

Bibliothèque numérique

medic@

Marey, Etienne-Jules. - L'étude des mouvements au moyen de la chronophotographie

In : Revue générale internationale, 1896, I, n° 1, p. 200-218. Avec une pl. séparée (56 cm x 31,5 cm). Tiré à part.
Cote : École nationale supérieure des beaux-arts - Département de morphologie.
DM 170 (Inv-55_L-170)



Exemplaire obligatoirement fourni par l'École nationale supérieure des beaux-arts (Paris). Droits réservés
Adresse permanente : <http://www.bium.univ-paris5.fr/histmed/medica/cote?extensba001>

E.-J. MAREY

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES

BELUX-ARTS

COURS DE MORPHOLOGIE

INV-55-L-170

MAREY E.-J.

- *L'Etude des mouvements au moyen de la chronophotographie*, 1896
in Revue Générale Internationale (tiré à part), Paris, v. 1895.
18 pages (de la p.200 à 218). 28cm x 19cm.
+ 1 planche séparée : 56 cm x 31,5cm
* Inv. N° 55-L-170



POUR TOUS ET PAR TOUS

En publiant son premier numéro, la *Revue Générale Internationale* exposait, dans un court préambule intitulé : *Le Mouvement intellectuel international*, son but, qui est de servir de terrain d'entente absolument neutre entre toutes les nations civilisées du monde pour la communication et la vulgarisation des productions intellectuelles Scientifiques, Littéraires et Artistiques de ces nations en France, et réciproquement.

Cette œuvre considérable, disait-elle, est entreprise sans aucune visée de lucre, et le désintéressement de ses fondateurs se manifeste jusque dans l'anonymat même qu'ils entendent garder.

Bien que les entreprises rigoureusement désintéressées soient assez rares pour éveiller au moins un doute à leur apparition, celle de la *Revue Générale Internationale* n'a pas été victime de cette suspicion.

Est-ce parce qu'elle émane d'hommes d'étude et de science qui sont, en cette qualité, coutumiers de pareils détachements matériels? Est-ce parce que la Revue elle-même ne présente pas le caractère de spéculation qui est la condition vitale de toutes les publications similaires?... Il y a sans doute de l'une et de l'autre considération dans le favorable jugement porté; on a compris qu'elle n'était pas faite *pour gagner de l'argent*; que c'était travailler pour la science, pour le progrès et pour soi-même que d'aller à cette œuvre sans arrière-pensée puisque dès l'apparition de son premier numéro elle a reçu un grand nombre de communications françaises et étrangères adressées *directement* et *spontanément* et présentant en outre toutes le caractère de généreuse participation que ses fondateurs espéraient rencontrer.

Heureuse d'avoir été si bien comprise, encouragée par tant de sympa-

REVUE INTERNATIONALE.

14



REVUE GÉNÉRALE INTERNATIONALE

thiques concours, la *Revue Générale Internationale* a voulu répondre, dans la mesure de ses moyens, à ces témoignages de confiance par des améliorations importantes du cadre qu'elle offre aux idées et aux exposés de travaux qu'on lui confie. Elle a obtenu de la maison Outhenin Chalandre une fabrication spéciale de papier couché dans la pâte qui assure au tirage de ses gravures le maximum de perfection possible; de la maison Berthaud, pour l'illustration de ses romans, des tirages artistiques en phototypie dépassant de beaucoup tout ce qu'on peut obtenir de plus beau en matière de reproduction, sans préjudice des photogravures de premier ordre que la maison Mauge lui assurait déjà et des soins exceptionnels que la maison Hérissey apporte aussi avec le même dévouement à la composition et à l'impression de ses matières.

Un service particulier de traducteurs spéciaux lui donne d'autre part le moyen d'accepter *en langues étrangères* toutes les communications qui lui seront faites, mais, en rappelant encore à ses lecteurs qu'elle doit à la haute valeur de ses principaux collaborateurs français et étrangers de ne publier que des œuvres d'un réel mérite, la *Revue Générale Internationale* répète aussi qu'elle n'est fermée, par contre, pour qui que ce soit.

Elle fait appel, au contraire, à tous les producteurs intellectuels éminents, connus ou inconnus, car faite *pour eux* surtout, c'est aussi *par eux* qu'elle doit être faite.

Tout ce qu'elle reçoit est très attentivement lu, consciencieusement étudié, sans autre parti pris que celui de la bienveillance, sans autre esprit que celui d'un éclectisme sincère et complet. En se fixant en effet la grande et belle tâche de servir de véhicule aux idées du monde, elle s'est imposé le respect des convictions légitimes du travail raisonné sans distinction de castes ni d'origines, et elle ne saurait y manquer.

★



L'ÉTUDE DES MOUVEMENTS
AU MOYEN DE LA CHRONOPHOTOGRAPHIE
EN FRANCE ET A L'ÉTRANGER

Par M. E.-J. MAREY

I

LA CHRONOPHOTOGRAPHIE SUR PLAQUE FIXE

L'analyse des mouvements est une étude d'origine fort ancienne mais l'application de la photographie à cette analyse ne date que de fort peu de temps, car la découverte de la photographie et ses perfectionnements, surtout, sont très récents.

Dans cette application précieuse il n'y a donc eu encore que peu de travaux faits et la rareté relative de ceux-ci permet aujourd'hui de les passer rapidement en revue tandis que, dans un avenir prochain, à moins d'entreprendre la publication de véritables volumes, il faudra se contenter de décrire les nouvelles recherches au fur et à mesure qu'elles se produiront.

Une des plus anciennes applications de la photographie à l'étude des mouvements fut faite en 1865 par MM. Onimus et Martin. Ces expérimentateurs, après avoir mis à nu le cœur d'un animal vivant, dirigèrent sur cet organe l'objectif d'un appareil photographique ouvert en permanence. Les images obtenues avaient un double contour représentant les deux formes extrêmes du cœur, l'une dans sa plus grande réplétion, l'autre dans sa plus grande vacuité. En effet, à ces moments extrêmes, le cœur est un instant immobile et son contour s'accuse sur la plaque sensible, pendant qu'il ne laisse pas de traces nettes pendant les phases du mouvement.

Cette méthode est tombée dans un injuste oubli, car elle se prête à bien des

applications : si l'on prend, devant un fond obscur, l'image d'un mouvement, les deux attitudes extrêmes s'affirment particulièrement et l'on peut dessiner d'après elles la préparation de ce mouvement ainsi que le mouvement accompli. Les phases intermédiaires dans lesquelles le déplacement a été très rapide ne laissant pas d'images appréciables.

Plus tard, M. Janssen, dans un but scientifique, imagina le premier de prendre automatiquement une série d'images photographiques pour représenter les phases successives d'un phénomène. C'est donc à lui que revient l'honneur d'avoir imaginé ce qu'on appelle aujourd'hui la *chronophotographie sur plaque mobile*¹.

Dès 1878, M. Janssen avait proposé d'appliquer les photogrammes successifs à l'étude de la locomotion animale. Mais il appartenait à M. Muybridge, de San Francisco, de réaliser par une méthode assez différente de celle de Janssen l'analyse de la locomotion du cheval, de l'homme et de certains animaux.

La description de ces expériences a été donnée dans un ouvrage publié par le Dr Stillmann², sous les auspices de M. Stanford, ancien gouverneur de la Californie.

Le champ d'expérience était formé d'une piste passant au-devant d'un écran blanc incliné et orienté de manière à réfléchir la lumière solaire dans la direction des appareils photographiques. Sur l'écran étaient tracées des divisions équidistantes qui, se reproduisant dans chacune des images, servaient à mesurer les distances parcourues par le cheval.

Une série d'appareils photographiques étaient braqués, en face de la piste, sur les différents points de sa longueur. Des fils électriques, tendus en travers de la piste, se rendaient à des électro-aimants dont chacun maintenait fermé l'obturateur de l'un des appareils photographiques. Le cheval, en passant sur la piste, rompait successivement ces fils et provoquait l'ouverture instantanée des appareils, dont chacun prenait l'image de l'animal dans l'une de ses attitudes successives.

Pour ces premiers travaux, M. Muybridge ne se servait encore que de plaques au collodion humide ; la découverte du gélatino-bromure d'argent lui a permis, plus récemment, de poursuivre ses études dans des conditions plus parfaites et de publier de magnifiques planches d'animaux en mouvement.

Dans ces dernières années, M. Ottomar Anschütz (de Lissa) a obtenu par la

(1) Il s'agissait de déterminer les positions successives de la planète Vénus à différents instants de son passage sur le disque du Soleil. Notre savant confrère créa pour cet usage son *revolver astronomique*, dans lequel une plaque sensible de forme circulaire se déplaçait, de temps en temps, d'un angle de quelques degrés et recevait, chaque fois, une image nouvelle sur un point différent de sa surface. (Passage de la planète Vénus sur le Soleil le 8 décembre 1874.)

