléchisseurs étant légèrement plus faible.

La chronaxie des nerfs se tient dans le même ordre de grandeur que celle des muscles.

Si on se rapporte à la classification donnée par RANVIER ⁽²⁾ des muscles blancs et muscles rouges, on voit qu'il ne semble pas y correspondre une classification physiologique basée sur l'excitabilité.

1. Les chronaxies sont exprimées en $\frac{1}{1000}$ de seconde, qu'on désigne par la lettre σ.

2. Loc. cit., p. 31.

[*Muscles blancs* : vaste interne, vaste externe, droit interne, droit antérieur, grands adducteurs, biceps, jumeaux, gastrocnémiens; *muscles rouges* : demi-tendineux, crural, court adducteur, carré crural, soléaire, muscles de l'avant-bras, muscles postérieurs de la tête, muscles profonds du dos.]

ÉVOLUTION NEURO-MUSCULAIRE, PAR L'ÉTUDE DE LA CHRONAXIE.

Nous avons étudié cette évolution par la mesure de l'excitabilité des muscles de lapins d'âges divers, depuis la vie intra-utérine jusqu'à deux mois, moment où la chronaxie devient celle de l'adulte.

VIE INTRA-UTÉRINE.

Nos recherches ont porté sur la dernière semaine de la vie intra-utérine. La mère une fois tuée, nous avons examiné ses différents fœtus. A l'aide de précautions particulières, l'erreur possible due à des écarts de température a été évitée. Nous avons enveloppé les fœtus dans du coton, et les chiffres obtenus ont été contrôlés par plusieurs examens et sur des fœtus différents. Les résultats obtenus sont d'ailleurs relatifs non à des muscles isolés, mais à une région dans son ensemble. Car, en raison de la non-différenciation musculaire, il nous a été impossible d'agir autrement.

MUSCLES	CHRONAXIE
<i>Cuisse :</i>	
Région des fléchisseurs de la cuisse	4 σ 07
Région des extenseurs de la cuisse	5 σ 02
<i>Jambe :</i>	
Région des fléchisseurs	4 σ 45
Région des extenseurs	4 σ 45
<i>Bras :</i>	
Région des fléchisseurs	3 σ 33
Région des extenseurs	3 σ 7

MUSCLES

CHRONAXIE

Avant-bras :

Région des fléchisseurs	3 σ 7
Région des extenseurs	5 σ 18

D'après ce tableau, il résulte que la chronaxie globale musculaire est quatorze à quinze fois plus grande ici que chez l'adulte.

Il n'y a aucune exception à cette règle. On peut considérer les mêmes valeurs sur tous les muscles, l'écart étant négligeable.

Au point de vue fonctionnel, la différenciation musculaire est encore nulle. La contraction est lente et de longue durée.

Cette différenciation et le caractère de la secousse vont de pair avec l'évolution de la chronaxie, ainsi que nous le verrons plus loin.

NOUVEAU-NÉ, JUSQU'À DEUX MOIS.

Lapins 1 à 3 jours.

MUSCLES-NERFS	CHRONAXIE		
	1 jour	2 jours	3 jours
Biceps crural	1 σ 77	1 σ 48	1 σ 29
Demi-tendineux	»	»	1 σ 21
Quadriceps	»	»	1 σ 25
Jumeaux	1 σ 77	1 σ 48	1 σ 05
Fléchisseurs	»	»	1 σ 22
Extenseurs	»	»	0 σ 87
Nerf sciatique [sur les extenseurs de la jambe].	»	0 σ 83	»
Biceps brachial	3 σ 1	»	2 σ 96
Anconé	3 σ 3	»	2 σ 96
Fléchisseurs	»	»	»
Extenseurs	2 σ 18	»	1 σ 41
Nerf médian (réponse obs. sur les extenseurs).	»	0 σ 47	»

Pendant ces trois premiers jours la chronaxie se rapproche de celle du fœtus. Par dissection les muscles sont plus distincts, mais la contraction est toujours lente.

Lapins 4 à 8 jours.

MUSCLES-NERFS	CHRONAXIE	
	4 jours	7 jours
Biceps crural	1 σ 11	0 σ 83
Demi-tendineux		1 σ 10
Quadriceps	0 σ 87	»
Jumeaux	1 σ 48	»
Fléchisseurs	1 σ 22	0 σ 99
Extenseurs	»	0 σ 71
Nerf sciatique (réponse extenseurs). . .	0 σ 83	0 σ 82
Biceps brachial	»	»
Anconé	»	»
Fléchisseurs	3 σ 5	»
Extenseurs	»	»
Nerf médian [réponse extenseurs] . . .	»	»

Lapin deuxième semaine.

MUSCLES-NERFS	CHRONAXIE		
	8-10 jours	10-12 j.	12-14 j.
Biceps crural	0 σ 63	0 σ 45	0 σ 46
Demi-tendineux	0 σ 65	»	»
Quadriceps	0 σ 65	0 σ 45	0 σ 45
Jumeaux	0 σ 71	0 σ 46	0 σ 44
Fléchisseurs	0 σ 88	0 σ 65	0 σ 55
Extenseurs	»	0 σ 55	»
Nerf sciatique (quadriceps et extenseurs)	0 σ 45	0 σ 35	»
Biceps brachial	0 σ 74	0 σ 70	»
Anconé	0 σ 93	0 σ 52	0 σ 45
Fléchisseurs	0 σ 60	0 σ 45	»
Extenseurs	0 σ 96	0 σ 43	»
Nerf médian (extenseurs)	0 σ 40	»	0 σ 22

Lapin troisième semaine.

MUSCLES-NERFS	CHRONAXIE		
	16-18 jours	18-21 j.	21-24 j.
Biceps crural	»	0 σ 22	0 σ 16
Demi-tendineux	0 σ 27	0 σ 36	»
Quadriceps	»	»	»
Jumeaux	»	0 σ 37	»
Fléchisseurs	0 σ 37	0 σ 37	0 σ 29
Extenseurs	0 σ 37	»	»

MUSCLES-NERF	CHRONAXIE		
	16-18 jours	18-21 j.	21-24 j
Nerf sciatique (quadriceps et extenseurs)	0 σ 33	0 σ 19	»
Biceps brachial.	»	0 σ 48	»
Anconé	0 σ 43	0 σ 44	»
Fléchisseurs	»	0 σ 44	
Extenseurs	»	0 σ 55	
Nerf médian	0 σ 27	»	

Lapin quatrième semaine.

MUSCLES	CHRONAXIE		
	26-28 jours	26-28 j.	28-30 j.
Biceps crural	»	0 σ 16	»
Demi-tendineux	»	0 σ 16	»
Quadriceps	0 σ 18	»	»

Lapins cinquième et sixième semaine et deuxième mois.

MUSCLES-NERFS	CHRONAXIE	
	5 à 6 semaines	2 mois
Biceps crural	0 σ 10	0 σ 15
Demi-tendineux	0 σ 13	0 σ 12
Quadriceps	0 σ 13	0 σ 14
Jumeaux	0 σ 28	0 σ 20
Fléchisseurs	»	0 σ 22
Extenseurs	0 σ 26	0 σ 26
Nerf sciatique (extenseurs)	0 σ 18	0 σ 18
Biceps brachial	»	0 σ 18
Anconé	0 σ 43	0 σ 42
Fléchisseurs	0 σ 19	0 σ 12
Extenseurs	»	0 σ 19
Nerf médian (extenseurs)	0 σ 22	0 σ 12

Les courbes de l'évolution.

Ces chiffres nous permettent de construire des courbes pour les muscles et nerfs des membres. Nous portons en abscisses les jours et semaines, en ordonnées les chronaxies en secondes.

Les courbes des muscles de la culsse (1).

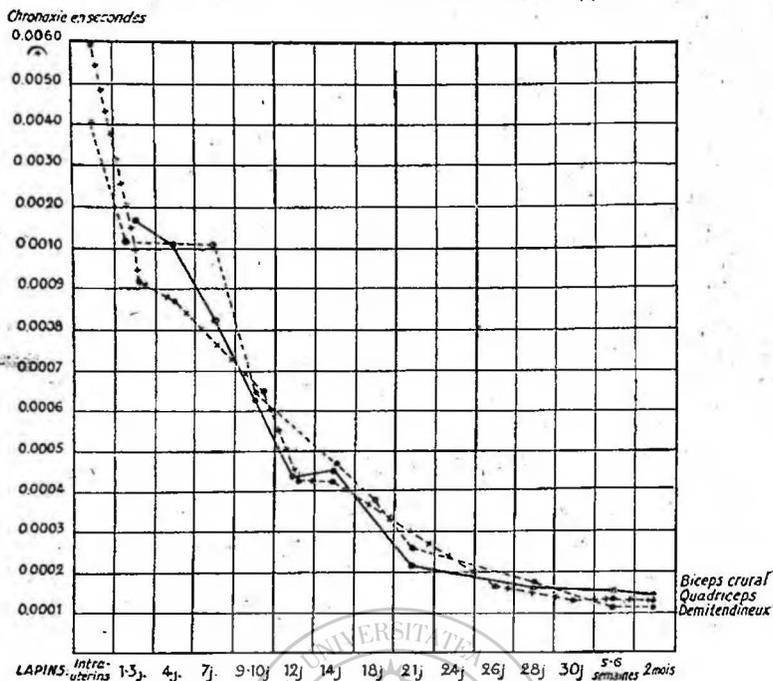


Fig. 12.

Les courbes des muscles de la jambe.

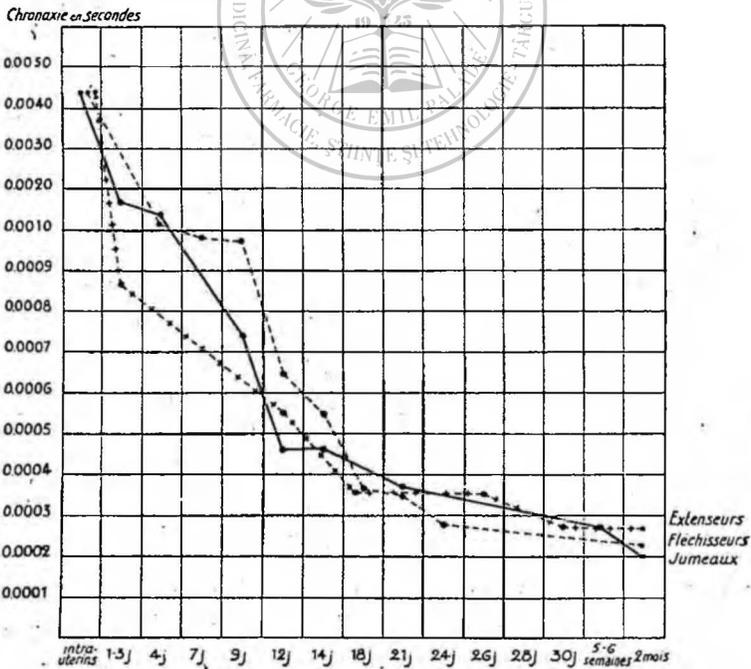


Fig. 13.

1. Pour pouvoir inscrire sur le même graphique les chronaxies intra-utérines qui sont considérables, j'ai marqué les chronaxies à une échelle dix fois plus petite au-dessus de la valeur de 1 σ , que au-dessous.

De l'étude de cette courbe ressort :

Les chronaxies des points moteurs des muscles chez les fœtus sont plus grandes pour les extenseurs que pour les fléchisseurs.

En général, la différence entre les divers muscles est très petite, et leur chronaxie évolue à peu près parallèlement.

La chronaxie diminue progressivement jusqu'à la fin du premier mois. Le biceps et le quadriceps arrivent plus vite à la chronaxie de l'adulte que le demi-tendineux.

Ces courbes présentent le même parallélisme évolutif. La chronaxie, très grande chez les fœtus, descend après la naissance, rapidement jusqu'au quinzième jour, ensuite, l'évolution est lente, et c'est toujours vers le deuxième mois qu'ils présentent les chiffres de l'adulte.

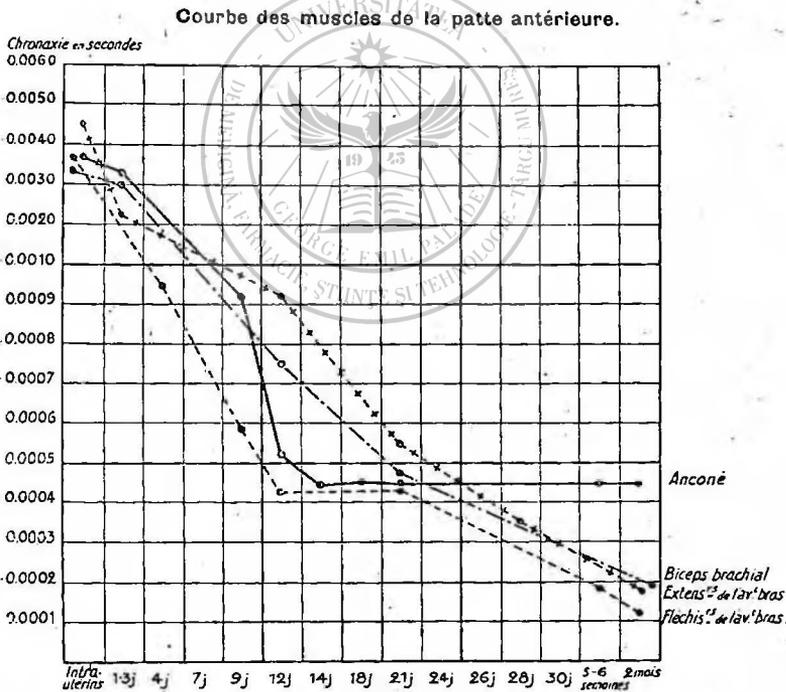


FIG. 14.

