

Bibliothèque numérique

medic@

**Marey, Etienne-Jules. - Histoire
naturelle des corps organisés. [Cours
du Collège de France]. VI, VII et VIII.
Des appareils enregistreurs en
biologie**

*In : Revue des cours
scientifiques de la France et de
l'étranger, 1867, IV, p. 601-606,
679-682, 726-731*



(c) Bibliothèque interuniversitaire de médecine (Paris)
Adresse permanente : <http://www.bium.univ-paris5.fr/histmed/medica/cote?marey078>

est composé. Puisqu'on n'a point trouvé dans ces corps de substance chimique inconnue sur la terre, la similitude de composition chimique des corps visibles de l'univers, que les recherches exécutées à l'aide du spectroscope avaient déjà rendue probable, tire des recherches exécutées à l'aide du spectroscope une nouvelle raison de crédibilité (1).»

A. S. HERSCHEL.

COLLÉGE DE FRANCE.

HISTOIRE NATURELLE DES CORPS ORGANISÉS.

COURS DE M. MAREY (2).

VI

Des appareils enregistreurs en biologie.

La première application d'un appareil enregistreur à la biologie expérimentale est due à Ludwig. Ce célèbre physiologiste imagina une disposition qui permettait d'enregistrer les oscillations d'un manomètre adapté aux artères d'un animal vivant. Il obtint ainsi une expression graphique des changements que présente à chaque instant la pression du sang dans les artères.

L'introduction du manomètre dans les expériences de la biologie était déjà une précieuse conquête. Hales, le premier, avait eu l'idée de mesurer la pression sanguine par la hauteur à laquelle le sang d'une artère s'élèverait dans un tube vertical. Cette hauteur était de huit à neuf pieds anglais. L'emploi d'un tube si long était fort embarrassant. M. Poiseuille rendit un grand service à la science en introduisant l'emploi d'un manomètre à mercure, qui est beaucoup moins volumineux et plus facile à manier. Mais l'observation de cet instrument présentait de grandes difficultés, car il oscille sans cesse sous la double influence des battements du cœur et de la respiration. Lorsqu'on lit la relation des expériences que MM. Poiseuille et Magendie ont exécutées à l'aide du manomètre simple, on voit combien il était difficile à ces expérimentateurs de suivre et de noter avec exactitude toutes les oscillations de la colonne de mercure.

Ludwig supprima toutes ces difficultés en adaptant au manomètre un appareil sur lequel s'enregistrent toutes les oscillations de la colonne de mercure. Voici quelle était la

(1) Nous demanderons la permission de faire quelques réserves à propos de ces passages que M. S. Herschel traduit du tome V du *Bulletin météorologique du Collège romain*. Les bolides et les comètes peuvent être composés de même substance, sans que les uns et les autres aient des orbites paraboliques, sans que les uns et les autres se trouvent dans le même état d'agrégation. Pour nous, nous inclinons à croire que les comètes sont des bolides à orbite parabolique assujettis à des alternatives de chaleur et de froid qui ne leur ont pas permis de cristalliser comme l'ont fait probablement, dans la suite des âges, ceux qui, par des raisons inconnues, ont des orbites comparables à ceux de la terre et des autres planètes. L'identité de composition chimique de tout le système solaire est une grande idée qui tend à se populariser, et sur les traces de laquelle l'analyse spectrale a pu mettre les savants, sans que leurs conclusions relatives à la constitution des soleils aient même besoin de vérification. Elle nous paraît supérieure aux opinions particulières que l'on peut concevoir sur l'explication des phénomènes que l'analyse spectrale a permis de constater. — W. de F.

(2) Voyez les numéros des 23 mars, 6 et 13 avril, 4 et 11 mai et 3 août 1867, p. 275, 296, 318, 353, 374 et 568.

disposition de cet appareil que son auteur a nommé *kymographion* (1).

Au-dessus de la colonne du manomètre est placé un flotteur prolongé par une longe tige *ff*, qui s'élève et s'abaisse

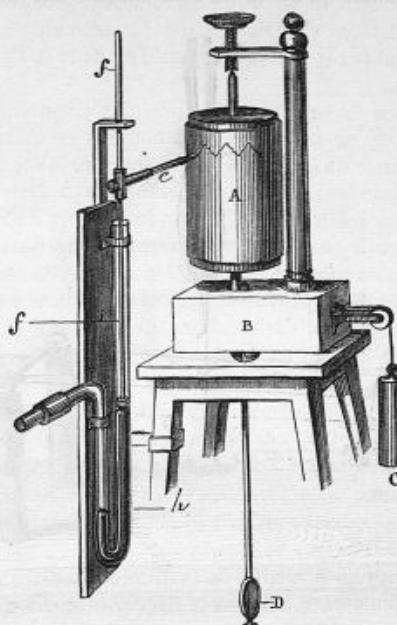


FIG. 280. — Kymographion de Ludwig.

avec le niveau du mercure. Sur ce flotteur est implantée perpendiculairement une tige *e*, qui porte un pinceau dont la pointe frotte sur un cylindre *A* revêtu de papier. Ce cylindre tourne d'un mouvement uniforme au moyen d'un appareil d'horlogerie *B*. Comme toutes les oscillations du mercure sont transmises au pinceau, il en résulte un graphique qui traduit les changements divers qu'éprouve la pression du sang, cause initiale des oscillations du manomètre.

Volkmann réalisa de nombreuses expériences à l'aide du kymographion de Ludwig. Traube s'en servit aussi pour étudier sur les animaux l'action que certaines substances exercent sur l'état de la pression du sang dans les artères. Au moyen d'une ingénieuse disposition, ce physiologiste fait écrire à chaque tour du cylindre, par un nouveau pinceau chargé d'une couleur différente. On peut ainsi superposer les uns aux autres plusieurs graphiques, ce qui prolonge beaucoup la durée possible de l'expérience, car les tracés superposés ne se confondent pas entre eux, grâce à leurs différentes couleurs (2).

Quelque temps après l'apparition de l'instrument de Ludwig, Helmholtz dotait la physiologie d'un nouvel appareil enregistreur, le *myographe*. Cet instrument était destiné à exprimer graphiquement la forme des mouvements musculaires.

Un cadre métallique, soutenu par deux supports, pivote autour d'un axe horizontal ; il est équilibré au moyen d'un curseur pesant qui glisse sur une tige horizontale implantée

(1) De κύμα, vague, et γράφω, j'écris.

(2) On peut voir de beaux spécimens de ce genre de graphiques dans un travail de Traube sur l'action du gaz oxyde de carbone sur la respiration et la circulation. (Voyez *Verhandlungen der Berliner med. Gesellschaft*, Bd. I, 1866).

sur l'axe de rotation du cadre. Ce cadre porte à son autre extrémité une tige articulée qui pend verticalement sous la charge d'un curseur pesant. Une pointe métallique tend ainsi à frotter contre un cylindre de verre blanc, couvert de noir de fumée, tandis qu'un fil de soie enroulé sur une traverse

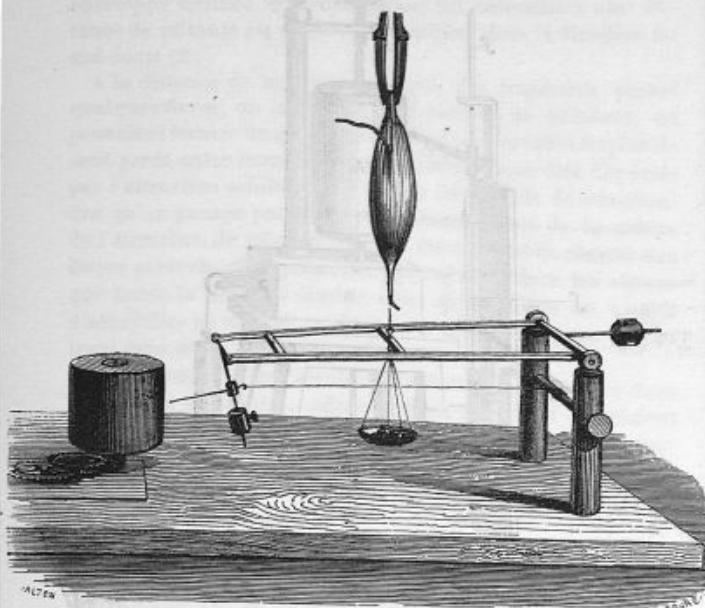


Fig. 284. — Myographe de Helmholtz.

tire la pointe en arrière, et permet de réduire au degré convenable son frottement sur le cylindre. Un muscle de grenouille, suspendu par l'une de ses extrémités à l'aide d'une pince, est attaché inférieurement par son tendon au cadre métallique qu'il soulèvera en se raccourcissant; enfin, au-dessous du muscle, un plateau peut recevoir des poids destinés à allonger ce muscle et à présenter plus ou moins de résistance à son raccourcissement.

Un appareil électrique quelconque, étant mis en rapport avec le muscle ou avec le nerf qui l'anime, provoque des contractions, dont l'apparition est signalée et dont la forme est appréciée au moyen du graphique tracé par la pointe sur le cylindre ensumé qui tourne comme celui de l'appareil de Ludwig.

Cet appareil a rendu de grands services à la physiologie, non pas au point de vue des caractères graphiques des mouvements musculaires qu'il traduisait imparfaitement, mais au point de vue de la mesure du temps que l'action nerveuse met à cheminer dans les nerfs. On verra plus loin comment Helmholtz parvint, à l'aide de son myographe, à mesurer la vitesse de l'agent nerveux.

MM. Fick, Pflüger et Thiry apportèrent quelques modifications au myographe de Helmholtz, principalement en ce qui concerne la mesure des durées correspondantes aux phénomènes enregistrés. J'aurai plus tard l'occasion de vous décrire ces modifications à propos de la *chronographie physiologique*, c'est-à-dire de la mesure des durées des différents phénomènes.

En 1851, Vierordt (1) imagina d'enregistrer sur l'homme

(1) Vierordt, *Die Lehre von Arterienpuls*. Brunswick, 1851.

vivant les pulsations artérielles. Il construisit un instrument qu'il désigna sous le nom de *sphygmographe*.

L'appareil de Ludwig ne pouvait servir que dans la physiologie expérimentale, puisque son emploi exigeait une vivisection. De plus, ainsi que Vierordt l'a justement signalé, ses indications, comme celles de tous les manomètres, étaient entachées d'erreurs, parce que le mercure en mouvement prend de lui-même des oscillations qui déforment le tracé du kymographion, en ajoutant des éléments étrangers au graphique que l'instrument devrait fournir, s'il n'obéissait qu'aux changements de la pression du sang.

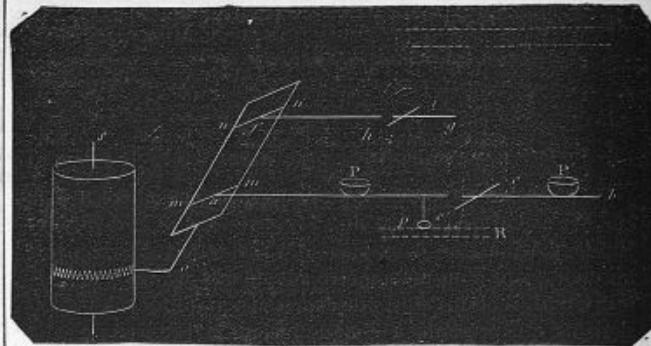


Fig. 282. — Sphygmographe de Vierordt.

Le sphygmographe de Vierordt était basé sur un autre principe que l'appareil de Ludwig: c'était, comme le myographe de Helmholtz, une sorte de balance enregistrante. Le battement du pouls était la force motrice qui imprime des mouvements à cet appareil.

Sur un double support, représenté par des lignes ponctuées, sont établis deux leviers de longueurs inégales *ab* et *fg*. Ces leviers sont articulés, d'une part avec leurs supports, au moyen des axes *hi* et *ec*, d'autre part avec un cadre métallique, par l'intermédiaire des axes *nn* et *mm*.

Ces articulations ont pour effet de corriger l'arc de cercle que décrirait un levier simple: elles agissent à la façon d'un parallélogramme de Watt. Dans le sphygmographe de Vierordt, la tige *o*, qui porte la pointe écrivante, oscille toujours verticalement dans les mouvements d'ascension et de descente des

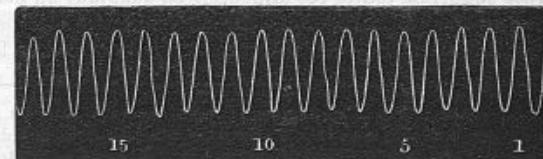


Fig. 283. — Graphique du sphygmographe de Vierordt.

leviers. Un cylindre tournant autour de l'axe *SS* reçoit le tracé des battements artériels et fournit la figure suivante.

