

de d'Arsonval, pour ne parler que des plus éminents.

On peut ajouter encore, sans craindre d'être taxé d'exagération, que si l'arsenal scientifique que nous utilisons est presque exclusivement français, c'est que, depuis longtemps, dans les expositions internationales, nos constructeurs d'appareils de physiologie et d'instruments de chirurgie ont obtenu les plus hautes récompenses et peuvent être considérés comme des maîtres en leur art.

On nous pardonnera, peut-être, d'avoir introduit ici certains renseignements administratifs, en réfléchissant que nous avons voulu avant tout présenter au public un livre *pratique*, et c'est encore, à notre sens, rendre un service à la physiologie expérimentale que d'indiquer les moyens dont elle peut actuellement disposer chez nous en faveur de ceux qui veulent être initiés ou seulement perfectionner leur instruction technique.

## LEÇONS

DE

# PHYSIOLOGIE EXPÉRIMENTALE

---

## PREMIÈRE PARTIE

### MÉTHODE GRAPHIQUE

### APPAREILS ET INSTRUMENTS ENREGISTREURS

---

#### PREMIÈRE LEÇON

##### Principe de la méthode graphique. Appareils enregistreurs.

*Principe de la méthode graphique.* — La méthode graphique est basée sur ce principe que les phénomènes ayant pour éléments essentiels l'intensité et la durée peuvent être traduits par une courbe rapportée à deux axes, en général perpendiculaires : sur l'un on compte le temps, c'est la *ligne des abscisses*; sur l'autre, appelé *ligne des ordonnées*, on exprime l'intensité.

Si l'évolution du phénomène n'est pas trop rapide, les courbes peuvent être construites avec des points cor-

respondants aux moments des observations; mais, dans le cas contraire, on doit se servir des appareils enregistreurs, lesquels fournissent des courbes continues. Ces derniers, quand ils sont construits pour cela, enregistrent aussi des phénomènes lents par des graphiques continus.

Ces deux sortes de courbes sont utilisées par le physiologiste.

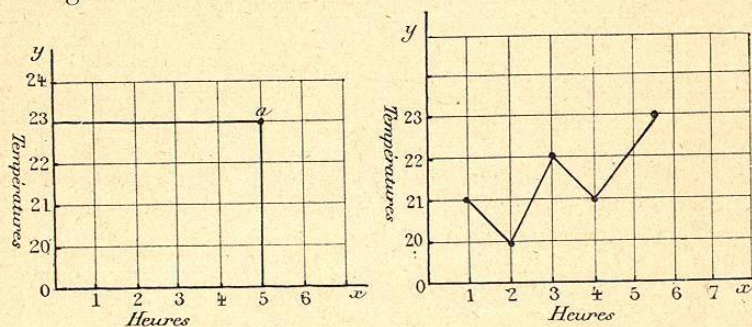


FIG. 1. — Principe de la représentation graphique d'un phénomène (température);  $ox$  ligne des temps,  $oy$  ligne des températures. Le point  $a$  marque la température à 5 heures.

FIG. 2. — Courbe de température prise par points.

Supposons que nous voulions représenter graphiquement les variations successives de la température d'un organisme pendant un certain nombre d'heures et à intervalles fixes. Nous traçons deux axes rectangulaires  $ox, oy$ , et sur ces deux axes des divisions équidistantes et quelconques indiquant, par exemple, les unes les heures et les autres les degrés. La température présentée à une heure déterminée sera figurée par le point  $a$  obtenu par le croisement des lignes parallèles aux axes, menées l'une par l'heure en question, l'autre par le degré de température (fig. 1). La courbe des températures sera représentée par la réunion des points obtenus d'une façon analogue, mais elle n'en sera pas moins discontinue (fig. 2). Dans ce cas, une des phases du phénomène peut ne pas être indiquée, tel organisme

ayant eu  $18^{\circ}$  à 2 heures,  $15^{\circ}$  à 3 heures, et, dans l'intervalle, à 2 h. 30, par exemple,  $20^{\circ}$  (fig. 3).

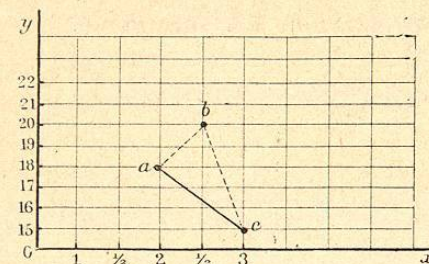


FIG. 3. — Inconvénient possible de la courbe prise par points. La marche de la température peut avoir été  $abc$  au lieu de  $ac$ .

