

*Bibliothèque numérique*

**medic@**

**Marey, Etienne-Jules. - La  
chronophotographie appliquée à  
l'étude des actes musculaires dans la  
locomotion**

*In : Comptes rendus  
hebdomadaires des séances de  
l'Académie des Sciences, 1898,  
126 : 1467-1479 et 1836*



**(c) Bibliothèque interuniversitaire de médecine (Paris)**  
Adresse permanente : <http://www.bium.univ-paris5.fr/histmed/medica/cote?marey182>

» En admettant cette formation, nous devons ajouter à l'acide carbonique, formé en même temps que le poids du composé  $C^{20}H^{20}O^{16}$ , retrouvé à la fin, une proportion nouvelle renfermant 1,55 de carbone et 4,0 de carbone.

» D'après l'équation [3], la dose de l'acide carbonique devrait s'élever à 44<sup>gr</sup>, renfermant 12<sup>gr</sup> de carbone et 32<sup>gr</sup> d'oxygène; et, d'après l'équation [4], on y ajoutera 5<sup>gr</sup>,55 d'acide carbonique, ce qui fait en tout 49<sup>gr</sup>,55. Or nous avons trouvé 49<sup>gr</sup>,6; ce qui concorde très bien (1).

» Les observations et les dosages qui viennent d'être exposés rendent un compte aussi complet que possible de l'oxydation du pyrogallol, sous l'influence de l'oxygène libre, et la rattache à la formation si générale de la purpurogalline. Ils mettent en même temps en évidence la tendance de la molécule pyrogallique, dérivée régulière de celle de la benzine, à se scinder par une oxydation qui détruit le système cyclique fondamental. On peut concevoir cette destruction de la façon suivante : Sur les trois molécules d'acétylène, qui ont concouru par leur soudure à constituer une molécule de benzine, c'est-à-dire un polymère relativement saturé, deux sont brûlées et changées en acide carbonique et en eau, tandis que le résidu de la troisième demeure soudé avec trois autres molécules du pyrogallol initial, de façon à constituer un système cyclique nouveau et plus compliqué, de l'ordre du triphényléthane.

» Il serait facile de construire une formule dite *de constitution* qui représentât cette condensation moléculaire. En tout cas, les transformations de ce genre, dans la série aromatique, ne sont pas sans exemple et elles méritent toute l'attention des chimistes. »

PHYSIOLOGIE. — *La Chronophotographie appliquée à l'étude des actes musculaires dans la locomotion.* Note de M. MAREY.

« Le but final des applications de la Chronophotographie à l'étude de la locomotion n'est pas seulement de nous faire connaître les attitudes réelles

(1) La dose d'oxyde de carbone formée est trop petite pour qu'il soit possible d'en préciser l'origine. Peut-être résulte-t-elle d'un simple dédoublement d'une portion du système  $(C^5H^5O^4 + \frac{1}{2}O)^n$  en  $(C^4H^4O^3 + CO + \frac{1}{2}H^2O)^n$ . Ce dédoublement ne modifierait pas sensiblement les données calculées pour représenter les résultats trouvés dans nos expériences.



de l'animal en mouvement. La portée de cette méthode est plus grande; elle permet, en effet, de déterminer les actes qui se passent à l'intérieur des membres, les mouvements des leviers osseux, les allongements et les raccourcissements alternatifs des différents groupes musculaires. Elle nous fait assister ainsi au jeu des forces motrices dont la progression de l'animal et le mouvement de ses membres ne sont que les effets.

» Pour obtenir ces renseignements complexes, la marche à suivre est un peu laborieuse, mais les résultats qu'elle donne valent bien quelques efforts. Voici la série des opérations nécessaires pour obtenir les renseignements dont je viens de parler.

» Il faut : 1° Recueillir, par la Chronophotographie, la série des attitudes que prend l'animal aux instants successifs d'un pas de l'allure étudiée;

» 2° Sacrifier l'animal et préparer son squelette;

» 3° Photographier, à la même échelle que l'animal lui-même, le squelette des membres à l'état frais, puis les pièces de ce squelette sèches et préparées;

» 4° Disposer en série les silhouettes des attitudes successives de chaque membre, chacune de ces attitudes occupant sur le papier la position qu'elle avait dans l'espace aux instants successifs considérés;

» 5° Découper, sous forme de gabarits, les images photographiques des différentes pièces osseuses et les disposer dans chacun des profils des membres, de façon que le squelette occupe dans ces profils la position unique imposée pour chaque attitude, puis dessiner dans ce profil le squelette avec la position qui lui appartient;

» 6° Rechercher, pour chaque muscle, le point qui correspond à ses insertions moyennes;

» 7° Joindre par une ligne les deux points qui correspondent aux insertions d'un même muscle; ces lignes auront des longueurs variables suivant l'attitude du membre et permettront de savoir, en chaque cas, quels muscles se raccourcissent et quels autres s'allongent;

» 8° Enfin tracer la courbe des changements de longueur des différents muscles en portant en ordonnées ces longueurs aux instants successifs comptés sur l'axe des  $x$ .

» Le résultat de cette série d'opérations est de nous montrer quels sont, chez un animal, les muscles dont l'action est synergique, et quels muscles sont antagonistes, et enfin comment se succèdent, coïncident ou alternent ces actions musculaires pour produire le mouvement considéré.

» La connaissance de ces actes physiologiques explique et complète les



notions cinématiques et mécaniques fournies déjà par l'emploi de la Chronophotographie et par celui des dynamomètres enregistreurs.

» De plus longs développements sont maintenant nécessaires pour motiver chacune des opérations qui viennent d'être énumérées et pour en décrire l'exécution.

» Je prendrai pour exemple les études faites sur le cheval.

» Il faudra, nous l'avons dit, posséder le squelette de l'animal même dont on a soumis les allures à la Chronophotographie. Cela constitue la plus grande difficulté de l'expérience, si l'on opère sur un animal de prix. Une circonstance favorable est venue lever cette difficulté.