Tels étaient en 1858 les appareils enregistreurs employés en biologie. Des recherches que je faisais alors sur la circulation du sang nécessitaient l'emploi des enregistreurs de Ludwig et de Vierordt; j'essayai de construire ces appareils d'après les descriptions qui en avaient été publiées, et je pus constater qu'il existait un désaccord complet entre les indications fournies par ces deux instruments appliqués sur un même vaisseau. Je m'aperçus bientôt que les deux appareils étaient incapables de fournir les indications que je leur demandais,

est-à-dire l'expression de la forme exacte de la pulsation artérielle.

Tout en conservant l'idée primitive de Vierordt, qui avait employé les mouvements d'un levier pour amplifier et enregistrer les pulsations des artères, je supprimai les causes d'erreur de l'appareil en employant un ressort à la place du poids qui déprimait le vaisseau exploré, et en donnant une légèreté extrême au levier amplificateur et enregistreur du mouvement.

L'appareil est représenté en marche (fig. 284); il est fixé sur le poignet au moyen d'un cordon; le levier trace en ce moment le graphique qui s'obtient pendant un effort puissant d'expiration, la glotte étant fermée.

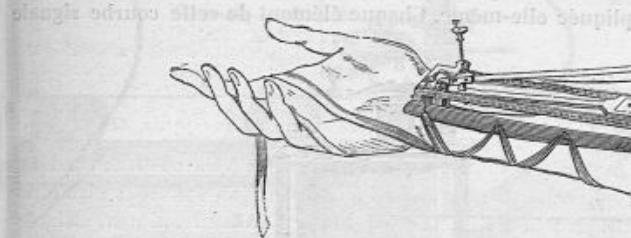


FIG. 284. — Sphygmographe de Marey.

Je ne puis m'étendre ici sur les détails de la construction de cet appareil que je me borne à vous montrer et à faire fonctionner devant vous. Vous trouverez ailleurs (1) la description détaillée de mon sphygmographe, ainsi que la représentation des tracés du pouls qu'il fournit, et dont voici quelques types.



FIG. 285. — Insuffisance aortique sénile.

De nombreuses expériences m'ayant prouvé que les conditions dans lesquelles mon sphygmographe était construit le



FIG. 286. — Pouls radial au-dessous d'un anévrisme.

mettaient à l'abri des erreurs que les autres enregistreurs présentaient dans leurs indications, je résolus de construire



FIG. 287. — Pouls radial, même sujet (côté sain).

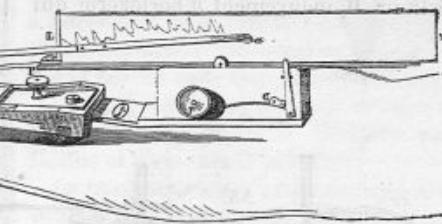
sur le même principe d'autres appareils destinés à l'étude de mouvements plus complexes.

La question des mouvements du cœur était depuis longtemps l'objet de discussion; l'observation directe n'avait pu lever complètement les doutes des physiologistes, et établir l'accord même sur la notion la plus élémentaire, à savoir: à quel moment d'une révolution du cœur correspond le battement de cet organe contre les parois de la poitrine. La cause

de ces dissidences tenait à la complexité des phénomènes qui se succèdent à très-courts intervalles, et sont en effet difficilement saisissables à l'observation directe.

J'entrepris d'enregistrer chacun des trois mouvements au moyen de trois leviers de sphygmographe, dont l'un signalerait la systole de l'oreillette, l'autre celle du ventricule, tandis que le troisième signalerait l'instant du choc ou pulsation du cœur. Les trois leviers étant superposés l'un à l'autre et inscrivant sur une même verticale tous les phénomènes simultanés, devaient signaler, par la superposition ou la non-superposition des différentes courbes, les coïncidences et les intervalles des trois actes observés.

Dans les expériences que je fis à ce sujet, et dans la



construction des appareils destinés à les réaliser, j'eus pour collaborateur M. Chauveau, professeur à l'École vétérinaire de Lyon. Cet éminent physiologiste joignait à ses autres qualités une longue habitude de l'expérimentation sur les grands animaux; il s'était particulièrement occupé de déterminer, par de nombreuses vivisections, la succession véritable des mouvements du cœur.

Une première difficulté se présentait: ces mouvements de l'oreillette et du ventricule que nous voulions enregistrer, il fallait les aller chercher à l'intérieur même du cœur de l'animal. Voici comment le problème fut résolu:

Soient A et B (fig. 288) deux petites ampoules de caoutchouc gonflées d'air et communiquant entre elles par un long tube flexible. Supposons que la boule B soit placée au-dessous du



FIG. 288. — Schéma de la transmission des mouvements à distance.

lever d'un sphygmographe et que l'on comprime la boule A; aussitôt le levier du sphygmographe se soulèvera et indiquera la pression qui vient de se produire.

Tel est le principe qui nous a servi à transmettre les mouvements de l'oreillette et du ventricule, ainsi que le choc du cœur à chacun des leviers de l'appareil. Pour cela, trois ampoules élastiques pleines d'air étaient soumises chacune à l'action de l'un de ces trois mouvements, et chacune d'elles transmettait le mouvement reçu à un levier spécial. Les deux premières ampoules étaient introduites à l'intérieur du cœur; elles avaient été conduites par la veine jugulaire qui, sur le cheval, fournit un large passage, et l'une d'elles était placée dans l'intérieur de l'oreillette droite, tandis que l'autre descendait jusque dans le ventricule. La troisième ampoule, enfoncee dans les parois de la poitrine, entre les intercostaux internes et externes, recevait le choc ou battement du cœur et en transmettait l'effet à l'appareil.

(1) *Physiol. méd. de la circulation du sang*, p. 176 et suiv.

ment du cœur, qu'elle transmettait également. Quant aux ampoules extérieures qui devaient agir sur les leviers, elles étaient constituées chacune par un petit tambour aplati de cuivre, dont la paroi supérieure était formée par une membrane de caoutchouc. C'est le soulèvement de cette membrane qui, transmis au levier sphygmographique, signalait le mouvement produit à l'intérieur du cœur.

Nous avons donné le nom de *cardiographe* à l'ensemble de cet appareil : les expériences auxquelles il a servi ont été publiées *in extenso* dans les *Mémoires de l'Académie de médecine* (année 1863, t. XXVIII).

La figure 289 représente la disposition générale du cardiométron.

AE, appareil enregistreur. H, mouvement d'horlogerie qui

trées par le cardiographe. La ligne O correspond aux mouvements de l'oreillette droite; la ligne V, à ceux du ventricule droit; C, au battement extérieur ou pulsation du cœur.

Un nouveau progrès était acquis à la physiologie; on pouvait transmettre à un enregistreur un mouvement inaccessible à l'observation directe. Chauveau s'est heureusement servi de cette disposition pour étudier les caractères de la contraction de l'œsophage dans des expériences que je crois encore inédites.

Les expériences de cardiographie dont je viens de parler, nous avaient révélé que le battement du cœur est un phénomène complexe qui se traduit par une courbe assez compliquée elle-même. Chaque élément de cette courbe signale

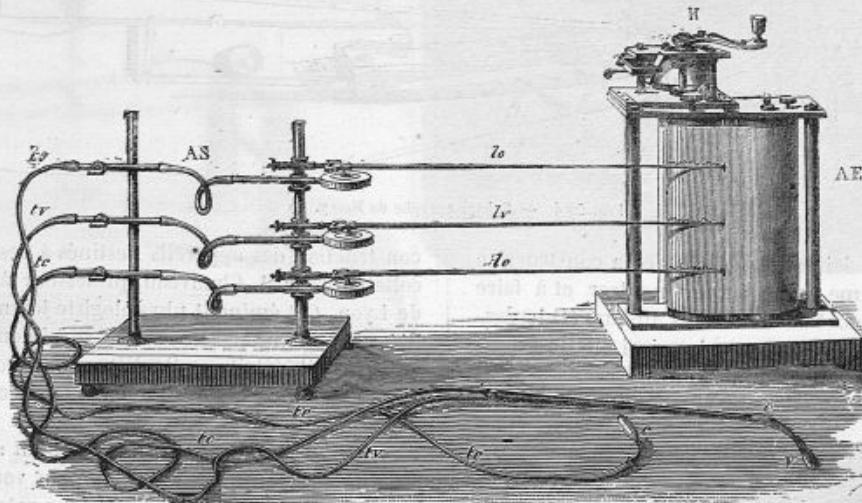


Fig. 289. — Cardiographe de Chauveau et Marey

fait mouvoir au moyen de deux cylindres une longue bande de papier glacé sur laquelle s'enregistrent les mouvements de trois leviers. — AS, appareil sphygmographique composé de trois leviers, *lo* et *lv*, enregistrant les mouvements de

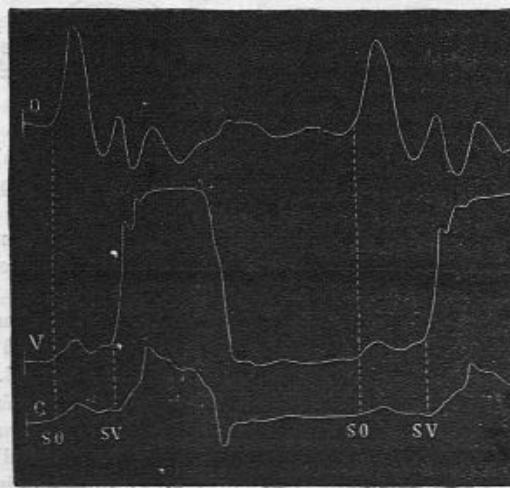


FIG. 290. — Graphique du cardiographe obtenu sur le cheval.

l'oreille et du ventricule, enregistrant le battement antérieur du cœur.

La figure 290 représente deux révolutions du cœur enregis-

un de ces actes multiples qui, dans leur ensemble, constituent une révolution du cœur.

Il était possible, d'après le graphique du battement extérieur du cœur, de connaître tout ce qui se passe à l'intérieur de cet organe ; mais, jusqu'alors, il fallut une mutilation pour appliquer, dans l'espace intercostal, l'ampoule destinée à percevoir ce battement.

J'ai cherché s'il ne serait pas possible de transmettre à un enregistreur le battement que l'on sent à la main au niveau de la région précordiale. Chez certains individus, l'application d'une simple cloche de verre sur la peau de cette région suffit pour recueillir le mouvement qui se transmet par un tube au levier enregistreur, mais cette disposition est insuffisante chez d'autres sujets; enfin, chez quelques-uns, elle donne un graphique entièrement inverse de ce qu'on obtient à l'état normal (1).

Le battement du cœur présente une grande ressemblance avec celui d'une artère, en ce sens qu'il faut, pour bien le percevoir, exercer une certaine pression sur le point exploré.

Un instrument imaginé dans un but tout différent, le stéthoscope de M. Koenig, me parut propre à remplir cette condition. Ce stéthoscope est une cloche métallique fermée à son ouverture par une double membrane. On peut insuffler l'espace lenticulaire qui sépare ces deux feuillets, et l'on

(1) Voyez, au sujet de ce phénomène que j'ai appelé *pulsation négative*, *Physiologie médicale de la circulation du sang*, p. 122 et suiv.

obtient ainsi une surface convexe et élastique qui déprime légèrement la région du cœur. Les battements imprimés à cette surface sont transmis de la cloche à l'enregistreur par un tube, comme dans les cas ci-dessus. Dans les expériences de cardiographie que j'ai faites sur l'homme, j'injectais de l'eau au lieu d'air dans l'intervalle des membranes du stéthoscope, la sensibilité de l'appareil était ainsi très-augmentée.

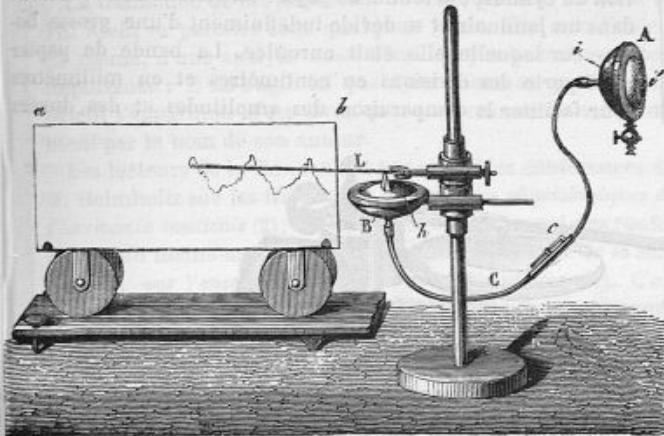


FIG. 291. — Cardiographe applicable à l'homme.

La figure 291 représente la disposition générale de l'appareil qui m'a permis d'étudier les caractères graphiques du battement du cœur de l'homme. Voici (fig. 292) un spécimen des graphiques qu'on obtient au moyen de cet instrument.

