

Bibliothèque numérique

medic@

**Marey, Etienne-Jules. - Marey /
1882-86 / Station / physiologique / I /
Méthodes et techniques**

Paris, 1886 (circa).

Cote : Archives du Collège de France

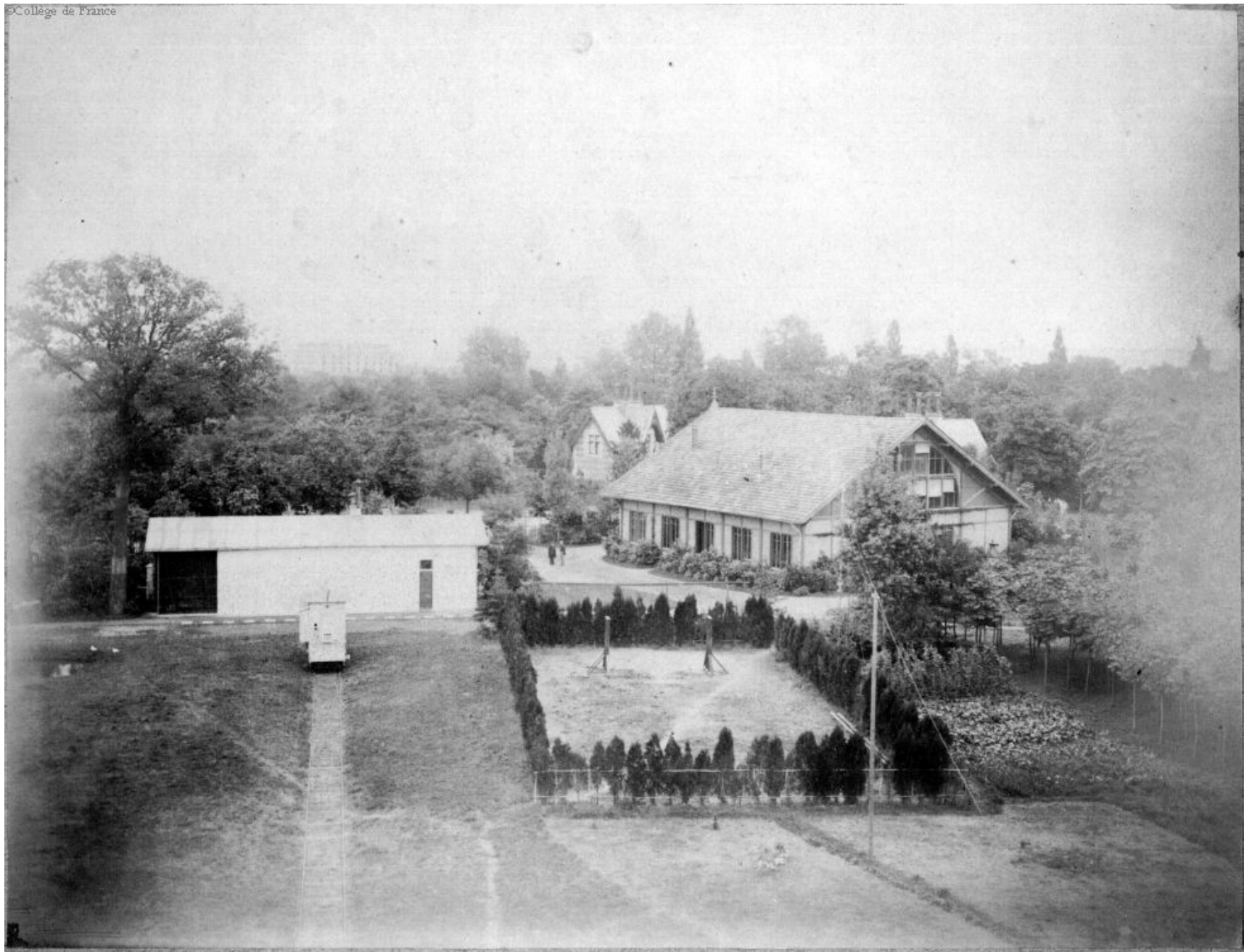


Nous remercions le Collège de France, qui nous a généreusement autorisé à numériser et à mettre en ligne cet ouvrage issu de son fonds. Pour toute demande de reproduction, s'adresser au Collège de France, seul titulaire des droits.

Adresse permanente : <http://www.bium.univ-paris5.fr/bist>



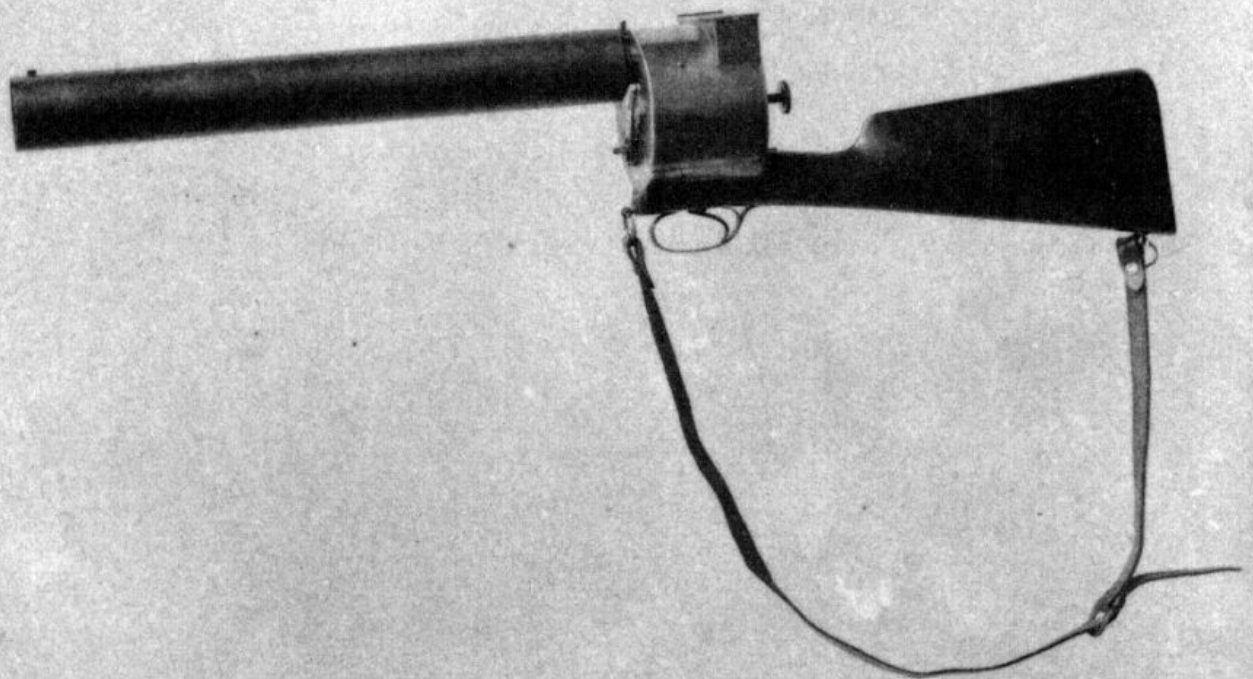
Vue extérieure du bâtiment principal de la Station Physiologique.
Année Du Premier



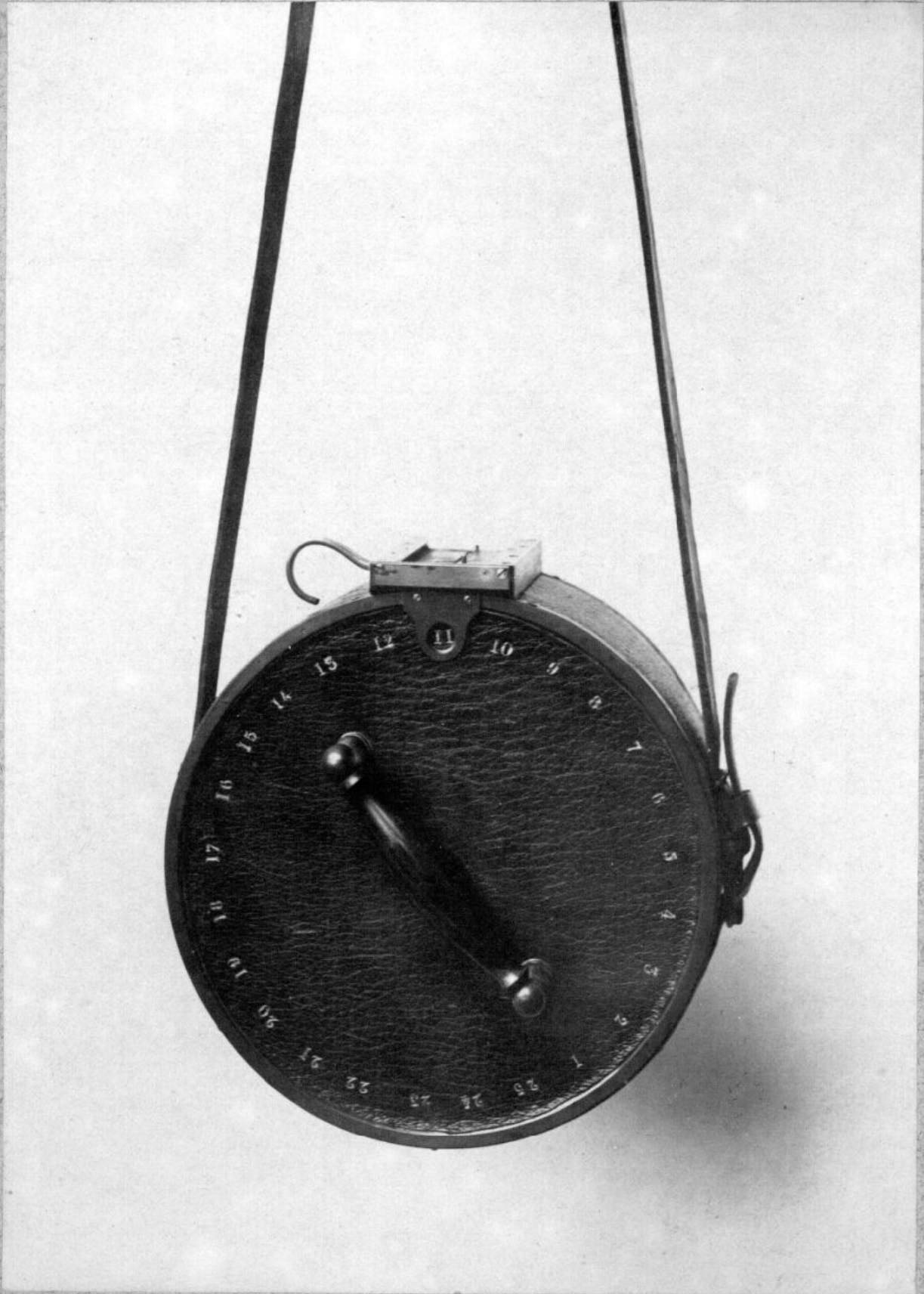




L'usil photographique



Boîte à escamoter renfermant les plaques sensibles
du fusil photographique.



INSTITUT DE FRANCE.

ACADÉMIE DES SCIENCES.

Extrait des *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. XCV,
séance du 7 août 1882.

Emploi de la photographie pour déterminer la trajectoire des corps en mouvement, avec leurs vitesses à chaque instant et leurs positions relatives. Applications à la Mécanique animale;

PAR M. MAREY.

« Un des points les plus importants dans l'analyse de la locomotion animale, c'est la détermination de la trajectoire suivie par différentes parties du corps. Ainsi, le pied d'un homme, entre le moment où il quitte le sol et celui où il se pose de nouveau, parcourt dans l'espace une sorte d'arc dont la forme est très difficile à apprécier par la vue, même dans la marche lente, à plus forte raison dans les allures rapides. Il est bien plus difficile encore d'estimer les trajectoires des pieds d'un cheval au trot ou au galop, celles de l'extrémité de l'aile d'un oiseau qui vole, etc.

» Et pourtant il ne suffit pas de connaître avec exactitude la trajectoire suivie par un point du corps pour déterminer la loi d'un mouvement, il faut avoir aussi la connaissance de sa vitesse à chaque instant.

» J'ai fait autrefois certaines expériences dans lesquelles, au moyen de procédés mécaniques, j'obtenais l'inscription des mouvements, ceux de l'aile d'un oiseau par exemple, avec la triple indication de la trajectoire

M.

parcourue, de la vitesse du mouvement à chaque instant et des changements de l'inclinaison du plan de l'aile aux différents points de son parcours elliptique (1). Ces expériences étaient difficiles, on ne pouvait les faire que sur de grands oiseaux apprivoisés, et, comme elles exigent l'adaptation d'appareils destinés à recueillir et à transmettre les mouvements des ailes, on n'a pas manqué de contester les résultats en disant que « la » trajectoire obtenue n'était pas celle qu'eût donnée un oiseau libre ».

» La méthode photographique me semble être à l'abri de reproches semblables : aussi ai-je entrepris de l'employer pour résoudre le problème, jusqu'ici insoluble, d'inscrire la trajectoire d'un point du corps d'un animal en mouvement avec l'indication de la vitesse de ce point à chaque instant, sans altérer en rien la liberté de ses allures. Cette méthode devra se prêter évidemment aux inscriptions multiples et permettre de reconnaître les positions et les vitesses relatives de différents points du corps.

» *Photographie de la trajectoire d'un corps en mouvement.* — Pour inscrire la trajectoire d'un corps, il suffit de l'éclairer vivement et de le mettre en mouvement devant un écran noir (2). Une plaque photographique très sensible devra garder l'impression de ce corps sur tous les points qu'aura parcourus son image.

» L'expérience a vérifié cette première proposition. J'enveloppai de papier blanc une petite pierre, et, me plaçant au soleil, en face de l'écran, je lançai cette pierre devant moi. L'appareil photographique fut ouvert par un aide pendant la durée du trajet de la pierre, et je recueillis sur la plaque la trajectoire prévue, c'est-à-dire la double parabole décrite par le projectile.

» Ou bien j'attachai une pierre blanche à un fil, et, la faisant tourner comme une fronde, j'obtins l'image du cercle parcouru par la pierre; d'autres fois, je marchais en faisant mouvoir la fronde, et la figure tracée était formée d'une série de boucles résultant de la combinaison du mouvement rotatif avec la translation horizontale.

» Dans un autre cas, je pris un bâton noir terminé par une boule blanche, et je l'agitai en marchant devant l'écran, de manière à tracer successivement toutes les lettres de mon nom; ma signature se trouva distinctement écrite sur la plaque photographique.

» Dans ces expériences s'est révélée la défektivité de mon installation

(1) *Comptes rendus*, 1^{er} semestre, 1872, p. 589.

(2) Voir, pour la description de l'écran, la Note insérée dans le n° 1, 3 juillet 1882.

actuelle au point de vue de la construction de l'écran. Comme l'objectif reste entièrement ouvert pendant un temps assez long, la moindre lumière agit sur l'éprouve d'une façon très marquée : des poteaux noirs qui soutiennent les châssis inclinés, étant exposés au soleil, apparaissent très distinctement dans l'image. Aussi ai-je l'intention de substituer aux écrans inclinés une sorte de hangar profond, complètement noir à l'intérieur.

» En somme, l'expérience que je viens d'exposer a eu un plein succès, puisque je suis arrivé à photographier des mouvements beaucoup plus rapides que ceux qui se produisent dans la locomotion des animaux.

» *Indication de la vitesse que possède à chaque instant le corps dont on photographie la trajectoire.* — Pour obtenir cette indication, il faut, à des intervalles connus, égaux entre eux et aussi courts que possible, produire des intermittences dans l'arrivée de la lumière à l'intérieur de l'appareil photographique. Ces éclipses successives se traduisent par des interruptions de la courbe, et celle-ci apparaît formée de points ou de traits juxtaposés, selon la vitesse du mouvement. Ainsi, dans la trajectoire d'une pierre qu'on lance, la ponctuation est très serrée à la partie supérieure de la courbe, c'est-à-dire quand la vitesse est minimum, puis ces points s'allongent et se transforment en traits de longueurs croissantes à mesure que s'accélère la chute de la pierre.

» Pour obtenir ces intermittences dans l'éclairage, je fais tourner, devant l'objectif, au moyen d'un rouage uniforme, une roue qui fait 10 tours par seconde. Cette roue porte dix rayons dont chacun, à son passage, interrompt l'éclairage. Ces éclipses se reproduisent donc 100 fois par seconde; il s'ensuit que, dans la photographie, la longueur comprise entre deux points ou deux traits consécutifs représente, à une échelle connue, l'espace parcouru par le corps en $\frac{1}{100}$ de seconde.

» *Détermination des synchronismes entre les courbes du mouvement de différentes parties du corps.* — Jusqu'ici nous n'avons déterminé que les caractères du mouvement de différentes parties du corps considérées chacune isolément; mais il est d'une grande importance, pour l'analyse de la locomotion, de connaître les mouvements relatifs de ces différentes parties; on sait, par exemple, que, dans la marche, la jambe et le bras d'un même côté exécutent des mouvements de sens inverse. Il n'est pas moins nécessaire de déterminer les rapports qui existent entre les soulèvements ou réactions du corps d'un cheval et les actions de ses membres, entre les oscillations du corps d'un oiseau et les mouvements de ses ailes, etc. Pour indiquer les positions relatives de différentes parties du corps à un même instant, il

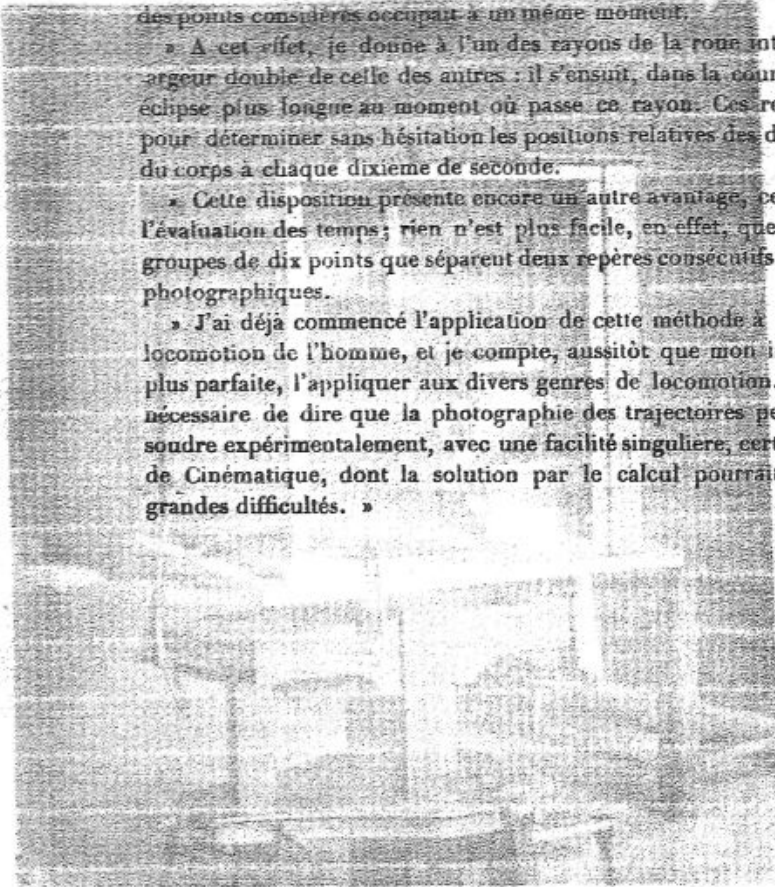
(4)

faut produire à cet instant un signe particulier dans chacune des courbes tracées. Ce signe servira de repère pour montrer la position que chacun des points considérés occupait à un même moment.

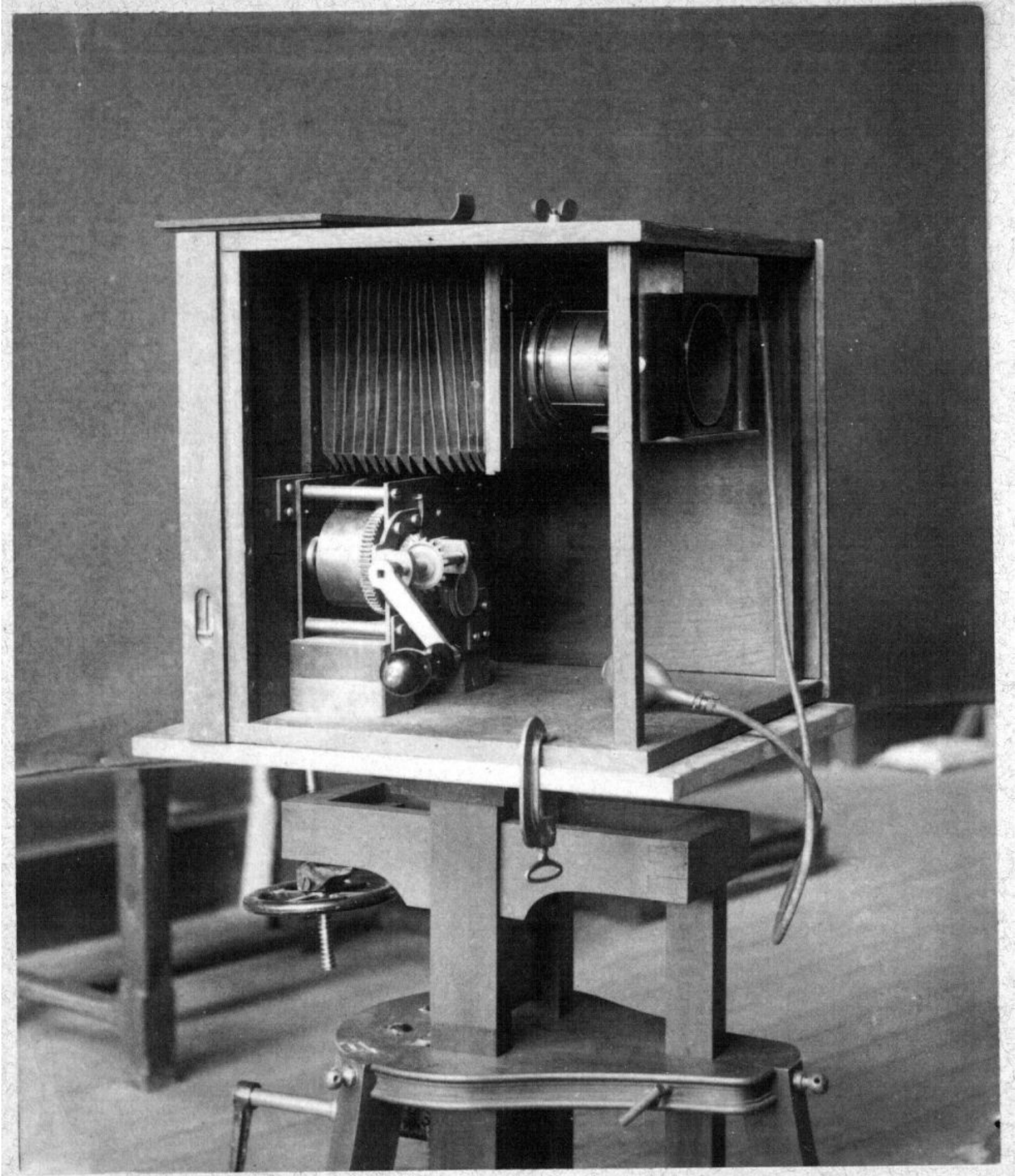
» A cet effet, je donne à l'un des rayons de la roue interruptrice une largeur double de celle des autres : il s'ensuit, dans la courbe tracée, une éclipse plus longue au moment où passe ce rayon. Ces repères suffisent pour déterminer sans hésitation les positions relatives des différents points du corps à chaque dixième de seconde.

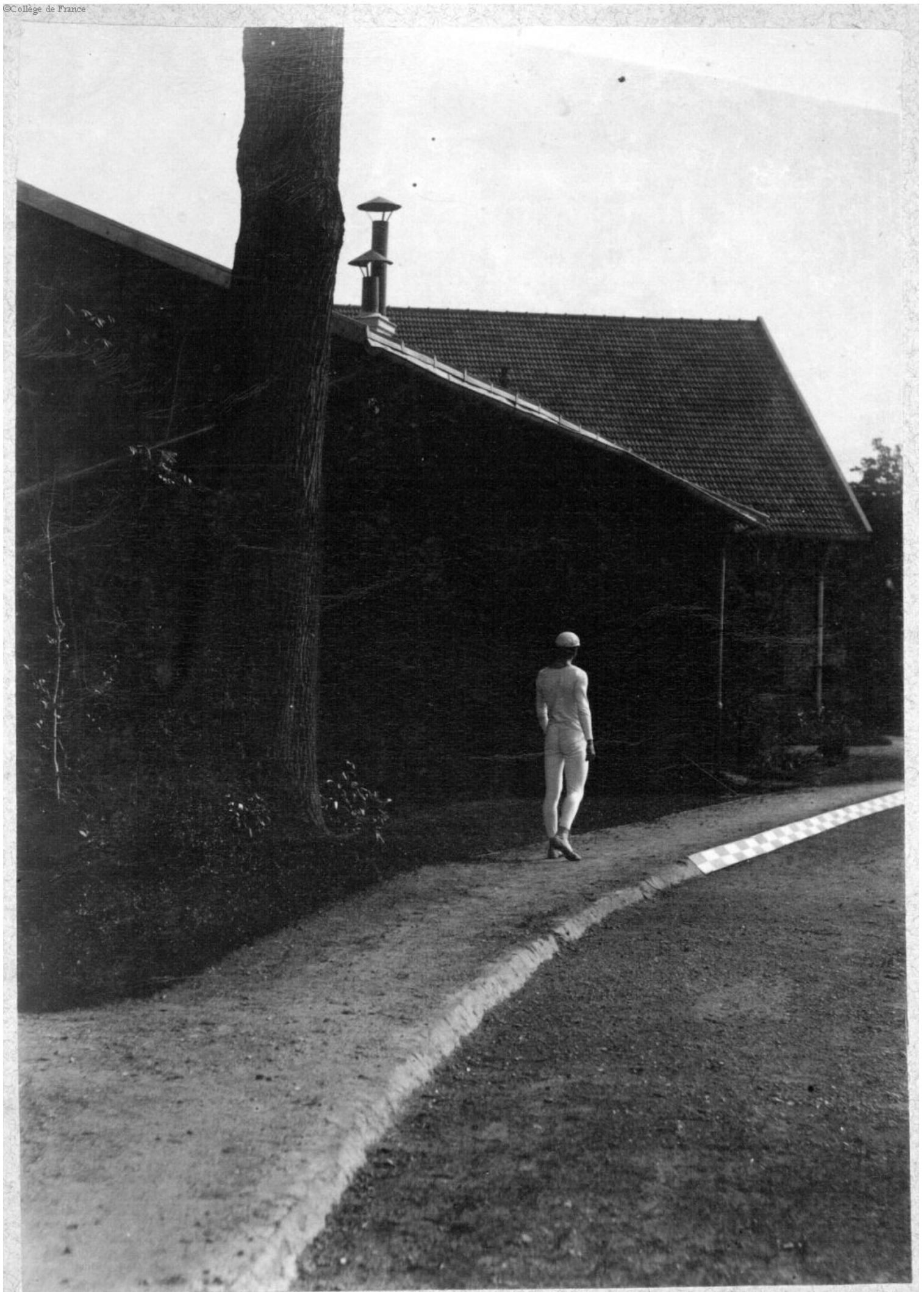
» Cette disposition présente encore un autre avantage, celui de faciliter l'évaluation des temps ; rien n'est plus facile, en effet, que de compter les groupes de dix points que séparent deux repères consécutifs sur les courbes photographiques.