» Les étalons des haras de l'État, lorsqu'on les réforme, doivent être abattus; M. le professeur Le Hello a pu ainsi obtenir que l'étalon *Tigris*, du haras du Pin, fût envoyé à la Station physiologique pour y être abattu dès qu'on aurait photographié ses allures. Des séries d'images ont été prises au pas et surtout au trot, car *Tigris* était un trotteur, et c'est à cette allure seulement qu'il développait toutes ses qualités.

» La *fig. 1* montre des séries chronophotographiques prises sur divers chevaux libres ou montés, à différentes allures.

» Sur ces images séparées, il serait difficile de saisir les changements qui se sont produits entre deux attitudes successives; j'ai donc recouru à un procédé qui rassemble sur une seule feuille de papier ces images diverses, en donnant à chacune la position qu'elle occupait par rapport aux autres; enfin, pour éviter la confusion, j'ai étudié séparément l'action de chacun des membres, sauf à recombinaison ultérieurement ces figures partielles pour en restituer l'ensemble.

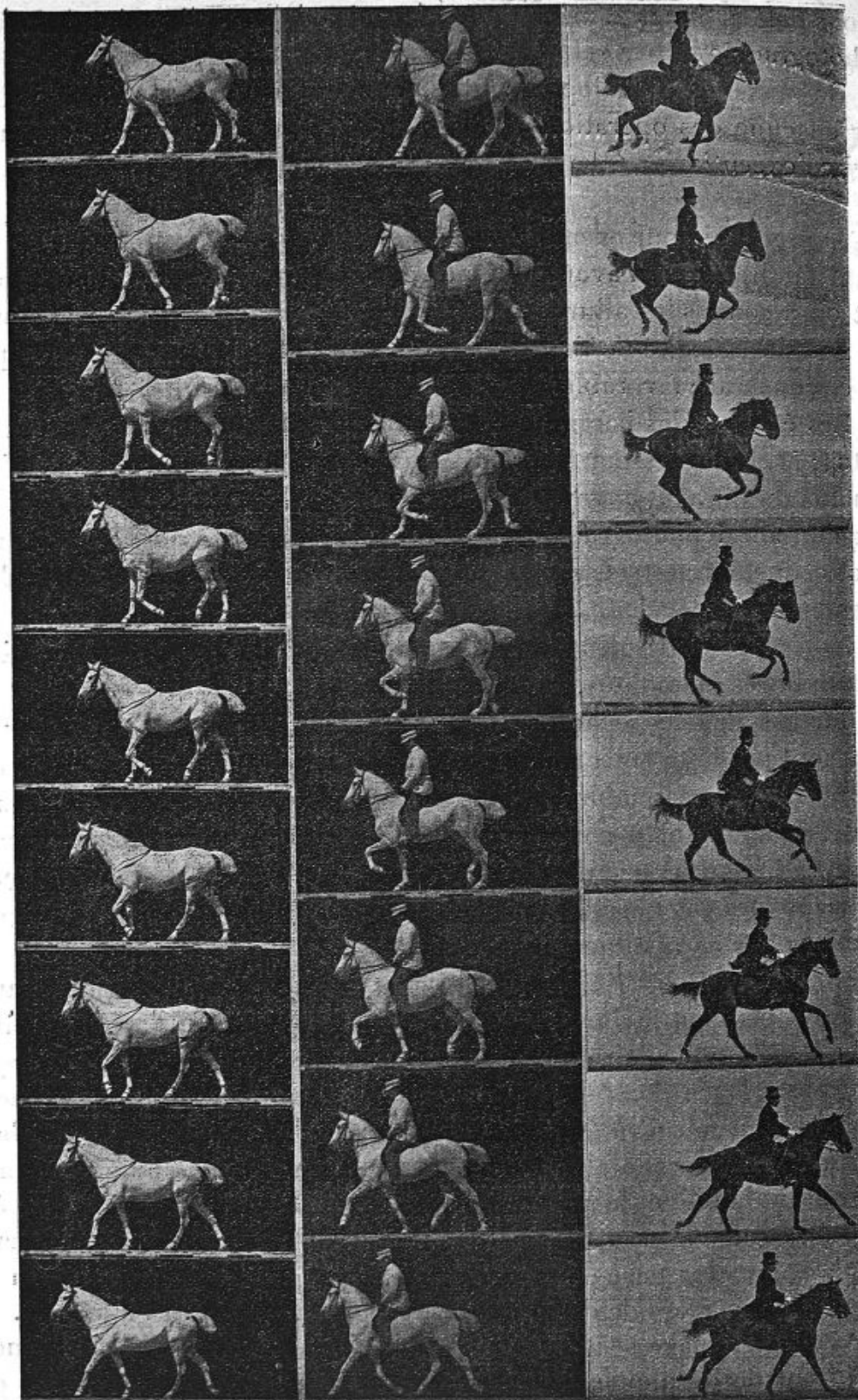
» Le Tableau I, *fig. A*, montre la série des attitudes du membre antérieur droit pendant la durée d'un pas. Voici comment elle a été obtenue :

» La bande pelliculaire qui porte la série des images chronophotographiques est placée dans une lanterne à projection; le faisceau lumineux, réfléchi sur un miroir à 45°, forme l'image du cheval sur une feuille de papier à dessin horizontale. On suit à la plume le contour de l'image représentant la tête et le membre antérieur droit du cheval; on trace également la ligne du sol et, sur cette ligne, un petit trait vertical qui servira de repère dans les projections ultérieures. La première image qu'on décalque est la dernière de celles qui correspondent à la durée d'un pas.

