

Bibliothèque numérique

medic@

Bergonié, J.. - Phénomènes physiques de la phonation

1883.

Paris : A. Parent, imprimeur de la Faculté de médecine, A. Davy, successeur
Cote : 90975

FACULTÉS DE MÉDECINE

2

PHÉNOMÈNES PHYSIQUES

DE

LA PHONATION

THÈSE

PRÉSENTÉE AU CONCOURS POUR L'AGRÉGATION
(Physique et Chimie),

PAR

LE Dr J. BERGONIÉ,

Licencié ès-sciences physiques,

Licencié ès-sciences naturelles,

Maître de conférences de physique à la Faculté mixte de Médecine
et de Pharmacie de Bordeaux.



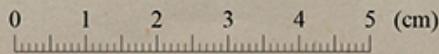
PARIS

A. PARENT, IMPRIMEUR DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE

A. DAVY, successeur

52, RUE MADAME ET RUE MONSIEUR-LE-PRINCE, 14

1883



CONCOURS D'AGRÉGATION

Physique et Chimie.

MEMBRES DU JURY

Président : M. GAVABBET.

Juges : MM. BEGNAILL-D.

REGNAULD.
MONOYER (de Lyon)

MONTER (de Lyon).
ENGEL (de Montpellier).

ENGEL (de Montpellier).
GABRIEL (de l'Académie).

GARIEL (de l'Académie de médecine).
BOUDGOUN.

Secrétaire : M. BOURGOIN.

Secrétaire-adjoint : M. PUPIN.

CANDIDATS

PHYSIQUE :

CHIMIÉ :

MM. BAGNERIS,

MM. BLAREZ,

BERGONIE.

BBRÈE,
LINOSSIER.

DRAGON
DOUIMER

**LENOISSEUR
BOUCHET**

DOUMER.
GUÉRHAE

**POUCH
HULL**

GUEBHAF

INTRODUCTION.

Les phénomènes physiques de la phonation sont ceux qui, obéissant aux lois de l'acoustique, se passent dans l'organe vocal, lorsque celui-ci produit un son. Cette définition met déjà une limite à notre travail ; nous n'aurons pas à considérer, en effet, les modifications introduites dans l'émission de la voix, soit par le fait d'un processus pathologique quelconque, soit par certains procédés physiologiques d'expérimentation. Ces procédés sont ceux qui reposent sur l'observation du larynx dont on a sectionné certaines branches nerveuses, ou dont on excite directement les muscles par l'électricité. Tout autre sujet d'étude rentrera dans notre cadre et nous n'avons aucune envie de distinguer parmi eux ceux qui se rapportent à la physiologie de ceux qui se rapportent à la physique pour éliminer les uns et garder les autres. Nous pensons qu'une telle distinction est non seulement impossible, mais encore qu'elle est contraire au véritable progrès scientifique. L'établir serait renouveler la tentative de Bichat, voulant, dans une aberration d'esprit difficile à expliquer, éléver une barrière infranchissable entre les sciences physiques et les sciences biologiques.

Mais avant de commencer l'étude du larynx et des sons qu'il peut produire, il convient de s'assurer par

Bergonié.

1

quel mécanisme sont engendrées les vibrations composantes de ces sons et quelle est la partie vibrante. Or, aucun chapitre de la phonation n'est mieux établi sur des bases plus certaines que celui qui a trait au lieu de production des vibrations laryngiennes. Les observations de Longet et de Magendie sur les animaux, celles de Mayo, de Rudolphi, de Kœmpelen sur l'homme, enfin les expériences de Muller sur des larynx détachés, prouvent jusqu'à l'évidence que le seul corps vibrant dans le larynx est constitué par les deux replis antéro-postérieurs nommés *cordes vocales inférieures*. Elles prouvent encore que les variations dans la hauteur des sons émis dépendent de modifications concordantes dans la tension, la longueur et l'épaisseur de ces replis. Le rapprochement fait entre le tube vocal et les tuyaux à anche employés en musique est donc rationnel, car on trouve, chez le premier, les diverses parties constitutantes que l'on rencontre chez les seconds. De cette considération résulte pour nous la nécessité d'étudier d'abord les lois des tuyaux sonores et les différentes manières de faire entrer ces tuyaux en vibration. Nous envisagerons surtout, parmi eux, ceux qui ont le plus de rapports communs avec le larynx ; ce sont les plus intéressants au point de vue qui nous occupe.

Après ce chapitre, la description anatomique du larynx s'impose à nous. Elle sera limitée autant que possible aux organes ayant un rôle actif dans la phonation ; pour les détails, le lecteur voudra bien se reporter aux ouvrages spéciaux.

La troisième partie, de beaucoup la plus importante, comprendra l'application au tube vocal des lois physi-

ques indiquées à propos des tuyaux sonores. Le larynx y sera considéré comme un instrument à anche spécial, dont les sons varient comme hauteur, comme intensité, comme timbre. On examinera, dans la quatrième partie, les différences qui existent entre la voix chantée et la voix parlée, les théories diverses qui ont été données pour l'explication des sons voyelles et les différentes méthodes de recherches sur lesquelles reposent ces théories.

PHÉNOMÈNES PHYSIQUES

DE

LA PHONATION

PREMIÈRE PARTIE

Acoustique physique

I. GÉNÉRALITÉS SUR LES TUYAUX SONORES. — Les tuyaux sonores sont des cavités dont les parois limitent une masse d'air capable d'être mise en vibration d'une manière quelconque. D'après la disposition adoptée pour produire les vibrations, on les divise en tuyaux à *bouche* ou en *bec de flûte* et tuyaux à *anche*. Dans les premiers l'air arrive par la partie inférieure, quisert ordinairement à fixer le tuyau, sur une soufflerie et que l'on nomme le *pied*; de là, il passe dans la chambre à air et s'échappe par une fente étroite appelée *lumière*, qui le dirige contre le bord tranchant d'un *biseau*.

Ces tuyaux peuvent être ouverts ou fermés par leur extrémité supérieure. Dans les deux cas, le courant d'air qui vient se briser contre le biseau de l'embouchure pro-

duit un *siflement* ou *frôlement* particulier, masse sonore formée d'un grand nombre de sons discordants et voisins les uns des autres. Le tuyau renforce par résonance les sons qui parmi eux correspondent aux siens propres, et ces sons, ainsi renforcés, acquièrent une intensité tellement supérieure que l'oreille n'est plus affectée que par eux. Cependant, on peut mettre en évidence le frôlement de l'air contre le biseau en n'adaptant pas à celui-ci de tuyau de renforcement ; avec le tuyau, ces bruits, quoique faibles, existent néanmoins et donnent au timbre un caractère spécial plus ou moins nettement appréciable. M. Helmholtz a proposé de donner à ceux de ces sons capables d'être renforcés par le tuyau le nom de *sons de plus forte résonnance* (1).

II. PRODUCTION DU SON DANS LES INSTRUMENTS A ANCHE. — Dans les tuyaux de la seconde catégorie, on admet que la cause de la production du son est la même que dans la sirène. Or, on sait que dans celle-ci le son est engendré par la rotation d'un disque percé de trous qui ouvre et ferme alternativement le passage au courant d'air. Dans les tuyaux à anche, l'accès du tube est de même fermé au courant gazeux par les vibrations d'une lame élastique, disposée à cet effet, et que l'on nomme l'*anche* du tuyau. Dans ce cas, l'air fourni par une soufflerie vient produire sur l'air extérieur une série de chocs isolés et périodiques. Cette théorie des tuyaux à anches est la théorie classique ; il en est une autre qui fait jouer à l'anche un rôle plus im-

(1) Crelle. Journ. de Math., vol. LVII.

portant. Sans entrer ici dans des considérations qui nous entraîneraient trop loin, nous adopterons l'opinion formulée par M. le professeur Gavarret (1), admettant que « le son entendu n'est certainement pas celui de l'anche ; la languette a trop peu de surface, pour communiquer à l'air ambiant la force vive exigée pour la production d'un mouvement sonore appréciable ; il faut chercher la véritable origine du son dans les interruptions périodiques du courant d'air exciteur du mouvement vibratoire de la languette... Bien que le son rendu ne soit pas celui de l'anche, c'est la languette qui, par ses vibrations, règle le nombre des interruptions du courant d'air et détermine la hauteur musicale du son émis. » L'anche sera donc pour nous une simple lame élastique à l'aide de laquelle on peut mettre en vibration l'air d'un tuyau sonore.

Suivant que l'on met en jeu l'élasticité de l'anche par flexion ou par tension, celle-ci est dite anche *rigide* ou anche *membraneuse*. Les anches qui appartiennent à la dernière catégorie méritent surtout d'être étudiées avec détail, car leur théorie est d'une haute importance pour ce qui va suivre ; cependant nous dirons auparavant quelques mots des premières.

Anches rigides. — L'anche rigide peut être *libre* ou *batante* ; dans le premier cas, la lame oscillante rase les bords de l'orifice qu'elle doit fermer, sans les toucher ; dans le second, elle est un peu plus large que l'ouverture et frappe

(1) Gavarret. (*Phénomènes physiques de la phonation et de l'audition.*) Paris, 1877, p. 295.

contre ces mêmes bords d'une manière intermittente. Cette particularité donne aux sons produits par l'anche battante, le timbre nasillard qui les caractérise. L'ouverture que ferme la lame est appelée *rigole*; l'on nomme *rasette*, une tige entrant à frottement dans la paroi du tuyau et permettant de raccourcir ou d'allonger la partie vibrante de l'anche.

Anches membraneuses. — Les anches rigides, construites depuis longtemps, sont employées dans les instruments de musique qui portent le nom d'instruments à anches, orgue, hautbois, basson, clarinette..., etc. Les anches membraneuses, peu utilisées pratiquement, sont moins connues. Muller le premier les a bien étudiées au point de vue de leur rapprochement avec l'organe vocal. Les autres expérimentateurs, qui se sont occupés de cette sorte d'anches avant Muller, sont Biot, Cagnard de Latour et Malgaigne. Ce dernier avait même construit, à l'aide de deux rubans de parchemin humide, des anches membraneuses qui se prêtaient assez peu, il est vrai, à une tension progressive. Les travaux de Muller sur ce sujet étant de beaucoup les plus importants, nous nous y arrêterons plus longuement.

Ce physiologiste a expérimenté sur des anches construites, en tendant, sur un cadre ou sur l'extrémité d'un tuyau cylindrique, des membranes minces et élastiques formées par des lames de caoutchouc. Lorsque la membrane élastique ne couvrait que la moitié de l'orifice du tube et que l'autre moitié était obturée par une lame rigide non vibrante, l'anche était dite *unilabiale*. Lorsque, au contraire, la membrane obturait complètement

la lumière du tube, ne laissant, suivant un diamètre, qu'une fente linéaire, l'anche était dite *bilabiale*. Il a été construit, depuis Muller, des modèles d'anches différents de ceux employés par lui et plus convenables. Les membranes de Muller, en effet, disposées perpendiculairement à l'axe du tuyau, ne peuvent entrer en vibration qu'après avoir été infléchies et refoulées par la pression de l'air ; pour cette raison, elles ne parlent pas aussi facilement que celles que l'on dispose obliquement. « La meilleure manière d'étudier leurs particularités, dit M. Helmholtz, consiste à construire artificiellement des anches de ce genre. A cet effet, on coupe l'extrémité supérieure d'un tube en bois ou en caoutchouc, suivant deux plans obliques, de manière qu'il reste deux saillies à peu près rectangulaires entre les plans des deux sections. On place alors deux bandelettes de caoutchouc vulcanisé, peu tendues, sur les deux sections obliques, de manière à laisser entre elles, à la partie supérieure, une fente étroite, et on les entoure d'un fil. De cette manière, on forme une embouchure à anche, que l'on peut associer à volonté à des tuyaux ou à d'autres cavetés pleines d'air. Dans la vibration, les membranes ouvrent ou ferment la fente en se rapprochant ou en s'éloignant l'une de l'autre. »

Quoi qu'il en soit, les expériences de Muller ont conduit ce physiologiste aux résultats suivants :

On sait que les anches employées en musique, quelle que soit d'ailleurs leur nature, peuvent être disposées de deux façons, par rapport à la direction du courant d'air, et que l'on appelle *anches en dedans*, celles qui ouvrent la fente au moment où elles se dirigent vers le réservoir à l'ergonie.

air et par conséquent vers le fond du tuyau. Cette disposition existe dans les tuyaux d'orgue, l'harmonium, la clarinette... Celles, au contraire, qui sont disposées de telle sorte que, opposées au courant d'air, elles lui laissent le passage libre lorsqu'elles se dirigent vers l'extérieur du tuyau, ont reçu le nom *d'anches en dehors*. Müller a conservé cette division pour les anches membraneuses, et il a fait parler l'anche en soufflant, soit par l'extrémité libre du tuyau, soit par l'extrémité garnie de la membrane; en un mot, il a pu disposer ses anches en dehors et en dedans. Il a constaté ainsi une différence dans le son produit; celui-ci est plus grave dans le dernier cas que lorsqu'on dispose l'anche en dehors.