» J'ai déjà commencé l'application de cette méthode à l'analyse de la locomotion de l'homme, et je compte, aussitôt que mon installation sera plus parfaite, l'appliquer aux divers genres de locomotion. Il est à peine nécessaire de dire que la photographie des trajectoires permettra de résoudre expérimentalement, avec une facilité singulière, certains problèmes de Cinématique, dont la solution par le calcul pourrait offrir d'assez grandes difficultés. »



Appareil photographique renfermant un disque
fenêtré servant à la photo-chronographie





INSTITUT DE FRANCE.

ACADÉMIE DES SCIENCES.

Extrait des *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. XCVI,
séance du 25 juin 1883.

Emploi des photographies partielles pour étudier la locomotion de l'homme et des animaux;

PAR M. MAREY.

« Lorsqu'on prend sur la même plaque une série de photographies représentant les attitudes successives d'un animal, on cherche naturellement à multiplier ces images pour connaître le plus grand nombre possible de phases du mouvement. Mais, quand la translation de l'animal n'est pas rapide, la fréquence des images est bientôt limitée par leur superposition et par la confusion qui en résulte. Ainsi, un homme qui court, même avec une vitesse modérée, peut être photographié dix fois par seconde, sans que les images se confondent. Si, parfois, une jambe vient se peindre en un lieu où une autre jambe avait déjà laissé son empreinte, cette superposition n'altère point les images : les blancs deviennent seulement plus intenses aux endroits où la plaque a été deux fois impressionnée, de sorte que les contours des deux membres se distinguent encore aisément. Mais, quand l'homme marche lentement, les images présentent des superpositions si nombreuses qu'il en résulte une grande confusion.

» C'est pour remédier à cet inconvénient que j'ai eu recours à la *photo-*
M.

graphie partielle, c'est-à-dire que j'ai supprimé certaines parties de l'image pour que le reste fût plus facile à comprendre.

» Comme, dans la méthode que j'emploie, les objets blancs et éclairés impressionnent seuls la plaque sensible, il suffit d'habiller de noir les parties du corps qu'on veut retrancher de l'image. Si un homme revêtu d'un costume mi-partie blanc et noir marche sur la piste en tournant du côté de l'appareil photographique la partie blanche de son vêtement, la droite par exemple, on le verra dans les images comme s'il était réduit à la moitié droite de son corps.

» Ces images permettent de suivre dans leurs phases successives, d'une part le pivotement du membre inférieur autour du pied pendant le temps de l'appui, et d'autre part, pendant celui du levé, l'oscillation de ce même membre autour de l'articulation coxofémorale, en même temps que cette articulation se transporte en avant d'une manière continue.

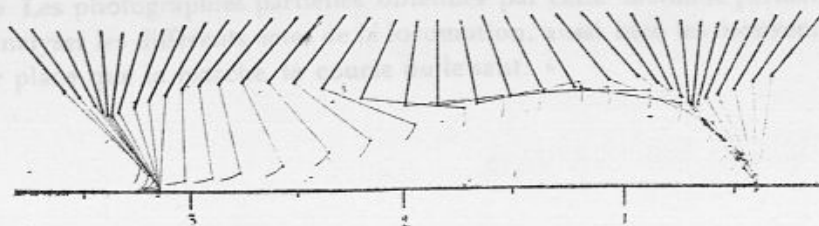
» Les photographies partielles sont utiles aussi dans l'analyse des mouvements rapides, parce qu'elles permettent de multiplier beaucoup le nombre des attitudes représentées. Toutefois, comme l'image d'un membre présente encore une assez grande largeur, on ne peut multiplier beaucoup ces photographies partielles, sous peine de les confondre par superposition. J'ai donc cherché à diminuer la largeur des images, afin de les répéter à des intervalles extrêmement courts. Le moyen consiste à revêtir le marcheur d'un costume entièrement noir, sauf d'étroites bandes de métal brillant qui, appliquées le long de la jambe, de la cuisse et du bras, signalent assez exactement la direction des rayons osseux de ces membres.

» Cette disposition permet de décupler aisément le nombre des images recueillies en un temps donné sur une même plaque : ainsi, au lieu de dix photographies par seconde, on en peut prendre 100. Pour cela, on ne change pas la vitesse de rotation du disque ; mais, au lieu de le percer d'une seule fenêtre, on en fait dix semblables et également réparties sur toute la circonférence (1).

» La figure que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie est faite d'après un des clichés projetés à la lanterne magique ; les lignes ponctuées ont été

(1) Il est souvent avantageux de donner à l'une des fenêtres un diamètre double de celui des autres ; il en résulte une intensité plus grande de l'une des images et cela facilite l'estimation des temps, en même temps que cela fournit des points de repères pour comparer les mouvements des membres inférieurs à ceux des membres supérieurs. (Voir *Comptes rendus*, t. XCV.)

transformées en traits pleins. Cette figure montre les phases successives d'un pas de course. Le membre inférieur gauche y est seul représenté : des lignes pleines correspondent à la cuisse, à la jambe et au pied ; des points, aux articulations du pied, du genou et de la hanche.



Course de l'homme, attitudes successives du membre inférieur gauche.
Fréquence des images. 60 par seconde environ.

» Cette figure exprime déjà assez clairement les alternatives de flexion et d'extension de la jambe sur la cuisse, les trajectoires onduleuses du pied, du genou et de la hanche, et pourtant le nombre des images n'excède pas 60 par seconde. Un disque obturateur percé de fenêtres plus nombreuses donnerait avec bien plus de perfection les déplacements angulaires de la jambe sur la cuisse et les trajectoires des trois articulations.

» Plus on donne de finesse aux lignes ponctuées qui expriment la direction des membres, plus on peut multiplier le nombre des images; mais, dans les cas présents, il est plus que suffisant d'avoir soixante fois par seconde l'indication des déplacements du marcheur.

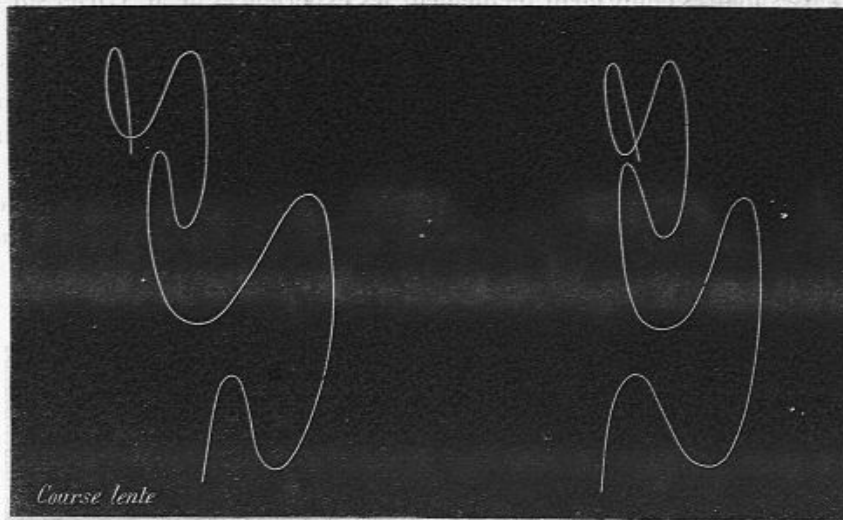
» On voit que, dans la méthode d'analyse photographique, les deux facteurs du mouvement, le temps et l'espace, ne peuvent pas être tous deux estimés d'une manière parfaite. La connaissance des positions que le corps a occupées dans l'espace suppose qu'on possède des images complètes et distinctes; or il faut, pour avoir de telles images, laisser un intervalle de temps assez long entre deux photographies successives. Veut-on, au contraire, porter à la perfection la notion du temps, on n'y peut arriver qu'en augmentant beaucoup la fréquence des images, ce qui force à réduire chacune d'elles à certaines lignes. On concilie autant que possible ces deux exigences opposées en choisissant pour les photographies partielles les lignes et les points qui renseignent le mieux sur les attitudes successives du corps.

» Il est curieux de voir que cette expression des attitudes successives

(4)

aux différents mouvements des membres dont elles constituent les *réactions*. Si je signale spécialement la représentation stéréoscopique de la trajectoire d'un point dans l'espace, c'est que cette méthode me paraît contenir la solution d'un grand nombre de problèmes cinématiques, fort difficiles sans

Fig. 2.



Trajectoire stéréoscopique de la course lente.

doute à résoudre autrement. Et, sans sortir du domaine de la Physiologie, on trouvera, dans la photographie stéréoscopique, le moyen d'analyser les réactions du cheval, les mouvements du corps de l'oiseau pendant le vol, etc.

» En effet, les réactions dures ou douces de certains chevaux à diverses allures ne tiennent certainement qu'à l'étendue ou aux inflexions plus ou moins brusques des mouvements du corps du cheval; déterminer la nature des mouvements qu'exécute un point brillant placé sur la selle d'un cheval, et établir la coïncidence des différentes inflexions de sa trajectoire avec les actions des membres, ce sera véritablement interpréter physiologiquement les *réactions du cheval*. Enfin, ces réactions qui se transmettent au cavalier sont certainement influencées, à leur tour, par les réactions du cavalier sur le cheval. Cette combinaison des effets de deux forces réagissant l'une sur l'autre était jusqu'ici inaccessible aux moyens d'observation connus; je me propose d'en faire prochainement l'objet de mes études.

(5)

» Enfin, toutes les fois que cela est nécessaire, on peut introduire dans ces courbes la notion du temps par les procédés ordinaires de la chrono-photographie, c'est-à-dire au moyen d'éclairages intermittents. La trajectoire prend alors l'aspect d'une courbe ponctuée dans laquelle l'intervalle entre deux points successifs correspond à un cinquantième de seconde. »

Extrait des Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. 61, p. 1193, 1870.

Observation de l'homme. — Images stéréoscopiques des trajectoires que décrit dans l'air un plumeau de bronze pendant la marche, le combat et les autres manœuvres.

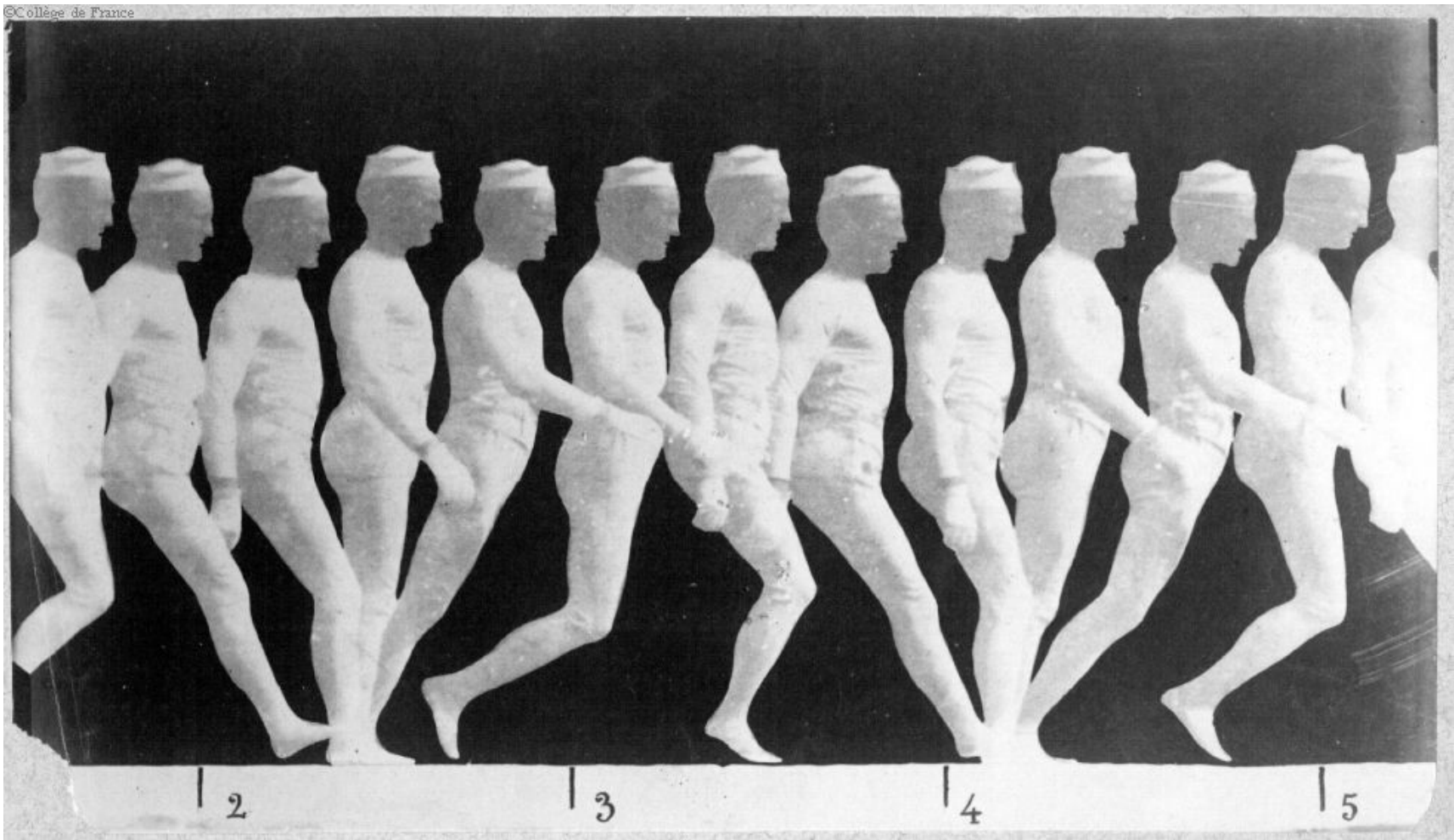
Pl. 2, fig. 1, 2, 3, 4.

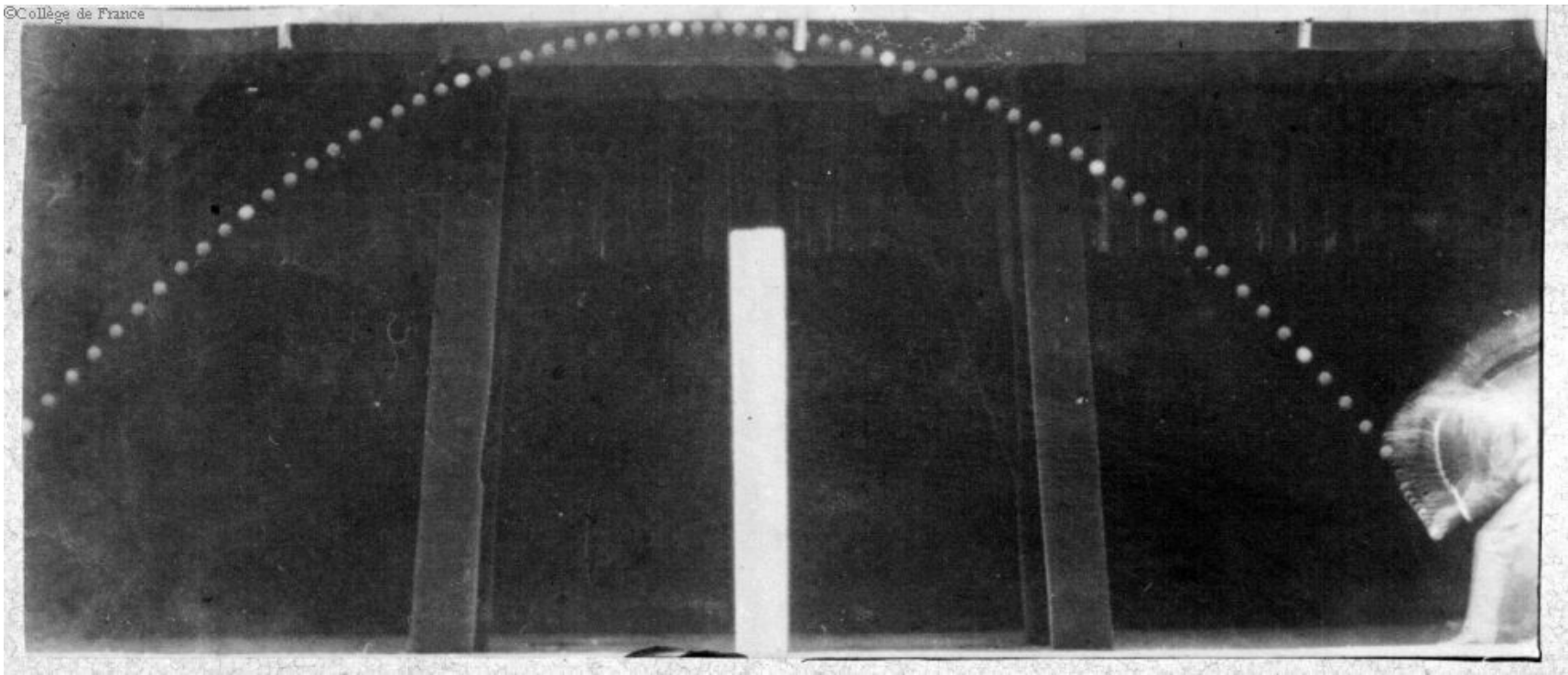
« Il y a quinze ans, pendant la guerre, j'ai eu l'honneur de présenter à la Faculté des Sciences de Grenoble, dans mon laboratoire, de déterminer la trajectoire qu'un point de bronze décrit dans l'air pendant la marche.

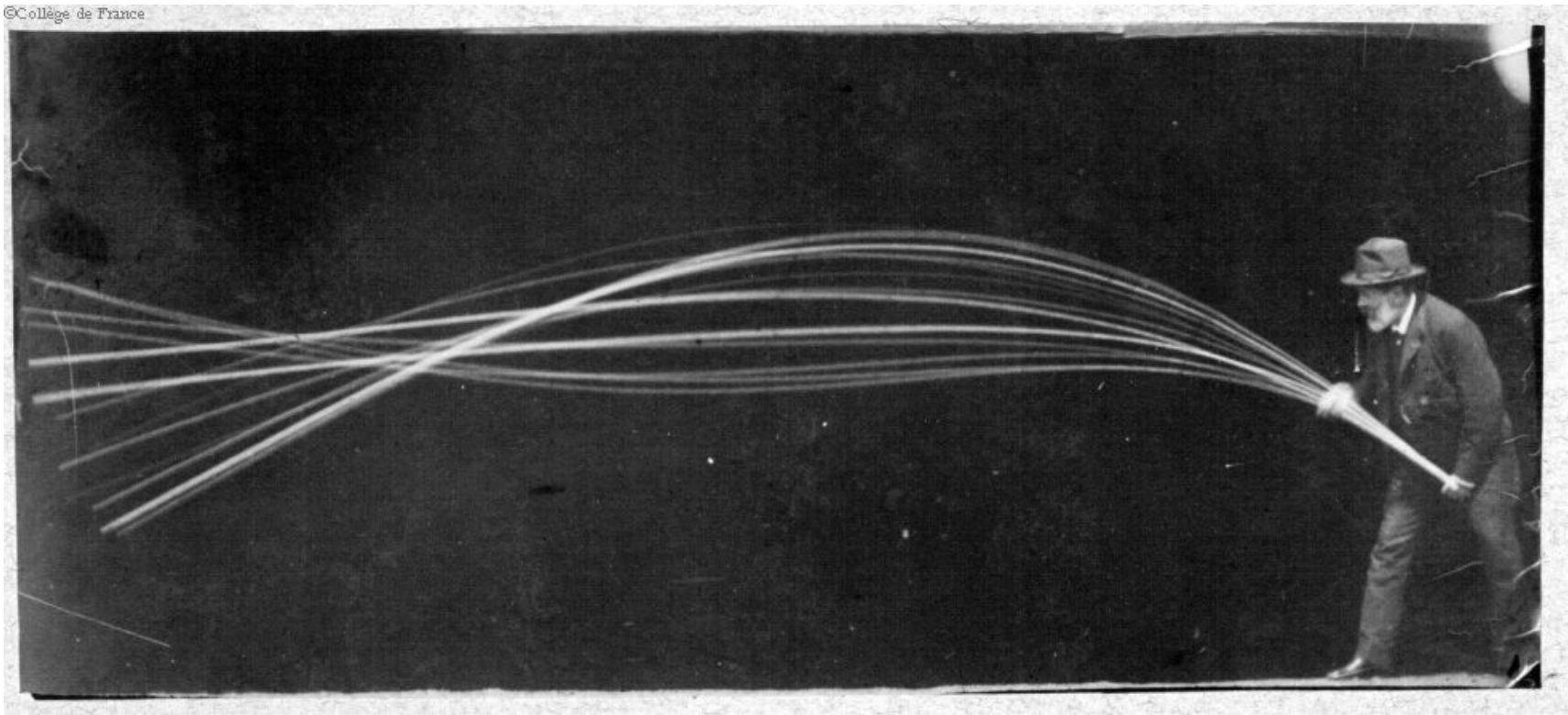
« Une disposition mécanique, analogue à celle que j'ai employée précédemment pour inscrire les mouvements de l'adhésion, servit à ces expériences. Celle-ci montrait qu'un plumeau de bronze, lorsqu'il est en mouvement, décrit une courbe qui se projette dans une certaine direction.

GAUTHIER-VILLARS IMPRIMEUR-LIBRAIRE DES COMPTES RENDUS DES SÉANCES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES.
1193 Paris. — Quai des Augustins, 55.

« L'axe de rotation du cylindre est parallèle à la direction de la marche; les images correspondantes sont donc parallèles.







INSTITUT DE FRANCE.

ACADÉMIE DES SCIENCES.

Extrait des *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. C;
séance du 2 juin 1885.

*Locomotion de l'homme. — Images stéréoscopiques des trajectoires
que décrit dans l'espace un point du tronc pendant la marche,
la course et les autres allures;*

PAR M. MAREY.

« Il y a quinze ans environ, M. Carlet, aujourd'hui professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble, entreprit, dans mon laboratoire, de déterminer la trajectoire qu'un point du tronc décrit dans l'espace pendant la marche.

» Une disposition mécanique, analogue à celle que j'avais employée précédemment pour inscrire les mouvements de l'aile de l'oiseau, servit à ces expériences. Celles-ci montrèrent qu'un point central, le pubis, décrit une courbe que l'on peut considérer comme inscrite dans une gouttière à convexité inférieure, au fond de laquelle se trouvent les minima et aux bords de laquelle sont tangents les maxima. La génératrice de ce demi-cylindre est parallèle à la direction de la marche; les minima correspon-

M.

dent au milieu de l'appui bilatéral et les maxima au milieu de l'appui unilatéral.

» La forme d'une telle courbe peut être très bien représentée par une figure solide faite d'un fil de métal tordu en sens divers. En regardant cette figure d'un point convenablement choisi, on peut, grâce à la perspective, en apprécier les inflexions suivant les trois dimensions de l'espace et même les représenter par le dessin. La difficulté que présente l'inscription mécanique d'un mouvement suivant trois dimensions, et l'impossibilité d'analyser par cette méthode les allures très rapides, m'ont engagé à recourir à la photographie pour la détermination des trajectoires dans l'espace.

» J'ai montré, dans une Note précédente ⁽¹⁾, avec quelle facilité singulière la chrono-photographie exprime la trajectoire d'un point brillant fixé sur le corps d'un homme habillé de noir, et permet de suivre les inflexions de la courbe décrite, variables suivant l'allure que l'on observe.

» Mais, dans les images photographiques obtenues jusqu'ici, je cherchais à obtenir la projection des mouvements du corps sur un plan parallèle à celui dans lequel la marche s'effectue. Si cette disposition est la meilleure pour apprécier à leur valeur réelle les oscillations verticales du corps, ainsi que les accélérations et les ralentissements dans la progression, elle dissimule totalement les mouvements qui se produisent suivant la troisième dimension, c'est-à-dire dans le sens perpendiculaire au plan de la marche.

» Dans le courant de l'hiver dernier je fis plusieurs expériences pour photographier la trajectoire d'un point du tronc, en plaçant l'appareil de telle sorte que la perspective rendit sensibles les déplacements qui se produisent suivant les trois dimensions de l'espace.

» Un homme vêtu de noir et portant au niveau du sacrum une petite boule brillante marchait sur un terrain plat.

» En arrière et à deux mètres à gauche et au-dessus de l'axe de la marche, était braqué l'appareil chrono-photographique. L'image obtenue rendait sensibles les déplacements suivant les trois dimensions de l'espace. Toutefois, malgré la perspective, la figure n'était bien intelligible que pour ceux qui connaissent d'avance la trajectoire; et encore, à la condition que les inflexions de cette trajectoire fussent symétriques. Il m'a semblé que la stéréoscopie devait rendre des figures de ce genre parfaitement intelligibles dans tous les cas.

⁽¹⁾ *Comptes rendus*, 7 août 1882.

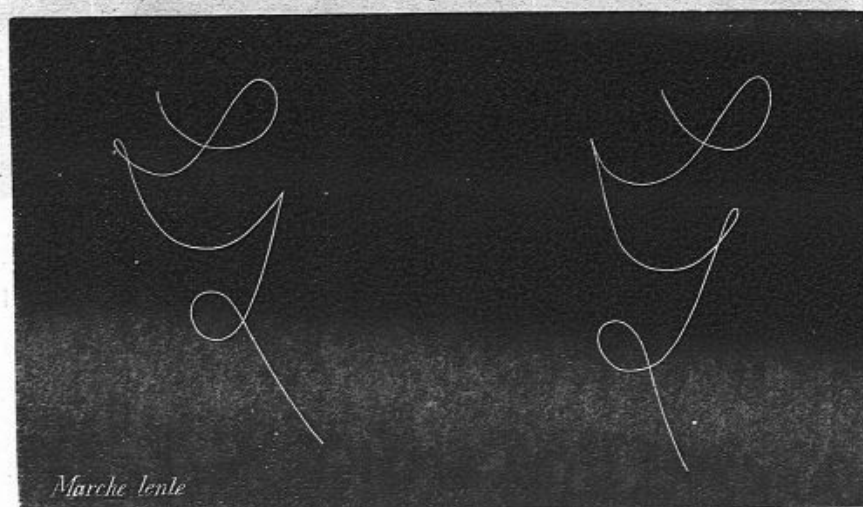
(3)

» Je substituai donc un appareil stéréoscopique à l'appareil photographique simple, et, plaçant au devant des objectifs un obturateur qui me permit de les ouvrir et de les fermer tous deux à la fois, je recueillis des trajectoires correspondant à un petit nombre de pas, dans la marche, la course et les différentes allures.

» Ces figures confirment pleinement les expériences de M. Carlet sur la trajectoire d'un point du tronc dans la marche; elles montrent, en outre, les variétés que présente la trajectoire d'un même point du corps aux autres allures. Vues au stéréoscope, elles donnent un relief parfait : on croirait avoir sous les yeux un fil de métal tordu en sens divers et répétant périodiquement les mêmes inflexions.

» Afin que le lecteur puisse juger de la netteté de cette sensation de relief, nous avons représenté dans la *fig. 1* les deux images stéréoscopiques correspondant à deux pas de marche lente.

Fig. 1.



Trajectoire stéréoscopique de la marche lente.