J'ai fait, à l'aide du cardiographe, de nombreuses expériences (1) qui m'ont permis de constater que la forme générale du battement du cœur chez l'homme est semblable à celle qu'on observe sur les grands mammifères; de sorte qu'on peut transporter à la physiologie humaine une foule de notions importantes que les vivisections m'avaient fournies dans les expériences cardiographiques antérieures.



FIG. 292. — Graphique des battements du cœur de l'homme.

Le stéthoscope de Koenig ne me satisfaisait pas encore; il était souvent insuffisant, et l'action de l'eau sur le caoutchouc

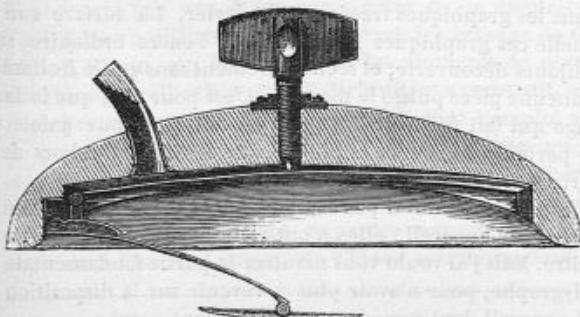


FIG. 293. — Appareil explorateur des battements du cœur chez l'homme.

(1) Voy. *Journal de l'anatomie et de la physiologie*, 1^{er} avril 1865.

l'altérait bien vite. Une nouvelle disposition m'a pleinement réussi.

La figure 293 représente la coupe du petit appareil qui s'applique sur le cœur pour en recevoir les battements. C'est une petite capsule de bois excavée légèrement et de forme elliptique, du fond de laquelle s'élève un ressort que l'on peut tendre plus ou moins à volonté. Ce ressort est muni d'une petite plaque d'ivoire qui déprime la région où se produit le battement du cœur. Pendant l'application de l'instrument, il se produit des mouvements incessants de la peau de la poitrine, qui tantôt s'avance et pousse le ressort lorsque le ventricule fait sentir son battement, et tantôt, n'étant plus soutenue par le cœur, rétrograde en cédant à la pression du ressort. Or, comme la peau de la poitrine s'applique hermétiquement à l'ouverture de la capsule, il en résulte un mouvement continu imprimé à l'air contenu dans cette cavité qui communique par un tube avec l'appareil enregistreur.

Cette disposition m'a permis de faire un grand nombre de recherches biologiques et cliniques dans des conditions de facilité et d'exactitude parfaites.

La transmission des mouvements à distance au moyen des tubes à air permet d'enregistrer toute sorte de mouvements.

Les battements des veines du cou se traduisent très-bien au moyen d'un simple entonnoir placé sur la région qu'on explore. Tout organe riche en vaisseaux est par conséquent pulsatile, et fournit un mouvement dont le levier sphygmographique permet d'analyser la nature. L'œil, par exemple, soutenu en arrière par un riche lacis vasculaire logé dans une cavité osseuse inextensible, éprouve, à chaque battement du cœur, une propulsion en avant qu'on peut enregistrer en l'amplifiant à l'aide du levier.

On peut, en variant la disposition de l'appareil *explorateur* du mouvement, en lui donnant tantôt la forme d'une cloche, tantôt en lui donnant celle d'une ampoule, etc., enregistrer les mouvements les plus variés sans rien changer à la disposition du reste de l'appareil, c'est-à-dire en conservant le même tambour muni d'un levier sphygmographique et le même mouvement d'horlogerie. J'aurai tout à l'heure à vous montrer différents appareils explorateurs dont les uns s'appliquent aux mouvements respiratoires, les autres aux changements de la pression du sang ou à la contraction musculaire. Avant de vous faire connaître la disposition de ces pièces variables, je vais mettre sous vos yeux l'enregistreur perfectionné que j'emploie aujourd'hui dans un grand nombre de circonstances. J'appelle *polygraphe* cet appareil, qui peut fournir le graphique d'un grand nombre de phénomènes différents.

Les modifications que j'ai apportées dans sa construction portent à la fois sur le tambour à levier et sur le mouvement d'horlogerie. L'ancien tambour à levier présentait un inconvénient. Dans les mouvements violents, la membrane soulevait parfois le levier avec tant de vitesse, que celui-ci l'abandonnait un instant, et par conséquent traçait une courbe incorrecte. Dans les expériences de cardiographie, nous avons cherché, Chauveau et moi, à supprimer cette cause d'erreur en liant circulairement le tambour et le levier par un fil de caoutchouc qui s'opposait à ce que ces deux pièces s'écartassent l'une de l'autre. J'ai remplacé récemment ce fil de caoutchouc par une disposition qui assure encore mieux la solidarité des mouvements de la membrane et de ceux du levier.

La figure 294 montre cette disposition. Une pièce métallique

en forme de fourchette s'articule, au moyen de deux petites goupilles, d'une part avec le levier, et d'autre part avec un disque d'aluminium qui est collé sur la membrane du tambour. Grâce à la rigidité absolue de ces pièces métalliques, on peut être certain que le levier n'exécutera jamais d'autres mouvements que ceux de la membrane elle-même. L'articulation supérieure de la pièce intermédiaire peut glisser le long du levier, et comme elle représente le point d'application de la force motrice, on peut, en la faisant agir plus ou moins près de l'axe de mouvement, graduer la sensibilité de l'appareil, c'est-à-dire obtenir, pour une même force motrice, des graphiques d'une amplitude plus ou moins grande, suivant le

expériences de biologie, lorsqu'on veut étudier les modifications lentes qui se produisent dans un phénomène sous une influence quelconque.

Un mouvement d'horlogerie (fig. 295) fait tourner un cylindre vertical devant lequel passe, en le contournant, une bande de papier glacé. Cette bande est pressée contre le cylindre au moyen de deux galets d'ivoire qui sont entraînés par la rotation du cylindre ; la feuille de papier est alors conduite comme dans un lamoir et se dévide indéfiniment d'une grosse bobine sur laquelle elle était enroulée. La bande de papier glacé porte des divisions en centimètres et en millimètres pour faciliter la comparaison des amplitudes et des durées

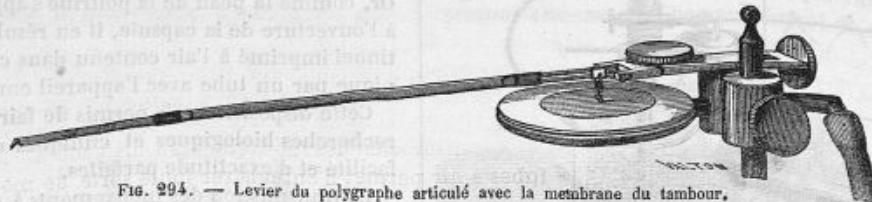


FIG. 294. — Levier du polygraphe articulé avec la membrane du tambour.

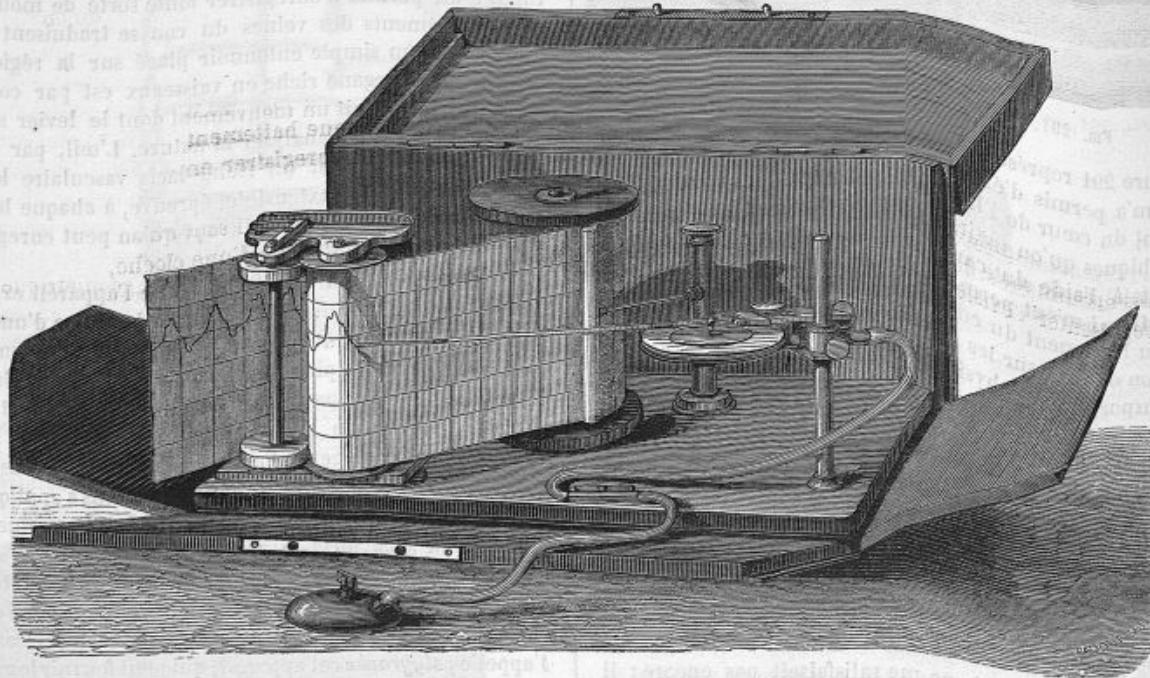


FIG. 295. — Polygraphe enregistrant le mouvement des différentes fonctions.

besoin. En outre, deux boutons de réglage permettent de porter l'axe de mouvement du levier dans toutes les positions possibles : l'un de ces boutons, situé en haut, sert à éléver ou à abaisser cet axe ; l'autre, situé en arrière, dans le prolongement du levier, permet de faire avancer ou reculer son axe. Enfin, le levier est susceptible de se démonter en trois pièces qui s'assemblent à frottement, ce qui permet de changer la plume ou la tige de bois légère, dans le cas où l'une de ces pièces serait détériorée.

L'appareil enregistreur diffère de ceux que je vous ai montrés jusqu'ici, en ce que le graphique se trace sur une bande de papier très-longue. Cette disposition est analogue à celle qu'on emploie en télégraphie dans l'appareil de Morse et dans les télegraphes imprimeurs. On peut ainsi obtenir des graphiques de très-longue durée, ce qui est indispensable dans les

dans les graphiques tracés par le levier. La surface sur laquelle ces graphiques sont tracés à l'encre ordinaire reste toujours découverte, et sèche librement sans que le frottement d'aucune pièce puisse la maculer. C'est pour cela que le lamination qui fait mouvoir le papier est fait par deux galets qui ne portent que sur les bords de cette feuille, en dehors de la surface qui reçoit les graphiques.

Je n'entreprendrai pas la description détaillée des autres pièces de l'appareil ; elles n'ont rien de bien essentiel à connaître. Mais j'ai voulu vous montrer la partie fondamentale du polygraphe, pour n'avoir plus à revenir sur la disposition de cet appareil dont nous ferons un fréquent usage.

MAREY.

est possible que la puissance motrice nécessaire à la manœuvre de la machine hélicoptérique puisse être empruntée à l'air comprimé, l'air étant comprimé avant le départ à l'aide d'une machine qui ne quitterait jamais la terre ferme, et emmagasiné dans le cylindre composant le plancher et les autres parties de la machine.

Personne ne peut évidemment prédire où et quand une pareille machine pourra être lancée d'une façon triomphale. Cependant le problème du *vol artificiel* a été si fréquemment discuté dans ces dernières années, et a excité tant d'intérêt en Amérique, en France, et dans d'autres parties de l'ancien ou du nouveau continent, qu'il doit recevoir évidemment une solution dans un sens ou dans un autre, avant qu'il soit longtemps. L'Angleterre même, occupée comme elle est de spéculations politiques et industrielles, et peu disposée à prendre intérêt aux recherches scientifiques quand on ne voit pas immédiatement le résultat à en recueillir, a fait un mouvement dans ce sens. Nous avons maintenant la « Société aéronautique de la Grande-Bretagne », présidée par Sa Grâce le duc d'Argyle, qui est lui-même un colosse en aéronautique.

Il serait bien à désirer que les hommes qui peuvent disposer de leur temps ou de leur argent pour faire des expériences sur une échelle digne de l'importance du sujet présent leur concours à ce grand mouvement (1).

