



HAL
open science

Étude des cornets acoustiques par la photographie des flammes de Kœnig

M. Marage

► **To cite this version:**

M. Marage. Étude des cornets acoustiques par la photographie des flammes de Kœnig. J. Phys. Theor. Appl., 1898, 7 (1), pp.131-141. 10.1051/jphystap:018980070013101 . jpa-00240158

HAL Id: jpa-00240158

<https://hal.science/jpa-00240158>

Submitted on 4 Feb 2008

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.

**ÉTUDE DES CORNETS ACOUSTIQUES PAR LA PHOTOGRAPHIE DES FLAMMES
DE KÖENIG ;**

Par M. MARAGE.

INTRODUCTION.

Dans ce travail je me suis d'abord proposé de chercher quelle était la caractéristique des voyelles parlées sans aucun instrument; puis

j'ai étudié les modifications que font subir au son les cornets acoustiques, et enfin j'ai cherché l'appareil qui, tout en augmentant l'intensité des vibrations, leur laissait leur hauteur et leur timbre.

Dans un travail antérieur⁽¹⁾, en me servant comme réactif des flammes manométriques, j'obtins des résultats qui ne concordaient nullement avec ceux que M. Kœnig avait obtenus dans les mêmes conditions.

Comme, tous les deux, nous nous servions de miroirs tournants, et que nous dessinions l'*image vue*, il n'y avait qu'un seul moyen de trancher le différend : c'était de photographier les flammes.

L'appareil de Kœnig se composait de six parties :

1° Un miroir tournant ; 2° une flamme manométrique ; 3° une capsule manométrique ; 4° un tube ; 5° une embouchure ; 6° un parleur.

Cette note comprendra le même nombre de subdivisions, précédées d'un exposé rapide de la méthode que j'ai employée pour compter le temps.

APPAREILS ET FLAMME CHRONOMÉTRIQUE.

FLAMME CHRONOMÉTRIQUE. — Il s'agissait, avant tout, d'avoir un appareil compteur donnant exactement le temps. Pour cela j'employai deux capsules manométriques dont les flammes, situées l'une au-dessous de l'autre, étaient placées dans un même plan vertical parallèle au papier sensible du chronophotographe.

La flamme chronométrique était située un peu à gauche de l'autre et toutes les deux étaient mises au point en même temps.

Un diapason électrique, vibrant au $\frac{1}{54}$ de seconde, communiquait ses vibrations à la flamme par l'intermédiaire d'un tambour de Marey ; les deux capsules étaient contenues dans une boîte rectangulaire en bois, tapissée intérieurement de velours noir et présentant sur une de ses faces latérales une ouverture fermée par une lame de verre ; des orifices permettaient l'entrée et la sortie des gaz, et l'on se trouvait ainsi complètement à l'abri des agitations produites par l'air extérieur.

(1) Note sur un nouveau cornet acoustique servant en même temps de masseur du tympan : appareil présenté à la Société de Biologie le 9 janvier 1897. Masson, édit.

Le chronophotographe était mû à la main : un volant formé d'une lame circulaire de plomb donnait un mouvement aussi uniforme que possible. A chaque expérience on avait environ 1^m,50 de papier impressionné dont la vitesse variait entre 1^m,50 et 2 mètres à la seconde.

INTERPRÉTATION DES FLAMMES. — Si l'on examine les épreuves qui donnent les différentes formes que prend la flamme chronométrique vibrant en $\frac{1}{54}$ de seconde, on voit que, lorsque la vitesse est nulle, la flamme donne sur le papier une image très nette, négative. Si l'on augmente graduellement la vitesse, on constate qu'à chaque vibration du diapason la flamme est brusquement projetée au dehors, puis elle redescend pour rallumer la flamme suivante.

Si la vitesse s'accroît, la flamme s'incline sur la photographie ; et la partie descendante forme un triangle dont la base est la flamme entière et dont le sommet se trouve au point d'origine de la flamme suivante.

Si la vitesse devient plus considérable, la base de la flamme n'est plus assez photogénique dans sa partie montante et descendante pour impressionner le papier, et les images des différentes flammes sont séparées les unes des autres.

Nous retrouverons toujours un phénomène analogue dans les flammes vibrant sous l'influence de la parole.

Il faut avoir soin de donner au papier sensible une vitesse telle que les flammes soient séparées les unes des autres, sans cependant être trop éloignées.