Les écarts entre ces muscles ne sont pas grands, sauf l'anconé, qui arrive à la normale dès le vingtième jour.

La chronaxie va en diminuant, jusqu'à la fin de la dernière semaine du deuxième mois.

Remarquons, d'ailleurs, que l'évolution est plus lente à la patte antérieure qu'au membre postérieur.

La chronaxie du sciatique est plus grande que celle du médian, dans les débuts. Ce rapport reste presque identique à lui-même

Les courbes de la chronaxie des nerfs.

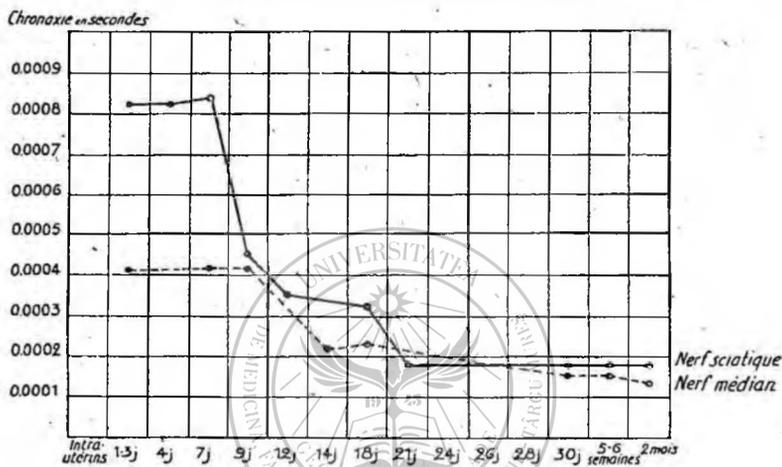


FIG. 15.

pendant les premiers jours. Puis dans les jours qui suivent, l'évolution des deux chronaxies se fait plus rapidement que celle des muscles.

Conclusions.

Fœtus.

I. Chez le fœtus, la chronaxie neuro musculaire, est de quatorze à quinze fois plus grande que chez l'adulte. L'écart de la chronaxie, entre les différents muscles, est presque nul.

II. La secousse est lente, la contraction de longue durée; le retour, lui aussi, est lent.

DE LA NAISSANCE A L'AGE ADULTE.

I. La chronaxie qui, à la naissance, est quinze fois plus grande que chez l'adulte, diminue progressivement, pour atteindre la valeur de l'adulte au deuxième mois. Ces résultats s'accordent avec ceux de SOLTMANN, dans les premiers jours après la naissance. Mais les résultats étaient obtenus à l'aide de l'excitation indirecte, et, d'autre part, ils ne rendent compte de l'évolution nerveuse que jusqu'à la sixième semaine. Dans nos recherches, par l'étude simultanée du nerf et du muscle, nous trouvons que l'évolution du muscle est bien plus lente que celle du nerf.

II. Les divers muscles présentent une évolution à peu près parallèle. Leur évolution est de même ordre et l'écart entre leurs chronaxies est faible.

III. Les muscles du membre postérieur (cuisse et jambe) présentent une chronaxie rapidement décroissante jusqu'au vingtième jour, puis lentement jusqu'au deuxième mois leur chronaxie tend vers la normale.

IV. Les muscles du membre antérieur présentent une chronaxie rapidement descendante jusqu'au vingtième jour, puis une évolution progressive jusqu'à l'époque finale.

V. L'évolution des nerfs se fait dans le même sens que celle des muscles, mais elle est beaucoup plus rapide. La chronaxie des nerfs n'est que huit fois celle de l'adulte, chez le nouveau-né les premiers jours.

VI. Dans les premiers dix jours, la chronaxie du sciatique est le double de celle du médian.

VII. Leur évolution vers l'excitabilité de l'adulte est presque terminée à la fin du premier mois; à partir de cette époque, la chronaxie du sciatique est celle de l'adulte; quant au médian, il continue encore lentement son évolution.

VIII. La contraction, lente dans les premiers dix jours, devient plus énergique et plus vive à mesure que l'excitabilité augmente. Vers le trentième jour elle présente les mêmes caractères que chez l'adulte.



CHAPITRE V

RECHERCHES SUR L'ENFANT NOUVEAU-NÉ

Recherches antérieures.

I. L'EXCITABILITÉ.

Les premiers travaux, relatifs à l'excitabilité neuro-musculaire chez l'enfant nouveau-né, sont dus à C. WESTPHAL (1). Cet auteur a bien mis en lumière que pour obtenir l'excitation, il est besoin chez ce nouveau-né, d'un courant galvanique plus intense, que chez l'adulte.

Quant à l'étude complète de l'hypoexcitabilité, avec les caractères particuliers de la secousse, nous devons mentionner le travail de A. WESTPHAL (2). Les recherches de WESTPHAL ont porté sur une série de comparaisons entre l'excitabilité chez les enfants, de la naissance jusqu'à huit mois, d'une part, et d'autre part l'excitabilité chez l'adulte.

Il s'est adressé aux muscles : frontal, biceps, extenseur commun des doigts, vaste interne, et long péronier ; et au point de vue nerveux au nerf médian excité au point d'ERB.

L'intensité du courant était mesurée pour le galvanique en milliampères, pour le faradique d'après la distance millimétrique séparant l'inducteur de l'induit.

1. C. WESTPHAL. — *Neurologisches Centralblatt.*, 1886, p. 16. *Gesammelte Abhandlungen*, II, n° 56, p. 833-34.

2. A. WESTPHAL. — Die elektrischen Erregbarkeitsverhältnisse des peripherischen Nervensystems des Menschen in jugendlichem Zustand und ihre Beziehungen zu dem anatomischen Bau desselben. *Archiv für Psychiatrie u. Nervenkrankheiten*. Band 3. Heft XXVI, 1894, p. 1-96.

Vaste externe.

AGE	FARADIQUE (écartement des bobines en mm)	GALVANIQUE (milli ampères)
1 heure	75	3,0
4 heures	75	2,5
7 —	92	1,6
1 jour	75	»
2 jours.	70	6,8
2 —	65	2,8
3 —	55	8,0
4 —	75	4,5
5 —	70	7,2
6 —	65	10,4
7 —	70	13,0
7 —	60	6,0
7 —	70	4,0
13 —	65	3,2
13 —	90	1,6
3 semaines	85	2,5
3 —	90	4,0
24 —	85	1,5
5 —	90	2,0
3 mois	100	2,0
4 —	90	2,0
7 —	125	2,0
8 —	98	1,7
11 —	95	2,2
11 —	100	1,0
2 ans	109	1,6
2 ans 1/4.	100	1,0
8 ans	98	1,6
30 —	112	0,6

En considérant le tableau ci-contre (d'après WESTPHAL), il est manifeste que :

1° Dans la première semaine qui suit la naissance, la réponse musculaire avec l'un ou l'autre courant nécessite une intensité plus considérable que par la suite ;

2° L'excitation diminuée dans cette première époque suit une courbe progressive, pour acquérir, à la fin de la première année, la valeur de l'adulte ;

3° Toutefois, on remarque que, pendant la première semaine, l'excitabilité est plus faible que dans les premières heures. Cette notable diminution peut tenir des contingences expérimentales et peut-être des modifications de la résistance de la peau. En

effet, on peut admettre que, dans les premiers jours après la naissance, le nouveau-né subit une modification de résistance du tissu cutané, pour être mieux adapté au milieu extérieur, conditions de milieu différentes du milieu intra-utérin ;

4° En outre, l'auteur admet qu'après la troisième semaine, l'excitabilité, jusque-là identique pour chaque muscle, devient variable, étant fonction de deux facteurs : *a*) le muscle considéré ; *b*) la forme du courant employé. Pour certains muscles, l'hypo-excitabilité n'existe plus que pour le courant galvanique, pour d'autres muscles c'est l'inverse.

Nerf médian.

AGE	FARADIQUE (écartement des bobines en mm.)	GALVANIQUE (milli ampères)
—	—	—
1 heure	85	3,2
2 heures	80	4,0
7 —	100	1,8
1 jour	75	»
2 —	75	6
2 —	80	2
3 —	65	6
4 —	80	4
5 —	75	6
6 —	75	6
7 —	90	12,4
7 —	65	8
7 —	85	2,25
13 —	85	2,25
13 —	90	2,0
3 semaines	95	1,6
3 —	106	3,0
24 jours	95	2,5
5 semaines	100	1,25
3 mois	115	0,75
4 —	95	1,0
7 —	145	1,3
8 —	105	1,3
11 —	110	0,7
11 —	120	1,0
2 ans	127	1,2
2 ans 3 mois	112	0,6
8 —	107	1,4
30 —	115	0,2

Voici les résultats obtenus par l'étude du médian.

Ils sont du même ordre que ceux des muscles : il existe une

hypoexcitabilité marquée, jusqu'à la troisième semaine, par les deux courants faradique et galvanique.

Après cette date, l'excitabilité croît régulièrement et atteint le chiffre de l'adulte vers le onzième mois. Par le courant galvanique, on remarque que l'hypoexcitabilité est plus accentuée, pendant la première semaine, que pendant les premières heures. Raisonnant par analogie comme pour les muscles, nous ferons la même hypothèse, en admettant des modifications de la résistance cutanée au cours des premiers jours. Après la troisième semaine, les chiffres deviennent incertains, en raison peut-être des contingences expérimentales nombreuses, qui tiennent à la technique.

En outre, la diminution d'excitabilité se trouve plus ou moins notable suivant le sujet considéré et même, chez certains, l'excitabilité, loin d'être diminuée, est normale.

En règle générale, l'hypoexcitabilité musculaire coïncide toujours, chez le même sujet, avec l'hypoexcitabilité nerveuse.

БАКИТКО (1) et GUNDOBN (2) semblent aboutir aux mêmes conclusions.

Plus tard, PATRIZZI et MENSÌ (3), qui ont repris cette étude sur des nouveau-nés jusqu'au septième jour seulement, ont obtenu aussi des chiffres différents entre l'excitation du nouveau-né et de l'adulte.

Tandis que, par excitation faradique, l'adulte a le chiffre 12,4 (écart des bobines), le nouveau-né n'a que 10,6, en moyenne.

On remarque que l'excitabilité mesurée par l'écart des bobines est plus faible chez le nouveau-né que chez l'adulte; quant à la contraction musculaire chez le nouveau-né, elle est moins vive que chez l'adulte, et le tétanos est plus rapidement obtenu chez lui que chez ce dernier (20 excitations par seconde au lieu de 35-40).

Récemment, un auteur américain, HOLMES (4), considérant le problème d'un point de vue pratique, a tenté d'établir avec précision une échelle des intensités nécessaires, d'après l'âge du sujet. Pour partir d'une base plus solide, il a recherché non seu-

1. *Loc. cit.*, p. 28.

2. *Loc. cit.*, p. 32.

3. M. L. PATRIZZI et E. MENSÌ. — La contrazione artificiale dei muscoli volontari nel neonato umano. *La Pediatria*, 1893, p. 372.

4. HOLMES. — *Amer. Journ. Dis. Child.*, 12, 1916, p. 1.

lement l'excitabilité faradique ou galvanique, mais encore l'excitabilité anodique et cathodique, à l'ouverture et à la fermeture du courant.

D'après lui, chez l'adulte comme chez l'enfant, les contractions NF, PF, PO, NO se produisent dans le même ordre. Ces résultats sont d'ailleurs comparables avec ceux qu'ont obtenus d'autres auteurs à l'aide du courant galvanique; mais ces chiffres ne subissent pas une progression régulière.

II. LA CONTRACTION MUSCULAIRE.

Les premières idées relatives à la contraction musculaire chez

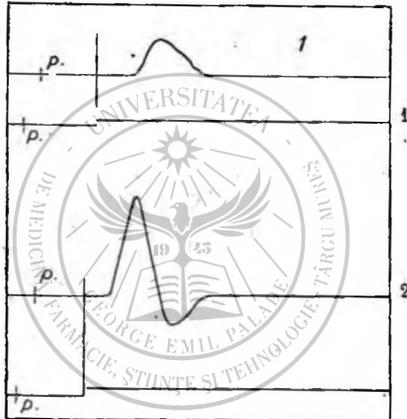


FIG. 16.

1. Myogramme du nouveau-né.
 2. Myogramme de l'adulte.
- (p. p. point de repère des signaux).

le nouveau-né reviennent à WUNDT (1), MAREY (2), KRONECKER (3) et FUNCK (4).

Ces auteurs ont comparé la contraction du muscle du nouveau-né avec celle du muscle chez l'adulte.

1. WUNDT. — *Lehre von den Muskelbewegungen*. Braunschweig, 1858.
2. MAREY. — *Du mouvement dans les fonctions de la vie*. Paris, 1868-69, p. 125.
3. H. KRONECKER. — *Sächsische Acad. der Wissenschaften. Mat. physik. Klasse*, 1874, p. 117.
4. FUNCK. — *Pflüger's Archiv*, VII.