» Passant à l'image n° 2 (celle qui précédait immédiatement la silhouette qu'on vient de décalquer), on dispose la planche à dessin de façon que



Fig. 1. — Allures diverses du cheval (Chronophotographie).





cette seconde image soit bien placée, ce que l'on juge par la parfaite coïncidence de deux repères : d'une part, la ligne du sol doit se superposer à celle qui est déjà tracée, et, d'autre part, le repère de la seconde image doit se superposer à celui de la première. On dessine alors le contour de l'image n° 2 en ponctuant les parties qui sont censées recouvertes par l'image précédente. La troisième image est dessinée de la même manière, puis la quatrième, jusqu'à ce qu'on ait reproduit un nombre d'attitudes au moins égal à celui qui correspond à la durée d'un pas.

» Ces décalques, ainsi rassemblés, rappellent les résultats que donne la Chronophotographie sur plaque fixe <sup>(1)</sup>, mais avec cet avantage qu'ils ne produisent pas de confusion. En effet, les images d'un cheval blanc photographié sur plaque fixe au-devant d'un champ noir, à des intervalles de temps égaux, tendent à se confondre entre elles, d'autant plus que les quatre membres de l'animal viennent tour à tour passer à peu près à la même place. Au contraire la série des projections repérées donne les attitudes de l'animal d'une manière aussi parfaite, mais sans aucune confusion : d'abord parce qu'on ne reproduit que les attitudes d'un seul membre, et, en outre, parce que, en les dessinant, on a soin d'indiquer par des lignes ponctuées les parties de chaque image qui sont censées recouvertes par l'image située plus en avant.

» Il s'agit maintenant de représenter dans ces figures la série des attitudes des diverses pièces du squelette. Aussitôt abattu, *Tigris* fut disséqué; on détermina le poids de ses divers muscles pour des études ultérieures, et le squelette des membres fut préparé en conservant toutes les articulations. On plaça ce squelette devant l'appareil photographique et l'on en prit les images à la même échelle que pour les positions successives de l'animal vivant.

» L'image du squelette fut projetée elle-même, et le dessin qu'on fit, d'après cette projection, fut collé sur de la carte mince et découpé de façon à donner une série de gabarits. Chacun de ces gabarits représentait le profil d'un os, avec les dimensions convenables pour qu'on puisse le loger à sa place dans les contours de la *fig. B* <sup>(2)</sup>.

(1) Voir *Comptes rendus*, 19 mai 1884.

(2) Des tentatives infructueuses m'avaient montré qu'il est à peu près impossible d'employer les gabarits des pièces osseuses faits d'après le squelette d'un cheval quelconque. Les proportions des différents os changent en effet, d'un animal à l'autre,



» Dans l'étude de *Tigris*, tout se passa de la façon la plus simple. On superposa la série des gabarits depuis le sabot jusqu'à l'épaule, et, pour chaque attitude, on constata que les pièces osseuses qui forment un relief visible sous la peau d'un cheval vivant se trouvaient, sur les images, exactement aux places qu'elles devaient occuper. Le Tableau I (*fig. C*) montre déjà le jeu des divers segments osseux du membre et les mouvements des articulations; or cette connaissance va nous conduire à celle des actions musculaires.

» En effet, suivant que les angles articulaires s'ouvrent ou se ferment, les insertions de certains groupes musculaires s'écartent ou se rapprochent les unes des autres, et les muscles correspondants s'allongent ou se raccourcissent. On détermina donc, sur chacune des pièces du squelette, la place des insertions musculaires. Cette étude avait déjà été faite avec grand soin par le professeur Barrier qui, dans un atlas, a figuré par des teintes diverses, sur chacun des os, les surfaces qui fournissent des insertions musculaires.

» Les centres de figure de ces surfaces d'insertion peuvent être considérés comme les points où s'attacherait une fibre unique dont l'action serait identique à celle du muscle tout entier.

» Il est donc facile de représenter sur le squelette l'état de raccourcissement ou d'allongement de chaque muscle, d'après la longueur de la droite qui joint entre elles les deux attaches extrêmes de ce muscle. C'est ce qui a été fait Tableau I (*fig. D*). Ces courbes ont été obtenues en portant sur l'axe des  $x$ , en chaque point correspondant à l'un des instants du pas, une ordonnée négative dont la longueur est proportionnelle à celle du muscle considéré. Chacune des courbes correspond aux variations de la longueur d'un muscle (<sup>1</sup>). Des lettres communes servent à désigner chaque muscle et la courbe qui lui correspond. Ainsi A désigne le triceps brachial et sa courbe, B le biceps, C le sus-épineux et D le grand rond.

---

d'une façon très marquée; il s'ensuivait qu'on ne pouvait pas loger dans le contour des membres d'un cheval les formes osseuses d'un animal étranger.

(<sup>1</sup>) Comme tout muscle est formé de parties à longueur fixe, les tendons, et de parties à longueur variable, les fibres rouges, on a défalqué dans ces images deux longueurs égales et constantes aux extrémités de chaque muscle; ces parties ont été représentées par des traits fins. La partie centrale, au contraire, représentant la fibre contractile, a été marquée d'un trait épais. Cette disposition a pour avantage de rendre plus sensibles les variations absolues de longueur en les faisant porter sur une ligne plus courte.



» Enfin, au-dessous des courbes on a tracé la *notation* des appuis et levés du pied; un trait noir horizontal exprime la durée des appuis, tandis que celle des levés est laissée en blanc <sup>(1)</sup>.

» Les figures superposées du Tableau I expriment les actions du membre antérieur, et celles du Tableau II les actions du membre postérieur, à l'allure du *pas*. Pour le membre postérieur, les groupes musculaires représentés sont : A ischio-tibiaux, B muscles rotuliens, C muscles gastrocnémiens; les mêmes lettres désignent les courbes de chacun de ces muscles.

» Les Tableaux III et IV représentent les mêmes actions à l'allure du *trot*.

» Les dessins de toutes ces figures ont été faits à une grande échelle pour en faciliter l'analyse. Nous essayerons toutefois de montrer sur ces petites images les renseignements qu'elles donnent relativement au mécanisme de la locomotion du cheval.