Cette différence dépend uniquement, d'après Müller, de ce que l'air mis en vibration par l'anche se répand librement dans l'espace ambiant quand on se sert de l'anche en dehors; tandis que, avec l'anche en dedans, il doit traverser le corps du tuyau. Ce qui le prouve, c'est que, on peut très simplement faire baisser le son d'une anche en dehors en adaptant un corps de tuyau du côté de l'anche. Au sujet des modifications de la hauteur des sons par l'addition de tuyaux de longueurs diverses, Müller a fait de nombreuses expériences. Mais les résultats variables auxquels il est arrivé, en ce qui concerne les anches membraneuses, ne lui ont pas permis de donner une loi exacte du phénomène. On doit à Weber des recherches analogues sur les anches rigides qui ont donné les éclaircissements suivants à cet égard:

Soit a le quart de la longueur d'un tuyau dont la colonne d'air a le même son fondamental que l'anche iso-

isolée. Plus le son isolé de l'anche est grave ou aigu, plus la a doit être long ou court.

1° Un tuyau prolongé du $1/4$ de sa longueur, a , abaisse le son d'une manière sensible.

2° En portant cet allongement de a à $2a$, l'abaissement augmente sensiblement. Cependant la durée des vibrations croît plus lentement que la longueur des colonnes d'air.

3° Pendant que la longueur des colonnes d'air surajoutées croît de $2a$ à $3a$, le son s'abaisse rapidement et la gravité augmente avec presque autant de vitesse que la longueur de la colonne d'air.

4° En allongeant de $3a$ à $4a$, le ton baisse plus rapidement encore jusqu'à ce qu'enfin il soit plus grave d'une octave que celui de l'anche seule. En continuant d'allonger, le son revient tout à coup, par un saut, au son élevé de la plaque isolée ; et, si on allonge encore, il recommence à s'abaisser de la même manière jusqu'à ce que, à une longueur de $8a$, il soit d'un quart environ plus grave que celui de l'anche isolée. Si l'on continue d'allonger, le son remonte de nouveau à celui de l'anche et quand on ajoute des tuyaux jusqu'à $12a$, il s'abaisse jusqu'à la tierce mineure du son de l'anche ; après quoi, il saute encore.

Quant aux résultats précis que Müller a tirés de ses nombreuses expériences, on peut les résumer comme suit :

1° Si on diminue de la moitié la longueur de la partie vibrante d'une anche membraneuse, l'anche fait en-

tendre l'octave du son primitif. C'est là une analogie parfaite avec le mode d'élévation du ton dans les cordes.

2^o Comme pour les cordes et les lames élastiques, la hauteur du son augmente avec la tension des lèvres de l'ancre.

3^o L'élévation du ton n'est pas sensiblement influencée par la largeur de la fente qui sépare les lèvres de l'ancre. Quand l'ouverture est trop large, l'air ne peut pas être mis en vibration ; l'ancre ne parle plus.

4^o Lorsqu'on force le courant d'air, la tension des membranes augmente en vertu de leur élasticité et les effets de l'augmentation de tension se manifestent par une élévation du ton.

Nous savons de plus sur le timbre des anches membraneuses comparé à celui des anches rigides que, d'après les recherches de M. Helmholtz, ces dernières vibrant librement, sans tuyau de résonnance, produisent des sons très aigres, très mordants ou très grinçants, et que l'oreille armée d'un résonnateur peut y distinguer une longue série d'harmoniques allant jusqu'au vingtième et même plus loin. C'est cette confusion de sons discordants qui rend le timbre des anches très désagréable. Pour les anches membraneuses, les résultats sont différents, car la nature de l'ancre n'est pas sans influence. Plus l'ancre est molle et flexible, en effet, moins les secousses du courant d'air sont prononcées, et moins les sons émis contiennent de ces sons partiels très aigus qui enlèvent au timbre toute douceur et lui donnent un caractère criard très désagréable à l'oreille.

Nous terminerons là cette étude rapide des propriétés des anches membraneuses ; quelque incomplète qu'elle puisse être, à cause du petit nombre de travaux faits sur le sujet, elle nous sera cependant d'une grande utilité pour les applications à la théorie physique de la voix.

Avant de commencer l'étude des phénomènes physiques de la phonation, c'est-à-dire avant de voir comment on peut, à l'aide des lois physiques, expliquer la formation de la voix et rattacher l'organe phonateur de l'homme et des animaux au chapitre de l'acoustique qui traite des larynges, il est nécessaire d'indiquer les auteurs de l'ouvrage et le motif d'avoir désigné diverses parties qui servent à l'acoustique.

Notre tableau se limite à l'acoustique, c'est-à-dire à la description des phénomènes de l'phonation et des lois qui régissent ces phénomènes. La première est celle des lois d'acoustique, et la seconde est celle des lois de la phonation, qui sont à l'origine de l'acoustique. La première est celle des lois d'acoustique, et la seconde est celle des lois de la phonation, qui sont à l'origine de l'acoustique.

Le premier auteur de l'ouvrage est M. J. P. L. de la Harpe, qui a écrit un ouvrage sur l'acoustique, par lequel il a démontré que l'acoustique est une science fondamentale, et que l'acoustique est une science fondamentale.

DEUXIÈME PARTIE

Anatomie de l'instrument vocal.

Avant de commencer l'étude des phénomènes physiques de la phonation, c'est-à-dire avant de chercher comment on peut, à l'aide des lois physiques, expliquer la formation de la voix et rattacher l'organe phonateur de l'homme et des animaux au chapitre de l'acoustique qui traite des tuyaux sonores, il est nécessaire d'indiquer la structure de ce tuyau et le mode d'action des diverses parties qui le constituent.

Notre intention n'est pas d'entreprendre ici une description minutieuse de l'organe phonateur de l'homme, et cela pour deux raisons : la première est que cette description se trouve magistralement faite dans les ouvrages spéciaux qui sont entre les mains de tous (1); la seconde vient de ce qu'il n'est pas besoin, pour le genre d'étude si bien défini par le titre de ce travail, de tous ces détails, très intéressants sans doute, mais qu'il importe beaucoup plus au chirurgien et à l'anatomiste

(1) Voir à ce sujet : Sappey. *Traité d'Anatomie*; Beaunis et Bouchard. *Éléments d'anatomie descriptive*, et plus particulièrement, Gavarret. *Phénomènes physiques de la phonation et de l'audition*.

de connaître qu'au physicien. Nous les laisserons donc de côté et nous nous bornerons aux indications anatomiques qu'il sera plus tard nécessaire d'invoquer dans l'exposition des nombreuses théories physiques et physiologiques auxquelles ont donné lieu les phénomènes de la phonation.

L'organe phonateur peut donc être considéré par nous, physicien, comme un tuyau à anche d'une espèce particulière ayant, comme tous les tuyaux sonores, un *pied* ou *porte-vent* et un *cornet d'harmonie*. Le porte-vent est formé par la trachée, canal aboutissant d'une part à la partie la plus importante de l'appareil phonateur, le larynx, d'autre part aux poumons. Ceux-ci subissant des alternatives de compression et de dilatation, soit par le fait de leur propre élasticité, soit sous l'action de certains muscles spéciaux (muscles expirateurs et inspirateurs), se comportent vis-à-vis de la trachée et du larynx comme le soufflet d'une soufflerie vis-à-vis du porte-vent d'un tuyau sonore. Ce soufflet est ici disposé de manière à produire de nombreuses et rapides variations dans la vitesse, la pression, le débit du courant d'air, et c'est en partie à son mécanisme si complexe et si parfait que la voix humaine doit sa variété admirable d'intonation.

Parties mobiles. — Le larynx est la partie de beaucoup la plus importante dans l'appareil de la phonation; c'est dans le larynx que se forme la voix; c'est lui qui contient la partie vibrante du tuyau sonore, une anche membraneuse, si malheureusement dénommée *cordes vocales*. Il est situé à la partie antérieure et supérieure du cou, faisant suite à la trachée dont les anneaux cartilagineux, quoi-

que encore reconnaissables, ont subi de profondes modifications pour le former. Il est placé en avant du pharynx, au-dessous de l'os hyoïde et fait sous la peau une saillie, plus proéminente chez l'homme que chez la femme, nommée vulgairement pomme d'Adam. Il a la forme d'une pyramide triangulaire irrégulière, dont le sommet tronqué serait dirigé un peu obliquement en bas et en arrière. Les faces de cette pyramide sont constituées, en grande partie, par quatre cartilages, dont deux pairs, les cartilages *aryténoides*, deux impairs, les cartilages *cricoïde* et *thyroïde*.

Les cartilages *aryténoides* sont situés à la partie postérieure du larynx et concourent à former sa paroi postérieure. Mais leur rôle est plus important que celui des autres cartilages, car c'est sur leur apophyse antérieure que se fait l'insertion postérieure des vraies cordes vocales, et c'est par leur intermédiaire que les muscles tenseurs de ces cordes exercent leur action. Ils surmontent le cartilage cricoïde à sa partie postérieure et se présentent sous la forme d'un entonnoir ou bec d'anguière, dont la base, articulée avec le cricoïde serait située en arrière et dont le sommet serait terminé par deux noyaux cartilagineux, en forme de corne, nommés *cartilages de Santorini*.

Le cartilage *cricoïde* n'est qu'un anneau de la trachée modifié. Il présente une largeur très variable suivant que l'on considère sa face antérieure ou sa face postérieure. Celle-ci forme, en effet, à peu près toute la paroi du larynx en rapport avec le pharynx, tandis que la face antérieure du même cartilage ne diffère pas, par sa largeur, d'un anneau ordinaire de la trachée. Il pré-

sente, en arrière et en haut, des facettes légèrement convexes destinées à une articulation avec les deux cartilages arytenoïdes ; en avant et en bas, deux autres facettes très petites tournées en dehors et en haut, où viennent se placer les surfaces articulaires des petites cornes du cartilage thyroïde.

Le cartilage *thyroïde* est formé d'une lame cartilagineuse irrégulièrement quadrangulaire pliée en deux, de manière à former à sa partie externe un angle dièdre saillant d'environ 70°.

L'arête de ce dièdre est placée en avant et dirigée obliquement de haut en bas et d'avant en arrière, présentant à sa partie supérieure une rainure médiane assez profonde en forme de V. Les bords latéraux de la lame cartilagineuse sont irréguliers et présentent des prolongements supérieurs nommés *grandes cornes* du thyroïde, et des prolongements inférieurs appelés *petites cornes*. Ces petites cornes viennent s'appuyer par leur extrémité sur la facette articulaire du cricoïde qui leur est destinée. L'angle dièdre formé par la lame, saillant à sa face externe est rentrant à sa face interne, et c'est vers la partie médiane de cette dépression que viennent s'insérer les rubans vocaux inférieurs.

Quoiquel'épiglotte n'appartienne pas, à proprement parler, aux cartilages du larynx, il est nécessaire cependant d'indiquer brièvement sa position à cause du rôle que certains auteurs lui ont fait jouer dans la production de quelques timbres particuliers de la voix. C'est une lame fibro-cartilagineuse située au-dessus de la cavité du larynx sur laquelle elle peut se rabattre, comme une soupape à clapet, sur l'orifice qu'elle est destinée à fer-

mer. Elle a la forme d'une feuille de pourpier ou d'un triangle à base arrondie, suivant les auteurs. La charnière sur laquelle elle tourne est formée par sa partie adhérente à l'os hyoïde, au tiers moyen du ligament thyro-hyoïdien et à l'angle rentrant du cartilage thyroïde. Cette charnière est située en avant et au-dessus du larynx, de telle façon, que la partie libre de l'épiglotte qui décrit les mouvements de plus grande amplitude est sa partie supérieure et postérieure.

Les cartilages du larynx sont réunis entre eux par des ligaments qui comblient les vides laissés entre ces cartilages et leur permettent des mouvements de peu d'étendue. On les nomme ligaments intrinsèques du larynx. D'autres ligaments continuent le tube vocal et le relient soit à la trachée porte-vent (*articulation trachéocricoïdienne*), soit à la cavité de résonnance située au-dessus (*articulation thyro-hyoïdienne, ligament thyro-hyoïdien*) ; on les a nommés ligaments extrinsèques du larynx. Ces derniers nous intéressent peu ; quant aux premiers, nous aurons à tenir compte de leur présence dans l'étude des mouvements des cartilages.

Muscles moteurs. — Les muscles du larynx peuvent, comme les ligaments, être divisés en intrinsèques et extrinsèques. Les derniers lui impriment des mouvements de totalité, dont les seuls importants, au point de vue qui nous occupe, sont l'abaissement et l'élévation. Les muscles intrinsèques ont une bien plus grande importance ; ce sont eux en effet qui, par leur action, modifient les rapports des cartilages et agissent, soit directement, soit par l'intermédiaire de ces cartilages,

sur la partie vibrante du larynx. Ils sont au nombre de onze ; cinq pairs et un impair. Parmi les muscles pairs se rangent : *le crico-thyroïdien*, *le crico-aryténoïdien postérieur*, *le crico-aryténoïdien latéral*, *le thyro-aryténoïdien*, et *l'aryténo-épiglottique*. L'impair est *l'aryténoïdien*.

Le muscle *crico-thyroïdien* s'insère en bas sur la partie antérieure et médiane du cartilage cricoïde et se porte en haut et en dehors pour atteindre le bord intérieur du thyroïde sur lequel il s'insère. C'est un muscle court, épais, triangulaire, à sommet dirigé en bas et en avant. Son action est très importante à considérer ; il tend, en effet, à rapprocher les deux cartilages thyroïde et cricoïde et à les faire chevaucher l'un sur l'autre par leurs faces antérieures. Il écarte en même temps leurs bords postérieurs, en imprimant au thyroïde un mouvement de bascule en avant et au cricoïde le même mouvement en arrière et en bas.

