



HAL
open science

L'œuvre d'Etienne-Jules Marey et sa contribution à l'émergence de la phonétique dans les sciences du langage

Bernard Teston

► **To cite this version:**

Bernard Teston. L'œuvre d'Etienne-Jules Marey et sa contribution à l'émergence de la phonétique dans les sciences du langage. Travaux interdisciplinaires du Laboratoire Parole et Langage, 2004, 23, pp.237-266. hal-00173554

HAL Id: hal-00173554

<https://hal.science/hal-00173554>

Submitted on 20 Sep 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

L'ŒUVRE D'ÉTIENNE-JULES MAREY ET SA CONTRIBUTION A L'ÉMERGENCE DE LA PHONÉTIQUE DANS LES SCIENCES DU LANGAGE

Bernard Teston

Résumé

Marey s'est passionné pendant toute son existence pour l'étude du mouvement des choses et des êtres et les manifestations fondamentales de la vie. Ses travaux les plus marquants ont porté sur la physiologie de la locomotion dont il a été la sommité universellement reconnue du début du siècle dernier.

Son œuvre est remarquable tant pour son importance que pour sa variété mais son apport le plus original se situe dans la « méthode graphique » qu'il a développée et les instruments qu'il a réalisés pour la mettre en œuvre. Ainsi, Marey a eu une grande influence dans de nombreux domaines scientifiques et technologiques autres que la physiologie.

En 1874, la toute jeune Société de Linguistique de Paris vient consulter Marey dans le but « d'appliquer la méthode graphique aux mouvements si complexes et si variés qui se produisent dans la parole ». Cette collaboration marque les débuts de la phonétique expérimentale. Elle se développera ensuite avec la chronophotographie du visage parlant et surtout avec l'adaptation la plus achevée de la méthode graphique à la production de la parole par l'abbé Rousselot.

Mots-clés : histoire, phonétique expérimentale, méthode graphique, Marey, photographie animée.

Abstract

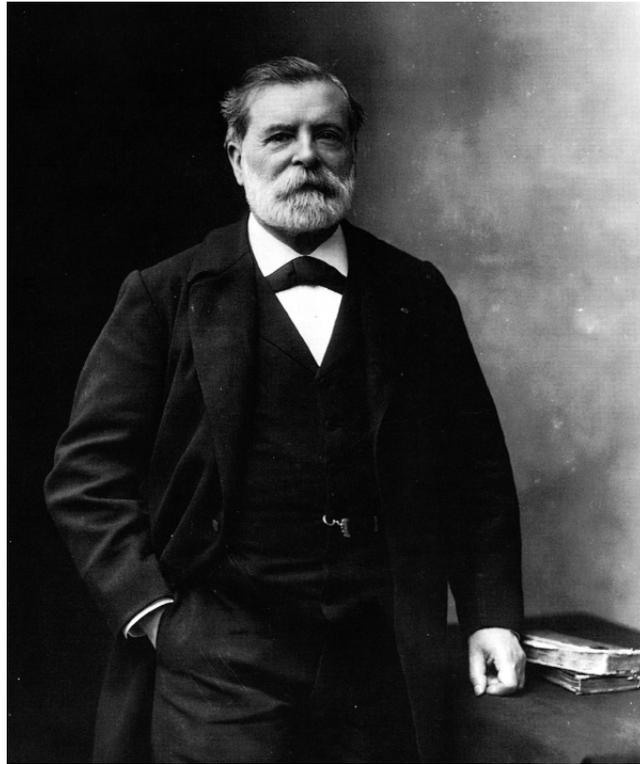
Throughout all his life, Marey was passionately engaged in the study of the movement of things and beings and of the basic manifestations of life. His most influential studies were devoted to the physiology of locomotion concerning which he was the universally recognised prime authority of the beginning of the last century.

His accomplishments were remarkable both for their quantity and for their variety but his most original contribution was that of the graphical method which he devised and the instruments which he developed to put it into practice. Marey had thus a considerable influence in numerous scientific and technological spheres other than physiology.

In 1874, the newly founded Linguistic Society of Paris consulted Marey with the aim of « applying the graphic method to such complex and varied movements which produce speech ». This collaboration marks the beginning of experimental phonetics. It was to be developed later with the chronophotography of the speaking face and above all with the crowning application of the graphical method by Abbé Rousselot to the production of speech.

Keywords : history, experimental phonology, graphic method, Marey, animated photography.

TESTON, Bernard (2004), L'œuvre d'Étienne-Jules Marey et sa contribution à l'émergence de la phonétique dans les sciences du langage, *Travaux Interdisciplinaires du Laboratoire Parole et Langage*, vol. 23, p. 237-266.



Étienne-Jules Marey en 1885, année de sa rencontre avec l'abbé Rousselot

1. Introduction

La communauté scientifique fête cette année le centenaire de la disparition d'Étienne-Jules Marey. Ce nom presque oublié est celui d'un immense savant dont les recherches et surtout les méthodes ont profondément marqué la science moderne, car au-delà de sa discipline, la physiologie, il a influencé bien d'autres domaines scientifiques ou technologiques.

Mais Marey n'était pas qu'un homme de science, il était également un artiste dont l'influence esthétique a été importante dans l'avènement des mouvements cubiste et futuriste. C'est essentiellement pour cet aspect de son œuvre que Marey est toujours présent, cent ans après sa disparition, et a gagné un regain d'intérêt à travers plusieurs expositions qui lui ont été dédiées depuis 1963 par la cinémathèque au palais de Chaillot, puis au centre Pompidou en 1977 (Frizot, 1977), au musée de la photographie de Beaune en 1984, 91 et 95 et toujours par la cinémathèque à l'espace Electra en 2000 (Mannoni, 1999).

Le grand succès populaire de ces manifestations, ainsi que la publication récente de plusieurs ouvrages sur l'œuvre de Marey, dont sa première biographie aux États-Unis (Braun,1992), témoignent d'un regain d'intérêt pour ce génie de la mesure et grand technicien de l'image animée.

Paradoxalement, c'est à travers ces manifestations culturelles que les scientifiques contemporains peuvent appréhender la totalité des domaines redevables aux techniques et méthodes expérimentales imaginées et développées par Marey ainsi que leur importance.

Pour le centenaire de sa mort, le ministère de la culture et le ministère délégué à la recherche organisent au cours de l'année 2004 une célébration nationale avec une vingtaine d'événements à travers la France sous l'autorité d'un conseil scientifique auquel participe notre collègue Jean Massion, membre du Laboratoire Parole et Langage et l'un des derniers pensionnaires du laboratoire Marey à Auteuil.

Le LPL se devait de s'associer modestement à cette célébration nationale, en rappelant la contribution que Marey a apportée en son temps à l'émergence de la phonétique et l'influence qu'il a toujours dans les recherches sur la parole.

2. Étienne-Jules Marey

Étienne-Jules Marey, bourguignon, est né à Beaune en 1830. Il a laissé le souvenir d'une adolescence pleine de rêverie, curiosité, enthousiasme et réalisation de jouets anthropomorphiques animés, qui ont étonné ses contemporains. Son avenir est tout tracé, il veut être ingénieur mécanicien. Mais à 19 ans, poussé par son père, il commence des études de médecine. Peu enclin au contact des patients, il travaille surtout en laboratoire et se fait remarquer dès 1857 par des publications novatrices sur l'influence de l'élasticité des vaisseaux sur la circulation sanguine, dont la seconde sera traduite et publiée intégralement aux États-Unis. Il devient docteur en médecine en 1859 après six ans d'internat et soutient une brillante thèse sur les maladies de la circulation, du cœur et des poumons.

Pour ses premières recherches, Marey réalise lui-même des dispositifs expérimentaux à travers lesquels perce déjà l'extraordinaire inventivité de son esprit et son goût pour « *le grand problème mécanico-physiologique* ». À trente ans il est déjà une étoile montante de la physiologie internationale et développe la « méthode graphique ». Il communique régulièrement les résultats de ses travaux à l'Académie des sciences.

En 1867, il est nommé professeur suppléant au collège de France, et deux ans plus tard, à trente-neuf ans, professeur titulaire de la chaire d'histoire naturelle des corps organisés. En 1872 il est élu à l'Académie de médecine et en 1878 à l'Académie des sciences. En 1882, il invente le

« chronophotographe » à plaques fixes et le fusil photographique. Il crée également la célèbre station physiologique d'Auteuil au Parc des Princes. En 1884 il assure la présidence de la société de navigation aérienne et en 1894 celle de la société française de photographie qu'il assurera jusqu'à sa disparition. De 1888 à 1899 il développe la chronophotographie sur pellicule souple et travaille sur la synthèse du mouvement par la projection chronophotographique et contribue ainsi de manière décisive à l'invention du cinématographe. Il est élu président de l'Académie des sciences en 1895 puis de l'Académie de médecine en 1900.

L'Institut Marey est créé à Auteuil en 1902 pour héberger l'association internationale de contrôle des instruments de mesure. Marey la préside jusqu'à sa mort qui survient à Paris le 15 mai 1904.

3. L'œuvre d'Étienne-Jules Marey

L'œuvre de Marey est caractérisée par son importance, sa grande variété thématique ainsi que sa grande originalité méthodologique.