(2) J.-D.-B. Stillmann. *The Horse in Motion*. London, 1882.

ÉTUDE DES MOUVEMENTS AU MOYEN DE LA CHRONOPHOTOGRAPHIE 203

méthode de Muybridge de très belles séries photographiques montrant l'homme et les animaux en action.



L'objet de la chronophotographie étant de déterminer avec exactitude les caractères d'un mouvement, cette méthode doit, d'une part, représenter les différents lieux de l'espace parcourus par le mobile, c'est-à dire sa trajectoire, et d'autre part exprimer la position de ce mobile sur cette trajectoire à des instants déterminés.

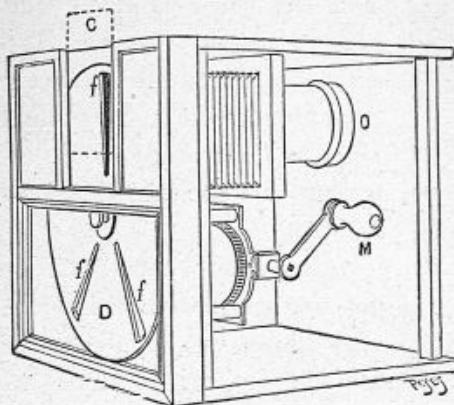


Fig. 1.

Supposons qu'on ait braqué devant un champ obscur un appareil photographique ordinaire, et que, l'objectif étant ouvert, on lance devant ce champ une boule brillante éclairée par le soleil, de telle sorte que l'image de cette boule impressionne sur son passage différents points de la plaque sensible, on trouvera sur cette plaque une courbe continue qui retracera exactement la *trajectoire* suivie par le corps brillant.

Si nous répétons l'expérience en admettant la lumière dans la chambre noire d'une façon intermittente et à des intervalles de temps égaux, nous obtiendrons une trajectoire discontinue dans laquelle seront représentées les positions successives du mobile aux instants où se sont produites les admissions de la lumière : c'est la *trajectoire chronophotographique*.

Cette méthode suppose que l'intervalle de temps qui sépare deux images soit toujours le même et qu'on en connaisse exactement la durée. En outre, le temps d'admission de la lumière doit être très court, afin que l'objet ne se déplace pas d'une manière sensible pendant chaque éclairage.

La figure 1 représente la forme que nous avions donnée primitivement à l'appareil chronophotographique. On faisait tourner au moyen d'une manivelle un disque fenêtré D, dont la rotation était parfaitement uniformisée au moyen d'un régulateur. La plaque sensible s'introduisait avec son châssis C au foyer de l'objectif O. A chaque passage d'une fenêtre F, cette plaque recevait une image représentant l'objet éclairé, avec sa forme et sa



Fig. 2.

position actuelles. Or, comme l'objet se déplaçait entre deux éclaircissements successifs, on obtenait une série d'images indiquant les attitudes et les positions successives de l'objet en mouvement.

Pour une même vitesse de translation, si l'objet étudié couvre peu de surface dans le sens du mouvement, on en peut recueillir un grand nombre d'images sans qu'elles se confondent en se superposant. C'est le cas du projectile (la boule) que nous considérons tout à l'heure. Mais si nous prenons les images d'un homme qui marche, chaque image couvre une surface étendue et renseigne sur les positions que prennent le corps, les bras et les jambes.

Or, par cela même que chaque image occupe plus d'espace, le nombre qu'on en peut prendre est moins grand, sinon elles se superposent, ce qui produit une véritable confusion.

Ainsi la confusion des images par superposition impose une limite aux applications

de la chronophotographie sur plaque fixe. Dans bien des cas pourtant on échappe à cet inconvénient au moyen de certains artifices.

Le moyen le plus simple consiste à réduire la surface du corps étudié. Pour cela on rend invisibles, en les noircissant, les parties qu'il n'est pas indispensable de représenter dans l'image et l'on rend lumineuses au contraire celles dont on veut connaître le mouvement.

C'est ainsi qu'un homme vêtu de velours noir (fig. 2, p. 203) et portant sur les manches des galons et des points brillants, ne donne, dans l'image, que des lignes géométriques sur lesquelles pourtant se reconnaissent aisément les attitudes des différents segments des membres.

Dans l'épure que l'on obtient ainsi, le nombre des images peut être considérable et la notion de temps très complète, tandis que celle d'espace a été volontairement restreinte au strict nécessaire (fig. 3).

Le principe de la chronophotographie sur plaque fixe exige que le corps dont on étudie le mouvement forme seul des images sur la plaque sensible, tandis que le fond sur lequel il se détache n'envoie dans l'appareil aucun rayon lumineux. Un rideau de velours noir peut servir à cet usage, à la condition qu'il ne soit pas directement frappé par le soleil, car toute substance, quelque obscure qu'en soit la couleur, réfléchit toujours une certaine quantité de lumière quand elle est vivement éclairée.

Chevreul a indiqué le seul moyen d'obtenir le *noir absolu*, il consiste à noir-

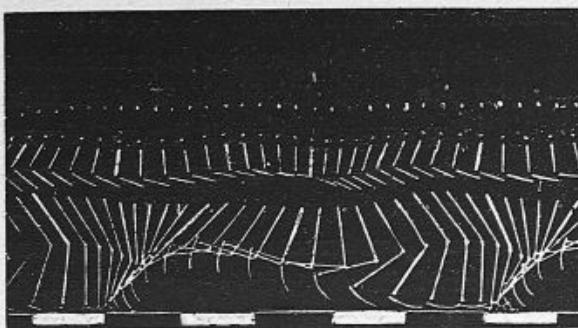


Fig. 3.

ÉTUDE DES MOUVEMENTS AU MOYEN DE LA CHRONOPHOTOGRAPHIE 203

cir intérieurement une caisse dans la paroi de laquelle on pratique une ouverture. A côté de ce trou obscur, tout noir matériel éclairé par le soleil semble coloré.

Pour nous rapprocher le plus possible des conditions idéales indiquées par Chevreul, nous avons construit à la *Station physiologique du parc des Princes* une sorte de hangar profond et large dont l'intérieur est peint en noir. Un rideau de velours noir en occupe le fond; l'ouverture du hangar a 11 mètres de long sur 4 mètres de hauteur. Cette cavité est orientée de telle sorte que le soleil n'en puisse éclairer l'intérieur. Enfin, devant l'ouverture est une piste en pavé de bois noir sur laquelle on fait passer, sous la pleine lumière du soleil, les hommes et les animaux dont on veut analyser les mouvements (fig. 4).

On n'a pas besoin de champ obscur lorsque, pendant la nuit, ou dans un local éclairé par la lumière rouge, on photographie les mouvements d'un corps lumineux par lui-même, d'une lampe à incandescence par exemple; cela donne d'excellentes images.

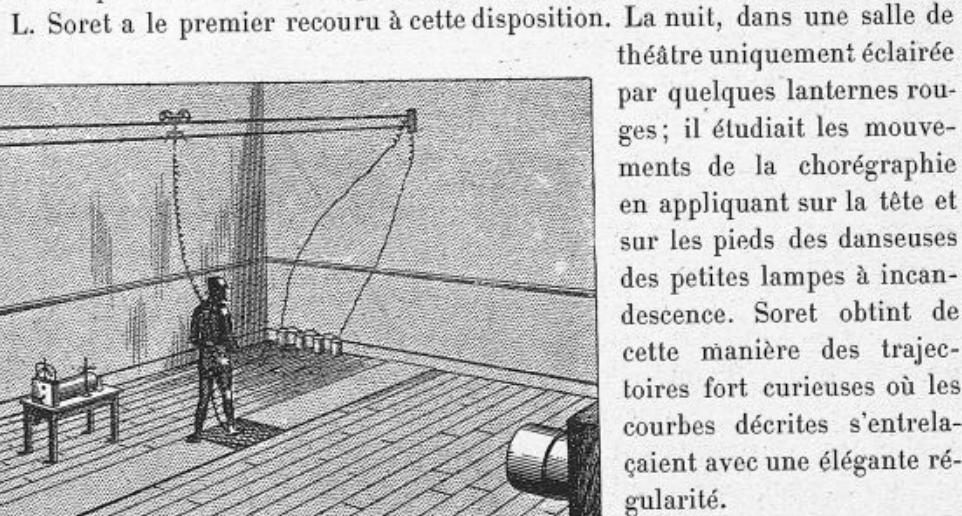


Fig. 4. — Écran noir, échafaudages pour vues plongeantes et chambre noire d'opérations sur rails.