Le muscle *crico-aryténoïdien postérieur* s'insère en bas au cartilage cricoïde sur une dépression qui lui est destinée ; de là, ses fibres convergent, en se dirigeant obliquement en haut et en dehors, pour aller s'insérer à l'apophyse postérieure externe de la base du cartilage aryténoïde. C'est encore un muscle triangulaire, mais à sommet dirigé vers le haut. Lorsque ce muscle se contracte, il porte l'apophyse antérieure de l'aryténoïde en dehors, en lui faisant décrire un mouvement de rotation qui l'écarte de celle du côté opposé.

Le muscle *crico-aryténoïdien latéral* s'insère, en bas, sur le bord supérieur du cartilage cricoïde, en haut, sur le cartilage aryténoïde, en avant du point d'insertion du *crico-aryténoïdien* du même côté. D'après Albinus,

Longet et M. Sappey, l'action de ces muscles rapprocherait l'un de l'autre les sommets des apophyses antérieures des arytenoïdes.

Le muscle thyro-aryténoidien s'insère, en avant, sur la moitié inférieure de l'angle rentrant du cartilage thyroïde et un peu sur son bord inférieur, en arrière, sur le bord interne et inférieur du cartilage arytenoïde. En réalité, ce muscle contient plusieurs faisceaux de fibres distincts ; l'un d'eux, formé de fibres horizontales, est de beaucoup le plus important, car ce sont ces fibres qui, recouvertes par une tunique fibreuse et par la muqueuse du larynx, constituent les *cordes vocales inférieures*. Leur action tend à rapprocher l'un de l'autre les deux points d'insertion, par conséquent à raccourcir les cordes vocales et aussi à augmenter leur épaisseur.
« Il suffit, dit M. Fournié, d'un léger gonflement pour « les appliquer solidement l'une contre l'autre. Le gonflement, qui peut être progressif et régulier sous l'influence de la volonté, est un des moyens les plus importants de la formation des tons de la voix».

Le muscle *aryténéo-épiglottique*, souvent absent chez l'homme, a une médiocre importance dans les phénomènes qui nous occupent.

L'aryténoidien, seul muscle impair du larynx, s'insère sur les cartilages arytenoïdes, les unissant l'un à l'autre par trois faisceaux de fibres musculaires distincts : un faisceau antérieur formé de fibres horizontales, les deux autres s'entrecroisant à la partie postérieure, comme les deux branches d'un X. Son action est de rapprocher les arytenoïdes ; mais, comme ceux-ci sont surtout mobiles à leur partie supérieure, ce sont principalement les

sommets de ces cartilages qui sont mis en mouvement.

Corps vibrant. — La disposition des cartilages et des muscles du larynx étant connue, il sera maintenant facile de saisir la conformation intérieure du tube. Si l'on observe un larynx détaché du corps, et que l'on en fasse une coupe suivant un plan antéro-postérieur passant par l'arête proéminente formée par le cartilage thyroïde, on remarque que l'intérieur du tube, ainsi mis à découvert, n'est pas uni, mais qu'il présente des inégalités importantes. Les premières, en allant de la trachée à l'épiglottie, sont les *cordes vocales inférieures*.

Elles sont disposées, de chaque côté, en un repli formé par le muscle thyro-aryténoidien, le ligament thyro-aryténoidien inférieur et la muqueuse. Leur longueur moyenne chez l'homme est de 24 mm . A leur niveau, la muqueuse, au lieu de présenter un épithélium à cils vibratiles, comme dans le reste de son étendue, présente un épithélium pavimenteux. Ces ligaments, appelés quelquefois *ligaments vocaux, rubans vocaux*, sont les seuls qui, par leurs vibrations, produisent la voix. Au-dessus, se trouve une autre paire de replis, bien moins accusés que les précédents, nommés *cordes vocales supérieures*. Ces replis ne jouent aucun rôle dans la formation de la voix, et c'est à tort qu'on leur a donné le nom de cordes vocales. La *glotte* est l'ouverture circonscrite, en avant, par les cordes vocales inférieures (*glotte ligamenteuse ou vocale*), en arrière, par la face interne des cartilages arytenoïdes (*glotte cartilagineuse ou respiratoire*.) Entre les cordes inférieures et supérieures d'un même côté, on trouve un infundibulum formé par la muqueuse, auquel on a donné le nom de *ventricule du*

larynx ou ventricule de Morgagni. La cavité *sus-glottique* s'étend de la glotte à l'orifice supérieur du larynx, sa partie située au-dessus des cordes vocales supérieures a reçu le nom de vestibule du larynx.

D'après M. Sappey, le diamètre antéro-postérieur étendu de la partie la plus saillante du cartilage thyroïde à une ligne transversale rasant ses bords postérieurs, équivaut à 36 mm chez l'homme et à 26 mm chez la femme. Il diffère beaucoup par conséquent d'un sexe à l'autre. Or, c'est parallèlement à ce diamètre antéro-postérieur que sont placées les cordes vocales dans le larynx ; cette différence anatomique est donc pour nous très importante à considérer, car nous trouverons des différences physiques, dans l'émission des sons, chez l'un et l'autre sexe, qui en dépendent directement.

Pour terminer la description du tube vocal, nous dirons que, au-dessus de l'orifice laryngien, il s'élargit en présentant un calibre très irrégulier et se continue par l'isthme du gosier, la bouche et les fosses nasales. Les parois de ces cavités, pour la plupart musculaires, sont modifiables par la volonté, de telle façon que la forme et la grandeur peuvent en être variées à l'infini. Enfin, l'ouverture du tube à l'extérieur, la partie qui peut être assimilée au pavillon d'un instrument à bouche, est essentiellement mobile, car elle est limitée par les deux arcades dentaires et les lèvres.

Nous aurons à revenir sur la disposition anatomique de ces régions avant d'entreprendre l'étude de la parole.

meilleur et de la meilleure voie pour arriver à la vérité. (1) (2) (3) (4)

TROISIÈME PARTIE

Etude acoustique des sons vocaux.

HISTORIQUE.

Les théories qui ont été données de la formation de la voix, chez l'homme, sont très nombreuses ; notre intention n'est pas de les passer toutes en revue et de faire un historique complet en énumérant les opinions de tous les auteurs qui ont écrit sur ce sujet. Nous indiquerons seulement par quels progrès successifs de l'acoustique et de l'anatomie, on est arrivé à la théorie moderne, et comment, à chaque pas fait par l'une ou l'autre de ces sciences, correspond une modification heureuse dans l'explication des faits connus.

Pour ce qui a trait aux divergences qui existent encore parmi les auteurs modernes, comme elles ne portent pour la plupart que sur des points de détail et non sur le grand principe de la formation de la voix, elles seront signalées à leur place dans le paragraphe qui les concerne. Pour tout autre renseignement historique, on

voudra bien se reporter au livre de M. le professeur Gavarret (1).

Hippocrate n'avait qu'une idée fort vague du lieu de formation du son de la voix. Avec Aristote la distinction entre la voix articulée et la voix chantée sans articulation apparaît déjà ; le philosophe de Stagyre attribue même un mécanisme spécial à chacun de ces modes phonétiques ; le son est produit par le choc de l'air contre le larynx ; la voix articulée, par les mouvements de la langue. « Tout son, dit-il, est produit par le choc de quelque chose contre quelque chose et dans quelque chose. Dans la voix le corps choquant est l'air. L'âme, qui se trouve dans ces parties, pousse l'air pendant la respiration contre la trachée-artère, et ce choc est le son. »

Galien donne du larynx une description à peu près complète ; il en résulte une idée plus nette, pour lui, du lieu où se produit la voix. « Pour Galien, dit M. Fourié (1), le larynx est une anche analogue à celle de certains instruments ; elle en a la forme, surtout quand on la regarde par en haut et par en bas, et il faut pour que le son se produise un certain rapprochement des lèvres de la glotte. »

Avec Fabrice d'Aquapendente l'idée de Galien est complétée ; de plus, la notion d'acoustique qui fait dépendre toute sensation sonore des oscillations d'un corps vibrant est clairement exprimée. « La nature du son, dit-il, est dans le mouvement ; car le son n'est autre chose que

(1) Loc. cit. p. 511, note C. *ancre* *confondu* *à* *acoustique*
(2) E. Fournié. Physiologie de la voix et de la parole. V. l'index bibliographique, 1866.

« l'air brisé et chassé violemment. » Et encore : « La voix se produit au niveau de la glotte ; pendant ce temps le thorax et l'abdomen se resserrent pour donner naissance à l'expiration qui est la vraie matière de la voix ; car, si le thorax et l'abdomen sont comprimés, les poumons le sont aussi et le diaphragme s'incurve vers la cavité thoracique. Il résulte de là que tout l'air sort des poumons pour se porter vers la glotte ; trouvant cette issue fermée, il passe comme à l'état de corps solide à cause de sa compression, se précipite avec violence à travers cette fente étroite, et c'est ainsi que la voix est formée. » Les explications que donne cet auteur des variations dans la hauteur des sons rendus par le larynx, et du mécanisme qui rapproche les ligaments vocaux, ne sont pas moins remarquables et dénotent de sa part des notions anatomiques très étendues.

Le père Mersenne et Dodart ont des connaissances en physique plus profondes qu'en anatomie ; nous les voyons établir un parallèle entre les tuyaux à anches et le larynx ; mais, comme la comparaison ne semble pas très juste à Dodart, qu'il ne trouve aucun instrument de musique auquel le tube vocal puisse être exactement assimilé, il conclut : « qu'on ne peut comparer la cause qui met en branle les lèvres de la glotte, qu'à celle qui fait résonner cette espèce d'instrument (si toutefois on peut lui donner ce nom) qui résulte de l'effet d'un vent impétueux donnant dans le papier entr'ouvert qui joint un châssis mal collé avec la baie d'une fenêtre.

On voit donc que dès l'année 1707, date du dernier mémoire de Dodart, le jeu des cordes vocales dans le larynx était ramené à celui d'un appareil qui n'est autre qu'un instrument à anche membraneuse. Les travaux postérieurs à celui de Dodart n'ont fait que démontrer par des procédés plus probants ce que, le premier, il avait compris : sans vouloir entrer dans le détail des opinions de Ferrein, Dutrochet, Malgaigne, etc... nous dirons que ces auteurs insistent surtout sur les variations d'intensité, de hauteur et de timbre qui éprouvent les sons produits par le larynx, et les modifications physiologiques qui accompagnent ces variations. Nous aurons plus tard l'occasion de faire connaître les idées de ces auteurs.

On voit donc que dès l'année 1707, date du dernier mémoire de Dodart, le jeu des cordes vocales dans le larynx était ramené à celui d'un appareil qui n'est autre qu'un instrument à anche membraneuse. Les travaux postérieurs à celui de Dodart n'ont fait que démontrer par des procédés plus probants ce que, le premier, il avait compris : sans vouloir entrer dans le détail des opinions de Ferrein, Dutrochet, Malgaigne, etc... nous dirons que ces auteurs insistent surtout sur les variations d'intensité, de hauteur et de timbre qui éprouvent les sons produits par le larynx, et les modifications physiologiques qui accompagnent ces variations. Nous aurons plus tard l'occasion de faire connaître les idées de ces auteurs.

vous signalez M. Bataille, Poirier, Mandl, entre, plus
sérieusement que d'habitude, quelques-uns de
ces procédés, comme l'usage de l'osselet de l'os hyo-
stomacal, etc.

II.

PROCÉDÉS DIVERS EMPLOYÉS POUR ÉTUDIER LES MOU-
VEMENTS VIBRATOIRES DU LARYNX.

Ces procédés peuvent se ranger sous quatre chefs dif-
férents : 1^o procédé par vivisection sur les animaux,
employé par les physiologistes, par Longet et Segond
entre autres ; 2^o observation directe sur le vivant, à l'aide
du laryngoscope ; 3^o expérimentation sur des larynx de
cadavres ou d'animaux fraîchement tués ; 4^o synthèse
des vibrations vocales à l'aide de larynx artificiels.

1^o Lorsqu'on opère un animal de manière à mettre à
nu le larynx et à séparer complètement cet organe des
organes voisins, en le laissant en continuité avec la tra-
chée, on constate que la voix de l'animal, quoique chan-
gée au point de vue du timbre, n'en persiste pas moins.
De plus, si l'on vient à enlever par des sections suc-
cessives toutes les parties qui se trouvent au-dessus de l'ou-
verture de la glotte, aucune variation ne se produit dans
les qualités du son perçu. Mais, si on lèse d'une manière
quelconque les *cordes vocales* proprement dites, les *tige-
ments thyro-aryténoïdiens inférieurs*, on détermine une
abolition complète de la voix. On peut aussi, en modifiant
quelque peu la manière d'opérer, pour ne pas altérer
l'innervation des parties, constater *de visu* les change-
ments physiologiques correspondants aux variations
d'intensité et de hauteur du son vocal.

