

*Bibliothèque numérique*

**medic@**

**Marey, Etienne-Jules. - Nouveaux  
développements de la Méthode  
graphique par la chronophotographie**

*In : Revue scientifique, 1900,  
XXXVII, 257-263*



**(c) Bibliothèque interuniversitaire de médecine (Paris)**  
Adresse permanente : <http://www.bium.univ-paris5.fr/hist/med/medica/cote?marey193>

# REVUE SCIENTIFIQUE

(REVUE ROSE)

DIRECTEUR : M. CHARLES RICHET

NUMÉRO 9.

4<sup>e</sup> SÉRIE — TOME XIV

1<sup>er</sup> SEPTEMBRE 1900.

612,76

## PHYSIOLOGIE

### Nouveaux développements de la Méthode graphique par la chronophotographie <sup>(1)</sup>.

Mesdames, Messieurs et chers Collègues,

Je vous remercie d'être venus si nombreux à la Station physiologique et je voudrais que cette dernière séance de notre Congrès eût pour vous quelque intérêt; elle aura pour objet l'exposé des nouveaux développements de la Chronophotographie qui est elle-même un complément de la Méthode graphique si répandue parmi nous.

Aujourd'hui l'étude des phénomènes de la vie est faite avec des appareils de précision. Les physiologistes recourent aux mêmes méthodes et souvent aux mêmes instruments que les physiciens; comme eux, ils cherchent à rendre sensibles et mesurables des phénomènes qui échappent à nos sens; c'est dans ce but qu'ont été imaginés les appareils inscripteurs.

Je n'insisterai pas sur la Méthode graphique proprement dite; elle vous est trop connue, mais j'en dois dire cependant quelques mots pour montrer l'étendue de ses applications, les limites de son domaine, et afin de bien faire saisir l'utilité qu'il y avait de recourir à des moyens nouveaux pour fixer l'image de phénomènes qui échappent à l'inscription ordinaire, à celle qu'on obtient au moyen d'un style qui trace sur le papier.

(1) Conférence faite à la Station physiologique aux membres du XIII<sup>e</sup> Congrès international de Médecine.

De grands noms se rattachent à l'introduction de la Méthode graphique en physiologie: Volkmann, Ludwig, Helmholtz, Vierordt nous ont dotés d'instruments qui retracent les mouvements des muscles, les variations de la pression du sang, la vitesse des actions nerveuses, le pouls des artères, etc. Frappé moi-même de l'importance de cette Méthode, j'ai cherché à la développer, à créer des appareils en vue d'applications nouvelles, à corriger les défauts des instruments existants, de sorte que l'on peut dire aujourd'hui que la Méthode graphique permet d'obtenir la connaissance parfaite de la plupart des phénomènes que l'on étudie en physiologie.

Il suffit d'ouvrir nos publications pour voir la place énorme qu'a prise l'emploi de cette Méthode.

Et pourtant elle se résume à un principe bien simple: ce qu'elle inscrit, c'est le mouvement de va-et-vient d'un style qui se meut suivant une ligne droite, tandis que le papier sur lequel trace ce style se déplace perpendiculairement à cette droite et d'un mouvement uniforme. Mais la combinaison de ces mouvements si simples est pleine d'enseignements: la courbe d'un phénomène soumis à l'inscription en exprime les variations en fonction du temps, c'est-à-dire les phases de ce phénomène; elle montre, d'après la vitesse, à chaque instant, du mouvement du style, c'est-à-dire d'après la forme de la courbe, tout ce que l'observation directe était impuissante à nous faire connaître; elle est l'expression naturelle du phénomène lui-même.

Cela n'est vrai, bien entendu, que si l'instrument que nous employons est bien construit et incapable d'altérer par lui-même les caractères du mouvement



qu'il doit retracer. Il n'en est pas toujours ainsi, malheureusement, mais ce n'est pas ici le lieu de faire la critique des appareils inscripteurs, une Commission internationale de physiologistes a été chargée de cette tâche importante.