Homme volant. — Le temps seul pourra décider si le genre humain peut être capable, sans être aidé par un mécanisme, de quitter la scène de ses joies et de ses douleurs pour se lancer dans les espaces éthérés. Borelli, une grande autorité anatomique, a exécuté des calculs très-pénibles pour démontrer l'absurdité de pareilles tentatives. Cependant ses calculs ne détourneront pas la partie la plus active et la plus hardie de notre espèce de renouveler les efforts qui ont été tentés dans cette direction. Je peux dire, pour guider ces inventeurs, que si l'homme arrive jamais à voler, ce ne sera pas en employant simplement ses bras, mais bien en concentrant l'énergie de tout son système musculaire, en transportant réellement les mouvements de ses bras et de ses jambes sur

(1) Nous devons citer M. Glaisher, qui a exécuté lui-même à Greenwich un grand nombre d'ascensions remarquables; la Société de la navigation aérienne de Paris à l'aide du plus lourd que l'air; les ascensions exécutées à l'aide de l'aérostat *le Géant*, à l'esplanade des Invalides; celles qui ont été faites à l'Hippodrome sous la direction de MM. Godard et Flammarion; les explorations militaires de l'armée fédérale avec des ballons captifs; enfin, la création de l'établissement d'ascensions captives par M. Giffard, dans l'avenue de Suffren. La curiosité publique fait en partie les frais de ces ascensions, qui popularisent la science de l'aéronautique et travaillent plus au succès de la cause que des spéculations solitaires. Ce n'est donc pas sans regret que nous avons vu certains publicistes, qui se disent hommes de science, blâmer un de nos confrères de monter en ballon dans un hippodrome, et de jouer le rôle d'acteur. Comme si, du reste, à l'époque éclairée où nous vivons, on pouvait reprocher sa profession à un acteur.

Nous devons signaler parmi les nouveautés qui ont paru dans ces derniers temps un projet dû à un habile mécanicien, M. Louvrier, qui revient en partie aux plans directeurs de Petin, et qui propose d'employer comme force motrice une machine à réaction tournant directement à grande vitesse, agissant d'après les principes de l'éolipyle de Héron. Au lieu de vapeur d'eau, l'éolipyle lancerait de la vapeur de pétrole, sans doute enflammée au moment de son entrée dans l'atmosphère. Ce projet, présenté à l'Académie des sciences et renvoyé par elle à l'examen de M. Babinet, avait fait l'objet d'un rapport de cet éminent physicien; mais ce rapport fut écarté et ne parut point au *Compte rendu*, sous prétexte qu'un rapport ne pouvait jamais être l'œuvre d'un seul membre de l'Académie. Le travail de M. Louvrier fut alors renvoyé à une commission de trois membres. — W. de F.

un axe central, surmonté par un ou plusieurs écrans d'une forme et d'une grandeur convenables. La valeur de cette hypothèse pourrait s'essayer rapidement, et avec une dépense insignifiante, à l'aide d'une machine construite d'après le système d'un vélocipède, et qui n'a pas besoin d'être très-compliquée.

Pour construire une machine à voler qui puisse réellement transporter l'homme dans l'air, il n'est pas nécessaire d'imiter l'aile de gaze de l'insecte, ni la membrane soyeuse de la chauve-souris, ni l'aile compliquée et différentielle de l'oiseau, où l'on peut dire que chaque plume a une fonction spéciale à remplir. Il n'est pas non plus nécessaire de reproduire la complication du mécanisme par lequel la membrane de la chauve-souris, les ailes multiples de l'insecte, et l'aile vigoureuse de l'oiseau sont mises en mouvement. Tout ce qu'il faut, c'est de distinguer la forme et l'étendue des surfaces, ainsi que la manière de les appliquer. Tout ceci a déjà été fait en grande partie.

Quand les premiers inventeurs ont construit la locomotive; quand d'autres, également habiles, ont créé le bateau à vapeur, ces ingénieurs n'ont point cherché à reproduire un poisson ou un quadrupède. Ils se sont uniquement proposé de produire un mouvement adapté à la terre et à l'eau, conformément aux lois naturelles et en s'inspirant d'un modèle vivant. On peut mesurer leur succès par ce labyrinthe de chemins de fer qui s'étend sur toutes les parties du monde civilisé, et par les vaisseaux qui traversent sans le moindre danger toutes les mers les plus orageuses. L'aéronaute a la même tâche devant lui dans une direction différente, et, en essayant de produire une machine volante, il ne tente pas l'impossible. L'innombrable multitude des êtres qui jouissent de cette faculté lui prouve la possibilité de réaliser ses espérances. La nature lui fournit en même temps des modèles et les matériaux dont il a besoin. Si le vol artificiel ne pouvait être réalisé, les insectes et les oiseaux seraient l'exemple d'animaux dont on ne parviendrait pas à imiter les mouvements, car nous faisons déjà tout ce que font les quadrupèdes ou les poissons, et, malgré leurs cris perçants, les habitants de l'air ne doivent point être à l'abri de notre atteinte. On a déjà beaucoup fait et dit en défrichant la forêt et en fertilisant la prairie; est-ce que rien ne peut être fait pour la conquête des plaines infinies de l'air?

JAMES BELL PETTIGREW, M. D. Edinb.

Traduit de l'anglais par W. de Fonvielle.

COLLÉGE DE FRANCE.

HISTOIRE NATURELLE DES CORPS ORGANISÉS.

COURS DE M. MAREY (1).

VII

Des appareils enregistreurs en biologie (suite).

En passant en revue dans la précédente leçon les appareils enregistreurs que j'ai employés dans les expériences de biologie, je vous ai montré le cardiographe qui traduit à l'extérieur les mouvements qui se passent dans les différentes

(1) Voyez les numéros des 23 mars, 6 et 13 avril, 4 et 11 mai, 3 et 17 août 1867, p. 275, 296, 318, 353, 374, 568 et 601.

cavités du cœur. Vous avez vu que ces mouvements exercent une pression sur des ampoules de caoutchouc pleines d'air, et que cette pression, reçue par les ampoules, se transmet en définitive aux tambours et aux leviers enregistreurs. — Il était important, dans certaines expériences, de connaître exactement les changements qui surviennent dans la pression du sang des différentes artères pendant les différents temps de chaque révolution du cœur. Pour cela j'ai construit, avec Chauveau, un appareil que nous appelons *sphygmoscope*. Ce petit instrument s'applique à une artère quelconque ; il reçoit l'effet des changements de la pression du sang dans ce vaisseau, et les transmet, sous forme de mouvement, à l'appareil enregistreur.

Voici (fig. 318) cet appareil, qui consiste en une ampoule de



Fig. 318. — Sphygmoscope pour enregistrer les changements de pression et le pouls artériel.

caoutchouc A, logée dans un manchon de verre. Un tube TA, terminé par une canule C, fait communiquer l'intérieur de l'ampoule avec le vaisseau dont on veut explorer la pression. Pour cela, on enfonce la canule C dans l'artère et on l'y maintient solidement fixée à l'aide d'une ligature. Le tube et l'ampoule étant préalablement remplis de sulfate de soude pour empêcher la coagulation du sang artériel, on voit, en ouvrant le robinet du tube TA, que le sang est poussé par chaque systole du cœur dans l'ampoule qui se gonfle et se resserre tour à tour à la manière d'un petit anévrisme. C'est le mouvement alternatif d'expansion et de retrait de l'ampoule qui se transmet à l'enregistreur. A cet effet, le manchon de verre qui enveloppe cette ampoule est hermétiquement fermé de tous points, sauf au niveau du tube TS, qui est mis en communication avec le tube de l'enregistreur. On conçoit que les changements de volume de l'ampoule ne pourront se faire dans le manchon sans produire un mouvement de va-et-vient de l'air à travers le tube de transmission, et par suite un mouvement du levier enregistreur, comme dans tous les cas que vous connaissez déjà.

Nous avons varié de mainte manière la disposition de ces sphygmoscopes : parfois c'était une ampoule qu'on introduisait dans le vaisseau, où elle se logeait tout entière, comme dans le cas d'exploration du pouls aortique ou carotidien chez les grands animaux ; mais dans tous les cas nous utilisions la pression du sang pour faire varier le volume d'une cavité pleine d'air.

Ce principe peut être appliqué à toute sorte d'expériences dans lesquelles on veut connaître les variations d'une pression. Si nous voulions, avec ce sphygmoscope, explorer les changements qu'éprouve la pression négative de la plèvre aux différents temps de la respiration, nous pourrions, en retournant l'appareil, mettre le tube TS en communication avec la cavité pleurale ; l'aspiration qui s'exercerait alors dilaterait l'ampoule A et exercerait un appel sur l'air du tube TA. Supposons ce tube en communication avec le polygraphe, l'aspiration de la plèvre produirait un abaissement du levier enregistreur, et celui-ci tracerait des courbes plus ou moins étendues, sous l'influence des variations que présente

pendant la respiration la pression négative de la cavité explorée (1).

Dans ces dernières années, le professeur Fick a construit, pour enregistrer les variations de la pression sanguine, un appareil qu'il appelle *Federkymographion* (2), c'est-à-dire kymographion à ressort. Voici (fig. 319) en quoi consiste cet

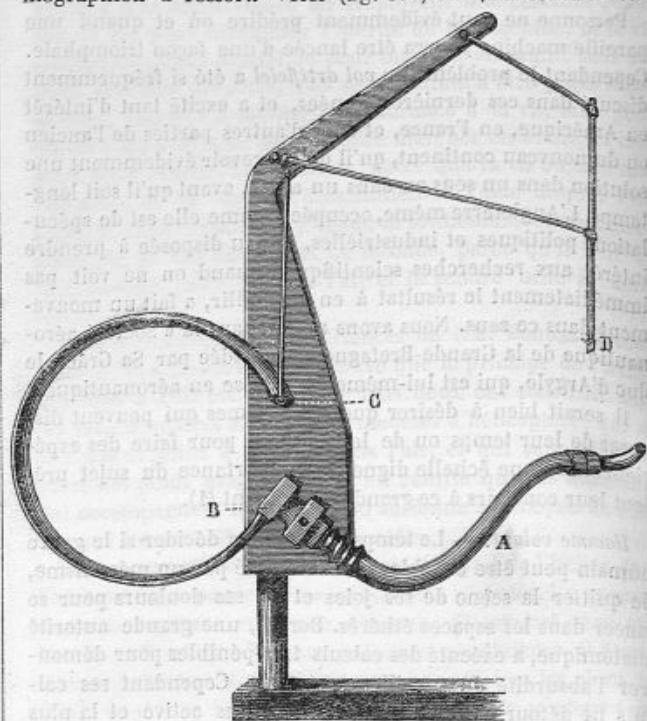


Fig. 319. — Kymographion à ressort de Fick.

appareil. Vous savez que M. Bourdon a substitué au manomètre à colonne liquide un tube recourbé, dans lequel il fait agir la pression qu'il veut connaître. La vapeur d'une chaudière, par exemple, en pénétrant dans ce tube, diminue sa courbure et tend d'autant plus à l'effacer, qu'elle y pénètre avec une tension plus forte.

Dans l'instrument de Fick, le sang arrive par le tuyau A dans le tube d'une sorte de manomètre de Bourdon. Ce tube, fixé par son extrémité B, subit, sous l'influence des changements de la pression artérielle, des mouvements alternatifs de redressement et de retour à sa courbure. Ces mouvements se traduisent par des déplacements de l'extrémité C du tube, et se transmettent au moyen de tiges très-légères, articulées entre elles, jusqu'à une pointe écrivante D qui l'enregistre par les procédés ordinaires.

L'appareil de Fick présente, ce me semble, un grand avantage, c'est qu'il est presque entièrement construit en métal, et que le tube manométrique, gardant toujours à peu près la même élasticité, n'a pas besoin, comme nos appareils, qu'on le compare souvent à un manomètre étalon pour connaître la valeur absolue des indications qu'il fournit (3).

(1) Lorsqu'on veut évaluer l'intensité absolue des pressions positives ou négatives enregistrées par cet appareil, on fait la graduation de l'instrument au moyen du manomètre à mercure, en cherchant à quelle hauteur manométrique correspondent les différents points d'une courbe.

(2) Voy. Fick, *Die medicinische Physik*, p. 135. Braunschweig, 1866.

(3) Cependant il est possible que l'appareil de Fick subisse les varia-

Il est un mouvement très-difficile à apprécier et que les biologistes avaient inutilement tenté de mesurer jusqu'ici, je veux parler de la vitesse du sang dans les vaisseaux. Quelques auteurs ont cherché à déduire cette vitesse du calibre des vaisseaux et de la présence du sang à leur intérieur. Les estimations ridiculement exagérées que fournissait cette méthode tenaient à ce qu'on négligeait entièrement la résistance que

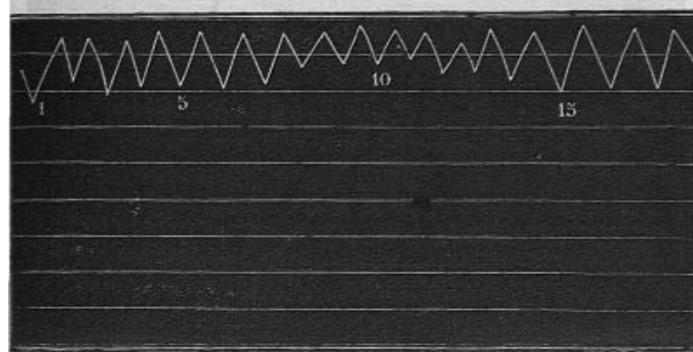


FIG. 320. — Graphique obtenu avec l'hémotachomètre enregistreur de Vierordt.

le sang éprouve dans les petits vaisseaux au-dessous du point exploré.