On peut rapprocher du procédé d'expérimentation précédent les observations directes sur l'homme rapportées par certains auteurs. Ainsi, Mayo a observé la glotte chez un individu, qui, dans une tentative de suicide, s'était coupé la gorge immédiatement au-dessus des cordes vocales ; Rudolphi parle d'un homme chez lequel la perte du nez rendait la cavité pharyngienne tellement accessible qu'on pouvait très bien voir la glotte s'ouvrir et se fermer ; enfin dans le cas cité par Muller le cou était sectionné au-dessus du cartilage thyroïde, de manière qu'on pouvait apercevoir la partie supérieure des cartilages arytenoïdes. Les résultats fournis par ces auteurs ne sont pas différents de ceux obtenus par Longet, Magendie et les autres physiologistes qui ont opéré sur les animaux.

2° Manuel Garcia est le premier qui, essayant de se rendre compte par des lois physiques du mécanisme de l'organe vocal, tenta d'observer sur lui-même les mouvements du larynx. Pour cela, il introduisit dans son arrière-bouche un petit miroir plan, puis, au moyen d'un éclairage convenablement disposé et de deux réflexions successives, il put percevoir l'image de son propre larynx. Avant lui, des expériences avaient bien été faites dans la même voie, et l'on cite les tentatives de Gerdy, Troussseau, Belloc, Liston et Cagnard de Latour, mais elles avaient été tellement imparfaites et suivies de si mauvais résultats qu'elles avaient découragé leurs auteurs.

Garcia avait examiné son propre larynx et procédé par *auto-laryngoscopie* ; le D^r Turck appliqua le procédé à ses études cliniques, et Czermak en vulgarisa l'emploi. Après ces premiers expérimentateurs nous de-

vons signaler MM. Bataillé, Fournié, Mandl, enfin, plus récemment, M. Vacher, qui ont appliqué la méthode laryngoscopique à l'étude de la voix.

Le laryngoscope consiste essentiellement en un petit miroir plan, porté à l'extrémité d'une tige métallique et incliné plus ou moins sur la direction de cette tige suivant la conformation du larynx à examiner. Pour procéder à l'observation au moyen de cet instrument, on commence par chauffer légèrement le miroir avant de l'introduire dans la gorge du patient, pour éviter le dépôt de buée, puis on le place de telle façon que les rayons incidents émanés de la glotte soient réfléchis de manière à venir tomber dans l'œil de l'observateur.

Je dois encore signaler le perfectionnement introduit par Hirshberg dans l'observation laryngoscopique, ainsi que le mode d'observation imaginé par Oertel. Le premier est parvenu à redresser l'image laryngienne et à l'agrandir, le second a appliqué les procédés stroboscopiques employés pour rendre visibles les vibrations des corps sonores (*laryngo-stroboscopie*).

3^e C'est Ferrein qui le premier a imaginé de détailler sur le cadavre des larynx humains et d'observer directement les sons produits par ces larynx lorsqu'il les faisait traverser par un courant d'air. « Ayant dé-
couvert, dit-il, les défauts du système qui a régné
jusqu'ici, j'ai cherché une théorie qui pût mieux ex-
pliquer le mécanisme admirable qui produit tous ces
sons différents qui charment nos oreilles. L'examen
du larynx m'en a d'abord fourni l'idée... J'ai voulu
avant, de proposer mon idée, l'établir sur des expé-
riences certaines. L'entreprise était difficile: tout

« le monde croyait, et M. Dodart l'avait assuré, qu'on ne pouvait rendre l'organe de la voix visible en action, ni le faire sonner quand il n'est plus animé par le principe de la vie ; cependant je résolus de le tenter. » Ferrein expérimenta d'abord sur un larynx de chien. « Je rapprochai les lèvres de la glotte, dit-il, et je soufflai fortement dans la trachée-artère ; à ce coup, l'organe parut s'animer et fit entendre, je ne dis pas seulement un son, mais une voix éclatante, plus agréable pour moi que les concerts les plus touchants. »

Les expériences de J. Muller qui viennent ensuite sont beaucoup plus complètes et faites avec méthode. D'ailleurs, Muller, avant d'expérimenter sur les larynx détachés, avait fait une étude préalable des conditions acoustiques dans lesquelles se produisent les vibrations des anches membraneuses, et c'est guidé par les résultats déjà acquis qu'il entreprenait ses recherches sur l'organe vocal lui-même. Pour préparer un larynx, Muller, après l'avoir enlevé et avoir conservé un tronçon de trachée artère, le fixait contre une planchette de manière que sa paroi postérieure fût en contact avec le bois. Les cartilages arytenoïdes, étaient traversés par une aiguille qui les maintenait dans la position qu'on voulait leur donner, le cricoïde était solidement fixé à la planchette, et du thyroïde, seul cartilage mobile, partait un fil qui, se refléchissant sur une poulie, supportait un plateau dans lequel on plaçait des poids. L'action de ces poids tendait à attirer en avant l'arête saillante du thyroïde et agissait sur les *ligaments vocaux* de la même façon que les poids tenseurs ordinaires que

l'on suspend à la poulie d'un sonomètre lorsqu'on cherche à déterminer les lois des vibrations des cordes. Les rubans vocaux étaient en effet placés dans des conditions telles que leur extrémité antérieure était seule mobile et que leur tension ainsi provoquée pouvait être assimilée à celle qu'ils subissent physiologiquement par l'action des muscles crico-thyroïdiens. Quant aux variations à produire entre les distances des cartilages arytenoïdes, elles sont plus difficiles à obtenir. « La perforation, dit Muller, doit être faite avec beau-
coup de précautions, afin que, quand on tirera ensuite sur le cartilage thyroïde, les cordes vocales éprouvent une égale tension. Il faut aussi qu'elle ait lieu de telle sorte, que, quand les cartilages sont appliqués l'un contre l'autre, les apophyses antérieures de leurs bases se touchent. On peut sur cette aiguille donner aux cartilages, l'un par rapport à l'autre, toutes les situations qu'on juge convenables. On peut les écar-
ter un peu, de sorte que la partie postérieure non vi-
brante de la glotte soit ouverte ; on peut aussi les mettre en contact parfait et les fixer par des liens dans cette situation où la partie postérieure de la glotte se trouve fermée. »

Le même physiologiste a fait plus tard usage d'un appareil plus complet. Cet appareil est remarquable surtout par une pièce particulière fixée à la planchette, qui a pour but de simuler l'action des crico-arytenoïdiens latéraux et de rapprocher les lèvres de la glotte. Cette pièce est simplement constituée par deux lames mobiles qui, entrant par l'ouverture du larynx, peuvent s'écartier ou se rapprocher par leurs extrémités infé-
Bergouïé.

rieures sous l'action de poids tenseurs. De plus, le cartilage thyroïde bascule sur le cricoïde par une tension qui s'exerce verticalement sur l'extrémité de son bord supérieur. Enfin, un manomètre mesure à chaque instant la pression de l'air injecté, et un porte-vent fait communiquer le larynx que l'on veut faire parler avec une soufflerie.

Muller a confirmé par ses expériences les résultats obtenus avant lui; ainsi il a pu enlever l'épiglotte, les ligaments supérieurs de la glotte, les ventricules de Morgagni, les cartilages de Santorini, les ligaments ary-épiglottiques et même la partie supérieure du cartilage thyroïde jusqu'à l'insertion des cordes vocales, sans empêcher la production du son laryngien. Mais il a obtenu des résultats bien plus étendus touchant les divers modes vibratoires que peuvent prendre les ligaments vocaux sous des tensions croissantes, la hauteur des sons rendus et leur timbre. Nous les indiquerons en mentionnant seulement quelques aphorismes formulés par Muller lui-même.

I. Les ligaments inférieurs donnent, la glotte étant étroite, des sons pleins et purs lorsqu'on souffle par la trachée-artère.

II. Ces sons diffèrent de ceux que l'on obtient quand on laisse subsister les ventricules de Morgagni, les ligaments supérieurs et l'épiglotte, en ce qu'ils sont moins forts.

III. Les cordes vocales parlent surtout avec facilité quand la partie postérieure de la glotte, entre les cartilages arytenoides, est fermée.

IV. Quand les cordes vocales ont une tension soutenue, le son reste le même, eu égard à l'élévation, que la partie postérieure de la glotte soit ouverte ou qu'elle ne le soit pas.

V. A tension égale des cordes vocales, le plus ou moins d'étroitesse de la glotte n'exerce pas d'influence notable sur l'élévation du son.

VI. Quand les cordes vocales sont tendues inégalement, elles ne donnent en général qu'un seul son ; ce n'est que dans des cas rares qu'elles en font entendre deux.

VII. La tension des cordes vocales demeurant la même, il arrive quelquefois qu'au lieu de leur son fondamental, on en perçoit un beaucoup plus élevé, surtout lorsqu'en vibrant elles frottent sur une partie de leur longueur.

VIII. On peut tout aussi bien produire des sons graves avec une glotte courte qu'avec une glotte longue, et des sons aigus avec une glotte longue qu'avec une glotte courte, pourvu, quand il s'agit de sons aigus, que les cordes vocales de la glotte longue soient plus fortement tendues, et, lorsqu'il est question des sons graves, que celles de la glotte très courte soient entièrement détendues, les lèvres de l'embouchure se touchant.

IX. Lorsque les cordes vocales vibrent en plein, depuis l'angle du cartilage thyroïde jusqu'aux apophyses antérieures, immédiatement appliquées l'une contre l'autre, des cartilages arytenoïdes, et qu'elles le

font sans se toucher, avec un accroissement graduel de tension, le changement d'élévation des sons n'est pas tout à fait le même que dans les cordes et les membranes tendues à leurs deux extrémités.

On sait, à ce sujet, que, dans ces conditions, le nombre de vibrations d'un son fourni par une corde est proportionnel à la racine carrée du poids tenseur. Muller, voulant vérifier cette loi sur les rubans vocaux, a trouvé qu'elle n'était qu'approximativement applicable. Ainsi, par exemple, si après avoir obtenu un son fondamental avec un certain poids, on fait le carré de ce poids pour obtenir l'octave, on trouve que ce n'est pas en réalité l'octave que l'on obtient, mais un son plus bas qui peut s'en écarter au maximum de trois tons. Ce fait est expliqué par le suivant.

X. Les cordes vocales isolées du larynx et tendues ne se comportent qu'approximativement comme les cordes avec lesquelles s'accordent les languettes membraneuses vibrant sans cadre par l'effet d'un courant d'air.

XI. En changeant la tension sans modifier la direction, les sons du larynx peuvent changer dans l'étendue d'à peu près deux octaves ; mais, si la tension devient plus considérable, il se produit des sons plus désagréables, plus élevés, sifflants ou criards.

Les conclusions auxquelles Muller est arrivé dans ses expériences s'étendent encore à d'autres particularités qui existent dans l'émission du son vocal ; nous nous bornerons à citer celles qui précédent, nous promettant de revenir plus tard sur les autres lorsque nous traiterons de la voix.

rons des résultats fournis par les diverses méthodes de recherches citées dans ce chapitre.

Muller n'est pas le seul expérimentateur qui ait essayé d'étudier sur le larynx détaché les lois de la production de la voix. Après lui nous devons encore signaler les travaux de Harless, Rinne et Merckel, qui ont suivi la voie. Harless et Merckel ont aussi construit, pour cette même étude, des larynx artificiels formés par des anches membraneuses spéciales; nous aurons à nous occuper de leurs travaux dans le paragraphe suivant.

4^e Tout larynx artificiel est formé d'un tuyau porte-vent et d'une anche, ordinairement membraneuse, mise en vibration par un courant d'air; les dispositions variant avec chaque expérimentateur, nous ne décrirons que celles qui ont permis d'obtenir des résultats satisfaisants.

Les premières tentatives dans ce sens ont encore été faites par Muller, dont les tuyaux à anches membraneuses ne sont que des larynx artificiels. Il a perfectionné ensuite les dispositions employées, si bien que le modèle qui a donné les meilleurs résultats se compose essentiellement d'une virole représentant l'anneau cricoïdien et de deux paires de pinces simulant, l'une le cartilage thyroïde, l'autre les cartilages arytenoïdes. Les pinces, en s'écartant, tendent plus ou moins les lèvres vibrantes disposées entre elles et formées par un tube de caoutchouc mince fixé sur le tuyau porte-vent.

Le larynx artificiel de M. Harless est beaucoup plus compliqué, mais aussi ressemble-t-il davantage au larynx humain; il est comme calqué sur lui. Nous y retrouvons le tuyau porte-vent et la pièce circulaire repré-

sentant le cartilage cricoïde. Une pince remplace l'arête thyroïdienne sur laquelle viennent s'insérer les cordes formées, soit par une membrane de caoutchouc, soit par la tunique d'une grosse veine. La pince peut glisser dans une rainure disposée à cet effet et basculer, comme le fait le cartilage thyroïde, sous l'action des muscles crico-thyroïdiens. La partie mécanique destinée à imiter les mouvements des cartilages arytenoïdes est formée d'un système de vis et de leviers qui vient s'unir aux cordes vocales de manière à pouvoir les écartier l'une de l'autre, rendre linéaire la glotte véritable qu'elles laissent entre elles, ou bien la rendre triangulaire. L'expérimentateur peut même modifier les conditions vibratoires de l'appareil pendant la production du son.