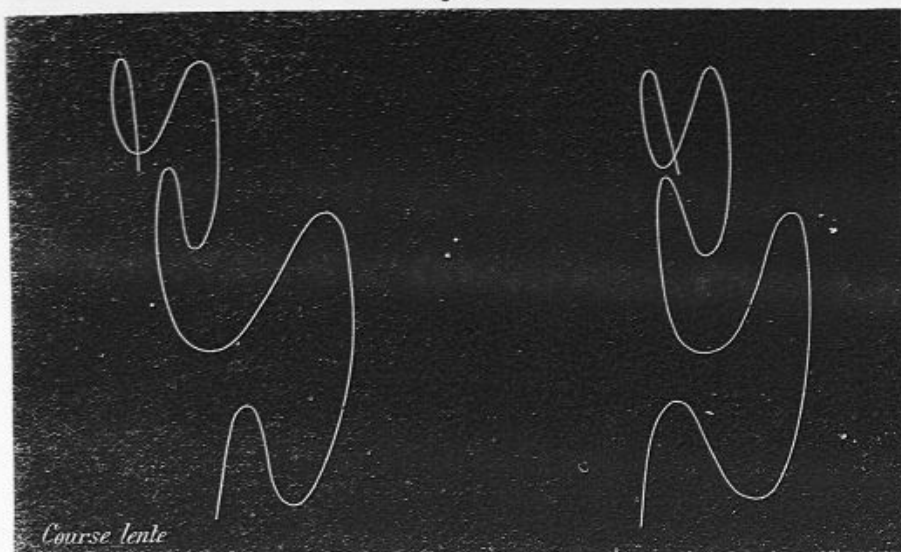
» Beaucoup de personnes ont acquis l'habitude de fusionner sans instrument deux images stéréoscopiques, et d'obtenir ainsi la sensation du relief; pour les autres, il sera facile de décalquer ces figures sur papier transparent et d'introduire les décalques dans le stéréoscope.

» Je n'insisterai pas sur les caractères particuliers de ces trajectoires; elles ne prennent, du reste, tout leur intérêt qu'autant qu'on les rattache

(4)

aux différents mouvements des membres dont elles constituent les *réactions*. Si je signale spécialement la représentation stéréoscopique de la trajectoire d'un point dans l'espace, c'est que cette méthode me paraît contenir la solution d'un grand nombre de problèmes cinématiques, fort difficiles sans

Fig. 2.



Trajectoire stéréoscopique de la course lente.

doute à résoudre autrement. Et, sans sortir du domaine de la Physiologie, on trouvera, dans la photographie stéréoscopique, le moyen d'analyser les réactions du cheval, les mouvements du corps de l'oiseau pendant le vol, etc.

» En effet, les réactions dures ou douces de certains chevaux à diverses allures ne tiennent certainement qu'à l'étendue ou aux inflexions plus ou moins brusques des mouvements du corps du cheval; déterminer la nature des mouvements qu'exécute un point brillant placé sur la selle d'un cheval, et établir la coïncidence des différentes inflexions de sa trajectoire avec les actions des membres, ce sera véritablement interpréter physiologiquement les *réactions du cheval*. Enfin, ces réactions qui se transmettent au cavalier sont certainement influencées, à leur tour, par les réactions du cavalier sur le cheval. Cette combinaison des effets de deux forces réagissant l'une sur l'autre était jusqu'ici inaccessible aux moyens d'observation connus; je me propose d'en faire prochainement l'objet de mes études.

» Enfin, toutes les fois que cela est nécessaire, on peut introduire dans ces courbes la notion du temps par les procédés ordinaires de la chrono-photographie, c'est-à-dire au moyen d'éclairages intermittents. La trajectoire prend alors l'aspect d'une courbe ponctuée dans laquelle l'intervalle entre deux points successifs correspond à un cinquantième de seconde. »

INSTITUT DE FRANCE.

ACADÉMIE DES SCIENCES.

Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. XLVI,
séances des 9 et 15 octobre 1882.

De la mesure des forces dans les différents actes de la locomotion;

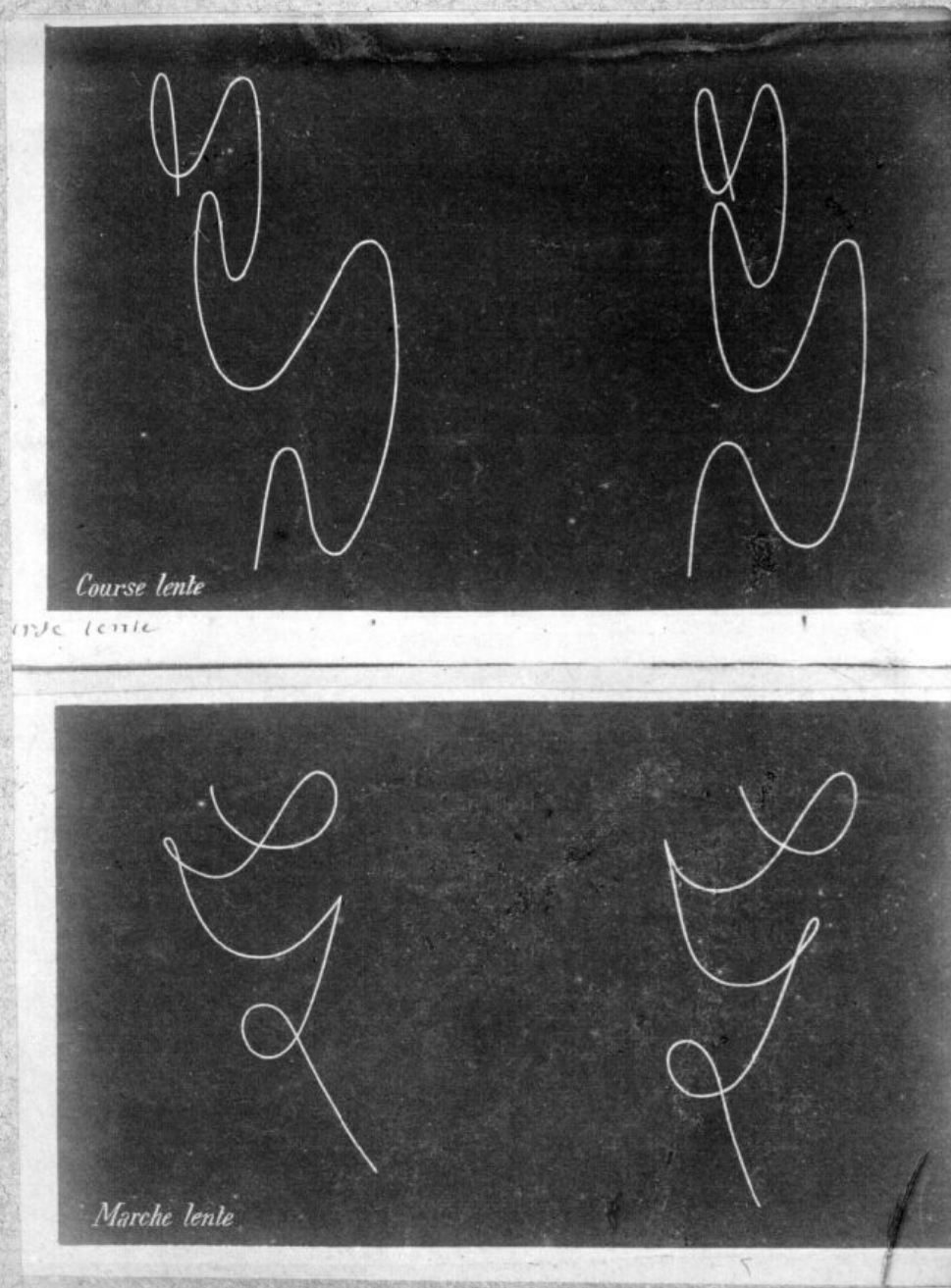
Par M. MAREY.

La photographie instantanée dont j'ai indiqué certaines applications nouvelles, pour l'analyse des actes de la locomotion animale, ne donne pas tous les éléments nécessaires à la connaissance de cette fonction des animaux. Elle ne nous fait connaître que les éléments qui se rapportent à la

GAUTHIER-VILLARS IMPRIMEUR-TYPIER DES COMPTES RENDUS DES SÉANCES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES.
Paris. — Quai des Augustins, 55. In-8° broché, 1 fr. 50.

» Mais ce qu'il faut connaître encore, c'est la force d'impulsion périodiquement imprimée à notre corps par nos actions musculaires : ces variations d'intensité, de direction,

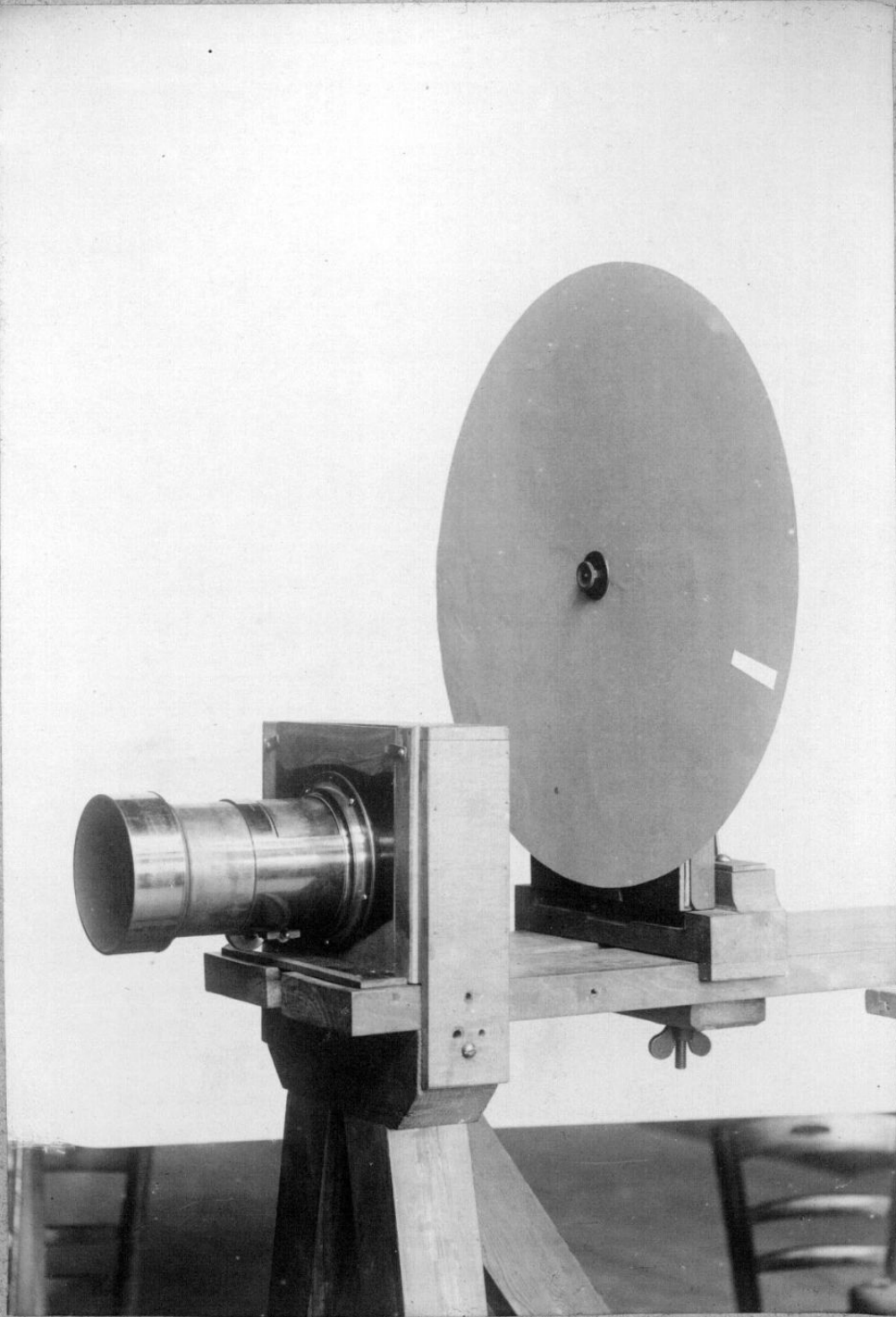
Analyse cinématique de la locomotion humaine
par la photographie



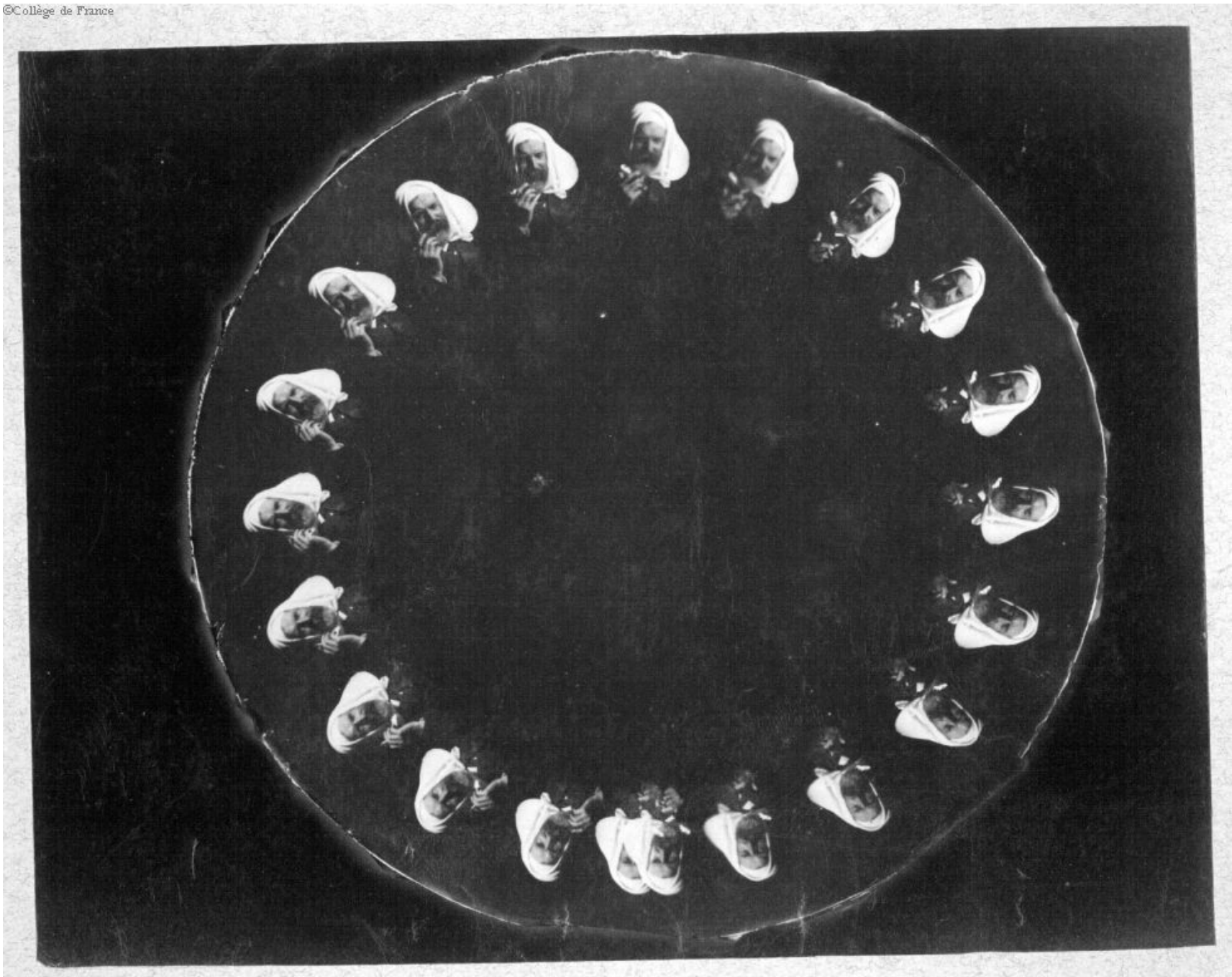
Perspective de la trajectoire du sacrum d'un homme qui marche ou court
en fuyant dans la direction des point de rue.

Les épreuves juxtaposées sont obtenues au moyen de deux appareils
photographiques parallèles de telle sorte que placés dans le stéréoscope,
elles donnent l'illusion du relief.

Analyse des mouvements par la photographie.



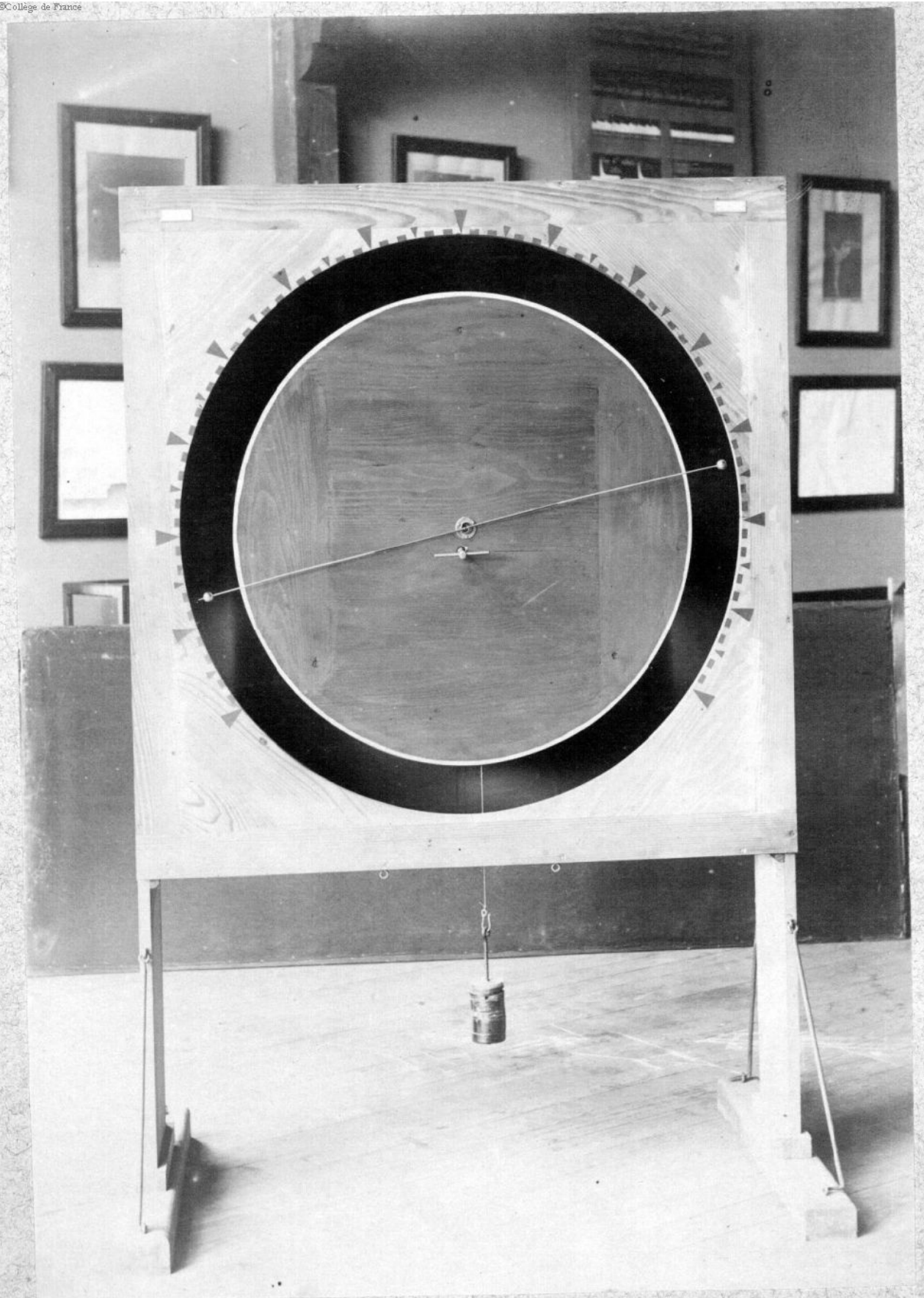
Appareil photographique à plaque tournante
permettant de dissocier les images
successives et d'analyser ainsi des
mouvements sur place





6 images successives d'un homme lançant une pierre
obtenues sur la même plaque à des intervalles de
temps très courts. au moyen d'un disque fenêtré
tournant au devant de six objectifs placés circulairement





*Appareil destiné à la mesure des durées absolues
des temps d'éclairement dans les obturateurs
photographiques.*

INSTITUT DE FRANCE.

ACADÉMIE DES SCIENCES.

Extrait des *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. XCVI,
séances des 8 et 15 octobre 1883.

De la mesure des forces dans les différents actes de la locomotion;

PAR M. MAREY.

« La photographie instantanée dont j'ai indiqué certaines applications nouvelles, pour l'analyse des actes de la locomotion animale, ne donne pas tous les éléments nécessaires à la connaissance de cette fonction des êtres vivants. Elle ne nous fait connaître que les éléments qui se rapportent à la Cinématique : ainsi, la trajectoire décrite dans l'espace par un point donné du corps, la vitesse que ce point possède à chaque instant, sont géométriquement définies sur la plaque photographique dans une série d'images successives.

» Mais ce qu'il faut connaître encore, c'est la force d'impulsion périodiquement imprimée à notre corps par nos actions musculaires : ce sont les variations d'intensité, de direction et de durée de cette force, cause immédiate des mouvements que les photographies nous font connaître.

» Une nouvelle méthode d'exploration est alors nécessaire ; il faut disposer d'un appareil dynamométrique indiquant à la fois les composantes verticale et horizontale de l'impulsion de nos muscles avec toutes les

M.

phases de leur intensité aux différents instants. Voici la disposition qui permet de réaliser ces mesures.

» L'organe essentiel du dynamomètre inscripteur que j'emploie est une poche de caoutchouc pleine d'air et susceptible de céder aux pressions qu'elle supporte. L'air de cette poche communique par un tube avec un tambour à levier inscripteur ⁽¹⁾. De ce genre étaient les semelles dynamométriques appliquées sous la chaussure, dans les expériences que j'ai faites autrefois sur la marche de l'homme.

» Pour remédier à l'insuffisance et à certaines imperfections de ces appareils, j'ai construit un dynamomètre inscripteur avec le concours de M. Demeny, préparateur à la Station physiologique du Collège de France, et de M. Otto Lund, mécanicien attaché à cet établissement. Voici la disposition de l'appareil.

» Le réservoir à air compressible affecte la disposition suivante. C'est un tube de caoutchouc à parois épaisses et roulé en spirale aplatie. L'extrémité centrale de ce tube est fermée; l'extrémité périphérique est ouverte; elle se met en rapport avec le tube d'un tambour à levier inscripteur. Cette spirale est soudée à deux feuilles de caoutchouc; le tout forme un disque aplati qui peut, sans s'écraser entièrement, supporter une pression assez forte.

» Plaçons ce disque sur le sol et recouvrons-le d'une planchette de bois. Si nous chargeons cette planchette de 1^{kg}, le disque subit un léger aplatissement; une partie de l'air qu'il renferme passe dans le tambour à levier et en élève le style à une certaine hauteur. Un second kilogramme, placé sur la planchette, comprime davantage le disque et soulève le style d'une nouvelle quantité. Ce style exprimera donc, par sa hauteur plus ou moins grande, les variations de la pression exercée sur le dynamomètre. Enfin, on inscrit les mouvements du style sur un cylindre tournant, ce qui donne une courbe dont les coordonnées correspondent, à chaque instant, à la valeur de la pression.

» Dans le dynamomètre que nous avons construit, neuf spirales de caoutchouc sont disposées, par séries de trois, sur une planchette carrée; toutes les spirales communiquent, par un tube collecteur, avec un tambour à levier inscripteur. Une autre planchette semblable recouvre ces spirales et est réunie, par quatre tiges boulonnées, à la planchette inférieure. L'ensemble de ces pièces constitue le dynamomètre inscripteur des

⁽¹⁾ Voir la *Méthode graphique*, p. 446.

pressions normales; nous l'appellerons *la tablette dynamométrique*. Toute pression exercée sur cette tablette produit une courbe dont les ordonnées sont positives.

» Les composantes horizontales des pressions obliques appliquées au dynamomètre s'inscrivent au moyen d'une disposition imaginée par M. Demeny.

» La tablette manométrique repose sur une série de galets et est guidée entre deux rouleaux qui ne lui permettent de se mouvoir que suivant une seule ligne, soit dans un sens, soit dans l'autre. Ces mouvements sont ceux que le pied d'un homme qui marche imprimera, soit en avant, soit en arrière, à la tablette sur laquelle il posera le pied. Ils sont très faibles à cause de la résistance du cylindre en caoutchouc qu'ils doivent comprimer; ils se transmettent à un tambour à air, puis à l'appareil inscripteur, par le mécanisme déjà indiqué ci-dessus.

» Cet instrument indique donc, à chaque instant, l'intensité des composantes verticale et horizontale de l'impulsion d'un membre sous une incidence quelconque ne dépassant pas l'angle de frottement.

» Théoriquement, si les déviations des styles inscripteurs sont proportionnelles à l'intensité des efforts et si les indications dynamométriques des pressions perpendiculaires et tangentielles au plan de l'instrument sont comparables entre elles, on peut reconstituer avec sa grandeur et sa direction la valeur de l'impulsion du pied qui, dans la marche ou la course, s'appuie sur le dynamomètre. En pratique, cet instrument ne donnant pas encore des courbes dont les ordonnées soient exactement proportionnelles à l'intensité des pressions exercées, nous ne lui demanderons que l'indication du sens dans lequel ces pressions se produisent. Cela suffit déjà pour faire des observations curieuses sur la façon dont les forces musculaires agissent dans la marche.

» Enfin, comme certains autres actes de la locomotion exigent qu'on mesure des efforts de traction, nous avons construit pour cet usage un dynamomètre basé sur le même principe, mais un peu modifié pour ces nouveaux besoins.

» A. *De l'appui des pieds sur le sol.* — Lorsqu'un poids est placé sur le dynamomètre, l'aiguille de l'instrument inscripteur s'élève à une certaine hauteur et s'y arrête, indiquant une pression positive constante qu'elle conserve indéfiniment. Mais, si un homme ou un animal est placé dans les mêmes conditions, pour peu qu'il ne se tienne pas complètement immobile, on voit le style inscripteur agité d'oscillations continuelles. Celles-ci expri-

ment que la force avec laquelle les pieds pressent sur le sol varie continuellement. Ces variations, tantôt positives et tantôt négatives, tiennent aux réactions des contractions musculaires dont les effets, tantôt s'ajoutent à ceux de la pesanteur et tantôt s'en retranchent. Le dynamomètre inscripteur permet de déterminer les différents actes qui donnent lieu à ces deux sortes de réactions.

» *Lorsqu'un acte musculaire a pour effet d'élever le centre de gravité de notre corps, ses réactions se transmettent de proche en proche à nos extrémités inférieures et créent un accroissement de pression positive sur le dynamomètre.*

» Ainsi, quand nous sommes accroupis et que nous nous relevons par l'extension de nos jambes ou bien lorsque, étant debout, nous nous élevons sur la pointe des pieds, dans ces deux cas, le dynamomètre accuse un accroissement de la pression verticale de nos pieds sur le sol. Ce surcroît de pression est d'autant plus intense que notre élévation est plus rapide.

» *Cet effet est suivi d'une action de sens inverse quand le mouvement d'élévation se ralentit, car alors la masse du corps animée d'une vitesse ascendante tend par son inertie à continuer son chemin en sens inverse de la pesanteur. Plus l'élévation a été brusque, plus l'effet de cette vitesse ascensionnelle est intense, il s'accuse au dynamomètre par une diminution de pression.*

» Enfin cette diminution de pression cesse quand notre vitesse est éteinte, et nous n'exerçons plus sur le dynamomètre que la pression qui dépend de notre pesanteur.

» La série des variations de pression que nous venons d'indiquer est exprimée dans la *fig. 1*, courbe A, par les inflexions successives de la courbe tracée. 0 correspond à la ligne tracée quand le dynamomètre n'est pas chargé, 1 exprime la pression positive due à notre seule pesanteur; 2 est l'accroissement de pression positive quand nous nous soulevons avec vitesse par le redressement de nos jambes; 3 correspond à la variation négative ou à la diminution de notre pression sur le sol par notre accélération négative qui, nécessairement, précède l'arrêt; enfin 4 est le retour de l'instrument au niveau qui correspond au poids de notre corps.