**Appareils enregistreurs. Courbes continues.** — Les appareils enregistreurs se composent, en principe, d'une surface se déplaçant, d'une façon régulière, devant de petits stylets traçant sur [elle toutes les modifications

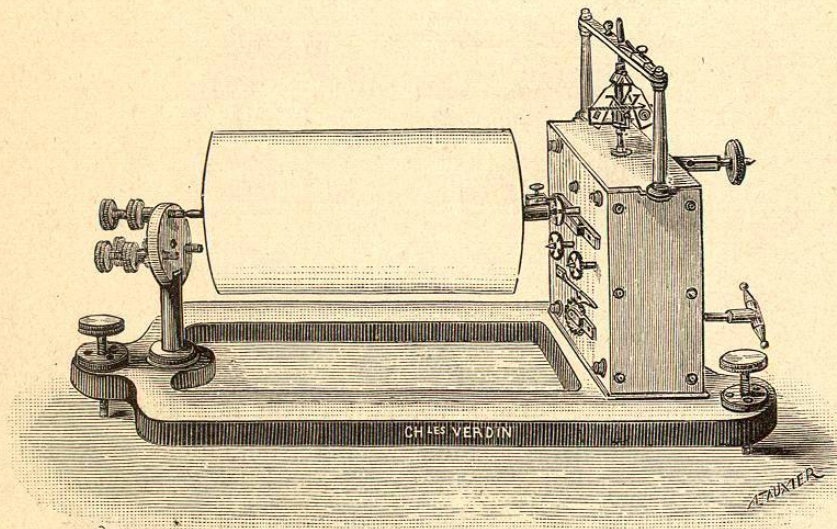


FIG. 4. — Appareil enregistreur de Marey.

d'instruments enregistrants susceptibles d'être influencés par le phénomène que l'on étudie.

Dans la pratique, on donne presque toujours à cette

surface la forme de la paroi courbe d'un cylindre : celui-ci tourne régulièrement autour d'un axe et vient présenter successivement toutes ses génératrices sous la plume de l'instrument qui enregistre.

APPAREIL ENREGISTREUR DE MAREY. — Dans cet appareil (fig. 4), le cylindre est mû par un mouvement d'horlogerie, dont la régulation est obtenue par un système de palettes. Celles-ci s'écartent d'autant plus, sous l'action de la force centrifuge, que la rotation est plus rapide; la résistance de l'air croît à mesure et provoque alors le ralentissement, de façon à supprimer l'accélération.

Le mouvement d'horlogerie commande trois axes moteurs. Chacun d'eux imprime au cylindre une vitesse différente : un tour en une minute, un tour en une seconde environ et une vitesse intermédiaire.

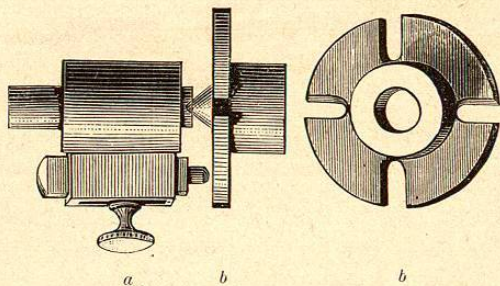


FIG. 5. — Tocs d'entraînement : la pièce *b* fixée sur l'axe moteur peut engrener avec la pièce *a* fixée sur l'axe du cylindre, et entraîner par suite ce dernier dans sa rotation.

Le cylindre est relié, à volonté, à l'un des axes moteurs par deux pièces appelées *tocs* (fig. 5), l'une *a* portée par l'axe en question, l'autre *b* par celui du cylindre, et s'enfonçant chacune à frottement dur sur leurs axes respectifs; engrenées l'une avec l'autre, elles déterminent un entraînement du cylindre, lequel est soutenu par deux tourillons. Un frein permet d'arrêter le cylindre et de le remettre en marche presque instantanément.

Avec ce système, le cylindre se meut circulairement devant les plumes des instruments enregistreurs. Il est parfois utile qu'il se déplace en hélice. Le dispositif pour ce mouvement n'existe pas dans l'appareil de Marey, mais on y remédie en fixant les instruments sur un pied se déplaçant horizontalement.