Le larynx de M. Fournié, quoique d'une construction plus simple, donne d'excellents résultats; nous ne pouvons mieux faire que d'en indiquer la description d'après son auteur. « La partie fondamentale de cet instrument, dit « M. Fournié, est une anche de caoutchouc présentant sur « ses côtés une coulisse destinée à recevoir deux tiges en « acier; sur ces deux tiges, sont fixés de chaque côté de « l'anche, deux ressorts en baleine, concaves et touchant « les lames en caoutchouc par leur convexité. Au niveau « de la partie moyenne de l'anche, et à une distance qui « est mesurée par le degré de leur courbure, ces ressorts « viennent s'unir deux à deux, et ils sont fixés par leurs « extrémités au moyen d'une charnière terminée elle- « même par un anneau. Ces quatre ressorts, ainsi dispo- « sés, forment une figure losangique, dans laquelle deux « angles opposés sont unis par l'anche membraneuse.

« Le fonctionnement de cet appareil est fort simple :

« au moyen du pouce et de l'index, introduits dans les deux anneaux, l'on exerce une pression sur les ressorts: cette pression a pour but d'écartier l'une de l'autre les tiges d'acier sur lesquelles ils sont fixés, et par conséquent de tendre l'anche dans le sens de sa longueur. Mais cette tension n'est pas le seul effet obtenu: sous l'influence de la pression, les ressorts opposés se rapprochent par leur convexité, et, à mesure que la pression augmente, leur courbure diminue et ils arrivent au contact dans une plus grande étendue de leur surface. C'est ainsi qu'ils parviennent à effectuer progressivement l'occlusion de l'anche, et l'on obtient, par une même action les deux effets que nous avons vus concourir à la production de toutes les notes que l'on peut retirer d'une anche membraneuse. La tension et l'occlusion progressives de l'anche sont obtenues simultanément par une pression des doigts, et cette pression est d'autant plus faible et plus insensible qu'elle donne naissance à deux actions, capables toutes deux de modifier les sons. »

Nous pourrions parler encore ici des expériences de Merckel sur le même sujet, mais, comme elles nous paraissent beaucoup moins complètes que les précédentes, nous les passerons sous silence, pour indiquer les résultats fournis par l'ensemble des méthodes que nous venons d'exposer.

III.

RÉSULTATS FOURNIS PAR LES DIVERS MOYENS D'ÉTUDE.

THÉORIE DE LA VOIX.

En nous appuyant sur les données physiques développées au commencement de ce travail, et après avoir analysé les procédés d'expérimentation employés par les divers auteurs, il nous sera facile d'indiquer quelle est, dans l'état actuel de la science, la théorie de la voix la mieux acceptée.

La définition de la voix n'est pas nécessaire, et nous pourrions nous passer d'en indiquer une ; d'autant plus, qu'après avoir lu le livre de M. Fournié, dans lequel sont reproduites les diverses définitions données jusqu'à lui, on est très embarrassé pour en choisir une qui convienne à la voix en général, sous ses diverses formes. Il est évident, par exemple, qu'appeler voix les sons produits exclusivement dans le larynx par les vibrations des cordes vocales, élimine les bruits de la voix chuchotée. Or ces bruits sont importants, car plusieurs auteurs ont basé sur eux un très heureux moyen d'étude du langage. On pourrait dire, en évitant cette restriction, que tout son ou bruit produit par le passage de l'air à travers les voies respiratoires de l'homme ou des animaux est un phénomène vocal.

Physiologie. — Il ne nous est plus permis de nous de-

mander, après ce qui a été dit précédemment, en quelle partie du larynx se produit le son de la voix. Nous savons que tout son vocal, méritant véritablement ce nom dans toute son acception physique, résulte des vibrations d'une anche membraneuse double, de structure anatomique assez complexe, située à la partie moyenne du larynx, et nommée *cordes vocales inférieures*. Les observations directes sur l'homme et les animaux, la pratique du laryngoscope, l'expérimentation telle que la pratiquait Müller, le prouvent surabondamment. Mais on peut se demander si c'est le son propre de l'anche membraneuse, renforcé par les cavités qui sont au-dessus, que nous entendons, ou bien si c'est le courant d'air expiré qui est animé de vibrations vocales. A cela nous répondrons, qu'ici comme dans les instruments à anche, le corps sonore c'est l'air envoyé par la soufflerie représentée par le poumon, mais que c'est l'élasticité propre des cordes vocales et leur tension qui règlent la période du mouvement vibratoire. C'est donc aux modifications qui surviennent dans ces deux qualités essentiellement physiques des ligaments vocaux qu'est due la variation de hauteur des sons rendus par le larynx (1).

S'il en est ainsi, la grandeur des modifications que nous pouvons constater directement doit être en rapport avec l'étendue de l'échelle que peut parcourir la

(1) Il est intéressant de rapporter à ce sujet les essais de substitution d'un larynx artificiel au larynx naturel qu'une lésion pathologique quelconque a rendu aphone. Les faits de ce genre sont assez nombreux dans la science ; nous décrivons seulement le larynx artificiel que le professeur David Foulis de Glasgow substitua, en 1877, à celui qu'il venait d'extirper par l'opération Bergonié.

voix humaine. C'est, en effet, ce que l'on peut observer et ce que les expériences de Muller ont mis en lumière. Nous savons, d'après les travaux de ce physiologiste, qu'un larynx dont les cordes sont relâchées et peuvent vibrer dans toute leur longueur rend des sons graves, et

thyrotomique. Ce larynx est représenté fig. 1. Il se compose d'un tube A aboutissant dans l'arrière-gorge, d'une anche libre C fixée à une pièce que l'on peut enlever ou remettre à volonté, et d'un tube porte-vent B qui est introduit dans la trachée. Le patient peut changer comme il le veut la longueur et la nature de

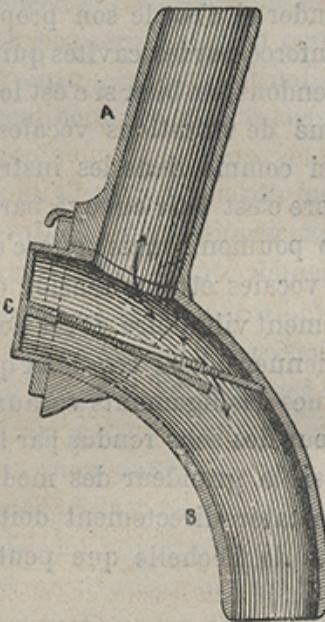


Fig. 1. — Coupe du tube vocal chez le patient de Glasgow (grandeur d'exécution). A, tube supérieur fixant l'anche et le bouton C; B, tube inférieur fixant l'anche vibrante, de sorte qu'il a un grand nombre de voix à sa disposition, et c'est chose très instructive, dit M. Foulis, que

qu'à mesure que l'on tend les rubans vocaux ou qu'on diminue la longueur de leur partie vibrante, le son s'élève de plus en plus. Il reste à indiquer par quel mode physiologique se font ces variations dans les qualités physiques de l'anche laryngienne. Les muscles décrits dans le chapitre anatomique de ce travail entrent ici en jeu, et c'est par la combinaison de leurs actions individuelles que toutes ces variations nécessaires sont produites. Les muscles crico-aryténoïdiens et thyro-aryténoïdiens ont une influence prépondérante. Les premiers tendent les cordes vocales par le mouvement de bascule imprimé au thyroïde, les seconds contribuent à augmenter cette tension par un autre mécanisme. Car, comme le dit M. Helmholtz, « la modification de tension « des cordes vocales peut être augmentée, non seulement « par l'écartement de leurs points d'attache sur les carti- « lages du gosier, mais aussi par la contraction volontaire « des fibres musculaires qu'elles contiennent. »

« d'étudier les variations de timbre de voix en changeant d'anche « d'un moment à l'autre. Les notes les plus douces et peut-être « les plus naturelles, sont données par les anches non métal- « liques; les anches métalliques donnent des sons plus bruyants. « Avec la même cavité buccale, nous avons le timbre d'un ténor « ou d'un baryton communiqué à la voix grâce à l'emploi de telle « ou telle anche; ce fait tend à confirmer l'opinion déjà exprimée « par des juges compétents, à savoir que le timbre de la voix hu- « maine dépend autant de la densité, de l'élasticité et des autres « qualités des cordes vocales que de l'accentuation d'ondes so- « noires particulières dans la cavité buccale. »

Quant à l'articulation du patient, elle est vraiment merveilleuse, d'après des témoins auriculaires, et à part une certaine monotonie dans l'intonation, on ne peut la distinguer de la voix naturelle.

La figure ci-jointe indique avec plus de détails et au moyen de schémas les actions des différents muscles.

En A est représenté le mouvement de bascule, précédemment décrit, que le cartilage thyroïde effectue sur

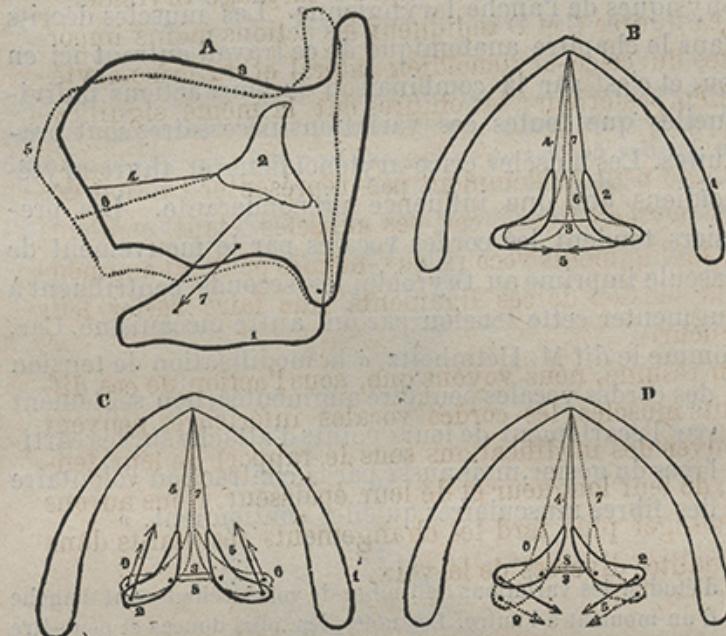


Fig. 2. — Action des muscles du larynx. (Beaunis et Bouchard¹).

le cricoïde. Les deux lignes, l'une pleine, l'autre ponctuée, indiquent les deux directions extrêmes ; 7 est la direction de la force engendrée par la contraction du muscle (1).

B représente l'action de l'aryténoidien postérieur.

(1) D'après un mémoire de M. Martel publié dans les *Archives de physiologie normale et pathologique*, 15 mai 1883, l'action du muscle thyro-cricoïdien ne serait pas telle que nous l'avons indi-

Les positions extrêmes des cordes vocales sont indiquées par les chiffres 4 et 7; 2 et 6 montrent les mêmes positions prises par les cartilages arytenoïdes; 5, la direction de la force; 1, la coupe du cartilage thyroïde.

Les figures C et D indiquent les actions moins importantes du crico-arytenoïdien latéral et du crico-arytenoïdien postérieur; les chiffres ont la même signification.

On ne peut évidemment pas représenter l'action des thyro-arytenoïdiens, car, ces muscles étant contenus dans les ligaments vocaux eux-mêmes peuvent augmenter la tension de ces ligaments sans faire varier leur longueur.

En résumé, nous voyons que, sous l'action de ces différents muscles, les cordes vocales inférieures peuvent éprouver des modifications sous le rapport de leur tension, de leur longueur et de leur épaisseur. Nous aurons à envisager plus tard les changements résultants dans les qualités diverses de la voix.

Intensité des sons vocaux. — D'après les lois de l'acoustique, l'on sait que l'intensité d'un son dépend de l'amplitude des oscillations du corps vibrant; ainsi, l'intensité du son rendu par une corde diminue à mesure que le fuseau qui représente à nos yeux le lieu de toutes les

oscillations de cette corde devient plus étroit et plus étendue, d'après les travaux d'un grand nombre de physiologistes; le mouvement résultant de l'action de ce muscle ne serait pas effectué par le thyroïde, mais en sens inverse par le cricoïde, seul mobile. Ce résultat a été donné à M. Martel par l'inscription directe des mouvements de ces cartilages.

positions de la corde s'effile et s'amincit; il en est de même pour les verges vibrantes. Les lois qui régissent l'intensité des sons rendus par des tuyaux ne sont plus déjà aussi simples; cette qualité du son dépend bien toujours, il est vrai, de l'amplitude de l'onde aérienne, mais le moyen d'augmenter ou de diminuer cette amplitude n'est plus si bien à notre portée. On constate, en effet, que, si l'on fait parler un tuyau à bouche, les variations dans la vitesse du courant d'air ne sont pas seulement suivies de variations de même sens dans l'intensité du son rendu, mais que, pour des écarts assez faibles, la hauteur change en même temps; le tuyau *octavie*. Pour les tuyaux à anches battantes, la hauteur n'est pas indépendante non plus de la vitesse de l'air qui les anime; les tuyaux à anches libres seuls suivent rigoureusement la loi indiquée pour les cordes et pour les verges vibrantes. C'est, d'ailleurs, à cause de cette propriété que l'on emploie exclusivement les anches libres dans la construction des orgues. L'organiste peut, en effet, faire varier la pression de l'air dans le soufflet, par conséquent l'intensité des sons émis par les tuyaux qui parlent, et rendre ainsi son jeu expressif; tandis qu'il ne pourrait le faire avec des tuyaux à anches battantes sans amener, par ce fait, une horrible cacophonie.

