

Bibliothèque numérique

medic@

**Marey, Etienne-Jules. - Emploi de la
photographie instantanée pour
l'analyse des mouvements chez les
animaux**

*In : Comptes rendus
hebdomadaires des séances de
l'Académie des Sciences, 1882,
94 : 1013-1020*



(c) Bibliothèque interuniversitaire de médecine (Paris)
Adresse permanente : <http://www.bium.univ-paris5.fr/hist/med/medica/cote?marey151>

n'a besoin de recourir à la variation des constantes arbitraires que pour effectuer les intégrations restantes ou deux intégrations du premier ordre; tandis que, dans la seconde, les géomètres ont cru plus simple d'obtenir les intégrales du mouvement non troublé, en négligeant, tout d'abord, les forces perturbatrices dans les équations différentielles du deuxième ordre, et appliquant la méthode de la variation des constantes arbitraires, pour satisfaire finalement à ces équations: de là, « l'extrême complication » des résultats, que la *Science de l'ordre* évite en n'appliquant ladite méthode, répétons-le, qu'aux équations fournies par une première intégration.

» Tels sont les caractères distinctifs de la *Science de l'ordre* et de l'ancienne *Mécanique céleste*. On ne s'étonnera pas qu'une distinction de cette nature ait échappé aux géomètres: il existe des exemples de faits analogues; il suffira d'en rappeler un.

» Pendant longtemps, les géomètres ont été arrêtés par la difficulté qu'ils rencontraient à tenir compte de la variation du moyen mouvement n , dans la relation qui lie le temps t à l'anomalie excentrique: on trouvait d'abord que le terme nt donnait lieu au terme $t \, dn$, terme essentiellement séculaire. Après de longues discussions, on a fini par reconnaître que le terme nt , dans ladite relation, pouvait et devait être remplacé par $\int n \, dt$.

» En attendant qu'une philosophie supérieure nous trace une voie plus directe, on préférera sans doute suivre celle qu'on vient d'indiquer et qui permet d'édifier si facilement la *Science de l'ordre*. Quels que soient, au surplus, les perfectionnements des méthodes d'investigation que l'avenir réserve à la Science, grâce aux travaux de Wronski, la *Mécanique céleste* se trouve maintenant dégagée de complications, dont les astronomes-géomètres auront reconnu la véritable cause. »

PHYSIOLOGIE ANIMALE. — *Emploi de la photographie instantanée pour l'analyse des mouvements chez les animaux*; par M. MAREY.

« Les expériences que j'ai l'honneur d'exposer devant l'Académie se rattachent aux études que j'ai faites il y a une douzaine d'années sur la locomotion animale, études que j'ai dû suspendre, mais que je compte reprendre aujourd'hui en les développant davantage.

» Mes premières expériences sur la locomotion étaient faites au moyen

de la chronographie ; elles traduisaient fidèlement les rythmes des allures de l'homme et des animaux, c'est-à-dire l'instant et la durée des appuis de chaque membre sur le sol. Plus tard, par une méthode déjà plus délicate, j'inscrivais les phases d'élévation et d'abaissement des ailes d'un oiseau qui vole, la trajectoire décrite dans l'espace par la pointe de l'aile, les changements du plan alaire, les oscillations du corps dans leurs rapports avec les mouvements du vol ⁽¹⁾.

» Les renseignements donnés par la méthode graphique étaient d'une grande précision ; ils corrigeaient bien des erreurs d'observation et résolvaient certaines questions litigieuses de mécanique animale ; mais les notions fournies par cette méthode étaient encore incomplètes. Ainsi, en ce qui concerne les allures du cheval, j'ai essayé de faire représenter les attitudes de cet animal à différents instants du pas de chaque allure ; or, les figures faites d'après les données de la chronographie, parfaitement correctes pour la position des membres à l'appui, présentaient parfois des incorrections pour celle des membres au levé. J'en eus la preuve lorsque parurent les belles photographies instantanées de M. Muybridge, de San-Francisco, l'image d'un cheval saisie en $\frac{1}{500}$ de seconde donnant, même aux allures les plus rapides, l'attitude réelle presque aussi nettement que si l'animal eût été immobile.