L. Soret a le premier recouru à cette disposition. La nuit, dans une salle de théâtre uniquement éclairée par quelques lanternes rouges; il étudiait les mouvements de la chorégraphie en appliquant sur la tête et sur les pieds des danseuses des petites lampes à incandescence. Soret obtint de cette manière des trajectoires fort curieuses où les courbes décrites s'entrelaçaient avec une élégante régularité.

MM. Demeny et Quénu ont également recouru aux

lampes à incandescence pour analyser par la chronophotographie la marche de malades atteints de différentes sortes de claudications (fig. 5).

Une chambre, dans les bâtiments d'un hôpital, fut munie de vitres rouges

on traça sur le parquet la piste sur laquelle devait marcher le malade et l'on mit l'appareil au point pour cette distance. Des lampes à incandescence furent appliquées aux articulations d'une jambe, à l'une des épaules et sur la tête du sujet. Ces lampes étaient placées sur un circuit mis en communication avec les piles par un chariot qui glissait sur des fils métalliques et accompagnait les mouvements du marcheur.

L'image obtenue était formée d'une série de points brillants correspondant aux positions successives de chacune des lampes. En reliant entre eux ces points

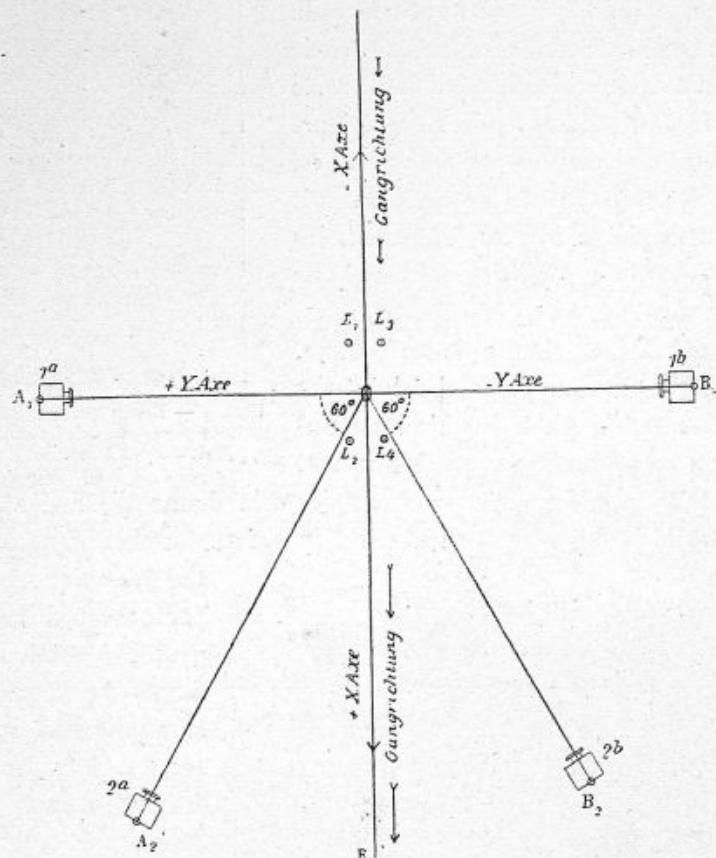


Fig. 6.

par des lignes, on avait la chronophotographie géométrique de la marche du sujet.

Plus récemment (janvier 1894) d'après notre méthode, une étude semblable, mais plus complète a été entreprise à l'hôpital Trousseau par MM. Contremoulin et Delanglade, étude sur laquelle nous reviendrons plus loin après avoir signalé auparavant le principal travail étranger analogue dont nous ayons connaissance.

L'an dernier, sous le titre : *La marche de l'homme*, recherches sur l'homme chargé et non chargé, MM. BRAUNE et FISCHER ont publié à Leipzig chez l'éditeur

ÉTUDE DES MOUVEMENTS AU MOYEN DE LA CHRONOPHOTOGRAPHIE 207

Hirzel le résultat d'observations chronophotographiques fort intéressantes que nous tenons à signaler.

Avec une conscience à laquelle il convient de rendre hommage, ces deux hommes d'étude commencent par rappeler les travaux classiques des frères Weber, les nôtres et les tentatives faites par Vierordt pour l'étude simultanée du mouvement considéré dans sa projection sur deux plans différents. Partant

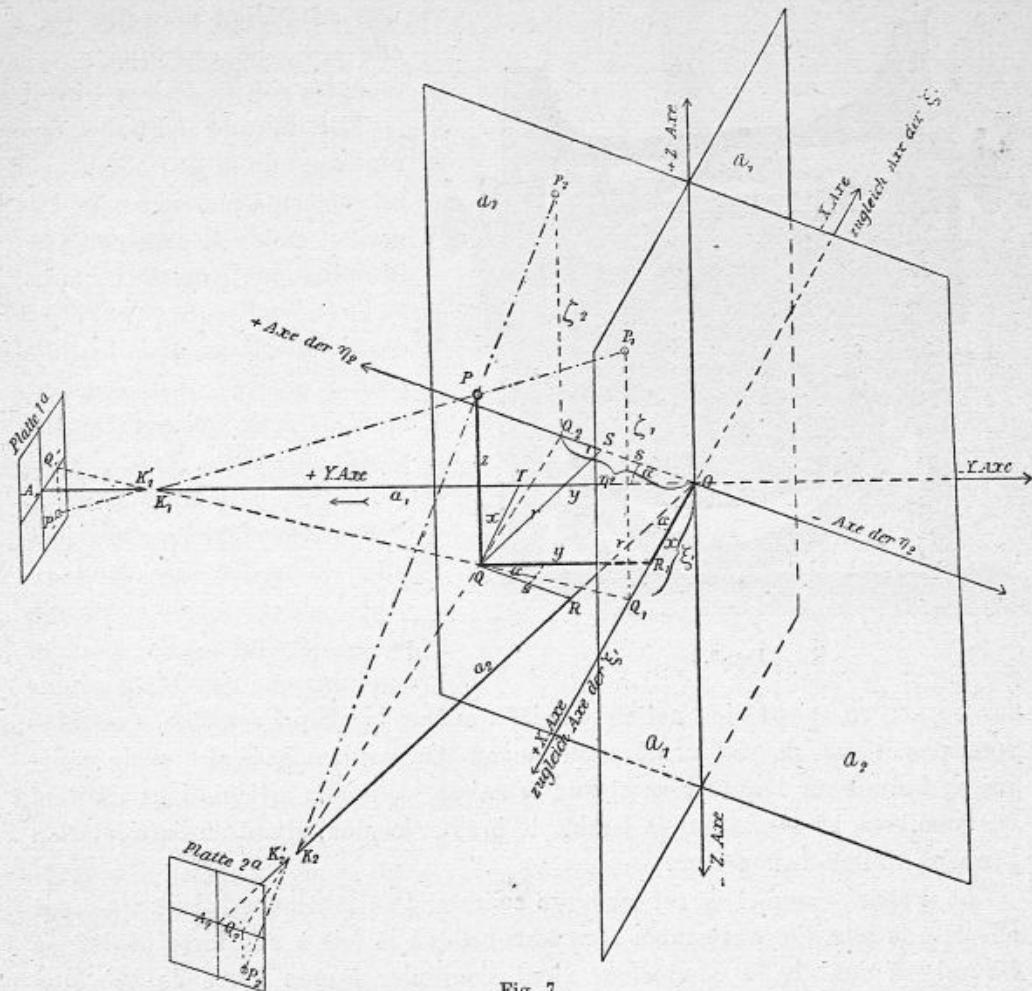


Fig. 7.

des données de ce dernier et transformant avec beaucoup d'ingéniosité certaines indications recueillies dans nos propres travaux, MM. Braune et Fischer se sont proposé d'établir des coordonnées dans l'espace d'images prises selon des plans faisant entre eux des angles connus.

Chaque plan donnant deux dimensions, on peut arriver en effet, par leurs coordonnées, à reconstituer les trois dimensions du corps se déplaçant dans l'espace, *pourvu qu'il y ait une simultanéité parfaite dans la reproduction des*

images, or, en l'état actuel de nos moyens, cette concordance absolue n'est guère réalisable.