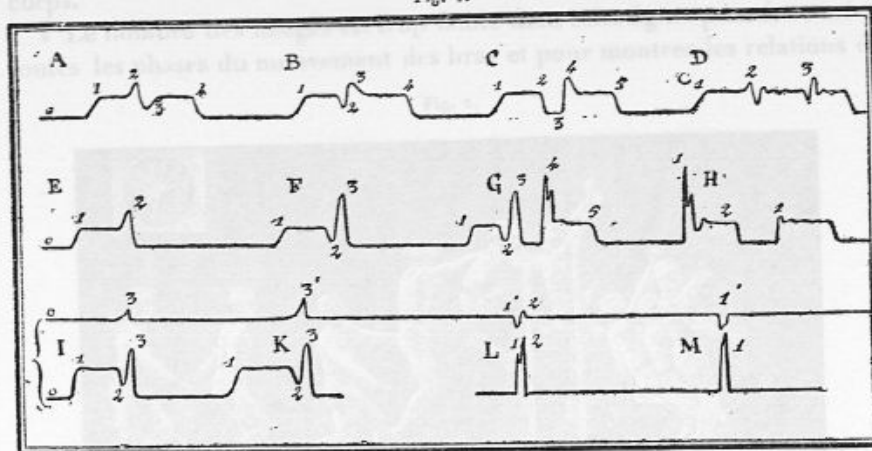
» Les mouvements des bras et ceux de la tête, lorsqu'ils s'accomplissent dans le sens vertical, donnent lieu à des réactions semblables, mais plus faibles. Ainsi, les bras étant abaissés, si on les élève brusquement, on constate, au moment de leur élévation, une augmentation de la pression des pieds sur le sol. Quand le mouvement ascensionnel s'arrête, la pression sur le dynamomètre diminue et tombe au-dessous du niveau qui correspond à

(5)

notre poids. Enfin, cet effet disparaît et l'instrument remonte au niveau qui exprime notre poids.

» De même, en tenant d'abord la tête fléchie et le menton appuyé contre la poitrine, si nous contractons soudainement les muscles postérieurs

Fig. 1.



du cou, la tête se relève brusquement et la réaction qui se produit s'accuse au dynamomètre par une pression positive, suivie, comme toujours, d'une variation inverse.

» Comme corollaire des expériences qui précèdent, nous pouvons conclure que *tout acte musculaire qui a pour effet d'abaisser notre centre de gravité produit une réaction qui diminue la pression de nos pieds sur le sol et s'accuse par un abaissement de la courbe du dynamomètre. Cet effet est suivi d'une variation de sens inverse due à la diminution de la vitesse acquise dans le mouvement d'abaissement.*

» L'expérience justifie complètement les propositions énoncées ci-dessus. Ainsi la courbe B est obtenue dans les conditions suivantes : 1 exprime le poids seul d'un homme monté sur le dynamomètre; en 2, les jambes sont fléchies et le centre de gravité s'abaisse : pendant ce temps la pression des pieds sur le sol est diminuée; en 3, le mouvement de flexion des jambes cesse, et la vitesse acquise du corps donne naissance à une variation positive.

» Si la flexion des jambes est assez brusque, le manomètre indique une pression nulle, car le corps se détache du sol pendant un instant. En effet, l'abaissement de notre corps sous l'action de la pesanteur a une certaine

M.

I.

vitesse déterminée : c'est le mouvement uniformément accéléré de tous les corps qui tombent. Or, si pendant un sixième de seconde par exemple, tandis que notre corps partant du repos ne tombe que de $0^m,13$, nos jambes, en se fléchissant, se raccourcissent de $0^m,30$; il existera à la fin de cet instant un intervalle de $0^m,17$ entre les pieds et le sol, et le dynamomètre ne subira aucune pression. Ainsi, dans la courbe C, 1 exprime le poids du corps; 2 la diminution de pression produite par la flexion brusque des jambes; 3 correspond au temps pendant lequel le dynamomètre est à zéro et le corps détaché du sol. Après cela, le corps continuant sa chute, les pieds rencontrent le dynamomètre qui, sous l'influence de la vitesse acquise, reçoit une pression positive 4, plus forte que celle qui tient à l'action de notre poids; 5 correspond au poids du corps.

» Pour cette flexion brusque des membres inférieurs, la contraction des muscles des jambes, prenant son point d'appui sur la masse du corps suspendue et tombant, doit produire une réaction qui accélère un peu la chute en élevant le centre de gravité, mais pas assez toutefois pour empêcher qu'il y ait séparation complète des pieds d'avec le sol et cessation complète de l'action de notre poids sur le dynamomètre.

» La courbe D représente les deux sortes de réactions entièrement opposées que l'on observe suivant qu'on élève les bras ou qu'on les abaisse.

» Le n° 1 correspond au poids du corps; 2 aux effets d'une brusque élévation du bras. La première réaction est positive; une variation inverse due aux effets de la vitesse acquise vient ensuite et l'on voit souvent une série d'oscillations alternatives se produire avec des intensités décroissantes jusqu'à extinction du mouvement.

» Le n° 3 exprime le mouvement inverse : on a commencé par un abaissement du bras : aussi la première indication du dynamomètre est-elle négative; elle est suivie, comme ci-dessus, par une série d'oscillations alternatives de sens inverse.

» Ces déplacements partiels n'exercent pas sur la pression des pieds contre le sol une influence aussi grande que les déplacements de totalité de la masse du corps. Toutefois, lorsqu'ils sont très brusques, les mouvements des bras ont des réactions assez fortes pour augmenter beaucoup ou atténuer notablement, suivant leur sens, les effets de la pesanteur. On trouve une application directe de ces notions quand on analyse le mécanisme du saut et de la course, dans lesquels les mouvements des bras concourent avec l'action des jambes pour en accroître l'effet.

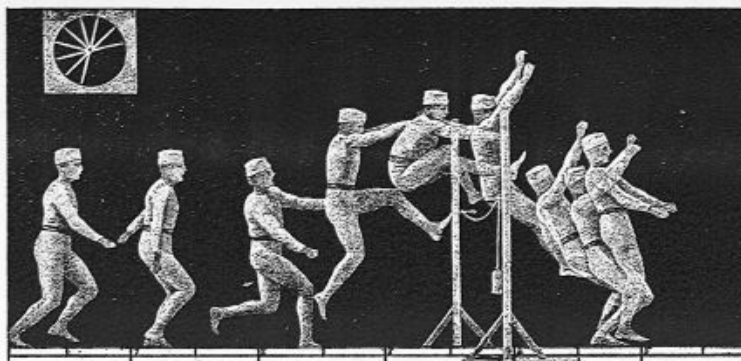
» Les photographies instantanées nous montrent que, dans le saut (*fig. 2*),

(7)

au moment où le pied quitte le sol, les bras ont fini leur mouvement d'élévation et s'arrêtent dans l'attitude horizontale (4^e image). A ce moment, la vitesse acquise des bras agit contrairement à l'action de la pesanteur, et son effet s'ajoute à la vitesse imprimée par la jambe à la masse du corps.

» Le nombre des images est trop faible dans cette figure pour faire saisir toutes les phases du mouvement des bras et pour montrer les relations de

Fig. 2.



Sauteur franchissant un obstacle.

ces mouvements avec ceux des jambes. D'autre part, le temps nous a manqué pour faire faire un cliché d'une série de photographies dans lesquelles les images du sauteur sont réduites à des lignes correspondant aux rayons osseux de ses membres. Sur ces figures, le nombre des images est tellement grand qu'il exprime pour ainsi dire toutes les phases successives du mouvement de chaque partie du corps (1). Elles montrent que, dans le saut, l'élévation des bras cesse au moment précis où les pieds se détachent du sol.

» En combinant les indications du dynamomètre avec celles que donne la photographie instantanée, on arrive à comparer sans cesse les forces qui agissent et les mouvements qui en résultent. Cette comparaison jette une vive lumière sur le mécanisme de la locomotion.

(1) Voir, pour l'explication de la méthode qui donne ces images, notre Note aux *Comptes rendus* (séance du 25 juin 1883). La figure que nous avons publiée dans cette Note ne représentait que les attitudes successives du membre inférieur droit. Pour donner au lecteur une idée de la multiplicité des documents que peut contenir une photographie de ce genre,

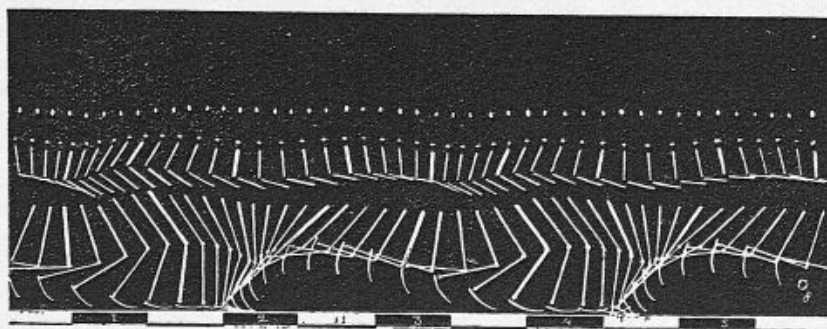
» On voit, par exemple, que l'action impulsive produite par la contraction volontaire des muscles de nos jambes est renforcée lorsque, par une flexion brusque préalable, nous avons mis ces muscles dans un état violent de tension. La réaction élastique de nos muscles semble alors s'ajouter aux effets de leur contraction volontaire.

» Ainsi, lorsque nous nous tenons accroupis sur le dynamomètre et que, partant de cette attitude, nous sautons à terre par la seule contraction de nos muscles extenseurs des jambes, nous ne pouvons sauter qu'à une faible distance. Le tracé dynamométrique 2 (*courbe E*) nous montre qu'après une réaction positive assez faible l'instrument retombe à zéro, quand notre corps quitte la tablette du dynamomètre.

» Si, au contraire, partant de l'attitude verticale, nous nous accroupissons brusquement pour nous élancer ensuite en étendant nos jambes, d'une part nous sautons beaucoup plus haut, comme le montrent les images photographiques, et d'autre part le dynamomètre accuse une réaction po-

nous reproduisons ici un exemple plus complet (*fig. 3*): c'est la série des attitudes successives d'un homme qui court et dont chacune des images est réduite aux rayons osseux de ses

Fig. 3.



Attitudes successives d'un coureur dont les images sont réduites aux rayons osseux des membres.

membres supérieur et inférieur du côté droit. Un point correspond à la position de l'épaule, un autre point plus gros à la position de l'oreille. De cinq en cinq, les images sont formées par des traits plus larges et des points plus gros. Ces images, plus fortement marquées, servent de points de repère pour établir la coïncidence entre les attitudes du bras, de la tête et de la jambe qui correspondent à un même instant. On y lit aisément la trajectoire du pied, du genou, du coude, de l'épaule et de la tête avec les chemins parcourus par ces points à chaque 60^e de seconde. On suit les phases de flexion et d'extension des membres supérieur et inférieur; on mesure enfin les accélérations et les ralentissements du mouvement de chacune des parties du corps à des instants successifs.

sitive beaucoup plus forte et par conséquent une impulsion plus vigoureuse donnée à notre corps. La courbe F, obtenue dans ce second cas, montre d'abord 2, la réaction négative due à la flexion de nos jambes, mais la réaction positive 3 qui suit ce premier temps et qui coïncide avec la détente élastique de nos muscles extenseurs s'ajoute aux effets de la contraction volontaire qui existait seule dans la courbe E. En outre, la hauteur à laquelle s'élève la courbe dynamométrique est beaucoup plus haute que celle qui mesure l'effort de nos muscles quand ceux-ci n'ont pas été préalablement tendus par la flexion.

» On comprend ainsi pourquoi, lorsqu'on exécute deux sauts successifs sur place, le second saut est sensiblement plus haut que le premier. C'est qu'aux effets de la contraction de nos muscles, sensiblement égale dans les deux cas, s'ajoute, pour le second saut, l'effet de la tension élastique des muscles extenseurs sur lesquels nous rebondissons comme sur une sorte de tremplin. Une partie du travail dépensé dans le premier saut est emmagasiné, au moment de la chute, dans l'élasticité de nos muscles et restituée dans le second saut.

» Ces considérations s'appliquent également au mécanisme de la course et doivent faire supposer qu'à chaque pas de course, quand une des jambes légèrement fléchie retombe sur le sol et se fléchit davantage par la vitesse acquise dans la chute du corps, une partie du travail de chute sera restituée, lors de la prochaine extension de cette jambe, au commencement du pas suivant.

» L'espace nous manque pour analyser en détail les autres courbes de la *fig. 1*; il suffira d'indiquer les actes qui ont donné naissance à chacune d'elles. La courbe G est produite par un saut dans lequel on retombe sur les talons; la forte ascension 5 est produite au moment de la chute. H représente deux manières de tomber en sautant d'un lieu élevé sur le dynamomètre: la première courbe 1 est produite par une chute sur les talons; 2 exprime le poids du corps; la seconde courbe 1 est produite par une chute sur la pointe des pieds avec flexion graduelle de la jambe sur la cuisse, destinée à amortir le choc.

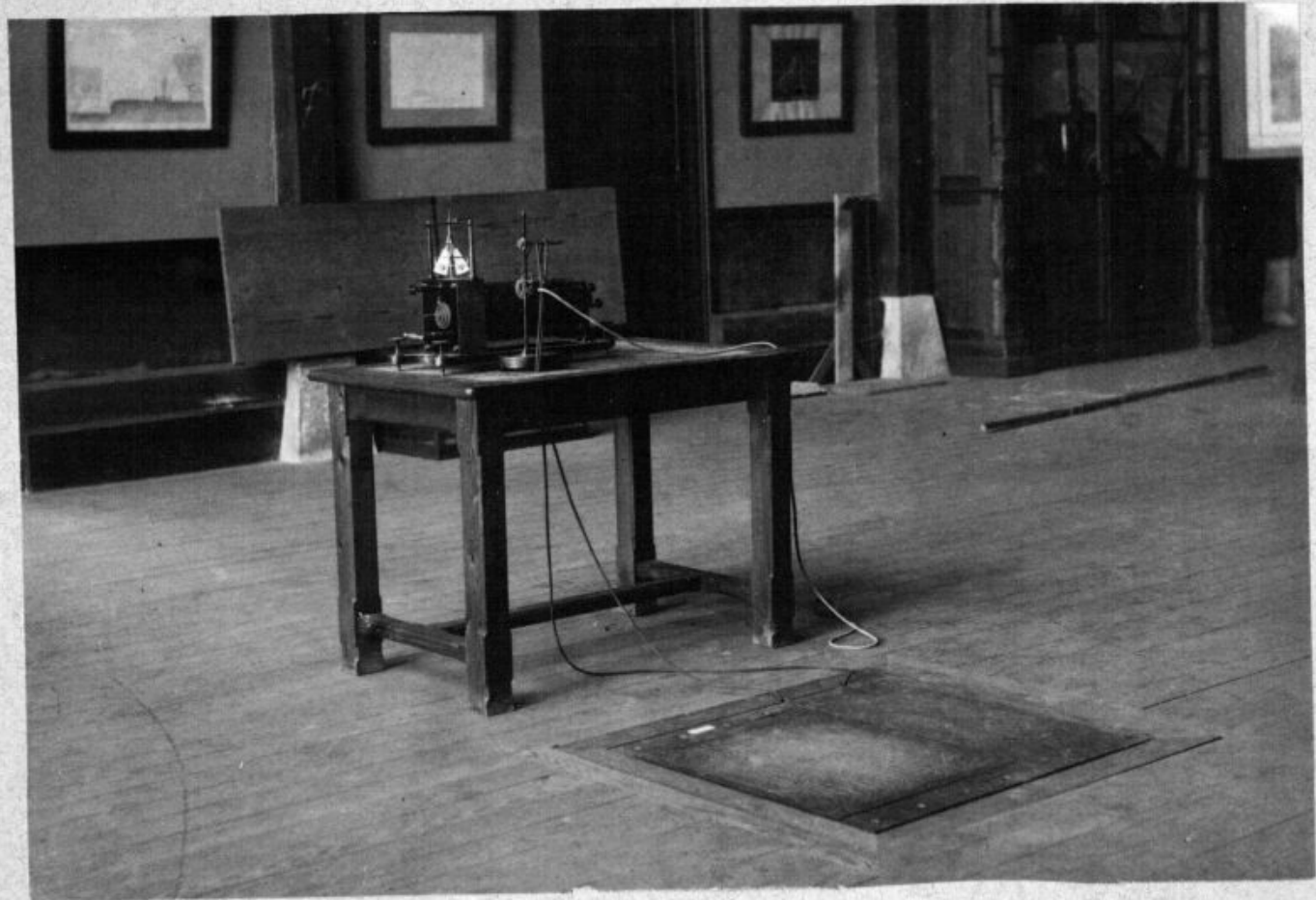
» Enfin les lignes inférieures du tableau représentent, réunies par une accolade, la courbe des pressions qui s'exercent tangentiellement au plan du terrain et celle des pressions perpendiculaires à ce plan. En I, la courbe inférieure, pareille à celle de F, est la pression sur le sol dans un saut en longueur exécuté de pied ferme, c'est-à-dire sans élan préalable; la ligne supérieure montre la composante horizontale positive qui se produit dans

ce saut, au moment du coup de jarrets. En K les mêmes actes se produisent, mais le saut a été plus long; aussi la composante horizontale est-elle plus grande : elle se traduit par une courbe plus élevée. L correspond à un saut en hauteur précédé d'une course, M à un saut en longueur également précédé d'une course.

» Nous bornons ici cette Note, qui n'avait pour objet que de montrer le parti que l'on peut tirer de l'emploi combiné de deux méthodes dont l'une donne les phases du mouvement et l'autre les phases de la force par laquelle ce mouvement est produit. Les applications de ces deux méthodes combinées trouveront leur place dans les expériences que nous nous proposons de faire sur les différents modes de la locomotion animale. »

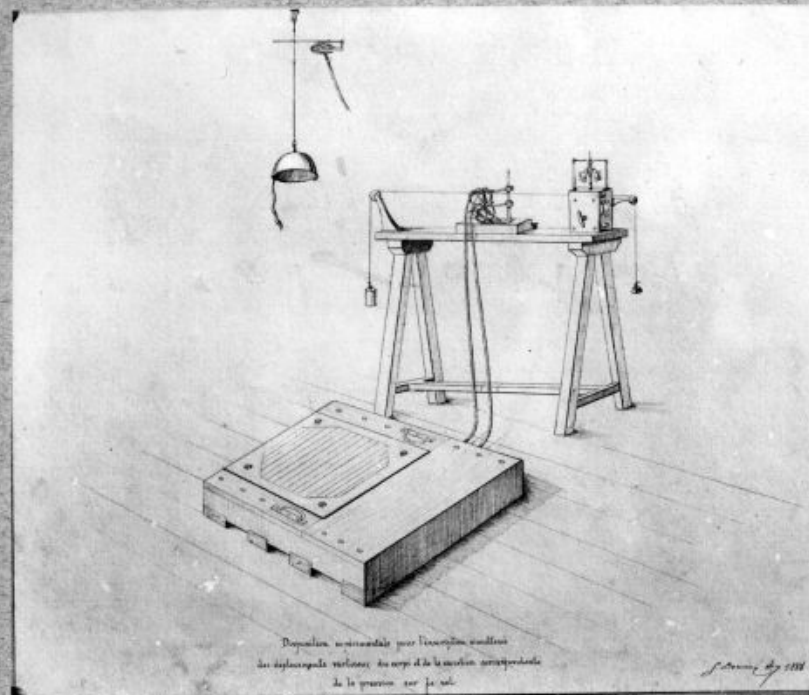
Locomotion humaine

Analyse dynamique



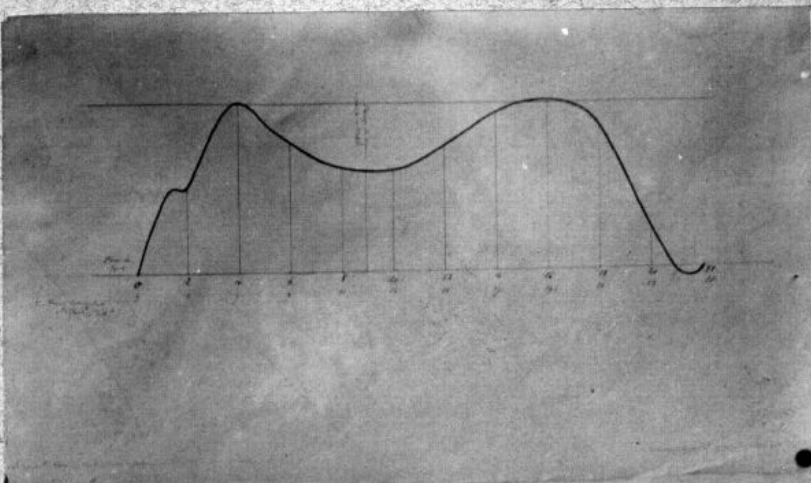
Dynamographe et appareils enregistreurs disposés
pour recueillir les traces de l'appui du pied en fonction du temps

Locomotion humaine

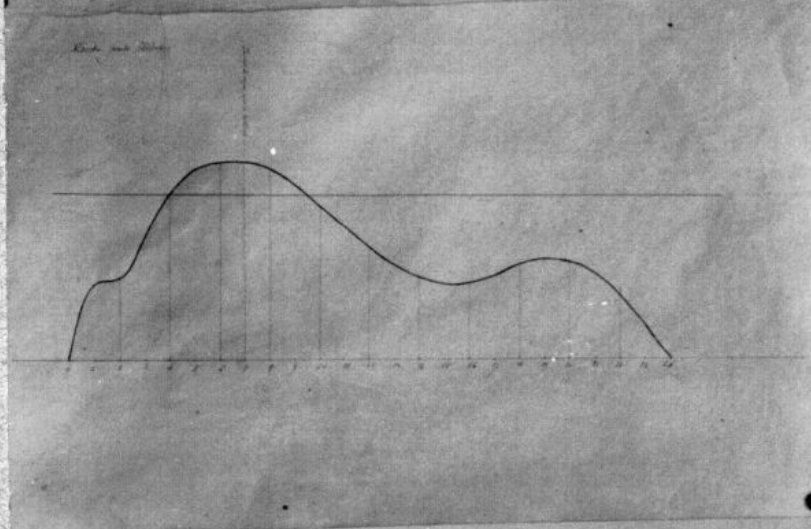


*Disposition expérimentale pour inscrire simultanément les déplacements verticaux du corps et la variation
Correspondante de la pression des pieds sur le sol dans des sauts verticaux*