D'abord, Marey travaille dans de nombreux domaines, et il ne les effleure jamais superficiellement. Il s'investit toujours pleinement dans la compréhension des phénomènes auxquels il s'intéresse. Il laisse à la postérité une œuvre immense : 25 ouvrages dont certains toujours réédités et 275 publications ou communications scientifiques. Il laisse également une masse considérable de cours, notes, documents, rapports, comptes rendus d'expériences, correspondances et de très nombreux articles de presse, car Marey aime à vulgariser ses découvertes auprès du public. Cette masse de publications doit être placée dans le contexte de son époque où l'on publie moins qu'aujourd'hui.

Ensuite, l'œuvre de Marey est remarquable par les méthodes expérimentales qu'il imagine et les instruments qu'il développe. Dès son externat de médecine, Marey a une méthode de travail déjà bien définie et dont il ne déroge pratiquement pas au cours de sa carrière.

La progression des connaissances de Marey sur un phénomène particulier s'effectue toujours par étapes successives, systématiquement étayées par des preuves objectives, grâce à l'expérimentation. Ces preuves sont des graphes, ou des chronophotographies, traces ou empreintes des mouvements étudiés. Une fois captés et mémorisés ils sont dessinés, agrandis, transformés en épures ou en dessins figuratifs et parfois en modèles statiques ou fonctionnels. Après avoir enregistré et analysé ses données expérimentales, Marey les traite, les formalise et les synthétise. Ainsi, tous les concepts méthodologiques de la science moderne sont présents dans son œuvre.

Pour mener à bien ses travaux avec la grande maîtrise que nécessite sa rigueur expérimentale, Marey imagine, conçoit, développe et parfois réalise lui-même, tout au long de sa vie, la plupart de

ses instruments de mesure, et améliore les autres. Il montre ainsi, en de multiples occasions, qu'il est un grand ingénieur, et cet aspect nous semble être le plus original de toute son œuvre.

Les épreuves, les dessins et les modèles que Marey réalise au cours de ses recherches, et dont nul ne peut dénier les qualités et l'originalité, attirent très tôt l'attention des artistes plasticiens, qui le considèrent non seulement comme un des leurs mais parfois comme un précurseur. Marey est donc ainsi simultanément un physiologiste, un ingénieur et un artiste.

4. Les multiples métiers de Marey

4.1. Le physiologiste

Toute l'existence de Marey peut se résumer à la quête permanente des manifestations fondamentales de la vie et du mouvement des choses et des êtres, y compris leurs mouvements internes. Bien ancré dans le positivisme de son temps, il a pour unique ambition de constater des faits et d'en déduire les seules lois que l'expérience contrôle. L'originalité de la démarche de Marey est d'étudier les mouvements des organismes vivants en appliquant et en vérifiant le principe absolu qu'ils sont soumis aux mêmes lois physiques (mécanique et thermodynamique) que les autres objets naturels. Il contribue ainsi très tôt, et de manière déterminante, au déclin de la théorie du vitalisme pour laquelle la vie n'est qu'une lutte perpétuelle des « fonctions vitales » des organismes vivants contre les lois physiques communes qui ne peuvent s'appliquer qu'après leur mort.

On lui doit ainsi, dès le début de sa carrière, de remarquables travaux qui ont révolutionné les connaissances de la physiologie cardiaque et respiratoire, de la circulation sanguine et de la nature de la contraction musculaire.

Parmi les multiples activités de recherche de Marey, il en est une qui le passionne particulièrement et à laquelle il consacre la plus grande part de sa vie scientifique. Il s'agit de la physiologie de la locomotion, dont il devient la sommité universellement reconnue de la fin du XIX^e siècle. Il s'intéresse à tous les aspects de la locomotion, humaine aussi bien qu'animale, au vol des insectes et des oiseaux, aux différentes allures des chevaux et autres mammifères, à la nage des poissons et des protozoaires.

Mais Marey n'a pas limité ses travaux à l'étude du mouvement. Esprit curieux de tout, il défriche de nombreux aspects « exotiques » de la physiologie. C'est ainsi qu'il se passionne pendant de nombreuses années pour l'étude des phénomènes bioélectriques chez les poissons torpilles.

Bien qu'il ne côtoie plus de malades à l'hôpital dès ses travaux de thèse, et ne fréquente que des laboratoires de physiologie, Marey reste cependant médecin toute sa vie. Il consulte en privé, soigne

peu de malades mais régulièrement. Il est un défenseur infatigable et très déterminé de Pasteur et de l'asepsie. On lui doit même une étude remarquable sur la transmission du choléra par l'eau.

4.2. L'ingénieur

Pour mener à bien ses recherches, Marey est obsédé par la transcription graphique des moindres mouvements des diverses activités physiologiques, c'est-à-dire par leur capture et leur enregistrement, qui seuls permettent de les étudier dans le détail. Son unique but est de visualiser leurs manifestations les plus impalpables sous la forme de lignes sinueuses bien visibles (Dagognet, 1987). Son aversion pour la vivisection le pousse également vers ces méthodes de recherche.

Dès ses premiers travaux sur la circulation sanguine en 1857, Marey donne la preuve de la fécondité de son esprit pour améliorer des instruments existants ou en concevoir et en réaliser de nouveaux. Il améliore ainsi de manière décisive le sphygmographe de l'allemand Vierordt, première tentative de mesure de l'amplitude et de la fréquence du pouls. Le sphygmographe de Marey en 1859 est si simple, si sensible et si précis qu'il va être utilisé par les médecins du monde entier (figure 1).

Au-delà des mesures, Marey imagine également des modèles mécano-hydrauliques pour simuler la physiologie et tester ses hypothèses (figure 2). Il réalise dans sa carrière un grand nombre de machines artificielles pour valider ses théories. Son génie de la mécanique, qui étonne déjà dans son adolescence, se manifeste très vite avec éclat et fait croître l'intérêt de la communauté internationale pour la « méthode graphique ».



Sphygmographe de Marey, fabriqué par Bréguet, avec son étui en cuir. (Collection Centre national de la Cinématographie).

Figure 1

*Le sphygmographe de Marey fabriqué par Bréguet,
qui lui a valu une réputation mondiale*

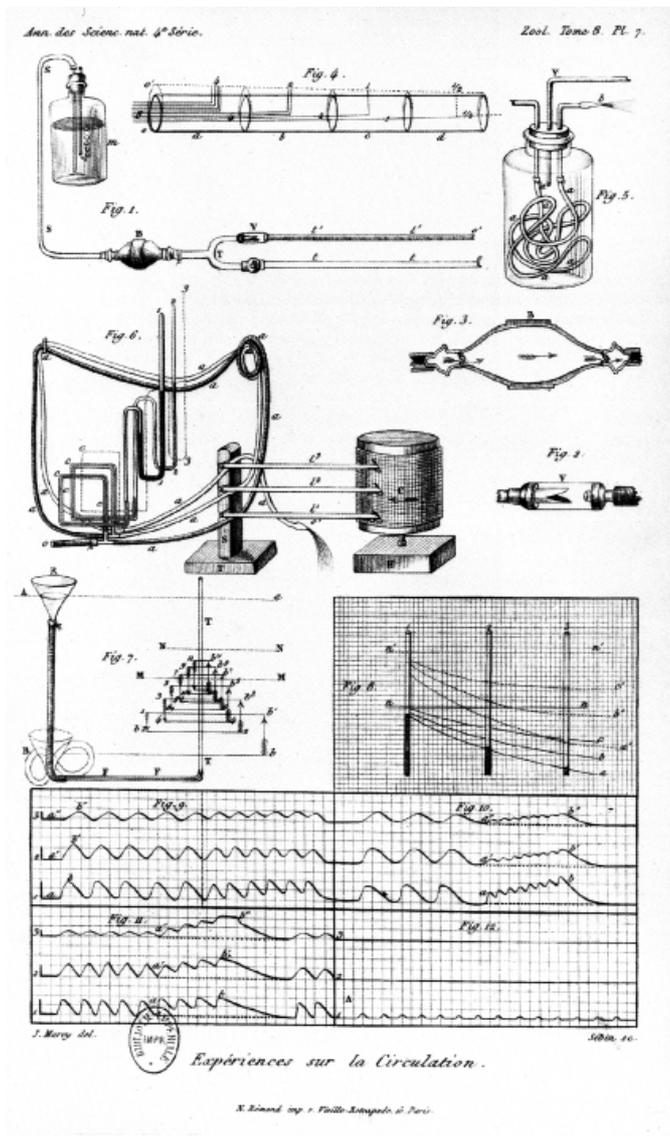


Figure 2
*Planche synthétisant les « recherches hydrauliques sur la circulation du sang dans les vaisseaux »
dans la première publication de Marey en 1857*

4.2.1. La méthode graphique

Il fait progresser celle-ci en quelques années à un tel niveau d'efficacité qu'il passe pour en être le concepteur. En fait, les premiers enregistrements graphiques des variations d'un phénomène physique sont dus à deux météorologistes du XVIII^e siècle, pour l'étude des fluctuations de température. Ensuite elle a été lentement appliquée à plusieurs domaines de la physique mais après ses premières applications balbutiantes à la physiologie par l'allemand Ludwig avec le Kymographion, c'est Marey qui a réellement révélé son universalité potentielle en développant avec succès ses applications à l'étude des phénomènes physiologiques fondamentaux tels que la circulation sanguine et la respiration. Il a ainsi contribué, plus que tout autre, à sa diffusion et sa connaissance auprès du public.