Je vais examiner successivement l'influence des différentes parties composant l'appareil de Kœnig.

1° INFLUENCE DES MIROIRS TOURNANTS. — La masse d'air entraînée agite la flamme, ce qui la déforme complètement.

On peut remédier à cet inconvénient en séparant la flamme des miroirs par une lame de verre verticale ; l'observateur voit alors trois images : les deux premières données par les faces antérieure et postérieure de la lame de verre ; la troisième donnée par le miroir tournant ; et, comme cette dernière est la seule qui se multiplie, les deux autres ne présentent aucun inconvénient ; mais dans ce cas il ne m'a pas encore été possible de photographier l'image vue dans les miroirs.

2° INFLUENCE DE LA FLAMME. — Le gaz d'éclairage, même chargé

de vapeurs d'éther, de pétrole ou de benzine, n'étant pas assez photogénique, j'employai l'acétylène qui avait un double avantage :

1° Impressionner fortement le papier ;

2° Vibrer à l'unisson avec le diapason, chose que je n'avais jamais pu obtenir avec le gaz d'éclairage.

Lorsque la flamme ne vibrait pas, elle montait et descendait sous l'influence du diapason en traçant une sorte de sinusoïde ; lorsqu'elle se mettait à chanter, elle donnait les figures décrites plus haut.

3° INFLUENCE DE LA CAPSULE MANOMÉTRIQUE. — On peut placer dans la capsule soit une membrane de baudruche, soit une membrane de caoutchouc ; mais, en faisant les expériences, on voit qu'une membrane en baudruche très peu tendue obéit beaucoup plus aux vibrations de la parole qu'une membrane de caoutchouc. Cette dernière, en effet, revient sur elle-même grâce à son élasticité et elle éteint toutes les têtes de flammes, ce qui leur donne un aspect absolument géométrique.

4° INFLUENCE DU TUBE. — Un tube long et étroit ou enlève de la netteté ou semble introduire des flammes nouvelles qui n'existent pas lorsqu'on emploie un tube large et court. Ces flammes se surajoutent aux flammes caractéristiques des voyelles, par conséquent dans toutes les expériences on a toujours employé le même tube gros et court.

5° INFLUENCE DE L'EMBOUCHURE. — A) *Sans embouchure.* — On supprime complètement toute embouchure et on prononce successivement chacune des voyelles en donnant autant que possible au son produit la même hauteur.

On constate alors que l'on peut partager les voyelles en trois groupes : dans le premier on placera I, U, OU, caractérisées par une seule flamme ;

Dans le second : É et O, caractérisées par deux flammes ; et dans le troisième : A, caractérisée par trois flammes.

Ces mêmes voyelles ayant été prononcées sur la même note, chaque vibration était représentée, non pas par le nombre de flammes absolu, mais par le nombre de groupes (planche IV).

Ainsi I, U, OU, présentent cinq flammes par $\frac{1}{54}$ de seconde ; É et O, cinq groupes de deux flammes par $\frac{1}{54}$ de seconde ; et A, cinq groupes de trois flammes par $\frac{1}{54}$ de seconde.

Ce qui donne, pour tonalité absolue, 540 vibrations simples, c'est-à-dire une note comprise entre ut_3 (522) et $ut\#$ (562).

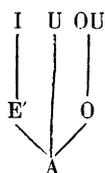


FIG. 1.

Ceci n'a rien d'étonnant, attendu que, pour prononcer I, U, OU, la cavité buccale ne change pas de forme, la langue reste en place, et ce sont les lèvres seules qui font la voyelle ; il en est de même pour É et pour O ; enfin la voyelle A est obtenue d'une façon tout à fait particulière.

Cette classification des voyelles, bien qu'obtenue par une méthode très différente, correspond absolument à la classification d'Helmholtz.



FIG. 2.

Elle correspond en même temps à la classification adoptée généralement par les professeurs de chant et, en particulier, par M. Lefort.

M. Lefort admet, en effet, dans la voix chuchotée, trois voyelles fondamentales, I, U, OU, d'où il fait dériver les autres.

I	U	OU
é	eu	o
in	un	on
è	e	ô
à	â	an

Pour prononcer successivement les voyelles d'une classe, il suffit, la langue restant en place, d'ouvrir la bouche de plus en plus (1).