Les anches membraneuses, comme nous l'avons vu dans le premier chapitre, ne suivent pas de loi précise qui relie l'intensité du son qu'elles rendent à la vitesse du courant d'air. Nous savons cependant que, en même temps que l'intensité, la hauteur du son change si l'on modifie cette vitesse. Les expériences de Müller à ce sujet ont été très nombreuses et nous avons rapporté les

conclusions auxquelles il avait été conduit. Dans ses expériences sur les larynx de cadavre, Muller mesurait la pression de l'air de sa soufflerie au moyen d'un manomètre; en notant l'indication fournie par ce manomètre et le son rendu par le larynx, il a pu constater que : « A tension égale des cordes par un poids, la force plus grande du souffle élève le ton jusqu'à près d'une quinte. » Il suit de là, continue Muller, qu'on peut employer deux procédés pour faire sortir un seul et même son *x* d'un larynx humain; le premier consiste à souffler doucement et tranquillement, cas dans lequel les cordes vocales doivent avoir une longueur et une tension *y*, telles que leur son fondamental soit le son *x* que l'on cherche; l'autre consiste, les cordes vocales ayant la longueur et la tension voulues pour produire un son fondamental plus grave dans les limites de l'octave immédiatement au-dessous, à leur faire rendre le son plus élevé par la force qu'on donne au souffle. Les deux sons diffèrent beaucoup l'un de l'autre quant à l'éclat. Celui que l'on forme en soufflant doucement est bien plus plein que celui qu'on obtient en soufflant plus fort avec une tension primitive moindre. » Avant Muller, Lehfeldt et Liscovius avaient constaté de même que les variations de vitesse dans le courant d'air se font sentir aussi sur la hauteur du son rendu par le larynx. En appliquant directement à la voix chantée les principes indiqués par Muller, on voit que, lorsqu'un chanteur passe sur une même note du *forte* au *piano*, il faut que les conditions de tension de ses cordes vocales soient changées. En effet, à cause de l'expression à donner à la note musicale, le jeu des muscles expirateurs doit diminuer la pression

intra-pulmonaire; or, nous venons de voir que la hauteur du son laryngien baisse par le même fait; il faut donc nécessairement, pour que le chanteur ne détonne pas, que la tension de ses cordes vocales augmente. C'est à ce phénomène particulier que Muller et les physiologistes qui l'ont suivi ont donné le nom de *compensation*. D'après Muller, les muscles qui entreraient en jeu pour opérer cette compensation seraient surtout les thyro-aryténoidiens. Mais une autre modification du larynx concourt à la production de ce phénomène, c'est la diminution ou l'élargissement de l'ouverture de la glotte.
« Si par la faiblesse du souffle, dit Muller, le son devient plus grave pour le *piano*, le rétrécissement de l'isthme inférieur de la glotte le rend plus aigu pour le *forte*, l'élargissement de l'isthme doit le rendre plus grave. »

Longet et Dodart ont aussi indiqué, pour expliquer les variations d'intensité du son laryngien sur la même note, un phénomène de compensation, qui, quoique ne ressemblant pas complètement à celui de Muller, s'en rapproche cependant par plusieurs points. Enfin l'explication du même fait par M. Fournié est toute différente. Pour lui, il n'y a plus de compensation qui s'établisse : « Une seule chose est changée, dit-il, c'est l'énergie de l'impulsion du souffle à travers la glotte. Le souffle faible produit les sons faibles, le souffle fort produit les sons intenses. Le larynx rentre ainsi dans l'ordre de tous les corps sonores, et si l'on désire qu'il se montre en toute circonstance supérieur à ces derniers, nous trouvons ici cette suprématie dans l'action vitale qui permet à la membrane vocale de résister à une pression excessive de l'air sans changer de ton. »

Les déterminations que l'on a faites de l'intensité de la voix humaine nous semblent ne pas reposer sur des données précises. Ainsi, certains auteurs indiquent, comme procédé de mesure de cette intensité, l'évaluation de la distance à laquelle la voix en question est entendue par une oreille sensible, et donnent comme distance maxima celle de 1 kilomètre au niveau de la mer. Pour que des déterminations ainsi faites fussent comparables entre elles, il nous semble qu'on devrait tenir compte d'un trop grand nombre de circonstances concomitantes, et que, d'ailleurs, l'élévation des sons émis et leur timbre doivent avoir une influence qui n'est pas à négliger.

Les différences d'intensité de la voix, au sommet des hautes montagnes ou dans la plaine, dans les gaz raréfiés ou dans les gaz comprimés, dans les gaz de faible ou de grande densité, peuvent recevoir une explication toute physique. En effet, comme, en somme, l'intensité de la perception auditive dépend de l'amplitude des vibrations de la membrane du tympan, et que c'est d'après cette perception que nous jugeons de la force de la voix ; plus les déplacements de la membrane seront considérables, plus nous jugerons que le son de la voix qui les produit est intense. Or, ces déplacements sont proportionnels à la force vive que possède la couche gazeuse qui est en contact avec la membrane ; donc pour diverses couches, animées de vitesses égales, les déplacements sont proportionnels aux densités de ces couches.

Hauteur des sons vocaux. — Nous savons, d'après ce qui précède, que la hauteur des sons rendus par le la-
Bergonié.

rynx dépend du degré de tension des cordes vocales et aussi de l'état de contraction ou de relâchement des muscles thyro-aryténoïdiens contenus dans leur intérieur. On sait de plus, par les expériences de Muller, que l'on ne peut faire rendre à un larynx de cadavre que des sons contenus dans la partie moyenne de l'échelle diatonique ; il est donc facile de s'expliquer par ces considérations, pourquoi les sons vocaux ne peuvent s'élever au-dessus d'une certaine note nommée limite supérieure, ni descendre au-dessous d'une autre note nommée limite inférieure. L'intervalle compris entre ces deux notes extrêmes contient tous les sons rendus par l'organe vocal ; on lui a donné le nom *d'étendue*.

On conçoit que, pour des larynx différents, l'étendue de la voix ne soit pas la même, et l'observation de chaque jour nous montre de grandes différences de hauteur entre les sons émis par des larynx d'homme, de femme et d'enfant. Les notes extrêmes limitant l'étendue de ces voix ne sont pas identiques, mais ce qui est remarquable c'est que l'intervalle limité par ces notes varie peu avec les différentes voix. Cet intervalle comprend un peu moins de deux octaves pour des voix non exercées ; pour des voix ayant été cultivées, l'étendue peut être beaucoup plus considérable. On cite à ce sujet des chanteurs et des cantatrices dont les voix avaient une étendue tout à fait extraordinaire. La voix du maître de chapelle Gaspard Forster s'étendait sur trois octaves (de *la₁* à *la₃*) ; la plus jeune des sœurs Sessi possédait une voix de contralto qui embrassait trois octaves et demie de *ut₂* à *fa₃*). La Catalani commandait également trois octaves et le célèbre castrat Farinelli allait du *la* au *ré₃*.

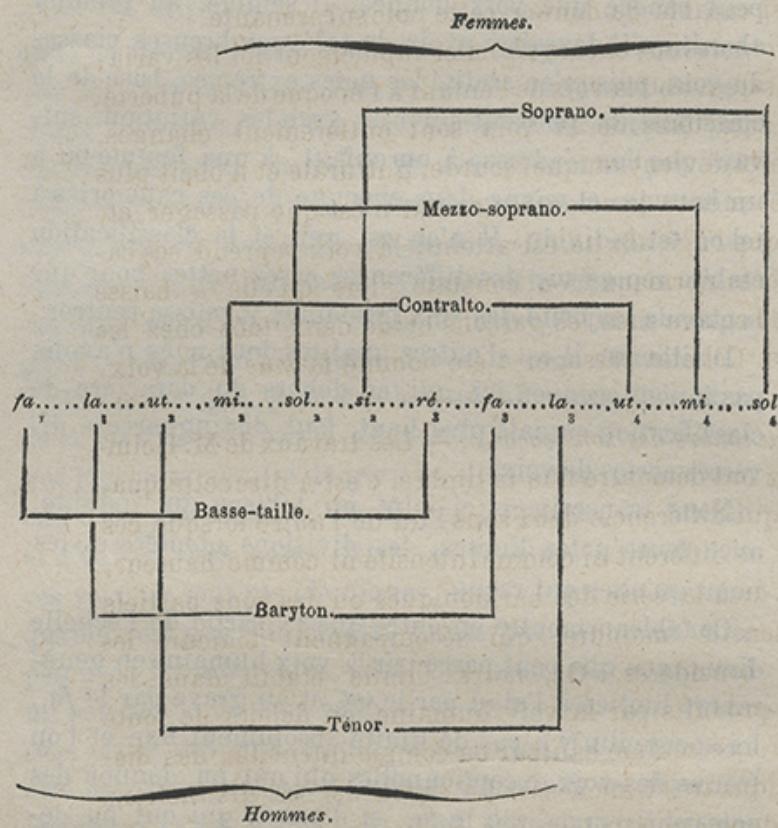
La classification des voix est faite; en musique, en prenant pour point de départ les positions réelles occupées dans l'échelle diatonique par les notes extrêmes que peut rendre une voix donnée. Il semble, au premier abord, qu'il devrait y avoir de très nombreuses classes de voix, puisqu'en réalité les notes extrêmes, base de la classification, peuvent subir de grandes variations suivant que l'on s'adresse à un enfant, à une femme ou à un homme, et même dans chacune de ces catégories à tel ou tel individu. Il n'en est rien, et la classification établie repose sur des différences assez nettes pour que la grande majorité des voix humaines y puisse rentrer.

D'ailleurs, il est d'autres qualités dont nous n'avons pas à nous occuper ici, qui, en dehors du caractère de classification signalé plus haut, font distinguer ces diverses sortes de voix.

Nous transcrivons ci-joint un tableau qui indique, avec leurs notes limites, les divisions adoptées et les noms qu'elles ont reçus.

Ce tableau montre en outre que la partie de l'échelle diatonique que peut parcourir la voix humaine en général est limitée à l'aigu par le *sol₄* et au grave par le *fa₁*. Ici encore il n'y a pas de limite absolument fixe et l'on trouve des voix exceptionnelles qui ont pu donner des notes plus graves que le *fa₁*, et d'autres qui ont pu dépasser le *sol₄*. Nous citerons, comme exemple, trois *basses*, les frères Fischer, qui vivaient au seizième siècle, à la cour de Bavière, et un nommé Grasser, cité par Prætorius, qui donnaient le *fa₄*, l'octave grave de la note limite précédemment indiquée. Certaines cantatrices dépassent aussi de beaucoup la limite supérieure du *sol₄*.

assignée aux voix ordinaires de soprano. Ainsi la Nilsson, dans le rôle de la Reine de la Nuit de la Flûte en-



chantée, donne le *fa*₃, il en est de même de la Patti. Mais la voix la plus étonnante qui ait existé est certainement celle de Lucrezia Ajugari, dite la Bastardella, dont parle Mozart. Ce musicien l'entendit à Parme, en

1770, chanter des passages dont la note la plus élevée était l'*ut*. On rapporte encore qu'une certaine dame Becker, qui chantait à Saint Pétersbourg, en 1823, était aussi capable de donner cette note surprenante.

Nous devons encore signaler rapidement ici les variations que subit la voix de l'enfant à l'époque de la puberté. Les caractères de la voix sont entièrement changés, celle-ci devient rauque, sourde, gutturale et n'obéit plus exactement à la volonté. Cet état n'est que passager, et, lorsque l'âge adulte est atteint, la voix reprend ses caractères normaux; on constate alors qu'elle a baissé d'une octave chez les garçons et de deux tons chez les filles. Cet état passager a été nommé la *mue* de la voix.

Du timbre des sons vocaux. — Les travaux de M. Helmholtz ont démontré que le timbre, c'est-à-dire cette qualité qui différencie deux sons l'un de l'autre lorsque ces sons ne diffèrent ni comme intensité ni comme hauteur, était dû à la série des harmoniques ou des sons partiels d'intensité moindre, qui accompagnent toujours les sons considérés. Or, notre oreille établit dans les sons produits par la voix humaine, en dehors de toute différence comme hauteur ou comme intensité, des distinctions très tranchées. La cause de ces distinctions doit donc être attribuée à la qualité spéciale connue sous le nom de timbre. Mais, parmi ces différences que notre oreille établit, nous pouvons constater que les unes se rapportent à des sons émis par la même personne, tandis que d'autres, au contraire, et ce sont celles que notre oreille perçoit le mieux, portent sur des sons émanés de personnes différentes. On sait, en effet, que le timbre

de voix d'un individu, ou, comme on le dit vulgairement, le *son de sa voix*, caractérise cet individu tout aussi bien que les traits de son visage. Il y a donc à considérer, dans l'étude du timbre de la voix humaine, les variations que subit cette qualité chez un même individu et celles que l'on rencontre lorsque l'on passe d'un individu à un autre, d'un larynx à un autre. Nous étudierons d'abord ce dernier cas.