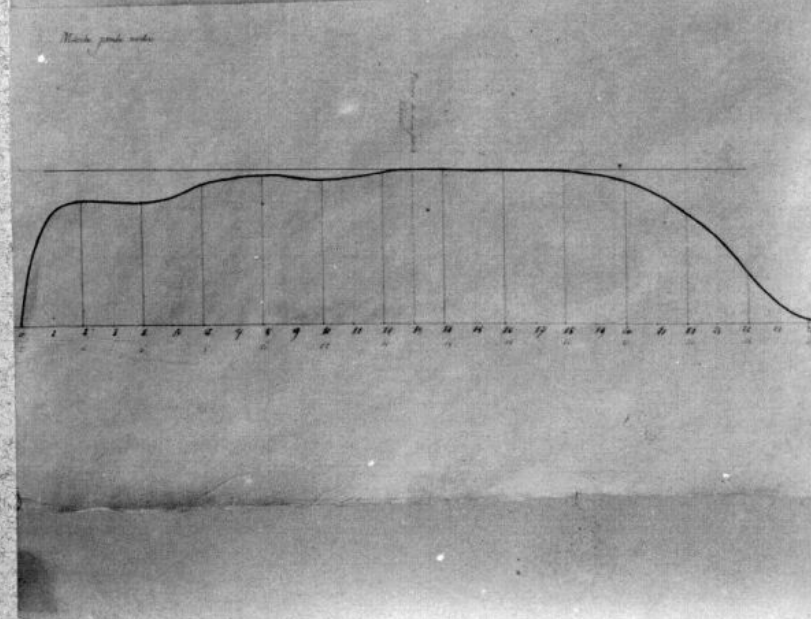
1



2



3

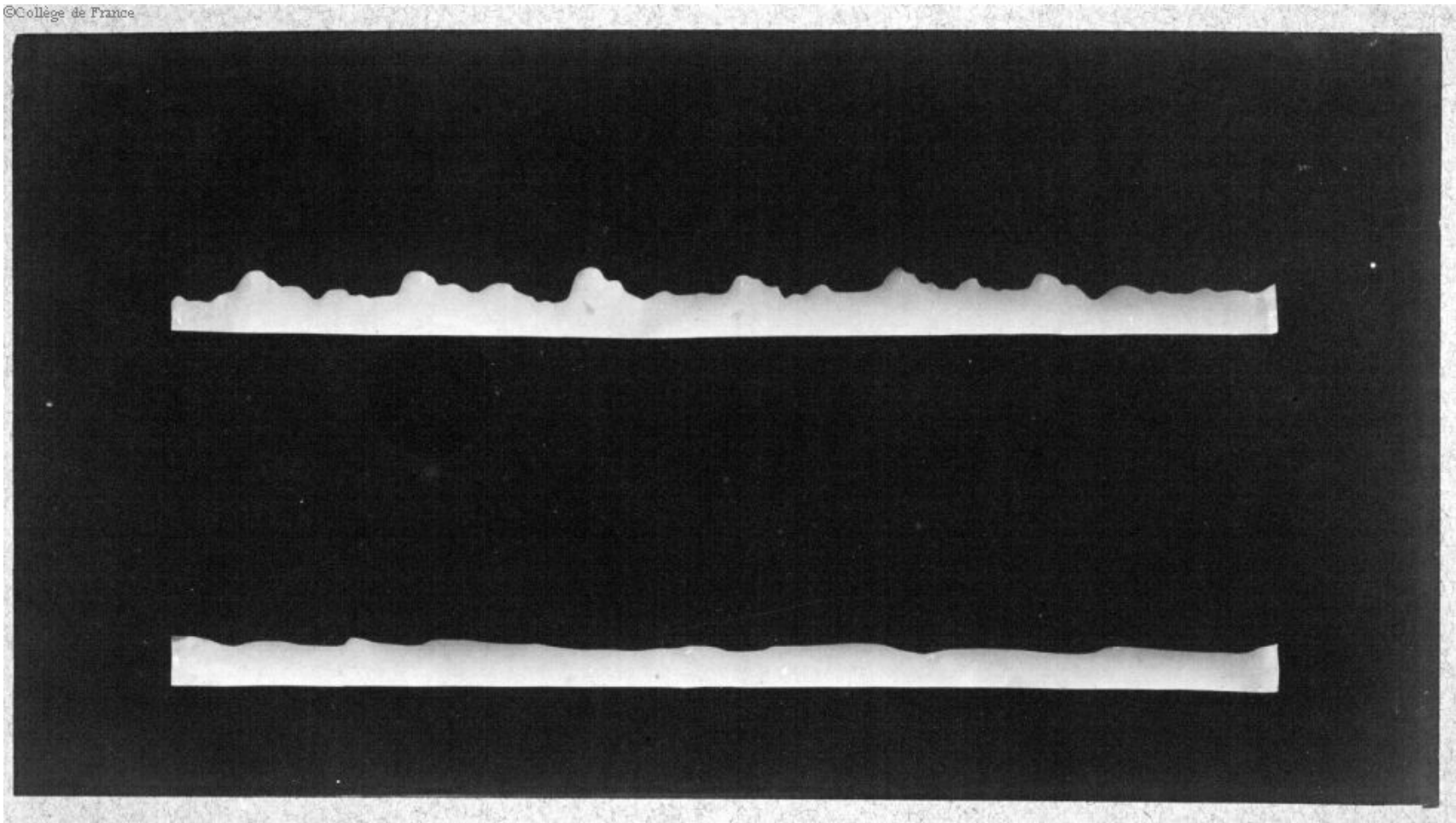


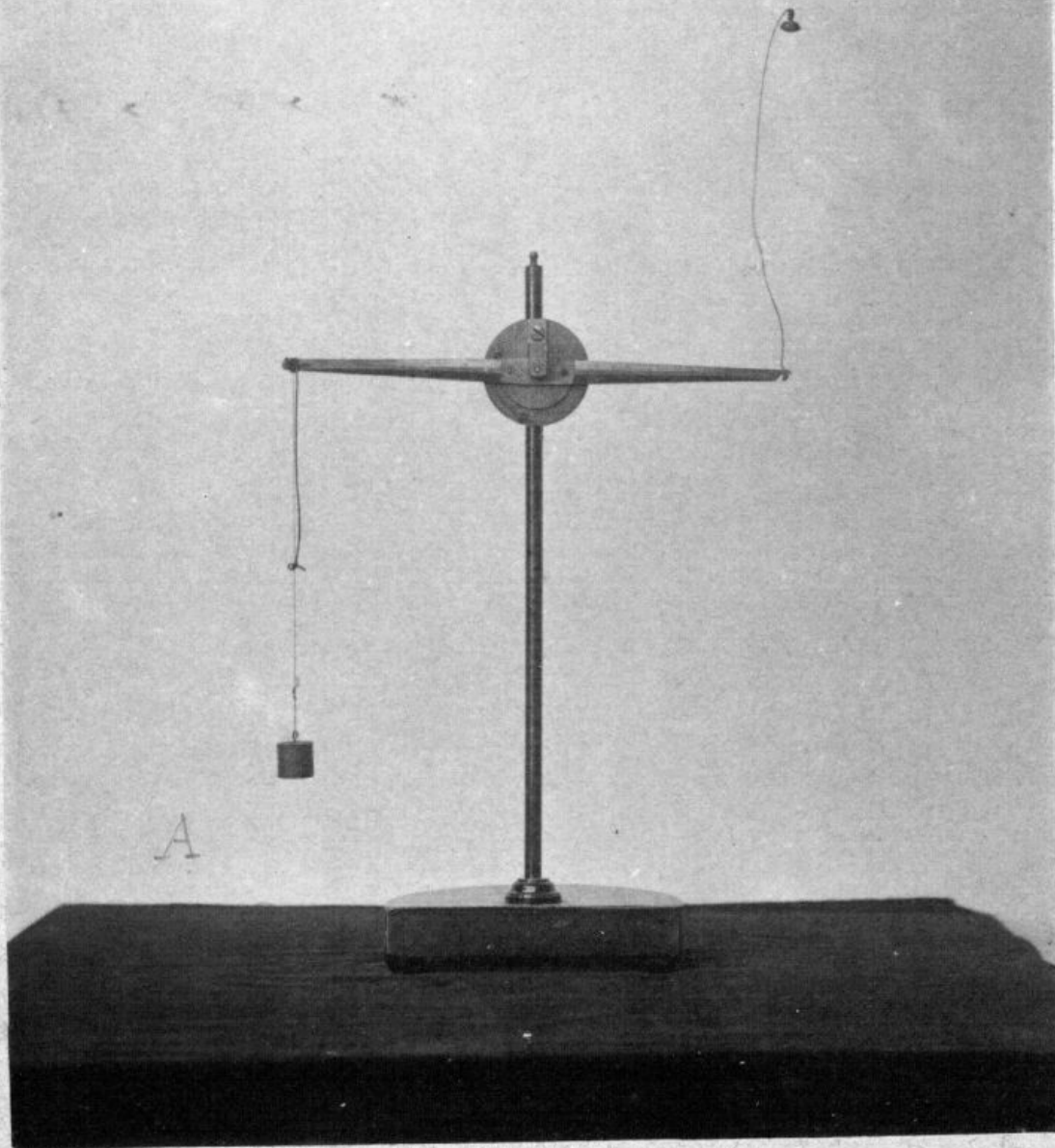
Formes différentes de la courbe de la pression normale du pied
dans différentes allures.

- 1 - Marche normale
- 2 - Marche jambe fléchie
- 3 - Marche jambe raidie



*Dynamomètre inscripteur disposé pour
étudier la traction des voitures dans différentes conditions
d'attelage.*

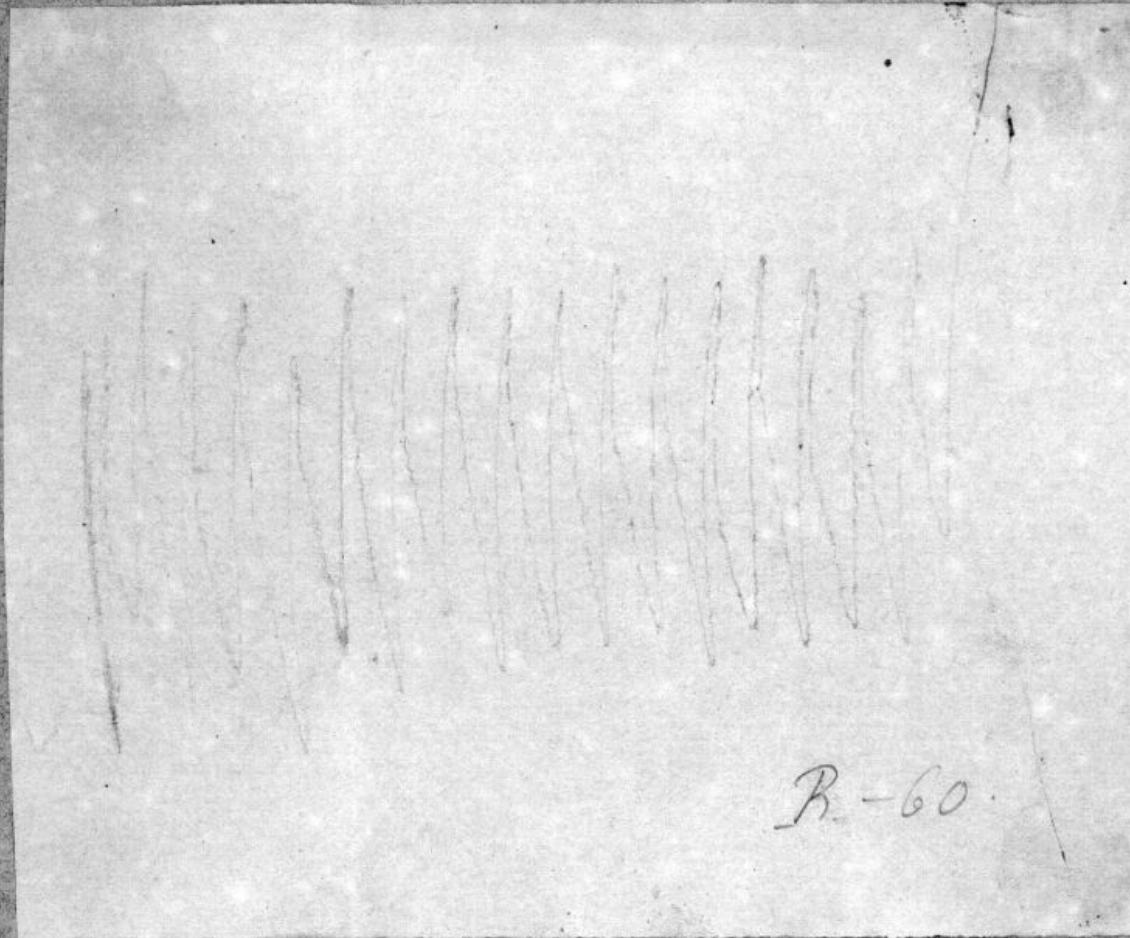




Le choc produit par la
 chute de la masse a
 à la masse A n'est
 efficace pour soulever
 celle-ci que si la masse
 A est reliée au fléau
 par un fil de caoutchouc.
 Un encliquetage fixé
 à l'axe du fléau permet
 de totaliser ces
 petites hauteurs de
 soulèvement à
 chaque chute
 de la masse a .

• Appareil servant à montrer l'influence de l'élasticité
 sur la transmission d'un choc à une masse

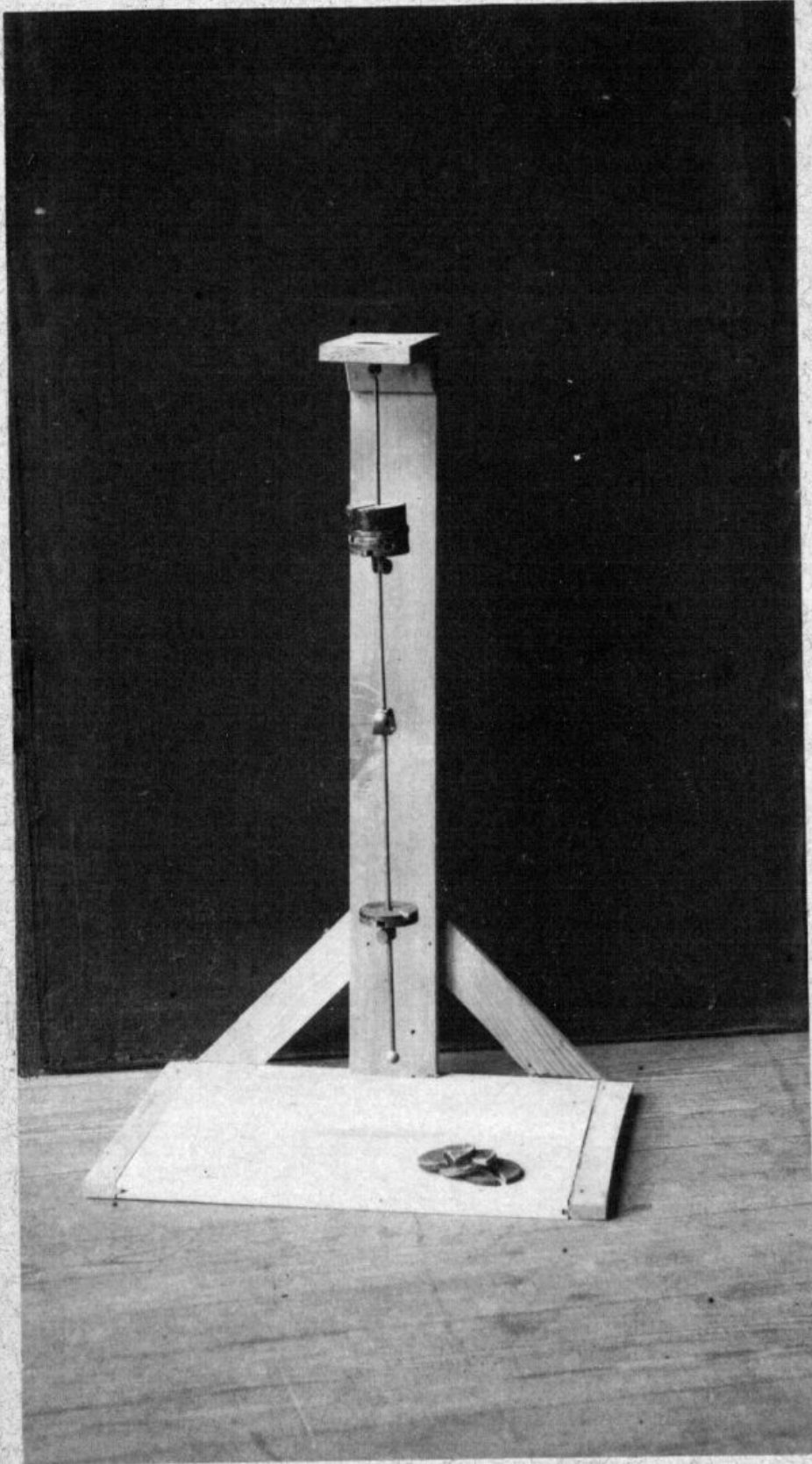
Locomotion Humaine

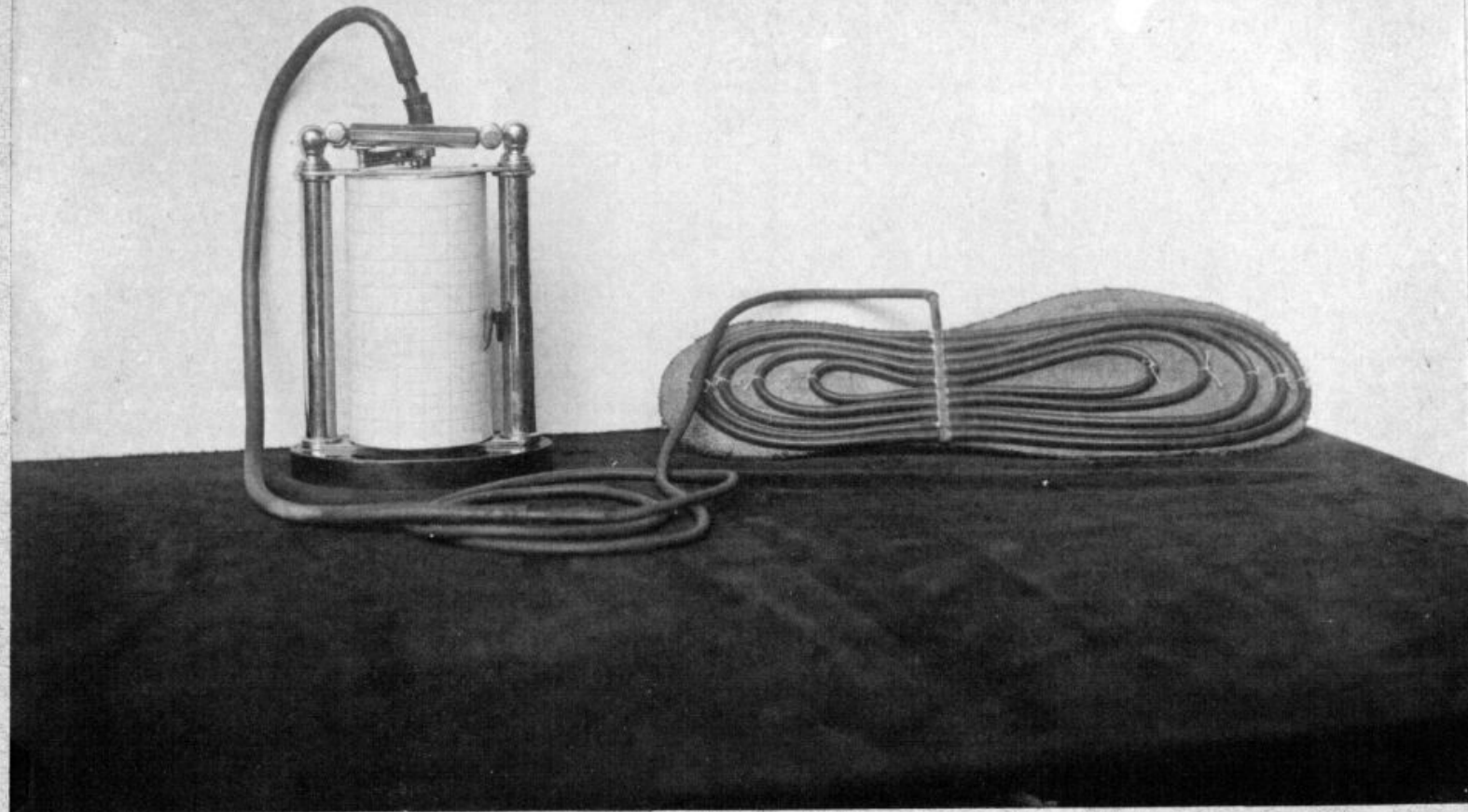


R-60

*Inscription directe des mouvements du tronc suivant la verticale
dans la marche de l'homme*

Double pendule pour l'étude cinématique
de l'oscillation du moyen de la photochronographie
et la comparaison de cette oscillation à celle du membre inférieur
de l'homme pendant la locomotion





Odographe portatif communiquant avec une Semelle exploratrice et donnant
la variation du nombre des pas en fonction du temps

INSTITUT DE FRANCE.

ACADÉMIE DES SCIENCES.

Extrait des *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. XCIX ;
séance du 3 novembre 1884.

Études sur la marche de l'homme au moyen de l'odographe;

PAR M. MAREY.

« Les études que j'ai entreprises à la *Station physiologique* sur la locomotion de l'homme doivent conduire à des applications pratiques; en voici quelques-unes. Dans les marches militaires, par exemple, il serait important de savoir quelles sont les conditions les plus favorables pour que les soldats fournissent avec le moins de fatigue possible une longue étape ou bien parcourent rapidement une certaine distance.

» A cet égard, rien n'est indifférent : l'expérience montre que le rythme commandé au soldat par le tambour ou le clairon, que la forme de ses chaussures ou la charge qu'il porte imposent à son pas une certaine longueur et modifient ainsi la vitesse de l'allure. D'autre part, la taille d'un homme, la longueur relative de son pied et de sa jambe influent sur sa façon de marcher. Enfin, l'exercice méthodiquement dirigé modifie rapidement les aptitudes du marcheur, et il est du plus haut intérêt d'estimer d'une manière précise les résultats obtenus et de mesurer le progrès accompli.

M

» Ces mesures ne sauraient être prises dans une marche d'ensemble où chaque homme, se conformant à l'allure des autres, prend une sorte de pas moyen qui n'est pas le sien propre. C'est donc par une série d'observations individuelles faites sur un grand nombre de marcheurs qu'on doit arriver à des déterminations précises. Et comme pour l'observation de chaque individu il faut opérer sur un parcours assez long, l'observateur qui entreprendrait une pareille étude devrait y consacrer un temps énorme et se condamner à la besogne fastidieuse de pointer au chronomètre l'instant du départ et celui de l'arrivée, de compter, sans commettre d'erreur, le nombre des pas effectués dans chacune des épreuves successives. C'est pourquoi il m'a paru indispensable de chercher une disposition mécanique capable d'enregistrer automatiquement toutes ces observations, ne laissant au physiologiste que la tâche de tracer le plan des expériences à faire et d'en interpréter les résultats.

» Il s'agit d'abord d'inscrire les espaces parcourus en fonction du temps. Un instrument que j'ai présenté il y a quelques années, l'*odographe*, se prête fort bien à cet usage. Le principe en est fort simple : sur un cylindre qui tourne d'un mouvement uniforme, au moyen d'un appareil d'horlogerie, on étend un papier divisé millimétriquement. D'autre part, un style qui se meut en ligne droite, parallèlement à la génératrice du cylindre, trace sur le papier et s'avance d'une quantité constante pour chaque unité de chemin parcouru.

» Dans sa disposition primitive, l'*odographe* s'adaptait aux voitures et chaque tour de roue (représentant un chemin toujours égal) provoquait un petit mouvement de progression du style.

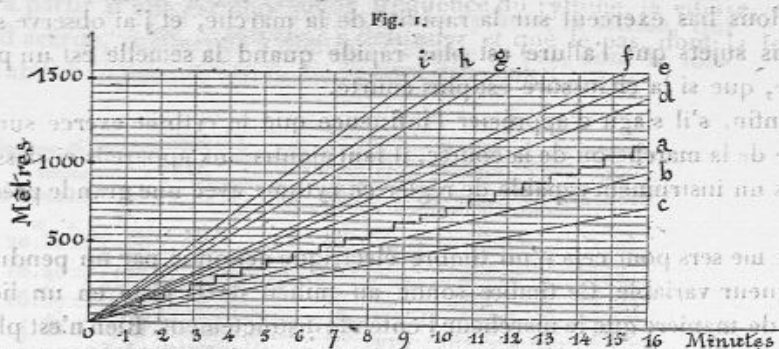
» D'après cette disposition, on conçoit que la ligne tracée au bout d'un certain parcours était plus ou moins inclinée sur l'axe des abscisses, suivant la vitesse du véhicule ; elle était droite si cette vitesse s'était maintenue uniforme, courbée en sens divers s'il y avait eu des accélérations ou des ralentissements, et dans ce cas, la tangente à l'un des points de la courbe exprimait la vitesse de l'allure à l'instant correspondant.

» Une modification dut être apportée à l'*odographe* puisque la progression du style devait s'effectuer, non plus à chacun des tours d'une roue, mais chaque fois qu'un marcheur aurait parcouru un certain nombre de mètres. Comme le champ d'expériences est une piste circulaire et horizontale de 500^m de circonférence, j'établis autour de cette piste une ligne télégraphique dont les poteaux sont distants de 50^m, et j'adaptai à chacun de ces poteaux un interrupteur du courant. Chacune des interrup-

(3)

tions se produit au moment où le marcheur a parcouru 50^m ; elle provoque un petit mouvement du style de l'odographe qui est placé au loin dans une chambre.

» La *fig. 1* montre en *a* un des tracés obtenus; comme la progression du style est intermittente et ne se produit qu'au passage du marcheur devant un des poteaux, la ligne tracée est formée d'une série d'inflexions en forme d'escalier dont toutes les marches auraient une hauteur constante (un millimètre), car cette hauteur correspond à un chemin constant (50^m), mais dont la profondeur, horizontalement comptée, varie avec la vitesse de



a, tracé de l'odographe; homme marchant au rythme de 60 pas à la minute.

b, tracé réduit à une droite, homme marchant au rythme de 60 pas avec une surcharge de 20^m .

c, d, e, f, même sujet, rythmes 40, 70, 80, 85.

g, h, i, courses de résistance de différents sujets.

l'allure, c'est-à-dire avec le temps employé pour parcourir 50^m . Pour estimer la durée absolue d'une expérience, il faut savoir que la rotation du cylindre entraîne le papier avec une vitesse de $0^m,30$ à l'heure, soit $0^c,5$ par minute.

» Afin de simplifier la représentation des tracés, on peut remplacer la ligne sinueuse par une courbe qui en joindrait tous les angles saillants par en haut ou par en bas. C'est ainsi que sont représentées les courbes des autres expériences *bcd...i*.

» Cette disposition expérimentale suffit déjà pour un certain nombre d'études : elle permet, par exemple, de déterminer pour chaque individu son allure propre, c'est-à-dire le temps qu'il met à parcourir un ou plusieurs kilomètres à son pas habituel. On voit que, chez certains sujets, la marche est d'une étonnante uniformité, tandis que chez d'autres elle s'accélère sensiblement pendant les premiers quarts d'heure, puis se ralentit peu à peu sous l'influence de la fatigue.

» D'autres fois, il s'agit de comparer, au point de vue de la vitesse ou du fond, des marcheurs ou des coureurs différents. Il n'est pas besoin de faire marcher ou courir ensemble ces différents individus, comme cela se pratique dans les épreuves ordinaires où l'amour-propre supplée souvent aux aptitudes physiques. Mais on recueille pour chacun de ces sujets sa feuille odographique et l'on peut faire à un moment quelconque la comparaison des tracés. On voit sur la *fig. 1*, en *g, h, i*, trois tracés qui montrent que des sujets différents ont fait en courant trois tours de piste, soit $1^{\text{km}},5$, l'un en $9^{\text{m}}25^{\text{s}}$, l'autre en $10^{\text{m}}35^{\text{s}}$, le troisième en $11^{\text{m}}34^{\text{s}}$.

» J'ai constaté par des expériences analogues l'influence favorable que des talons bas exercent sur la rapidité de la marche, et j'ai observé sur certains sujets que l'allure est plus rapide quand la semelle est un peu longue, que si la chaussure est plus courte.

» Enfin, s'il s'agit d'apprécier l'influence que le rythme exerce sur la vitesse de la marche ou de la course, il faut ajouter aux appareils ci-dessus décrits un instrument capable de régler ce rythme avec une grande précision.

» Je me sers pour cela d'un timbre électrique actionné par un pendule à longueur variable. Ce timbre sonne au milieu de la piste en un lieu élevé, de manière que le marcheur l'entende distinctement. Rien n'est plus facile que de régler son allure sur le rythme du timbre, et comme on sait exactement le nombre des battements du pendule par minute, on en déduit le nombre de pas effectués dans le temps employé à faire un tour de piste, c'est-à-dire 500^{m} . De cette mesure ressort à son tour celle de la longueur moyenne du pas (¹).

» Cherchons d'abord quelle est l'influence d'un rythme plus ou moins accéléré sur la vitesse de l'allure.

» Nous convenons, par exemple, que, à chaque sonnerie du timbre, le pied droit frappera sur le sol; on aura donc fait, en un tour de piste, autant de doubles pas qu'il y a eu de coups du timbre. En commençant par un rythme lent, 40 coups à la minute, et en accélérant le rythme dans une série d'expériences successives, de manière à faire 45, 50,

(¹) En effet, supposons que la marche soit faite au rythme de 65 doubles pas à la minute, et que 1000^{m} aient été parcourus en $9^{\text{m}}22^{\text{s}}$. Le nombre des pas sera $\left(9 + \frac{22}{60}\right) \times 65 = 609$ pas doubles. Or, si 1000^{m} correspondent à 609 pas doubles, chaque double pas aura pour longueur $1^{\text{m}},67$.

(5)

55, ... doubles pas à la minute, on voit que le temps nécessaire à parcourir un même chemin change d'une expérience à l'autre. Or le rapport de la vitesse au rythme de la marche est assez compliqué.

» Les frères Weber avaient cru pouvoir formuler comme une loi que les pas sont d'autant plus longs que le rythme de la marche est plus rapide; mais cette formule est trop générale, ainsi qu'on va le voir par l'expérience suivante.

» On a fait à chaque épreuve trois tours de piste, afin d'obtenir avec plus d'exactitude la longueur du pas moyen ⁽¹⁾. Le Tableau ci-dessous montre que, à partir d'une certaine fréquence du rythme, la vitesse, qui s'était d'abord accrue, commence à diminuer et que le pas, dont la longueur avait d'abord augmenté, est devenu plus court :

Nombre de secondes employées à parcourir 154 ^m .	Rythme ou nombre de doubles pas à la minute.	Nombre des pas dans 154 ^m .	Longueur du pas double.
20.30 = 1230 ^m	60	1135	1,35
18.40 = 1120	65	1120	1,37
16.27 = 987	70	1062	1,45
14.38 = 878	75	1013	1,51
13.52 = 832	80	1024	1,50
13. 3 = 783	85	1034	1,49
14. 1 = 841	90	1164	1,32

» On peut rendre plus claire la signification de ce Tableau en construisant les courbes de la vitesse de l'allure et de la longueur du pas en fonction du rythme de la marche. La *fig. 2* montre bien cette relation. On y voit :

» 1° Que la longueur du pas s'accroît peu jusqu'au rythme 65, à partir duquel le pas s'allonge jusqu'au rythme 75, où il décroît ;

» 2° Que la vitesse de la marche augmente avec l'accélération du rythme jusqu'à 85 pas à la minute; à partir de ce chiffre, l'accélération du rythme ralentit la marche.