Pour arriver à la précision parfaite, et pour obtenir des images concordant avec un synchronisme absolu, MM. Braune et Fischer semblent s'être fort heureusement inspirés des travaux de Soret et de Demeny et Quénu précités, car la très subtile méthode qu'ils ont employée procède du même principe avec une application d'autant plus étendue qu'ils ont mis au point une dentation nouvelle qui à

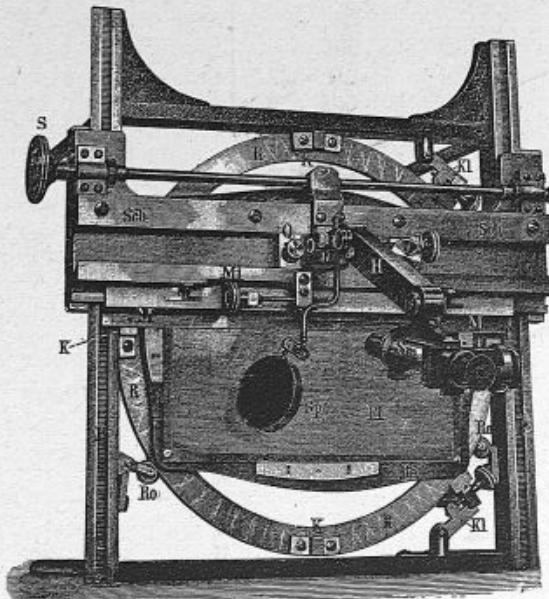


Fig. 8.

les images en soient bien nettement définies sur la plaque sensible. Ces tubes sont placés sur chaque membre au moyen d'armatures spéciales et de courroies ; les uns sur l'avant-bras et sur la cuisse jusqu'aux articulations limitant ces membres, les autres sur la jambe, le bras et le pied, allant de l'articulation jusqu'au milieu du membre.

Le système complet de cet éclairage comprend en tout onze tubes : un étant affecté à la tête. Ces onze tubes sont tous reliés à la fois à une forte bobine de Rhumkorff dont le fil conducteur vient s'enrouler à une barre de bois que l'homme porte en travers sur ses épaules. Avec cet ensemble d'appareils il peut parcourir librement une étendue de 10 mètres, longueur totale de la salle d'expériences.

Sur chaque tube, une raie étroite tracée au vernis noir indique le *point milieu* entre les articulations. Enfin, comme nous l'avons dit, la salle dans laquelle le sujet se déplace est obscure, de telle sorte que chaque illumination à intervalles réguliers des tubes de Geissler laisse seule son impression sur la plaque sensible.

une adaptation nouvelle qui a elle seule ne constitue pas le moindre mérite de leur travail.

MM. Braune et Fischer opèrent dans un milieu obscur, sur un sujet entièrement revêtu d'un maillot noir et procèdent par illuminations partielles comme on l'a fait en France pour l'étude des claudications, mais leur dispositif diffère assez sensiblement de ceux qui ont été employés chez nous.

Au lieu de lampes à incandescence formant *des points brillants*, le modèle des deux savants observateurs allemands porte des tubes de Geissler aussi fins que possible pour que

ÉTUDE DES MOUVEMENTS AU MOYEN DE LA CHRONOPHOTOGRAPHIE 209

Quant à l'observation proprement dite du sujet elle est faite au moyen de quatre appareils disposés comme le montre la figure 6. Deux de ces appareils sont placés l'un à droite et l'autre à gauche de l'axe du déplacement (Gangrichtung) et perpendiculairement à cet axe. Les deux autres appareils, également placés l'un à droite et l'autre à gauche de l'axe du déplacement, font avec la direction des premiers un angle de 60° .

Les axes optiques de tous ces appareils convergent exactement en un point O placé au milieu des axes X de la marche et Y des appareils et à $0^m,90$ du sol¹ (fig. 6).

Pour recueillir les données fournies par les images lumineuses, MM. Braune et Fischer ne se sont pas contentés de photocopies positives ; ils ont tenu à examiner le négatif lui-même pour éviter les chances de déformations inhérentes aux papiers.

Cette observation est faite avec un microscope muni d'une graduation spéciale de haute précision permettant des mesures exactes au $1/1000$ de millimètre² (fig. 8 et 9, et p. 210, fig. 10 et 11).

Le nombre des mesures ainsi prises s'élève à 6,696. Elles sont consignées dans des tables dressées par les deux collaborateurs allemands, tables publiées dans leur mémoire et dont nous donnons ici un spécimen pour en montrer la disposition (fig. 12, p. 210).

C'est par ce système de mesures que MM. Braune et Fischer ont pu arriver à obtenir une série de coordonnées dans l'espace et à déterminer ces coordonnées pour les *points milieux* entre les articulations.

(1) Chaque paire d'appareils 1 a et 2 a, 1 b et 2 b correspond à une projection des points d'un côté du corps, le droit ou le gauche.

(2) Partageant alors par hypothèse chaque plan vertical des axes x et y autour du point O par des médianes dénommées 1, 2 et perpendiculaires à l'axe des objectifs des appareils 2 b et 1 b, des mesures sont prises des distances des points de repère choisis au-dessus et au-dessous de ces médianes (fig. 7, p. 207).

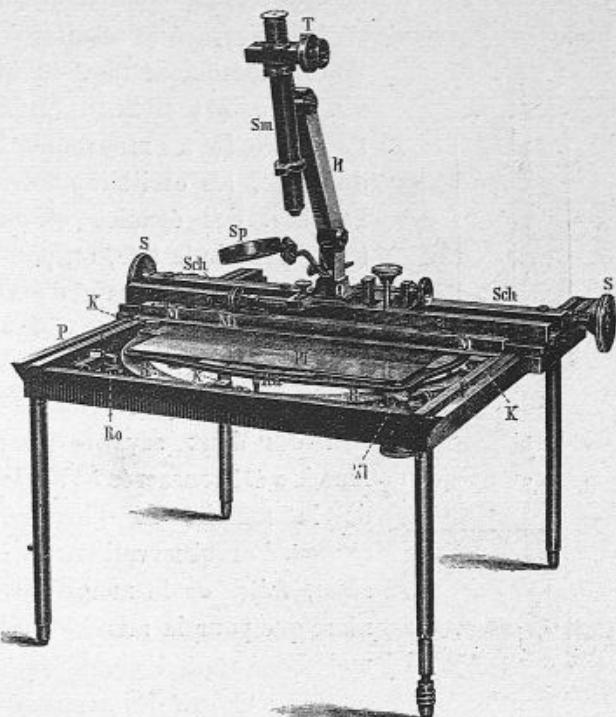


Fig. 9.

Ils ont ainsi tracé puis mesuré les courbes des *points milieux* des articulations, du sommet de la tête, du genou et de la pointe du pied.

Plus tard, ils ont matérialisé le résultat de leurs recherches dans des figures schématiques en relief montrant exactement dans l'espace le résultat de

leurs expériences (fig. 13 et fig. 14, p. 211 et 212). Enfin ils ont étudié les mouvements du tronc, les oscillations des hanches, des épaules et du torse, puis de la tête, et, pour conclure, ils ont essayé d'établir les relations existant entre ces divers mouvements.

La dernière partie du travail des deux savants allemands a été consacrée à l'étude de la marche de l'homme chargé. Les observations à ce sujet, faites de la même manière que pour la marche normale, ont servi à établir une table qui donne les rectifications à apporter dans ce dernier cas, c'est-à-dire pour la

marche de l'homme chargé, aux chiffres des tables de la marche normale.

En résumé, l'étude de MM. Braune et Fischer contient une grande quantité de graphiques extrêmement soignés et minutieux représentant les mouvements tant de l'ensemble du corps que ceux d'un point isolé ou de deux points spéciaux en relation l'un avec l'autre.

La méthode d'investigation « rigoureusement précise et scientifique » qu'ont établie MM. Braune et Fischer est de nature, suivant leurs propres termes, « à rendre pour l'étude de la constitution du mouvement les mêmes services que le microscope pour l'étude de l'organisme¹ ».

(1) M. Braune étant mort récemment, M. O. Fischer a poursuivi seul les études qu'il avait commencées avec son regretté collègue et vient de publier un nouveau mémoire sur le travail musculaire du bras.

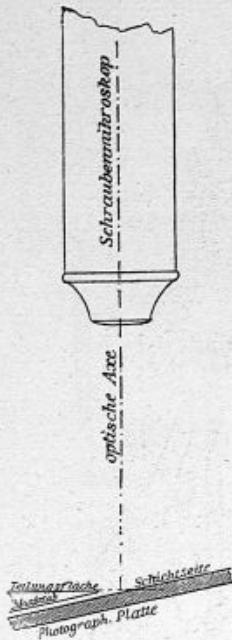


Fig. 10.

