

# A la poursuite de la trace du signal de parole

Bernard Teston

Laboratoire Parole et Langage, UMR 6057 CNRS, Université de Provence, Aix-en-Provence

[teston@lpl.univ-aix.fr](mailto:teston@lpl.univ-aix.fr)

## ABSTRACT

At the beginning of the nineteenth century, the linguists, physiologists and acoustics experts had only one goal: to make the speech visible to be able to study its nature and its structure. Many scientists and inventors then will often launch out to the continuation of the speech signal with very varied but not very effective techniques, during a half of the century. However, these sometimes curious devices will allow the researchers today to make fundamental discoveries on which our speech domain is founded.

## 1. INTRODUCTION

Au début du 19<sup>ème</sup> siècle, les linguistes étudient l'évolution historique des langues isolément sur des textes, les lettres de leurs alphabets, et non sur les sons qu'elles représentent. Une rupture épistémologique se manifeste alors par l'émergence, à la suite de la redécouverte des textes védiques, d'un mouvement qui pousse certains linguistes à porter leur attention sur le langage tel qu'il est dit plutôt qu'écrit. Cela nécessite, pour compléter les données de nos sens, des approches méthodologiques nouvelles empruntées à la physiologie (étude des articulations) et à la physique (acoustique des sons). Les savants de cette époque ne peuvent cependant que constater que les sons, tout comme les mouvements, sont des phénomènes physiques si fugaces que la connaissance de leurs mécanismes ne pourra se développer qu'à la condition d'inventer des techniques nouvelles pour les capturer et les restituer, *Verba volant scripta manent*. Ils vont donc être nombreux à travailler sur l'inscription graphique et l'enregistrement de la parole pour la rendre visible. Malgré toute l'imagination, l'énergie et la passion mises en œuvre par les différents protagonistes de cette aventure scientifique, les progrès seront très lents et se développeront sur près d'un siècle, à travers de multiples impasses techniques autant que de nombreuses querelles scientifiques ou d'intérêts financiers. Le qualificatif d'aventure scientifique convient bien à cette quête, à cette course à la trace, qu'est la poursuite du signal de parole qui alla même pour certains jusqu'à l'obsession. Mais ces progrès laborieux vont permettre cependant aux physiiciens physiologistes et linguistes associés à cette aventure, dont de nombreux français, de fonder sur des bases solides nos connaissances actuelles et ceci au moyen d'une technologie exclusivement mécanique. C'est pour rendre hommage à ces facteurs d'instruments, ancêtres de nos microphones modernes, éditeurs de signaux et enregistreurs audio-numériques que nous présentons cette étude.

En 1807, le savant anglais Thomas Young, physicien, médecin et linguiste polyglotte, inscrit les vibrations d'un diapason sur la surface d'un cylindre tournant enduit de noir de fumée. C'est le premier enregistrement attesté d'une manifestation sonore. On doit à Young, qui avait toutes les compétences pour mener des études sur les mécanismes de la parole, des travaux importants dont une théorie sur la production des voyelles. Pour cela, il va tenter d'appliquer ce qui sera appelé plus tard la *méthode graphique* à l'inscription du signal de parole. On sait qu'il fit plusieurs tentatives dans ce sens

sans jamais aboutir, bien qu'il ne les ait jamais mentionnées.

## 2. LE PHONAUTOGRAPHE

On ignore par quel dispositif Young remplaça le diapason pour tenter d'inscrire le signal de parole sur le cylindre mais c'est sur ce point que fut réalisé le saut technologique suivant, cinquante ans plus tard, par Léon Scott de Martinville. Ce dernier, typographe de métier à Paris, était passionné par l'*impression des phénomènes sonores* et particulièrement de la parole. Il avait dans l'idée de sténographier le discours d'un orateur. Pour ce faire, il imagina un dispositif inscripteur constitué par un pavillon et une membrane souple, inspiré du modèle anthropomorphique de l'oreille.