Pour capter le déroulement des phénomènes au cours du temps, il a inventé et perfectionné des méthodes graphiques d'enregistrement avec inscription au moyen de stylets, actionnés par des tambours manométriques, sur du papier noirci de fumée (Marey, 1878). Ce sont les fameux cylindres inscripteurs de Marey, qu'il n'a pas inventés lui-même, mais dont il a considérablement amélioré le fonctionnement par l'horizontalité de leur disposition et l'utilisation des tambours manométriques à leviers, qui lui sont dus (figure 3), et qu'il applique à toutes sortes d'explorateurs pneumatiques (capteurs) de phénomènes physiques ou physiologiques ; sphygmographe, pneumographe, myographe, thermographe, odographe, stéthoscope et accéléromètre. Les tambours de Marey augmentent beaucoup la sensibilité des systèmes inscripteurs et améliorent également leur linéarité.



Figure 3
Tambour manométrique à levier de Marey

Équipés de cylindres de diamètres et longueurs adaptés à leurs différentes utilisations, entraînés par des moteurs mécaniques dont la vitesse variable est contrôlée par des régulateurs de Foucault et une base de temps à diapason, les divers polygraphes de Marey deviennent des instruments réellement efficaces, capables de donner des mesures calibrables et reproductibles grâce à des procédures de contrôle codifiées et des outils de calibrage spécialement étudiés (figure 4). Le système mareysien de la méthode graphique atteint une telle perfection dans les années 1870 qu'il devient une référence internationale et fait de Paris la capitale de l'instrumentation scientifique. Marey y crée en 1900 la « commission internationale de contrôle des instruments enregistreurs et d'unification des méthodes » pour contrôler les instruments de la méthode graphique. Ils sont alors produits en grand nombre, par de multiples ateliers disséminés au quatre coins de la planète, et commencent à manquer sérieusement de fiabilité et d'homogénéité.

4.2.2. La chronophotographie

Dans les années 1870, Marey connaît déjà bien la photographie et les grands photographes, en particulier l'anglais Muybridge qui réalise des photographies successives au moyen de multiples chambres photographiques déclenchées régulièrement. Il considère cette technique nouvelle mal adaptée à l'étude des phénomènes physiologiques car les images peu nombreuses ont une résolution temporelle trop grossière. Il apprécie cependant beaucoup la qualité esthétique des productions de Muybridge qui d'ailleurs n'a pas d'autre ambition.

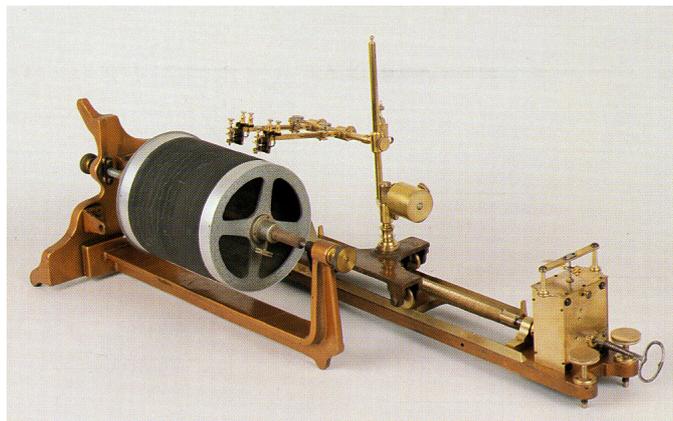


Figure 4

Polygraphe enregistreur de Marey fabriqué par Verdin (vers 1880), avec moteurs mécaniques, vitesse variable, régulateurs de Foucault, chariot mobile et base de temps à diapason électrique (les tambours enregistreurs ne sont pas montés)

L'apparition des plaques photographiques très sensibles au bromure d'argent permet des temps d'exposition beaucoup plus courts. En 1882, Marey réalise son premier fusil chronophotographique pour l'étude du vol des oiseaux, inspiré du revolver photographique de l'astronome Janssen, mais beaucoup plus rapide et performant. Les documents obtenus avec ce fusil permettent de le considérer comme la toute première caméra.

Peu après, Marey imagine une méthode d'enregistrement photographique des mouvements, la « *chronophotographie sur plaque fixe* ». Cette méthode ingénieuse est basée sur la photographie rapide d'un sujet mobile blanc devant un fond noir. La multiplication des poses est obtenue par la rotation, devant la plaque, d'un disque à segments (le premier obturateur rotatif) ; « *le corps s'écrit lui-même, il ne reste qu'à lire* » (figure 5). Cette méthode permet de visualiser jusqu'à 50 poses sur une même plaque avec une résolution temporelle d'une vingtaine de poses par seconde. Une base de temps visible sur tous les clichés est constituée par un chronomètre tournant à la vitesse d'un tour par seconde. Ainsi, cette nouvelle méthode répond bien au goût de la précision de Marey car elle traduit avec la même fidélité qu'un graphique les rapports d'espace et de temps et les distances parcourues qui sont l'essence du mouvement.

Dès 1883, il en améliore la mesure quantitative grâce à la « *chronophotographie géométrique* » qui permet d'enregistrer des points et des segments dessinés en blanc sur un mobile noir (figure 6).

Cependant, pour les mouvements lents, les images qui se superposent contrarient une lecture précise des clichés. En 1888, Marey a l'idée de déplacer la surface photo sensible et conçoit un dispositif qui permet d'enregistrer les images sur une pellicule mobile. Il réalise pour cela un mécanisme de défilement et d'arrêt rapide de la pellicule papier, synchrone avec l'obturateur, qui autorise 60 photographies par seconde (figure 7). En 1893, il présente un projecteur à partir de pellicules « film » qui permet de reproduire le mouvement. Tout le cinématographe est déjà là. Mais Marey apprécie peu les projections animées si elles ne correspondent pas à une analyse scientifique au moyen du ralenti pour les mouvements rapides, ou de l'accélééré pour les mouvements lents. Il est cependant en contact permanent avec les frères Lumière qui lui fournissent ses plaques photographiques et qui proposent le « *cinématographe* » en 1895 en mentionnant son nom dans leur dépôt de brevet.

Il ne cesse d'améliorer la vitesse de prise d'image de ses caméras et imagine de nouveaux principes pour accéder aux très grandes vitesses car il entrevoit que seuls des systèmes de compensation optique à mouvement rotatif régulier permettent de dépasser 200 images par seconde. Dès 1877, il propose l'obturateur à étincelles. Grâce à ce principe, Lucien Bull atteindra 2000 images par seconde pour étudier le vol des insectes, l'année de la mort de Marey.

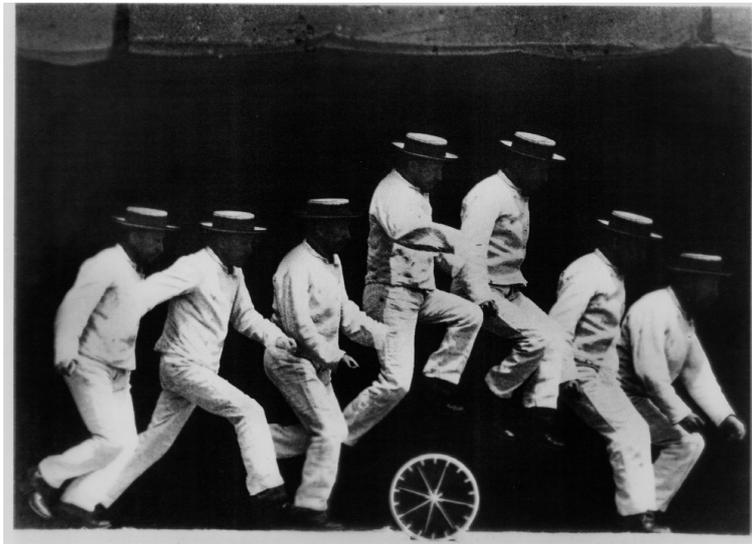


Figure 5

Chronophotographie de 7 images sur plaque fixe d'un homme sautant un obstacle (1882)

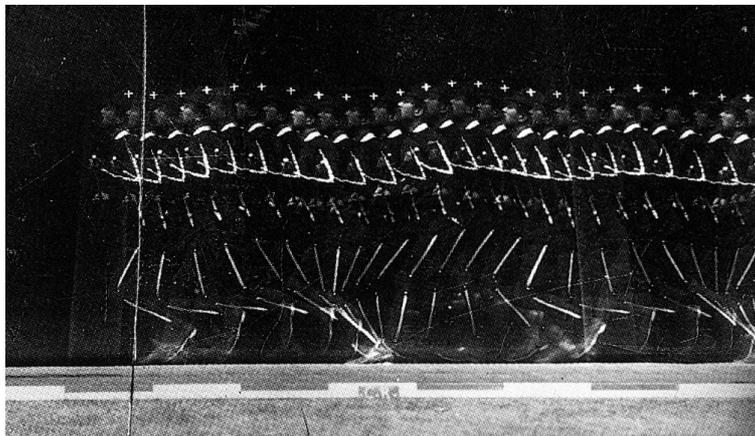


Figure 6

Chronophotographie géométrique de 24 images sur plaque fixe, d'un homme en train de courir (1886)