Lorsqu'une artère est ouverte, le sang jaillit avec une vitesse qui ne représente nullement le mouvement normal du sang dans ce vaisseau, puisque ce liquide, au lieu de traverser

caisse métallique que le sang traversait de part en part, pour continuer ensuite son trajet normal dans les branches de l'artère explorée. Cet appareil, que son auteur appelle *hémotachomètre* (1), est représenté (fig. 321); il renferme un pendule qui est dévié plus ou moins par la vitesse du courant sanguin au travers de la caisse. Une paroi de verre permet de voir du dehors le degré de la déviation du pendule, d'où l'on déduit la vitesse du courant sanguin qui produit cette déviation.

Plus tard Vierordt compléta cet appareil et le transforma en instrument enregistreur (2). Mais, dans ce cas, comme

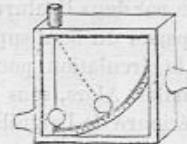


FIG. 321. — Hémotachomètre de Vierordt.

lors la construction de son sphygmographe, le physiologiste le Tubingen introduisit des causes d'erreurs qui lui fournirent de mauvais graphiques. Ceux-ci se réduisaient à une série d'oscillations assez irrégulières. La figure 320 montre un graphique de l'hémotachomètre recueilli sur l'artère crurale d'un chien.

Quoiqu'il en soit, Vierordt avait tracé la voie qui devait conduire à la solution du problème difficile qui consiste à mesurer la vitesse du sang dans une artère par la déviation

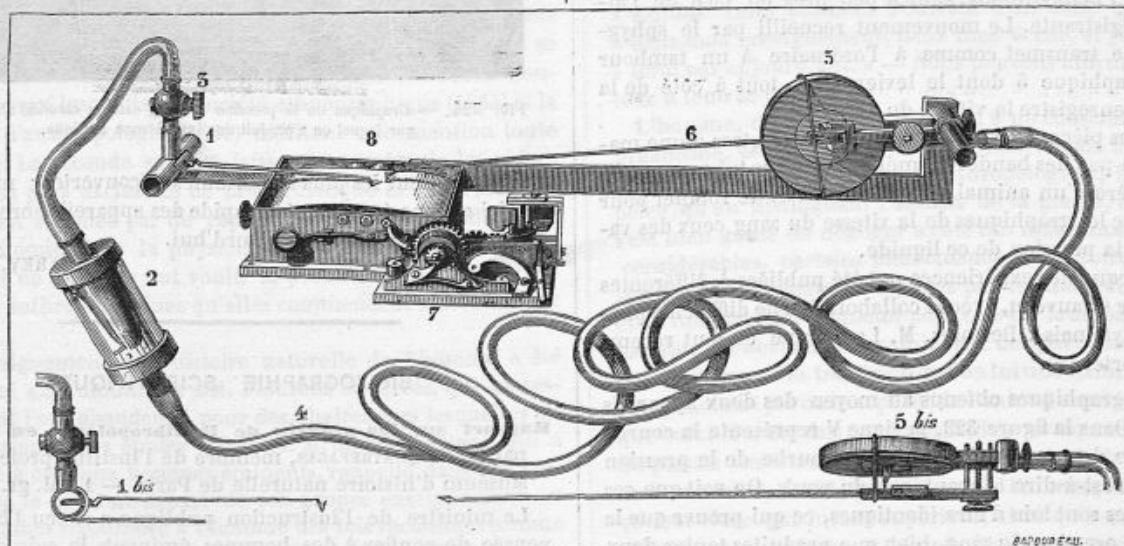


FIG. 322. — Hémodynamographe de Chauveau et sphygmoscope enregistrant simultanément leurs indications.

le réseau capillaire si résistant, s'échappe librement par un large orifice. Il fallait donc respecter les résistances normales du système artériel, et mesurer la vitesse du liquide dans des conduits fermés.

Vierordt trouva le principe qui devait fournir la solution du problème. Il plaça sur le trajet d'une artère une petite

tions d'élasticité que présentent les baromètres construits sur le même principe ; mais, en tout cas, ces variations doivent être lentes et ne nécessiteraient alors que des vérifications de l'appareil à de longs intervalles.

d'une tige immergée dans le courant sanguin, et plus ou moins analogue au pendule dont on se sert en hydrodynamique. Chauveau réussit à construire sur le même principe un instrument qui me semble fournir des indications parfaites.

Sous le nom d'hémodynamographe, ce physiologiste décrit son appareil dont la disposition est représentée figure 322.

(1) De ξίξι, sang, et τάχος, vitesse.

(2) Voy. Vierordt, *Die Erscheinungen und Gesetze der Stromgeschwindigkeiten des Blutes*. Berlin, 1862.

Un tube de cuivre 1, présentant le calibre de la carotide d'un cheval et une longueur de 8 centimètres environ, devra être traversé par le sang dont on veut mesurer la vitesse. Ce tube porte au milieu de sa paroi une fenêtre exactement fermée par une membrane de caoutchouc, dans laquelle est implantée une aiguille plate qui fait saillie à l'intérieur du tube. On voit dans la figure 1 bis cette saillie de l'aiguille à l'intérieur du tube. Extérieurement l'aiguille, formée d'aluminium très-mince, se termine par une plume semblable à celle du sphygmographe.

Si l'on place le tube de l'appareil sur la carotide d'un cheval, et qu'on l'y fixe par deux ligatures de manière que le sang le traverse pour passer du bout supérieur dans le bout inférieur du vaisseau, la circulation pourra se faire comme dans les conditions normales. Alors, sous l'influence du cours du sang, la portion intérieure de l'aiguille sera poussée dans le sens de ce courant et cédera à ce mouvement, grâce à l'élasticité de la paroi de caoutchouc dans laquelle elle est implantée ; la partie extérieure de l'aiguille subira donc une déviation en sens inverse du courant sanguin. Cette déviation, qui variera sans cesse avec la vitesse du sang artériel, s'enregistrera, au moyen de la plume, sur une bande de papier 8 qui chemine uniformément par l'effet du mouvement d'horlogerie 7.

Dans la figure 322 on a représenté l'hémodynamographe de Chauveau combiné avec notre sphygmoscopie. Ce dernier, représenté en 2 dans la figure, reçoit la pression du sang dans son ampoule par un tube, muni d'un robinet, qui se détache du tube de l'hémodynamographe à peu près en face de l'aiguille enregistrante. Le mouvement recueilli par le sphygmoscope se transmet comme à l'ordinaire à un tambour sphygmographique 5 dont le levier écrit tout à côté de la plume qui enregistre la vitesse du sang.

Toutes ces pièces sont fixées les unes aux autres d'une manière solide par des bandes de métal. Quand le tube est appliqué à l'artère d'un animal, il suffit d'ouvrir le robinet pour obtenir avec les graphiques de la vitesse du sang ceux des variations de la pression de ce liquide.

De remarquables expériences ont été publiées à différentes époques par Chauveau, avec la collaboration de différents physiologistes lyonnais : Bertolus, M. Laroyenne et tout récemment M. Lortet (1).

Voici des graphiques obtenus au moyen des deux appareils combinés. Dans la figure 323, la ligne V représente la courbe de la vitesse du sang, et la ligne P la courbe de la pression artérielle, c'est-à-dire le graphique du pouls. On voit que ces deux courbes sont loin d'être identiques, ce qui prouve que la vitesse et la pression du sang, bien que produites toutes deux par la même cause initiale, l'action du cœur, sont cependant bien distinctes l'une de l'autre. On peut s'en convaincre en comprimant l'artère au-dessous du point d'application de l'instrument. Le sang cesse de circuler dans le vaisseau et la courbe des vitesses tombe à zéro, pendant que la courbe des pressions, non-seulement continue, mais exagère même l'amplitude de ses oscillations.

La figure 324 montre un double graphique obtenu sur un cheval auquel on avait rompu les valvules sigmoïdes de l'aorte.

(1) C'est à l'excellente thèse de M. Lortet que j'ai emprunté la figure de l'instrument.

On voit quel énorme changement s'était opéré dans la pression et la vitesse du sang.

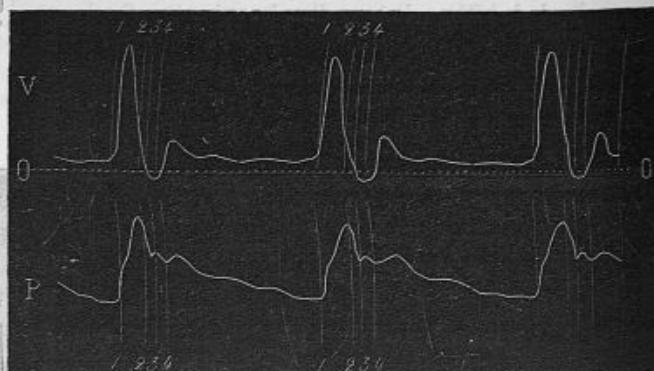


FIG. 323. — Graphiques des variations de la vitesse et de la pression du sang dans la carotide d'un cheval.

Je regrette de ne pouvoir insister sur les intéressantes expériences qui ont été faites à l'aide de cet appareil, l'un de ceux

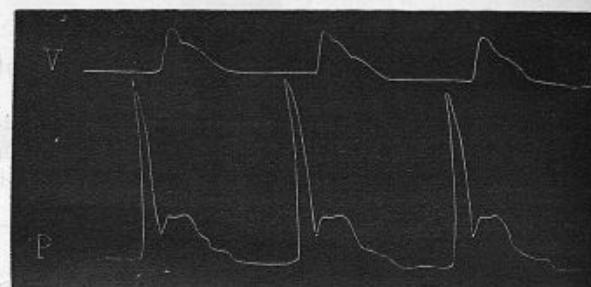


FIG. 324. — Graphique de la pression du sang dans la carotide d'un cheval sur lequel on a produit une insuffisance aortique.

qui promettent les plus importantes découvertes ; mais je ne fais ici qu'une énumération rapide des appareils enregistreurs que la biologie possède aujourd'hui.

MAREY.

BIBLIOGRAPHIE SCIENTIFIQUE.

Rapport sur les progrès de l'Anthropologie en France, par M. de QUATREFAGES, membre de l'Institut, professeur au Muséum d'histoire naturelle de Paris. — 1 vol. gr. in-8.

Le ministre de l'instruction publique a conçu l'heureuse pensée de confier à des hommes éminents le soin de déterminer, pour la part qu'y a prise la France, les progrès des sciences et des arts pendant les vingt dernières années, et de placer ainsi les productions de l'intelligence en regard des œuvres de l'industrie groupées à l'Exposition universelle. Cette collection, qui comprendra une trentaine de volumes, doit être en entier publiée avant la fin de l'année, et déjà dix *Rapports* ont été mis en vente par la maison Hachette.

Parmi les rapports publiés, celui de M. de Quatrefages, sur *l'Histoire naturelle de l'homme, ou Anthropologie*, nous a paru singulièrement de circonstance à côté de ce grand fait cosmopolite qui est l'Exposition universelle. Aussi nous proposons-nous d'en suivre pas à pas les détails principaux. Comprendre autrement notre tâche serait un sûr moyen de défigurer

tenant la pièce à laminer de manière à l'étirer soit en rails, soit en feuilles de tôle. Vous voyez ces ouvriers protégés par un tablier comme tout à l'heure, et armés de ces cisailles au moyen desquelles ils vont saisir cette masse de fer pour l'étendre sous le lamoir. Tous ces ouvriers sont forts, vigoureux, faisant un travail assez dur, mais bien payé, et au demeurant fort contents de leur sort.

En prenant l'exemple d'une usine française, celle du Creusot, je ne me suis pas laissé entraîner par un mouvement d'amour-propre national. J'ai parlé du Creusot parce que c'est réellement l'usine la plus grande et la plus complète qui existe au monde, parce que c'est une usine qui produit par an plus de 100 millions de kilogrammes de fer, qui fournit deux locomotives par semaine, et qui en vend même à l'Angleterre; une usine qui occupe dix mille ouvriers, et qui a tout prévu pour ses ouvriers, aussi bien le travail de l'esprit que celui du corps, aussi bien les besoins de l'ouvrier en bonne santé que ceux de l'ouvrier malade, comme on les a prévus également à l'asile de Vincennes.

L. SIMONIN.

COLLÉGE DE FRANCE.

HISTOIRE NATURELLE DES CORPS ORGANISÉS.

COURS DE M. MAREY (1).