(1) J'ai comparé les résultats ainsi obtenus, avec ceux que donne la méthode graphique ; M. Marey avait fait modifier la plaque vibrante du graphophone de manière à inscrire ses vibrations sur un cylindre tournant recouvert de noir de

B) *Embouchure de Kœnig*. — Si l'on prend l'embouchure dont M. Kœnig s'est servi pour faire ses expériences, et si l'on répète les voyelles avec la même tonalité que précédemment, on constate que cette embouchure métallique en forme de cône a introduit des flammes nouvelles qui modifient considérablement la forme et le nombre des flammes (planche V).

I n'est plus caractérisé par une seule flamme, mais par une flamme principale avec deux autres plus petites parallèles.

U conserve une flamme unique, mais OU en a trois parallèles : deux égales se touchant ; une plus petite, isolée.

É a quatre flammes indépendantes à leur base, réunies à leur sommet ; O en a trois également indépendantes à leur base, réunies à leur sommet. Enfin A, au lieu de trois flammes, en a quatre, la plus petite étant ajoutée.

Ce sont donc U et A qui sont les moins déformées.

On comprend donc que M. Kœnig, s'étant servi de cette embouchure dans toutes ses expériences, ait toujours trouvé des résultats différents des miens.

C) *Influence du résonateur*. — On remplace maintenant l'embouchure de Kœnig, qui doit être rejetée, par les résonateurs correspondant aux vocables des voyelles

I	OU	É	O	A
<i>ré₃</i>	<i>fa₃</i>	<i>sib₃</i>	<i>sib₃</i>	<i>sib₄</i>

OU, d'après Donders.

O, A, E, d'après Kœnig et Helmholtz.

I, d'après Helmholtz (1).

fumée : en examinant ces courbes au microscope, on peut constater que I, U, OU, donnent chacune une courbe se rapprochant de la sinusoïde, ce que j'appellerai un tracé à une période, correspondant à une flamme.

É et O donnent un tracé à deux périodes ; cependant pour É il semble dans certains cas qu'il y en ait trois (nous en verrons l'explication plus loin) ; enfin la courbe de A est très nettement formée de trois parties ; il y a donc dans ce cas concordance entre la méthode graphique et la méthode de Kœnig ; j'ai, d'ailleurs, le projet de reprendre l'étude de ces tracés.

(1) D'après M. Kœnig, les vocables des voyelles seraient

OU	O	A	É	I
<i>sib₂</i>	<i>sib₃</i>	<i>sib₄</i>	<i>sib₅</i>	<i>sib₃</i>

En examinant le tableau ci-joint, on voit que :

OU n'a qu'une flamme avec *sib₂*, mais elle est moins régulière qu'avec *fa₃*. O et A sont concordants avec *sib₃* et *sib₄*.

I n'a qu'une flamme avec *sib₆*, mais cette flamme est moins nette qu'avec *ré₆*, cependant elle est unique.

Quant à É, cette voyelle n'a qu'une flamme avec *sib₅*, alors que normalement

Il est évident que, si ces notes sont les vocables des voyelles correspondantes, la flamme caractéristique de chaque voyelle doit être marquée avec une plus grande netteté; c'est ce que l'on constate d'une façon très précise pour OU, fa_3 ; pour O si_3^2 , A si_4^1 .

É n'a plus qu'une flamme avec si_3^2 , et I conserve une seule flamme avec re_6^1 .

D) *Recherche de la vocable.* — Puisque I, U, OU appartiennent au même groupe, elles doivent avoir la même vocable, fa_3 ; É et O, la même vocable, si_3^2 ; A une vocable différente, si_4^1 .

On constate, en effet, que ces voyelles prononcées avec ces trois résonateurs donnent des flammes absolument nettes, claires et précises; mais est-ce à dire que si_2^2 , si_3^2 , si_4^1 soient sûrement les vocables des voyelles correspondantes: je ne saurais l'affirmer.

E) *Influence du résonateur sur le nombre des flammes qui se trouvent dans chaque groupe.* — J'ai alors pris successivement comme embouchure les résonateurs que j'avais à ma disposition, et j'ai réuni les résultats obtenus dans le tableau suivant:

Influence du résonateur sur le nombre des flammes qui se trouvent dans chaque groupe.