Schultergelenk rechts			
ξ'_1	η'_2	ζ'_1	ζ'_2
-59,437	+32,529	+28,626	+22,872
-55,366	+31,127	+29,735	+23,950
-51,271	+29,727	+30,731	+
-47,211	+28,347	+31,370	+25,601
-43,109	+27,003	+31,604	+25,961
-39,078	+25,634	+31,391	+25,981
-34,966	+24,237	+30,762	+25,664
-30,496	+22,750	+29,753	+24,982
-26,116	+21,272	+28,763	+24,360
-21,821	+19,926	+28,143	+24,000
-16,889	+18,423	+27,870	+23,960
-11,887	+16,812	+27,979	+24,290
-7,014	+15,114	+28,421	+24,920
-2,825	+13,528	+29,291	+25,900
+ 1,671	+11,739	+30,678	+27,430
+ 5,603	+10,146	+31,721	+28,230
+10,146	+ 8,283	+32,350	+29,450
+14,185	+ 6,550	+32,260	+29,490
+18,451	+ 4,570	+31,678	+29,320
+22,882	+ 2,490	+30,580	+28,880
+27,469	+ 0,250	+29,979	+28,330
+31,957	- 2,100	+29,154	+27,860
+36,362	- 4,420	+28,653	+27,560
+40,804	- 6,820	+28,409	+27,750
+45,205	- 9,270	+28,614	+28,240
+49,964	-11,800	+28,997	+28,855
+53,915	-13,800	+29,550	+29,500
+57,843	-15,870	+30,441	+30,830
+61,360	-17,640	+31,197	+31,830
+65,119	-19,520	+31,691	+32,460
+68,888	-21,500	+31,812	+32,960

Fig. 12.

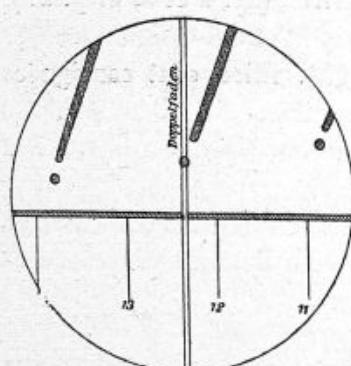


Fig. 11.

ÉTUDE DES MOUVEMENTS AU MOYEN DE LA CHRONOPHOTOGRAPHIE 211

Plus que minutieuse, la recherche des courbes faite par les deux auteurs dont il s'agit n'est pourtant pas sans éveiller quelque inquiétude quant à ses résultats si l'on considère dans leur dispositif opératoire le très compliqué et très encombrant appareil d'éclairage qu'ils ont mis en œuvre.

Il se peut que l'impression produite à première vue par cet appareil ne soit pas justifiée dans la pratique, mais on est porté à se demander si les tubes de Geissler fixés sur le sujet, par-dessus le maillot noir dont il est revêtu, ne risquent pas de se déplacer malgré les nombreuses attaches qu'il faut pour les maintenir et, dans le cas même où ils ne se déplaceraient pas, on est un peu autorisé à penser que tant de courroies fortement sanglées sur tous les membres du sujet ont quelques chances de modifier la liberté de ses allures.

Pour correspondre à des mesures aussi minutieuses que celles qui ont été faites par les observateurs on est instinctivement tenté de souhaiter moins d'embarras et de contrainte dans la personne du sujet observé.

A cet égard, les études entreprises d'après notre méthode et avec nos instruments à l'hôpital Trousseau dès le commencement de 1894 sur *les luxations congénitales du fémur* par MM. Delanglade et Contremoulin sont plus rassurantes quant à la stabilité des appareils lumineux et à la liberté des allures du sujet observé.

Au lieu de tubes de Geissler ces derniers observateurs ont employé de très petites lampes à incandescence faites spécialement pour leurs recherches et à demi encastrées dans des cuvettes d'ébonite très plates, qui se fixaient sur la peau, le sujet étant entièrement nu, avec une petite boule d'emplâtre, appliquées aux différents points suivants :

1^o Sur la malléole externe au niveau de la mortaise péronéo-tibiale ;

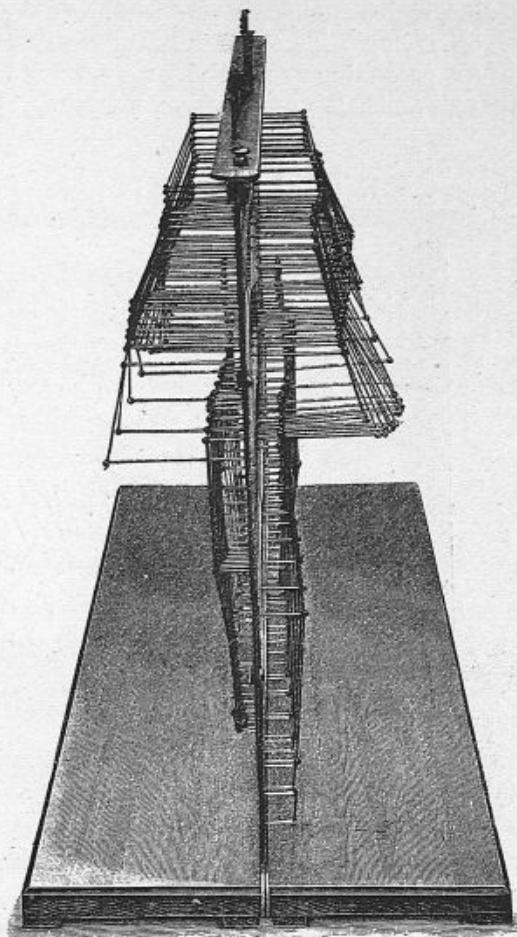


Fig. 13.

- 2^o Sur face externe du condyle externe du fémur ;
- 3^o Au niveau du grand trochanter ;
- 4^o Sur le bassin au niveau de la facette d'insertion du tubercule de Maisiat ;
- 5^o Au niveau de la neuvième ou de la dixième côte¹.

En résumé, les observations de MM. Contremoulin et Delanglade, — qui seront prochainement publiées, — leur ont permis de déterminer les lois de la marche normale par rapport à celles des luxations congénitales du fémur, lois

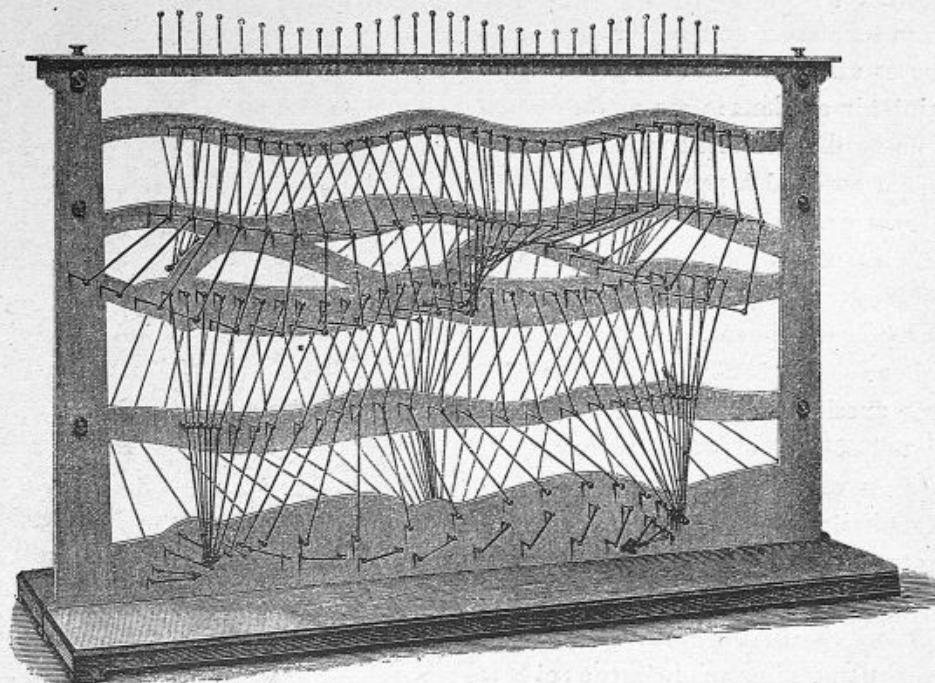


Fig. 14.

qui ont pour effet de permettre d'apprécier rigoureusement l'amplitude et la nature de la luxation et surtout d'indiquer si, les caractères de la marche normale étant reconstitués, la guérison est complète.