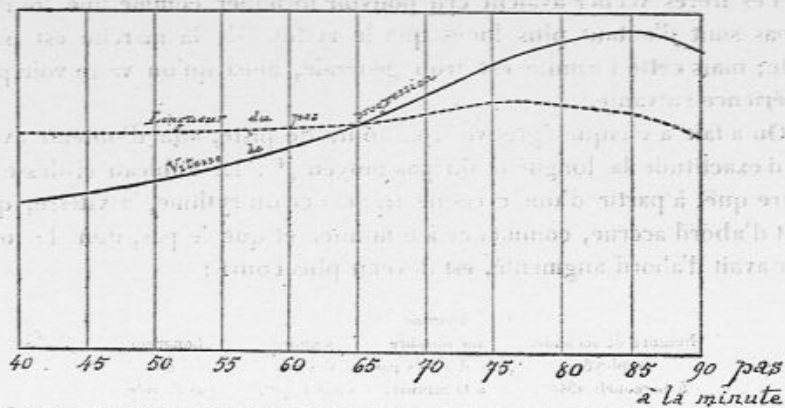
» Ainsi il y a une limite, à déterminer par l'expérience, limite à partir de laquelle il n'y a que désavantage à presser la mesure du tambour ou du clairon qui règle le pas du soldat. Sur ce point comme sur beaucoup d'au-

(1) L'espace réellement parcouru était de 1537^m,6, ce qui tient à ce que la marche ne s'effectuait pas dans l'axe de la piste, dont la longueur est de 500^m, mais à sa circonférence extérieure.

(6)

tres, il faudra des expériences répétées pour déterminer les conditions les plus favorables à l'utilisation des forces humaines.

Fig. 2.



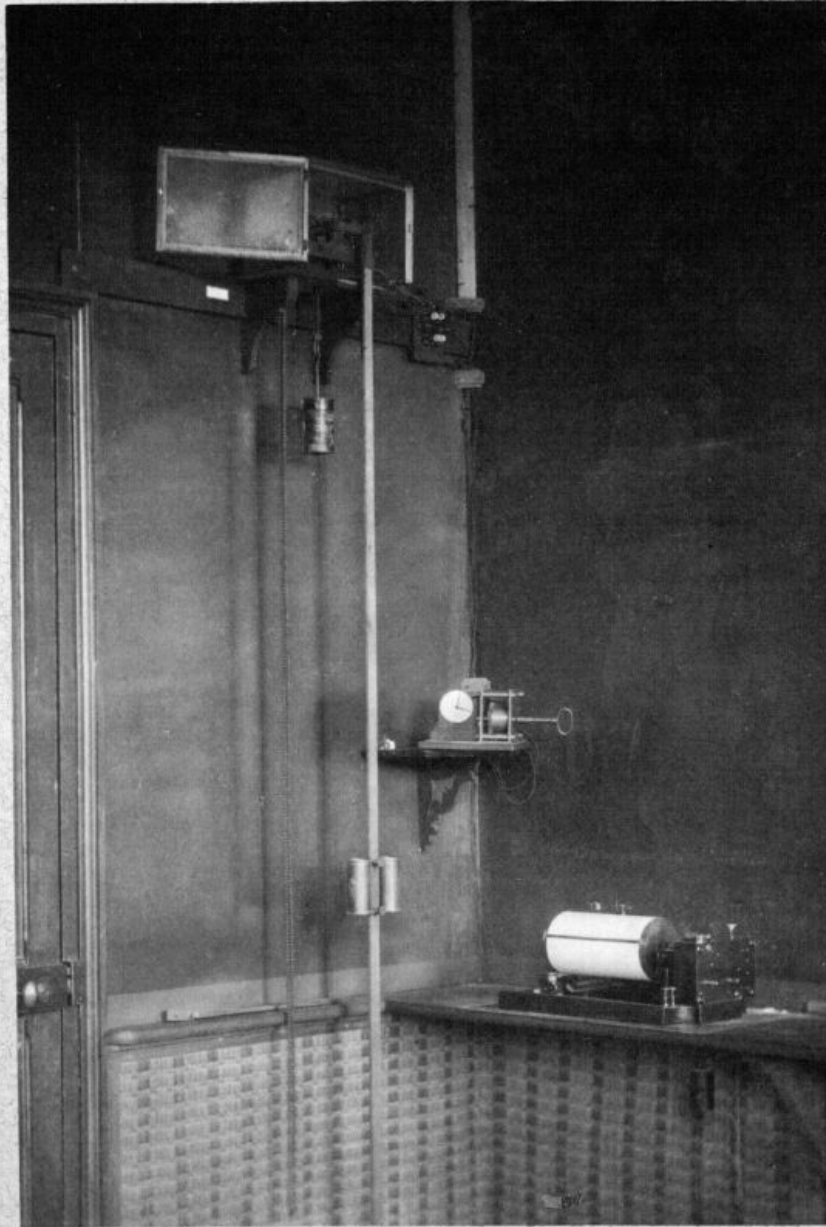
Courbes de la vitesse de la marche et de la longueur du pas en fonction du rythme de l'allure.

» Quant à l'interprétation physiologique des influences qui modifient la vitesse de l'allure ou la longueur du pas, elles ressortent déjà assez clairement de l'analyse photographique du mouvement du marcheur. Mais il y a tout avantage à ajourner cette interprétation jusqu'à ce que les expériences dont je viens de tracer le programme soient terminées. »

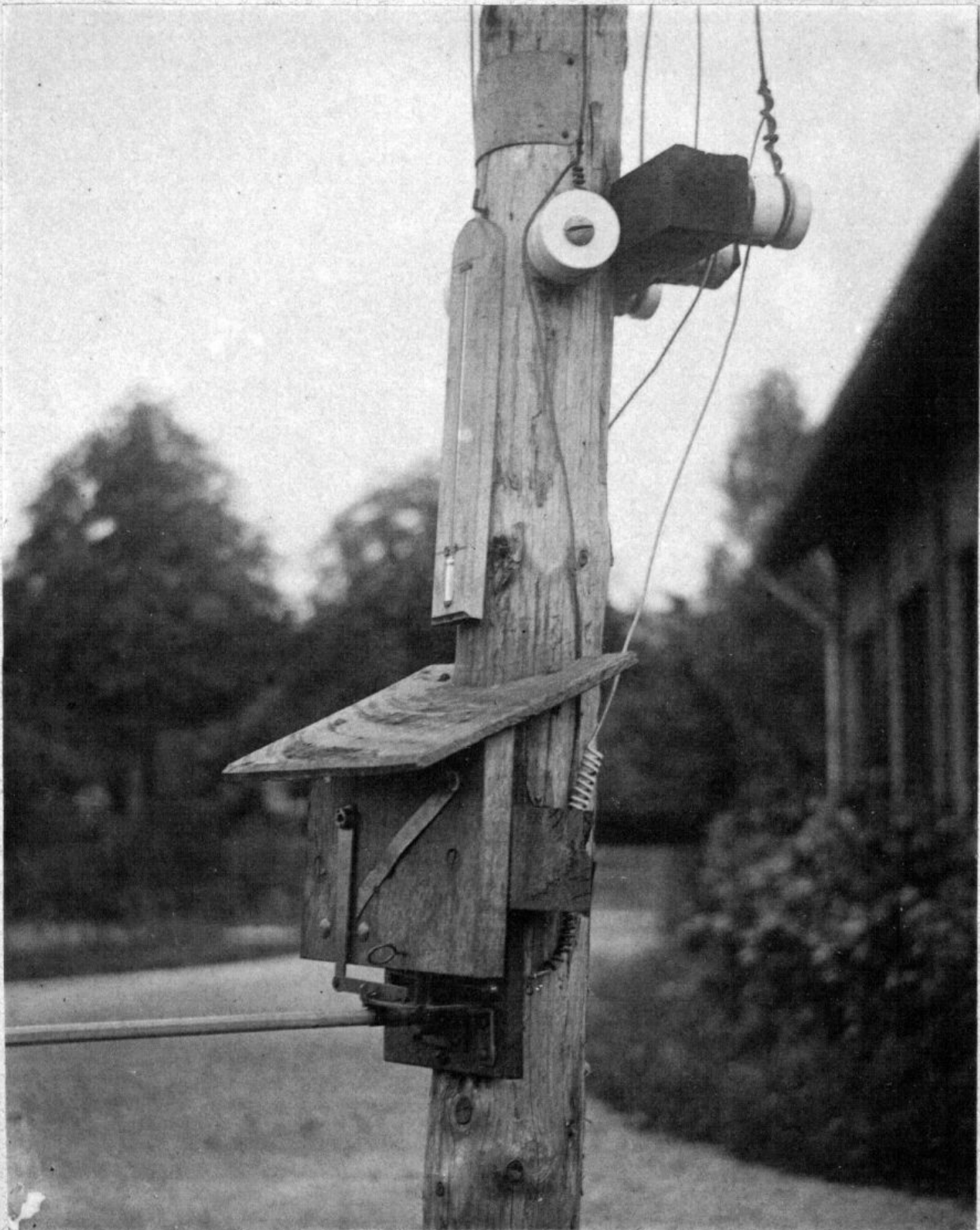
Mesure des vitesses de progression

Odographie fixe de lactation Physiologique

Pendule variable donnant le rythme au marcheur



Compteur du nombre
de pas.



1^{er} poteau interrupteur

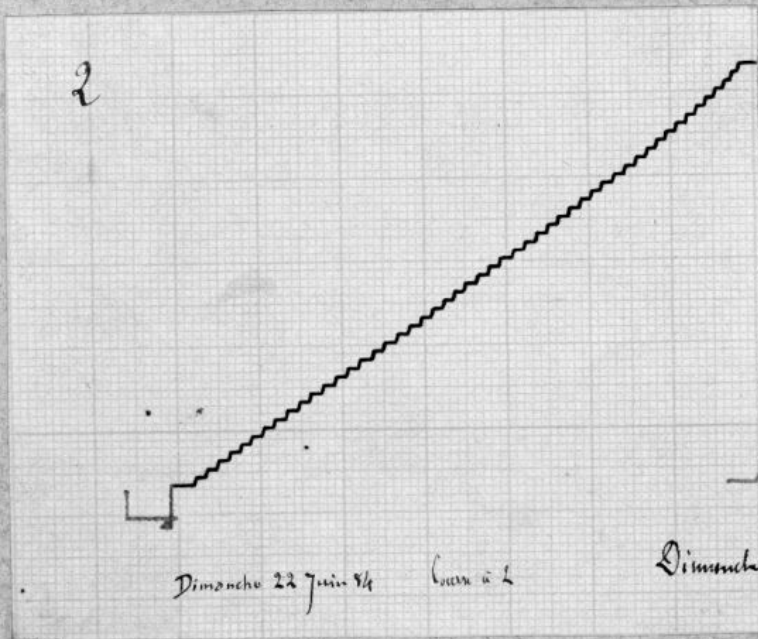
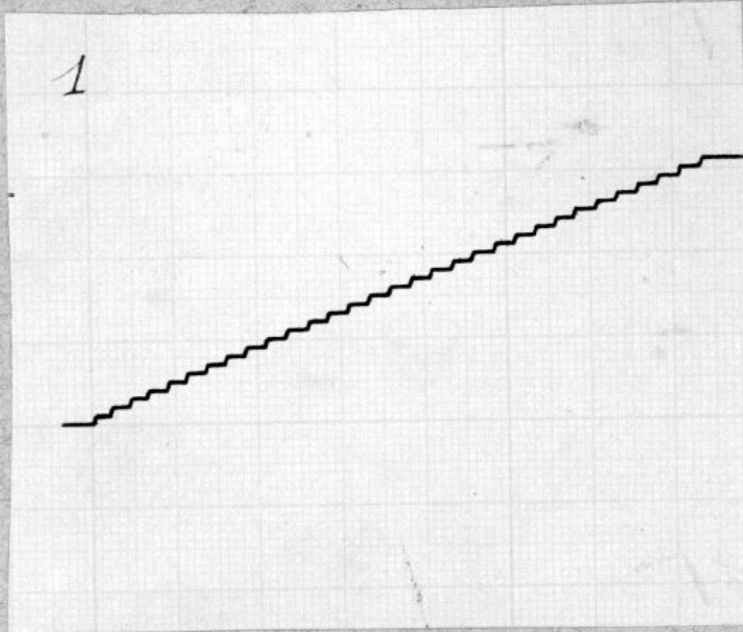
Interrupteur automatique du courant dans les appareils
inscripteurs au moment du passage d'un homme
sur la piste d'expérience

Océographie



Marcheur signalant son passage à un poteau télégraphique
en déviant une baguette mise en travers de son chemin
et en interrompant ainsi un circuit électrique fermé.

Odographie



Tracés de l'odographe fixe (1 Marche 2. Course)

Chaque longueur de 5^{mm} représente une minute sur la ligne des abscisses
 chaque trait vertical correspond à une distance parcourue sur la piste de 50^m environ

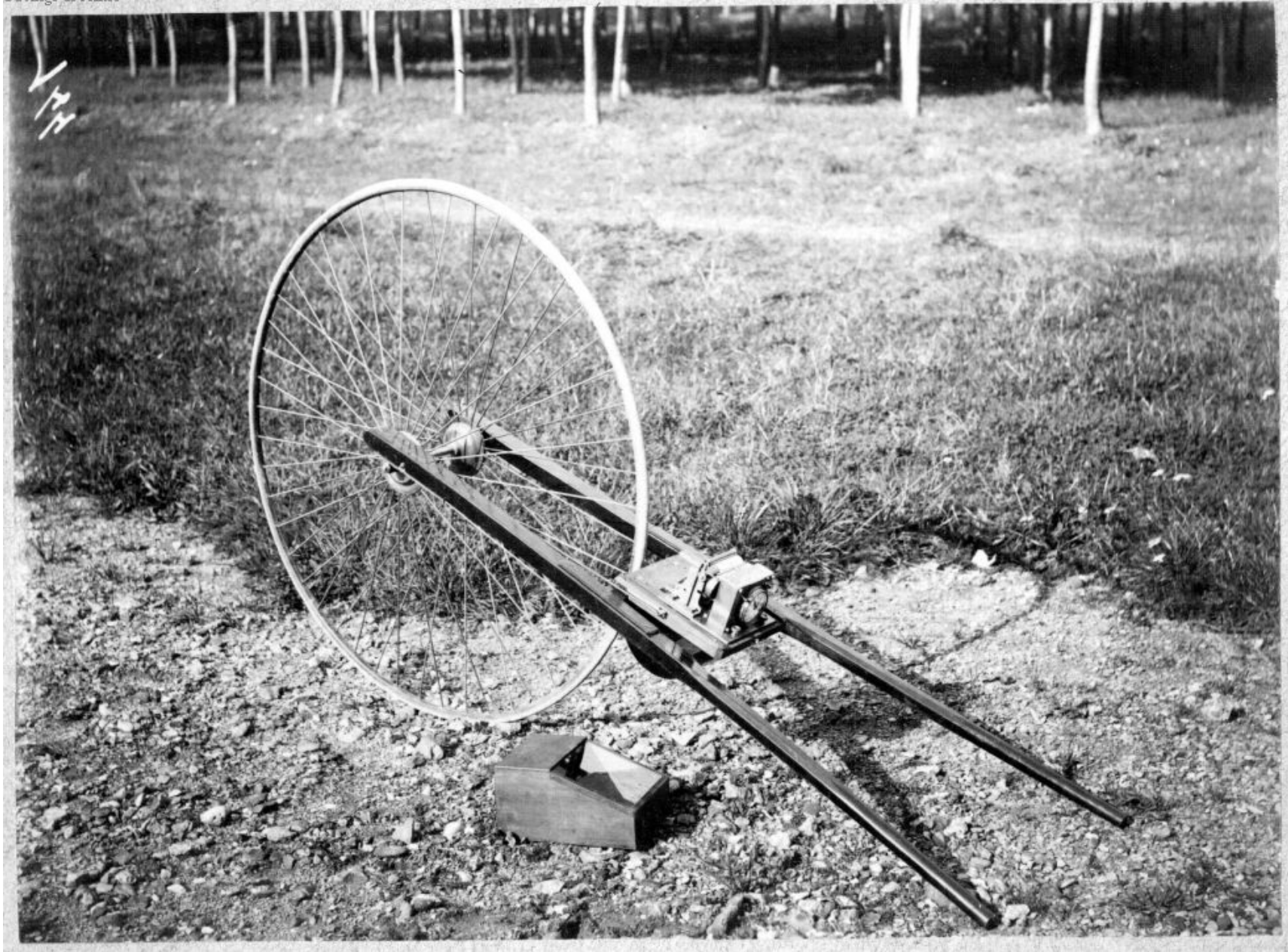
La vitesse est proportionnelle à la tg de l'angle que fait la tangente au tra à l'axe des x et au point considéré

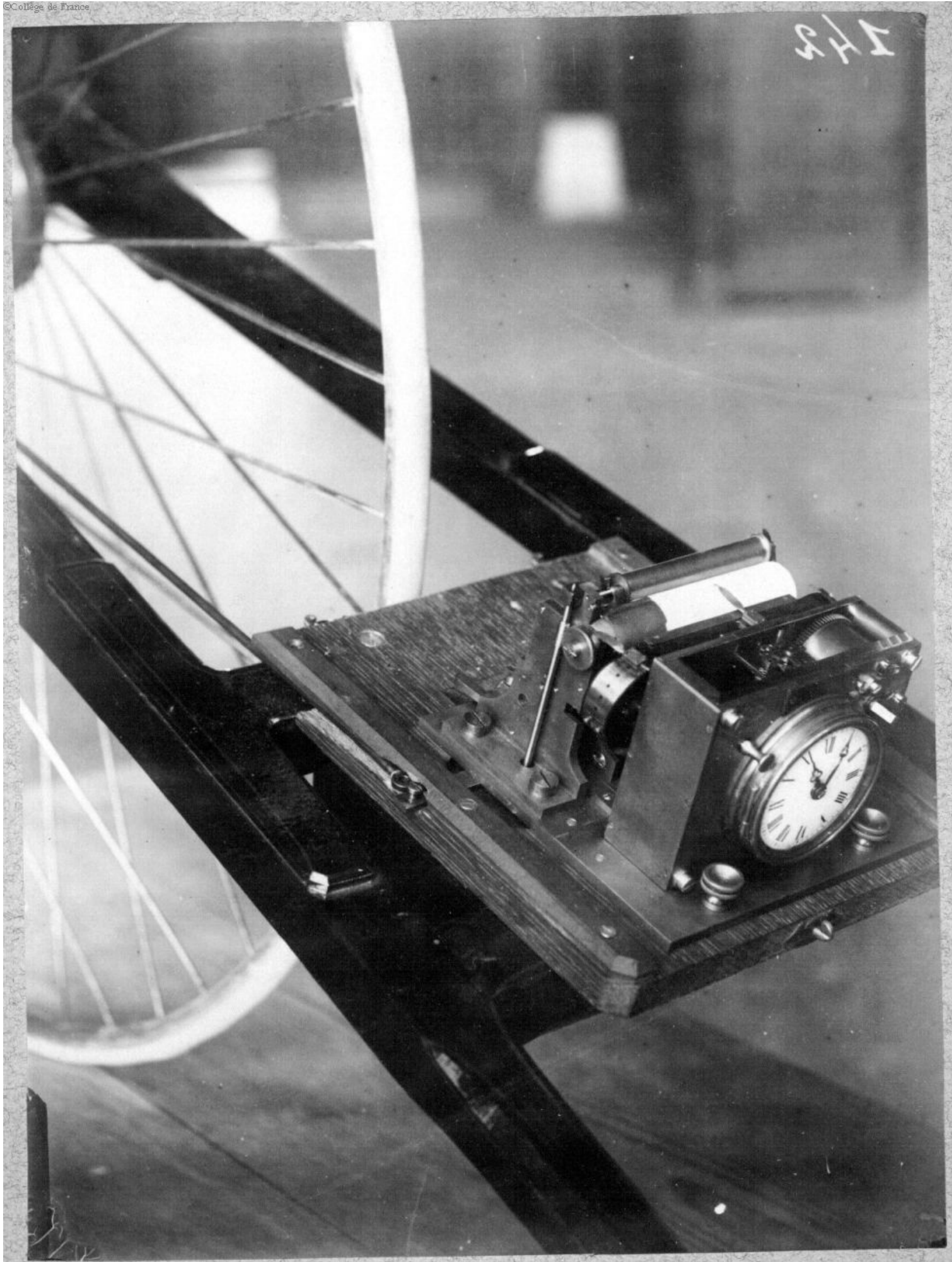
Mesure des vitesses de progression

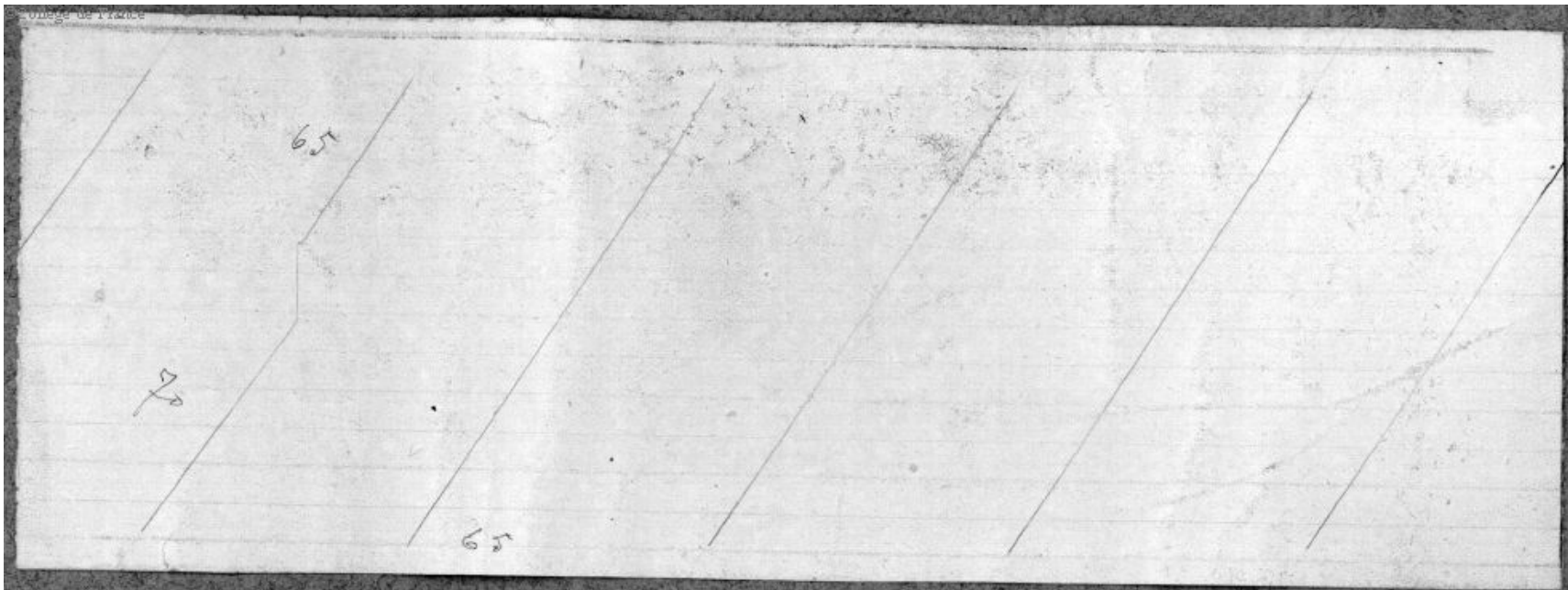
Odologue portable à roulette



Instrument enregistrant la vitesse de progression d'une façon continue







Tracé de l'édugrajobu roulant

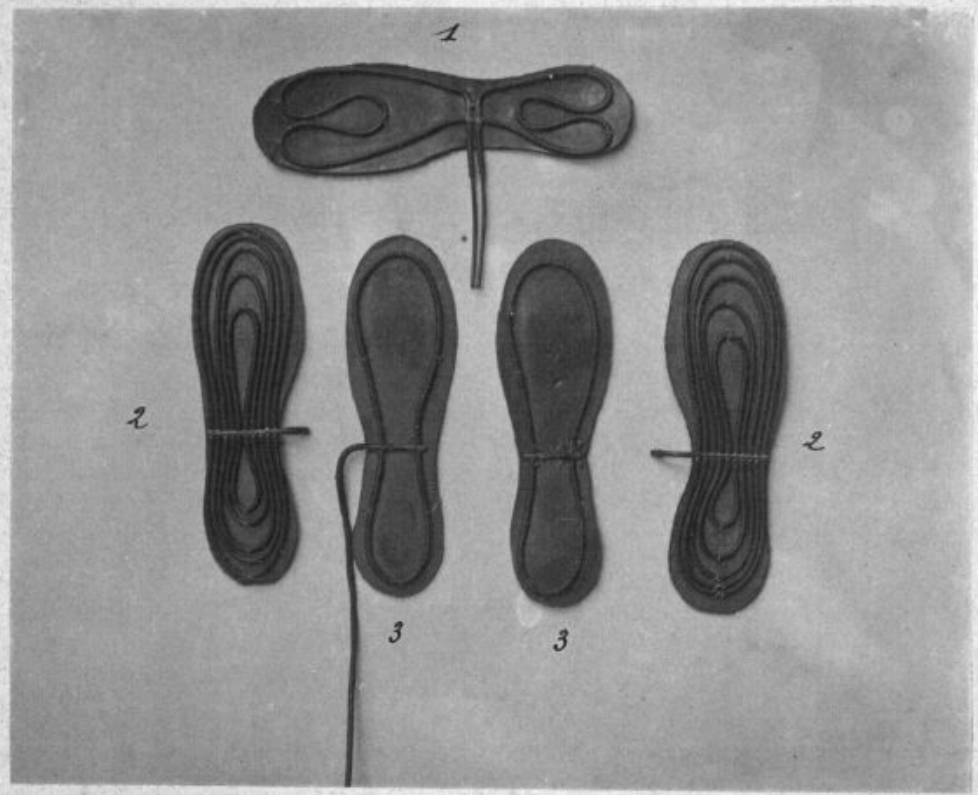
Chaussures à talons et à semelles mobiles.

*pour déterminer l'influence de la longueur et la rigidité de la semelle
ainsi que celle de la hauteur du talon
sur la longueur du pas*



Inscription des appuis et levés des pieds dans la locomotion Humaine.

1. Semelle pour l'inscription
2. la durée de l'appui du
talon et de la pointe
d'un même pied



2.2. Semelles pour actionner
l'odographe partitif et pour
servir de semelles dynamométriques
2.3. Semelles pour
la chronographie de
l'appui et levés

Ces semelles sont garnies de
tubes de caoutchouc remplis d'air
et venant se boucher dans un
collecteur central sous la voûte plantaire

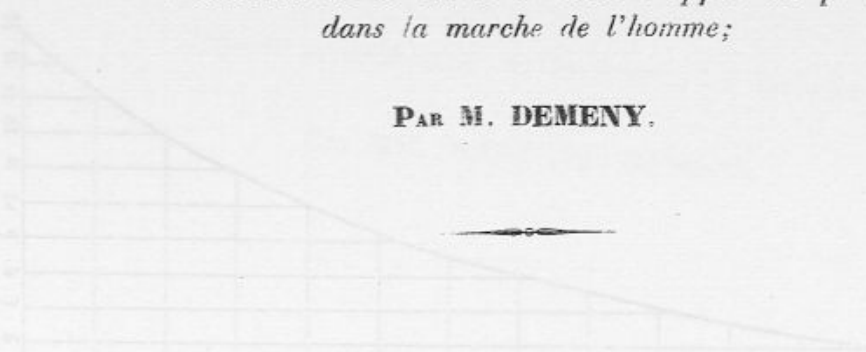
Différentes formes de semelles exploratrices de l'appui
des pieds sur le sol dans la
locomotion humaine

régler à volonté la fréquence de ses pas. Dans ces dernières cas, l'allongement du double appui a atteint son maximum.

» Enfin nous avons constaté que la fatigue du marcheur allonge chez

Variations de la durée du double appui des pieds dans la marche de l'homme;

PAR M. DEMENY.