VIII

Des appareils enregistreurs en biologie (suite).

J'arrive à la description des appareils qui s'appliquent à l'étude des mouvements respiratoires.

Sous le nom de *pneumographe* ou *atmographe*, j'ai décrit un appareil destiné à transmettre à l'enregistreur les mouvements de la respiration (2). Vierordt (3) avait déjà appliqué son sphygmographe à cet usage, mais l'extrême difficulté de l'emploi de cet appareil, la nécessité d'opérer sur un sujet bien immobile et couché sur le dos, empêchait les applications de la méthode graphique à l'étude des mouvements respiratoires de se généraliser comme elles le méritaient. La disposition que j'emploie peut s'appliquer à l'homme ou à un animal sans gêner en rien ses mouvements.

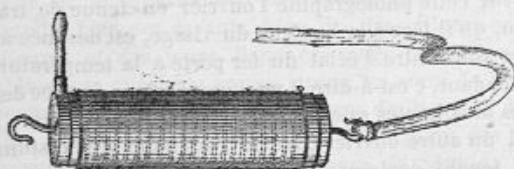


FIG. 330. — Cylindre élastique transmettant au polygraphe les mouvements respiratoires.

Je me sers d'une ceinture qui, en un point de sa longueur, présente un petit cylindre élastique représenté figure 330. Ce

(1) Voyez les numéros des 23 mars, 6 et 13 avril, 4 et 11 mai, 3 et 17 août et 21 septembre 1867, p. 275, 296, 318, 353, 374, 568, 601 et 679.

(2) Voy. *Journal de l'anatomie et de la physiologie*, 1865, p. 426.

(3) Vierordt et G. Ludwig, *Beiträge zur Lehre von den Athembewegungen (Arch. für physiologische Heilkunde*, 1855, p. 253).

cylindre se compose d'un ressort à boudin enveloppé d'un tube de caoutchouc mince. Aux deux extrémités sont deux rondelles de métal sur lesquelles le caoutchouc est lié circulairement. Chacune de ces rondelles porte à son centre un crochet auquel se fixent les bouts de la ceinture. Enfin, un tube latéral met l'intérieur de cet appareil en communication avec le polygraphe.

Lorsque cette ceinture est appliquée autour de la poitrine, les mouvements de la respiration tendent et détendent alternativement le cylindre élastique, ce qui produit à l'intérieur de celui-ci des raréfactions et des condensations de l'air. Ces mouvements se transmettent à l'enregistreur comme dans les appareils déjà connus. On obtient alors le graphique suivant (fig. 331) qui exprime la forme la plus ordinaire des mouve-

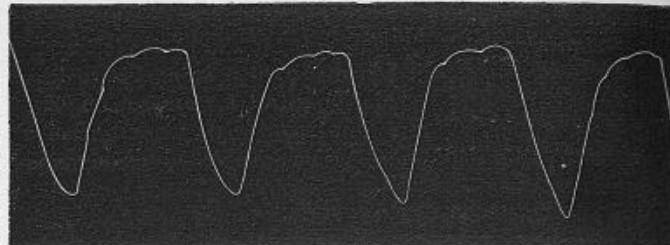


FIG. 331. — Tracé normal des mouvements respiratoires chez l'homme ♂.

ments respiratoires. L'expérimentation m'a montré que la forme graphique des mouvements de la respiration traduit en quelque sorte les conditions mécaniques de la fonction respiratoire; si bien que cette forme varie différemment, suivant qu'un obstacle s'oppose à la pénétration de l'air dans la poitrine ou à son expulsion au dehors.

Le pneumographe que je viens de décrire traduit graphiquement les mouvements thoraciques, mais n'exprime pas directement ceux de l'air alternativement inspiré et expiré. Pour obtenir le graphique des mouvements de l'air respiré, j'ai recours à d'autres moyens.

La première méthode consiste à respirer à travers un large tube qu'on adapte à l'orifice d'un tonneau ou d'un grand réservoir métallique bien clos. On met l'intérieur de ce réservoir en communication avec le tube d'un appareil enregistreur. Alors, sous l'influence de la respiration, il se produit des alternatives de raréfaction et de compression de l'air du réservoir, et ces changements s'enregistrent sur le polygraphe absolument comme dans l'emploi du cylindre élastique.

D'autres fois, j'ai enregistré les changements de volume que fait éprouver à un animal l'acte de la respiration. On place un lapin sous une cloche, et l'on adapte à ses voies respiratoires un large tube de caoutchouc qui se rend hors de la cloche en passant par une ouverture de celle-ci. L'orifice qui livre passage au tube doit être bien lutté. Avec cette disposition, l'animal respire aux dépens de l'air extérieur, et celui de la cloche est alternativement comprimé ou dilaté suivant que la poitrine de l'animal se dilate ou se resserre. Il suffit alors de faire communiquer la cloche qui contient l'animal avec le tube qui se rend au polygraphe, celui-ci inscrit les changements de volume de l'animal, et par conséquent les volumes de l'air qu'il inspire ou qu'il expire. Cette méthode fournit d'excellents résultats sur les animaux de petite taille, auxquels il serait difficile d'appliquer les autres appareils.

Enfin, j'ai cherché à construire un *myographe* qui fournit

une expression aussi parfaite que possible des mouvements produits par les muscles, et à rendre cet instrument applicable en produisant le moins possible de mutilations.

Je vous ai dit, à propos du myographe de Helmholtz, que cet ingénieux appareil, qui devait introduire dans l'étude des phénomènes musculaires une précision jusqu'alors inconnue, présentait cependant un défaut capital dans sa construction. Ce défaut, c'était sa masse trop considérable et le poids dont le muscle était chargé. Le myographe de Helmholtz était construit sur le principe du sphygmographe de Vierordt; j'essaie d'en construire un sur le principe de mon sphygmographe, c'est-à-dire de donner au levier enregistreur une grande légèreté et de remplacer par un ressort le poids qui, dans l'appareil de Helmholtz, résistait à l'attraction des muscles. Voici la description du myographe que j'ai construit sur ces données (fig. 332).

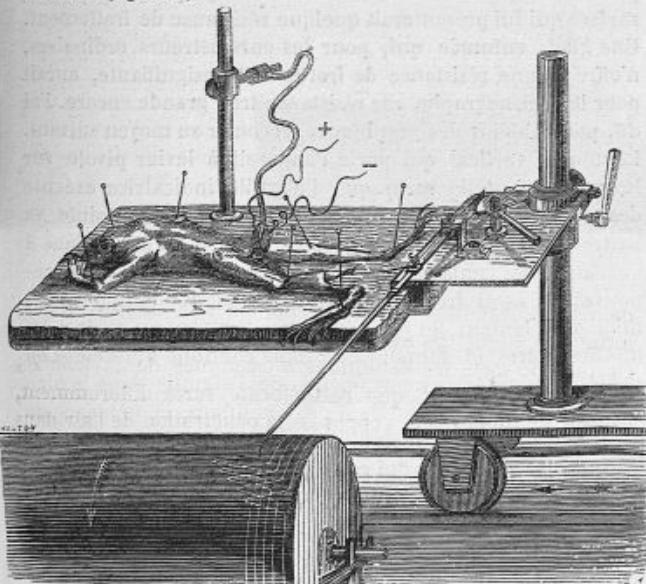


FIG. 332. — Myographe simple à ressort.

Sur une planchette de liège est fixée, au moyen de fortes épingle, une grenouille vivante à laquelle on a coupé la moelle épinière. Le tendon d'un gastrocnémien est mis à nu et lié par un fil de fer très-fin au levier de l'enregistreur, qui porte un petit crochet pour cet usage. Ce crochet glisse sur le levier, et, suivant qu'on l'approche ou qu'on l'éloigne du centre du mouvement, permet d'obtenir une amplification plus ou moins grande des mouvements musculaires qui seront enregistrés. En arrière du levier et sur son prolongement, est une lame élastique qui appuie sur un excentrique de réglage et permet, suivant qu'elle est plus ou moins tendue, d'opposer à l'effort musculaire une résistance élastique variable. L'ensemble de cet appareil est situé dans un plan horizontal c'est dans ce plan que se font les oscillations du levier sous l'influence des contractions du muscle de la grenouille. Un cylindre enroulé tourne autour d'un axe horizontal aussi et reçoit les graphiques de ce mouvement. Enfin, le support vertical qui porte le myographe est placé sur un chariot qui se meut sur un chemin de fer parallèlement à l'axe du cylindre. Cette disposition permet d'obtenir des graphiques de très-longue durée. En effet, dans l'immobilité du muscle, le levier du myographe écrit autour du cylindre une hélice

d'un pas plus ou moins serré, suivant le rapport de la translation de l'appareil avec la rotation du cylindre. C'est à cette hélice, comme abscisse, que doit se rapporter chacune des courbes tracées par l'appareil sous l'influence des mouvements de la grenouille. Un excitateur électrique appliqué au nerf sciatique de la patte qui est attachée au levier provoque, au moyen de courants d'induction ou de courants galvaniques, des mouvements qui seront enregistrés.

Vous verrez plus tard, à propos de l'étude spéciale de l'acte musculaire, comment j'ai pu enregistrer sans mutilation d'animaux les mouvements qui se passent dans les muscles, et transporter, au besoin, à la physiologie humaine des études qui exigeaient auparavant des vivisections.

IX

Les appareils que nous avons étudiés jusqu'ici sont destinés à enregistrer des mouvements proprement dits : des déplacements d'organes que l'œil ne perçoit pas ou qu'il apprécie mal. Il existe, vous le savez, bien d'autres phénomènes susceptibles d'être enregistrés : la météorologie nous fournit des exemples de notation graphique des changements qui surviennent dans la température, dans la pression barométrique, etc. J'ai pensé qu'il serait utile de construire, pour les besoins de la physiologie, des appareils analogues traduisant, sous forme d'un graphique continu, les changements qui surviennent dans la température animale, dans la pression des liquides ou des gaz de l'organisme, et même dans le poids absolu d'un animal mis en expérience.

Les appareils répondant à ces différents besoins sont : le *thermographe* ou enregistreur des températures, le *manomètre enregistreur*, et la *balance enregistrante*.

Thermographe. — Cet appareil présente, sur les thermomètres ordinaires, cette grande supériorité, qu'il permet de suivre avec exactitude les variations qui surviennent à chaque instant dans la température d'une ou de plusieurs parties du corps d'un animal. L'emploi du thermomètre et la notation des indications de cet instrument à intervalles réguliers et très-courts permettraient sans doute de construire une courbe assez fidèle des variations de la température d'un point du corps pendant un certain temps. Mais ceux qui ont tenté de semblables expériences savent combien elles sont difficiles à exécuter. S'il fallait observer à la fois les variations de la température de deux points, ces difficultés augmenteraient encore ; il faudrait plusieurs aides très-attentifs pour suffire aux exigences de ces notations multiples. Or, plus on s'occupe des problèmes relatifs à la température animale, plus on voit qu'il est nécessaire d'observer l'état de cette température en plusieurs points à la fois. Cette méthode d'exploration simultanée permet de constater certaines variations antagonistes de la température centrale et de la température périphérique ; l'une d'elles s'élève, tandis que l'autre s'abaisse.

Le thermographe se compose de deux parties distinctes : une boule de thermomètre à air et un appareil à levier qui enregistre les effets de la température sur l'air de la boule thermométrique. Deux ou plusieurs thermographes peuvent être employés à la fois : la boule de chacun sert à explorer la température d'un point particulier, tandis que les enregistreurs, superposés les uns aux autres, comme les leviers du cardiographe (fig. 289), expriment chacun, à chaque instant, l'état de la température qui agit sur lui.

La figure 333 représente un thermographe simple. La boule thermométrique plonge dans un vase plein d'eau dont la température est alternativement élevée et abaissée. De cette boule part un tube capillaire de cuivre recuit qui se porte à l'appareil enregistreur, mais auparavant se fixe, par une pièce à frottement, sur un tube en U fortement scellé sur un pied de plomb. On peut, grâce à cette masse pesante qui fixe solidement la partie moyenne du tube thermométrique, manier en tous sens la boule de l'appareil, la porter en toutes directions, sans ébranler les pièces délicates qui constituent le reste de la machine.