» A. Les silhouettes seules montrent déjà que, dans les allures du *pas* et du *trot*, les membres ont une durée d'appui et de suspension inégale (fait rendu plus net et plus précis sur les notations de ces allures). Dans le *trot*, en effet, quatre images d'ordinaire correspondent au levé et trois à l'appui; dans le *pas*, quatre à l'appui et trois au levé.

» Elles montrent aussi qu'à l'allure du *pas* le membre est plus près de la verticalité quand il pose sur le sol qu'à la fin de son appui, circonstance favorable à la propulsion de l'animal;

» Que, pendant le levé, le thorax de l'animal s'abaisse d'abord, puis s'élève, ce dernier temps coïncidant avec un abaissement de la tête;

» Que les pieds d'avant et d'arrière suivent des trajectoires très analogues, sauf une plus grande hauteur pour la courbe des pieds d'arrière.

» B. Les figures qui représentent les pièces du squelette contenues dans la silhouette du membre étaient une construction indispensable, mais nécessairement trop confuse pour qu'on en dégage aisément ce que montrent avec clarté les figures suivantes.

» C. Les figures représentant les attitudes du squelette montrent comment, au début du levé, le poids du membre antérieur abaisse l'omoplate qui, vers la fin de cette période, se relève. Or, on a vu, sur les silhouettes A, comment cette élévation coïncide avec l'abaissement de la tête; ces deux actes sont la conséquence nécessaire de la contraction des muscles scapulo-cervicaux; ils ont pour effet d'empêcher le pied de rencontrer le sol prématurément.

---

(<sup>1</sup>) Voir, pour la manière d'obtenir ces notations et pour leur signification aux diverses allures, *Comptes rendus*, t. LXXV, p. 883-887 et 1115-1119; 1872.



TABLEAU I. — *Tigris au pas* (membre antérieur droit).

Fig. A.  
Attitudes successives  
du membre antérieur droit  
au *pas*.

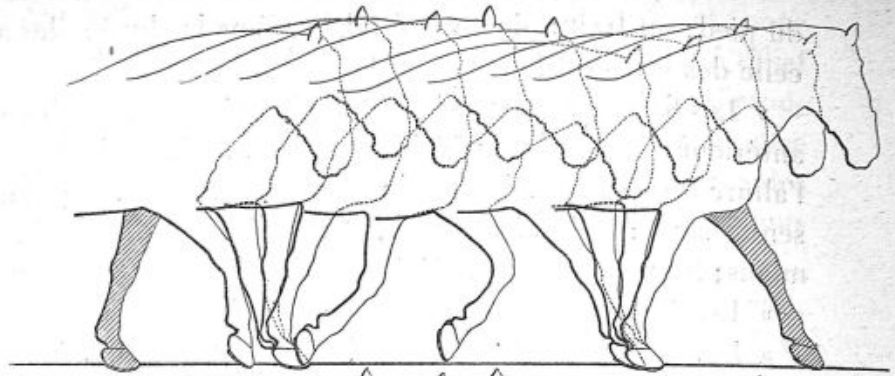


Fig. B.  
Disposition des silhouettes  
du squelette  
dans celles du membre.

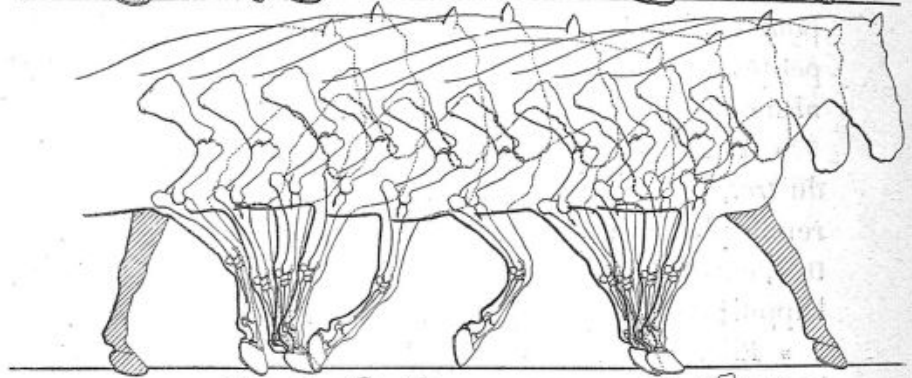


Fig. C.  
Positions du squelette  
pour chaque attitude.

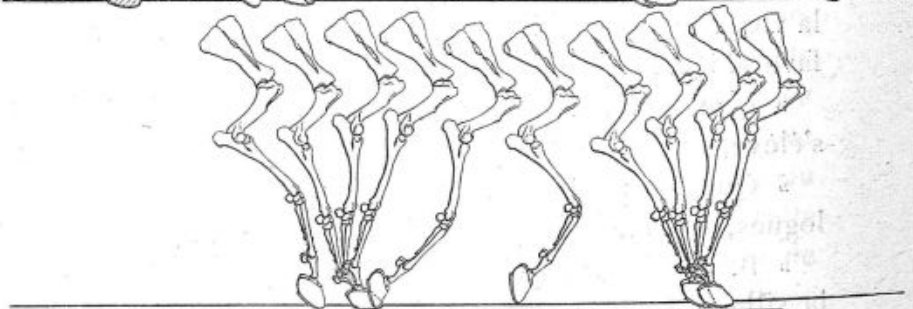


Fig. D.  
Attitudes du squelette et  
courbes des variations de  
longueur des muscles; no-  
tations des appuis et levés  
du pied.