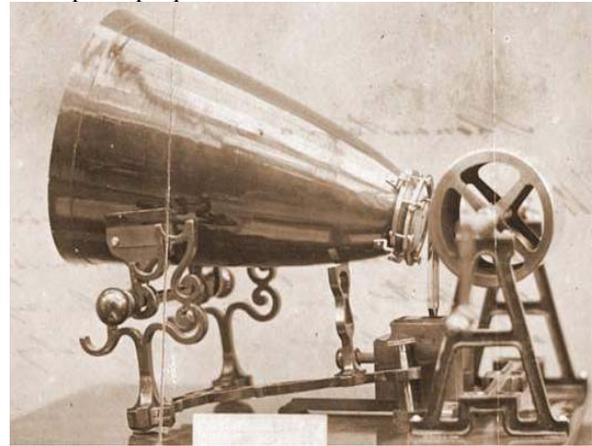


Figure 1 : Phonautographe de Scott-Koenig (Collection particulière).

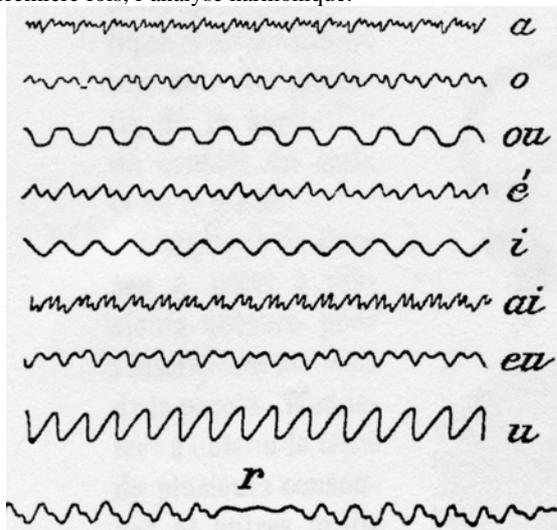
Le pavillon amplifiait la pression acoustique des sons prononcés devant son ouverture, qui faisaient vibrer la membrane, dont les mouvements étaient gravés par l'intermédiaire d'un stylet, sur un cylindre tournant enduit de noir de fumée identique à celui de Young. Avec cet instrument, le *Phonautographe*, Scott obtint en 1858 les premières traces d'un signal de parole que l'on pouvait voir et conserver. Mais les résultats furent jugés très médiocres et entachés par de multiples modes résonants du pavillon et de l'ensemble membrane-stylet. Pour l'améliorer, il s'associa avec Rudolph Koenig qui en réalisera les versions les plus performantes jusqu'en 1875.

Le *Phonautographe* a été ainsi, et malgré ses imperfections, le premier enregistreur graphique capable de fournir une trace du signal de parole mais qui ne permettait pas sa restitution. Bien que Scott n'ait publié aucune expérience scientifique exécutée au moyen de son appareil, ce dernier a été abondamment utilisé par de nombreux chercheurs sur la parole tels que Frans Donders, Graham Bell, Hermann Helmholtz et Thomas Edison. L'appellation de *Phonautographe* est même devenue générique pour nommer tous les enregistreurs graphiques des sons ayant succédé à l'original de Scott et basé sur le principe de la membrane vibrante associée au stylet inscripteur.



**Figure 2 :** Membrane, aiguille, tambour et trace d'un signal du *Phonautographe* de Scott (collection particulière).

A la suite de Scott, de nombreux chercheurs apportèrent des améliorations multiples au *Phonautographe*. En 1872, l'Écossais Graham Bell grava le signal sur une plaque de verre enduite de noir de fumée et soumise à un déplacement linéaire. Cela améliora de manière très significative la qualité de la trace. Des perfectionnements des membranes et des stylets graveurs permirent également d'obtenir des traces de signaux de parole plus détaillées et plus fidèles (figure 3). Ainsi, le Suisse Heinrich Schneebeli réalisa en 1878 les tracés, considérés comme faisant partie des meilleurs, obtenus au moyen de l'association membrane-stylet graveur. Grâce à leur finesse, il put leur appliquer le théorème de Fourier et en faire, pour la première fois, l'analyse harmonique.



**Figure 3 :** Traces du signal de différentes voyelles du *Phonautographe* de Schneebeli en 1878, (d'après Marey, 1898).

L'ultime perfectionnement du principe du *Phonotographe* fut réalisé par l'américain Whitney Blake en 1878, avec la suppression du système de gravure constitué par le tandem stylet-papier noirci, source de multiples résonances et distorsions mécaniques. Il le remplaça par un système d'inscription optique constitué d'un petit miroir actionné par la membrane qui réfléchissait un rayon lumineux sur une plaque photographique. Ce fut le second saut technologique de cette saga.