L'appareil enregistreur est ainsi constitué : Un tube de verre, fermé à la lampe par l'une de ses extrémités, est courbé en demi-cercle et fixé sur une roue légère et bien équilibrée. Le centre de courbure du tube de verre coïncide avec l'axe de la roue. Si l'on place alors le tube de verre de telle sorte que le milieu de la convexité de l'arc qu'il décrit soit tourné en bas, et si l'on y introduit une petite quantité de mercure, cet index métallique partage la cavité du tube en deux chambres, l'une close, du côté où le tube est fermé, l'autre communiquant librement avec l'extérieur par l'extrémité ouverte du tube. Supposons maintenant que l'air de la chambre close vienne à augmenter de volume, l'index de mercure sera poussé vers l'orifice ouvert du tube. Mais, par son poids même, cet index tend à occuper la partie inférieure de ce système équilibré ; il en résultera une rotation du tube autour de son axe de suspension, et en réalité on verra l'index rester immobile pendant que l'appareil tournera. Plaçons perpendiculairement sur l'axe une longue aiguille équilibrée ; celle-ci amplifiera en raison de sa longueur la rotation imprimée à l'axe ; elle pourra par sa pointe tracer sur une glace enfumée qui chemine à côté d'elle les oscillations qu'elle décrit.

Reste à faire communiquer la chambre close avec la boule du thermomètre à air. Pour cela, le tube capillaire qui communique avec l'intérieur de la boule thermométrique par l'une de ses extrémités reçoit à l'autre extrémité une courbure semblable à celle du tube de verre dans lequel on l'introduit en lui faisant traverser l'index de mercure (1) jusqu'à ce que son ouverture arrive dans la chambre close. L'appareil étant ainsi disposé, si l'on chauffe avec la main la boule du thermomètre à air, on voit la chambre close recevoir l'air expulsé de la boule et prendre une plus grande étendue, l'appareil tourner sur son axe et l'aiguille s'élever, tandis que le mercure reste dans sa position déclive. Si l'on plonge dans l'eau froide la boule du thermomètre, l'air se condense dans cette boule et aspire celui de la chambre close, ce qui produit une rotation en sens inverse de l'appareil et un abaissement de l'aiguille.

Lorsqu'on emploie cet instrument, on place la boule du thermographe dans la cavité dont on veut explorer les variations de température, et l'on rompt la continuité du tube de transmission au niveau de l'une des branches du tube en U. L'air de la boule thermométrique se trouve ainsi en communication avec l'extérieur, et se dilate librement, en se mettant en équilibre de température avec la cavité explorée. Lorsque cet équilibre est atteint, on rétablit la continuité du tube après avoir mis au zéro l'aiguille de l'enregistreur. A

(1) Pour cette partie qui traverse l'index de mercure, il faut prendre un tube de fer très-fin ; tous les autres métaux seraient promptement amalgamés.

partir de ce moment, tout changement de température agissant sur la boule se traduit par un mouvement de l'aiguille. Lorsque l'expérience est terminée, si l'on veut connaître la valeur absolue des indications de la courbe, on cherche d'abord, avec un thermomètre à mercure, quel est le degré de chaleur qu'il faut appliquer à la boule thermométrique pour amener l'aiguille à la position initiale (ou zéro arbitraire). On évalue aussi, avec le même étalon, les différentes oscillations de l'aiguille, en cherchant quelle élévation ou quel abaissement de température produit des oscillations semblables (1).

Le principe sur lequel est basée la construction de mon thermographe consiste dans l'équilibre constant de cet appareil autour de son index de mercure. Il s'ensuit que l'aiguille de l'instrument n'a pour ainsi dire aucune force motrice disponible, et qu'elle ne saurait tracer des graphiques sur une surface qui lui présenterait quelque résistance de frottement. Une glace enfumée qui, pour les enregistreurs ordinaires, n'offre qu'une résistance de frottement insignifiante, aurait pour le thermographe une résistance trop grande encore. J'ai dû, pour obtenir des graphiques, recourir au moyen suivant. Le support vertical qui porte l'appareil à levier pivote sur lui-même, de telle sorte que l'aiguille indicatrice exécute des oscillations transversales dans lesquelles sa pointe va battre contre la surface enfumée et y laisse un point blanc à chacun de ses contacts. Si les oscillations de l'aiguille se renouvellent assez fréquemment, et si la plaque enfumée chemine avec lenteur, les points tracés se trouvent au contact les uns des autres et forment une ligne continue qui s'élève ou s'abaisse suivant les mouvements de l'aiguille dans le plan vertical. On conçoit que dans ces conditions, la tendance de l'appareil à prendre son équilibre n'est entravée que pendant les instants très-courts qui correspondent au pointage, et que, pendant tout le reste de ses oscillations transversales, l'aiguille est entièrement libre dans ses mouvements.

Pour obtenir ces oscillations transversales qui produisent le pointage, j'emploie un petit mouvement d'horlogerie qui, dans la figure 333, est représenté au premier plan, supporté par une pièce de bois. Cet appareil fait mouvoir alternativement à droite et à gauche un petit cadre de fil de fer qui vient battre contre une petite tige perpendiculairement implantée dans le support pivotant de l'appareil. Toutes les dix secondes, une impulsion est ainsi donnée au support qui pivote sur lui-même, amène l'aiguille au contact de la plaque et se retire par l'effet d'un léger ressort (2). Les petits ébranlements communiqués ainsi au thermographe ont une influence favorable sur la marche de l'instrument, en ce qu'ils assurent son équilibre autour de l'index de mercure et régularisent les mouvements de cet index. C'est ainsi que lorsqu'on veut consulter un baromètre à mercure, on frappe légèrement sur cet instrument pour que le mercure prenne exactement son niveau.

Une condition indispensable pour que le thermographe

(1) Il suffit de faire une fois pour toutes la graduation expérimentale de l'instrument pour savoir à quel changement de température correspond l'élévation ou l'abaissement des graphiques obtenus avec cet appareil dans toutes les expériences ultérieures.

(2) Les mouvements destinés au pointage ne doivent pas être trop rapides, sans quoi l'aiguille, oscillant transversalement avec trop de vitesse, tendrait, par la force centrifuge, à se rapprocher du zéro, c'est-à-dire de la position horizontale.

fournisse des indications exactes, c'est que l'air soit hermétiquement emprisonné dans l'intérieur de l'instrument. Si les joints qui unissent les différentes pièces permettent la moindre fuite, l'air s'échappera au dehors lorsque la boule thermométrique sera échauffée, ou bien, si elle est refroidie, il se fera une rentrée de l'air extérieur dans l'appareil. Dans l'un comme dans l'autre cas, les indications du graphique seront faussées. Il est donc indispensable de vérifier l'occlusion des différents points de l'appareil avant de s'en servir. Pour cela, on charge d'un léger poids l'aiguille indicatrice ; celle-ci s'abaisse d'un certain nombre de degrés, puis reste fixe si les joints sont hermétiques. Le poids ajouté au levier, en faisant tourner l'appareil, a comprimé l'air contenu dans ses différentes cavités, jusqu'à ce que la force élastique de cet air soit suffisante pour soutenir l'index de mercure dans une position où il fait équilibre au poids additionnel. Admettons

saire pour faire parcourir à l'index un certain trajet sera moindre que si le tube était large. Dès lors la dilatation de l'air produite par un certain échauffement de la boule thermométrique se traduira par un plus grand parcours de l'aiguille si le tube employé est étroit. Une pareille augmentation de la sensibilité pourra être obtenue si l'on diminue le rayon de courbure du tube de verre employé. Dans ce cas, un même échauffement de la boule thermométrique fera parcourir à l'index de mercure le même trajet linéaire, mais ce trajet représentera sur la petite circonférence un arc d'un plus grand nombre de degrés qui sera reproduit par la course de l'aiguille.

Le moyen le plus usuel de faire varier la sensibilité de l'appareil est de donner à la boule thermométrique un volume plus ou moins grand. On peut ainsi obtenir à volonté une course très-petite ou très-grande de l'aiguille en vissant à l'extrémité

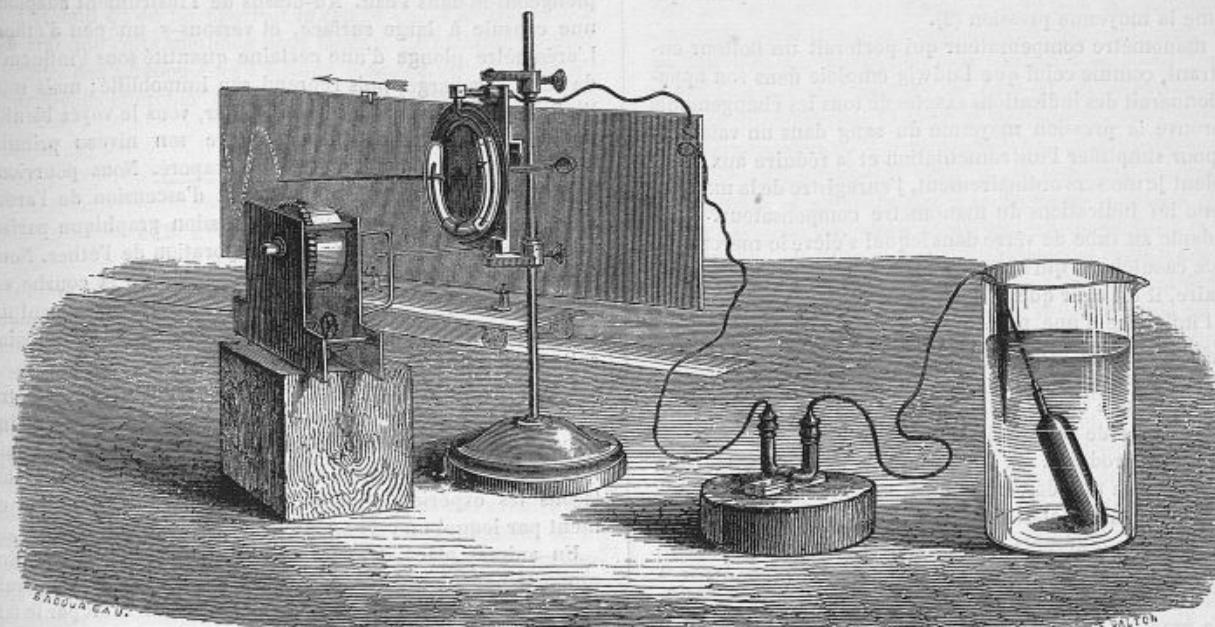


FIG. 333. — Thermographe, ou appareil enregistrant les variations de la température.

la moindre fuite, l'air comprimé s'échappera, et sa tension baissant, l'aiguille chargée s'abaissera elle-même indéfiniment. La vitesse avec laquelle l'aiguille descend dans ces conditions indique l'importance de la fuite (1).

Réglage de la sensibilité du thermographe. — On peut modifier de différentes manières la sensibilité de l'instrument : 1^o en changeant le diamètre ou le rayon de courbure du tube de verre qui contient l'index de mercure ; 2^o en adaptant à l'instrument des boules thermométriques de volume variable.

Si l'on réduit le diamètre du tube de verre qui contient l'index de mercure, il est évident que la quantité d'air néces-

(1) Le thermographe est en même temps barométre ; il est influencé par l'état de la pression atmosphérique, de telle sorte que l'air qui y est renfermé se met sans cesse en équilibre de pression avec l'air ambiant. Une augmentation de la pression atmosphérique devra donc faire baisser l'aiguille indicatrice comme le ferait un refroidissement. La diminution de pression fera éléver l'aiguille. Mais ces influences de la pression extérieure sont très-faibles, et, de plus, comme elles sont assez lentes à se produire, on peut entièrement les négliger dans une expérience qui ne dure pas trop longtemps.

du tube de transmission des boules de grosses variables ; une même température produit alors une augmentation de volume proportionnelle à la quantité d'air sur laquelle elle agit. On peut donc employer le parcours de l'aiguille indicatrice, soit à noter de très-grands écarts de température, soit à apprécier de très-petites fractions d'un seul degré. Du reste, dans les expériences physiologiques, il faut souvent employer des boules de petit volume, par exemple lorsqu'on veut explorer la température du sang dans les vaisseaux ; c'est donc une limite imposée dans la pratique à la sensibilité de l'instrument. Mais, avec des boules allongées, on peut avoir bien assez de volume d'air, et par conséquent de sensibilité pour les besoins ordinaires. Enfin, un inconvénient des grosses boules thermométriques, c'est la lenteur avec laquelle elles s'échauffent ; inconvénient bien léger, à moins qu'on ne veuille enregistrer, à quelques secondes près, l'instant où se produisent les variations de la température.

Le volume du tube de cuivre qui sert à la transmission de l'air, et la longueur de ce tube, ne sont pas indifférents ; il

est bon de prendre ce tube aussi fin et aussi court que possible, pour que le volume d'air qu'il contient soit négligeable.

Manomètre enregistreur. — Vous connaissez déjà le kymographion de Ludwig enregistrant les oscillations d'un manomètre à mercure ; mais vous savez aussi que cet appareil est impropre à signaler la forme réelle des changements qui surviennent dans la pression du sang à l'intérieur des vaisseaux. En général, tout manomètre déforme les mouvements brusques qui lui sont transmis. J'ai développé ailleurs (1) les raisons qui doivent faire rejeter l'emploi du manomètre pour l'estimation des pressions variables. Mais j'ai indiqué aussi une disposition qui permet d'obtenir avec le manomètre la mesure exacte de la pression moyenne du sang dans les artères. Le *manomètre compensateur* présente en bas de la colonne de mercure un rétrécissement qui éteint les oscillations et laisse le niveau de cette colonne sensiblement fixe au point qui exprime la moyenne pression (2).