Enfin, pour la chronophotographie sur plaque fixe, nous aurons achevé de citer tous les travaux étrangers qui nous sont connus en mentionnant les expériences faites en Amérique par M. E. Luce avec le concours du professeur Bowditch sur les mouvements articulaires de la mâchoire. En mai 1894 nous

(1) Pour la malléole externe, le point lumineux est fixé directement sur la peau, ce point n'ayant pas besoin d'une rigoureuse précision, puisqu'il ne sert qu'à indiquer les appuis et les levers du pied. Mais il n'en est pas de même pour les points suivants, qui devaient en quelque sorte faire corps avec le squelette et qui ont nécessité un mode d'attache spécial, absolument fixe, mais ne comprimant nullement les tissus et laissant aux muscles leur entière liberté de mouvement.

ÉTUDE DES MOUVEMENTS AU MOYEN DE LA CHRONOPHOTOGRAPHIE 213

avons communiqué, sur nos propres travaux à ce sujet, une note à l'Académie des Sciences qui rappelle en même temps le procédé de M. Luce et nous dispense de le décrire ici.



Les applications de la chronophotographie sur plaque fixe à la chute des corps dans l'air, aux expériences de balistique, à la résistance de l'air aux surfaces diversement inclinées, à l'hydrodynamique, aux mouvements intérieurs du liquide dans les ondes, aux courants et remous, aux oscillations et aux vibrations, au roulis des navires, aux vibrations des ponts métalliques, aux vibrations des cordes¹ sont assez connues désormais pour que nous soyons dispensé d'y revenir. M. A. Uchard² et M. Deslandres³ ont notamment publié à ce sujet des observations fort précieuses auxquelles il est aisément de se reporter.

Sur la cinématique et la dynamique des mouvements de l'homme, sur sa locomotion au point de vue artistique et sur celle des quadrupèdes; sur la locomotion dans l'eau et dans l'air (vol des oiseaux et vol des insectes) de même que sur la locomotion comparée, enfin sur les applications de la chronophotographie à la physiologie expérimentale et sur la chronophotographie microscopique nous avons donné déjà, dans notre traité du *mouvement*⁴, des indications spéciales qu'on retrouvera au besoin et qu'il serait superflu de répéter ici.

Mais avant de considérer la chronophotographie sur plaque mobile, qui a donné, surtout récemment, des résultats nouveaux popularisés en quelque sorte par des appareils de projection que tout le monde connaît à présent, il nous reste encore à signaler l'un des derniers travaux faits à l'aide de la chronophotographie sur plaque fixe par MM. Ch. Comte et Félix Regnault à la Station physiologique du Parc des Princes : *L'étude comparative entre la méthode de marche et de course dite « en flexion » et les allures ordinaires*.

A cet effet nous ne saurions mieux faire que d'extraire du mémoire de nos deux jeunes collaborateurs les principaux paragraphes dans lesquels ils exposent leurs recherches et les résultats de leurs observations :

« Le genre de marche ordinaire usité dans notre pays est-il le meilleur, c'est-à-dire celui qui utilise le mieux possible les forces de l'homme pour obtenir

(1) A. Cornu. Communication à l'Académie des Sciences.

(2) A. Uchard. *Remarques sur les lois de la résistance de l'air*. Paris, Berger-Levrault, 1892.

(3) Deslandres. *Action des chocs rythmés sur les ponts métalliques*. Annales des Ponts et Chaussées, décembre 1892.

(4) *Le Mouvement*, par E. J. Marey. Paris, Masson, éditeur, 1894.

un effet utile ? On peut se le demander en voyant chez certains peuples les coureurs professionnels adopter des allures toutes différentes. Ainsi, les coureurs Cingalais et les Japonais marchent et courent en fléchissant les jambes beaucoup plus que nous.

« Le commandant de Raoul a été conduit, par ses études pratiques, à préconiser un genre de marche et de course dit « en flexion », très sensiblement pareil à celui que l'un de nous a eu l'occasion d'observer chez les Cingalais. Les

études qu'il poursuit depuis 1872 et les expériences instituées dans l'armée ont démontré au commandant de Raoul qu'on pouvait obtenir d'une troupe quelque peu entraînée une vitesse d'environ huit kilomètres à l'heure, au pas, et de douze à la course, pendant plusieurs heures de suite, sans fatigue plus grande pour ces hommes que s'ils avaient parcouru aux allures ordinaires des distances moitié moindres.

« Par la chronophotographie nous pouvions déterminer les traits caractéristiques de ces deux sortes d'allures, en déduire les conditions mécaniques de chacune d'elles et contrôler ces résultats par la dynamographie. Afin de rendre les résultats plus facilement comparables, le même sujet, le commandant de Raoul, a exécuté successivement les deux genres de marche et de course.

« Parmi les séries d'épreuves chronophotographiques, choisissons deux images correspondant autant que possible à la même phase du pas dans les deux genres de marche qu'il s'agit de comparer. C'est l'instant du poser du pied droit sur le sol qui est représenté (fig. 15 et 16).

« On voit déjà aisément que : 1^o le corps est plus incliné en avant dans la marche en flexion (fig. 16) que dans la marche ordinaire (fig. 15); 2^o la jambe posant à terre est plus fléchie sur la cuisse; 3^o la jambe qui termine son appui est plus fortement inclinée sur l'horizontale. Il s'ensuit que le choc du pied qui pose sur la terre, étant transmis au corps par un levier plus brisé, se trouve amorti, et l'effort de propulsion du pied qui quitte le sol, se faisant suivant un angle qui s'écarte plus de la verticale, est plus favorable à la progression.

« Ces photographies donnent déjà une idée des différences entre les deux modes de progression; mais, pour marquer les variations d'attitudes qui se pro-

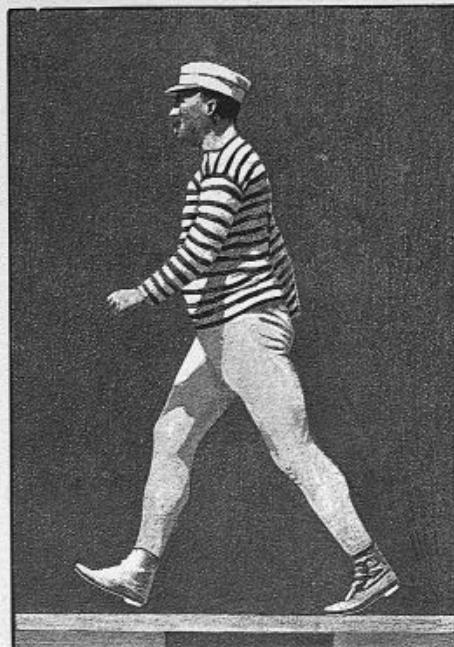


Fig. 15.

ÉTUDE DES MOUVEMENTS AU MOYEN DE LA CHRONOPHOTOGRAPHIE 215

duisent dans toutes les phases du pas, il faut examiner toutes les figures successives fournies par la série d'épreuves photographiques qui décomposent le pas. Pour les rendre facilement intelligibles, il suffit d'imbriquer ces figures à leurs distances respectives en supprimant une moitié du corps. Nous possédons ainsi toutes les positions occupées par l'individu dans l'espace pendant la durée d'un pas complet.

« Les figures 17 et 18 nous représentent la moitié gauche du corps pendant la durée d'un pas de marche exécuté par le pied gauche. La longueur du pas est plus grande dans la marche en flexion (fig. 18) et malgré cette augmentation de longueur du pas, l'ondulation marquée par la ligne des têtes est bien moins prononcée. Le corps est plus ramassé, l'homme paraît plus petit et rase de plus près la terre. Au moment du poser, comme nous l'avons vu dans les figures précédentes, les trois articulations du membre inférieur sont plus fléchies dans la marche modifiée; cette flexion augmentée persiste pendant toute la durée de l'appui du pied et ce n'est qu'à la fin de cette phase que la jambe entre en extension. Le membre inférieur commence alors sa période d'oscillation qu'il peut prolonger davantage, grâce à sa flexion et grâce à l'extension plus considérable du membre opposé.

« Il en est de même pour la course.

« Dans cette allure modifiée, le pas est plus allongé, les ondulations de la tête sont moins fortes, le corps ne présente plus la raideur de la course ordinaire, et cette idée de souplesse provient de cette flexion plus grande des articulations.

« Ces figures ne nous permettent que des appréciations visuelles; il nous reste encore à les traduire en chiffres. Aussi avons-nous recouru aux épures chronophotographiques construites en déterminant dans chaque figure les trois centres articulaires importants du membre inférieur et en prenant un point fixe sur la tête du sujet. Ces épures remplacent avantageusement celles que donne la chronophotographie, sur plaque fixe, du sujet vêtu de noir avec les axes des membres figurés par des lignes blanches, attendu qu'il est fort difficile de placer et de maintenir ces lignes blanches dans leur position exacte, par suite des contractions musculaires. Pour ces épures, au contraire, les axes et les centres



Fig. 16.

articulaires sont déterminés sur chaque figure séparée en tenant compte de la longueur exacte des différents articles et de leur centre momentané d'oscillation.