» Le Journal *la Nature* venait de publier quelques-unes des figures de M. Muybridge ; je m'empressai d'écrire au rédacteur en chef, mon ami G. Tissandier, pour lui exprimer mon admiration pour ces belles expériences et pour le prier d'engager leur auteur à appliquer la photographie instantanée à l'étude du vol des oiseaux. J'émettais alors l'idée d'un fusil photographique à répétition analogue au revolver astronomique imaginé par notre confrère M. Janssen pour observer le dernier passage de Vénus. Ce fusil donnerait une série d'images successives prises à différents instants de la révolution de l'aile. Enfin, ces images, disposées sur un phénakistoscope de Plateau, devraient reproduire l'apparence du mouvement des animaux ainsi représentés.

» Cette lettre me valut, de la part de M. Muybridge, l'envoi d'une collection de ses belles photographies et l'assurance qu'il appliquerait ses appareils à l'étude du mécanisme du vol ; en outre, différents auteurs adaptèrent à des zootropes, soit des figures construites d'après mes notations chrono-

(1) *La machine animale*, 1^{re} édition ; 1873.

graphiques, soit les images obtenues par le célèbre photographe américain, et obtinrent ainsi une représentation saisissante d'animaux en mouvement ⁽¹⁾.

» Au mois de septembre dernier, M. Muybridge vint à Paris, apportant une riche collection de photographies instantanées qui représentaient, non seulement le cheval à diverses allures, mais l'homme se livrant à différents exercices : la course, le saut, l'escrime, la lutte, etc. Dans la collection de M. Muybridge il y avait aussi quelques photographies d'oiseaux au vol, mais ce n'était plus, comme pour l'homme ou le cheval, la représentation d'attitudes successives : c'étaient des images analogues à celles que M. Cailletet avait obtenues quelques années auparavant et montrant les ailes de l'oiseau dans une position unique, tantôt en élévation, tantôt en abaissement ou dans quelque phase intermédiaire. Ces photographies étaient cependant fort intéressantes : elles vérifiaient ce que la méthode graphique m'avait fait saisir relativement au mécanisme du vol, mais surtout promettaient des renseignements précieux, si l'on pouvait obtenir des images en série, comme M. Muybridge l'avait fait pour l'homme et pour les quadrupèdes.

» Je résolus de consacrer cet hiver à réaliser mon ancien projet de fusil photographique. Le procédé au gélatinobromure d'argent me faisait espérer des images assez nettes avec un temps de pose très court, mais la vitesse avec laquelle devaient se répéter les mouvements qui présenteraient au foyer de l'objectif des points différents de la plaque sensible entraînait certaines difficultés dans la construction de l'instrument. Il fallait, en effet, recueillir au moins dix ou douze images par seconde, afin d'avoir plusieurs attitudes de l'oiseau à chaque révolution de son aile. En outre, cette vitesse m'était imposée par le projet que j'avais formé de disposer la série d'images obtenues dans un phénakistoscope, afin de reproduire l'apparence des mouvements du vol de l'oiseau ; car on sait que la faible durée de la persistance des images sur la rétine nécessite une répétition fréquente des apparitions lumineuses pour donner à notre œil une sensation continue.

⁽¹⁾ Parmi les auteurs qui ont réalisé des zootropes avec les photographies instantanées, on doit citer M. Muybridge lui-même ; en France, M. Mathias Duval, professeur d'anatomie à l'Ecole des Beaux-Arts, et le colonel Duhoussset ; en Hongrie, M. Ziekly, professeur à l'Ecole des Beaux-Arts de Buda-Pest ; enfin, en Angleterre, plusieurs industriels vendaient, l'an dernier, des zootropes formés avec les figures que M. Muybridge a publiées.

» Je réussis à construire, dans les dimensions d'un fusil de chasse, un appareil qui photographie douze fois par seconde l'objet que l'on vise; chaque image n'exige, comme temps de pose, que $\frac{1}{720}$ de seconde.