	2		3				4			5		6				
	ut_2	fa_2	si_2	ut_3	fa_3	sol_3	la_3	si_3	ut_4	$ré_4$	si_4	ut_5	si_5	ut_6	$ré_6$	si_6
I	1 irrégul.	1 irrégul.		I	1				1 irrégul.	1 irrégul.					I	1 large
U	1 irrégul.	1 irrégul.		I												3
OU	1 irrégul.	1 irrégul.		I												3
É	1 irrégul.	1 irrégul.		1	2	2		II	2			3	1		2	3
O	1 irrégul.	1 irrégul.		1	2			II		2		3	3		3	3
A	1 ou 3 irrégul.	1 irrégul.		2	2	2	2	2	2	3		III	3		3	3
	1 flamme		2 flammes				3 flammes									

elle devrait en avoir deux: mais, comme je l'ai déjà dit, il y a des quantités de É différentes, et, par conséquent, il n'est pas étonnant que les expérimentateurs ne soient pas d'accord sur la vocable de cette voyelle.

Certains résonateurs, tels que fa_2 et si_3^{\sharp} , donnent une seule flamme à toutes les voyelles ; mais ces flammes, au lieu d'être régulières, parallèles, étaient absolument contournées, et je pouvais en conclure que la note correspondant au résonateur ne se trouvait sûrement pas quand on prononçait la voyelle correspondante.

En considérant le tableau, on voit que I a probablement comme vocable fa_3 et $ré_6$ donnée par Helmholtz ; U et OU, fa_3 donnée par Donders ; O, si_3^{\sharp} donnée par Kœnig et Helmholtz ; A, si_4^{\sharp} donnée par les mêmes expérimentateurs.

Quant à É, je suis fort embarrassé.

En effet le résonateur qui m'a donné les flammes les plus régulières est si_3^{\sharp} , mais il n'est pas encore parfait ; et les résonateurs sol_3 , la_3 , ut_4 et même $ré_6$, m'ont encore donné deux flammes ; je pense que l'on peut trouver une explication qui est la suivante :

Il y a des quantités de É différents : É, È, AI, etc.

Il est probable que chacun d'eux a sa vocable ; de plus, É est la seule voyelle que l'on puisse prononcer sans se servir d'aucun résonateur buccal et nasal.

En effet on peut faire prononcer É parfaitement en tenant la langue avec un linge et en appuyant un miroir laryngien sur le voile du palais, de manière à voir les cordes vocales en interrompant le courant d'air passant par le nez.

Dans ce cas É est produit par la vibration des cordes vocales placées au milieu du tube formé en bas par la trachée et en haut par la bouche ; dans ce cas il n'y a pas de résonateur, et cet É pourrait bien ne pas avoir de vocable caractéristique.

Influence du résonateur sur la forme des groupes. — En considérant le tableau précédent, on voit que tous les résonateurs compris entre ut_2 et fa_3 tendent à former des groupes d'une flamme ; ceux compris entre sol_3 et $ré_4$ donnent des groupes de deux flammes.

Enfin, de si_4^{\sharp} à si_6^{\sharp} , presque toujours les flammes se divisent par groupe de trois.

L'embouchure aurait donc plus d'influence que la voyelle sur la forme du groupe.

En effet j'ai prononcé successivement A caractérisée par trois flammes, et O caractérisée par deux flammes avec les résonateurs fa_3 , si_3^{\sharp} , si_4^{\sharp} , si_5^{\sharp} , $ré_6$, pris comme embouchure, et l'on voit que : fa_3 , vocable probable des voyelles à une flamme, range les flammes de A et de O par groupes de une ; si_3^{\sharp} , vocable probable des voyelles

à deux flammes, groupe par deux les flammes de A et de O; si_4^{\ddagger} , vocable probable des voyelles à trois flammes, donne trois flammes à O qui n'en a que deux.

Si_3^{\ddagger} et $ré_6$ semblent ranger les flammes par groupes de trois, mais je n'ai pu obtenir une vitesse suffisante pour les dissocier.

En résumé, au-dessous de sol_3 , quelle que soit la voyelle prononcée, nous avons des groupes de une flamme; entre si_3 et si_4^{\ddagger} , presque exclusivement des groupes de deux; et de si_4^{\ddagger} à si_6^{\ddagger} , des groupes de trois ($ré_6$ faisant exception pour I).