Mais c'est à PATRIZZI et MENSİ (¹), que l'on doit l'étude compa-

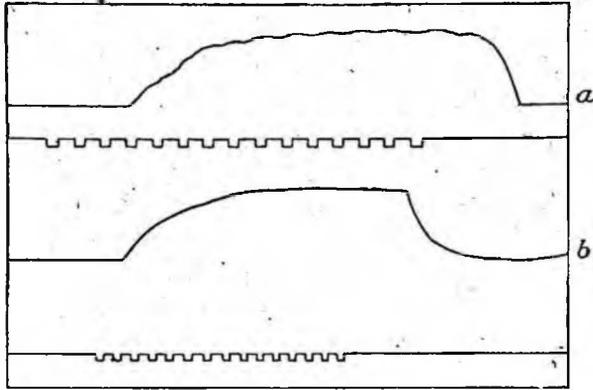


FIG. 17. — Secousse tétanique du fléchisseur du nouveau-né.

a : 15 excitations par seconde.

b : 20 excitations par seconde. (PATRIZZI-MENSİ.)

ratrice entre la contraction musculaire du nouveau-né et celle de l'adulte.



FIG. 18. — Secousse tétanique de l'adulte.

a : 20 excitations par seconde.

b : 25 excitations par seconde. (PATRIZZI-MENSİ.)

Ils ont obtenu le myogramme suivant :

On voit que le myogramme du nouveau-né diffère, de celui

1. Loc. cit., p. 68.

de l'adulte, par la hauteur de la contraction, qui est plus considérable chez ce dernier.

En outre, chez l'adulte, la contraction et le relâchement sont plus rapides.

C'est l'inverse de ce qui se passe chez le nouveau-né. La *secousse tétanique* présente les mêmes caractères. Nous donnons ci-après les courbes comparatives des deux secousses tétaniques, d'après PATRIZZI et MENZI; ces deux courbes diffèrent non seulement par leurs caractères, mais encore par leur mode d'obtention; en effet, tandis que le tétanos est obtenu chez le nouveau-né à l'aide de 15 excitations par seconde, 20 à 25 sont nécessaires pour produire le même résultat sur le muscle adulte non fatigué.

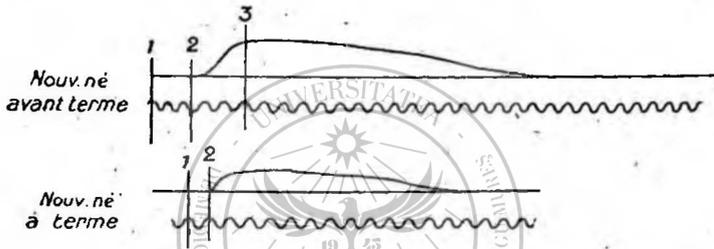


FIG. 19. — L'intervalle entre 1 et 2, c'est la période latente. (FELDMAN, 354.)

Les caractères de la courbe de contraction du nouveau-né, lenteur de contraction, longue durée, sont d'autant plus accentués, que le sujet est moins bien développé; c'est ce qui se produit notamment chez les *enfants nés avant terme*.

Chez ces derniers, le temps perdu est plus long que chez le nouveau-né normal, et la contraction est plus lente; la durée totale de la contraction étant deux fois plus grande.

Ces différents points sont mis en lumière dans la figure suivante.

FELDMAN (*) relate, dans le tableau suivant, ces différents résultats.

Il rapproche les chiffres qui caractérisent la contraction dans les atrophies musculaires et dans le rachitisme.

1. Loc. cit., FELDM., p. 354.

AGE	ÉTAT de santé	PÉRIODE la lente en 1/1000 sec.	MAXIMUM obtenu en 1/1000 sec.	DURÉE de la courbe en 1/1000 sec.	HAUTEUR de la contraction en mm.
Prématuré .	Bonne.	31,6	61,5	688,9	20,5
3 heures . .	—	17,2	50,8	393,1	15,0
3 semaines.	—	18,3	52,5	304,2	19,0
6 mois . . .	—	21,8	58,8	272,3	18,5
10 ans . . .	Atroph. muscul.	22,8	50,0	357,9	7,5
14 mois . . .	Rachitisme.	17,9	63,2	394,8	21,5
5 mois . . .	Tétanie.	21,6	53,4	915,5	25,0

Des différents travaux que nous avons rappelés il résulte que chez le nouveau-né :

1° L'excitation neuro-musculaire nécessite, dans les premiers jours, un courant galvanique plus intense que chez l'adulte;

2° Pour produire l'excitation avec un courant faradique, il faut une intensité très variable, suivant les cas, c'est-à-dire suivant les différents sujets, et chez un même sujet, suivant l'âge exact;

3° Chez le nouveau-né la contraction est plus lente, le temps perdu plus considérable et la hauteur de la courbe est plus faible;

4° Dans un temps donné, le tétanos est obtenu à l'aide d'un nombre d'excitations plus faible que chez l'adulte.

Critique des recherches antérieures.

En nous rapportant aux recherches des auteurs précités, WESTPHAL, PATRIZZI-MENSI et HOLMES, on voit combien les résultats de leurs travaux sont incomplets et insuffisants.

En effet, les études de WESTPHAL n'ont porté que sur quelques muscles dans l'époque d'après la naissance, ce qui n'autorise pas une classification et ne permet pas d'obtenir des chiffres pouvant servir à établir des comparaisons avec des muscles dans divers états pathologiques.

Il ne trouve une diminution marquée que dans la première semaine seulement, et même, dans cette période, trouve-t-il des chiffres variables. Cette variation, dépendant des contingences de l'expérience, reste une cause d'erreur; dans l'évolution normale de l'excitabilité neuro-musculaire.

Quant aux conclusions de PATRIZZI-MENSI, elles ne concernent que l'excitabilité musculaire, dans les sept premiers jours qui suivent la naissance, et ses conclusions sont encore plus relatives.

Les travaux antérieurs, sur l'excitabilité du nerf, sont de même ordre de valeur.

WESTPHAL, BARITJKO et GUNDOBIN, dans l'étude du médian, ont trouvé inconstamment une diminution de l'excitabilité, seulement dans les premiers jours. Après la première semaine, cette diminution évoluerait différemment, suivant les sujets.

Les résultats de HOLMES ne sont guère différents de ceux de ses prédécesseurs, en dépit de la longueur et des difficultés de ses mesures.

Nous pensons, dans les recherches qui suivent, apporter certaines précisions dans l'étude du développement neuro-musculaire.

Technique de la mesure de la chronaxie chez l'homme.

La technique est l'adaptation à l'homme de la méthode employée par LAPICQUE en physiologie expérimentale, comme nous l'avons montré dans ce travail (technique pour la recherche de la chronaxie chez l'animal), pour déterminer la chronaxie avec les décharges de condensateurs.

BOURGUIGNON (1) l'a appliquée à l'homme depuis 1916, en la simplifiant, jusqu'à l'heure actuelle.

C'est de sa technique dont nous nous sommes servi dans nos recherches sur les enfants.

INSTRUMENTATION.

On utilise une batterie de 100 accumulateurs (200 volts). Cette source est reliée à un réducteur de potentiel sans self.

Ce réducteur de potentiel peut être mis à volonté, tantôt dans

1. G. BOURGUIGNON. — C. R. Acad. des Sc., 19 juin 1916, 17 juillet 1916, 29 janvier 1917, 2 mai 1917. C. R. de la Soc. de Biol., 17 juin 1916, 1^{er} juillet 1916, juillet 1917, Revue neurologique, avril-mai 1917, juillet 1917, Soc. d'électrothérapie, avril 1919 et janvier-février 1920. C. R. de la Soc. de iol. 30 avril 1921.

un circuit galvanique, tantôt dans un circuit de condensateurs, à capacité variable allant de 0,01 microfarads à 60 microfarads.

La résistance en série avec le sujet varié entre 6.000 ohms et 11.000 ohms; la résistance dans le circuit général est de 4.000 ω (résist. liquides SO, Cu + Cu), et la résistance en dérivation de 10.000 ω .

La branche qui va au sujet aboutit à une large plaque qui constitue l'électrode indifférente et *impolarisable* en argent chloruré électrolytiquement (1). L'électrode différenciée est également *impolarisable* [application à l'homme des électrodes de d'ARSONVAL modifiée par L. LAPICQUE].

Voilà le schéma de cet appareillage.

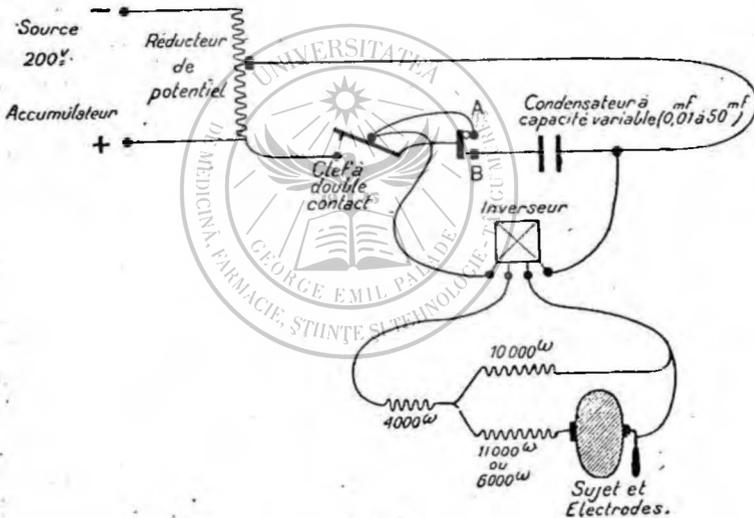


FIG. 20.

La technique est la suivante :

En mettant la fiche pour exclure les condensateurs du circuit, on cherche d'abord le seuil galvanique, pour le pôle négatif; on fait des passages de courant alternativement dans les deux sens — à l'aide du renverseur — pour détruire la polarisation des tissus.

1. G. BOURGUIONON. — C. R. de la Soc. de Biol., 14 juin 1913; Soc. Fr. d'Electro-et Radiol., juin 1913; Revue neurologique, juin 1913.

On mesure le seuil de la contraction par un voltmètre ; ce chiffre est la *rhéobase* (en volts).

C'est par cette première exploration qu'on a des renseignements sur la contraction et ses caractères, vive ou lente, galvanotonus, etc.

On *double le voltage* obtenu pour la rhéobase, et l'on substitue au circuit galvanique le circuit contenant les condensateurs. Avec ce voltage double, on cherche la *capacité* qui donne le seuil. Avec le chiffre obtenu on calcule la *chronaxie*.

Le calcul se fait en multipliant la résistance du circuit de décharge (10.800 ohms), rendue constante par le dispositif du shunt indiqué par L. LAPICQUE (1), par la capacité C, ce qui donne la durée de la décharge, et par le coefficient de Lapicque 0,37.

$$\tau = R \times C \times 0,37.$$

R étant constante et égale à 10.800 ohms, la formule devient pour le calcul :

$$\tau = 10.800 \times C \times 0,37.$$

C'est-à-dire :

$$\tau = 0.004 \times C.$$

Les résultats obtenus sont toujours constants.

1. Loc. cit.

Recherches sur les enfants.

Notre étude comprendra deux parties :

Dans la première nous considérerons la chronaxie chez le nouveau-né jusqu'à l'âge de un mois ; dans la seconde, l'évolution de la chronaxie de l'enfant jusqu'à vingt mois, époque à laquelle cette chronaxie devient celle de l'adulte.

Les chiffres relatifs à la première période sont tirés d'observations suivies chez les mêmes enfants. Ceux de la seconde période n'ont pas pu l'être, et il nous a fallu rapprocher des valeurs obtenues chez des sujets différents.

I. LA CHRONAXIE CHEZ LES ENFANTS NOUVEAU-NÉS.

A l'aide de la technique dont nous avons parlé, nous avons étudié la chronaxie au niveau du point moteur du muscle. Nous nous sommes adressé à des nouveau-nés entre quatre jours à un mois.

Chez le nouveau-né la chronaxie est constamment plus grande que chez l'adulte, tel est le fait fondamental.

Ci-dessous, l'observation concernant l'évolution chronaxique pendant le premier mois.

M..., René, quatre jours.

Enfant né à terme, le 10 août à 9 heures du soir. Accouchement normal en quatre heures. Garçon de 3 kg. 500. Délivrance parfaite. Enfant bien portant. Evolution de poids normale.

Poids : 10 août. . .	3.550	Poids : 14 août. . .	3.375
— 11 — . . .	3.275	— 15 — . . .	3.375
— 12 — . . .	3.375	— 16 — . . .	3.450
— 13 — . . .	3.375		

Examen du 14 août (enfant 4 jours).

MUSCLES	CHRONAXIE
Biceps point moteur (droit)	1 σ 08
Delhoïde moyen droit point moteur droit.	1 σ 08

Examen du 16 août (enfant 6 jours).

MUSCLES	CHRONAXIE
Grand palmaire point moteur (droit)	0 σ 6
Fléchisseur profond point moteur (droit)	0 σ 48
Extenseur commun des doigts, fais. du 3 ^e doigt (droit).	0 σ 72
Vaste interne.	0 σ 91

Examen du 17 août (enfant 7 jours).

NERFS	CHRONAXIE
Nerf médian (droit), seuil des palmaires	0 σ 44
Nerf radial (droit), seuil des radiaux	0 σ 32

Examen du 19 août (enfant 9 jours).

NERFS	CHRONAXIE
Nerf radial (droit), seuil des extenseurs de l'index.	0 σ 9

Examen du 20 août (10 jours).

NERFS	CHRONAXIE
Nerf radial (droit), seuil des extenseurs, 3 ^e et 4 ^e doigt	0 σ 84

Examen du 10 octobre (4 semaines).