« Dans la marche de l'homme, contrairement à ce qui se passe dans la course, lorsqu'un pied pose sur le sol, l'autre ne l'a pas encore quitté. Il y a donc un moment, généralement assez court, où le corps repose à la fois sur deux pieds : c'est ce qu'on appelle *phase de double appui*. Comme la durée de cette phase varie sous certaines influences, nous avons cherché à mesurer d'une manière précise ces variations.

» C'est à l'emploi du signal électrique de M. Deprez que nous avons eu recours pour ces expériences.

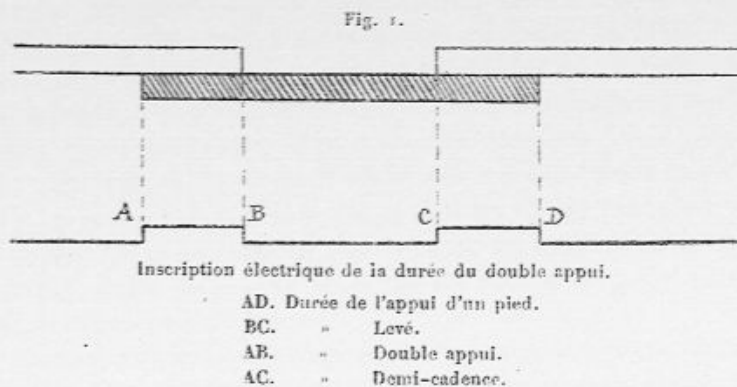
» Ce signal ne devant agir qu'au moment où les deux pieds à la fois reposent sur le sol, nous avons adapté sous la semelle des chaussures des plaques de métal qui n'arrivaient au contact les unes avec les autres que sous l'influence de l'appui des pieds. Le circuit d'une pile portative traversait successivement l'une et l'autre chaussure, ainsi que le signal électrique : il n'était donc fermé qu'au moment de l'appui simultané des deux pieds. Dans la disposition adoptée, le contact électrique avait lieu pour chaque pied, quelle que fût la partie, pointe ou talon, qui posât sur le sol.

» Le marcheur tenait à la main un appareil inscripteur, portatif comme dans les expériences analogues de M. Marey. Avec cette disposition nous avons fait d'abord une série d'expériences en variant la fréquence du pas, afin de déterminer l'influence que cette fréquence exerce sur la durée absolue et relative du double appui.

» La figure théorique 1 montre, en haut, la notation ordinaire des ap-
D.

(2)

puis et levés des pieds; celle du pied gauche, teintée de hachures, coïncide visiblement, à son début et à sa fin, avec celle des appuis du pied droit.



En bas, le tracé du signal électrique exprime parfaitement ces coïncidences : les longueurs AB et CD, correspondant aux déviations du style par le passage du courant électrique, mesurent exactement les durées du double appui. La même ligne exprime par la longueur AD la durée de l'appui d'un pied et par la longueur BC la durée du levé; enfin AC exprime la durée d'un demi-pas.

» D'après une série de tracés du signal électrique recueillis pendant la marche, en faisant varier le nombre des pas de 40 à 100 par minutes, on a construit la *fig. 2*, dans laquelle les fréquences des pas sont portées sur l'axe des abscisses et les durées comptées sur les ordonnées. La courbe supérieure exprime, en vingtièmes de seconde, les variations de la durée du demi-pas sous l'influence de la fréquence; la courbe inférieure ponctuée exprime les variations de la durée du double appui.

» On voit que, pour toute fréquence des pas, il y a dans la marche une phase de double appui. Mais la durée de ce double appui diminue plus vite que celle du demi-pas quand la marche s'accélère. Les écarts extrêmes ont été de $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{8}$ de la durée du demi-pas; en valeur absolue, de $\frac{7}{10}$ à $\frac{2}{10}$ de seconde.

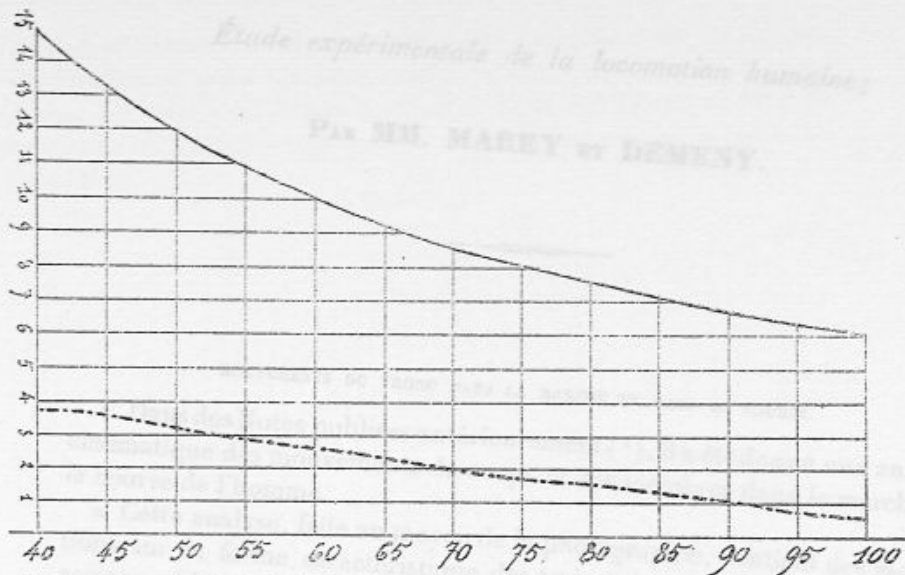
» Dans une autre série d'expériences nous avons étudié l'influence de la charge portée. En accroissant graduellement cette charge de 0^{kg} à 40^{kg}, nous avons vu la durée du double appui s'accroître, pour atteindre presque la moitié de la durée du demi-pas quand le poids porté était de 40^{kg}.

» Nous avons varié ces expériences : tantôt nous imposions au marcheur une cadence de soixante pas à la minute et tantôt nous le laissions libre de

régler à volonté la fréquence de ses pas. Dans ce dernier cas, l'allongement du double appui a atteint son maximum.

» Enfin nous avons constaté que la fatigue du marcheur allonge chez

Fig. 2.

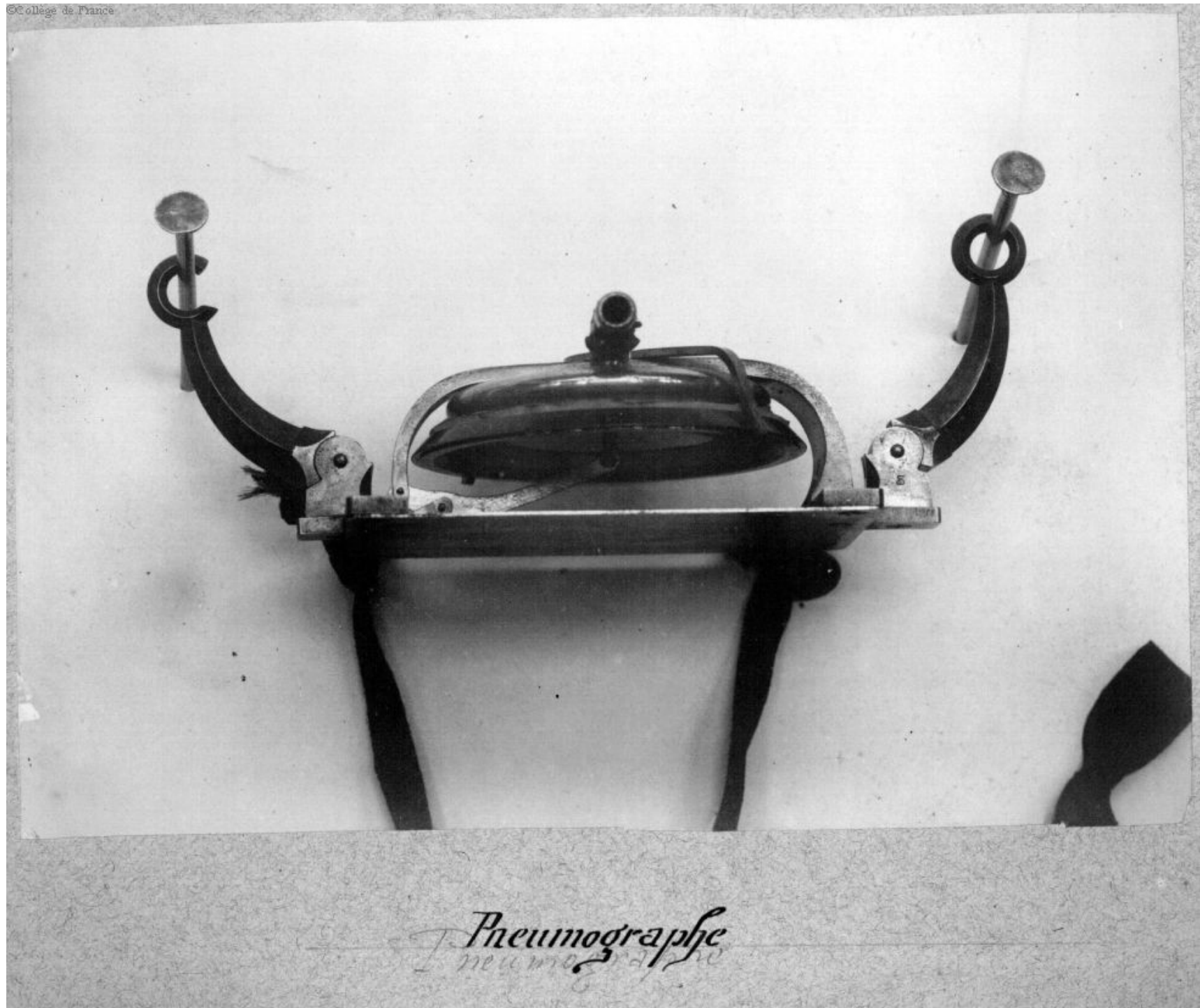


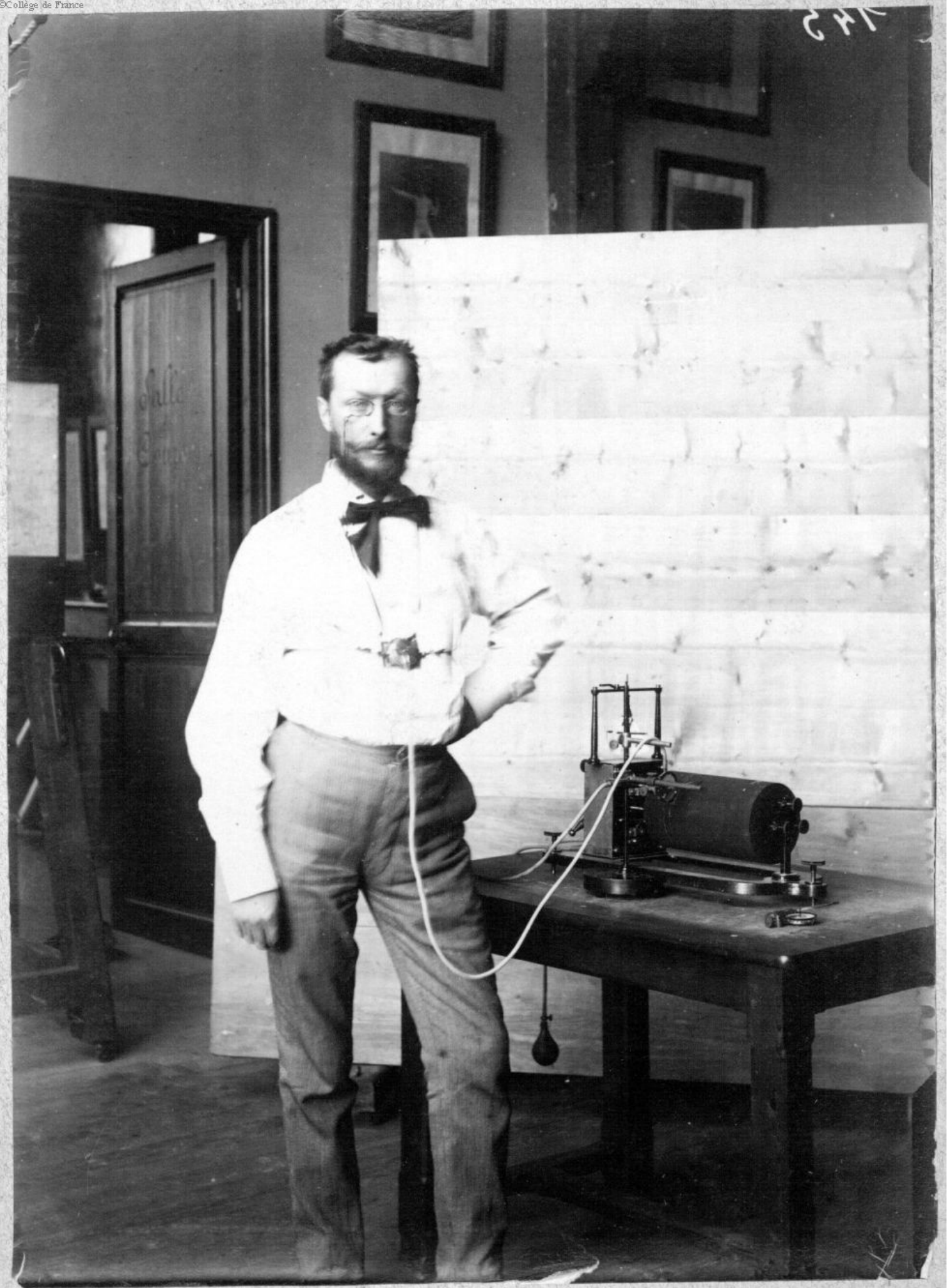
Grandeur comparée de la durée du demi-pas et de la durée du double appui dans la marche de l'homme. Les ordonnées sont proportionnelles aux durées du demi-pas et du double appui en vingtièmes de seconde.

Les cadences sont portées en abscisses et augmentent de 5 en 5 pas à la minute depuis 40 jusqu'à 100.

lui la période de double appui; nous espérons même trouver dans cet allongement une sorte de signe objectif de la fatigue. Sur ce point nous nous proposons de faire des recherches plus approfondies. Nous étudierons également les effets de la pente et de la nature du terrain. »

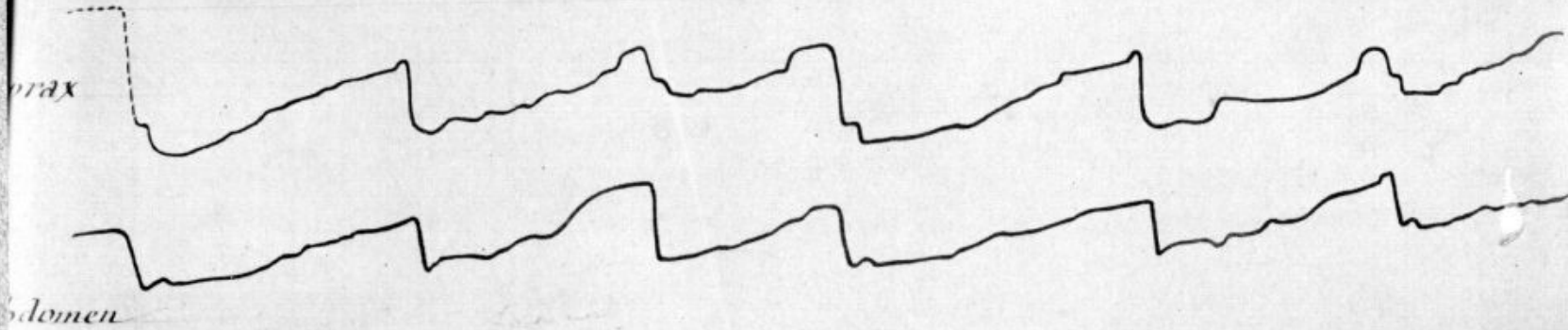
(15 juin 1885)





Spirometrie

Sens du mouvement
↑
↓
d'inspiration



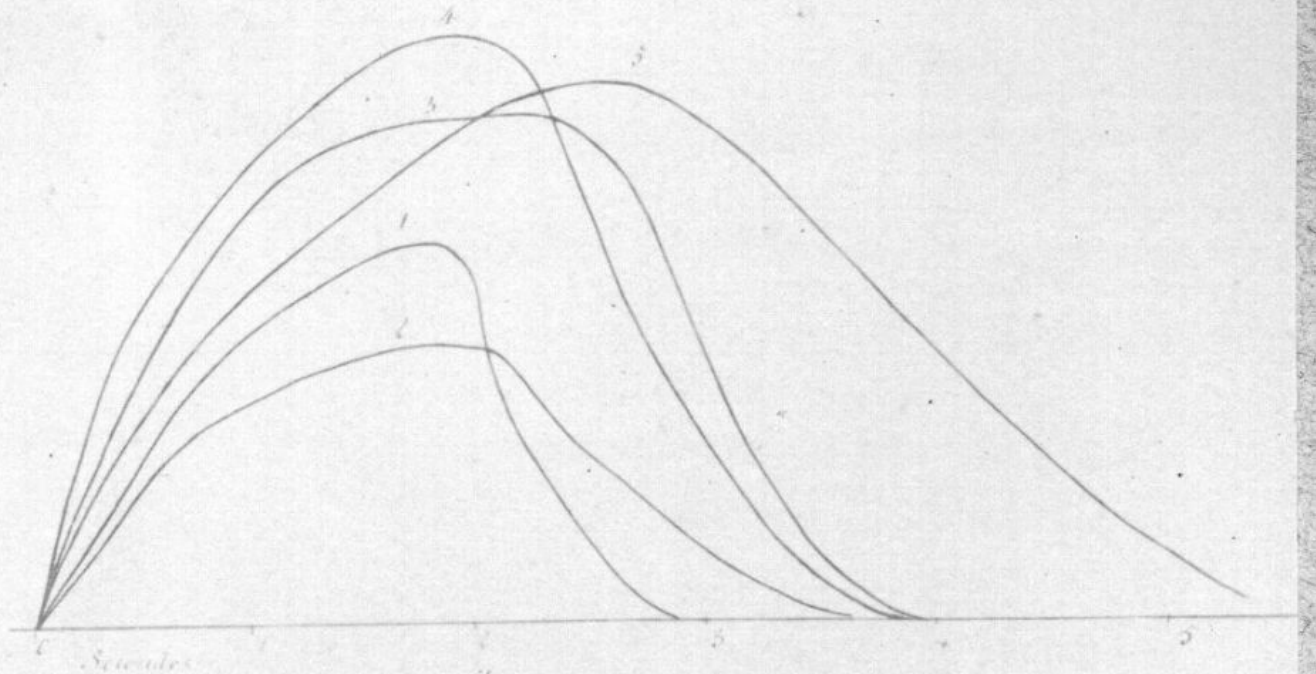
Mouvements de gonflement et de dépression du Thorax et de l'Abdomen
inscrits au moyen de deux pneumographes chez un chanteur (M^r Boudouresque)
exécutant l'air des Noëes de Robert-le-Diable.

On constate le parallélisme à peu près parfait des mouvements du Thorax et de l'Abdomen.

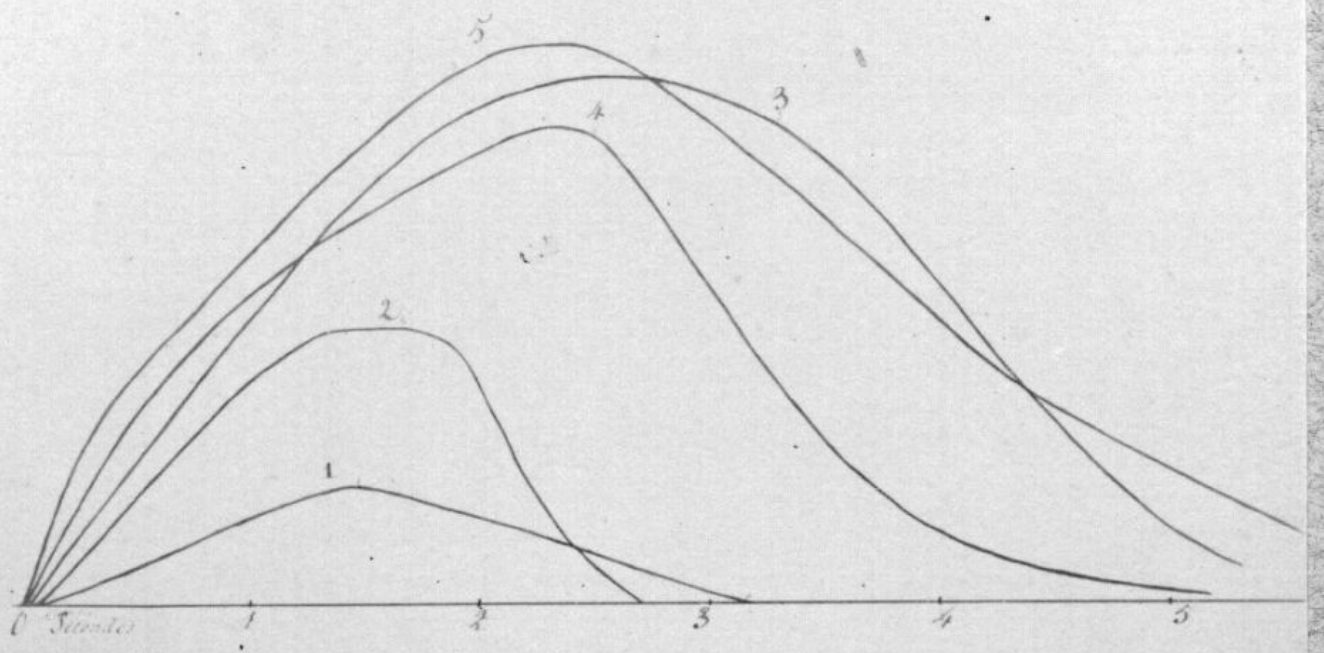
Modification du rythme et de l'amplitude des mouvements respiratoires

Chez des sujets ayant subi un entraînement de six mois.

à l'école de Gymnastique Militaire de Joinville-le-Tot.

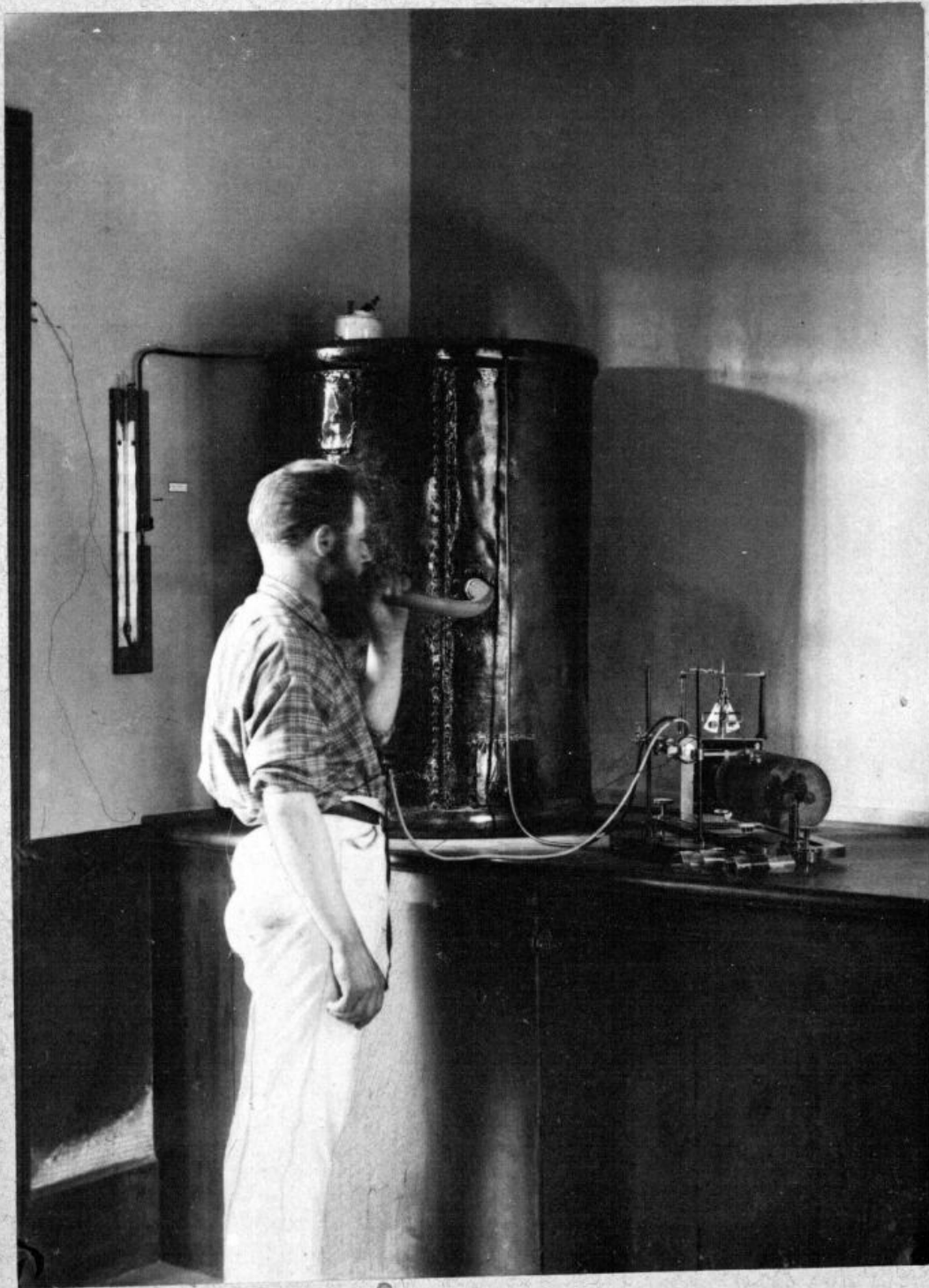


Amplitude et durée des mouvements respiratoires avant et après l'entraînement.



Amplitude et durée des mouvements respiratoires pendant les exercices gymnastiques.

Spiromètre enregistreur



destiné à mesurer par insufflation et élévation de la pression dans un récipient de 300 litres
la quantité d'air inspiré et expiré dans un acte respiratoire.
et à comparer ces mesures avec les indications du pneumographe.

M^r Dubulle Capacité respiratoire 5^l/5

Débit d'air Est normal

lignes d'air
0 1 2 3

0 Secondes

10

20

Mouvement du Thorax

Mouvement de l'abdomen

Est calme

Débit d'air

Th.

Abd.