La Méthode graphique n'a pas pour seul résultat de retracer les phases d'un phénomène unique observé en un point de l'organisme; elle se prête aux inscriptions multiples simultanées et nous fait connaître, de cette façon, les rapports de successions de phénomènes divers. C'est par les inscriptions simultanées que Helmholtz nous a appris à mesurer la vitesse de l'agent nerveux d'après le temps qui s'écoule entre l'excitation d'un nerf et la réaction du muscle qu'il anime; c'est par les inscriptions simultanées que, mon excellent ami Chauveau et moi, nous avons établi la succession et la durée des différents actes qui se passent dans le cœur pendant une de ses révolutions, et le retard du pouls aux différentes artères.

Grâce au moyen de transmission des mouvements par l'air à une série de styles traceurs, méthode imaginée par Buisson, il est relativement facile d'envoyer à l'appareil inscripteur les mouvements recueillis en des points très éloignés les uns des autres. J'ai pu retracer la durée et la succession des appuis des quatre pieds du cheval à diverses allures et fixer ainsi d'une manière précise et indiscutable les caractères des allures diverses, sur lesquels les hommes spéciaux n'étaient pas toujours d'accord. J'ai même pu, sur un oiseau muni d'appareils analogues, retracer le nombre et l'amplitude des coups d'ailes, les phases de l'action des muscles pectoraux et même la trajectoire de la pointe de l'aile avec les inclinaisons variées de sa surface aux diverses phases de son parcours.

Je dois dire que ces expériences n'ont pas réussi à convaincre tous ceux qui en ont lu la description; quelques-uns ont objecté que, muni d'appareils adaptés à ses ailes, un oiseau ne devait pas pouvoir voler, ou du moins que son vol ne devait plus être normal. Il a fallu qu'une méthode toute différente confirmât les résultats de l'analyse graphique du vol; cette méthode, c'est la Chronophotographie dont je vais vous entretenir.

Il est clair que l'inscription d'un phénomène au moyen d'un style traceur a des limites; elle n'est plus applicable aux actes qui sont produits par des forces si faibles qu'on ne puisse, sans les altérer, leur emprunter la force nécessaire pour imprimer à un léger style le mouvement qu'il doit enregistrer. D'autres fois, les mouvements sont trop rapides ou trop étendus, ou bien ils sont trop petits, comme ceux des insectes ou des animaux microscopiques. Vous imaginez aisément le nombre incalculable d'actes que la vue perçoit plus ou moins nettement,

mais qu'il serait impossible d'inscrire et par conséquent de connaître avec exactitude.

Or tout ce que l'œil voit, l'appareil photographique le voit, si l'on peut ainsi parler, avec beaucoup plus de netteté; il en fixe en un instant l'image fidèle et complète. Mais, sous sa forme ordinaire, la photographie est impropre à faire connaître un mouvement. Elle donne, à la perfection, l'expression de l'état statique des êtres vivants; voyons comment elle peut exprimer leurs mouvements par une série d'images successives.

Une des premières applications de la photographie à l'analyse des phases d'un mouvement est celle que fit mon confrère Janssen en 1874, lorsque, pour suivre les phases du passage de Vénus sur le disque du Soleil, il mit au foyer de sa lunette une chambre photographique munie d'une plaque sensible. Cette plaque, de forme circulaire, tournait d'un petit angle de minute en minute et recevait ainsi, sur sa circonférence, une série d'images successives représentant des phases de plus en plus avancées du phénomène astronomique.

Voilà donc fixées par une méthode rigoureuse les phases du mouvement de corps inaccessibles; c'est l'embryon d'une méthode qui devait prendre de grands développements.

Vers 1880, le célèbre photographe américain Muybridge imagina de braquer, au-devant d'un mur bien éclairé, 24 appareils photographiques. Un cheval passait entre ce mur et les appareils; dans sa course, il rompait une série de fils élastiques dont chacun provoquait l'ouverture instantanée de l'un des objectifs. Après le passage de l'animal, on avait obtenu 24 images où le cheval était représenté dans les 24 attitudes qu'il avait successivement prises en un temps très court; on avait donc tous les éléments nécessaires pour connaître les phases de l'allure ainsi enregistrée.

Muybridge appliqua aux mouvements de divers animaux, et à ceux de l'homme lui-même, cette admirable méthode d'analyse; il en consigna les résultats dans une publication « *The Horse in Motion* » et dans un album original qu'il voulut bien m'offrir et qui m'est un souvenir précieux.