MUSCLES	CHRONAXIE
Vaste externe du triceps brachial	1 σ 1

De ces expériences, il résulte que la chronaxie des muscles est dissemblable chez le nouveau-né et chez l'adulte. En gros elle est 1 fois et demie à 10 fois plus grande (1).

Ce tableau synthétique exprime l'excitabilité jusqu'à la quatrième semaine, comparativement avec les valeurs normales.

MUSCLES	CHRONAXIE EN SECONDES	
	nouveau-né	adulte
<i>Membre supérieur :</i>		
Deltôïde	0 σ 28—1 σ 08	0 σ 08—0 σ 16
Biceps	1 σ 08 »	0 σ 08—0 σ 16
Vaste externe du triceps brachial.	0 σ 28—1 σ 08	0 σ 08—0 σ 16
Fléchisseur profond des doigts.	1 σ 01—1 σ 48	0 σ 20—0 σ 35
Extenseur commun des doigts	0 σ 72 »	0 σ 45—0 σ 70
Grand palmaire	1 σ 06 »	0 σ 27—0 σ 35
<i>Membre inférieur :</i>		
Vaste interne.	0 σ 91 »	0 σ 10—0 σ 16
Long péronier latéral	0 σ 72 »	0 σ 28—0 σ 36

1. G. BANG, G. BOURGUIGNON, H. LAUFER. — La chronaxie chez le nouveau-né. C. R. Soc. Biol., 11 juin 1921, t. LXXXV, p. 49.

Au cours de leurs recherches, L. et M. LAPICQUE⁽¹⁾ ont déterminé que chaque muscle possède sa physiologie propre. La chronaxie est donc particulière à chaque muscle.

BOURGUIGNON⁽²⁾ a trouvé sur l'homme adulte que la chronaxie classe les nerfs et les muscles squelettiques suivant leurs fonctions; à l'aide des décharges de condensateurs, il donne une classification des muscles en groupes: 4 groupes pour le membre supérieur, et 3 groupes pour le membre inférieur. D'une façon générale les extenseurs possèdent une chronaxie plus grande. Ces résultats ont été confirmés par BOURGUIGNON et LAUGIER⁽³⁾ à l'aide du rhéotome balistique de WEISS. Chez le nouveau-né, les différences entre les divers groupes musculaires sont bien plus faibles que chez l'adulte.

Ci-dessous nous donnons un tableau comparatif:

GROUPE DES MUSCLES suivant leur action	CHRONAXIE MOYENNE DU GROUPE	
	nouveau-né	adulte
<i>Bras :</i>		
Fléchisseurs + Vaste interne	1 σ 02	0 σ 12
Extenseurs	1 σ 01	0 σ 21
<i>Avant-bras :</i>		
Flexion et pronation + radiaux	1 σ 01	0 σ 28
Extension et supination	1 σ 08	0 σ 36
<i>Membre inférieur :</i>		
Domaine du crural et de l'obturateur + grand fessier	0 σ 31	0 σ 14
Domaine sciatique popl. ext.	0 σ 72	0 σ 35
Domaine des sciatiques à la cuisse et du sciatique popl. int.	0 σ 48	0 σ 38

Les *nerfs* ont aussi une chronaxie plus grande que chez l'adulte, mais elle est de même ordre que celle des muscles.

NERFS	CHRONAXIE	
	nouveau-né	adulte
Médian (seuil des palmaires)	0 σ 44 »	0 σ 25
Radial (seuil des radiaux)	0 σ 32—0 σ 72	0 σ 50
Cubital (seuil des fléchiss. prof.)	1 σ 02 »	0 σ 27

1. Loc. cit., p. 38.
 2. G. BOURGUIGNON. — *C. R. de l'Acad. des Sc.*, t. 162, 1916, p. 956; t. 163, 1916, p. 68; t. 164, 1917, p. 273; t. 164, p. 866, mai 1917. — *C. R. Soc. Biol.*, t. LXXIX, 17 juin et 1^{er} juillet 1916, p. 584 et 637.
 3. BOURGUIGNON et LAUGIER. — *C. R. Soc. Biol.*, 5 mars 1921.

Remarquons aussi que la *chronaxie du segment proximal est plus grande que celle du segment distal*, contrairement à ce qui se passe chez l'adulte. Ceci ressort des tableaux donnés plus haut.

Nous avons observé expérimentalement les caractères de la *contraction musculaire*. Nous n'avons pas fait d'études graphiques; elles ont été déjà faites par de nombreux auteurs, mais nous avons constaté que la contraction musculaire chez le nouveau-né présente un début et un relâchement plus lents que chez l'adulte. Sa durée est plus longue. Ces différences sont surtout sensibles au cours du premier mois. Ces résultats concordent avec ceux de PATRIZZI et MENSÌ. Ces auteurs ont montré que le tétanos est obtenu par un nombre plus petit d'excitations par seconde, 20 au lieu de 35 à 40.

Nous allons maintenant considérer l'évolution neuro-musculaire chez l'enfant et jusqu'à l'âge adulte.

II. ÉVOLUTION DE LA CHRONAXIE

DES NERFS ET MUSCLES CHEZ LES ENFANTS DU PREMIER ÂGE.

Nous avons poursuivi l'étude du développement neuro-musculaire, par l'évolution de la *chronaxie*, jusqu'au moment où elle prend la valeur de l'adulte. Nous avons étudié la plupart des muscles, mais en raison de la difficulté de pouvoir suivre l'évolution de tous les muscles de l'enfant du premier âge, nous avons considéré, spécialement dans chaque région, les muscles les plus caractéristiques et qui présentent chez l'adulte des *chronaxies* identiques.

Nous donnons ci-dessous des observations d'enfants que nous avons personnellement suivis. Une partie est relative aux malades du service du professeur MARFAN, aux Enfants-Malades et aux Enfants-Assistés et une partie du service de M. le professeur agrégé LE LORIER, de la Maternité. Nous leur adressons ici les plus vifs remerciements.

Mais quelques sujets n'ont pu être suivis que de loin en loin, ce sont des consultants de ville, amenés par leurs parents. Tous étaient des enfants bien portants; quelques-uns des enfants malades ne présentaient que des troubles insignifiants, sans altération de l'état général.

T..., Rolland, six semaines.

Mère se dit anémique. Père bien portant. Premier enfant. Pas de fausses couches. Poids à la naissance : 7 livres. Né à terme. On donne le sein les premiers dix jours, ensuite biberon et sein (alimentation mixte). Depuis huit jours boit peu ; diarrhée ; amaigrissement.

Diagnostic : Diarrhée commune.

Examen.

MUSCLES-NERFS	CHRONAXIE
Nerf médian (seuil du côté droit)	0 σ 33
Delhoïde moyen (droit)	0 σ 33
Extenseur commun point moteur (faisceau du 4 ^e doigt).	0 σ 96
Vaste externe (côté droit)	1 σ 1

M..., René (voir observation, pendant le premier mois).

Examen du 19 octobre (enfant 6 semaines).

Biceps point moteur (gauche)	1 σ 48
Nerf radial (gauche), seuil du court supinateur	0 σ 68
Nerf radial, seuil de l'extenseur de l'index (gauche)	0 σ 64

Examen du 26 octobre (enfant 7 semaines).

Delhoïde antérieur (gauche)	0 σ 68
---------------------------------------	--------

D..., Renée, six semaines (entrée le 28 mai 1920. Sortie le 12 juillet).

Parents bien portants. Pas de fausse couche. Deux enfants vivants et bien portants. Premier enfant mort de méningite à un an. Enfant née à terme. Poids de naissance d'apparence normale. Nourrie au sein pendant quinze jours. La mère a eu ensuite des abcès au sein gauche, et le sein droit n'ayant pas suffisamment de lait, on l'a nourrie artificiellement.

L'enfant est amenée à l'hôpital, parce qu'elle vomit depuis huit jours. Elle entre avec le muguet.

Examen à l'entrée : nutrition, bonne.

3 juin : les vomissements ont diminué. Il y a encore un peu de muguet.

14 juin : deux selles liquides mélangées. Dépression des fontanelles, muguet, pas de signes d'auscultation.

Poids à l'entrée : 28 mai, 3.600 gr.

Température : 36°5-37°5 ; selles : deux tous les jours mélangées.

Diagnostic : vomissements habituels, muguet buccal.

Examen du 2 juin 1920.

MUSCLES-NERFS	CHRONAXIE
Nerf médian, seuil du thénar (côté droit)	0 σ 36
Deltοide moyen (côté droit)	1 σ 98
Extenseur commun, faisceau du 4 ^e doigt (côté droit)	0 σ 96
Vaste interne, cuisse droite, point moteur	1 σ 6-2 σ 8

D..., Julien, six semaines. Enfant normal; bon développement.

Examen du 16 juillet 1920.

MUSCLES	CHRONAXIE
Vaste interne, cuisse droite, point moteur	0 σ 88-0 σ 96

J..., Renée, trois mois trois semaines.

Poids de naissance 2.360 gr. Nourrie au sein. Mise ensuite à l'allaitement artificiel (mère travaille).

Coryza depuis la naissance, amenée à l'hôpital le 1^{er} mai, parce qu'elle vomit.

Examen : Polyadénopathie discrète.

Diagnostic : Diarrhée commune. Vomissements. Légère bronchite.

Examen du 9 juin 1920.

MUSCLES	CHRONAXIE
Vaste interne, cuisse droite	0 σ 8
Long péronien latéral, point moteur (côté droit)	0 σ 48
Biceps droit	0 σ 12
Petit palmaire, point moteur (côté droit)	0 σ 28

B..., André, quatre mois vingt jours. Enfant normal, bien développé.

Examen du 28 décembre 1920.

MUSCLES-NERFS	CHRONAXIE
Biceps point moteur (gauche)	0 σ 76
Extenseur commun, faisceau du 3 ^e doigt, point moteur (gauche)	0 σ 64
Fléchisseur profond, faisceau 5 ^e doigt (gauche)	0 σ 32
Nerf radial, seuil de l'abducteur du pouce (gauche)	0 σ 64
Nerf médian, seuil du grand palmaire (gauche)	0 σ 52
Vaste externe (bras gauche)	1 σ 14

B... André, sept mois :

Examen du 1^{er} avril 1921.

MUSCLES	CHRONAXIE
Biceps, point moteur (gauche)	0 σ 16
Vaste externe, point moteur (gauche).	0 σ 4
Fléchisseur profond, faisceau du 4 ^e doigt, point moteur (gauche)	0 σ 32
Extenseur commun, faisceau du 3 ^e doigt, point moteur (gauche)	0 σ 48

F..., Henri, douze mois et demi (Enfant-Assistés).
L'enfant ne marche pas encore, mais il se tient debout.
Il a quatre dents (deux incisives aux deux mâchoires).

Examen du 30 mars 1921.

MUSCLES-NERFS	CHRONAXIE
Biceps, point moteur (gauche)	0 σ 32
Nerf médian au bras, seuil du fléchisseur superficiel, faisceau du 3 ^e doigt (gauche).	0 σ 28
Extenseur commun, point moteur (gauche).	1 σ 1
Nerf radial, seuil de l'extenseur de l'index (gauche)	0 σ 36-0 σ 56
Extenseur propre de l'index (gauche).	0 σ 64

P..., Berthe, quatorze mois cinq jours.
Enfant normal, bien portant, admise le 28 avril 1921 aux Enfants-Assistés.

Examen du 4 mai 1921.

MUSCLES	CHRONAXIE
Biceps gauche, point moteur.	0 σ 24-0 σ 32
Vaste externe (bras gauche)	0 σ 53-0 σ 64
Fléchisseur superficiel, faisceau du 3 ^e doigt (gauche).	0 σ 56-0 σ 64
Extenseur commun gauche, faisceau 3 ^e doigt (gauche).	1 σ 4

W..., J., âgé de quinze mois huit jours.
Enfant normal. L'enfant ne marche pas encore, ne se tient même pas debout, en dépôt aux hospices des Enfants-Assistés; n'est pas exercé, les parents ne s'occupent pas de lui. Il a quatre dents (les

incisives, deux supérieures, deux inférieures). Signe de Babinski, en flexion.

Examen du 6 avril 1921.

MUSCLES-NERFS	CHRONAXIE
Biceps, point moteur (gauche)	0 σ 12
Vaste externe du bras (gauche).	0 σ 28
Nerf médian au poignet ; seuil du 2 ^e lombrical et de l'éminence thénar (gauche)	0 σ 24
Extenseur commun point moteur, faisceau du 3 ^e doigt (gauche)	0 σ 56
Vaste interne (cuisse gauche)	0 σ 28
Biceps crural, courte portion (gauche)	0 σ 48
Extenseur commun des orteils, faisceau du 4 ^e doigt (gauche)	0 σ 44
Jumeau externe, point moteur (gauche)	0 σ 54

B..., P.-G., vingt-trois mois. Enfant bien développé.

Examen du 24 février 1921.

MUSCLES	CHRONAXIE
Biceps gauche, point moteur.	0 σ 12
Extenseur commun droit, point moteur, faisceau du 3 ^e doigt	0 σ 64

Examen du 1^{er} avril 1921.

MUSCLES	CHRONAXIE
Biceps gauche, point moteur supérieur.	0 σ 12
Vaste externe.	0 σ 20

Nos expériences précédentes se rapportent à presque la totalité des muscles. Afin de mieux suivre l'évolution de chaque muscle jusqu'au vingtième mois, nous avons le tableau ci-après.