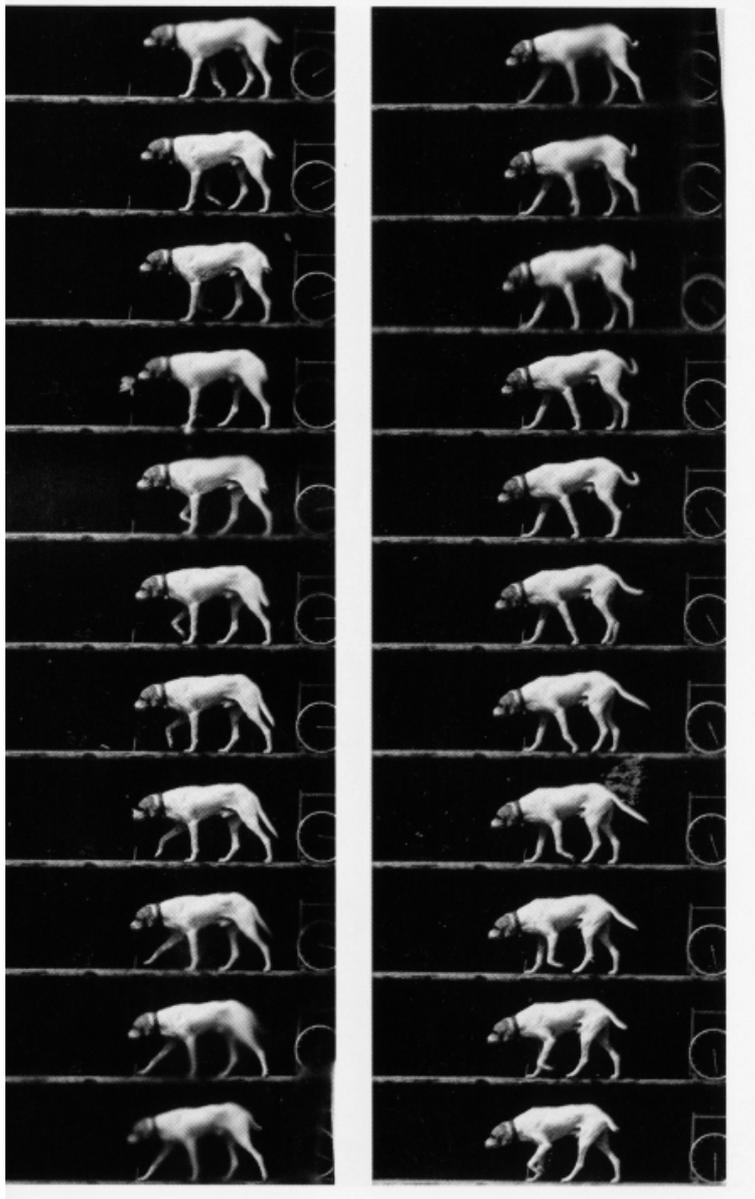


Figure 7

*Chronophotographie sur pellicule mobile d'un chien au pas.
La vitesse de prise de vues est de 60 images par seconde (1895)*

4.3. L'artiste

Le mouvement en tant que dimension plastique a été souvent au centre des préoccupations artistiques. Mais à partir de l'impressionnisme, l'élément mouvement prend une importance croissante qui va de pair avec la crise des valeurs figuratives dont la disparition progressive des sujets et la manipulation des nouvelles images en œuvres d'art. Les plasticiens s'interrogent sur l'invisible et l'irreprésentable, les forces, le temps, le mouvement.

À la fin du XIX^e siècle, sous l'impulsion des néo-impressionnistes, la représentation du mouvement dans les arts plastiques connaît une véritable révolution. Deux écoles s'opposent et s'affrontent. D'une part, les tenants du mouvement objectif, ayant pour animateurs Seurat et Signac, et influencé en grande partie par la photographie et les théories scientifiques de l'époque, prônent des compositions bien construites, structurées et préétablies. D'autre part, les tenants du mouvement subjectif, représenté par Gauguin et Van Gogh, revendiquent plus d'imagination et de lyrisme, moins de règles. C'est l'opposition d'un art plus solide contre un art plus spontané.

La représentation objective du mouvement s'appuie sur les contrastes de couleur à la suite des travaux de Chevreul entre autres, mais également dans un dessin au crayon de plus en plus stylisé à la manière des épures de Marey sur la locomotion. En 1911, Marcel Duchamp réalise la synthèse des deux mouvements en reconnaissant la forte influence des chronophotographies de Marey dans la construction de son « Nu descendant un escalier » qui marque une des plus importantes ruptures conceptuelles de l'histoire de la peinture. Dès lors, l'influence de Marey dans la peinture moderne est unanimement reconnue, particulièrement dans les mouvements cubiste, futuriste et abstrait.

En 1963, Henri Langlois n'a aucune peine à convaincre Marcel Duchamp, Max Ernst et Guido Severini à participer de leur vivant à une rétrospective Marey organisée à la cinémathèque. Ils ne cessent à cette occasion de témoigner des liens essentiels qui rattachent l'œuvre de Marey à l'art moderne du XX^e siècle.

On peut cependant se poser la question de savoir quel serait le point de vue de Marey à propos d'une telle reconnaissance ? Il en serait peut être modestement flatté, mais certainement bien étonné, car il n'a vraisemblablement jamais eu conscience du fait qu'il était un artiste. Certes, toute son œuvre scientifique est étayée par des images d'une exceptionnelle qualité plastique qui opère sur ceux qui les découvrent une véritable fascination. De surcroît Marey a un réel talent de modeleur. Mais toute ses manifestations plastiques ne sont pour lui que des outils de recherche utilisés avec beaucoup de soin au même titre que la photographie dont il ne voit que l'objectivité des images et non une quelconque expressivité artistique. Man Ray, le célèbre peintre cubiste

autant que le grand photographe, porte sur lui un jugement significatif à ce sujet, en le qualifiant de « fautographe », tout en appréciant par ailleurs son œuvre graphique.

5. Le « législateur » de la méthode graphique¹

Dès la soutenance de sa thèse, alors qu'il n'est attaché à aucune institution et qu'il n'est, comme il se baptise lui-même, qu'un « *physiologiste en chambre* », Marey accueille dans son laboratoire personnel de nombreux étudiants et collègues médecins, attirés par la recherche, ses succès scientifiques et l'efficacité de la méthode graphique. Il est un travailleur acharné, d'une extrême méticulosité et d'un naturel aimable. Cela lui permet de lier de solides amitiés. Sa notoriété devenant rapidement universelle, une grande partie de ce que le monde compte de chercheurs physiologistes et d'autres disciplines, va se succéder dans ses divers laboratoires pendant quarante ans. Parfois pour échanger simplement des idées et des résultats lors de courtes visites, mais souvent pour des séjours de formation et de collaboration qui dureront des années.

En 1867, Marey est nommé professeur au Collège de France où il dispose d'un important laboratoire. Peu après, à la création de l'École Pratique des Hautes Études, il y développe un laboratoire de physiologie à la demande de Victor Duruy. Comme il dispose également de laboratoires dans ses deux résidences à Paris et Naples (où il réside à partir de 1885 presque la moitié de son temps) et, depuis 1882, de la célèbre station physiologique d'Auteuil, Marey dirige donc cinq laboratoires dans lesquels il mène de multiples recherches, entouré d'une cohorte d'élèves et collaborateurs. Ainsi, Marey forme à la méthode graphique un nombre considérable de médecins, physiologistes, physiciens, ingénieurs et même quelques linguistes, non seulement nationaux mais également étrangers et ce, dans une multitude de domaines. Le système mareysien s'applique à merveille à la physiologie aussi bien qu'à la biologie, la mécanique, l'aéronautique, l'aéro et l'hydrodynamique. Ainsi, Marey se retrouve au centre d'un mouvement méthodologique d'une importance jusqu'alors inconnue dans l'histoire des sciences. Très rares sont les savants plus jeunes d'une génération qui, sans être ses disciples directs, ne l'ont pas côtoyé à des niveaux divers, dont plusieurs prix Nobel.

6. L'animateur d'industrie

Dès le début de sa carrière de chercheur, Marey a conscience de l'importance de la vulgarisation et de la valorisation de ses méthodes et instruments pour mener à bien ses projets scientifiques. Pour lui, il est essentiel de diffuser sa méthode et de répandre l'usage de ses instruments. Seul un large succès de diffusion peut témoigner de leurs qualités. Sûr de ce fait, il est persuadé de contribuer ainsi au progrès

¹ *Formule empruntée à l'abbé Rousselot.*

de la science universelle. Il n'est pas le premier des savants à commercialiser les fruits de ses travaux si la demande existe. Depuis Galilée et sa lunette, cette chose est assez commune, et depuis 1850 ces derniers ne reculent pas devant les difficultés à créer parfois de véritables industries. Marey ne fait donc pas exception, et surtout a beaucoup « de choses à vendre ».

Bien que l'on ait très peu d'informations sur les relations mercantiles qui le lie avec les fabricants de matériels scientifiques, on sait qu'il n'a pas fait fortune pour autant. Il semble réinvestir tous ses gains commerciaux dans l'équipement de ses laboratoires privés de Paris et Naples et plus tard dans l'institut Marey.

Pendant son internat, Marey transforme son appartement en laboratoire qu'il équipe en réalisant lui-même l'essentiel de ses instruments expérimentaux, qu'il duplique parfois et vend à d'autres médecins. Il réalise même quelques prototypes à la demande. Mais rapidement, ses ressources croissant, il fait appel à des artisans horlogers ou engage des mécaniciens à son service.