### 3. L'AVENTURE DU PHONOGRAPHE

En 1877, le français Charles Cros présente à l'Académie des Sciences, et dépose sous pli cacheté, un dispositif permettant d'enregistrer et de restituer les sons, fortement inspiré du principe du *Phonautographe*. Les vibrations du diaphragme ne sont plus inscrites sur un papier mais gravées par une aiguille sur un disque tournant. Pour la restitution, les gravures font vibrer le diaphragme dont le son est amplifié par le cornet. Ce dispositif n'existe que dans l'esprit de Cros et n'a pas fait l'objet d'un début de réalisation concrète. Quatre mois plus tard, l'américain Thomas Edison présente son *Phonographe* qui, lui, est fonctionnel et stupéfie le monde entier. Le message enregistré est très distordu, nasillard, bruyant et de faible niveau mais intelligible. Ce dispositif est très proche de celui décrit par Cros. Il n'en diffère que par la gravure en profondeur selon un sillon hélicoïdal, sur une plaque d'étain disposée sur un cylindre de 10 cm de diamètre tournant à 1 tour par seconde. Bien que le *Phonographe* suscite alors un vif intérêt, il présente trois désavantages importants : 1/ le son enregistré sur le cylindre ne peut être reproduit convenablement qu'une seule fois, car la reproduction en détériore la surface. 2/ il faut tourner régulièrement la manivelle pendant tout l'enregistrement et la reproduction pour assurer la rotation continue du cylindre, ce qui représente une tâche fatigante. 3/ enfin le son enregistré sur le cylindre est un original qui ne peut pas être copié. Le *Phonographe* ne fut pour cela considéré pendant longtemps que comme une curiosité, et il fallut une dizaine d'années pour que des perfectionnements importants lui soient apportés par Edison et bien d'autres inventeurs pour en permettre une utilisation institutionnelle. L'utilisation de cire puis de gomme-laque comme surface de gravure permit une amélioration très importante de la qualité sonore de la restitution qui de surcroît, grâce à l'amélioration des aiguilles de lecture, put être reproduite sans perte de qualité. L'entraînement du cylindre fut assuré par un moteur mécanique, en revanche, il ne put jamais être dupliqué malgré tous les efforts d'Edison. Ainsi débarrassé de ses défauts de jeunesse, le *Phonographe* se présente dès 1886 comme un instrument incontournable pour les chercheurs travaillant sur la parole. Mais si celui-ci enregistre et restitue les sons, leurs tracés sont tout à fait différents que ceux donnés par les divers *Phonautographes*. En effet, ces derniers donnent une représentation des variations d'amplitude de la pression acoustique en fonction du temps comme nous la connaissons de nos jours alors que les sillons du *Phonographe* gravés en profondeur reproduisent bien le son mais en donnent une image totalement différente. Cependant, ces images des sillons ont un grand avantage car leur fidélité est attestée par l'écoute, qui donne la preuve de l'objectivité du signal acoustique qu'elles représentent.

Le *Phonographe* va très vite trouver un concurrent redoutable dans le *Gramophone* proposé par l'Allemand Emil Berliner en 1888 qui ne cache pas avoir été très inspiré par les idées de Cros. Le cylindre est remplacé par un disque dont les gravures des sillons sont latérales et non en profondeur. Grâce à ce support, le *Gramophone* est mieux adapté à la duplication par pressage et à la diffusion de programmes musicaux et il va bientôt dominer le marché. Cependant, sa fonction d'enregistrement est moins bonne que celle du *Phonographe* et ce dernier va rester l'outil préféré des phonéticiens et acousticiens jusqu'à l'apparition des enregistreurs-lecteurs sur disques souples vers 1930.

#### 4. LES IMPASSES

Parallèlement au développement des divers *Phonographes*, d'autres techniques ont été imaginées pour rendre le signal de parole visible avec plus ou moins de bonheur.

##### 4.1. Les flammes manométriques

La méthode des *flammes manométriques* a été découverte un peu par hasard par Rudolph Koenig en 1882. Elle est basée sur la constatation qu'un son peut moduler l'amplitude et la forme de la flamme d'un bec alimenté en gaz de ville par l'intermédiaire d'une capsule manométrique. On observe les flammes grâce à un miroir tournant mais on ne peut pas en fixer les images qui sont très fugaces. La forme des flammes donne une représentation de la structure acoustique des voyelles qui permet de les différencier. Ainsi, dans la description de chaque période on peut distinguer de une à quatre flammes de différentes largeurs et amplitudes, dont le positionnement dans l'image du cycle périodique varie en fonction du timbre du son (figure 4). Ces flammes correspondent à la structure harmonique du spectre. Elles ont été un peu utilisées pour l'étude des voyelles mais surtout pour leur qualité pédagogique. René Marage, un élève d'Etienne-Jules Marey, réussit en 1895 à fixer l'image des flammes sur un film et étudia ainsi des phénomènes de filtrage par des tubes et des cornets qui sont cohérents avec les connaissances actuelles. Ce furent leur dernière application.