La combinaison de ces deux mouvements, circulaire et rectiligne, engendre une hélice. Le déplacement horizontal du pied (fig. 6) est produit par la rotation d'une

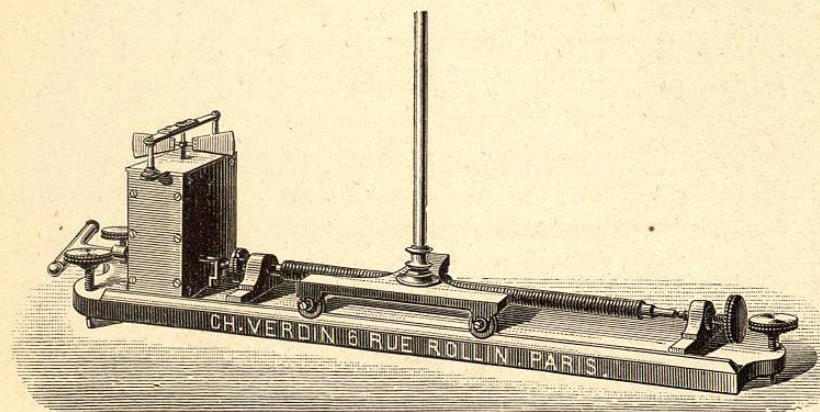


FIG. 6. — Chariot à vis destiné à entraîner automatiquement les instruments enregistreurs devant le cylindre enregistreur.

vis dont les deux bouts sont immobilisés et qui entraîne par suite l'écrou qu'elle traverse. Cet écrou supporte une tige verticale à laquelle peuvent être fixées les tiges horizontales portant les instruments enregistreurs. Le déplacement varie de vitesse, grâce à une palette dont on incline plus ou moins les ailes et qui régularise le mouvement d'horlogerie faisant tourner la vis.

Cet appareil classique est élégant, maniable et commode pour la majorité des expériences. Toutefois, ses vitesses de rotation sont peu nombreuses et, pour les mouvements lents, il exige un mouvement d'horlogerie spécial ou un système de poulies actionnées par une horloge à poids.

APPAREIL ENREGISTREUR UNIVERSEL DE R. DUBOIS. — Pour les expériences ou pour les observations de physiologie comparée, il est souvent utile d'employer des

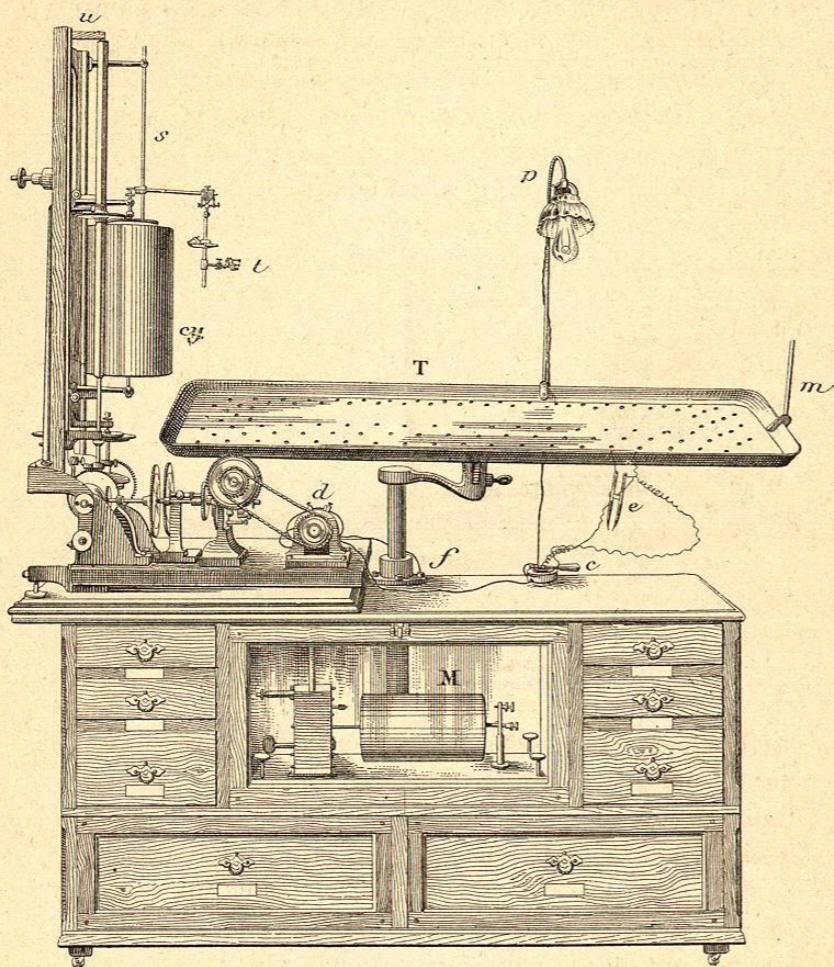


FIG. 7. — Appareil enregistreur de R. Dubois (posé sur le meuble laboratoire, V. page 32) : d, dynamo; cy, cylindre; s, tige pour supporter les appareils enregistreurs; l, un de ces appareils; M, appareil de Marey.