Le premier qu'il met à contribution est Antoine-Louis Bréguet, un jeune spécialiste en instruments de précision, petit-fils du grand Abraham-Louis Bréguet qui fit du Paris de la fin du XVIII^e siècle la capitale de l'horlogerie. Le catalogue de son atelier est constitué en grande partie par des instruments conçus par Marey tout au long de sa carrière. Il commercialise également des dispositifs de contrôle et calibration de la méthode graphique. Le développement commercial de l'entreprise de Bréguet est dû surtout au succès du sphygmographe médical (figure 1) et se maintiendra bien après la mort de son directeur grâce à la qualité de ses productions. En 1884, il édite un catalogue trilingue (français, allemand et anglais), ce qui témoigne de la surface de son aire de diffusion commerciale.

En 1873, Marey engage un jeune mécanicien prometteur sur les conseils de Bréguet, Charles Verdin. Sous la férule du maître, aimable mais terriblement exigeant, il va se révéler comme un des plus brillants facteurs d'instruments scientifiques de son temps. Il réalise tous les prototypes sortis de l'imagination de Marey dans les années 1870. Marey l'aide ensuite à créer sa propre entreprise à deux pas de chez lui et seule sa mort fera cesser leur collaboration. Verdin commercialise alors lui aussi sa propre gamme d'appareils de Marey qu'il n'aura de cesse d'améliorer, ainsi que de nombreux accessoires à la méthode graphique proposés par d'autres inventeurs qui complètent à l'infini ses champs d'application. Certains explorateurs des organes de la parole proposés par Rousselot sont réalisés par Verdin qui, associé ensuite à Boullitte, devient ainsi le fournisseur principal du domaine de la phonétique.

La méthode graphique, une fois codifiée et décrite très précisément par Marey (1878), et grâce à ses succès scientifiques, va se diffuser universellement, si bien qu'à ces deux grands constructeurs vont se joindre beaucoup d'autres. Le nom de Marey fait bien vendre les instruments, car outre sa

grande notoriété scientifique, il est aussi très connu pour sa rigueur et son intransigeance vis-à-vis de ses fournisseurs. C'est une grande publicité que de fournir ou de diffuser Marey. Ainsi, à Paris, à la suite de Bréguet et Verdin, d'autres constructeurs d'instruments vont se développer à cette occasion, tels que Fazzi, Koenig, Eugène Ducretet, Behieu et Longuet, Otto Lund, Pirard et Cœurdevache. Ce foisonnement de mécaniciens et électriciens remarquables forme à la fin du XIXe siècle autour de Marey le plus important centre de création et de diffusion d'instruments scientifiques de l'époque. Marey est également diffusé par des constructeurs anglais et allemands. Il ne reste malheureusement aujourd'hui aucune trace de cette industrie florissante de l'instrumentation de mesure. Seul Verdin s'est maintenu associé à Boulitte, avec le même catalogue à peine modernisé, jusque dans les années 1960. Cependant quelques acteurs ont participé au développement de l'industrie radioélectrique tels Ribet-Desjardin, Soneclair et surtout Ducretet qui ont tous été absorbés à la suite de fusions successives par le groupe Thomson.

7. Marey et l'émergence de la phonétique

À la fin de l'année 1874, la toute jeune Société de Linguistique de Paris, sous l'impulsion déterminante de son secrétaire Louis Havet, envoie une délégation pour consulter Marey dans le but « *d'appliquer la méthode graphique aux mouvements si complexes et si variés qui se produisent dans la parole* », non seulement pour leur compréhension, mais pour garder des traces objectives de ces mouvements des organes articulateurs. Les linguistes, qui sont des philologues néo-grammairiens, cherchent à cette époque à vérifier leurs lois taxinomiques sur l'évolution des langues. Ils ont besoin de connaître avec précision les mécanismes de la formation des divers sons d'une langue pour en étudier les variations dialectales, sujets d'étude à la mode en cette fin du XIXe siècle.

7.1. Les études articulatoires

Comme ils se posent des questions d'ordre physiologique, ils se tournent naturellement vers Marey qui à l'époque est le maître incontesté du domaine. Ce dernier de surcroît dispose d'un laboratoire à l'École Pratique des Hautes Études où de nombreux linguistes forment la section de philologie.

La réponse de Marey est spontanément positive. Il dispose déjà de tout un arsenal de capteurs nécessaires à l'étude de la nasalité, du voisement et de la labialité. Il est même enthousiaste face à ce nouveau challenge car il est conscient que la parole est l'acte moteur le plus complexe qu'il ait jamais approché. « *L'inscription des mouvements de la parole est une des applications les plus hardies de la méthode graphique. Quoi de plus complexe en effet que les mouvements des lèvres, de la langue, du voile du palais et du larynx d'une personne qui parle !* ».

Il charge un de ses plus brillants élèves de l'époque, le docteur Charles Rosapelly, de mener les travaux expérimentaux nécessaires à la résolution des problèmes phonétiques posés par Havet. Rosapelly, qui vient de terminer sa thèse sur la physiologie du foie, s'intéresse à la musique et surtout à l'application de la méthode graphique au domaine de l'acoustique. C'est donc l'homme de la situation. Sans tarder, il monte un polygraphe de Marey, équipé de trois tambours pneumatiques pour capter les vibrations du larynx, les mouvements des lèvres, pour lesquels il développe un explorateur particulier, et ceux du voile du palais (figures 8 et 9). Ces derniers sont visualisés par la mesure du souffle nasal (pression nasale). Une base de temps à diapason permet de mesurer précisément la durée des segments phonétiques.

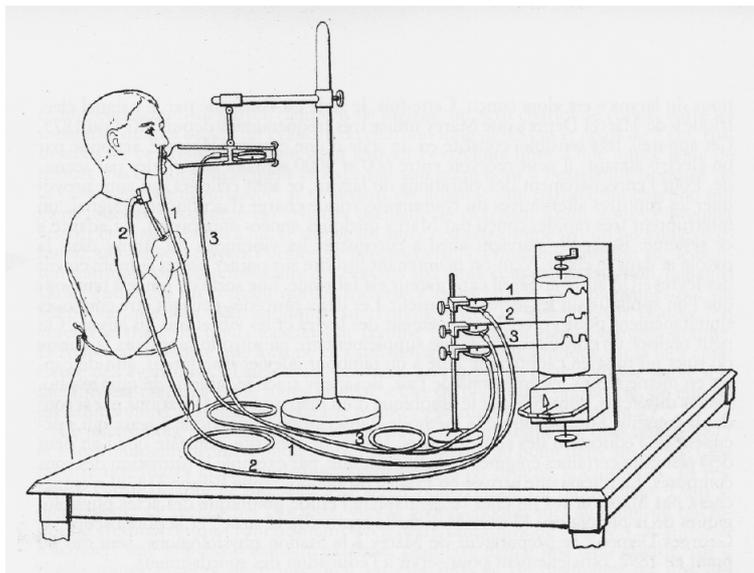


Figure 8

Montage expérimental de Rosapelly pour les premiers essais d'enregistrements de Havet.

1. Pression nasale 2. Vibrations laryngiennes 3. Mouvements des lèvres

Les résultats sont excellents pour les mouvements du voile et des lèvres mais médiocres pour les vibrations du larynx. Marey et Rosapelly mettent au point à cette occasion un nouveau capteur électrique de vibrations beaucoup plus sensible qui, sans être un amplificateur, est le premier dispositif de mesure à transmission électrique. L'étude des faits phonétiques au moyen de ces instruments est très encourageante (figure 10). Il est possible de caractériser graphiquement les

différentes consonnes ou groupe de consonnes. En revanche, le capteur laryngien qui donne une indication fiable du voisement, ne permet pas de différencier les voyelles.

Rosapelly et Havet étudient les différentes combinaisons de la voyelle *a* avec les consonnes labiales (*apa, aba, ama, afa, ava, awa, apba, afva, apma, ampa, ampma, abma, amba, ambma*). Ils trouvent une égale dynamique des lèvres pour *p*, *b* et *m* ainsi que pour *f* et *v*, et la présence de vibrations du larynx pour *b*, *v* et *m*. Ils constatent une pression nasale pour *m* ainsi que pour l'explosion de *p* lorsqu'il est suivi de *m* (*pm*). Havet (1875) rapproche ce phénomène au *yama* de l'hindi, qui n'a pas jusque là été observé dans les langues européennes. La méthode graphique montre que dans le français, on constate le phénomène du *yama* chaque fois qu'une consonne sourde se trouve devant une consonne nasale (figure 11).