Il est cependant un point qu'il est important d'indiquer avant ceux dont nous parlons : c'est la cause qui nous fait distinguer le son d'une voix humaine, quelle qu'elle soit, d'un son émis par un instrument quelconque. Comme toute différence de cet ordre doit se réduire à une inégalité dans le nombre ou l'intensité des sons harmoniques, d'après les travaux de M. Helmholtz (1), c'est par l'analyse de ces sons que nous pouvons nous rendre un compte exact des dissemblances qui nous frappent. Cette analyse a été faite par le savant physicien allemand et voici les résultats qu'il en a retirés : « Lorsque la voix résonne avec force, dit-il (2),

(1) Il résulte des travaux récents de M. Koenig que ce n'est point seulement par le nombre et l'intensité relative des harmoniques dans lesquels on peut décomposer un timbre déterminé, que ce timbre peut être caractérisé, mais que l'influence de la différence de phase de ces harmoniques n'est pas tellement faible qu'on puisse la négliger complètement. Il est donc permis de dire que, si des changements dans le nombre et l'intensité relative des harmoniques donnent lieu à des différences de timbre, telles qu'on les remarque dans les instruments appartenant à des familles différentes, les changements de la différence de phase entre les mêmes harmoniques sont encore capables de produire des différences de timbre au moins aussi sensibles que celles qu'on peut constater dans les instruments de la même espèce.

(2) Théorie physiologique de la musique, p. 136.

« les cordes vocales agissent comme des anches membranées, et, comme toutes les anches de ce genre, produisent une série de secousses aériennes, discontinues, nettement séparées, qui, considérées comme une somme de vibrations pendulaires, correspondent à un très grand nombre de vibrations de cette nature, et font par conséquent sur l'oreille l'effet d'un son formé d'une assez longue série d'harmoniques. Avec le secours des résonneurs, on peut reconnaître dans les notes graves de la voix de basse, chantées avec force sur des voyelles éclatantes (a ou é) des harmoniques très aigus allant jusqu'au 16^{me}, et dans l'émission un peu forcée de toute voix humaine les harmoniques aigus apparaissent plus nettement que sur tout autre instrument. »

Il resterait à faire par les mêmes procédés l'analyse des voix d'homme, de femme et d'enfant et à chercher si aux différences de structure anatomique constatées ne correspondent pas des différences dans la forme du mouvement vibratoire complexe qu'effectuent les anches vocales. Cette analyse n'a pas été faite à notre connaissance, et aucun auteur n'a indiqué que certains harmoniques particuliers caractérisent, par exemple, les voix d'hommes, tandis que d'autres sont surtout rendus par les voix de femmes. Il en est de même pour les timbres qui peuvent être distingués chez un même sexe. On sait en effet que la classification des voix d'hommes, en ténor, baryton, basse, et celle des voix de femme en soprano, mezzo-soprano et contralto, ne reposent pas seulement sur le caractère donné par la position des notes extrêmes dans l'échelle diatonique, mais que, comme

l'a très bien fait remarquer M. Bataille, leur timbre ne permet pas de les confondre quand elles attaquent les régions de l'échelle musicale qui leur sont communes.

« Pour une oreille exercée, dit-il, il n'y pas de confusion possible entre ces types divers; autant vaudrait confondre le son d'une contrebasse avec celui du violoncelle, et le son de la clarinette avec celui du hautbois. »

Ce ne sont pas encore là toutes les variations dans le timbre qu'il est possible de constater d'individu à individu; il y en a un grand nombre d'autres qu'une oreille exercée peut distinguer. Ainsi, dans la classe des voix de baryton, par exemple, on trouve des timbres éclatants ou mordants, et d'autres qui sont doux et sans relief. L'explication générale des différences de timbre s'applique encore dans ce cas. « L'intensité des harmoniques, surtout les plus élevés, dit à ce sujet M. Helmholtz, est soumise à d'assez grandes variétés individuelles. Chez les voix mordantes et éclatantes, elle est plus grande que chez les voix douces et sombres. Le timbre particulier des voix mordantes tire peut-être son origine de ce que les bords des cordes vocales ne sont pas assez polis ou assez droits pour pouvoir former entre eux une fente étroite rectiligne sans se heurter l'un à l'autre, ce qui rapproche davantage le gosier des instruments à anches battantes qui ont un timbre beaucoup plus mordant, tandis que, normalement, les cordes vocales sont des anches libres. »

Il nous reste maintenant à étudier les variations de timbre que par l'action de la volonté un individu peut imprimer aux sons de sa voix. Ces variations sont assez nombreuses, mais il est deux timbres, beaucoup

plus importants que les autres, qui forment, pour ainsi dire, deux voix distinctes d'un même larynx et sur lesquels il est important d'insister davantage : nous voulons parler de la *voix de poitrine* et de la *voix de faucet* ou *de tête*. Ce ne sont pas, en réalité, deux voix distinctes, car, elles peuvent empiéter l'une sur l'autre; aussi a-t-on employé pour les désigner une expression empruntée à la langue technique des facteurs d'orgue, et appelle-t-on la première *registre* de poitrine et la seconde *registre* de faucet ou de tête. Ces désignations ne doivent rien faire préjuger touchant le lieu de formation des sons qui leur correspondent, et nous verrons que, ni la tête ni la poitrine n'ont rien à voir dans leur production. Les sons appartenant au registre de poitrine sont plus pleins, plus sonores que ceux appartenant au registre de faucet; de plus, bien que ces registres soient superposés dans les parties extrêmes de leur étendue, ils se dépassent beaucoup mutuellement, le registre de poitrine du côté des sons graves, celui de faucet du côté des sons aigus. Il résulte de ce fait que la même voix peut émettre les sons qui composent une partie restreinte de son étendue, à la fois dans l'un et l'autre registre, et même que, sans changer la note, les chanteurs habiles peuvent passer, sans discontinuité, de la voix de poitrine à la voix de faucet. Ce passage est très sensible chez l'homme, car les deux timbres sont assez différents; chez la femme, il n'en est pas de même, et l'on rencontre chez elle des voix exercées avec lesquelles on ne peut saisir de passage d'un registre à l'autre. D'ailleurs les deux registres paraissent différer de plus en plus à mesure

qu'on les considère chez des voix plus graves; mais là, encore, les exceptions à la règle sont nombreuses, et l'on cite des basses-tailles telles que Lablache, Géraldi, Levasseur, dont le registre de faucet était fort étendu.

Il reste à se demander à quelles différences physiologiques, et à quelles modifications physiques dans l'anche vocale correspondent ces variétés de timbre. Nous constaterons d'abord que les auteurs ne sont pas d'accord le moins du monde à ce sujet. Pour la voix de poitrine il est généralement admis que les cordes vibrent dans toute leur longueur, et que par une modification dans la tension on arrive à obtenir les divers sons de ce registre, mais, pour la voix de faucet, il n'en est plus de même et les opinions diffèrent. Ferrein paraît être le premier qui ait observé deux modes de vibrations des rubans vocaux. « Les cordes vocales, dit-il, n'étant pas « d'elles-mêmes aussi libres et aussi mobiles que celles des « instruments ordinaires, ne cèdent souvent qu'en partie, « lorsque le vent n'a pas assez de prise sur elles : quelquefois le bord inférieur est en repos ; quelquefois les extrémités n'agissent pas, parce que ces endroits sont plus « gênés que le reste. Dans le premier cas, c'est une corde « plus grêle qui sonne; dans le second, c'est une corde « plus courte. » Malgaigne essaya de trouver des différences dans le fonctionnement physiologique de l'instrument vocal correspondant aux timbres des deux registres. Il donne même une théorie de la voix de faucet, qui basée sur des mouvements du larynx et du voile du palais, est tout à fait inadmissible. On ne voit pas, dans la substitution d'un *tuyau double* à un *tuyau simple et conique*,

que Malgaigne indique comme la cause du changement de registre, une condition nécessaire et suffisante à la production de sons aussi élevés que ceux de la voix de faucet.

Muller, dans les expériences sur les larynx détachés, que nous avons précédemment décrites avec détails, put faire rendre, en augmentant progressivement la tension des cordes vocales, une série de sons allant du *si*₁ au *si*₂. Tous ceux compris dans l'intervalle de cette octave appartenaient au registre de poitrine et en avaient tous les caractères. En augmentant la tension à partir du *si*₂, Muller constata que le timbre avait complètement changé et que les sons obtenus avaient pris les caractères du registre de faucet. Mais ce physiologiste ne s'est pas tenu à cette expérience simple; il en a modifié autant que possible les conditions et est arrivé, sur l'action des divers muscles du larynx et leur passage de l'un à l'autre registre, à des conclusions très intéressantes que nous devons signaler. Le thyro-aryténoïdien, en plus de son action directe dans la tension des cordes vocales, peut rétrécir, par sa contraction, la partie supérieure de l'isthme. Ce rétrécissement permet au larynx de rendre des sons bien supérieurs au *si*₂, tout en restant dans le registre de poitrine; on le constate directement sur un larynx détaché, en reproduisant ce rétrécissement, tout en prenant garde de ne pas comprimer en même temps les rubans vocaux. « On voit, dit-il, que l'élasticité des lèvres de la glotte ne dépend pas seulement de la tension des cordes vocales, tant en avant qu'en arrière, mais qu'elle tient encore au degré de tension de leur pourtour musculeux. Les lèvres de la glotte ne se bornent

« pas aux ligaments élastiques ; elles sont, de plus, « ligamenteuses et élastiques en dedans, musculeuses en « dehors. » Du travail complet de Muller on peut tirer es conclusions suivantes, sur le sujet qui nous occupe :

1° A mesure que le son rendu par un larynx s'élève dans l'échelle diatonique, la tension des cordes vocales augmente ; mais à partir d'une certaine note le caractère des sons de poitrine disparaît, et la voix passe au registre de faucet.

2° Le moment de ce passage est retardé par la contraction simultanée des muscles thyro-aryténoïdiens, crico-thyroïdiens et crico-aryténoïdiens postérieurs.

3° Dans les sons de poitrine les plus élevés, l'excès de tension des cordes vocales est exclusivement produit par la pression latérale résultant de la contraction des muscles thyro-aryténoïdiens.

4° Dans les sons de faucet comme dans les sons de poitrine, *les cordes vocales vibrent dans toute leur longueur*. La seule différence qui existe, c'est que dans les sons de poitrine, la corde vocale vibre *dans toute son épaisseur*, tandis que, pour produire les sons de faucet, *le bord libre* de la corde entre seul en vibration.

Les conclusions des travaux de Muller ont été confirmées par les observations plus récentes et nous aurons à y revenir ; mais elles sont bien loin d'avoir été acceptées par tous les physiologistes. Les objections qu'on lui a adressées ne sont pas toujours, il est vrai, très solides au point de vue physique : témoin celle de M. Garcia, qui reproche à la théorie de Muller de rendre le larynx un instrument *plus restreint* pour les notes de faucet que pour celles de poitrine, tandis que chez certaines

voix de femmes la voix de faucet est prédominante. M. Garcia préfère à la théorie de Muller celle de M. Segond, d'après laquelle les rubans vocaux *supérieurs* joueraient le rôle de corps vibrants dans la voix de faucet, théorie corroborée d'ailleurs par une observation bien extraordinaire que lui-même a faite sur des paysans russes. Il raconte, en effet, avoir entendu ceux-ci chanter simultanément un air en voix de poitrine et un air en voix de tête (1). On voit par là combien cette dernière théorie s'accorde peu avec l'expérience décrite tout au long par Muller, dans laquelle ce physiologiste a pu sur un larynx détaché enlever toutes les parties qui surmontent les cordes vocales inférieures sans nuire en aucune façon à la production du son vocal.

MM. Diday et Pétrequin expliquent autrement la formation de la voix de faucet. Pour eux, la tension des ligaments vocaux augmentant à mesure que les sons vocaux s'élèvent, il arrive un moment où toute vibration de ces mêmes ligaments est impossible. La glotte

(1) Nous devons à M. le professeur Gariel une communication d'après laquelle le fait indiqué par M. Garcia ne serait pas aussi extraordinaire que nous le pensions. On a, en effet, pu entendre, il y a quelque temps, à Paris, un virtuose de café-concert qui émettait à la fois deux sons de hauteur très différente, l'un en voix de faucet, l'autre en voix de poitrine. Ces deux sons devaient, pour le public, imiter les deux voix du chanteur et de l'enfant de chœur dans un chant d'église. On pourrait aussi rapprocher de ce fait l'observation de cornistes (Viviez entre-autres) produisant deux sons à la fois; un par les vibrations de l'anche dans l'embouchure du cor, l'autre, probablement au moyen de la glotte, très distinct du premier.

se dispose alors comme l'est l'orifice de la flûte sur lequel on souffle, et c'est par le même mécanisme que la voix de tête est produite. Ces auteurs appuient leur doctrine sur certains faits d'observation qui ne nous paraissent pas avoir toute l'importance qu'ils veulent leur attribuer; de plus, les lois physiques qui d'après eux viendraient à l'appui de leur théorie ne sont pas nettement indiquées.