Un manomètre compensateur qui porterait un flotteur enregistrant, comme celui que Ludwig emploie dans son appareil, donnerait des indications exactes de tous les changements qu'éprouve la pression moyenne du sang dans un vaisseau. Mais pour simplifier l'instrumentation et la réduire aux appareils dont je me sers ordinairement, j'enregistre de la manière suivante les indications du manomètre compensateur. — Si l'on adapte au tube de verre dans lequel s'élève le mercure le tube de caoutchouc qui se rend au tambour d'un cardiographe ordinaire, il est clair que la colonne de mercure, en s'élevant sous l'influence d'une pression plus forte, chassera devant elle l'air dont elle prendra la place, l'enverra dans le tambour du cardiographe et soulèvera le levier. L'ascension plus ou moins grande de ce levier exprimera, en l'enregistrant, l'augmentation de la pression mesurée par le manomètre. L'inverse se produira, et le levier descendra, si la pression baisse et amène une descente du niveau du mercure.

Toutefois, comme l'élasticité d'une membrane de caoutchouc change avec les différents degrés d'extension de cette membrane, il faut déterminer expérimentalement la hauteur à laquelle s'élève le levier sous l'influence de pressions connues. C'est la graduation expérimentale de l'appareil. On évite cet inconvénient en adaptant au manomètre, non plus le tube de transmission d'un cardiographe, mais celui d'un thermographe, appareil qui, pour des déplacements égaux du niveau manométrique, donne des mouvements égaux de l'aiguille enregistrante.

Quelle que soit la disposition employée, on peut régler à volonté la sensibilité du manomètre enregistreur, et cela de plusieurs manières différentes :

1^o En employant des tubes manométriques de différents diamètres. Une égale ascension du mercure déplacera un volume d'air proportionnel au carré du diamètre de l'instrument.

2^o En employant des liquides de différentes densités pour la construction de l'appareil. Un manomètre à eau donne des indications 13 fois plus grandes qu'un manomètre à mercure (3).

(1) *Physiol. méd. de la circulation du sang*, p. 142.

(2) Veuillez, pour la théorie de cet instrument, *Phys. méd.*, p. 143.

(3) Ce rapport des indications des manomètres suivant la nature du liquide employé dans leur construction n'existe que pour les manomètres à air libre ; dans le manomètre enregistreur, les indications sont

3^o Enfin, en inclinant le manomètre, on accroît à volonté la sensibilité de l'instrument, car c'est la hauteur verticale du niveau du mercure au-dessus de celui du réservoir qui exprime la pression mesurée ; et cette hauteur verticale se traduira par une longueur plus grande de la colonne de mercure si celle-ci est inclinée. Or, comme le mouvement de l'aiguille indicatrice croît avec le parcours de la colonne manométrique, on peut conclure que tous les degrés de sensibilité pourront être donnés, suivant le besoin, au manomètre enregistreur, suivant qu'on inclinera plus ou moins la colonne de l'instrument.

Balance enregistrante. — Le changement de poids d'un corps peut être traduit en mouvement au moyen de certains artifices.

Prenons par exemple un aréomètre à volume variable et plongeons-le dans l'eau. Au-dessus de l'instrument adaptons une capsule à large surface, et versons-y un peu d'éther. L'aréomètre plonge d'une certaine quantité sous l'influence de cette surcharge, puis reprend son immobilité ; mais sous l'influence de l'évaporation de l'éther, vous le voyez bientôt s'élever graduellement et reprendre son niveau primitif lorsque l'éther est complètement évaporé. Nous pourrions facilement enregistrer le mouvement d'ascension de l'aréomètre, et nous aurions ainsi l'expression graphique parfaitement exacte de la vitesse de l'évaporation de l'éther. Nous pourrions accélérer ou ralentir l'ascension de la courbe en élevant ou abaissant la température ambiante ; en créant un courant d'air plus ou moins rapide qui accélère plus ou moins cette évaporation.

Un sel déliquescents placé dans la capsule de l'aréomètre donnerait lieu au mouvement inverse ; il ferait plonger l'instrument d'autant plus vite, que l'humidité de l'air lui céderait une plus grande quantité d'eau. — On peut varier de maintes façons les expériences de ce genre et enregistrer le mouvement par lequel un corps gagne ou perd de son poids.

Un animal placé dans les mêmes conditions, c'est-à-dire supporté par un aréomètre de grandes dimensions, pourrait traduire graphiquement la perte de poids qu'il subit par le fait de l'évaporation à la surface pulmonaire et à la surface cutanée. On pourrait obtenir ainsi des indications utiles relativement aux diverses influences qui augmentent ou diminuent cette évaporation. Mais une grave difficulté se présente tout d'abord, c'est que les mouvements exécutés par l'animal impriment à l'instrument des oscillations qui dérangent complètement ses indications. Il s'agit donc d'empêcher les mouvements brusques de l'animal de se traduire dans le graphique de l'appareil, et d'enregistrer seulement les changements qui surviennent dans son poids. Voici une disposition qui satisfait à cette exigence.

L'aréomètre, étant immergé dans un long vase cylindrique, porte à sa partie inférieure une tige solide sur laquelle sont adaptées une série de rondelles écartées les unes des autres d'un centimètre environ, et qui, par leur ensemble, forment une sorte de piston remplissant presque exactement le vase cylindrique. Lorsqu'on cherche à enfoncer brusquement dans l'eau ce piston formé de rondelles, on éprouve une résistance absolue ; mais si l'on imprime à ce même piston une impul-

réduites par la résistance élastique de la membrane du tambour, dont il faut tenir compte dans les évaluations absolues.

sion lente, il obéit au moindre effort (1). On peut alors placer un animal en expérience sur le plateau qui surmonte l'aréomètre, et l'on peut, sans être gêné par les sauts qu'il exécute, obtenir l'indication graphique de la diminution lente de son poids. Je n'ai pas besoin d'indiquer plus explicitement les autres pièces de l'appareil; rien n'est plus facile que d'enregistrer fidèlement un mouvement aussi graduel que l'émergence de cet aréomètre (2).

J'ai beaucoup insisté sur la disposition de ces enregistreurs qui traduisent en mouvement des phénomènes de diverses natures; si j'ai plus longuement décrit ces appareils, c'est que vous aurez souvent l'occasion de voir fonctionner ici les enregistreurs du mouvement proprement dit, tandis que je n'aurai pas à faire usage des autres dans ces leçons. Je tenais beaucoup, en exposant devant vous l'état actuel de la méthode graphique, à vous montrer que son domaine est bien plus étendu qu'on ne pourrait le croire tout d'abord; et s'il est vrai que cette méthode nous fournit l'expression la plus parfaite des phénomènes à l'étude desquels elle s'applique, nous devons chercher à étendre de plus en plus son emploi.

MAREY.

LES ÉTOILES FILANTES (3).

III

Examen critique par M. A. Newton (des États-Unis) des travaux de M. Schiaparelli et M. Ch. Sainte-Claire Deville.

1. *Points radiants ou surfaces radiantes.* — M. Gregg (de Manchester) et M. Heiss (de Munster) reconnaissent plus de cinquante lieux de rencontres périodiques de la terre avec des anneaux ou courants de météores. Chacun de ces lieux de rencontre est, comme nous l'avons expliqué dans nos articles précédents, connu sous le nom de *radiant*. Généralement, on ne peut représenter, sur la sphère céleste, les radiants par un simple point comparable à une étoile fixe. Il faut supposer que la rencontre des courants de météorides et de notre atmosphère a toujours lieu sur une surface possédant une étendue appréciable pour les habitants de la terre, et à laquelle on peut généralement attribuer une forme elliptique. Le grand axe de cette ellipse peut prendre deux positions principales, l'une parallèle à l'écliptique, et l'autre parallèle à la voie lactée. En jetant les yeux sur une carte où se trouvent marqués les divers radiants, il est facile de voir que ceux qui paraissent

(1) Cette disposition est empruntée à une machine pneumatique imaginée par M. Deleuil. Dans cette machine, le piston remplit presque exactement un corps de pompe de cristal, et porte à sa circonference une série de cannelures circulaires dont chacune, brisant la mince colonne d'air qui tendrait à passer entre le piston et le corps de pompe, rend à peu près imperméable à l'air une jointure qui n'est pas hermétique.

(2) On peut, en donnant à la partie de l'appareil qui émerge graduellement un diamètre approprié, disposer les choses de telle sorte qu'une émergence d'un centimètre de hauteur exprime la perte de poids d'un centimètre cube d'eau. Les indications graphiques correspondent alors exactement à l'évaporation produite par la transpiration de l'animal et se lisent directement sans réduction.

(3) Voyez deux autres articles sur les travaux de M. A. Newton dans nos numéros des 4 mai et 22 juin 1867, pages 356 et 470, et deux conférences de M. A. S. Herschel sur les étoiles filantes dans notre numéro du 17 août 1867, page 593, et dans notre tome III (27 octobre 1866), page 790. — Voyez aussi pages 528, 570, 639 et 688.

sent dans le dernier semestre de l'année sont placés tout le long de cette ligne blanchâtre qui traverse obliquement notre ciel (1).

Ces radiants sont considérés par tous les savants qui s'occupent des étoiles filantes comme le point de rencontre ordinaire des courants de météorides. M. Schiaparelli suppose que ces météorides viennent des profondeurs du milieu stellaire, décrivant des orbites paraboliques pareils à ceux des comètes. C'est cette hypothèse que nous allons apprécier de notre mieux, en exposant et complétant les critiques faites par M. Newton.

Quelques-uns de ces radiants ne donnent des étoiles filantes que pendant quelques instants, chaque année, et, quoique extraordinaire au premier abord, cette circonstance n'a rien qui ne se puisse expliquer. Il n'est pas difficile d'admettre que la terre vienne heurter le même courant céleste immobile par rapport au soleil, chaque fois que son mouvement annuel la ramène aux mêmes points de son orbite. Mais il y a des radiants qui fournissent une émission continue de météores pendant une période de cinq ou six semaines. Est-il possible de croire que le courant de corpuscules célestes soit assez large pour que la terre mette cinq ou six semaines à le traverser, et que pendant cinq ou six semaines consécutives il manifeste sa présence par une émission continue de lumière (2)? Cette hypothèse paraît peu vraisemblable à M. Newton, et nous n'hésiterons point à partager sa manière de voir. En effet, comme nous l'avons expliqué dans nos précédents articles, la position des radiants dans le ciel dépend du mouvement relatif des météorides par rapport à la surface de la terre. Le mouvement relatif de ces corpuscules célestes dépend de deux éléments qui varient incessamment : le mouvement absolu de la terre autour du soleil, et celui des météorides autour du même astre. Comme la direction absolue de la terre autour du soleil varie d'environ un degré par jour, le point de rencontre se déplacerait, si le mouvement des météorides ne variait dans la même proportion par une sorte d'égale compensation. Il en résulte que le courant de météorides accompagnant le mouvement de la terre plus ou moins parfaitement, les collisions peuvent avoir lieu dans la direction des mêmes étoiles fixes. Il n'est pas besoin d'attribuer à ce courant météorique l'immense largeur qu'il devrait posséder, s'il était de position fixe autour du soleil, pour que la terre puisse le rencontrer tout le long d'un arc dont la longueur serait d'une centaine de degrés. Mais comment ce courant que M. Schiaparelli fait venir du milieu stellaire, pourrait-il accompagner les évolutions de l'atome terrestre, ce point perdu dans l'immensité des cieux?

Ici se présente avec force à notre esprit l'hypothèse plus

(1) Les astronomes pourront trouver, dans le *Journal philosophique de Londres*, *Édimbourg* et *Dublin*, le tableau complet des centres ou points de radiation. Les calculs de Gregg (de Manchester), assisté par A. S. Herschel, sont comparés avec les chiffres donnés par Heiss (de Munster), auteur de l'ouvrage célèbre *Die periodischen Sternschnuppen* (les Orages périodiques d'étoiles filantes). Les autres sources à consulter sont encore les *Rapports de l'Association Britannique pour 1864*, et le vingt-quatrième volume des *Notices de la Société royale astronomique de Londres*.

(2) Ne serait-il pas bon de concentrer son attention sur quelques-uns des radiants les plus riches en apparitions météoriques, parmi ceux qui ont une longue durée? L'heure de l'apparition des météorides de ce radiant serait très-importante à noter. C'est sur ce dernier point que M. Quetelet, le savant directeur de l'observatoire de Bruxelles, a récemment publié un mémoire du plus haut intérêt.