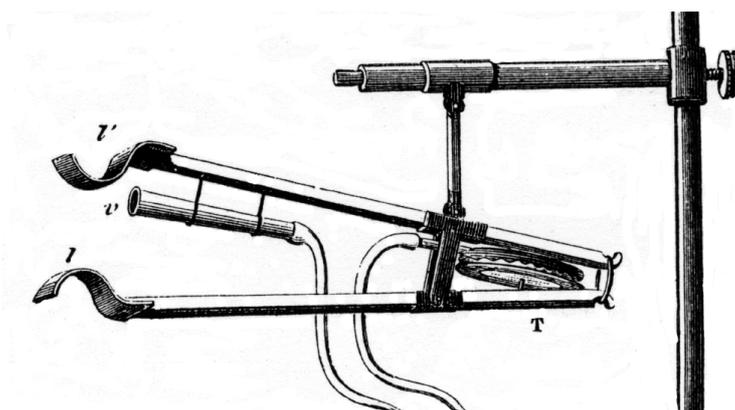


Figure 9

Capteur des mouvements des lèvres développé par Rosapelly et Marey

T – tambour capteur des mouvements. **P** – lèvre supérieure. **I** – lèvre inférieure.

v – embout de captation de la pression buccale (non utilisé dans cette expérience)

Rosapelly (1875) publie un rapport complet sur ce premier travail achevé de phonétique expérimentale, range ses instruments développés pour l'occasion et, les linguistes ne donnant pas suite à ce travail, étudie le chant. Il ne les ressort qu'en 1885 lorsque Charles Verdin lui signale l'abbé Pierre-Jean Rousselot (figure 12) qui, comme Havet dix ans plus tôt, s'intéresse à la méthode graphique pour répondre à des questions de phonétique. Marey, informé, est ravi de cette nouvelle initiative, car entretemps on continue autour de lui à s'intéresser à la phonétique et il se passionne pour l'analyse acoustique. Rosapelly va alors former Rousselot à la méthode graphique en reprenant

les anciens instruments de la période Havet et en les améliorant. Très vite Rousselot va se révéler un remarquable expérimentateur, et va développer avec l'aide de Charles Verdin des instruments spécifiques aux études phonétiques (Bruno, 1892) (figure 13). Il va ainsi porter la méthode graphique à son plus haut niveau de développement (Rousselot, 1897-1901) (figure 14). Il forme à son tour toute une génération de philologues phonéticiens tels que Marguerite Durand, Pierre Fouché, Maurice Grammont, Théodore Rosset, Léonce Roudet et bien d'autres, qui à leur tour diffuseront la phonétique expérimentale. La méthode mareysienne adaptée par Rousselot va perdurer longtemps dans les études de phonétique articulatoire puisque jusqu'en 1970, des instruments de Verdin et Boulitte seront toujours utilisés et qu'il en existe encore dans certains laboratoires.

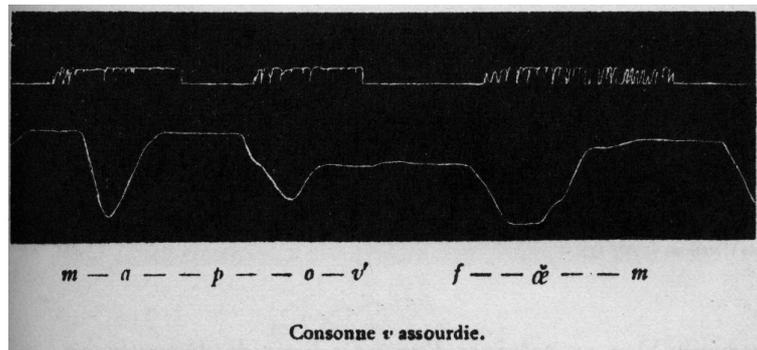


Figure 10

Tracé original réalisé avec le montage de Rosapelly.

En haut : vibrations laryngiennes (voisement). En bas : mouvements des lèvres.

Phrase : « ma pauvre femme »

Rousselot n'a qu'une seule faiblesse dans sa passion pour la méthode graphique. Il essaie avec acharnement de transcrire le signal de parole directement sur les polygraphes, en particulier avec son oreille inscriptive, alors que Marey a depuis très longtemps analysé les contraintes mécaniques qui s'opposent à la capture de pressions aussi subtiles que les sons aériens. Il a énoncé que les vibrations acoustiques rapides ne sont accessibles à la graphie qu'avec de très faibles amplitudes. Mais quelques décennies plus tard, les polygraphes vont bien pouvoir enregistrer ces très faibles amplitudes, grâce à l'amplification électronique.

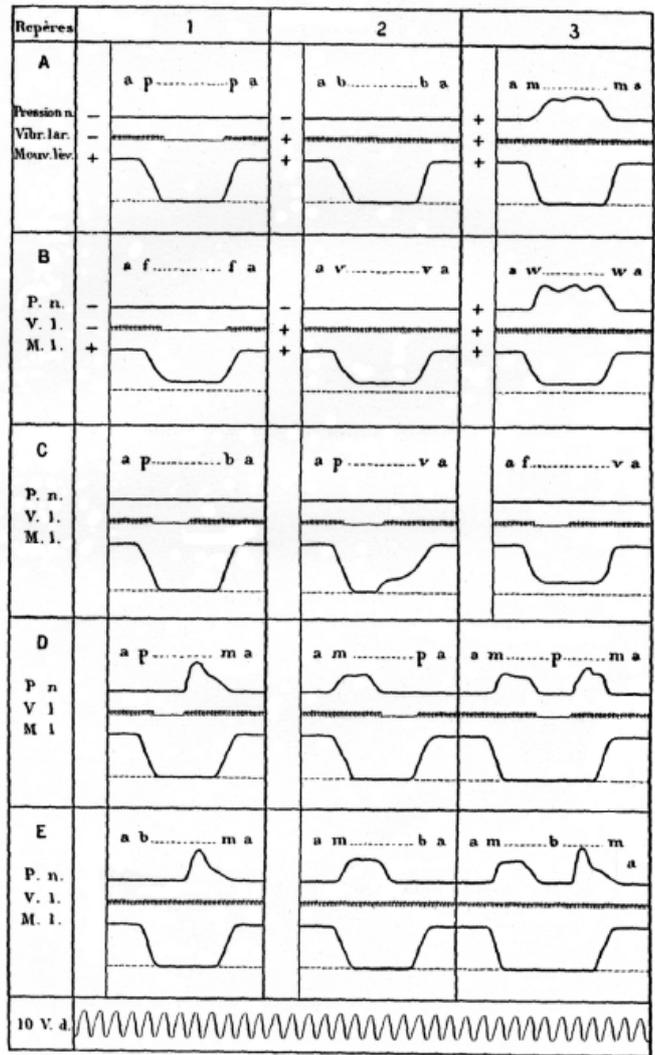


Figure 11

Exemples de tracés obtenus par Rosapelly

P. n. : Pression nasale V. l. : Vibrations laryngiennes M. l. : Mouvements des lèvres
 (premiers tracés de mouvements articulatoires obtenus au moyen
 de la méthode graphique)



Figure 12
L'abbé Rousselot

Simultanément au développement de la méthode graphique mareysienne par Rousselot, deux nouveaux disciples de Marey vont mener des travaux importants dans les domaines de la phonétique. Il s'agit de deux spécialistes de la surdité : un médecin, le docteur René Marage et un professeur à l'institut national des sourds muets de Paris, Hector Marichelle.

7.2. Le visage parlant

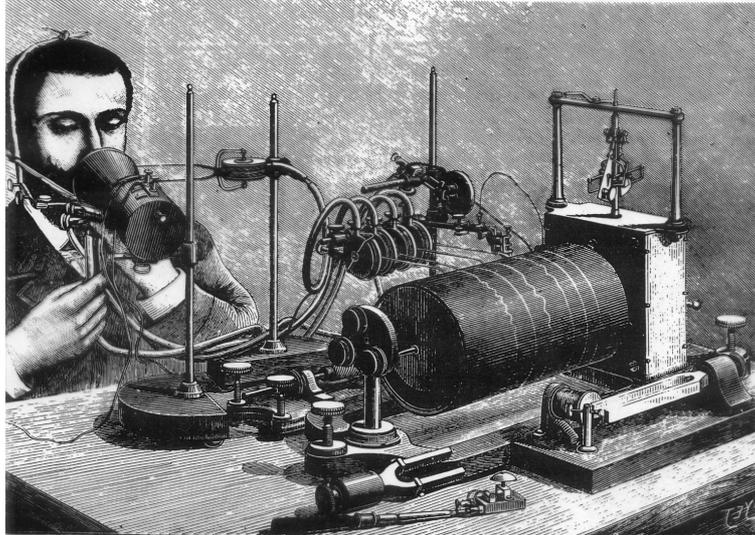
Hector Marichelle prend contact avec Marey en 1891, attiré par le fort potentiel de la chronophotographie qu'il entrevoit pour l'éducation des sourds à la lecture labiale. Une fois de plus, Marey s'enthousiasme pour ce projet et réalise les premiers labiofilms sur des mots et logatomes, pour s'assurer de l'intérêt de la méthode. Les résultats étant probants, il charge son préparateur à la station physiologique d'Auteuil, Georges Demeny, de mener à bien la réalisation des films nécessaires à Marichelle. Demeny, remarquable technicien de la chronophotographie, s'attaque à ce nouveau problème. « *Pour obtenir une série d'images d'un homme qui parle, cela revient à faire une série de portraits pendant des temps très courts. Il faut se mettre dans des conditions exceptionnelles d'intensité*

lumineuse. La face, les lèvres et la langue, réfléchissent une lumière rouge peu photogénique. Ce n'est qu'en concentrant la lumière solaire sur ces parties que l'on peut impressionner la pellicule sensible ». On enduit même la langue de certains sujets avec de la peinture blanche pour mieux en suivre les mouvements sur le film. Le « *parleur* » est photographié en plein air sur un fond noir à 16 images par seconde avec un temps d'exposition de l'ordre d'une milliseconde. Dès les premiers films, les « *parleurs* » de Demeny sont pour Marey d'une bonne qualité technique (figure 15).