La méthode de Muybridge impliquait l'emploi de nombreux objectifs, c'est-à-dire une dépense que nos modestes laboratoires ne peuvent se permettre; elle présentait en outre, au point de vue de la régularité des intervalles entre les images successives, des imperfections que l'auteur lui-même a reconnues. Je cherchai le moyen d'échapper à ces deux inconvénients et j'y arrivai par une méthode que j'ai appelée la « Chronophotographie sur champ obscur ».

Supposez que l'on braque un appareil photographique ordinaire devant un champ parfaitement obs-



cur, par exemple devant une caisse ayant une ouverture latérale et tapissée de velours noir intérieurement; si vous ouvrez l'objectif de l'appareil, la plaque sensible ne sera point impressionnée, puisque le champ qui est devant elle ne lui renvoie aucune lumière. Mais si, devant ce champ, vous laissez tomber un corps brillant et éclairé, vous trouverez sur votre plaque une ligne verticale, trace visible de la chute du corps blanc dont l'image aura elle-même parcouru successivement toute la hauteur de la plaque. Cette image n'est encore que la trajectoire du corps en mouvement; verticale dans le cas de chute simple, parabolique si le corps blanc est horizontalement lancé, elle ne nous donne que la notion de l'espace parcouru sans exprimer les phases de son mouvement.

Mais supposons qu'un disque fenêtré, tournant avec vitesse au-devant de l'objectif, intercepte et rende la lumière à des intervalles de temps égaux pendant la chute du corps brillant. Vous trouverez sur la plaque sensible une série d'images successives; ces images ne sont point équidistantes, mais sont séparées les unes des autres par des distances régulièrement croissantes; nous venons, dans des conditions bien simples, de saisir la loi du mouvement accéléré dont la découverte est une des gloires de Galilée.

Ces résultats étaient bien encourageants; aussi, avant de les appliquer à des études physiologiques, ai-je tenté de demander à cette Chronophotographie la solution expérimentale de certain problème de pure cinématique afin d'éprouver la puissance de cette méthode et d'apprécier l'étendue possible de ses applications.

J'ai vu que si, devant un champ obscur, on fait mouvoir un point ou une tige brillante, les déplacements de ces corps donnent sur la plaque sensible les figures que la géométrie conçoit comme étant engendrées par ces mouvements.

Pour les mouvements d'un point, on a la parabole, le cercle, la cycloïde, la trochoïde, etc.; pour ceux d'une droite le cône, les hyperboloïdes de révolution, les surfaces, planes ou courbes, les plus variées. Les applications de cette méthode seront illimitées; déjà les astronomes s'en servent pour découvrir des planètes sans mettre l'œil à leur lunette. Ils braquent sur un point du ciel leur appareil muni d'une chambre photographique et conduit par un sidérostas pour accompagner le mouvement sidéral. Au bout de quelque temps, ils développent l'image; elle se montre parsemée d'une infinité de points dont chacun est une étoile invisible souvent pour les lunettes les plus puissantes. Mais parmi ces points se trouve parfois une petite ligne; l'astre qui l'a produite avait un mouvement propre; c'était donc une planète. Il est même facile, par la longueur de la trace qu'il

a laissée, d'estimer la valeur du mouvement propre de cet astre.

En physique les mouvements des cordes vibrantes, suivant deux et même trois directions, s'inscrivent sur la plaque sensible. Le roulis et le tangage des navires, imités sur de petits modèles flottant sur l'eau, montrent les phases de leurs oscillations et les centres successifs autour desquels elles se produisent.

On peut même, parfois, photographier l'invisible; ainsi les mouvements de l'eau, vagues, clapotis, houles, au moyen de certains artifices, peuvent se photographier s'ils se communiquent à des parties brillantes et vivement éclairées, immergées dans le liquide.

L'air lui-même, rendu visible par des filets de fumée parallèles, montre comment il se comporte lorsqu'il rencontre des corps de diverses formes; on suit sur la plaque sensible toutes les inflexions de ces filets d'air, leurs compressions et leurs dilatations, leurs accélérations et leurs ralentissements. Vous avez sous les yeux un grand nombre d'épreuves chronophotographiques montrant l'infinité variété des applications de cette méthode à la physique et à la mécanique. J'ai hâte d'arriver à celles qui se rapportent à la physiologie.