On pourrait donc définir, en se plaçant au point de vue des expériences actuelles, la vocable d'une voyelle de la façon suivante: la vocable d'une voyelle est la note correspondant au résonateur qui, pris comme embouchure, donne au groupe de flammes caractéristique de chaque voyelle son maximum de netteté.

Cette note peut ne pas être unique, c'est-à-dire qu'une flamme peut avoir plusieurs vocables.

6° INFLUENCE DE L'EXPÉRIMENTATEUR. — Il s'agirait de voir maintenant comment varient les flammes avec la note sur laquelle on prononce les voyelles.

Quelle que soit la note, il semble que la forme du groupe ne varie pas, mais le nombre de groupes augmente avec la hauteur du son.

En effet j'ai prononcé successivement devant la capsule manométrique, sans embouchure, toutes les voyelles en donnant d'abord une note aussi basse, ensuite une note aussi aiguë que possible: chose curieuse, pour I, U, OU, bien que les expériences aient été faites à des moments différents, j'ai obtenu sensiblement la même note basse et la même note aiguë, c'est-à-dire, comme note basse, 432 vibrations correspondant à la_2 (435), et, pour note aiguë, 1188 correspondant à $ré_4$ (1174).

Pour É et O, j'ai obtenu également la même note basse et la même note aiguë, mais différentes des deux premières, c'est-à-dire 648 (ut_3 , 522), et 726 (sol_3 , 780).

Pour A, 540 (ut_3 , 522), et 756 (sol_3 , 780).

Cette expérience semble donc vérifier encore une fois la classification que j'ai admise.

Quelle que soit la note, les voyelles conservent leur groupe de flammes caractéristique; mais les images n'ont pas partout la même netteté: I, U, OU sont plus nets dans les notes aiguës.

Les deux flammes de É se séparent et se différencient dans les notes graves.

O et A varient peu.

Ce qui semblerait indiquer que I, U, OU, É se chantent mieux dans les notes aiguës.

O et A conviendraient à toutes les notes.

Quand on change, dans une même expérience et en conservant la même voyelle, une note basse et une note aiguë, on constate que la flamme disparaît presque complètement au moment du changement de note, le nombre des groupes augmente, mais la voyelle conserve toujours sa flamme caractéristique.

Si l'on conserve la même tonalité, mais si l'on change la voyelle, on constate qu'il n'y a pas de changement brusque; par exemple si l'on passe de OU à O, on voit peu à peu apparaître, à côté de la flamme unique caractéristique de OU, la seconde flamme caractéristique de O.

Il resterait maintenant à chercher pourquoi I, U, OU sont caractérisés par une seule flamme, E et O par deux, A par trois.

Il faudrait ensuite pouvoir, en groupant deux voyelles à une flamme, obtenir une voyelle à deux flammes, ou bien obtenir A en groupant soit trois voyelles à une flamme, soit deux voyelles, l'une à deux flammes, l'autre à une flamme.

Mais ce sont des expériences qui me semblent fort difficiles et que je n'ai pas encore entreprises.