Marichelle (1902) va faire sur les films d'essais de Marey les premières études phonétiques des mouvements apparents des lèvres et des mimiques dans la production de la parole. De son côté, Demeny réalise la première synthèse du mouvement à partir de chronophotographies de « *parleurs* » au moyen du « *phonoscope* » en 1892. La succession des images ainsi obtenues permet aux sourds de reconnaître le discours prononcé par les « *parleurs* ». Ces « *parleurs* » animés ont beaucoup plus de succès auprès du public qu'auprès des linguistes. Ces travaux de précurseur sur les premiers labiofilms ne seront poursuivis par les phonéticiens que plus tard mais il en sortira très vite le cinématographe.

7.3. L'analyse acoustique

Marey se passionne pour l'enregistrement et l'analyse des sons depuis ses premières recherches sur la physiologie cardiaque, pour adapter le stéthoscope à la méthode graphique. Il est au courant de tous les travaux sur la représentation du signal acoustique et son analyse, particulièrement des sons de la parole ; Helmholtz et ses résonateurs, Koenig et les flammes, Hermann et le signal des sillons du phonographe (Marey, 1897). Il est très attentif aux premières applications de l'électricité pour transmettre des phénomènes, et invente lui-même plusieurs dispositifs dont le capteur laryngien utilisé par Rosapelly. Il suit tous les travaux d'Edison qui vient le voir à Paris et se passionne pour le phonographe à rouleau de cire qu'il étudie dès son arrivée en Europe et dans lequel il voit le dispositif le plus prometteur pour enregistrer et restituer les sons, bien que dans les années 1880 il n'ait pas la qualité qu'il atteindra dix années plus tard (Marey, 1898-2).



L'ENREGISTREUR DE MOTS

M. Rousselot de Paris a construit un appareil pour détecter les différences qui existent entre les dialectes parlés dans certaines parties de la France et la prononciation normale de la langue. À cet effet, il utilise cinq dispositifs d'enregistrement, dont chacun est raccordé par des tuyaux de gutta-percha à une aiguille qui trace cinq lignes ondulées adjacentes sur le papier noirci d'un tambour rotatif, tandis qu'un diapason, maintenu constamment en vibration par un courant électrique, trace un sixième graphique parallèlement aux autres. De cette manière, la vitesse de rotation du tambour peut être contrôlée de la façon la plus précise.

Le premier tambour d'enregistrement, d'un peu plus d'un centimètre de diamètre, était placé avec son diaphragme contre une des parois du cartilage thyroïdien (pomme d'Adam) et il enregistrait les vibrations du larynx pendant que le sujet parlait. Pour enregistrer le mouvement de la langue pendant le discours, un second tambour était placé avec son diaphragme derrière le menton du sujet, fixé par une attache passant au-dessus de la tête. Dans ce cas, les mouvements de l'aiguille indiquaient surtout les mouvements du muscle sublingual. Il y avait un dispositif d'enregistrement séparé pour chacune des lèvres, dont la membrane était détendue dès qu'un levier extrêmement sensible était déplacé par un mouvement de la lèvre.

Sur la suggestion du Dr Rosapelly, pour détecter le rôle que joue le nez dans l'élocution, de petits globules de gutta-percha étaient placés dans les narines et transmettaient à l'aiguille du tambour d'enregistrement les vibrations engendrées dans l'air de la cavité nasale par la production de sons.

Si ingénieux qu'ait été dans sa conception l'appareil utilisé par Rousselot, il est néanmoins douteux que les résultats obtenus puissent pleinement répondre à l'attente de ses inventeurs. La parole est un processus si complexe, influencé par tant d'autres facteurs que ceux qu'a étudiés Rousselot, qu'on peut se demander si l'humanité compte déjà parmi ses enfants le nouveau Champollion qui sera capable de déchiffrer les hiéroglyphes tracés sur le cylindre rotatif de M. Rousselot.

Figure 13

Description journalistique des instruments de la méthode graphique de Rousselot pour les études phonétiques.

Bruno François (1892). « L'inscription de la parole », *La Nature*, n° 998, p. 97-98.

méthodes d'enregistrement des sons se joint également à eux pour travailler sur ce sujet. Marichelle déduit de ces études que les paramètres physiologiques principaux dans la distinction des segments phonétiques sont les constriction du conduit vocal et non les cavités (Marichelle, 1897, 1 et 2). Sa théorie, hardie pour l'époque, s'explique en partie par son enseignement aux sourds, qui est axé sur une description de la parole plus physiologique qu'acoustique. En mesurant également la périodicité des empreintes, il calcule, avec la même méthode, les variations de tonalité de la parole. Il produit ainsi les premières courbes mélodiques objectives (figure 16).

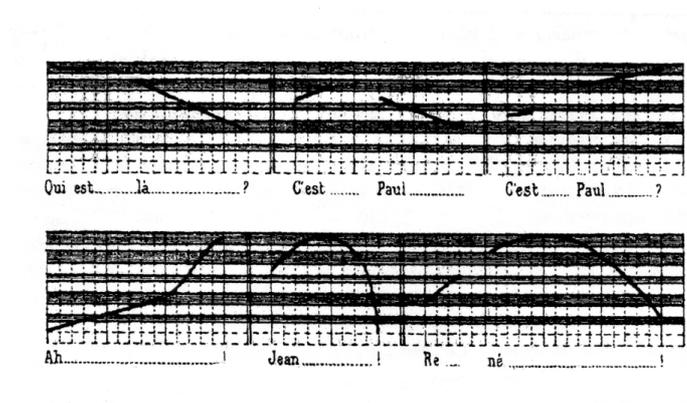


Figure 16
Courbe mélodique transcrite par Marichelle à partir des empreintes du phonographe

Le docteur René Marage est surtout connu pour son intérêt pour la voix chantée et la surdité, domaines dans lesquels il a travaillé toute sa vie et qui font de lui un des tous premiers ORL praticien. À la même époque, il rejoint le laboratoire de Marey dans le but de mener des recherches pour améliorer les cornets acoustiques, qui sont alors les seules prothèses pour aider les malentendants. Il cherche à améliorer la sensibilité des cornets mais également l'intelligibilité. Pour cela, il lui faut un moyen d'évaluation de la qualité acoustique. Marey propose de reprendre la méthode des flammes de Koenig mais de lui associer la chronophotographie sur pellicules à défilement continu. Bien que les empreintes graphiques obtenues par Marage ne soient qu'une représentation du son très différente du signal de pression acoustique, elles constituent une bonne solution pour différencier les phonèmes. Marage (1897-1898) améliore ainsi ses cornets et fait une remarquable classification des segments phonétiques au moyen des flammes de Koenig (figure 17).

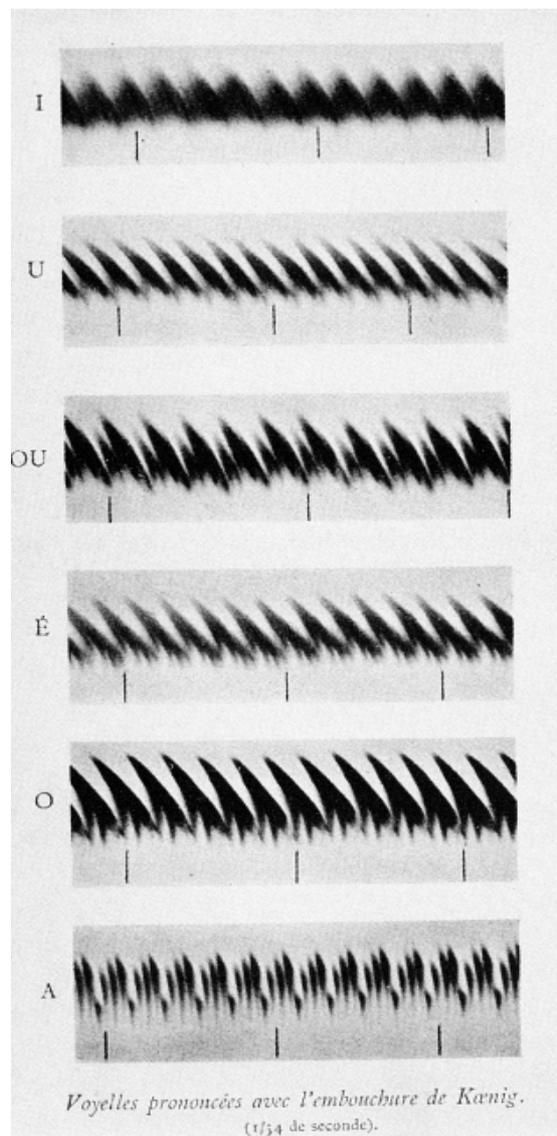


Figure 17

Étude du signal acoustique des voyelles par Marage, au moyen de chronophotographies des flammes de Koenig