M^r Giraudel 4^l/5

Est

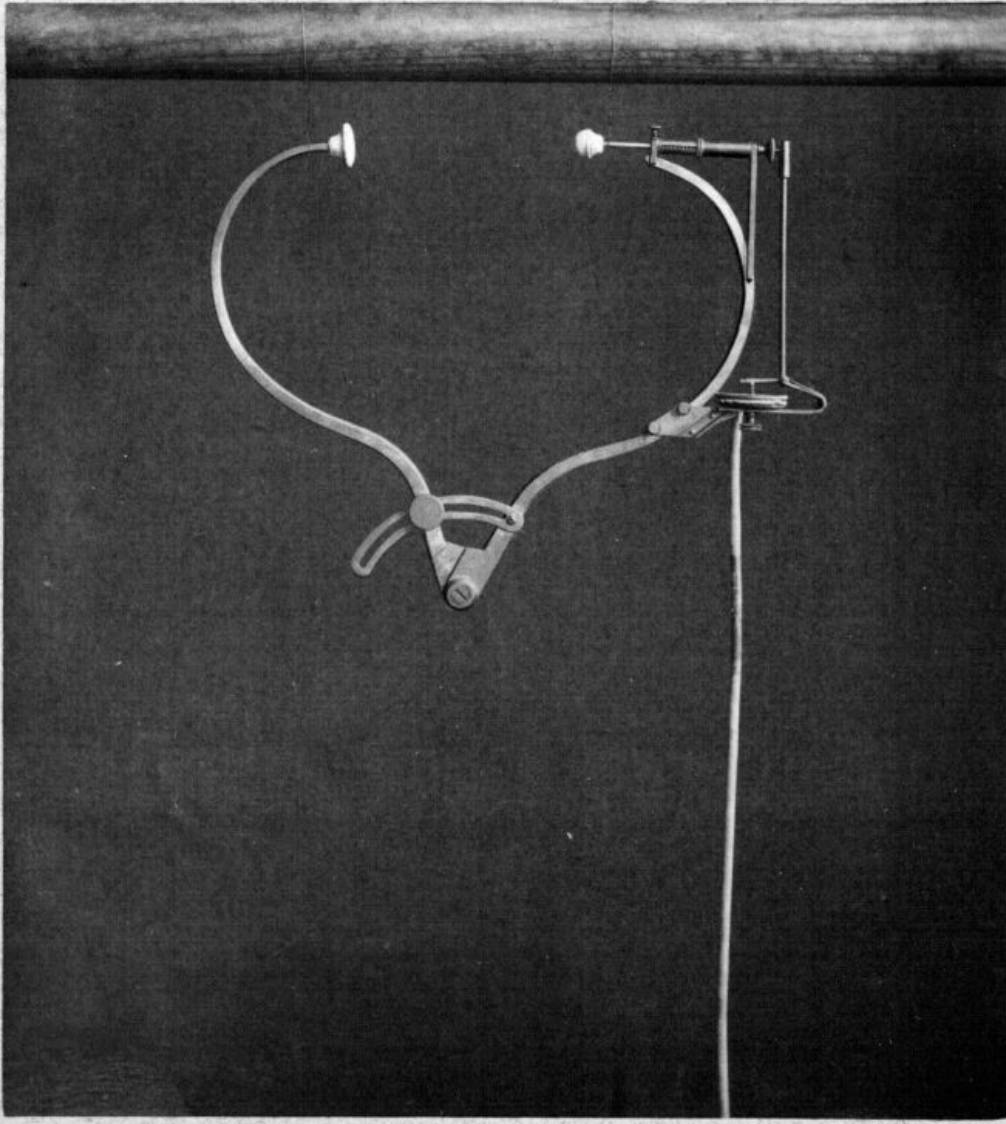
Th.

Abd.

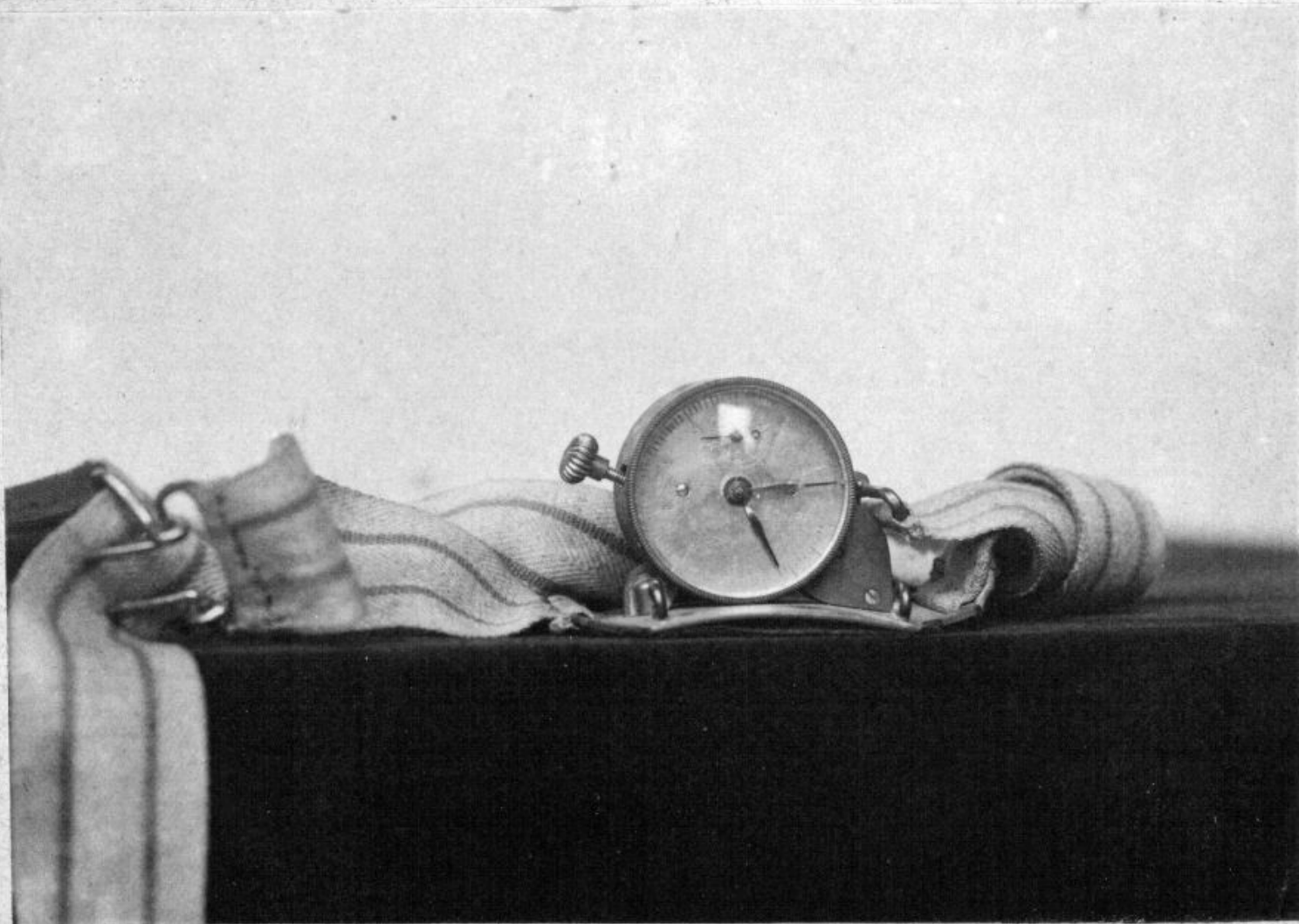
16/6 1885

Compass thoracique

disposé pour mesurer les diamètres thoraciques et les variations de ces diamètres dans les diverses attitudes des bras ainsi que pendant les mouvements respiratoires



un tambour enregistreur permet d'inscrire ces variations



Compteur des mouvements respiratoires
se fixant autour du thorax de l'homme et actionné par la dilatation
qui a lieu pendant l'inspiration.

INSTITUT DE FRANCE.

ACADÉMIE DES SCIENCES.

Extrait des *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. CV;
séance du 3 octobre 1887.

Étude expérimentale de la locomotion humaine;

PAR MM. MAREY ET DEMENY.

MOUVEMENTS DU TRONC DANS LA MARCHÉ ET DANS LA COURSE.

« Dans des Notes publiées antérieurement ⁽¹⁾, il a été donné une analyse cinématique des mouvements du corps et des membres dans la marche et la course de l'homme.

» Cette analyse, faite au moyen de la photographie, contient des indications sur la forme caractéristique des trajectoires décrites par les points remarquables du corps, la valeur des composantes horizontale et verticale de la vitesse de chacun de ces points à des instants successifs équidistants, les degrés d'abaissement et d'élévation du corps au-dessus du sol, et les attitudes successives des membres d'un même côté.

» Ces observations se rapportent à la projection du mouvement sur un plan vertical parallèle à la direction générale de la progression. Mais le mouvement ne se passe pas dans un plan vertical; chaque point du corps décrit en réalité une courbe gauche, et les mouvements dans le sens

(¹) *Comptes rendus*, séances du 19 mai 1884 et des 20 septembre et 4 octobre 1886.
M. et D.

(2)

perpendiculaire à la progression échappent à la projection verticale indiquée ci-dessus.

» De cette nature sont les mouvements propres du tronc qui, mentionnés depuis longtemps par différents physiologistes, ont été l'objet d'une étude expérimentale approfondie de la part de M. le professeur Carlet (1).

» Nous avons cru néanmoins devoir soumettre ces mouvements à l'analyse par la méthode photochronographique, qui a, sur la méthode graphique par inscription directe, l'avantage de laisser le sujet en expérience libre de ses mouvements et ne peut ainsi être suspectée d'altérer les allures normales. De plus, cette étude nous présente un double intérêt.

» Elle peut nous faire connaître le sens et la valeur de l'erreur commise dans les précédentes observations et dans les calculs relatifs à l'évaluation du travail (2). Ces calculs faits avec des éléments tirés de la projection verticale du mouvement du sommet de la tête ne sont vrais que pour le mouvement du centre de gravité du corps et il est intéressant de constater si le point choisi est celui dont le mouvement se rapproche le plus du mouvement du centre de gravité du corps ou bien si ce point se ressent des mouvements propres du tronc.

» Cette étude doit aussi compléter notre connaissance de la locomotion normale de l'homme par des observations de détail qui prendront de l'importance dans l'étude de la locomotion pathologique; certaines perturbations que l'on observe dans les différentes claudications ne sont probablement que l'exagération en plus ou en moins de mouvements peu apparents, mais existant néanmoins à l'état normal.

» Les mouvements propres du tronc sont :

» 1° Des torsions suivant un axe vertical;

» 2° Des torsions suivant un axe horizontal;

» 3° Des mouvements de totalité (balancement d'avant en arrière et balancement latéral).

» Pour nous rendre compte des mouvements de torsion suivant l'axe vertical, nous avons couvert de velours noir la piste d'expérience et nous avons fait passer le sujet vêtu de blanc au-dessous d'un photochronographe braqué verticalement à 12^m de hauteur. Nous avons obtenu une série d'images en raccourci reproduites dans la *fig. 1* et qui donnent déjà

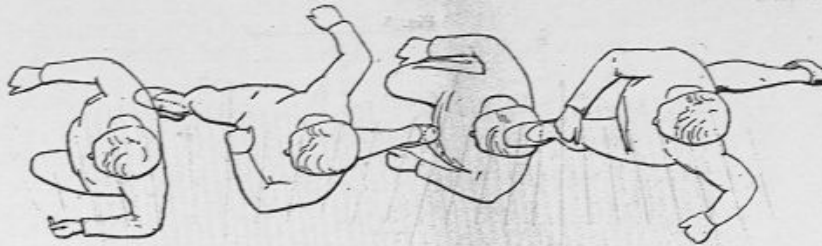
(1) *Annales des Sciences naturelles : Zoologie*, 1872.

(2) *Comptes rendus*, séance du 9 novembre 1885.

(3)

sur les positions relatives des parties du corps des indications complémentaires des images prises sur l'écran vertical.

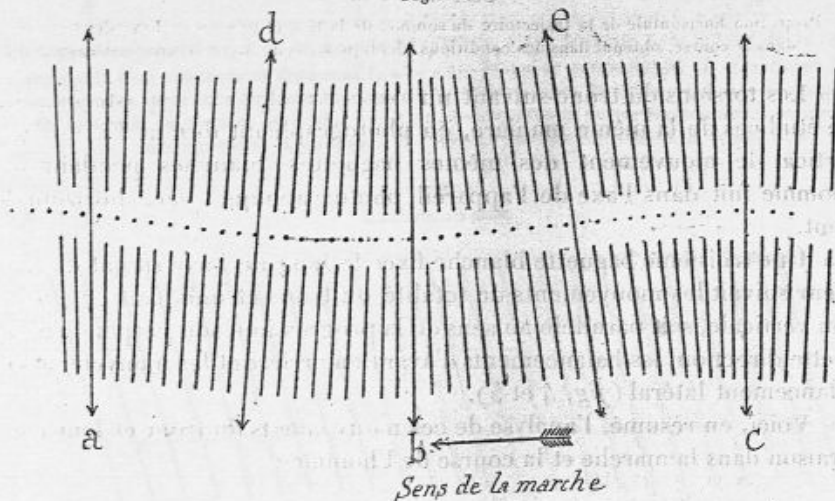
Fig. 1



Images successives d'un coureur photographié d'un point élevé à des intervalles de $\frac{1}{12}$ de seconde.

» Les mouvements de torsion du tronc sont indiqués dans ces figures, mais insuffisamment pour en comprendre la continuité. Nous les avons rendus plus apparents en fixant horizontalement sur l'homme vêtu de noir deux baguettes blanches indiquant l'axe des épaules et la ligne des têtes fémorales.

Fig. 2.



Photographies successives d'une baguette indiquant l'axe des épaules d'un marcheur.

Les images sont prises à $\frac{1}{12}$ de seconde d'intervalle et d'un point élevé.

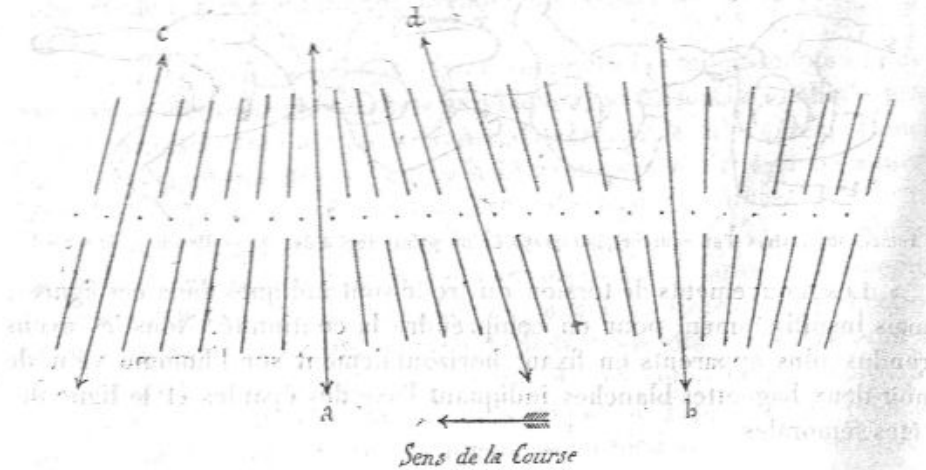
On voit en projection horizontale la trajectoire de la tête indiquée par des points, ainsi que la torsion des épaules nulle en *abc* et maximum en *de*.

» En augmentant le nombre d'images jusqu'à cinquante à la seconde, on

(4)

obtient sur la plaque photographique une figure reproduite *fig. 2 et 3*, où les inflexions latérales de la trajectoire de la tête et le mouvement de torsion des épaules et du bassin sont clairement et synchroniquement indiqués.

Fig. 3.



Projection horizontale de la trajectoire du sommet de la tête et torsion de l'axe des épaules dans la course, obtenue dans des conditions identiques à celles de la figure précédente.

» Les torsions du tronc suivant un axe horizontal antéropostérieur ont été étudiées de la même manière, en photographiant devant l'écran noir vertical le mouvement des mêmes baguettes blanches pendant que l'homme fuit dans l'axe de l'appareil photographique placé horizontalement.

» Une troisième baguette blanche fixée le long de l'axe spinal du marcheur suivait les mouvements de totalité du tronc et indiquait en projection verticale, soit parallèle au sens de la progression, soit perpendiculaire à cette direction, les balancements d'avant en arrière et les mouvements de balancement latéral (*fig. 4 et 5*).

» Voici, en résumé, l'analyse de ces mouvements du tronc et leur comparaison dans la marche et la course de l'homme :

Sinuosités de la trajectoire du sommet de la tête en projection horizontale.

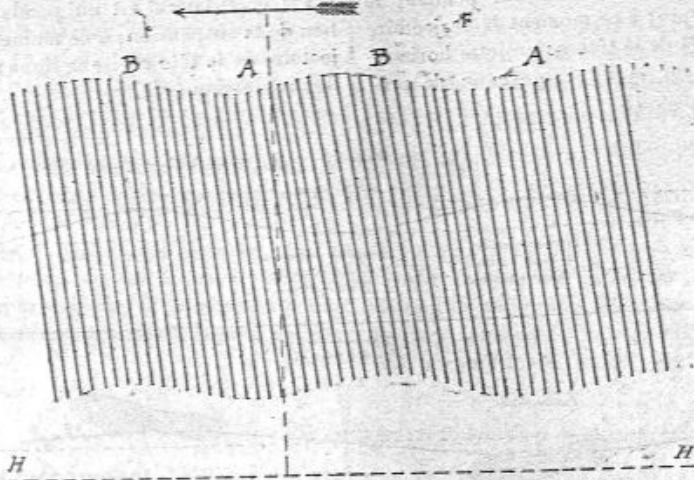
» Dans la marche, l'écart latéral maximum a lieu pendant l'appui unipédal, il coïncide avec le maximum d'élévation de la tête au-dessus du plan horizontal et

» Dans la course, l'écart latéral maximum a lieu pendant l'appui, il coïncide avec le minimum d'élévation de la tête au-dessus du plan horizontal, ainsi qu'avec

(5)

avec le minimum de la vitesse horizontale | le minimum de la vitesse horizontale de
de la masse du corps. | la masse du corps.

Fig. 4



Photographies successives, à $\frac{1}{16}$ de seconde d'intervalle, d'une baguette fixée le long de la colonne vertébrale d'un marcheur et dépassant la tête d'une longueur considérable. Le mouvement de balancement en avant et en arrière et l'inclinaison générale du tronc dans la marche sont ainsi amplifiés. On voit en A, au moment du double appui du pied, le corps se porter légèrement en arrière, et inversement en B, au milieu de l'appui, s'incliner légèrement en avant.

Fig. 5.

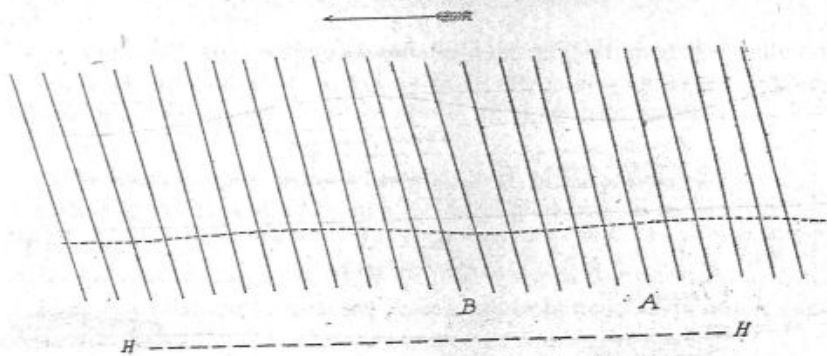


Figure montrant les inclinaisons du tronc dans la course.

La ligne ponctuée représente la trajectoire du sommet de la tête; HH horizontale.
Les attitudes correspondent à des intervalles de temps de $\frac{1}{16}$ de seconde.

» Sa valeur est en moyenne de $2^{\text{cm}},5$ à | » Sa valeur est moindre que dans la
droite et à gauche de la ligne de progression. | marche et diminue avec la longueur du
M. et D. | I.

(6)

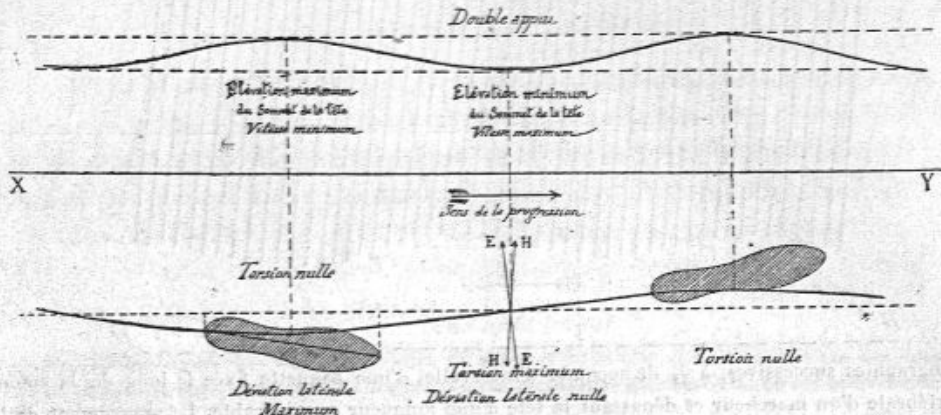
» Cet écart varie dans le même sens que l'écartement des empreintes des talons ; il lui est sensiblement égal et diminue lorsque la longueur du pas augmente.

» L'écart latéral est nul pendant le double appui ; à ce moment la trajectoire du sommet de la tête se projette horizontalement sur la ligne moyenne de progression (fig. 6).

pas comme l'écartement des empreintes des pieds sur le sol.

» L'écart latéral est nul pendant le milieu de la suspension ; à ce moment la trajectoire de la tête croise la ligne moyenne de progression (fig. 7).

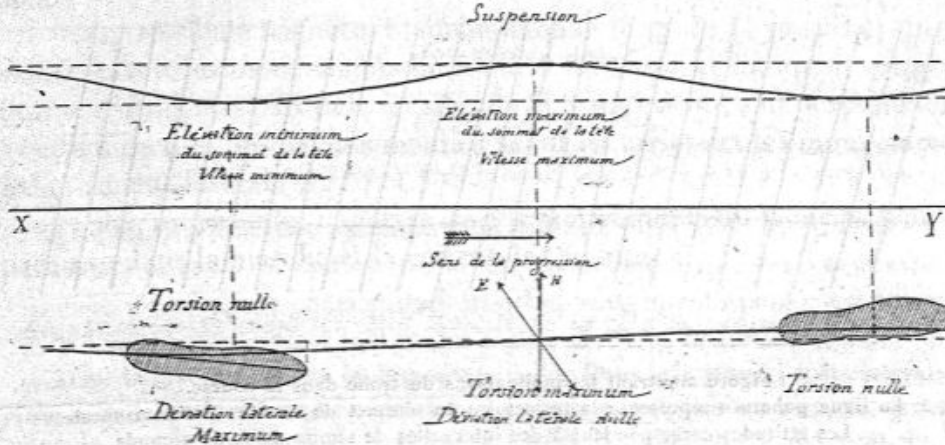
Fig. 6.



Projections horizontale et verticale de la trajectoire du sommet de la tête d'un marcheur pendant un pas.

On voit la position des pistes par rapport à la projection horizontale de la trajectoire, l'inclinaison de l'axe du pied et la corrélation entre la déviation latérale, l'élévation de la tête, la variation de vitesse et la torsion du tronc.

Fig. 7.



Projections horizontale et verticale de la trajectoire de la tête d'un coureur, montrant, par la comparaison avec la figure précédente, les différences entre les divers mouvements du tronc dans la marche et la course.

TORSIONS DU TRONC SUIVANT L'AXE VERTICAL.

1. *Mouvement de l'axe transversal du bassin en projection horizontale.*

» Dans la marche, la hanche est portée en avant, en même temps que le membre inférieur oscillant, tandis que la hanche opposée correspondant au membre à l'appui reste en arrière.

» Il en résulte une torsion dont le maximum, 9° environ, a lieu au moment du double appui et coïncide avec le minimum d'élévation du corps au-dessus du sol.

» La torsion du bassin est nulle pendant l'appui unipédal et au moment d'élévation et d'écart latéral du tronc (*fig. 6*).

» Dans la course, la torsion du bassin est moins considérable que dans la marche; son maximum a lieu au milieu de la suspension du corps.

» La torsion est nulle au milieu de l'appui et pendant l'élévation minimum du corps au-dessus du sol. Elle diminue avec la rapidité de l'allure (*fig. 7*).

2. *Mouvement de l'axe des épaules en projection horizontale.*

» Le mouvement de l'axe des épaules se fait en sens inverse de celui de l'axe du bassin. Il est de même sens que la projection des membres supérieurs. La torsion est maximum en même temps que la torsion inverse de la ligne des hanches.

» Mais sa valeur absolue est plus grande : de 12° environ dans la marche au moment du double appui, il peut s'élever à 45° dans la course au milieu de la suspension du corps.

» La torsion de l'axe des épaules est nulle en même temps que celle du bassin quand les bras passent par la verticale; elle augmente avec la vitesse de progression.

TORSIONS DU TRONC SUIVANT L'AXE HORIZONTAL ANTÉRO-POSTÉRIEUR.

Mouvement de la ligne des hanches et de la ligne des épaules en projection verticale.

» La ligne des hanches s'abaisse du côté de la hanche suspendue, et ce mouvement subsiste à toute allure marchée et courue.

» La ligne des épaules se relève du côté de la hanche suspendue, et ces deux mouvements sont synchrones.

» La torsion des épaules est plus faible dans la course que dans la marche et devient presque nulle dans une course rapide.

MOUVEMENTS DE TOTALITÉ DU TRONC.

Balancement d'avant en arrière.

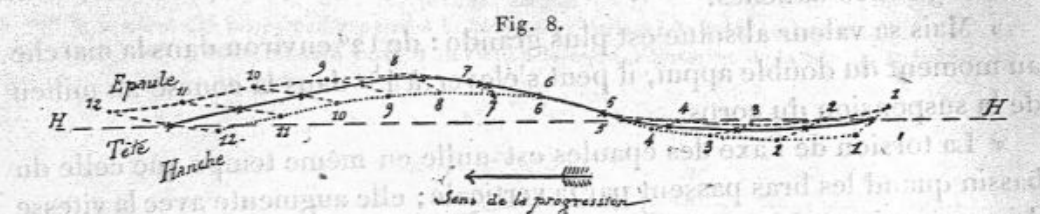
» Le corps s'incline en avant pendant la première moitié de l'appui et en arrière pendant la seconde moitié.

» Ce mouvement est insensible dans la marche (*fig. 4*); plus accentué dans la course (*fig. 5*), il s'exagère avec la longueur du pas, mais n'excède pas 5 degrés dans les allures ordinaires.

Balancement latéral.

» Dans la marche normale et la course modérée, les mouvements latéraux du tronc sont des mouvements de translation dans lesquels l'axe du tronc reste parallèle à lui-même et se transporte latéralement à chaque appui du pied d'une quantité indiquée dans la projection horizontale du sommet de la tête (*fig. 6 et 7*). Ce balancement a pour raison l'écartement des empreintes des pieds et se combine avec le mouvement d'inclinaison du tronc en avant et en arrière.

» Nous pouvons maintenant expliquer les différences que nous présentâient en projection verticale les trajectoires de la tête de l'épaule et de la hanche d'un marcheur. On a superposé, dans la *fig. 8*, les portions cor-



Comparaison des projections verticales des trajectoires du sommet de la tête, de l'épaule et de la hanche.

On voit que la tête occupe constamment une position intermédiaire entre les positions correspondantes de l'épaule et de la hanche marquées par les mêmes chiffres.

respondantes de ces trajectoires en faisant coïncider les images n° 6 qui correspondent à la torsion nulle du tronc ainsi que les horizontales menées par les points correspondants. On voit que l'épaule est toujours en avant de la tête quand la hanche est en arrière, et inversement; en outre, que le point milieu de la ligne qui joint l'épaule à la hanche a un mouvement presque identique à celui du sommet de la tête. Ce dernier point n'est, en effet, influencé par aucun des mouvements de torsion du tronc qui modifient la trajectoire de l'épaule et de la hanche.

» Il n'y a que le balancement d'avant en arrière qui pourrait modifier sa trajectoire et faire donner aux mesures de la variation de vitesse horizontale des valeurs trop grandes. Mais ce mouvement est assez faible dans la marche pour que nous soyons autorisés à considérer le mouvement du sommet de la tête comme se rapprochant le plus de celui du centre de gravité du corps.

» Néanmoins, comme le centre de gravité se déplace dans le corps à chaque attitude, il n'y a que la détermination expérimentale directe du déplacement du centre de gravité qui permette de corriger la trajectoire du sommet de la tête et de la rapprocher davantage de celle du centre de gravité. Dans une autre Communication M. Demeny montrera comment se fait cette correction et comment elle influe surtout sur la valeur réelle des réactions verticales du tronc. »