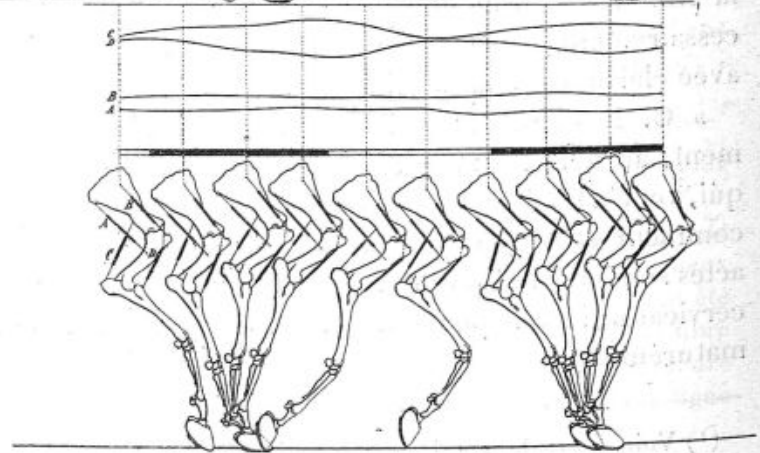


TABLEAU II. — *Tigris au pas* (membres postérieurs).

Fig. A.

Attitudes successives  
du membre postérieur droit  
au pas.

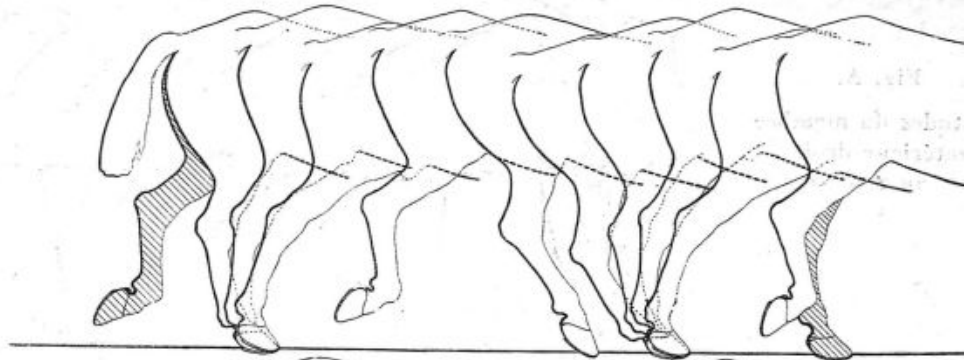


Fig. B.

Disposition des silhouettes  
du squelette  
dans celles du membre.

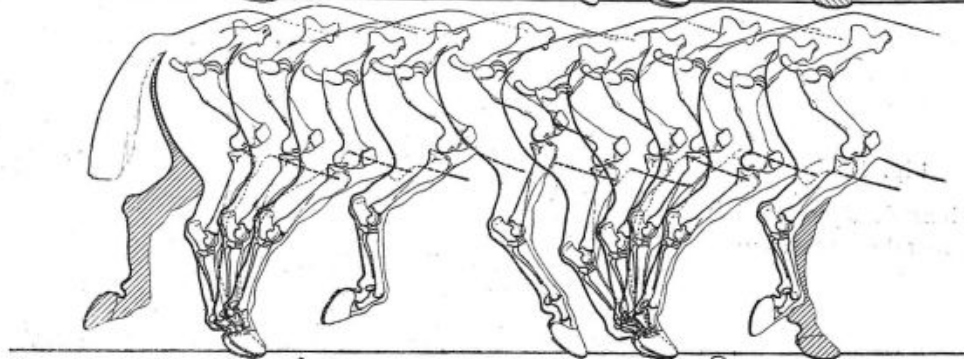


Fig. C.

Positions du squelette  
pour chaque attitude.

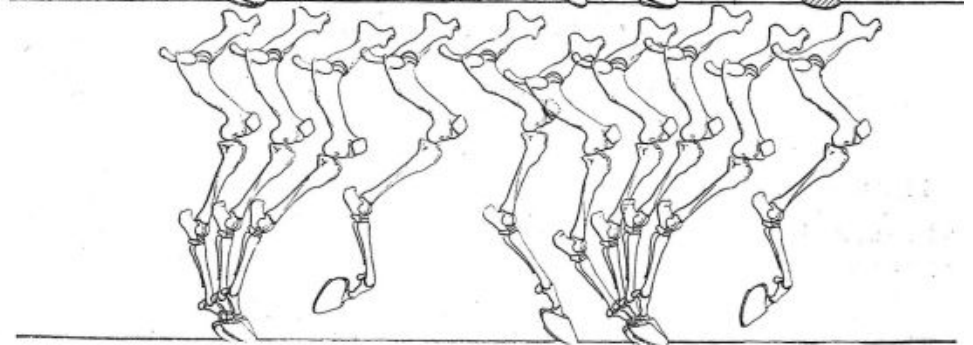


Fig. D.

Attitudes du squelette.  
Notation :  
courbes musculaires;  
A, ischiotibiaux;  
B, m. rotuliens;  
C, m. gastrocnémiens.

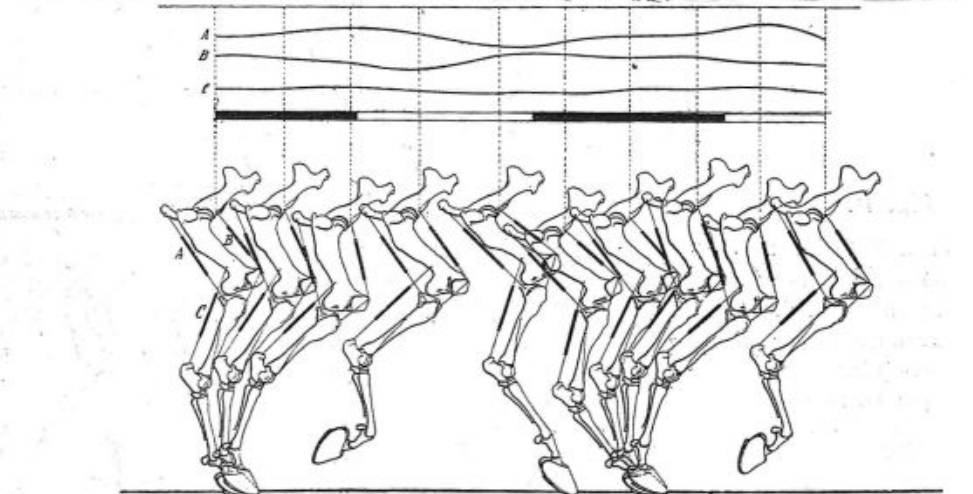




TABLEAU III. — *Tigris au trot* (membre antérieur droit).