8. Conclusion

Lorsque l'on se penche avec attention sur l'œuvre de Marey, on ne peut qu'être pris de vertige. Comment un homme peut-il s'intéresser à autant de sujets et avec autant de succès, dans une seule vie ? Le cas nous paraît extraordinaire, sinon unique, dans l'histoire des sciences. Dans ce foisonnement d'activités approfondies, on peut considérer l'intérêt de Marey pour la phonétique comme tout à fait marginal, surtout si l'on se réfère à ses deux publications personnelles dans ce domaine par rapport au reste de sa production. Et bien non ! Certes, Marey ne s'est pas spontanément intéressé à la phonétique, mais passionné par tous les aspects des mouvements physiologiques il n'a pu que s'intéresser à ceux de la parole à partir du moment où on venait le consulter pour cela, et où l'on éveillait sa curiosité. À partir de 1875, il n'a cessé de s'intéresser à la phonétique, avec plus ou moins d'intensité mais régulièrement, en particulier grâce à ses contacts très étroits avec Rousselot et, à partir de 1895, il s'est impliqué encore plus en orientant certains de ses collaborateurs sur des problèmes d'acoustique de la parole. C'est à cette époque qu'il publie ses seules contributions à la phonétique qui sont des synthèses méthodologiques (Marey, 1896, 1897). Mais il avance en âge, et si son imagination est toujours aussi fertile, ses activités déclinent. Cependant, dans les sphères scientifiques contemporaines, son intérêt pour la phonétique est bien connu. En effet, lors de son jubilé au collège de France en 1902, son principal élève et futur successeur à sa chaire, Charles François Franck, lors de son panégyrique, énumère les principales recherches de Marey : « la circulation du sang, les appareils de la méthode graphique, la locomotion humaine et animale, la chronophotographie, la phonétique, le vol des oiseaux ». Peut-être doit-on y voir l'influence de Rousselot qui a obtenu quelques années auparavant le poste de directeur du laboratoire de phonétique du Collège de France et qui vouait à Marey une véritable admiration. Cependant, il est vraisemblable que si Marey avait été plus jeune d'une dizaine d'années, il se serait engagé personnellement plus à fond dans la physiologie de la parole dont la complexité le fascinait. On peut toujours rêver sur les résultats hypothétiques d'une collaboration soutenue entre ces deux personnalités. En fait, Marey a perdu dix ans de travail en phonétique car c'est le temps qui s'est écoulé entre la période Havet (1875) et la période Rousselot (1885), temps pendant lequel les linguistes n'ont plus manifesté d'intérêt pour la méthode graphique.

Mais que s'est-il donc passé avec les néo-grammairiens après les résultats si concluants de l'équipe Rosapelly-Havet ? La réponse est simple. Si Havet a été très satisfait de cette première expérience, il a vite évalué la difficulté pour des linguistes à maîtriser les méthodes de la physiologie et de la physique. Dans leur grande majorité, ceux-ci sont des savants très érudits, pétris de langues anciennes, dont les recherches sont axées sur l'élaboration de règles taxinomiques sur l'évolution des langues, mais très éloignés intellectuellement des sciences expérimentales. Ils préfèrent que

d'autres comme Rousselot paient le prix pour expérimenter et frayer avec la physiologie et l'acoustique, et ils se réservent la possibilité de grapiller et de choisir dans leurs travaux les informations nécessaires à l'étalement de leurs réflexions. En quelque sorte, ils considèrent la phonétique expérimentale comme une aide, un fournisseur de matériaux, qui n'ont une valeur linguistique qu'une fois acceptés comme conformes aux règles philologiques. Ce mouvement va se renforcer au début du XX^e siècle et le grand Saussure va l'accentuer de manière involontaire en estimant qu'à côté de la linguistique de la « langue » (phonologie) doit se développer une linguistique de la parole (phonétique), plus proche scientifiquement de l'histoire naturelle et de la physique. De nombreux philologues laissent donc le domaine de la phonétique à ceux qui sont très vite presque considérés comme de faux linguistes. Par réaction, les phonéticiens vont alors insister sur la qualité scientifique de leur discipline basée sur l'objectivité de leurs travaux, bien dans la ligne de la méthode graphique de Marey. Ils reprochent aux linguistes des travaux fondés uniquement sur des spéculations intellectuelles ou de faire de la philosophie. Pour caricaturer et résumer cette situation, nous avons pour les linguistes l'esprit contre la bricole et pour les phonéticiens la science contre l'occupation intellectuelle. C'est là que réside l'essentiel de l'opposition entre phonologues et phonéticiens qui formaient une même communauté à l'époque de Havet. Cette opposition s'est développée du temps de Rousselot pour atteindre son paroxysme avec la génération suivante. Depuis, les antagonismes se sont apaisés car à partir de la seconde moitié du XX^e siècle, un grand nombre de phonéticiens sont venus de la phonologie et les nouvelles générations ne peuvent pas concevoir une phonologie sans phonétique et réciproquement. Mais cet antagonisme a laissé des traces encore bien présentes.

Références bibliographiques

- BRAUN, M. (1992), *Picturing Time. The Work of Etienne-Jules Marey (1830-1904)*, The University of Chicago Press, Chicago & London.
- BRUNO, F. (1892), L'inscription de la parole. *La Nature*, n° 998, p. 97-98.
- HAVET, L. (1875), Sur la nature physiologique des nasales, *Bulletin de la Société de Linguistique de Paris*, tome 2, p. 74-80.
- MARAGE, R. (1897), Étude des cornets acoustiques par la photographie des flammes de Koenig. *Travaux du laboratoire de M. Marey*, vol. 23, École Pratique des Hautes Études, Physiologie expérimentale, Masson, Paris, p. 87-104.
- MARAGE, R. (1898), Étude des voyelles par la photographie des flammes manométriques, *La voix parlée et chantée*. n° 98, p. 33-51.
- MAREY E.-J. (1878), *La méthode graphique dans les sciences expérimentales*, Masson, Paris, 674 p.

- MAREY, E.-J. (2002), *Le mouvement*, réimpression de l'édition de 1894. J. Chambon, Nîmes, 340 p., ISBN 2-87711-119-9.
- MAREY, E. J. (1897), L'inscription des phénomènes phonétiques d'après les travaux de divers auteurs, *Journal des savants*, p. 561-585.
- MAREY, E. J. (1898), 1. L'inscription des phénomènes phonétiques. Première partie : Méthodes directes, *Revue générale des sciences pures et appliquées*, n° 11, p. 445-456.
- MAREY, E. J. (1898), 2. L'inscription des phénomènes phonétiques. Deuxième partie : Méthodes indirectes. Critique des résultats, *Revue générale des sciences pures et appliquées*, n° 11, p. 482-490.
- MARICHELLE, H. ; HEMARDINQUER, G. (1897), 1. *Étude des sons de la parole par le phonographe*, C.R. de l'Acad. Sc. par Marey E.J., 29/11/1897, Paris, 3 p.
- MARICHELLE, H. (1897), 2. *La parole d'après le tracé du phonographe*, Delagrave, Paris, 198 p.
- MARICHELLE, H. (1902), *La chronophotographie de la parole*, Atelier typographique de l'institution des sourds muets, p. 15.
- ROSAPPEL, C. L. (1876), Essais d'inscription des mouvements phonétiques, École Pratique des Hautes Études, Physiologie expérimentale, *Travaux du laboratoire de M. Marey*, vol. 2, Masson, Paris, p. 109-130.
- ROUSSELOT, P. J. (l'Abbé) (1897), *Principes de Phonétique expérimentale*, tome 1, Welter, Paris, 638 p., réédité par Didier, Paris, 1923.
- ROUSSELOT, P. J. (l'Abbé) (1901), *Principes de Phonétique expérimentale*, tome 2, Welter, Paris, p. 641-1252, réédité par Didier, Paris, 1923.
- Ouvrages contemporains sur Étienne-Jules Marey
- DAGOINET, F. (1987), *Étienne-Jules Marey : La passion de la trace*. F. Hazan, Paris, 144 p., ISBN 2-85025-123-2. Ouvrage sur la quête philosophique d'É.-J. Marey.
- FRIZOT, M. (1977), *É.-J. Marey, 1830-1904 : la photographie du mouvement*, Exposition, 21 décembre 1977-20 février 1978. Centre national d'art et de culture Georges Pompidou, Musée national d'art moderne, Paris. ISBN 2-85850-052-5. Très beau catalogue axé sur l'aspect artistique de É.-J. Marey, malheureusement épuisé.
- FRIZOT, M. (1984), *Étienne-Jules Marey*. Centre National de la Photographie, Collection Photo Poche, n° 13. ISBN 2-86754-013-5. Remarquable petit ouvrage sur la chronophotographie.
- FRIZOT, M. (2001), *Étienne-Jules Marey : chronophotographie*, Nathan, Paris, 310 p. ISBN 2-09-754194-1. Recueil de la quasi totalité des chronophotographies de Marey.
- MANNONI, L. (1999), *Étienne-Jules Marey*. Exposition espace Electra, Paris, 15 janvier-15 mars 2001, Cinémathèque française, 400 p., ISBN 2-900596-28-9. Magnifique catalogue de l'exposition organisée par la cinémathèque et la Fondation Électricité de France. Vraisemblablement l'ouvrage actuel le plus complet sur l'œuvre d'É.-J. Marey).

MARTINET, A. (1994), *Le cinéma et la science*, CNRS éditions, 294 p. : ill., (Insolites de la science) ISBN 2-271-05236-X.

Petit à petit, le cinéma. 01.- CNDP, 2002.- 1 DVD-vidéo : coul., PAL, sonore + 1 livret (17 p.) Chronophotographies, 4 min. 43 sec., film en intégralité.- ISBN 2-240-00753-2. Les seuls films originaux aisément accessibles.

POCIELLO, C. (1999), *La science en mouvements : Jules-Étienne Marey et Georges Demeny*, PUF, Paris, 336 p. ISBN 2-13-049917-1. Ouvrage axé surtout sur la pratique corporelle.

SOCIETE D'ÉTUDES SUR MAREY ET L'IMAGE ANIMEE (2003), *Images, Science, Mouvement : autour de Marey*, L'Harmattan, 261 p., ISBN 2-7475-5086-9.