D'une façon générale, tous les muscles présentent des chronaxies de plus en plus faibles de la naissance au vingtième mois. Au membre supérieur, où l'examen est facile, nous possédons des chiffres suffisamment rapprochés pour constituer des courbes (1). Dans chaque région, nous avons considéré pour donner nos courbes les muscles de plus grande importance

1. G. BANU et G. BOURGUIGNON. — Etude de la chronaxie des nerfs et muscles du membre supérieur des nouveau-nés. *C. R. Soc. Biol.*, 16 juillet 1921, p. 349.

physiologique. Un fléchisseur et un extenseur au bras, un fléchisseur et un extenseur à l'avant-bras. Ci-dessous le gra-

MUSCLES-NERFS	1 MOIS	DE 2 A 4 MOIS	DE 4 A 6 MOIS	DE 6 A 12 MOIS	DE 12 A 16 MOIS	DE 16 A 20 MOIS	ADULTE
	Enfants examinés : M..., René " " " "	Enfants examinés : M..., René Treb..., R. Deb..., J. Haub..., R.	Enfants examinés : B..., André Jourh..., R. " "	Enfants examinés : E..., André Flam..., N. Jourh..., R. " "	Enfants examinés : Früh..., B. Wauth..., J. " "	Enfants examinés : Wauth..., J. Bourg., P.-J. " "	
Deltoïde . . .	1 σ 08	0 σ 77	0 σ 62	"	0 σ 22	0 σ 15	0 σ 15
Biceps	1 σ 08	0 σ 76	0 σ 76	0 σ 32	0 σ 28	0 σ 12	0 σ 11
Vaste interne .	0 σ 91	"	0 σ 68	"	0 σ 28	"	0 σ 10
Vaste externe .	1 σ 1	1 σ 01	1 σ 01	0 σ 6	0 σ 38	0 σ 20	0 σ 20
Grand palm ^{re}	0 σ 6	"	"	"	"	0 σ 25	0 σ 27
Fléchiss ^r prof.	0 σ 48	"	0 σ 32	0 σ 32	"	0 σ 26	0 σ 24
Extenseur com.	0 σ 92	0 σ 96	0 σ 64	0 σ 44	"	0 σ 48	0 σ 45
Vaste interne .	"	0 σ 96	"	0 σ 62	"	0 σ 12	0 σ 12
Biceps crur. .	"	1 σ 5	"	0 σ 68	"	0 σ 56	0 σ 55
Jumeau intern.	1 σ 1	"	"	"	0 σ 52	0 σ 60	0 σ 60
Long péron latéral .	0 σ 02	"	"	"	0 σ 44	0 σ 40	0 σ 37
Extens. com. orteils .	0 σ 72	"	"	"	0 σ 24	0 σ 35	0 σ 33
Nerf médian. .	0 σ 44	0 σ 36	0 σ 32	0 σ 23	"	adulte	0 σ 25
Nerf radial . .	0 σ 57	0 σ 68	0 σ 64	0 σ 41	"	"	0 σ 50

Courbes de la chronaxie des muscles (points moteurs).

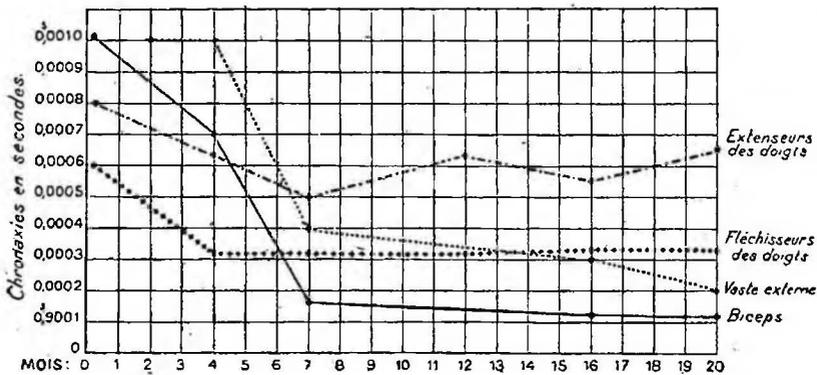


FIG. 21. — Courbes de la chronaxie des muscles (points moteurs).

phique correspondant à ces muscles; nous avons porté en abscisses les âges de l'enfant et en ordonnées les chronaxies.

La chronaxie, au niveau des points moteurs, présente à la naissance, comme d'ailleurs dans les premiers mois, une valeur relativement grande. Puis, à mesure que l'enfant avance en âge, les courbes des chronaxies des divers muscles descendent presque parallèlement. Au niveau de l'avant-bras, les muscles évoluent rapidement vers la chronaxie de l'adulte. Aussi la différence entre les chiffres à la naissance et ceux au vingtième mois n'est-elle pas grande. Les muscles du bras évoluent avec plus de lenteur, leur chronaxie, d'abord plus grande qu'à l'avant-bras (premier mois), descend rapidement jusqu'au septième mois en croisant la courbe des muscles de l'avant-bras. Elle n'atteint la normale qu'à l'âge de vingt mois.

Ces différences qui distinguent les muscles s'accusent de plus en plus à mesure que le développement se poursuit. D'ailleurs, si nous considérons les chiffres relatifs à l'adulte, nous ferons remarquer que les muscles les plus différenciés chez l'adulte sont les moins différenciés à la naissance et ils évoluent pendant plus longtemps.

L'étude des deux nerfs d'après les chronaxies moyennes nous permet de construire les courbes d'évolution suivante :

Courbes de la chronaxie des nerfs.

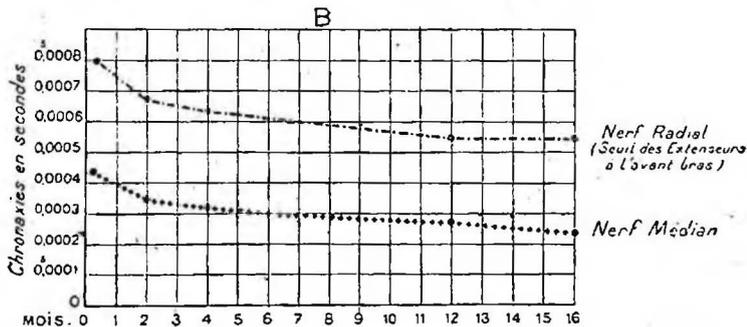


FIG. 22. — Courbes de la chronaxie des nerfs.

Au début de la vie, la chronaxie des nerfs diffère de celle des nerfs de l'adulte. D'ailleurs ces nerfs de la première

enfance évoluent rapidement vers la chronaxie adulte. Au quatrième mois, les chiffres sont en effet presque normaux. En outre, pour le radial (filet des extenseurs) et le médian, on trouve à la naissance et jusqu'au septième mois un hétérochronisme marqué entre le nerf et le point moteur du muscle. Cet hétérochronisme disparaîtra au cours de l'évolution.

La chronaxie du *membre inférieur* présente des valeurs de même ordre. Elle est beaucoup plus grande que chez l'adulte, ainsi que nous l'avons montré chez le nouveau-né par l'étude du vaste interne, jumeau interne et long péronier latéral. Il existe d'ailleurs un parallélisme entre l'évolution de la chronaxie des membres supérieurs et inférieurs. Mais ici, pour le membre inférieur, les chiffres dont nous disposons sont trop peu rapprochés pour que nous puissions établir une courbe.

*Comparaison entre les muscles du nouveau-né normal
et certains états musculaires.*

L'excitabilité neuro-musculaire, caractérisée chez le nouveau-né par une chronaxie, une courbe, un téтанos particuliers, se rapproche de l'excitabilité des muscles lisses et des muscles fatigués.

1° Les *muscles lisses* passent en effet plus lentement de l'état de repos à l'état actif. La période latente est de 0^m/₄ à 0^m/₈. La *contraction* est plus durable que celle du muscle strié, parfois quelques secondes. Aussi la phase de retour (énergie décroissante) est plus lente.

Ces caractères sont mis en lumière par JOLYET et SELLIER à propos du muscle de MÜLLER chez le chien et de la bande musculaire des holoturies (*Holoturia tubulosa*), et par HEIDENHAIN sur le muscle rétracteur du pénis chez les mammifères (100 fois plus lente que les muscles striés). A ces caractères on peut ajouter (d'après PRENANT) la résistance à la fatigue ; les muscles des acéphales qui maintiennent les valves fermées soutiennent sans fatigue cette action très longtemps ; aussi la tendance à demeurer en état de tension, exemple le tonus perpétuel des sphincters et des vaisseaux ; enfin l'étendue des mouvements est aussi un

caractère (l'amplication de la vessie, distension de l'utérus).

2° Quant aux *muscles fatigués*, leur contraction est également comparable à celle des muscles du nouveau-né. En effet, la secousse musculaire est plus allongée que chez le muscle normal. Quel que soit le type de contraction, ADUCCO, MAGGIORA ou PATRIZZI (1), les courbes des muscles fatigués sont toujours comparables à celles des muscles du nouveau-né; ainsi les ont considérés successivement WUNDT (2), MAREY (3), KRONECKER (4) et FUNCK (5).

Dans ce cas, comme l'ont montré L. et M. LAPICQUE (6), il y a une augmentation considérable de la chronaxie musculaire.

L'inexcitabilité indirecte est atteinte, lorsque la chronaxie du muscle est devenue double de celle du nerf [curarisation] (7).

Ces deux comparaisons portent sur des muscles dont l'état histologique ou physiologique est particulier, mais, en outre, on a comparé la contraction musculaire du nouveau-né avec celle des muscles à l'état pathologique chez les enfants, tel que les atrophies musculaires (enfants atrophiques) et le rachitisme.

3° Dans l'*atrophie musculaire*, la période latente est plus longue que dans la normale et la hauteur de la contraction est plus petite. FELDMAN donne les courbes comparatives suivantes entre le nouveau-né normal, enfant avec atrophie musculaire et enfant rachitique.

Nous avons trouvé des chronaxies beaucoup plus grandes que chez le nourrisson normal chez les enfants dans des phases d'hypothypsie. Voici un de ces exemples :

P..., Louis, vingt jours, entré le 15 juin 1920.

Premier enfant. Pas de fausse couche. Né à terme. Poids de naissance d'apparence normale. Nourri au sein deux jours, puis allaitement artificiel. On lui donne 7 (40 lait + 20 eau).

Pas de troubles digestifs. Venu à l'hôpital pour une infection du cuir chevelu.

1. PATRIZZI. — Loc. cit., p. 63.
2. WUNDT. — Loc. cit., p. 69.
3. MAREY. — Loc. cit., p. 69.
4. KRONECKER. — Loc. cit., p. 69.
5. FUNCK. — Loc. cit., p. 69.
6. L. et M. LAPICQUE. — Modifications de l'excitabilité musculaire par la fatigue, C. R. Soc. de Biol., 28 juin 1919, p. 773.
7. L. et M. LAPICQUE. — C. R. Soc. de Biol., t. LXXII, p. 283, 1912.

Examen : Desquamation généralisée, impétigo, hypothrepsie du premier degré.

Poids : 2.700 (15 juin) ; 2.980 (20 juillet).

Examen du 23 juin 1920.

MUSCLES-NERFS	CHRONAXIE
Deltoïde antérieur (côté droit)	0 σ 28
Extenseur commun faisceau du 3° et 4° doigt (droit)	3 σ 32
Nerf radial commun de l'extenseur du 4° doigt (droit)	0 σ 72
Fléchisseur prof. point moteur (droit)	1 σ 1
Nerf cubital seuil du fléchisseur profond (droit)	1 σ 2
Vaste interne (cuisse droite)	0 σ 31
Long péronier latéral point moteur (côté droit)	0 σ 72
Jumeau interne point moteur (côté droit)	4 σ 8

4° L'étude du rachitisme a été plus complète. A un état histopathologique spécial correspond une chronaxie augmentée

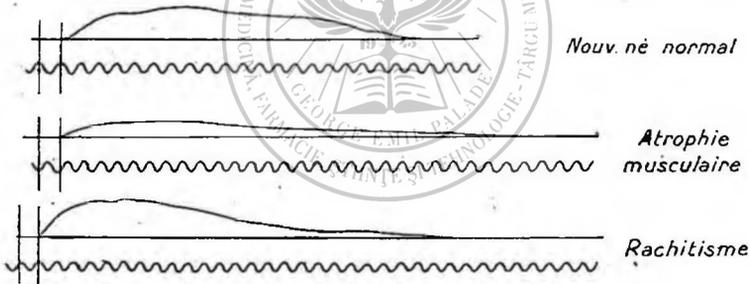


FIG. 23.

[BING (1), BANU (2)]. La figure de FELDMAN montre une période de contraction plus lente. En faisant des recherches j'ai obtenu des chronaxies entre deux et neuf fois plus grandes que chez les normaux de même âge (3).

1. ROB. BING. — Ueber atonische Zustände der kindlichen Muskulatur. Vorläufige Mitteilungen, I, Rachitische Myopathie (*Medizinische Klinik*, 1907, p. 10-13). — Myopathia rachilica (*Jahrb. f. Kinderheilk.*, 1908, t. II, p. 649-667).

2. G. BANU. — Recherches anatomo-pathologiques sur la myopathie rachitique, *C. R. Soc. Biol.*, 5 mars 1921. — La myopathie rachitique. *Le Nourrisson*, juillet 1921.

3. G. BOURGIGNON et G. BANU. — La chronaxie des nerfs et muscles chez les rachitiques, *C. R. Soc. Biol.*, 30 avril 1921.