Fig. A.  
Attitudes du membre  
antérieur droit  
au trot.

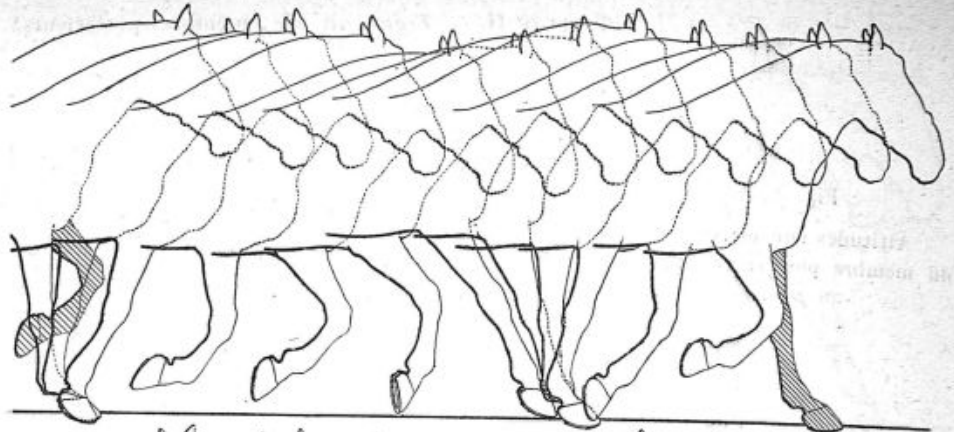


Fig. B.  
Positions du squelette  
dans le membre antérieur.

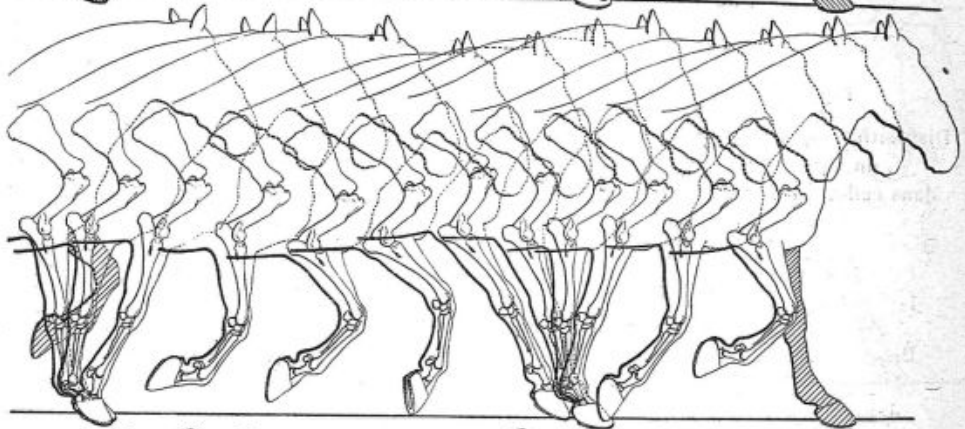


Fig. C.  
Attitudes successives  
du squelette seul.

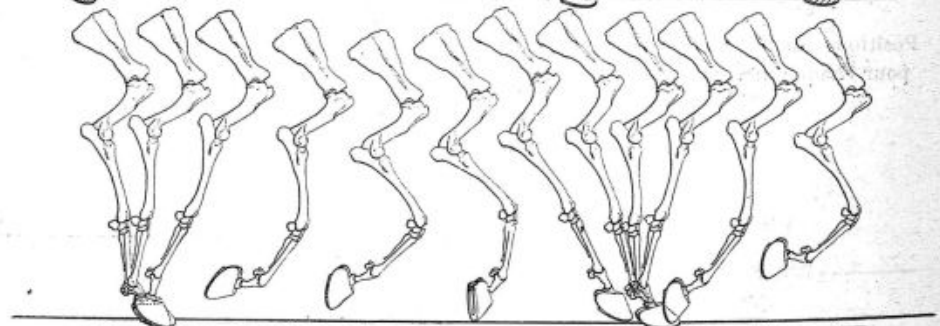


Fig. D.  
Squelette. Notation :  
courbes musculaires  
du membre antérieur droit.  
A, grand rond;  
B, sus-épineux;  
C, triceps; D, biceps.

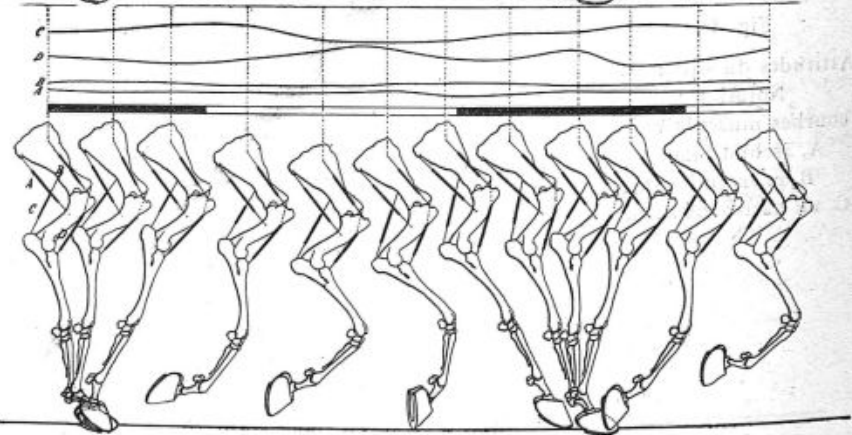


TABLEAU IV. — *Tigris au trot* (membres postérieurs).