« Sur les épures ont été indiqués les facteurs, temps et espace.

« En haut de la figure est une échelle du temps divisée en dixièmes et ving-

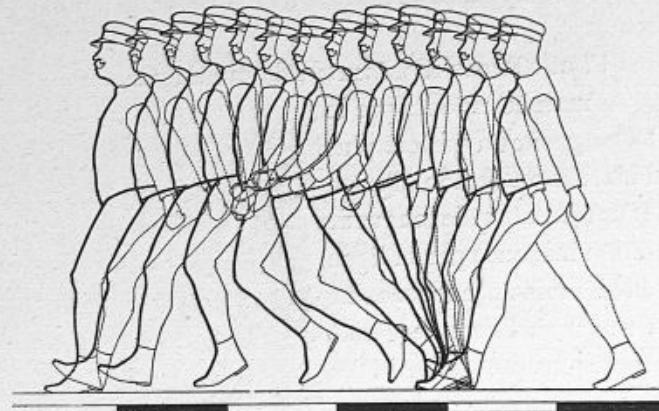


Fig. 17.

tièmes de seconde. Cette échelle sert à mesurer les durées absolues des appuis et des levés alternatifs du pied dont la notation a été représentée suivant la manière ordinaire par des bandes teintées de hachures et dont la longueur cor-

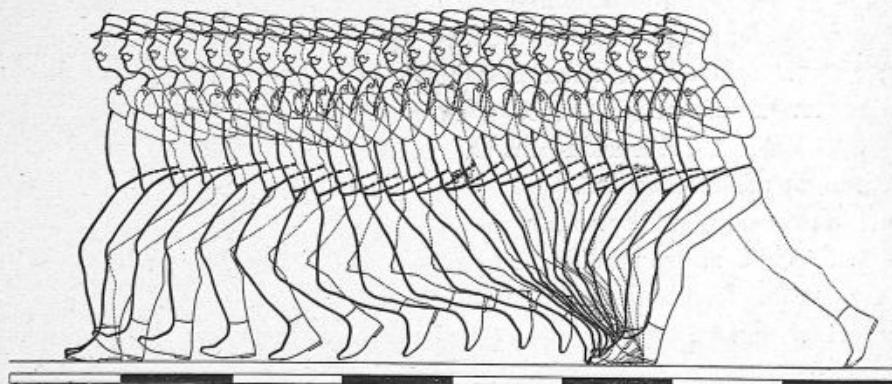


Fig. 18.

respond à la durée de l'appui. On voit ainsi dans la figure 19 que l'appui de chaque pied dure quarante-neuf centièmes de seconde, le levé trente-cinq; enfin que la période de double appui est sensiblement de sept.

« On pouvait choisir arbitrairement un point quelconque pour origine de ces diverses notations; nous avons préféré placer l'origine de chaque notation d'appui, verticalement au-dessus du point où se trouvait à cet instant la tête du marcheur.

ÉTUDE DES MOUVEMENTS AU MOYEN DE LA CHRONOPHOTOGRAPHIE 217

« En bas de la figure, le chemin parcouru est mesuré en sections de 50 centimètres chacune, par des traits alternativement noirs et blancs.

« Le caractère le plus remarquable des allures en flexion est la diminution d'amplitude de l'oscillation verticale. Cette courbe est, en effet, plus tendue dans

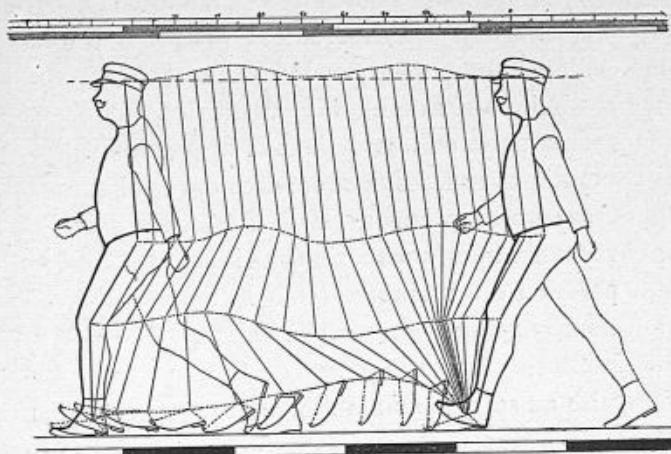


Fig. 19.

la marche en flexion; sa flèche est plus courte de 2 centimètres; cette différence serait encore bien plus accentuée si la longueur du pas eût été la même dans les deux genres de marche. Enfin, le maximum d'élévation ne siège pas

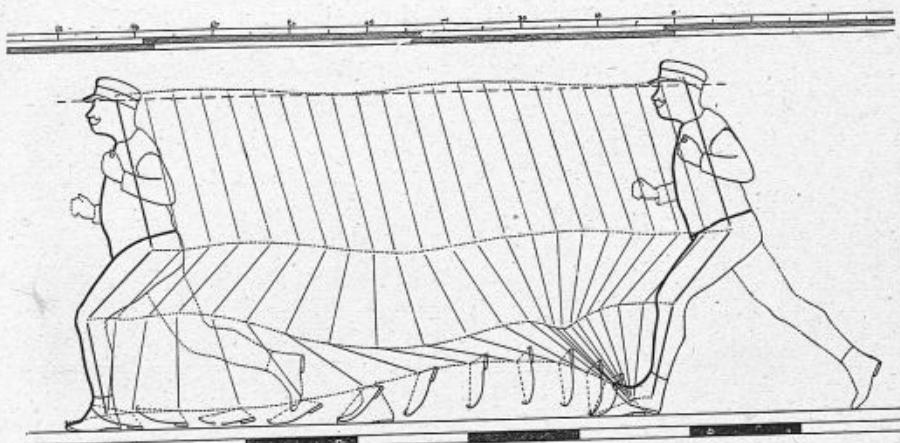


Fig. 20.

au même moment, il est au milieu de l'appui dans la marche ordinaire, à la fin dans la marche en flexion. Ces différences de position et de hauteur de l'oscillation verticale proviennent de ce que, dans la marche en flexion, le sujet n'étend pas son genou au milieu de l'appui. Au contraire, il continue la flexion de la jambe et la prolonge presque jusqu'à la fin de l'appui. Ce n'est qu'après

le moment où le centre de gravité du corps a dépassé la base de sustentation que le membre commence à s'étendre. Il diminue ainsi la chute du corps en avant, tandis que sa flexion a diminué l'élévation du corps au moment de son passage par-dessus son point d'appui.

« La chronophotographie nous donne ainsi le mécanisme des différences de rendement qu'indiquaient déjà les expériences pratiques du commandant de Raoul. Elle nous explique comment, par la méthode *en flexion*, le marcheur éteint ses à-coups et diminue ses oscillations verticales. Or, on sait que ce sont là les deux facteurs de la perte de travail dans la progression.

« Les tracés recueillis avec les dynamomètres enregistreurs confirment ces résultats. Si on enregistre la pression totale du pied sur le sol, le corps ne tombe pas à terre avec autant de brusquerie dans les allures fléchies, et la valeur maxima de cette pression est moindre. Dans la marche du commandant de Raoul, la pression ne dépasse que de très peu celle qu'exerce le corps immobile sur le sol, 87 kilogrammes, et dans la course en flexion elle est à peu près égale à la pression transmise au sol pendant la marche ordinaire, tandis que, dans la course classique, cette pression est beaucoup plus considérable. D'ailleurs la simple observation révélait déjà ce fait que précise la dynamographie. Sur le sable humide, les traces de pas sont moins accusées dans les allures fléchies.

« Ces explorations révèlent les mêmes différences que celles observées dans l'étude du saut entre la chute sur les jambes raides et celle sur jambes fléchies. Or, le commandant de Raoul montre, par ces allures modifiées, que cette flexion reconnue nécessaire dans le saut pour amortir la chute, a tout autant sa raison d'être dans la marche et la course, où chaque pas n'est, en somme, qu'une légère chute en avant. »

E.-J. MAREY

Marey fin de livret dans DM 170
à remettre -

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES
BEAUX-ARTS
COURS DE MORPHOLOGIE

INV- N°. 55-L-170

(Plaquette appartenant à
"L'Etude des mouvements au
moyen de la Chronophotographie,
de E.-J. MAREY.)

I. Versuch (% natürlicher Größe)

Ansicht von rechts.