» Le canon de ce fusil est un tube qui contient un objectif photographique. En arrière, et solidement montée sur la crosse, est une large culasse cylindrique dans laquelle est contenu un rouage d'horlogerie. Quand on presse la détente du fusil, le rouage se met en marche et imprime aux différentes pièces de l'instrument le mouvement nécessaire. Un axe central, qui fait douze tours par seconde, commande toutes les pièces de l'appareil. C'est d'abord un disque opaque et percé d'une étroite fenêtre. Ce disque forme obturateur et ne laisse pénétrer la lumière émanant de l'objectif que douze fois par seconde, et chaque fois pendant $\frac{1}{720}$ de seconde. Derrière ce premier disque, et tournant librement sur le même arbre, s'en trouve un autre qui porte douze fenêtres et en arrière duquel vient s'appliquer une glace sensible, de forme circulaire ou octogonale. Ce disque fenêtré doit tourner d'une manière intermittente, de façon à s'arrêter douze fois par seconde en face du faisceau de lumière qui pénètre dans l'instrument. Un excentrique placé sur l'arbre produit cette rotation saccadée, en imprimant un va-et-vient régulier à une tige à cliquet qui saisit à chaque oscillation une des dents qui forment une couronne au disque fenêtré.

» Un obturateur spécial arrête définitivement la pénétration de la lumière dans l'instrument aussitôt que les douze images ont été obtenues. D'autres dispositions ont pour but d'empêcher la plaque sensible de dépasser par sa vitesse acquise la place où le cliquet l'amène, et où elle doit être parfaitement immobile pendant la durée de l'impression lumineuse.

» On fait la mise au point en allongeant ou en raccourcissant le canon, ce qui déplace l'objectif en avant ou en arrière; enfin, on vérifie cette mise au point en observant, par une ouverture faite à la culasse du fusil, la netteté de l'image reçue sur un verre dépoli.

» Une boîte à escamoter, de forme circulaire, analogue à celles qui existent déjà dans le commerce, me sert à loger vingt-cinq plaques sensibles et à les faire passer dans le fusil sans qu'elles soient exposées à la lumière.

» Avant d'appliquer cet instrument à l'étude du vol, je le soumis à certaines épreuves expérimentales, et les résultats que j'obtins furent satisfaisants.

» On dispose, par exemple, une flèche noire sur un axe central autour

duquel elle tourne en se détachant sur un fond blanc bien éclairé par le soleil. La vitesse de rotation de la flèche est telle que ses extrémités parcourent environ 5^m par seconde, ce qui représente six tours. Le tireur, placé à 10^m, vise le centre de la cible sur lequel on n'aperçoit rien qu'une légère teinte grise générale, à cause de la vitesse de rotation. La plaque sensible, une fois développée, montre douze images disposées circulairement. Sur chacune d'elles la flèche se voit, avec son ombre portée, à peu près aussi nettement que si elle eût été immobile.

» Une autre fois je photographiai un pendule noir oscillant au devant d'une règle blanche portant des divisions. Le pendule battait les secondes, et j'obtins, en effet, douze images représentant les positions successives occupées par le pendule aux différentes phases d'une oscillation complète.

» Pour plus de sûreté dans la mesure des durées, j'adaptai au fusil un appareil chronographique formé d'une capsule à air qui reçoit un choc à chacun des déplacements de la plaque sensible; un tube de caoutchouc relie cette capsule à un appareil inscripteur qui trace sur un cylindre tournant, en même temps qu'un chronographe ou qu'un diapason d'un nombre de vibrations connu. De cette manière, la durée de l'impression lumineuse et l'intervalle de temps qui sépare les images sont mesurés avec une précision satisfaisante.

» Après ces expériences d'essai, j'abordai la photographie d'animaux en mouvement. On voit sur les épreuves une mouette qui vole. Sur d'autres, j'ai obtenu l'image de mouettes volant en plein travers; comme l'oiseau donnait exactement trois coups d'aile par seconde, on trouve dans les douze figures quatre attitudes successives qui se reproduisent périodiquement.

» Les ailes sont d'abord élevées au maximum, puis elles commencent à s'abaisser; dans l'image suivante, elles sont au plus bas de leur course, et dans la quatrième elles se relèvent. Une nouvelle série pareille de mouvements revient alors, et ainsi de suite.