Fig. A.  
Attitudes du m. postérieur  
droit au *trot*.

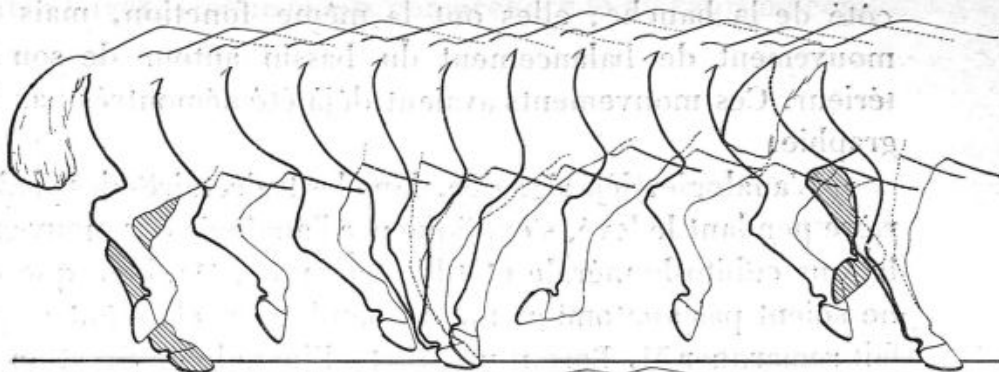


Fig. B.  
Positions du squelette  
pour chaque attitude.

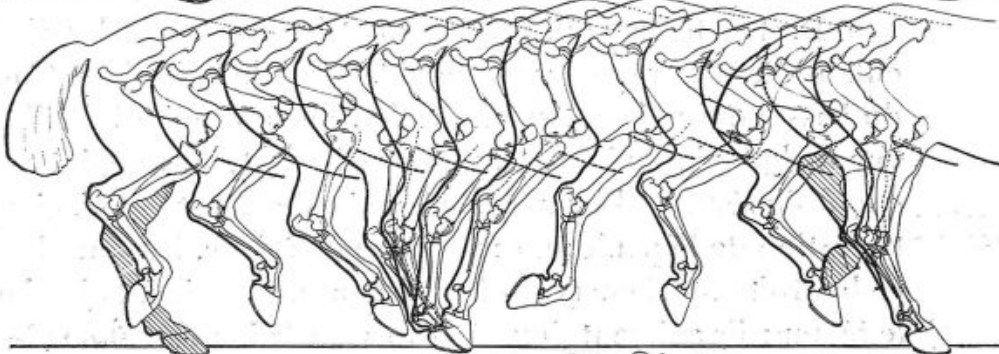


Fig. C.  
Attitudes du squelette seul.

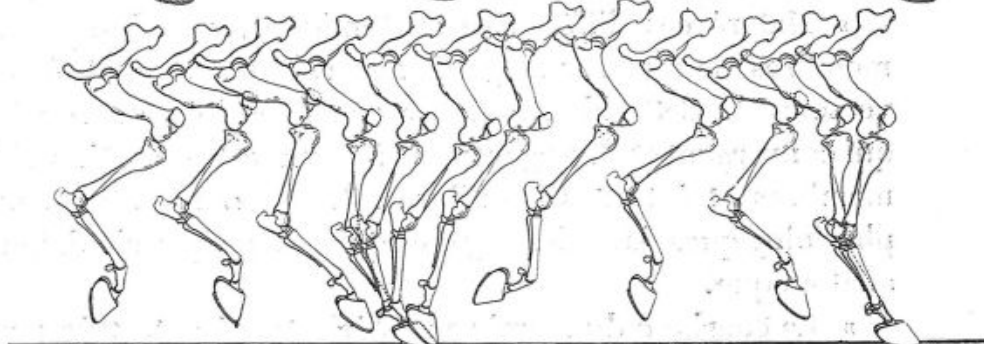
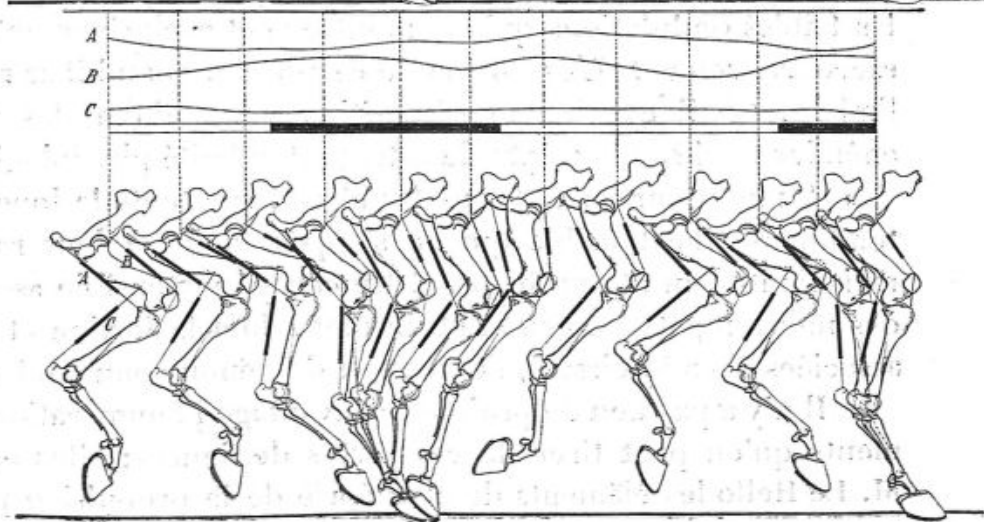


Fig. D.  
Squelette. Notation :  
courbes musculaires  
du membre postérieur droit.  
A, ischiotibiaux;  
B, rotulien;  
C, gastrocnémiens.