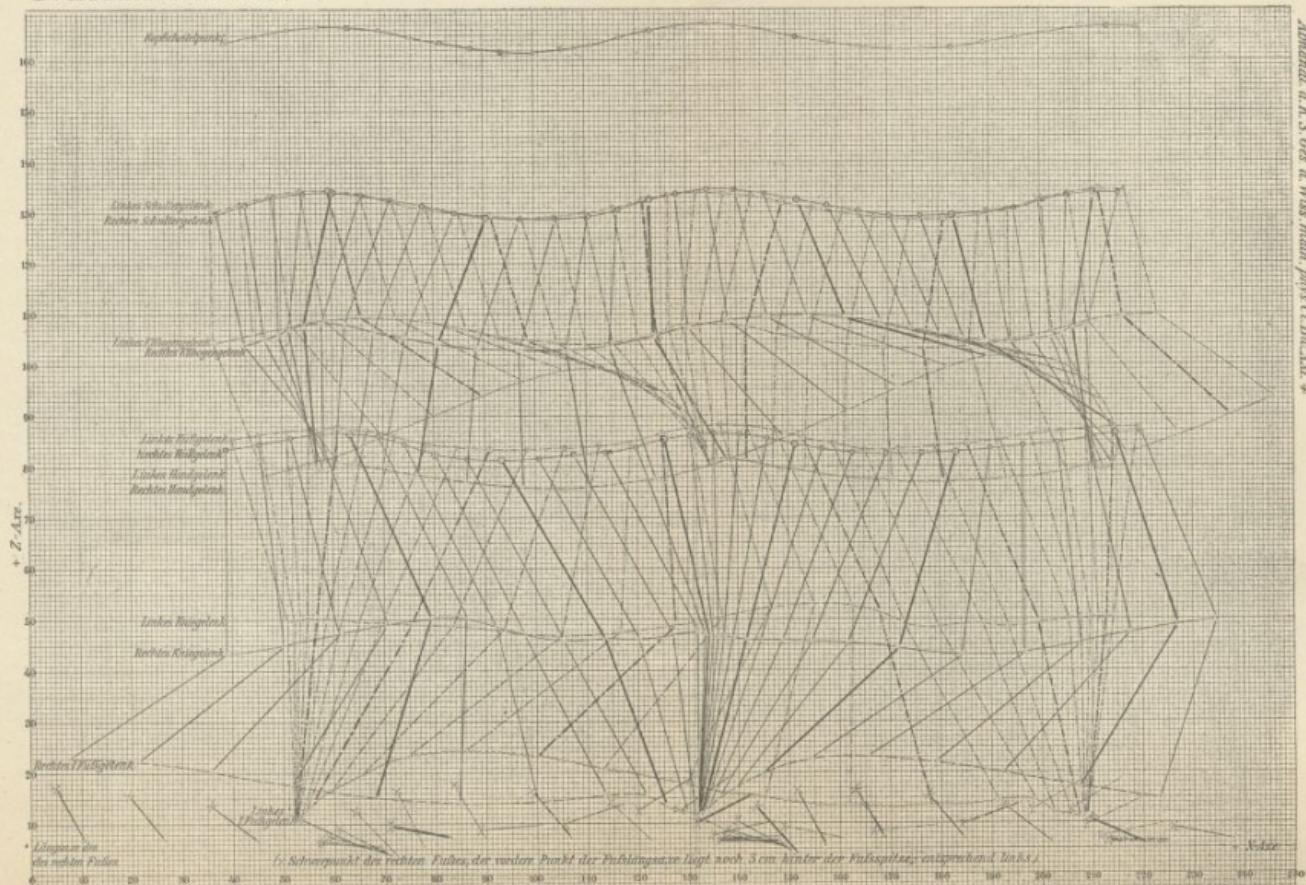
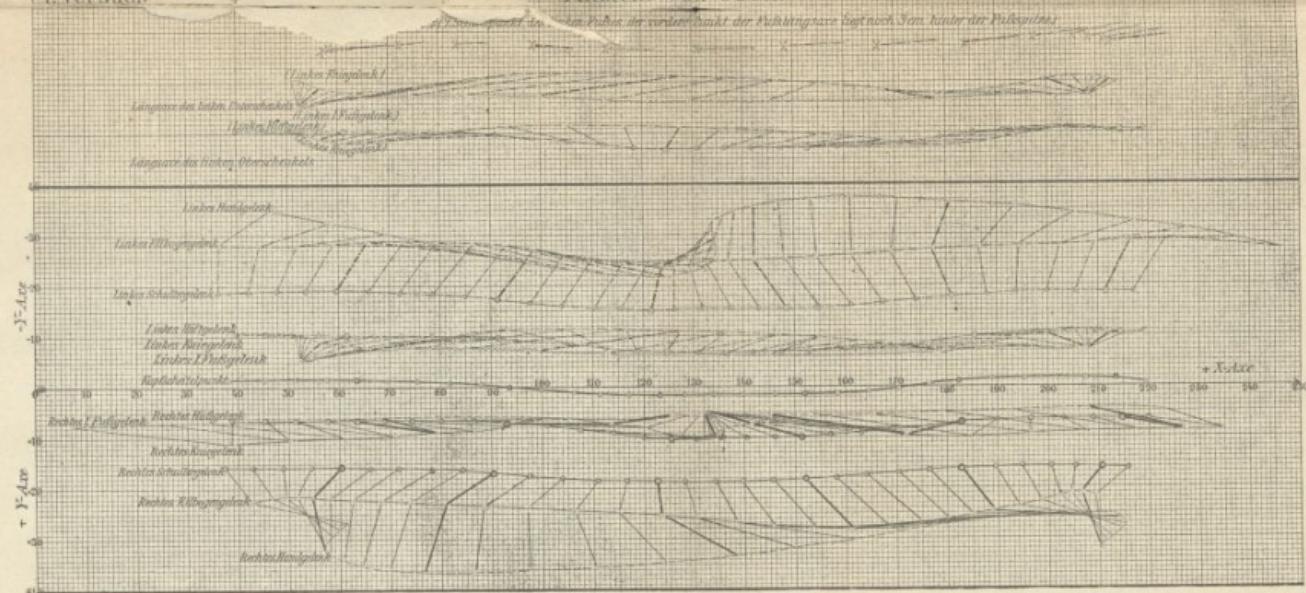


Abbildung d. F. S. des d. Mass math. phys. Cl. Bd. III.

4

I. Versuch

Ansicht von oben



VUE DE DROITE (ANSICHT VON RECHTS)

Point du sommet de la tête (Kopfscheitelpunkt). Articulation de l'épaule droite (Rechtes Schultergelenk). Articulation de l'épaule gauche, en pointillé (Linkes Schultergelenk). Articulation du coude droit (Rechtes Ellbogengelenk). Articulation du coude gauche (Linkes Ellbogengelenk). Banche droite (Rechtes Hüftgelenk). Banche gauche (Linkes Hüftgelenk). Main droite (Rechtes Handgelenk). Main gauche (Linkes Handgelenk). Genou gauche (Linkes Kniegelenk). Genou droit (Rechtes Kniegelenk). Cou du pied droit (Rechtes I. Fußgelenk). Axe en longueur du pied droit (Längsaxe des rechten Fusses). Articulation du pied gauche (Linkes I. Fußgelenk).

VUE EN PERSPECTIVE (ANSICHT VON OBEN)

Axe en longueur du pied gauche (Längsaxe des linken Fusses). Articulation du genou gauche (Linkes Kniegelenk). Axe en longueur de la jambe gauche (Längsaxe des linken Unterschenkels). Articulation du pied gauche (Linkes I. Fußgelenk). Articulation de la hanche gauche (Linkes Hüftgelenk). Articulation du genou gauche (Linkes Kniegelenk). Axe en longueur de la cuisse gauche (Längsaxe des linken Oberschenkels).

+ X-Axe, + Y-Axe et - Y-Axe.

Articulation de la main gauche (Linkes Handgelenk). Articulation du coude gauche (Linkes Ellbogengelenk). Articulation de l'épaule gauche (Linkes Schultergelenk). Articulation de la hanche gauche (Linkes Hüftgelenk). Articulation du genou gauche (Linkes Kniegelenk). Articulation du pied gauche (Linkes I. Fußgelenk). Point sommet de la tête (Kopfscheitelpunkt). Articulation de la hanche droite (Rechtes Hüftgelenk). Articulation du genou droit (Rechtes Kniegelenk). Articulation de l'épaule droite (Rechtes Schultergelenk). Articulation du coude droit (Rechtes Ellbogengelenk). Articulation de la main droite (Rechtes Handgelenk).