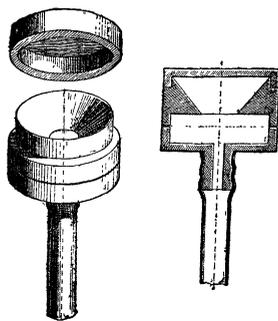
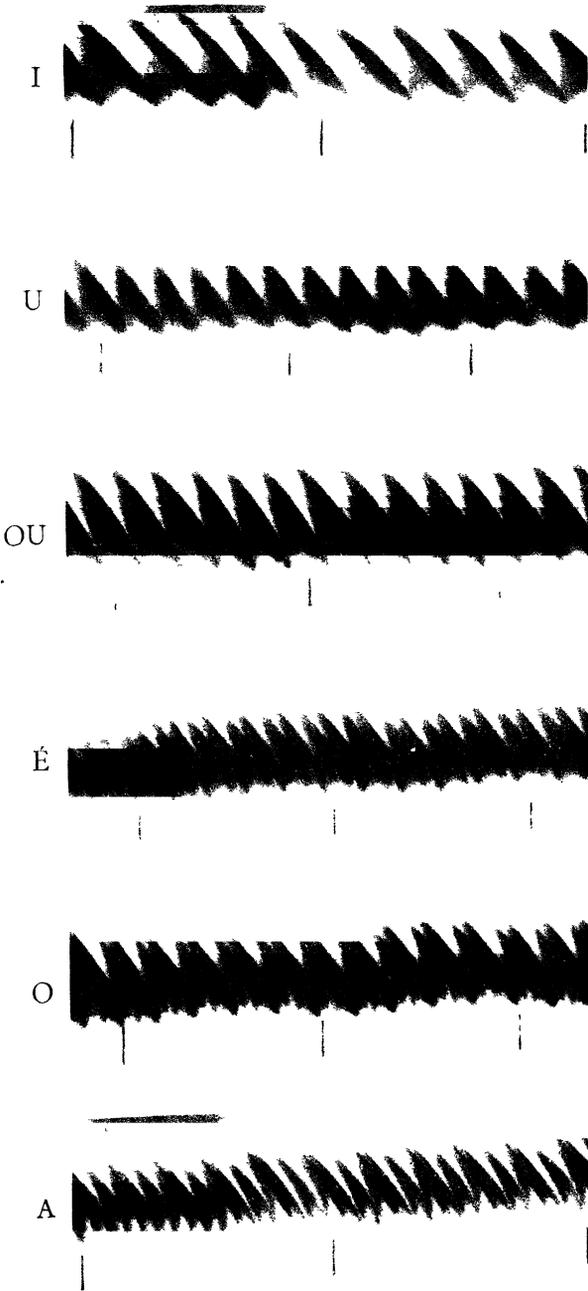
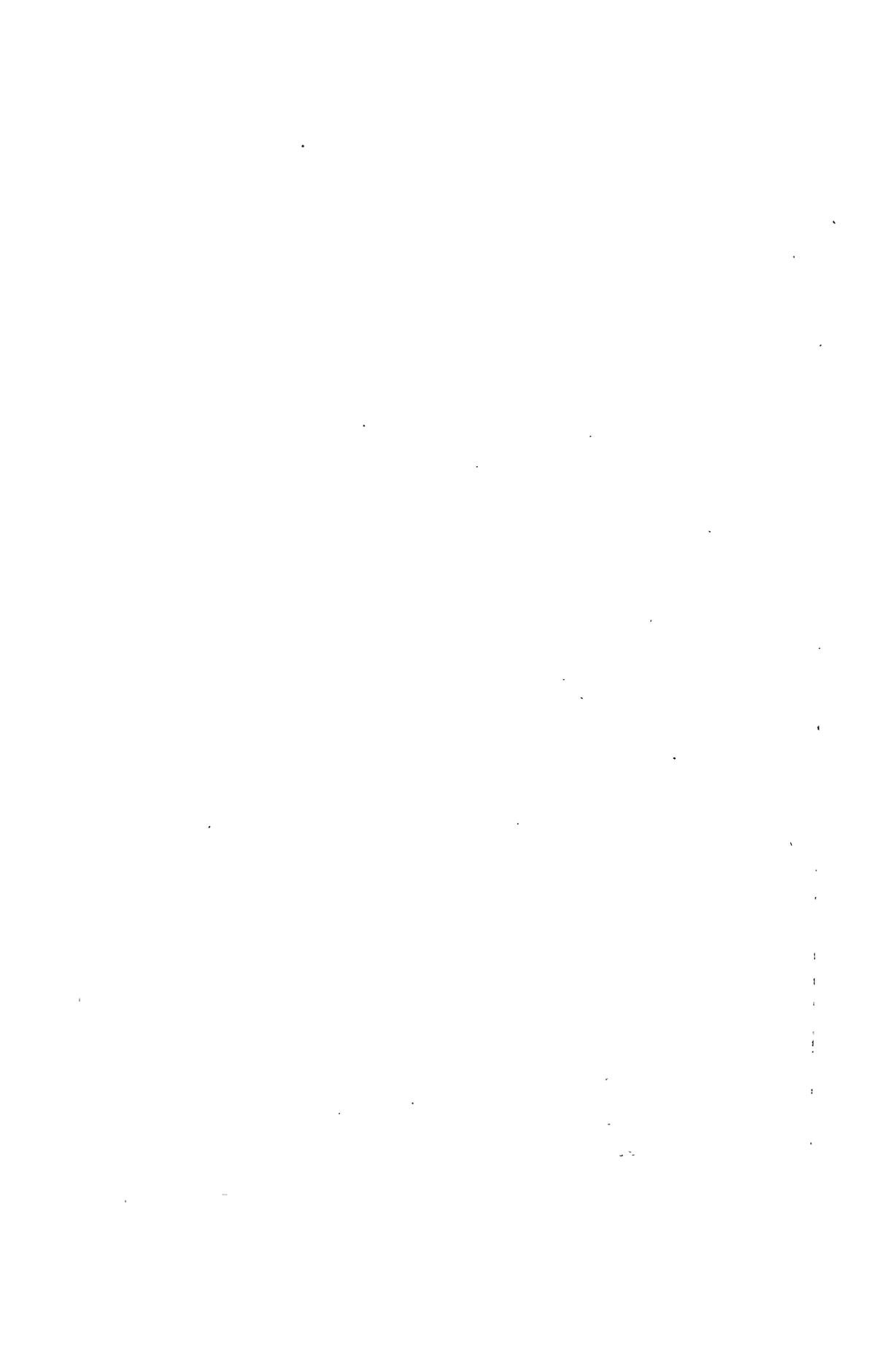