» En agrandissant ces figures, on obtient des images visibles à distance, mais dont la netteté laisse encore à désirer; car mes clichés négatifs sont légèrement grenus, ce que j'attribue à mon peu d'expérience des procédés photographiques. La reproduction de ces images par l'héliogravure ne donne qu'une silhouette noire (*fig. 1 et 2*). Il ne faudrait pas croire, toutefois, qu'on ne puisse jamais obtenir un certain modelé dans les images. J'ai placé sous un microscope à faible grossissement des négatifs obtenus avec

une mise au point bien exacte : sur ces clichés, qui représentent l'oiseau vu d'en haut, on peut aisément compter les rémiges et saisir l'imbrication de ses plumes.

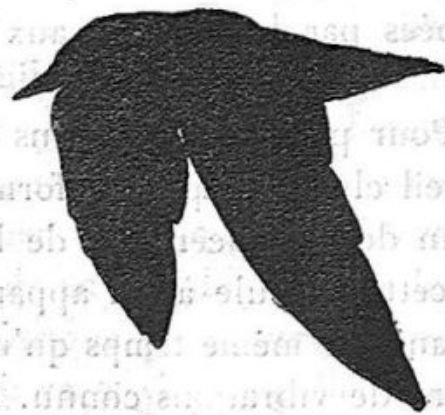
» Si l'on dispose des photographies d'oiseaux sur un phénakisticope, on reproduit bien l'apparence des mouvements du vol, mais les images correspondant à chaque révolution de l'aile sont encore trop peu nombreuses pour se bien prêter à l'analyse des mouvements du vol : il faudra donc en augmenter le nombre. On y peut arriver, par exemple, en doublant la vitesse du mouvement de la plaque et des obturateurs, ce que j'ai

Fig. 1.



Début de l'abaissement de l'aile.

Fig. 2.



Fin de l'abaissement de l'aile.

pu faire avec ce même fusil, tout en ayant encore assez de lumière pour la production des images : la durée de l'éclairage de la plaque n'était alors que de $\frac{1}{1400}$ de seconde ; encore l'objectif employé n'était-il pas des plus rapides.

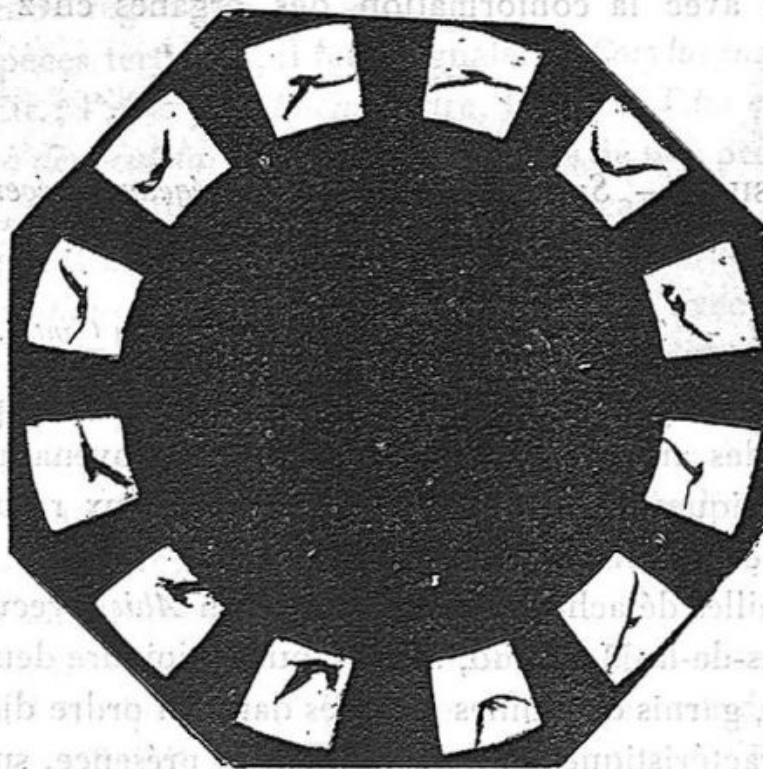
» En photographiant l'oiseau dans d'autres conditions, par exemple lorsqu'il s'éloigne de l'observateur ou qu'il s'en rapproche, lorsqu'il est vu par en dessous ou par en dessus, on obtient d'autres renseignements sur le mécanisme du vol ; ainsi, on observe aisément les changements d'inclinaison du plan de l'aile, l'inflexion des rémiges sur la résistance de l'air, les mouvements par lesquels le corps se porte en avant pendant l'abaissement de l'aile, en arrière pendant l'élévation.