vitesses très différentes. L'appareil du professeur R. Dubois (fig. 7) répond à ce besoin. Il est mis en action par un

moteur à grande vitesse, turbine à eau ou moteur électrique, ce qui suffit à donner une régulation suffisante, même quand le moteur a de petits écarts, la vitesse la plus rapide du cylindre étant très inférieure à celle du moteur. Le mouvement est transmis à une vis sans fin qui commande une roue dont l'axe est le promoteur de tout le système d'engrenages ultérieurs : ces engrenages permettent, en faisant commander les pignons par les roues ou les roues par les pignons, d'avoir un nombre très considérable de vitesses du cylindre, variant (pour 86 tours du moteur par minute) entre 42 tours par minute et un tour en 3 jours, avec 34 vitesses intermédiaires.

Dans cet appareil, le cylindre peut se déplacer horizontalement, en même temps qu'il tourne sur lui-même, ce qui permet d'obtenir un mouvement en hélice, si commode parfois. Un deuxième système d'engrenages entrant à volonté en relation avec le moteur donne des déplacements variant de 12 centimètres par minute à 1 centimètre en 24 heures, avec 106 vitesses intermédiaires. Pour une vitesse donnée de rotation du cylindre, il y en a neuf de translation, qui varient dans le rapport de 1 à 100. Le déplacement est produit par une vis entraînant un écrou mobile.

Ajoutons qu'un embrayage particulier permet de mettre en marche ou d'arrêter presque instantanément le cylindre, sans toucher au moteur; et enfin que l'appareil peut basculer autour d'un axe horizontal, ce qui permet au cylindre d'être placé soit verticalement, soit horizontalement. La tige sur laquelle on fixe les appareils enregistreurs est solidaire du bâti qui porte le cylindre et rigoureusement parallèle à l'axe de celui-ci; elle l'accompagne dans les mouvements de bascule.

Avec ces divers avantages et ses vitesses multiples, cet appareil répond à tous les besoins du physiologiste et pourrait même rendre des services pour d'autres usages. Le cylindre, de grande taille, permet de prendre de nom-

breux tracés, pendant une expérience de longue durée, sans aucune interruption.

La diversité des types d'appareils usités aujourd'hui a des inconvénients incontestables. Il est certain que le tracé d'un même mouvement enregistré sur deux cylindres de même rayon, mais animés de vitesses différentes, est tout à fait différent. Il en sera de même avec deux cylindres de diamètre inégal animés de la même vitesse. Les physiologistes auraient donc intérêt à choisir un diamètre étalon. Quant aux vitesses, il est bien souvent utile, pour l'analyse d'un phénomène, d'en pouvoir varier facilement la rapidité, surtout en physiologie comparée ou générale. Le mieux serait alors, avec un diamètre étalon pour tous les cylindres, d'indiquer toujours la vitesse employée.

**NOIRCISSEMENT DES CYLINDRES.** — Les cylindres qu'on emploie dans les appareils enregistreurs sont métalliques et leurs sections perpendiculaires à l'axe sont rigoureusement circulaires et égales, de manière que, sur toute leur longueur, la plume de l'instrument enregistrant appuie toujours avec la même force pendant la rotation.

Pour prendre des tracés, on recouvre le cylindre d'une feuille de papier blanc appliquée bien exactement sur sa surface et dont on colle les bords. Il serait possible d'inscrire directement sur le papier blanc avec une plume encrée, c'est ce que l'on fait souvent pour les mouvements lents; mais, dans la grande majorité des cas, on se sert d'une pointe sèche et d'un papier glacé, peu combustible et enduit d'une couche de noir de fumée. Pour le préparer, on suspend le cylindre sur un support et, tout en le faisant tourner lentement, de la main gauche, on promène au-dessous, avec la main droite, très régulièrement et toujours de gauche à droite, la flamme fuligineuse d'un rat de cave. Quand on est arrivé à l'extré-

mité droite du cylindre, on recommence par l'extrémité gauche, pour laisser au papier le temps de se refroidir. On continue ainsi jusqu'à ce que le papier soit recouvert d'une couche bien uniforme et pas trop épaisse de noir de fumée. Il faut éviter de maintenir la flamme trop longtemps au même endroit, dans la crainte de roussir le papier.