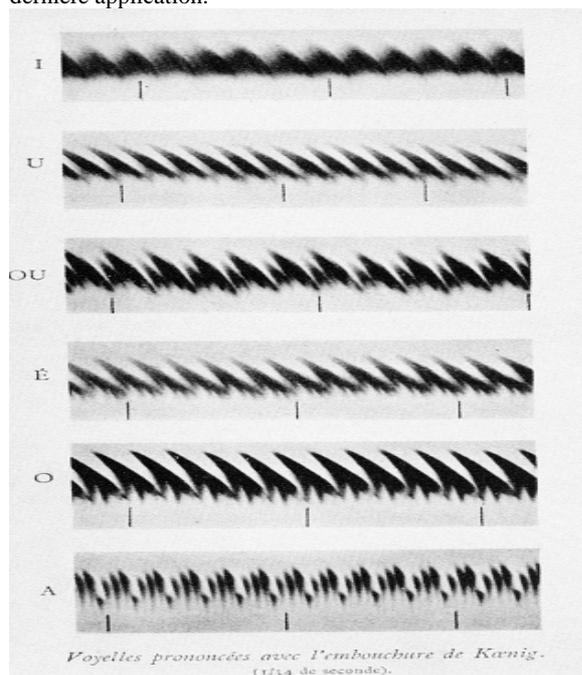


Figure 4 : Représentation du signal acoustique des voyelles au moyen de chronophotographies des flammes de Koenig par Marage en 1896 (d'après Marey, 1898)

##### 4.2. Les tracés directs du phonographe

La gravure en profondeur sur les cylindres de cire du *Phonographe* donne des images du signal totalement différentes de celles des *Phonautographes*. Malgré ce désavantage, certains chercheurs s'adaptèrent à cette nouvelle représentation du signal de parole et tentèrent de la codifier. Les gravures étant très petites, leur étude nécessita l'utilisation d'un microscope ou d'agrandissements photographiques et s'avéra fastidieuse. L'attention de l'observateur étudiant un sillon de *Phonographe* se porte

sur la forme de la gravure qui définit le timbre du son, sur la profondeur qui définit son intensité et sur la périodicité des segments vocaliques qui définit sa hauteur (figure 5). Si ce type de description est peu utile pour comparer les timbres vocaliques en raison de la trop grande complexité morphologique des sillons, il permet en revanche des mesures précises de durées. Hector Marichelle, un autre élève de Marey, semble avoir poussé le plus loin la lecture directe des sillons du *Phonographe* grâce à laquelle il a mené les premières études sur la prosodie de la parole en 1896. Après lui, la lecture directe des sillons sera remplacée par la transcription gravure-écriture.

##### 4.3. Le téléphone écrivain

En 1876, Bell invente le microphone électromagnétique. Avant même qu'il ne propose le *Téléphone* deux ans plus tard, de nombreux chercheurs tentèrent de l'adapter à la méthode graphique pour tracer le signal de parole sur les cylindres enduits de noir de fumée. En 1882, le Français Boudet de Paris proposa le *Téléphone écrivain* suivi de près par Pierre-Jean Rousselot (l'Abbé). Comme pour les autres tentatives, ces instruments furent décevants face aux dernières versions des *Phonautographes*, essentiellement à cause de leur système d'inscription. L'*inscripteur électrique* ne se développa que bien plus tard après l'apparition de l'électronique avec l'invention de la triode.