Il ne s'agit plus d'enregistrer sur la plaque sensible le mouvement de petits corps brillants, c'est le mouvement d'un homme, d'un cheval, d'un oiseau qu'il faut saisir; dès lors le champ obscur s'agrandit en raison du sujet dont il doit contenir le mouvement. La petite caisse doublée de velours noir, qui dans les premiers essais formait le champ obscur, fait place à une construction spacieuse, sorte de vaste hangar de 10 mètres de large, 4 de haut et 6 de profondeur. Vous avez vu au fond du parc cette construction faite en-dessous des laboratoires et offrant une très grande surface parfaitement obscure.

Je n'ai pas toujours disposé d'une installation pareille; c'est tout récemment que l'État est venu en aide à la Station physiologique et l'a pourvue des constructions les plus indispensables; aussi les images que j'ai obtenues autrefois sont-elles bien inférieures à celle que donne l'installation nouvelle.

Voici des chronophotographies représentant un homme vêtu de blanc et passant au-devant du champ obscur. Chaque fenêtre du disque obturateur qui démasque l'objectif produit la formation d'une image du coureur; à mesure que celui-ci se déplace au devant du champ noir, vous voyez des images nouvelles se produire et le représenter dans des attitudes différentes. Ces images sont assez éloignées les unes des autres si l'homme va vite, plus rapprochées quand la course est lente, plus rapprochées encore dans la marche. Il faut pourtant que ces images ne se confondent pas entre elles, et d'autre part,



qu'elles soient assez nombreuses pour permettre de suivre toutes les phases du mouvement.

Ce qui, du premier coup, crée une difficulté, c'est que nous n'opérons plus sur des points et des lignes comme dans les expériences physiques que je relatais tout à l'heure, mais sur des corps à surface assez étendues, et que les images d'un homme, par exemple, ne peuvent être très rapprochées les unes des autres sans se recouvrir partiellement et se confondre entre elles. Les études faites sur le cheval présentent cet inconvénient à un degré plus prononcé encore, la confusion tend à se produire à cause de la grande surface de chacune des images et à cause du plus grand nombre de membres en action. Notre méthode donne avec plus de netteté les images successives d'un oiseau qui vole à cause de la faible surface de ses images, et pourtant, quand on en accroît trop la fréquence, la multiplicité des attitudes représentées ne va pas, non plus, sans une certaine confusion.

Avant d'indiquer les artifices qui m'ont permis d'accroître, sans qu'elles se confondent, le nombre des images chronophotographiques des animaux en mouvement, laissez-moi vous montrer les résultats de cette première méthode appliquée à l'étude de la locomotion.

La Chronophotographie sur champ obscur a donné la véritable attitude de l'homme qui marche, qui court ou qui saute, elle a montré combien nous connaissons peu nous-mêmes les actes que l'habitude nous fait accomplir pour ainsi dire inconsciemment. Des hommes qui pratiquent les exercices physiques ignorent les mouvements qu'ils accomplissent et sont parfois fort surpris lorsqu'ils voient, sur les images photographiques, la manière dont ils prennent leurs élans ou dont ils retombent sur le sol.

Les artistes se sont longtemps étonnés devant la photographie instantanée de l'homme et du cheval en mouvement; ils ne pouvaient cependant point douter de la fidélité de ces images qui s'éloignaient souvent beaucoup des types conventionnels usités, dans l'art moderne, pour la représentation des mouvements. Heureusement les images photographiques montrent une parfaite ressemblance avec les représentations artistiques que l'antiquité nous a laissées. C'est que les mœurs antiques donnaient aux artistes des occasions fréquentes de voir dans les arènes des hommes nus, courant ou luttant, et que l'œil du peintre ou du sculpteur s'exerçait sans cesse à saisir ces attitudes qu'un modèle d'atelier est incapable de prendre, puisqu'il ne peut poser qu'en équilibre.

Trois appareils chronophotographiques braqués sur l'homme ou l'animal en mouvement, suivant trois directions perpendiculaires entre elles, donnent l'aspect du sujet suivant les trois dimensions et ren-

seignent suffisamment pour permettre, d'après ces trois figures planes, de modeler une figure en relief parfaitement correcte au point de vue physiologique. C'est ainsi que, d'après trois séries de chronophotographies prises suivant les trois dimensions, j'ai pu modeler ces séries d'oiseaux coulés en bronze et qui représentent un goéland dans les phases successives d'un coup d'aile. C'est également d'après trois images de ce genre que M. Engrand a modelé la figure de coureur que vous voyez ici et qui, parfaitement exacte au point de vue physiologique, s'éloigne sensiblement des représentations de l'art moderne pour se rapprocher de l'antique.