MUSCLES-NERFS	CHRONAXIE	FORME de la contraction	CHRONAXIE de l'adulte (normale)
<i>Biceps :</i>			
Point moteur	0 σ 20	vive.	0 σ 08 à 0 σ 16
<i>Cubital antérieur :</i>			
Point moteur	1 σ 80	légèrement ralentie. vive. légèrement ralentie.	0 σ 20
Nerf.	0 σ 76		
Excitat. longitudinale.	1 σ 10		
<i>Fléchisseur superficiel des doigts :</i>			
Point moteur	0 σ 62	vive.	à 0 σ 35
Nerf.	0 σ 60	vive.	
Excitat. longitudinale.	1 σ 90	légèrement ralentie.	
<i>Grand palmaire :</i>			
Point moteur	0 σ 92	vive.	à 0 σ 45
Nerf.	0 σ 24	vive.	
<i>Extenseur commun :</i>			
Point moteur	0 σ 92	vive.	à 0 σ 65
Nerf.	0 σ 48	vive.	
<i>Extenseur propre de l'index :</i>			
Excitat. longitudinale.	2 σ 30	légèrement ralentie.	0 σ 1 à 0 σ 16
<i>Vaste interne de la cuisse :</i>			
Point moteur	0 σ 92	vive.	0 σ 2 à 0 σ 3
Nerf.	0 σ 52	vive.	
<i>Jambier antérieur :</i>			
Point moteur	0 σ 44	vive.	0 σ 25 à 0 σ 35
<i>Long péronier latéral :</i>			
Point moteur	0 σ 48	vive.	
Nerf.	0 σ 28	vive.	0 σ 35
Excitat. longitudinale.	0 σ 88	légèrement ralentie.	

Ces chiffres sont de même ordre que ceux du nouveau-né; mais ils sont toujours plus grands par rapport aux muscles normaux des enfants de même âge.

Ces conclusions chronaxiques et les myogrammes concordent avec les recherches de KRASNAGORSKI⁽¹⁾ qui a récemment étudié les muscles du nouveau-né, dans divers états pathologiques, à l'aide de la contraction faradique.

1. KRASNAGORSKI. — Ein Beitrag zur Muskelpathologie im Kindesalter. *Jahr. für Kinderheilkunde*, 1914, p. 261.

Ces divers états pathologiques, atrophie, rachitisme, peuvent trouver leur explication dans l'insuffisance du développement du système neuro-musculaire ou dans les dégénérescences. Dans les deux cas on a voulu expliquer ces états par le non-développement neuro-musculaire pouvant tenir de la mauvaise vitalité générale.

Les recherches anatomo-pathologiques ont montré la présence des modifications structurales musculaires, ce qui explique l'augmentation de la chronaxie. A l'état pathologique, le sarcoplasme augmente considérablement. A cet état, le muscle est comparable histologiquement au muscle rouge et au muscle embryonnaire. Des caractères physiologiques comparables s'y ajoutent. Ajoutons d'ailleurs qu'il existe chez l'adulte de multiples états pathologiques à chronaxie augmentée, mais ils sortent du cadre de cette étude, étant produits par des maladies générales ou des lésions nerveuses.

Donc, dans deux cas, rachitisme, atrophie d'une part, nouveau-né d'autre part, la chronaxie se trouve augmentée. Mais le même résultat est obtenu par deux processus différents. Dans un cas il s'agit d'altérations histologiques, dans l'autre d'insuffisance de développement.

La grande chronaxie du muscle lisse est conditionnée par son état histologique normal, celle du muscle fatigué par ses modifications passagères. Nous reviendrons d'ailleurs ultérieurement sur ces notions.

Importance pratique de cette mesure. — La diminution pathologique de l'excitabilité, chez les enfants en cours de développement, nécessite un critérium de comparaison, de contrôle. Les méthodes antérieures ne donnent pas satisfaction à cet égard (WESTPHAL, PATRIZZI, MENSI, HOLMES).

Nous pensons que nos tableaux pour les muscles du nouveau-né et leur évolution, ainsi que les courbes qui les accompagnent, peuvent servir dans ce but comparatif.

Conclusions.

I. La chronaxie des muscles du nouveau-né est dix fois plus grande que chez l'adulte; elle va diminuant progressivement jusqu'au vingtième mois.

II. Les chronaxies des muscles du nouveau-né présentent les mêmes valeurs relatives que chez l'adulte. La chronaxie des extenseurs est plus grande que celle des fléchisseurs. Ces différences, à peine marquées à la naissance, s'accusent légèrement avec le développement et la différenciation des masses musculaires. .

III. *La chronaxie des points moteurs du bras est plus élevée que celle de l'avant-bras.* Au bras, les extenseurs et les fléchisseurs présentent un développement parallèle, ainsi que le montre leur courbe d'évolution. A l'avant-bras, les muscles évoluent plus rapidement.

IV. *La chronaxie au niveau du membre inférieur présente une évolution analogue.*

V. *La classification des muscles de l'adulte, faite à l'aide de la chronaxie, a montré que les muscles les plus différenciés chez l'adulte, le sont moins chez l'enfant à la naissance; ils évoluent aussi pendant plus longtemps.* En général pour tous les muscles l'évolution est plus rapide au début, plus lente à la fin.

VI. *La chronaxie des nerfs est de même ordre que celle des muscles. Elle est moins grande et son évolution est plus rapide. Vers le troisième mois sa valeur est à peu près celle de l'adulte.*

VII. *La différence des contractions chez l'adulte et chez le nouveau-né est constituée par le début et le relâchement plus lent chez ce dernier, ainsi que sa durée plus longue.* Ces différences sont surtout marquées dans les premières semaines (six-huit) après la naissance, pour ensuite disparaître.

VIII. *La chronaxie est d'autre part augmentée dans certains états musculaires particuliers : muscles à fibres lisses, rachitisme, muscles fatigués et enfants atrophiques.* L'augmentation de la chronaxie chez le nouveau-né et dans ces états peut s'expliquer différemment; car dans le premier cas il s'agit d'insuffisance de développement physiologique, et dans les autres d'altérations histologiques ou de modifications physiologiques particulières.



CHAPITRE VI

ESSAIS D'EXPLICATION DE LA PHYSIOLOGIE DU DÉVELOPPEMENT NEURO-MUSCULAIRE

Nous pouvons maintenant dégager la conclusion générale suivante, grâce à nos recherches comparatives sur le nouveau-né et l'adulte, tant chez l'homme que chez l'animal. Pendant la vie fœtale et les premiers temps qui suivent la naissance, la chronaxie est plus grande et la contraction de plus longue durée.

Examinons maintenant quels phénomènes histologiques, biochimiques ou autres peuvent servir de support à ce phénomène.

Interprétation anatomique.

Au premier abord, on est tenté de rapprocher les caractéristiques physiologiques de ces périodes avec l'état d'évolution anatomique. Nous avons montré, en effet, au début de ce travail, que le système neuro-musculaire est alors incomplètement développé au point de vue histochimique. Le calibre des fibres musculaires et nerveuses est plus petit, les noyaux sont plus nombreux, le sarcoplasme plus abondant. Puis au cours de l'évolution la section des fibres augmente, le nombre des noyaux diminue, le sarcoplasme fait place progressivement aux fibrilles musculaires. En outre les fibres nerveuses ne se développent pas simultanément avec la même rapidité; de même on remarque que certains muscles atteignent plus vite que d'autres le stade du développement adulte.

Nous avons vu que chez l'adulte on peut considérer l'existence

de deux sortes de fibres musculaires : les unes blanches, les autres rouges.

Chez l'embryon, il semblerait d'abord que pareille distinction n'est pas encore apparue, toutes les fibres semblant rouges ; mais chez lui aussi deux sortes de fibres se différencient. Les unes se développent avec plus de rapidité que d'autres, elles se modifient en même temps dans leur structure, et plus tard elles tendront à constituer la fibre blanche adulte. Les autres se développent plus lentement, sans modification, profondément dans leur nature ; elles conservent leurs caractères primordiaux et tendent à constituer les fibres rouges adultes. Celles qui se développent le plus lentement seraient comparables aux fibres rouges de l'adulte, celles qui se développent le plus rapidement seraient comparables aux fibres blanches.

Il était logique de se demander s'il existe un rapport entre le substratum anatomique et les caractères physiologiques qui l'accompagnent.

Existe-t-il un rapport entre le calibre de la fibre, la quantité de sarcoplasme, d'une part, et l'excitabilité, la contraction, d'autre part ?

On peut se demander aussi quelle est la signification des muscles rouges et des muscles blancs, quelles sont leurs fonctions particulières, et quelle est la raison de cette divergence fonctionnelle ?

LA THÉORIE DES MUSCLES BLANCS ET ROUGES.

C'est par l'étude du sarcoplasme au niveau des diverses formations musculaires qu'on a essayé depuis longtemps à faire la classification des muscles en blancs et rouges.

LORENZINI (1678), d'après CIACCIO [1898] ⁽¹⁾, découvre l'inégale répartition du sarcoplasme ; travaux confirmés d'abord par KRAUSE ⁽²⁾ [1868, 1884], puis par RANVIER ⁽³⁾ [1873, 1874, 1875, 1880, 1887]. Ces auteurs ont noté la richesse sarcoplasmique des

1. CIACCIO. — Della Anatomia minuta de quei muscoli che negli insetti muovono le ali. *Mem. d. R. Acad. d. Sc. di Bologna*, sér. IV, L. VIII. 1887 (d'après PRENANT).

2. KRAUSE (W.). — Ueber den Bau der quergestreiften Muskelfasern, I, II, *Heute und Pfeuffer Göttingen Nachrichten*, Bd XXXII et XXXIV, 1868-1869.

3. Loc. cit., p. 31.

muscles rouges, par opposition aux blancs. Les muscles du lapin ont été classés à ce point de vue de la façon suivante. Muscles *blancs* : vaste interne, vaste externe, droit interne, droit antérieur, grand adducteur, biceps, jumeaux, gastrocnémiens; muscles *rouges* : demi-tendineux, crural, court adducteur, carré crural, soléaire, muscles de l'avant-bras, muscles postérieurs de la tête, muscles profonds du dos.

RANVIER, en 1873, précise la structure anatomique. Il montre l'abondance et la situation centrale des noyaux, le caractère particulier des vaisseaux. PRENANT⁽¹⁾ retrouve mieux ces caractères sur des coupes transversales; il observe chez les muscles rouges de larges espaces sarcoplasmiques séparés par quelques fibres musculaires, champ colonnaire (Säulchenfelderung), et dans les muscles blancs seulement de minces colonnettes analogues aux fibrilles [champ fibrillaire (Fibrilenfelderung)]. La conception de RANVIER n'a pas été confirmée par tous les auteurs. MEYER ne la retrouve pas chez le lapin, et note que certains muscles rouges y sont histologiquement semblables aux blancs. KNOLL⁽²⁾ et SCHIEFFERDECKER⁽³⁾ [1903] n'admettent pas l'inégale répartition du sarcoplasme.

Ces muscles rouges et blancs ont été distingués aussi au point de vue physiologique.

RANVIER (1873), GRUTZNER⁽⁴⁾, ROLLET⁽⁵⁾ [1889], PAUKUL⁽⁶⁾ [1904], FISCHER⁽⁷⁾ montrent la contraction plus lente chez le muscle

1. PRENANT (A.). — Problèmes cytologiques généraux soulevés par l'étude des cellules musculaires. *Journal de l'Anatomie et de la Physiologie normale et pathologique de l'homme et des animaux*, 1911, p. 449-524 et 601-630; 1912, p. 109-182 et 259-336.

2. KNOLL. — Ueber helle und trübe, weisse und rolhe quergestreifte Muskulatur, *Sitz. d. kais. d. Akad. Wiss.*, Wien, 1899; Ueber protoplasmaarme und protoplasmareiche Muskulatur. *Denkschr. d. k. Akad. d. Wiss.*, Wien, Bd LVIII, 1891.

3. SCHIEFFERDECKER. — Eine neue Methode der Muskeluntersuchung, *Sitz. der Niederrhein. Ges. f. Naturf. u. Heilk.*, 14 Juli 1902; Weitere Ergebnisse meiner Untersuchungen an Muskeln, *ibid.*, 26 octobre et 16 novembre 1903.

4. GRUTZNER. — Zur Physiologie und Histologie der Skelettmuskeln. *Breslauer ärztliche Zeitschrift*, 1883, 24; Zur Muskelphysiologie, *Breslauer ärztl. Zeitschr.*, 1886, n° 1.

5. ROLLET. — Ueber die Flossenmuskeln des Scepferdchens (*Hippocampus antiquorum*), und über Muskelstruktur im Allgemeinen, *Archiv f. mikr. Anat.*, Bd XXXII, 1888; Anatomische und physiologische Bemerkungen, über die Muskeln der Feldermäuse. *Sitz. d. kais. Akad. d. Wiss.*, Wien, Bd XCVIII, 1889; *Archiv f. die gesammte Physiologie*, 1892, Bd LII, p. 201.

6. PAUKUL. — Die Zukungsformen von Kaninchenmuskeln, verschiedener Farbe und Struktur. *Arch. f. Physiologie*, 1904, *Physiol. Abl.*, p. 100.