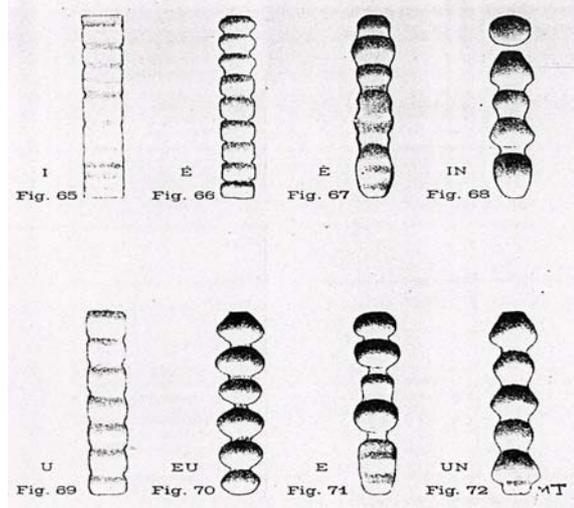
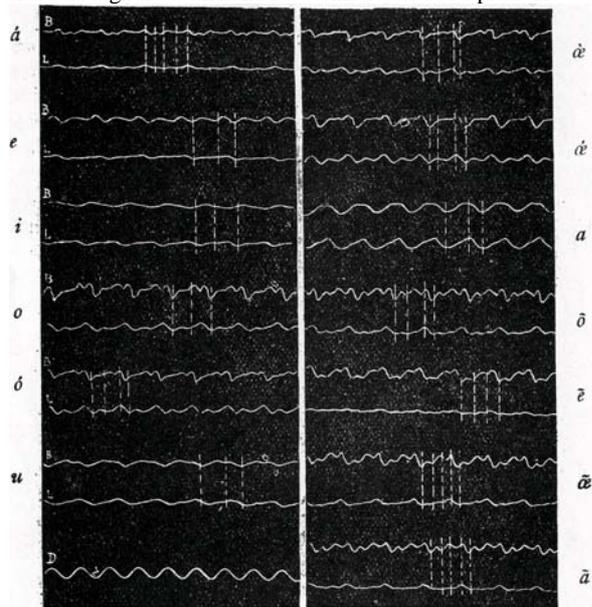


Figure 5 : Empreintes de sillons gravés dans un cylindre de phonographe représentant une période de plusieurs voyelles par Marichelle en 1897 (d'après Marey, 1898)

#### 5. LES TAMBOURS DE MAREY

Etienne-Jules Marey est un physiologiste auquel la communauté scientifique doit l'essentiel des méthodes d'exploration du mouvement dont la *méthode graphique*, pour laquelle il a développé un système pneumatique de transcription d'un grand nombre de phénomènes : les fameux tambours à leviers qui portent son nom. A la suite de ses désillusions avec l'inscripteur électrique, Rousselot, qui va devenir la référence quasi universelle de la phonétique expérimentale, découvre en 1888 que les tambours de Marey sont capables, dans certaines conditions, de tracer les vibrations de la voix sur les cylindres enduits de noir de fumée. Il ne cessera ensuite d'améliorer l'inscription du signal vocal au moyen des tambours par des travaux empiriques sur les membranes pour en augmenter les performances en terme de bande passante en fréquence et de sensibilité. Ainsi ses « petits tambours », associés à une bonne loupe et à la

photographie pour en agrandir les tracés, vont lui permettre de distinguer les différentes voyelles (figure 6) et il en préconisera toujours l'utilisation en association avec des systèmes d'inscription plus modernes et de fait ils seront l'outil privilégié des phonéticiens pendant plus d'un demi-siècle. Car les tambours de la *méthode graphique* ont un double intérêt, d'une part, il est possible d'enregistrer simultanément et en synchronie d'autres paramètres, tels que physiologiques, sur le même support. D'autre part, la trace du signal peut être analysée mathématiquement après agrandissement au moyen des séries de Fourier pour en déduire sa structure harmonique. Par contre, la fidélité de la trace du signal est difficile à obtenir et surtout à prouver.



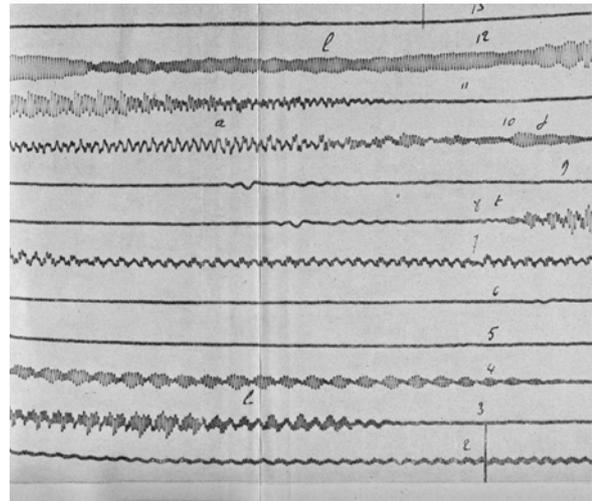
**Figure 6 :** Traces du signal du phonogramme buccal (B) et des vibrations du larynx (L) enregistrées avec des tambours à levier pour différentes voyelles. Base de temps (D) à 200 Hertz (d'après Rousselot, 1897).