Mais revenons à l'analyse physiologique du mouvement; elle exige, avons-nous vu, que le nombre des images successives soit très grand pour ne pas laisser de lacunes entre les phases de l'acte représenté. Or, puisque les points et les lignes peuvent, sans se confondre, être rapprochés en nombre aussi grand qu'il est nécessaire, réduisons la surface du corps d'un homme à quelques lignes essentielles dont les mouvements pourront s'inscrire sans confusion. Pour cela le marcheur sera totalement revêtu d'un costume de velours noir, et de cette façon deviendra totalement invisible au-devant du champ obscur. Puis, sur ce costume, au-devant de certaines parties dont le mouvement est essentiel à connaître, plaçons des points ou des lignes brillantes. Un point représentera la tête, une ligne formée d'un galon mince et brillant marquera la direction de l'humérus; une autre celle de l'avant-bras; d'autres suivront l'axe de la cuisse, de la jambe et du pied.

Avec cette disposition, nous pouvons multiplier à volonté le nombre des images; elles ressortent avec une netteté parfaite. La marche, la course, le saut, se traduisent ainsi par de véritables épures géométriques où les indications du mouvement de chaque partie sont tellement nombreuses, que les phases de ces actes peuvent être suivies pour ainsi dire sans discontinuité. C'est ainsi que, lorsqu'on trace une courbe par points, si ces points sont assez nombreux, on obtient, sans erreur, une courbe continue.

Sous cette forme, la Chronophotographie devient riche en applications; il n'est pas de genre de locomotion, si rapide soit-il, dont on ne puisse faire l'analyse, elle donne l'épure géométrique du mouvement. Les études sur la marche que les frères Weber ont faites sur l'homme, celles de Vincent et Goiffon sur le cheval, sont loin de présenter la perfection que permet notre méthode. Du reste, la Chronophotographie a été acceptée par certains physiologistes. Braun et Fischer, par exemple, en ont tiré les éléments d'une remarquable étude de la locomotion de l'homme.

Ce n'est pas seulement aux mouvements d'en-



semble que cette méthode se prête; elle permet d'aborder individuellement les divers mouvements de chaque partie du corps, ceux des articulations, par exemple.

Imaginez qu'on localise à l'étude des mouvements du genou l'application de la Chronophotographie. Le membre inférieur sera revêtu de velours noir bien ajusté, sur lequel les lignes brillantes seront fixées comme on l'a dit. Le sujet assis sur le bord d'une table, la cuisse bien immobilisée et la jambe pendante, cette jambe seule sera mise en mouvement. Les images dissociées des lignes brillantes de la jambe formeront sur la plaque sensible une sorte d'éventail, tandis que celle de la cuisse immobile restera unique. Or, sur l'épure obtenue, en prolongeant les lignes de la jambe du côté du genou, on verra que ces lignes ne concourent pas en un point qui serait le centre du mouvement, mais que le centre de mouvement se déplace sans cesse. A l'articulation du coude, au contraire, le mouvement s'exécute autour d'un centre fixe, parfaitement déterminé par la construction qui vient d'être indiquée.

Les mouvements des mâchoires, étudiés de la même façon, montrent que si le maxillaire inférieur s'élève et s'abaisse, le condyle de la mâchoire avance quand le menton s'abaisse, et *vice versa*, le centre de ce mouvement se fait loin du condyle et dans un point voisin de l'angle de la mâchoire. Dans la mastication, au contraire, lorsque les dents compriment un corps résistant, le centre du mouvement se confond avec celui du condyle du maxillaire qui pivote au lieu de glisser dans la cavité glénoïde.

Rien de plus curieux que de suivre les mouvements des mâchoires chez des espèces animales différentes et de voir comment les variétés anatomiques de conformation coïncident avec des différences dans la forme des mouvements masticatoires.

Les déplacements des côtes et du sternum dans la respiration, si difficiles à percevoir, s'inscrivent avec une précision parfaite. Il n'est pas jusqu'aux mouvements du globe oculaire qui ne puissent être suivis par cette méthode; M. Orchanski, dans mon laboratoire, a fait une étude fort intéressante des déplacements saccadés du globe de l'œil pendant la lecture.