7. FISCHER. — *Arch. für die gesammte Physiologie*, 1908, Bd CXXV, p. 541.

rouge. Différence qui sépare aussi d'ailleurs muscle strié et muscle lisse (muscle strié, contraction rapide; lisse, contraction lente). La téτανisation est plus rapidement obtenue chez le muscle rouge (KRONECKER, STIRLING, RÖSSNER) [le soléaire rouge est téτανisé avec dix excitations par seconde, le gastrocnémien blanc avec trente excitations]. Pour MUTZNER, PAUKUL, FISCHER; CASH⁽¹⁾, la courbe de contraction et de téτανisation du muscle rouge est plus basse que celle du muscle blanc. Pour ROLLET, l'action du curare est plus lente sur le muscle rouge. Il existe d'ailleurs des exceptions, car la couleur rouge du muscle et l'abondance du sarcoplasme ne s'accompagne pas toujours de lenteur de contraction. Ainsi chez la tortue, l'excitabilité est la même pour les deux sortes de muscles; chez certains insectes, les ailes riches en sarcoplasme possèdent une excitabilité très grande. Le récent travail de KOHLRAUSCH montre également qu'il n'existe pas grande différence entre l'excitabilité des deux genres des muscles, ainsi qu'il l'expose à l'aide du myogramme du gastrocnémien et du soléaire chez le chat.

Cependant, dans l'ensemble, la majorité des auteurs admet la distinction. Ainsi pour PRENANT « la distinction histologique, fondée sur le sarcoplasme, se superpose assez exactement à la différence de coloration et à la différence de réaction physiologique. Les muscles rouges et riches en sarcoplasme sont des muscles lents; les muscles blancs, pauvres en sarcoplasme, sont des muscles rapides » (p. 266).

Puis KNOLL conclut que dans toute la série animale il existe deux sortes de muscles histologiquement et physiologiquement différents.

La différenciation en muscles blancs et rouges, qui a été très discutée par les nombreux auteurs qui l'ont abordée, ne trouve pas un fondement décisif dans les déterminations que nous avons faites sur la chronaxie des muscles.

En face de cette théorie que nous avons montrée très incertaine et peu satisfaisante s'est développée une autre théorie, la théorie des fibres associées.

1. CASH. — *Arch. f. Physiologie*, 1880, *Physiol. Abtlg.*, suppl. p. 147.

LA THÉORIE DES FIBRES ASSOCIÉES.

Les examens histologiques ont montré l'existence simultanée, au niveau d'un même muscle, de deux ordres de fibres. Elles sont différenciées par la proportion relative du sarcoplasme et de fibrilles. Cette conception s'oppose d'ailleurs à la précédente parce qu'elle admet 2 catégories de fibres dans le même muscle. Ces fibres, fibres blanches, pauvres en sarcoplasme, et fibres rouges, riches en sarcoplasme, existent à la fois au niveau du même muscle.

RANVIER [1873], KRAUSE [1876], COUTANCE [1878], GRUTZNER [1883], [1884], BONHOFFNER⁽¹⁾ [1890], KNOLL [1891] admettent cette conception chez la plupart des muscles des batraciens, tortues, oiseaux, mammifères, homme. Les fibres à protoplasme abondant sont claires (helle Fasern), les fibres à protoplasme moins abondant sont foncées et troubles (dunkle trübe Fasern), et leur calibre est plus petit. Aucun muscle, sauf le cœur, ne renferme des fibres d'une seule catégorie; la proportion des fibres est variable suivant le muscle considéré. Chez l'homme, les recherches ont été faites par ARNOLD⁽²⁾ [1886], MITROPHANOV⁽³⁾ [1886], [1887], MAYEDA⁽⁴⁾ [1890], SCHAEFFER⁽⁵⁾ [1893], EVALD⁽⁶⁾ [1910] (d'après PRENANT).

1. BONHOFFNER. — Ueber einige physiologische Eigenschaften dünn und dick-fasriger Muskeln bei Amphibien. *Archiv f. d. ges. Physiol.*, Bd XLVII, 1890.

2. ARNOLD. — Ueber das Vorkommen « heller » Muskeln beim Menschen. *Zeitschrift. d. naturhist. med. Vereins zu Heidelberg*, 1886.

3. MITROPHANOV. — Ueber die Muskeln von cobitis fossilis. *Protokolle der Sitzungen der zool. Section*, I, H. 1, 1886, Moskau et *Mitth. d. kais. Ges. der Freunde der Naturk. Antrop. und Ethnogr. an der Moskauer Univ.*, Bd L, H, 1, 1887.

4. MAYEDA. — Ueber die Kaliberverhältnisse der quergestreiften Muskelfasern. *Zeitschr. f. Biologie*, Bd XXVII, 1890.

5. SCHAEFFER. — Beiträge zur Histologie und Histogenese der quergestreiften Muskelfasern des Menschen und einigen Wirbelthieren. *Sitz. d. kais. Akad. d. Wiss.*, Wien, Bd CII, 1893.

6. EVALD. — Helle und trübe Muskelfasern beim Menschen. *Münc. med. Wochenschrift*, Jahrg, LVII, 1910.

COMPARAISON HISTOLOGIQUE ENTRE LE MUSCLE ROUGE ADULTE
ET LE MUSCLE NON DÉVELOPPÉ CHEZ L'EMBRYON.

Les stades d'évolution histologique d'un muscle sont fonction de sa proportion de sarcoplasme (PRENANT). C'est ainsi que chez l'embryon, le muscle est constitué par une colonne épaisse de sarcoplasme nucléé, et peu de substance fibrillaire. Nous rappelons pour mémoire la description donnée plus haut. A la naissance, les fibres sont 5 fois plus minces que chez l'adulte et plus riches en noyaux. D'après WEISS, les fibrilles peu différenciées au début remplacent progressivement le sarcoplasme jusqu'à l'âge adulte. Il existe donc un parallélisme absolu entre le muscle embryonnaire et le muscle rouge adulte. A ces différences structurales correspondent des différences fonctionnelles. C'est ce qui ressort des travaux de FANO [1885], BODANO [1889], BOTAZZI [1896], [1897], WEISS [1889] et d'autres que nous avons cités ailleurs.

Le muscle embryonnaire et le muscle rouge adulte sont donc doublement comparables, histologiquement et physiologiquement. Cette comparaison est d'ailleurs basée sur la même proportion de sarcoplasme et de fibrilles. L'évolution de l'excitabilité semble être due à l'évolution même de cette proportion par un mécanisme intime que nous allons tenter d'exposer.

LES THÉORIES DE LA CONTRACTION.

Il existe deux théories relatives à la physiologie des muscles. Dans l'une, on admet l'homogénéité de constitution; dans la seconde, on considère une composition musculaire hétérogène, fibres rouges et fibres blanches mélangées.

Théorie de Botazzi.

La lenteur de contraction des muscles rouges serait due pour FANO (1) et BOTAZZI à l'existence d'une contraction double, à la fois fibrillaire et sarcoplasmique. Le sarcoplasme qui, chez

1. Loc. cit., p. 32.

l'adulte, transmet simplement l'excitation posséderait chez l'embryon un pouvoir contractile propre. Il aurait donc alors une véritable propriété motrice. BOTAZZI [1896] ⁽¹⁾, en développant cette théorie, exprime à ce propos l'opinion suivante : « Quand, en conséquence d'une première excitation, a eu lieu une première contraction de la substance musculaire, il s'est déjà produit aussi un commencement de contraction dans ce sarcoplasme. »

C'est ce sarcoplasme qui conditionnerait la tonicité musculaire du nouveau-né (muscles rouges), car d'après BOTAZZI « la contraction du sarcoplasme dure plus longtemps, de sorte qu'une seconde ou troisième excitation arrivera au muscle alors que le sarcoplasme se trouve encore en contraction; ceci constitue le « soutien » aux contractions successives de la substance biréfringente; de là leurs sommations, c'est-à-dire le tétanos et les phénomènes analogues ».

Les oscillations du tonus représenteraient dans les graphiques musculaires la fonction motrice de la partie sarcoplasmique du muscle. L'existence de la double contraction a été décelée par BOTAZZI et GRUNBAUM ⁽²⁾ [1899] pour les fibres lisses du Sipuncle et de l'Aplysie; ensuite par BIEDERMANN ⁽³⁾, CARVALLO et WEISS ⁽⁴⁾ [1898, 1899].

JOTEYKO ⁽⁵⁾ [1903] retrouve cette fonction motrice sarcoplasmique dans la contraction idiomusculaire [SCHIFF], l'onde secondaire [CH. RICHT] ⁽⁶⁾ et la double contraction des muscles empoisonnés par la vératrine [JOTEYKO].

Enfin Mosso ⁽⁷⁾ admet la théorie de la double fonction de BOTAZZI. Mais il explique le mécanisme d'une autre manière. D'après lui, il existe une double innervation musculaire, et le caractère de la contraction est différent suivant les fibres ner-

1. Loc. cit.

2. BOTAZZI et GRÜNBAUM. — On plain muscle. *Journ. of Physiol.*, vol. XXIV, 1899.

3. BIEDERMANN. — Zur Lehre vom Bau der quergestreiften Muskelfaser. *Sitz. d. kais. Akad. d. Wiss.*, Wien, Bd LXXIV, 1876.

4. CARVALLO et WEISS. — Action de la vératrine sur le muscle rouge et blanc du lapin. *C. R. Soc. Biol.*, 22 mai 1898, et *Journ. de Physiol. et de Pathologie*, 1899.

5. JOTEYKO. — Etude sur la contraction tonique du muscle strié et ses excitants. *Mém. de l'Acad. roy. de méd. de Belgique*, t. XVIII, 1903.

6. CH. RICHT. — Contribution à la physiologie des centres nerveux et des muscles de l'écrevisse. *Arch. de physiologie*, t. VI, 1879.

7. Mosso. — Théorie de la tonicité basée sur la double innervation des muscles striés. *Arch. ital. de Biologie*, 1904.

veuses qui sont excitées. Il s'agit tantôt des fibres myéliniques (contraction rapide) tantôt des fibres sympathiques (contraction lente).

Théorie de Grützner.

Pour GRÜTZNER [1886], ARLOING et LAVOCAT (1), les fibres riches en sarcoplasme auraient pour rôle de soutenir la durée de la contraction. Pour eux il n'existerait pas de différences physiologiques entre les fibrilles et le sarcoplasme. Les graphiques ne dissocient pas en effet le rôle de chacune d'elles. D'après GRÜTZNER, c'est non pas l'opposition entre sarcoplasme et fibrilles qui caractérise le muscle, mais bien la proportion de fibres totales, blanches et rouges qui déterminent la rapidité ou la lenteur de contraction. Les fibres pauvres en sarcoplasme donnent le caractère fonctionnel de la contraction (*Zuckungsmuskel*), et les fibres riches en sarcoplasme la fonction de soutien (*Haltungsmuskel*) de la durée de la contraction. Sous l'influence d'une excitation, les premiers entrent aussitôt en action avec brusquerie et rapidité, puis les secondes entrent en activité et conditionnent la durée plus ou moins persistante de l'état de contraction.

CASH considère que cette proportion des fibres, essentiellement variable suivant chaque fonction musculaire, caractérise la fine adaptation physiologique de chaque muscle en particulier. Étant donnée une région musculaire, on peut y distinguer certains muscles riches en fibres sarcoplasmiques et qu'on peut appeler « muscles de soutien ».

La lenteur de contraction de ces muscles de soutien a pour substratum tantôt l'abondance du sarcoplasme, tantôt l'état lisse de la substance musculaire.

L'INTERPRÉTATION HISTOLOGIQUE DE LA PHYSIOLOGIE MUSCULAIRE
DU NOUVEAU-NÉ.

Par sa richesse en sarcoplasme, le muscle du nouveau-né se contracte lentement. Tel est le fait. Pour l'interpréter,

1. ARLOING et LAVOCAT. — Recherches sur l'anatomie et physiologie des muscles pâles et foncés, Toulouse, 1875.

deux théories sont en présence : celle de BOTAZZI et celle de GRUTZNER. En raison de sa lenteur de contraction nous dirons que le caractère de soutien y est prédominant. Physiologiquement, on observe que la contraction devient de plus en plus rapide à mesure que la striation remplace progressivement l'état musculaire homogène de la naissance. D'après VLÈS⁽¹⁾ la striation naîtrait du mouvement, l'abolition de ce mouvement amènerait pour lui la disparition de la striation [cas de femelle d'orgyre, mouches d'hiver, abdomen d'araignée]. En pathologie, lors des dégénérescences [intoxication, nerfs sectionnés, muscles incomplètement sectionnés et laissés en place] la striation disparaît [STRAHL, PESTALOZZI, NESTI⁽²⁾, PALADINO⁽³⁾ 1916]. Dans les myopathies on observe un état d'involution embryonnaire avec augmentation de sarcoplasme, disparition de la striation [BACALOGLU, SCRIBAN]⁽⁴⁾. On observe un processus analogue dans les myopathies rachitiques [BANU]⁽⁵⁾.

L'existence d'une différenciation fibrillaire progressive a été montrée par l'embryologie et les processus de régénération. On sait que le cœur de l'embryon de poulet bat avant que les fibrilles y soient complètement constitués. C'est à la suite du fonctionnement que les fibrilles se développent. VLÈS a fait sur les myomères de l'embryon des Sélaciens des constatations analogues. D'après ces données, VLÈS a cherché à produire une striation expérimentale par les mouvements provoqués.

La chronaxie particulière du fœtus et du nouveau-né s'explique donc en somme par sa richesse en sarcoplasme. Chez les enfants du premier âge il existe un parallélisme entre la diminution du sarcoplasme et l'augmentation du calibre des fibres qui coïncide avec la diminution de la chronaxie. On voit donc qu'il existe une relation entre la physiologie musculaire du nouveau-né et l'état histologique.