## 6. LA TRANSCRIPTION GRAVURE-ÉCRITURE

A partir de la fin des années 1880, le *Phonographe* est devenu un instrument indispensable aux chercheurs du domaine de la parole. Pour pallier l'incompatibilité de sa trace avec celle de la *méthode graphique*, de multiples tentatives de transcription gravure-écriture vont donc être menées dans le but d'unifier les avantages des deux méthodes et de permettre de « voir et entendre simultanément » le signal de parole. Elles sont toutes basées sur des méthodes mécano-optiques et utilisent la possibilité de ralentir le signal en diminuant la vitesse de rotation des cylindres en lecture. La conversion des gravures en profondeur des sillons du *Phonographe* en représentation temps-amplitude des tracés de la *méthode graphique* auxquels nous sommes tous habitués a toujours été problématique et n'a jamais été techniquement résolue. C'est l'Allemand Ludimar Hermann qui, à partir de 1893, en a été le premier animateur. Son système était inspiré du principe du *Phonautographe* à transcription optique de Blake dont le miroir était directement mu par l'aiguille lectrice du *Phonographe*. Bien d'autres dispositifs dont l'efficacité et la pratique n'étaient pas très bien assurées ont été proposés, dont des solutions purement mécaniques telles que le transcritteur de l'Américain Edward Scripture qui convertissait en 1906 les gravures en profondeur des cylindres du *Phonographe* en gravures latérales sur des disques de *Gramophone* et surtout le Français Théodore

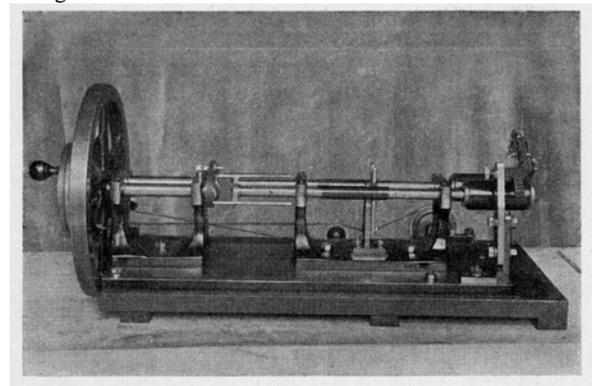
Rosset, le fondateur, voici un siècle, de l'Institut de Phonétique de Grenoble. Ce dernier réalisa en 1911 un transcritteur très astucieux entre deux cylindres, l'un émetteur à gravure en profondeur et l'autre récepteur à gravures latérales. Un enregistreur optique sur papier photographique permettait de contrôler la qualité de la transcription. Mais ces convertisseurs furent toujours l'objet de polémiques entre phonéticiens. La plus fameuse, entre Rousselot et Rosset ne cessera qu'à la disparition des protagonistes.

Mais à la même époque, Valdemar Poulsen avait déjà inventé le principe du magnétophone et Lee de Forest la triode.



**Figure 7 :** Traces du signal d'un discours transcrit d'un cylindre de *Phonographe* avec le transcritteur de Rosset (d'après Rosset 1911).

L'électronique allait gagner tous les champs de l'instrumentation scientifique, et ce sont ses propres progrès qui vont rythmer la course à la trace du signal de parole, qui va continuer à travers l'évolution des microphones, oscilloscopes et enregistreurs graphiques jusqu'aux éditeurs de signaux. Mais ceci est une autre histoire.



**Figure 8 :** Transcritteur mécanique de Rosset (d'après Rosset, 1911).

## BIBLIOGRAPHIE

- Marey, E. J., 1898 « L'inscription des phénomènes phonétiques. Première partie : Méthodes directes », *Revue générale des sciences pures et appliquées*, n°11, p. 445-456.
- Rosset, T., 1911, *L'inscription de la voix parlée*, Armand Colin, Paris, 102 p.
- Rousselot, P. J., 1897, *Principes de Phonétique expérimentale*, t. 1, Welter, Paris, 638 p.