Mais vous avez vu que toute méthode a sa limite d'action. La Chronophotographie sur champ obscur a nécessairement la sienne. On ne dispose pas toujours d'un champ obscur, on n'a pas toujours à sa disposition un animal blanc, et il n'est pas toujours possible de le blanchir en totalité ou en partie. Il fallait échapper à cette difficulté et faire un appareil susceptible d'être employé, devant un champ quelconque, sur un animal de couleur quelconque. La

nouvelle méthode est la « Chronophotographie sur surface mobile ».

Dans l'expérience de Janssen, que je citais tout à l'heure, on photographiait la planète Vénus, se détachant en contour sombre sur le disque éclatant du Soleil. Or, une fois la première image obtenue, il fallait déplacer la plaque sensible pour trouver une surface non encore impressionnée, sur laquelle se prendrait la seconde image. Par une disposition analogue, je construisis d'abord le fusil photographique dans lequel le canon était formé d'un tube contenant un objectif, tandis que la culasse enfermait un rouage qui faisait tourner d'un mouvement saccadé une plaque sensible de forme circulaire. Ce n'était plus toutes les minutes, mais douze fois par seconde que la plaque s'arrêtait et recevait les images successives. Vous pouvez voir dans cette salle des images ainsi obtenues; en les agrandissant, on obtenait une assez bonne représentation des phases d'un coup d'aile. Mais ces images étaient trop petites et trop peu nombreuses. Je construisis bientôt un autre appareil dans lequel une longue bande de papier sensible, entraînée mécaniquement au foyer de l'objectif, donnait jusqu'à cent images et plus par seconde. La bande de papier avait 9 centimètres de large et plusieurs mètres de longueur. Plus tard, je lui substituai la pellicule transparente qui donne un cliché négatif d'où l'on tire un nombre indéfini d'épreuves. C'est ainsi que furent produites les séries représentant les diverses allures du cheval, celles du chien, les phases du vol de l'oiseau, les exercices athlétiques de toutes sortes.

Ces images, complètes et aussi nombreuses qu'on pouvait le souhaiter, contenaient tous les éléments nécessaires pour la connaissance du mouvement; mais, séparées les unes des autres, elles étaient difficiles à comparer entre elles. Le mouvement était, il est vrai, analysé; il en restait à en faire la synthèse. Cette synthèse, nous l'avons directement dans l'emploi de la Chronophotographie sur champ obscur chaque fois que cette méthode est applicable; il faut chercher le moyen de l'avoir aussi avec les éléments dispersés, que donne la Chronophotographie sur plaque mobile.

Ma première idée fut de recourir à ce jouet qui avait amusé mon enfance et qui s'appelle le phénakistoscope de Plateau. Cet instrument, créé par un illustre savant, est en réalité un précieux auxiliaire de la science. En disposant sur le disque du phénakistoscope une série d'images d'un homme qui court, d'un cheval qui galope ou d'un oiseau qui vole, j'obtins l'apparence complète du mouvement analysé par la photographie. Recourant ensuite à un appareil dérivé de celui de Plateau, mais d'un emploi plus commode et qui s'appelait le zootrope, j'y intro-



duis des bandes portant une longue série d'images; l'effet était encore plus saisissant, et l'on pouvait, avec un moteur électrique actionnant le zootrope, donner en permanence le spectacle de figures en mouvement. J'avais établi cet appareil à l'Exposition de 1889 et j'eus l'occasion de le montrer en fonction à M. Edison. L'ingénieur Américain annonçait, quelques années après, qu'il avait construit un instrument, le kinétoscope, dans lequel on voyait toutes sortes de scènes animées reproduites avec une fidélité parfaite. Nous vîmes en 1894, à Paris, fonctionner cet intéressant instrument dans lequel une bande sans fin, recouverte d'images, passait au-devant d'une lunette et recevait des éclairages intermittents reproduits chaque fois qu'une image nouvelle se présentait à l'œil de l'observateur. Ces éclairages étaient si brefs que les images, malgré leur mouvement continu, paraissaient immobiles. Pour guider sa pellicule d'une manière uniforme, Edison avait imaginé de la perforer et de la faire entraîner par un cylindre à chevilles qui tournerait régulièrement.