» Aux membres postérieurs, des oscillations analogues s'observent du côté de la hanche; elles ont la même fonction, mais sont dues à un mouvement de balancement du bassin autour de son axe antéro-postérieur. Ces mouvements avaient déjà été démontrés par la Chronophotographie.

» L'analogie, déjà signalée, dans les trajectoires des pieds d'avant et d'arrière pendant le levé, s'explique par l'analogie des mouvements des articulations cubito-humérale et tibio-tarsienne. Or, bien que ces articulations ne soient pas anatomiquement homologues, elles ont acquis, ainsi que le fait remarquer M. Baron, une sorte d'homologie fonctionnelle.

» D. Les figures qui représentent les insertions des divers groupes musculaires font voir que les muscles de l'épaule qui agissent sur le bras, et ceux du bassin qui agissent sur la jambe, ne sont point homologues au point de vue de leurs insertions. Au membre d'avant, le sus-épineux et le grand rond *a* et *b* s'insèrent à l'humérus très près de sa tête et n'agissent que sur l'articulation de l'épaule; au membre postérieur, les muscles ischio-tibiaux *a* et le droit antérieur (rotulien) *b* vont du bassin à la jambe en franchissant le fémur; ils agissent donc à la fois sur la hanche et sur le genou.

» Malgré ces différences anatomiques, *a* et *b* se comportent aux deux membres de façon analogue, *a* se relâchant quand *b* se contracte et inversement. Cette alternance se constate aisément sur les courbes *a* et *b* qui convergent et divergent tour à tour; cette relation s'observe aux deux membres et à toutes les allures. C'est un nouvel exemple d'homologies physiologiques dans des organes qui ne sont pas similaires au point de vue anatomique.

» La courbe *c* du membre postérieur présente très peu d'inflexions; et les faibles ondulations qu'elle montre sont exclusivement dans le sens du raccourcissement. L'extension de ce muscle, quand il se relâche, est donc limitée. Or il existe une disposition anatomique des muscles gastrocnémiens qui rend compte de cette particularité physiologique :

» A l'intérieur de ces muscles règne, sur toute la longueur, une corde tendineuse inextensible qui ne s'oppose point à leur raccourcissement, mais limite leur allongement. Cette corde inextensible assure la solidarité des mouvements du genou et du pied, dont la flexion et l'extension sont associées chez le cheval, l'extension du genou commandant celle du pied.

» Il n'y a pas lieu de prolonger davantage l'énumération des renseignements qu'on peut tirer de ces sortes de figures; elles ont déjà fourni à M. Le Hello les éléments de sa théorie de la propulsion par les membres

antérieurs et postérieurs (1); une étude approfondie y fera trouver sans doute des éléments nouveaux pour mieux comprendre le mécanisme compliqué de la locomotion animale. »

ZOOLOGIE. — *L'origine des Vertébrés*; par M. EDMOND PERRIER.

« Depuis les recherches de Kowalevsky (1866), on a successivement fait descendre les Vertébrés d'êtres indéterminés (*Scolecida*) qui auraient en même temps engendré les Tuniciers (Hæckel, 1866); des Vers annelés (Semper, Balfour, 1874; Dohrn, 1875; E. Perrier, 1881; Leydwick Minot, 1897); des Mérostomes primaires (Albert Gaudry, 1883); des *Balanoglossus* (Bateson, 1884); des Némertes (Hubrecht, 1887); des Arachnides (Patten, 1891); des Crustacés (Gaskell, 1891); d'un animal voisin des Appendiculaires (Brooks, 1893, Willey, 1894).

» De pareilles divergences supposent évidemment ou que les principes de la Zoologie sont encore mal définis, ou bien qu'ils sont trop fréquemment perdus de vue, ou bien encore que l'on ne s'est pas suffisamment préoccupé de préciser la nature des caractères des Vertébrés, dont il fallait demander l'explication aux formes ancestrales. Nous voudrions établir ici qu'une application rigoureuse de principes incontestés conduit à une solution unique du problème et que cette solution est de tous points satisfaisante.

» Tout Vertébré présente les caractères essentiels suivants :

» 1° Le corps est bilatéralement symétrique et métaméridé dans toute sa longueur; 2° des cils vibratiles tapissent une étendue importante de ses surfaces externes ou internes, notamment les surfaces respiratoires; 3° durant la période embryonnaire, tout au moins, la région antérieure du tube digestif communique toujours, par des fentes latérales, avec l'extérieur; 4° l'appareil circulatoire est clos et présente un cœur situé au-dessous du tube digestif; 5° l'appareil sécréteur est constitué par un système de conduits qui se répètent, chez l'embryon, sur toute la longueur du corps et fournissent à l'appareil génital ses conduits excréteurs; 6° au-dessus du tube digestif s'étend, chez l'embryon, un cordon cellulaire plein, la *corde dorsale*, autour duquel se forment les vertèbres de l'animal adulte; 7° au-dessus de la corde dorsale se trouve le système nerveux central entière-

(1) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 1356-1360; 8 juin 1896.



( 1836 )

**ERRATA.**

( Séance du 23 mai 1898. )

Note de M. Marey, La Chronophotographie appliquée à l'étude des actes de la force musculaire :

Page 1472, lignes 28 et 29, *au lieu de* A désigne le triceps...., *lisez* A, grand-rond ; B, sus-épineux.... (comme dans la légende de la fig. D, Tableau III).

Note de MM. A. Lacroix et P. Gautier, Sur les minéraux des fumerolles basaltiques de Royat (Puy-de-Dôme) :

Page 1530, ligne 8, *au lieu de* avec laquelle il est impossible de voir ...., *lisez* avec laquelle il est possible de voir....

( Séance du 13 juin 1898. )

*Au lieu de* Présidence de M. WOLF, *lisez* Présidence de M. VAN TIEGHEM.