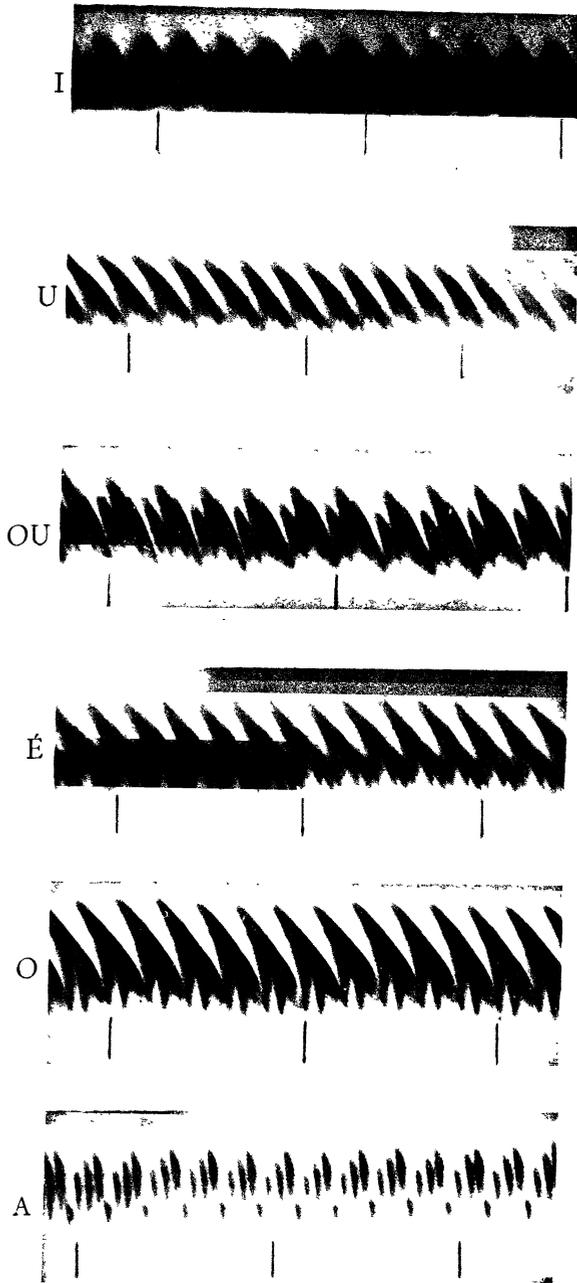
FIG. 3. — Masseur-Cornet, perspective et coupe 1/2 grandeur.