MM. Lumière montrèrent, l'année suivante, un remarquable instrument qui projetait, devant une nombreuse assemblée, les images successives rassemblées sur une bande préparée à la façon d'Edison. Le cinématographe Lumière a obtenu un légitime succès, on l'a considéré comme une des plus intéressantes attractions qui aient paru de nos jours.

J'ai moi-même réussi à vaincre la difficulté d'obtenir sur des bandes non perforées des images parfaitement équidistantes et à réaliser, par conséquent, des appareils projecteurs parfaits.

Vous en voyez deux types: un grand modèle donnant des images de 9 centimètres sur 4 et demi; un petit modèle, à peu près du format du cinématographe, et même un troisième type en forme de fusil, qui est actionné par un moteur électrique, aussitôt qu'on presse sur la détente. Avec ces divers appareils on obtient des séries d'images sur des bandes de 20 mètres de long, à raison de 15 à 20 images par seconde.

Les deux premiers de ces appareils se prêtent aux projections animées; je regrette que la Station physiologique ne possède pas encore une salle où l'on puisse faire l'obscurité et où l'on ait établi la lumière électrique, afin de vous montrer les projections de divers mouvements. Ceux d'entre vous qui désirent se faire une idée du fonctionnement de ces appareils pourront, tout à l'heure, examiner par transparence les images qui passent dans le champ du projecteur; ils auront, dans de petites dimensions, le même spectacle que par la projection électrique.

Mais cette synthèse du mouvement n'est pas celle que nous devons chercher dans un but scientifique. Les projections animées reproduisent l'apparence du mouvement; elles nous donnent ce que notre œil pourrait percevoir en face de la réalité, mais ne nous apprennent rien de plus. Ce qu'il nous faut, c'est une synthèse pareille à celle que nous donne directement la Chronophotographie sur champ obscur, toutes les fois qu'elle est applicable. Or il est un moyen très simple, quoique un peu laborieux, de ramener les figures séparées à une figure unique, à une épure véritable dans laquelle nous introduisons exclusivement le tracé des phénomènes que nous tenons à bien connaître. Ce moyen consiste à projeter successivement, sur une même surface de papier, une série d'images, et à décalquer telle ou telle partie de chacune de ces images, de façon à représenter les formes et les attitudes successives de la partie de l'animal dont nous voulons connaître le mouvement.

Pour que ces divers décalques soient chacun bien à sa place, il faut que chaque image soit parfaitement repérée sur la feuille de papier sur laquelle on la projette. Cela est très facile à réaliser du moment où, sur ces images, certains objets immobiles sont représentés: on se sert de ces points comme de repères.

Cette méthode est précieuse pour étudier un acte partiel dans un ensemble de mouvements très compliqués. Dans les allures du cheval par exemple, où il est si difficile de démêler dans une épure les mouvements de chaque point, on peut, au moyen des décalques successifs, suivre la trajectoire de chacun des pieds, les accélérations et ralentissements de la masse, les réactions de la croupe et du garrot, en un mot, chacun des mouvements qu'on désire connaître.

Mais ce n'est pas seulement ce que l'œil aperçoit que la Chronophotographie peut retracer; elle nous permet, au moyen de certains artifices, de suivre le mouvement des organes cachés, ceux des pièces du squelette ou des principales articulations, et même les contractions et relâchements des divers groupes musculaires, ce qui est le problème véritable de la physiologie du mouvement.

Je ne vous demanderai plus qu'un instant d'attention pour suivre la Chronophotographie dans une de ses applications les plus délicates.

Supposons que nous veuillons connaître ce qui se passe dans l'appareil locomoteur du membre postérieur du cheval. Au moyen de décalques successifs, nous construisons une première épure des attitudes de ce membre pendant la durée du pas.

L'animal était un étalon de l'État qui réglementairement devait être abattu, — il le fut en effet après avoir fourni les images de ses diverses allures, — son



squelette fut préparé et photographié à l'état frais. L'image en fut prise de la même distance que l'animal lui-même et par conséquent à la même échelle. Cette image du squelette fut découpée suivant ses contours, et appliquée sur du carton, pour former une série de petits gabarits correspondant, l'un aux os du bassin, l'autre au fémur, les autres aux divers autres rayons du membre. Pour chacune des positions du membre, on introduisit, bout à bout, dans le contour extérieur de l'épure, la série des gabarits des os, et ces pièces du squelette s'agencèrent parfaitement, comme on en peut juger par la coïncidence des apophyses osseuses avec leurs reliefs sous-cutanés. (Cette parfaite correspondance ne se fût pas produite, si l'on eût opéré avec le squelette d'un autre cheval, les proportions des diverses pièces n'eussent pas été exactement les mêmes.)