» J'ai déjà comparé, à cet égard, les renseignements donnés par la photographie à ceux que m'avait autrefois donnés la méthode graphique, et j'ai obtenu ainsi la confirmation des points principaux que je croyais avoir établis par la première de ces méthodes. Il ne paraît pas douteux que les images photographiques n'ajoutent beaucoup de connaissances nouvelles à celles que nous avons sur le mécanisme du vol. J'attends, pour émettre

à cet égard une opinion fondée, d'avoir recueilli les éléments nécessaires, c'est-à-dire un grand nombre d'images d'oiseaux d'espèces différentes, exécutant le vol ramé ou le planement, soit en temps calme, soit avec du vent soufflant dans des directions variées.

» La chauve-souris est difficile à photographier, à cause de son vol capricieux, de sa petite taille et de l'heure tardive à laquelle elle se montre. Mes meilleures plaques ne m'ont donné que cinq ou six images sur les douze changements de position de la plaque photographique; encore ces images étaient-elles parfois sur la limite du champ de l'instrument. Les rares expériences que j'ai pu faire sur cet animal m'ont toutefois montré

Fig. 3.



certain faits intéressants. On voit, sur les photographies (fig. 3), que l'angle d'oscillation des ailes de la chauve-souris est très étendu, surtout par en bas où, à la limite de leur abaissement, les deux ailes forment deux plans verticaux sensiblement parallèles. On constate en outre que la chauve-souris peut voler malgré l'ablation d'une notable étendue de la membrane de ses ailes, pourvu que la partie restante corresponde aux espaces interdigitaux. Ainsi, parmi les images que j'ai recueillies, il en est une qui se retrouve plusieurs fois : il s'agissait d'une chauve-souris dont l'humérus et l'avant-bras apparaissent entièrement dépourvus de membranes; à l'extrémité de l'aile on voit seulement une sorte de petit éventail formé des membranes

interdigitales. L'aile ainsi mutilée exécute des mouvements beaucoup plus étendus que celle qui est intacte. » Le fusil photographique se prête également à l'étude du mouvement de différentes espèces d'animaux : j'ai photographié des chevaux, des ânes, des chiens, des hommes à pied ou sur des vélocipèdes ; mais je n'ai pas donné suite à ces expériences : elles rentrent dans le programme que M. Muybridge remplit avec tant de succès. Je me propose surtout d'étudier au moyen de la photographie le mécanisme du vol chez les diverses espèces animales. On entrevoit déjà qu'aux différentes formes des oiseaux et des insectes correspondent des différences dans la manière de voler ; or rien ne paraît plus propre à éclairer le mécanisme du vol que cette comparaison de la fonction avec la conformation des organes chez les différentes espèces. »

BOTANIQUE FOSSILE. — *Sur quelques types de végétaux récemment observés à l'état fossile ; par M. G. DE SAPORTA.*

III. — *Terrain pliocène inférieur : Cinérites du Cantal.*

« M. B. Rames a poursuivi ses recherches relatives aux plantes fossiles ensevelies sous les amas de cendres consolidées, provenant des anciennes éruptions volcaniques du Cantal. Voici les principaux résultats qu'il m'a mis à même de constater.

» A deux écailles détachées des strobiles d'un *Abies*, recueillies dans le gisement du Pas-de-la-Mougudo, sont venus se joindre deux rameaux de la même espèce, garnis de feuilles insérées dans un ordre distique, et dont la structure caractéristique dénote sûrement la présence, sur les lieux, du premier Sapin tertiaire dont il nous soit donné d'observer à la fois les divers organes.

» Les feuilles ne sont pas échancrées-bifides au sommet, comme celles de l'*Abies cilicica*, Carr., ni aiguës comme celles de l'*Abies cephalonica*, Link., mais plutôt atténuées-obtuses, comme celles de l'*Abies numidica* de Lannoy ; mais elles ressemblent particulièrement, par leur forme, leur dimension et leur disposition, à celles de l'*Abies Apollinis*, Rauch, sapin des montagnes du Parnasse, introduit dans nos cultures, qui représente une forme locale de l'*A. cephalonica*. Comme les écailles de l'espèce pliocène, dont la conservation est admirable, se rapprochent sensiblement de celles d'un *Abies*