La méthode des flammes manométriques, ainsi modifiée, me semble donc pouvoir rendre des services dans les recherches acoustiques; elle permet d'obtenir des résultats précis, et on peut faire des expé-

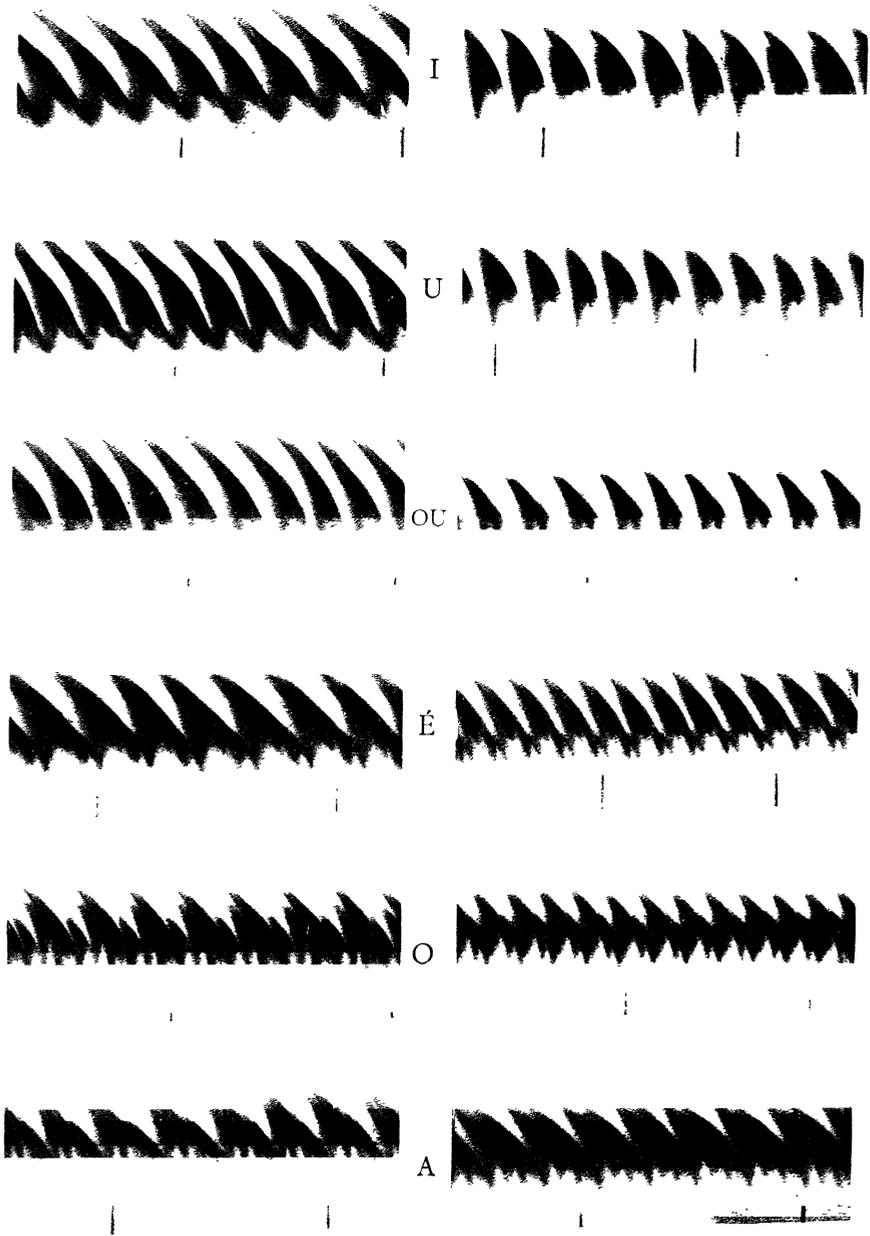


Voyelles prononcées sans aucune embouchure.
(1/54 de seconde).





Voyelles prononcées avec l'embouchure de Kœnig.
($\frac{1}{54}$ de seconde).



Sans membrane.

Avec membrane de caoutchouc.

Masseur-cornet.



riences en ayant une voix quelconque et une oreille aussi peu musicale que possible.

Si on répète les expériences précédentes en prenant comme embouchure un masseur-cornet (*fig. 3*) sans membrane, on voit que I, U, OU sont toujours caractérisés par une flamme, mais É, O, A ont chacun deux petites flammes surajoutées (planche VI).

Si l'on interpose une membrane vibrante, en caoutchouc très mince, on constate que les flammes caractéristiques des voyelles apparaissent immédiatement, sauf pour OU qui semble avoir deux flammes, et pour É qui conserve une troisième flamme toute petite.

Cette embouchure est donc, de toutes celles que nous avons employées, celle qui modifie le moins les flammes de chaque voyelle.

Cet instrument, tout en empêchant le contact direct par l'air entre le parleur et l'auditeur, conserve donc au son une très grande pureté.