On peut noircir encore le papier avec un bec de gaz à flamme large, après avoir fait passer le gaz au travers d'un flacon plein de ponce imbibée de benzine; mais la flamme obtenue par ce procédé est un peu trop fuligineuse et le grain du noir déposé sur le papier est un peu trop gros. Les meilleurs rats de cave, pour l'usage qui nous occupe, doivent être faits avec une mèche de lampe à alcool enduite de cire jaune ou blanche mélangée d'un peu de résine.

**FIXAGE DES TRACÉS.** — Les tracés obtenus sur les cylindres noircis, par suite de l'enlèvement par la plume de l'appareil enregistreur d'une légère couche de noir de fumée, s'effaceraient très facilement. Quand on veut les garder comme documents, il faut les fixer. Pour cela, il suffit de mouiller la feuille avec une solution alcoolique de gomme laque. Certaines personnes conseillent de détacher la feuille et de la plonger dans le bain fixateur, comme on le fait dans le cas d'une épreuve photographique. Il est préférable d'employer le dispositif suivant. Le cylindre est soutenu par des tourillons au-dessus d'une cuvette creusée en forme de segment de cylindre dans laquelle est le bain fixateur, et sa hauteur de suspension est telle, qu'il vient frôler la surface du bain. On n'a alors qu'à tourner lentement le cylindre pour l'humecter sur toute sa surface, le relever ensuite sur deux tourillons placés un peu plus haut et le laisser égoutter.

Quand l'égouttage est suffisant, on fend le papier suivant la génératrice le long de laquelle la feuille a été collée, puis cette dernière est suspendue verticalement pour la laisser sécher. Lorsqu'elle est sèche, le tracé est ineffaçable. On annexe généralement à cet appareil un flacon rempli de liquide fixateur, muni de deux tubulures : l'une est traversée par un tube de verre plongeant au fond du flacon et dont le bout supérieur est relié, au moyen d'un tube de caoutchouc, à une ouverture située au fond de la cuvette; l'autre est en relation avec une poire de caoutchouc qu'il suffit de presser pour faire arriver le liquide dans la cuvette. On place ensuite une pince à pression sur le tube de caoutchouc. L'opération du vernissage terminée, la pince est enlevée et, en abaissant le flacon, on y fait rentrer le liquide fixateur.

LECTURE DES TRACÉS. — Ils se lisent comme l'écriture, de gauche à droite. Avant de détacher la feuille, il faut donc marquer par un indice le haut qui correspond au bout droit du cylindre, quand celui-ci se déplace, comme c'est l'usage, d'avant en arrière par rapport à la plume. On peut se contenter de tracer sur la feuille une flèche indiquant le sens de rotation du cylindre, ou bien encore de marquer d'un H le bout droit de la feuille.

D'après les principes que nous avons indiqués en commençant, amplitude sur les ordonnées, temps sur les abscisses, on interprétera facilement les courbes obtenues.

## DEUXIÈME LEÇON

### Instruments enregistrants.

Tous sont plus ou moins basés sur un principe unique : transmission à un levier (qui est parfois un rayon lumineux) des mouvements produits dans l'appareil par les phénomènes qu'il est chargé de traduire et qui l'impressionnent de façons diverses. En physiologie, les instruments employés le plus fréquemment sont les tambours, dont le prototype est le *tambour de Marey*.

TAMBOURS EXPLORATEURS ET ENREGISTREURS. — Le principe de ces instruments est le suivant. Soit une boule de caoutchouc A (fig. 8), reliée par un tube de caoutchouc à une autre boule B, le tout formant un système clos et rempli d'air. Toutes les variations de pression que l'on fera subir

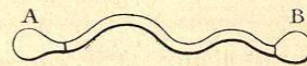


FIG. 8. — Principe des appareils enregistrants à air. A, ampoule exploratrice; B, ampoule réceptrice.

à l'air de la boule A se transmettront à l'air de la boule B. Si l'on en comprime une, l'autre se gonflera. Les deux ampoules sont remplacées, dans la pratique, par des tambours. L'un, destiné à recueillir le phénomène et qui est le *tambour explorateur*, peut avoir des formes extrêmement variées, que nous aurons à étudier au cours de ces leçons; le deuxième, destiné à traduire le phénomène par une courbe et appelé *tambour enregis-*