1. VLÈS. — Propriétés optiques des muscles. *Thèse de doct. ès sciences*, Paris, 1911.

2. Dans PRENANT, loc. cit.

3. G. PALADINO. — Les fibres musculaires striés doivent-elles être regardées comme les éléments perpétuels de l'organisme? *Arch. italien. de Biologie*, LV, décembre 1916, p. 100-108.

4. C. BACALOGLU et I. SCRIBAN. — Sur l'origine embryonnaire des myopathies progressives. *C. R. Soc. Biol.*, 17 juin 1916.

5. G. BANU. — Loc. cit.

Mais cette physiologie particulière est également dépendante d'un *substratum histologique nerveux*. Nous avons vu que le système nerveux de l'enfant est incomplètement développé, sa capacité fonctionnelle n'apparaissant qu'ensuite. Nous allons examiner à ce point de vue les nerfs périphériques, la moelle et les centres d'inhibition.

La myélinisation du faisceau pyramidal ne se produit qu'après la naissance, plus ou moins tardivement. C'est ce qui explique le signe de BAWINSKI positif, normal chez le nouveau-né.

C'est l'automatisme relatif de la moelle qui explique, avant la troisième année, les syncrétiques, le réflexe consensuel, le réflexe de grande tonicité. De même chez le fœtus dans la première enfance, le développement des nerfs périphériques est encore incomplet (calibres des fibres cinq fois plus faible que chez l'adulte, gaine incomplètement myélinisée). Il est impossible de ne pas rapprocher ces constatations des lois générales établies par LAPICQUE et LEGENDRE (1) sur les relations entre le calibre de la fibre et ses caractéristiques physiologiques. La vitesse de transmission de l'influx nerveux est fonction du calibre du nerf, et la chronaxie est d'autant plus petite que la fibre nerveuse est plus grosse, (grenouille, lapin, etc.). D'après eux le nerf examiné à l'état frais au microscope montre que la gaine myélinique est plus grosse là où la chronaxie est plus petite. On voit donc que les faits que nous avons constatés dans la vie fœtale et sur les nouveau-nés rentrent parfaitement dans ces lois générales.

Mais l'interprétation histologique de la physiologie neuromusculaire est loin d'être complètement satisfaisante. En effet, tandis que l'évolution histologique du muscle est achevée à la naissance, que celle du nerf est achevée un peu plus tard, la physiologie de ces deux organes ne devient normale que plus

1. L. LAPICQUE et R. LEGENDRE. — La rapidité fonctionnelle des fibres nerveuses, mesurée par la chronaxie et son substratum anatomique. *Bulletin du Muséum d'histoire naturelle*, 1914, n° 5.

tard encore. Ces deux genres d'évolution ne coïncident donc que dans les tout premiers temps. Puis il existe une période intermédiaire au cours de laquelle la physiologie est en désaccord avec l'état histologique. Peut-être les recherches histologiques sont-elles encore insuffisamment précisées. D'après PRENANT, les techniques actuelles sont insuffisantes à préciser l'état exact du muscle embryonnaire. Il ajoute que des procédés spéciaux sont nécessaires pour l'étude qualitative de la fibre et du sarcoplasme, afin de pouvoir suivre l'évolution musculaire dans ses rapports avec les divers états physiologiques. Notamment, faisons remarquer le caractère incomplet de l'étude des mitochondries et des enclaves de la fibre musculaire au cours de son évolution.

Interprétation biochimique de l'évolution musculaire.

Ce sont les caractères biochimiques et physico-chimiques qui conditionnent en réalité l'activité musculaire, et les constatations histologiques n'en sont que le reflet.

On peut attribuer ces conditions physico-chimiques à de nombreux facteurs : substances minérales et lipoides, mitochondries et oxydases, perméabilité plus ou moins grande des membranes. Autant de questions, qui ont suscité de nombreux travaux, sans aboutir d'ailleurs à des résultats définitifs.

Les éléments minéraux, par leur variation de la naissance à l'âge adulte, semblent jouer un rôle important. Ainsi le calcium, peu abondant pendant la vie fœtale et à la naissance, devient plus abondant à mesure que la chronaxie diminue. Son rôle dans l'excitabilité a été démontré par LÆB⁽¹⁾, PACHON et BUSQUET⁽²⁾, PEZARD⁽³⁾ et dernièrement par L. et M. LAPICQUE⁽⁴⁾. LAPICQUE en décalcifiant des nerfs plongés dans des solutions contenant par litre, outre un dixième de molécule de NaCl, soit un millième de molécule CaCl₂ [eau physiologique], soit un centième de molécule

1. Dynamique des phénomènes de la vie, trad. franç. Paris, 1909, p. 166 (cit. d'après LAPICQUE).

2. C. R. Soc. de Biol. (L. LXVI, 1909).

3. C. R. de l'Ac. des Sciences, 20 janvier 1913.

4. Modifications de l'excitabilité des nerfs par les sels qui précipitent le calcium. C. R. Soc. de Biol., 14 février 1914, p. 230.

NaFl, ou un demi-centième de molécule $C_2O_4Na_2$, on constate une descente de la chronaxie, aux deux tiers de sa valeur, par suite de la précipitation du calcium. Puis, la restitution du Ca aux nerfs rend leur excitabilité primitive. La variation quantitative et qualitative des autres éléments minéraux peut agir d'ailleurs soit directement, soit indirectement par modification du milieu [perméabilité des membranes]. Tel semble être le mode d'action des ions alcalins et alcalino-terreux [Ca. K. Mg. Na, etc.], ASCHENHEIM (1) et autres montrent que la diminution de l'excitabilité dépend non pas tant du taux de calcium, mais du rapport entre le taux des métaux alcalins et celui des alcalins terreux.

En outre, J. LOEB découvre un antagonisme entre Ca, Mg, d'une part, Na de l'autre part. Mais aucune étude n'est faite d'après l'âge. KATZ (2) ne considère que l'adulte dans la série animale.

On voit donc qu'il est difficile d'interpréter l'évolution neuromusculaire par l'étude des seuls corps minéraux.

Les corps phosphorés (lécithine, graisse, cholestérine), par leur augmentation après la naissance, jouent évidemment un rôle dans l'évolution. La quantité de ces corps augmente au cours de l'évolution [JACOBOWITSCH, BAÏMACOFF] (3); leurs taux différent suivant l'âge, modifient l'activité physiologique en changeant la perméabilité des tissus. Or, d'après LAPICQUE (4), à une perméabilité donnée correspond une excitabilité particulière. Cet auteur a montré que, sous l'action des alcaloïdes, les lipoides modifient la perméabilité des tissus, et donc la chronaxie. Le tissu est à la fois modifié dans son excitabilité et son aptitude à l'imbibition. Un accroissement de l'imbibition correspond à une diminution de la chronaxie.

1. Voir MICHAUD. — Remarques sur la tétanie. Archives suisses de neurologie et de psychiatrie, 1920, p. 171.

2. KATZ. — Die mineralischen Bestandteile des Muskelfleisches. *Pflüger's Archiv* 63, p. 1, 1909.

3. Loc. cit., p. 34.

4. L. LAPICQUE. — Alcaloïdes et Lipoïdes : hypothèse sur l'activité physiologique des alcaloïdes. *C. R. Soc. Biol.*, 1914, p. 285; L. et M. LAPICQUE. — Action des divers poisons musculaires (alcaloïdes) sur l'imbibition du muscle. *C. R. Soc. Biol.*, p. 288, 1914.

Cette imbibition, comme l'ont montré MAYER et SCHAEFFER (1), est fonction d'un facteur précis, « l'index lipocytyque ». D'après ces auteurs, l'imbibition dans les tissus est d'autant plus grande que le rapport

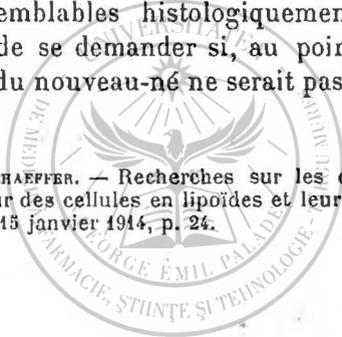
$$\frac{\text{cholestérine}}{\text{acides gras}} \text{ ou } \frac{\text{cholestérine}}{\text{phosphore lipoidique}}$$

est plus grand.

On peut donc admettre que c'est ce rapport qui conditionne l'évolution biochimique de l'excitabilité par l'intermédiaire de la perméabilité des tissus.

La comparaison entre les muscles lisses et les muscles du nouveau-né, si semblables histologiquement et physiologiquement, permet de se demander si, au point de vue de leur chimie, le muscle du nouveau-né ne serait pas semblable à celui du muscle lisse.

1. A. MAYER et G. SCHAEFFER. — Recherches sur les constantes cellulaires. Rapport entre la teneur des cellules en lipoides et leur teneur en eau. *Journ. de Phys. et Path. gén.*, 15 janvier 1944, p. 24.





CONCLUSIONS

I. Chez le fœtus et chez le nouveau-né, la chronaxie neuromusculaire est dix à quinze fois plus grande que chez l'adulte.

II. Chez les fœtus, la contraction musculaire se produit en masse pour chaque région; ce fait s'observe jusqu'aux derniers jours qui précèdent la naissance. La différenciation des masses musculaires n'est qu'ébauchée. La secousse est très lente, la contraction est de longue durée, le retour est également lent.

III. Très élevée à la naissance, la chronaxie tend à diminuer progressivement pour atteindre la valeur adulte au deuxième mois pour le lapin et au vingtième mois pour l'enfant.

IV. D'une manière générale, les chronaxies des groupes musculaires du fœtus, d'ailleurs peu différentes les unes des autres, se rangent dans le même ordre que chez l'adulte. Les muscles des membres chez l'animal présentent une évolution à peu près analogue, les chronaxies divergeant à peine. Chez l'enfant, les différences peu marquées à la naissance vont en s'accusant légèrement en raison du développement et de la différenciation des masses musculaires.

V. La chronaxie nerveuse évolue dans le même sens que la chronaxie musculaire. Les chronaxies nerveuses diminuent un peu plus rapidement que les chronaxies musculaires, mais au terme de leur évolution, les chronaxies nerveuses et musculaires sont égales.

VI. La contraction est lente chez le nouveau-né; elle devient plus rapide au fur et à mesure du développement; chez l'animal, elle possède les caractères de l'adulte vers le trentième jour, chez l'enfant vers le troisième mois; on voit qu'il y a une

évolution parallèle du développement de la rapidité de contraction et du développement de la rapidité du processus d'excitation (diminution de la chronaxie).

VII. Les valeurs élevées de la chronaxie, telles qu'on les trouve chez le nouveau-né, s'observent également chez l'enfant plus âgé au cours de certains états pathologiques (rachitisme).

VIII. Il existe, en outre, une dépendance entre l'évolution de l'excitabilité musculaire et l'apparition des différentes fonctions neuro-musculaires.

IX. Les constatations histologiques ne rendent compte que partiellement des résultats de nos recherches.



TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE.	3
INTRODUCTION	5

CHAPITRE PREMIER

LES MOUVEMENTS PENDANT LA VIE FŒTALE ET APRÈS LA NAISSANCE

<i>Les mouvements du fœtus</i>	7
Mouvements de la vie de relation	8
Mouvements des organes de la vie végétative	11
<i>Les mouvements de l'enfant nouveau-né</i>	11
Caractères généraux	11
La marche	15
Les réflexes.	15

CHAPITRE II

DÉVELOPPEMENT HISTOLOGIQUE NEURO-MUSCULAIRE ET APPARITION DES FONCTIONS

<i>Système nerveux</i>	21
Moelle épinière	24
Nerfs périphériques.	26
<i>Système musculaire</i>	30
Caractères des muscles; muscles rouges et muscles blancs.	30
Considérations physiologiques.	32

CHAPITRE III

CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES SUR LA CHRONAXIE.
REMARQUES SUR L'ISOCRONISME DU NERF ET DU MUSCLE

<i>Considérations théoriques sur la chronaxie.</i>	35
<i>Remarques sur l'isochronisme du nerf et du muscle dans l'excitation monopolaire</i>	40

CHAPITRE IV

ÉTUDES SUR LES ANIMAUX

<i>Recherches antérieures</i>	45
Excitabilité neuro-musculaire chez le fœtus et le nouveau-né	45
Contraction musculaire	47
<i>Technique des recherches sur les animaux</i>	49
<i>Nos recherches sur le lapin</i>	51

CHAPITRE V

RECHERCHES SUR L'ENFANT NOUVEAU-NÉ

<i>Recherches antérieures</i>	65
L'excitabilité	65
La contraction musculaire	69
<i>Critique des recherches antérieures</i>	72
<i>Technique de la mesure de la chronaxie chez l'homme</i>	73
<i>Recherches sur les enfants</i>	76
Comparaison entre les muscles du nouveau-né normal et certains états musculaires.	86

CHAPITRE VI

ESSAIS D'EXPLICATION
DE LA PHYSIOLOGIE DU DÉVELOPPEMENT NEURO-MUSCULAIRE

<i>Interprétation anatomique</i>	93
L'interprétation histologique de la physiologie musculaire du nouveau-né.	100
<i>Interprétation biochimique de l'évolution musculaire</i>	103
CONCLUSIONS.	107

DONAȚIA
Profesor Doctor

Paris. — L. MARETHOUX, Imprimeur, 1, rue Cassette.