Ce premier travail nous a donné déjà l'exacte position des pièces du squelette à l'intérieur du membre pour chacune des phases du pas. Il montre aussi le degré exact d'ouverture ou de fermeture des angles des diverses articulations. De ces positions du squelette nous allons pouvoir déduire les changements de longueur des divers groupes musculaires.

On connaît en effet le lieu d'insertion de ces muscles avec une grande précision, grâce aux travaux de Barrier. Cherchons le milieu de ces insertions et, pour chaque muscle, joignons ces points extrêmes par une droite. Les changements de longueur de ces droites, aux différents instants du pas, exprimeront les changements de longueur qu'éprouvent à ces instants les muscles qu'elles représentent. Enfin, pour rendre pour chaque muscle ces changements plus facilement saisissables, on les a traduits par des courbes qui montrent comment chaque groupe musculaire se contracte ou se relâche aux différents instants du pas. N'est-il pas curieux de pouvoir saisir dans l'instant inappréciable que dure un pas de galop les phases des actions musculaires du cheval et de les voir se succéder avec une régularité parfaite dans les allures soutenues ?

Cet exemple est peut-être mal choisi pour montrer la puissance de la Chronophotographie, car il en constitue une des applications les plus laborieuses. Mais dans la plupart des questions qui l'intéressent, le physiologiste trouvera dans l'emploi de la Chronophotographie la solution facile et précise de problèmes que l'observateur le plus sagace serait incapable de résoudre.

Les mouvements rapides de l'aile d'un insecte qui, pour être nettement représentés, exigent que le temps de pose ne dépasse pas un vingt-millième de seconde, s'inscrivent aussi bien que les phases incomparablement plus lentes du cœur d'un animal dont la poitrine est ouverte. Entre ces limites ex-

trêmes, le physiologiste trouvera pour la méthode nouvelle d'innombrables applications.

J. MAREY,  
De l'Institut.

923,3

## BIOGRAPHIES SCIENTIFIQUES

Vauban <sup>(1)</sup>.

Mesdames et Messieurs,

Quand le Comité Vauban a bien voulu me charger de prendre ici la parole, j'ai accepté ce très grand honneur avec reconnaissance.

Peu d'hommes, en effet, ont eu le privilège d'éveiller la sympathie et l'admiration au même degré que votre illustre compatriote, dont on a dit qu'à force de génie il se fit pardonner sa vertu. D'autres ont pu briller d'un éclat plus vif ; ils nous éblouissent sans nous attirer. Lui devient notre ami dès que nous le connaissons, et nous nous attachons d'autant plus à sa gloire que, mieux que ses contemporains, nous avons su en reconnaître les véritables fondements. N'est-ce pas l'Académie des Sciences morales et politiques qui, après l'Académie française, vient de mettre au concours l'éloge de celui dont on s'était borné, pendant longtemps, à célébrer les hauts faits de guerre et les talents d'ingénieur ?

Sorti des rangs de la noblesse peu fortunée de province, parvenu aux plus hautes dignités de la Cour après une longue existence où ses fonctions l'avaient mis, sur tous les points de la France, en contact forcé et intime avec les diverses classes de la société, Vauban avait pu, grâce à son esprit droit et à son cœur généreux, se dégager des préjugés du peuple aussi bien que de ceux des grands, et formuler, il y a plus de deux siècles, le programme complet de l'état social actuel dans les nations les plus civilisées.

La liberté de conscience, l'égalité devant la loi, l'équitable répartition des impôts, la réduction du service militaire à trois ans, l'unité des poids et mesures, l'abolition des coutumes provinciales, le report des lignes de douanes à la frontière, l'abaissement de la taxe des lettres, le dégrèvement du sel, l'aménagement des canaux et des rivières pour l'arrosage et la navigation, l'expansion coloniale,

(1) Discours prononcé par M. de Rochas d'Aiglun à l'inauguration du monument de Vauban, à Bazoches, le 26 août 1900.