M. Edouard Fournié a donné aussi une théorie importante de la voix de faucet et a accumulé autour d'elle un grand nombre de preuves dont nous examinerons les principales. D'abord, il est une remarque anatomique que fait cet auteur et qui sert de base à ses déductions futures. Pour lui, en effet, la muqueuse est « unie par un tissu cellulaire très lâche à la membrane fibreuse dont elle se détache facilement, elle présente sur les bords libres des rubans vocaux, la partie libre des languettes métalliques, et le souffle *le plus léger* suffit pour la faire vibrer. L'anche humaine est donc constituée par deux rubans étendus horizontalement d'avant en arrière dans la cavité laryngienne et séparés par un intervalle elliptique ou linéaire, par lequel l'air des poumons s'échappe en les faisant vibrer. Ces rubans, très épais sur les côtés qui les unissent aux parois du larynx, s'amincent à mesure qu'on les considère plus près de leur partie interne, et c'est cette *dernière partie seule*, formée par un *pli* de la muqueuse qui fournit les vibrations sonores. » Le même auteur insiste encore davantage sur cette structure particulière des rubans vocaux à l'extérieur desquels « on trouve la muqueuse, au-dessous d'elle une membrane fibreuse

« blanche nacrée très élastique, qui recouvre à son tour
« un faisceau musculaire, le faisceau inférieur des
« muscles thyro arytenoïdiens. Les différentes parties
« sont unies entre elles par un tissu cellulaire plus
« ou moins serré; mais, sur le bord interne des ru-
« bans, la muqueuse est si faiblement unie à la fi-
« breuse sous-jacente, que, dans quelques cas, l'on peut
« croire que ces deux membranes sont séparées par une
« cavité close. Il résulte de cette disposition que, sous
« l'influence du passage de l'air, à travers la fente glot-
« tique, la muqueuse se détache facilement de la fibreuse,
« et qu'elle peut vibrer dans l'intervalle qui sépare les ru-
« bans vocaux: c'est à la vibration de cette partie, à
« l'exclusion de toute autre, que nous attribuons la pro-
« duction des sons de la voix. »

Il est à remarquer que ce dédoublement muqueux si particulier et si nécessaire pour M. Fournié dans la production du son par les anches vocales, se retrouve encore, d'après le même auteur, dans les anches labiales qui font parler les instruments *d'embouchure*.

Nous citerons, à ce sujet, le texte de M. Fournié, craignant de ne pas reproduire exactement ses idées :
« Pour être apte à vibrer comme une anche, dit-il, un corps doit réunir deux conditions : une certaine rigidité jointe à une élasticité facile à être mise en action.
« Au premier abord nous ne trouvons aucune de ces conditions dans les lèvres, mais en y regardant de plus près, nous verrons que l'orbiculaire des lèvres se contracte et acquiert une certaine rigidité. Grâce à cette contraction, la muqueuse qui le recouvre et qui lui est unie par un tissu cellulaire très lâche, se détache

« en quelque sorte de la surface rigide du muscle, et
« vibre, comme une simple languette, sous l'influence
« du passage de l'air. La longueur de cette languette
« d'abord limitée par les dimensions de l'embouchure,
« peut être diminuée encore davantage par la contrac-
« tion de l'orbiculaire, et dès lors elle fonctionne d'après
« les mêmes lois que les anches de caoutchouc dont
« nous venons de donner la description. » Nous relève-
rons dans cette théorie de M. Fournié, sur le mode
vibratoire en général des anches membraneuses, une
contradiction qui a déjà été signalée par M. le professeur
Gavarret, mais qui, après les citations que nous venons
de faire, paraîtra encore plus flagrante au lecteur. Dans
l'anche labiale, par exemple, la muqueuse qui, grâce à
la contraction de l'orbiculaire, se *détache* de la surface
rigide de ce muscle est ensuite tendue par la même con-
traction. Il est, il nous semble, impossible d'admettre
des résultats si différents d'une même action. Quant au
point de vue anatomique sur lequel s'appuie M. Four-
nié, il est aussi fort contestable. Car, la seule partie de
la muqueuse labiale qu'il soit possible de mettre en cause
est évidemment la partie horizontale ; or, nous lisons dans
le livre de M. le professeur Sappey : « La portion hori-
zontale est plus mince que la précédente (portion verti-
cale), demi-transparente et *intimement unie au muscle*
orbiculaire, dont elle laisse entrevoir la couleur..... »
Ceci démontre qu'il y a là un point important à vérifier,
car toutes les déductions physiologiques de M. Fournié
dépendent.

Quant à ce qui a trait aux registres de la voix, M. Four-
nié en admet un troisième qu'il appelle *voix mixte*, dont

la formation serait caractérisée d'après lui : 1^o par une glotte très longue, mesurant tout l'espace compris entre le thyroïde et le bord supérieur du cricoïde ; 2^o par l'intervention spéciale d'un muscle qui en dilatant légèrement la glotte en arrière, exerce une légère tension sur les rubans vocaux ; ce muscle est le crico-aryténoïdien postérieur. Enfin, le caractère physique de ce registre serait une *sonorité adoucie*, si on le compare à celle du registre de poitrine, et plus *percante, criante presque*, si on le compare au registre de faucet.

Pour la production des sons appartenant au registre de faucet, la disposition de l'organe vocal est tout autre suivant le même auteur : 1^o les lames latérales du thyroïde sont rapprochées ; 2^o le diamètre transversal du larynx est diminué par la mise en jeu des puissances musculaires ; 3^o dans les notes graves du registre de faucet, la tension des cordes est faible.

Nous n'irons pas plus loin dans la critique des idées de M. Fournié, renvoyant le lecteur à l'alinéa spécial consacré par M. Gavarret à cette critique dans son livre : *Des Phénomènes physiques de la phonation et de l'audition* (1).

La théorie qu'indique M. Helmholtz de la différence de timbre des deux registres, rattacherait ce phénomène à un fait purement physique. Ce savant pense, en effet, que le tissu mou, situé au-dessous des cordes vocales, vient charger la partie vibrante de celles-ci au moment où les sons de poitrine se produisent. « Au-dessous des « fibrilles particulièrement élastiques des cordes vo-

(1) Loc. cit., p. 566 et suiv.
Bergonié.

« cales, dit-il (1), se trouve un tissu très mou, humide, non élastique, qui, vraisemblablement, joue un rôle dans la voix de poitrine, en chargeant les cordons élastiques, et en ralentissant leurs vibrations. La voix de tête prend vraisemblablement naissance lorsque la membrane muqueuse située entre les cordes vocales est tirée de côté, ce qui rend plus tranchant le bord des cordons, diminue le poids de la partie vibrante, tandis que l'élasticité reste la même. »

Cette action serait donc analogue à celle des masses mobiles que l'on promène sur les branches de certains diapasons inscripteurs pour modifier leur nombre de vibrations. L'explication est assez séduisante; cependant en admettant même, ce qui semble difficile, que le poids de ce tissu soit assez considérable pour modifier aussi fortement les conditions de vibration, on ne se rend pas très bien compte du mouvement du tissu en question du bord tranchant des cordes vocales jusqu'à leur partie adhérente.

M. Mandl a aussi indiqué une explication des variétés de timbre qui, basée sur de nombreuses observations laryngoscopiques, présente une certaine originalité. « Dans les sons les plus graves, dit-il, l'orifice glottique a la forme d'un ellipsoïde très allongé, se terminant en avant et en arrière en pointe. Au fur et à mesure que l'on monte dans l'échelle diatonique, les lèvres se rapprochent, la glotte se rétrécit pour devenir finalement presque linéaire, le rétrécissement excessif ne peut s'opérer que par une forte constriction, ce qui

(1) Loc. cit., p. 133.

« explique la fatigue qui survient dans l'émission des
« sons les plus élevés de la poitrine, surtout s'ils sont
élevés et si les sons sont émis de la poitrine, sans
utilisation de la voix de tête. »



(Fig. 3.)

Voix de poitrine; sons graves (Mandl).

b, Bourrelet de l'épiglotte. — *or*, Orifice glottique. — *rs*, Corde vocale supérieure. — *ri*, Corde vocale inférieure. — *rap*, Repli ary-épiglottique. — *ar*, Cartilages arytenoïdes.

« émis pendant quelque temps et d'une manière suivie (1). »

Nous indiquons par les figures ci-jointes d'après M. Mandl, les modifications qui se produisent dans l'ouverture de la glotte lorsque des sons appartenant aux diverses régions du registre de poitrine sont émis.



(Fig. 4)

Voix de poitrine; médium (Mandl).



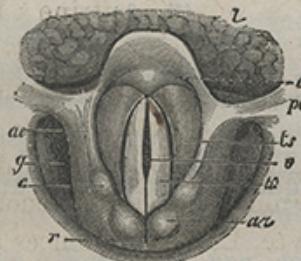
(Fig. 5)

Voix de poitrine; sons aigus (Mandl).

ol, Glotte ligamentuse. — *orc*, Glotte interaryténoidienne. — *b*, Bourrelet de l'épiglotte. — *rs*, Corde vocale supérieure. — *ri*, Corde vocale inférieure. — *ar*, Cartilage arytenoïden. — *rap*, Repli ary-épiglottique. — *ir*, Repli interaryténoidien.

(1) Mandl. *Hygiène de la voix*, p. 37 et suiv.

L'analyse laryngoscopique des mouvements du larynx pendant l'émission de la voix de faucet a permis à ce même auteur de déterminer la cause qui d'après lui produirait ces mouvements. « Toute la partie postérieure de la glotte est fermée, dit-il, par suite d'un mouvement particulier des cartilages arytenoïdes que j'ai décrit pour la première fois. Dans les sons élevés



(Fig. 6)

Voix de tête; sons graves (Mandl).

l, Langue. — e, Epiglotte. — pe, Repli pharyngo-épiglottique. — ae, Repli ary-épiglottique. — ts, Cordes vocales supérieures. — ti, Cordes vocales inférieures. — g, Gouttières pharyngo-laryngées. — ar, Cartilages arytenoïdes. — c, Cartilages cunéiformes. — o, Glotte vocale. — r, Repli intér Aryténoïdien.

« de ce registre, j'ai vu aussi les replis supérieurs et la base de l'épiglotte s'appliquer sur les lèvres vocales et agir d'une manière analogue à la rasette, en diminuant la longueur et la largeur de la portion vibrante. »

La figure ci-dessus indique d'après M. Mandl la forme de la glotte pendant l'émission de la voix de faucet.

Nous devons à M. Donders une explication répondant mieux que les précédentes à toutes les particularités que présente la différence de timbre qui nous occupe. Elle

s'applique, en effet, aussi bien à la différence de timbre considérée en elle-même qu'à la différence de hauteur moyenne des sons des deux registres; de plus, elle fait comprendre comment ces registres peuvent empêter l'un sur l'autre et, chose importante, n'est en désaccord en aucun point avec les données anatomiques et physiologiques que nous connaissons. Le point essentiel de la théorie de M. Donders est celui-ci : lorsqu'un chanteur passe de la voix de poitrine à la voix de faucet, la partie vibrante de l'anche vocale change de longueur, sa partie fixe qui était située, dans le premier cas, tout contre la paroi des cartilages, s'avance vers l'axe de la cavité laryngienne, et un nœud de vibration se forme à l'union du muscle thyro-aryténoïdien avec la fibreuse qui le recouvre. Les conséquences à tirer de cette modification de l'instrument vocal sont les suivantes : le changement de timbre est tout naturel, nous avons affaire à deux anches de masse et de dimensions inégales, le mouvement vibratoire complexe est différent et ses vibrations composantes le sont également.

La hauteur moyenne des sons rendus dans les deux cas doit être plus élevée dans le second, car, à égalité de tension, l'épaisseur de l'anche est beaucoup moindre; enfin, l'intensité du son rendu, *le volume de voix*, qui, comme toutes les intensités en acoustique, doit être forcément en rapport avec la masse vibrante, doit l'emporter encore dans le premier cas pour l'anche vibrant dans toute sa largeur et son épaisseur. Toutes ces déductions que l'on peut tirer de la théorie de M. Donders sont absolument conformes aux données expérimentales. Mais cette explication du savant profes-

seur d'Utrecht n'aurait pas grande valeur, si elle n'était fondée sur une donnée physiologique appropriée, si, en un mot, ce changement dans la longueur de l'anche laryngienne n'était qu'une simple hypothèse, en désaccord avec les faits acquis, ou impossible à vérifier expérimentalement. Il n'en est pas ainsi, et la donnée physiologique très simple invoquée satisfait exactement à toutes les conditions exigées. M. Donders admet en effet que, les cordes vocales étant toujours tendues par les muscles crico-thyroïdiens et crico-aryténoïdiens postérieurs, le muscle thyro aryténoïdien acquiert par sa tension, lorsque la voix de poitrine est émise, une certaine force élastique qui le rend susceptible d'être mis en vibration par le courant gazeux, d'où vibration totale de l'anche; dans la voix de faucet, au contraire, ce muscle est relâché, sa consistance, comme celle de tous les muscles au repos, le rend incapable d'entrer en vibration, et l'anche n'est plus constituée de ce fait que par les tuniques fibreuse et muqueuse qui le recouvrent. Le fait expérimental bien connu qui vient à l'appui de la théorie de M. Donders est cette sensation de *détente* que tous les chanteurs ressentent lorsqu'ils passent, dans les notes élevées, du registre de poitrine à celui de faucet; cette sensation accuse évidemment un relâchement de la partie musculaire du larynx.

Enfin, avec l'explication signalée plus haut, on comprend que les deux registres puissent avoir des notes communes; de même en effet que, sur le sonomètre, on peut accorder à l'unisson deux cordes d'inégal diamètre ou d'inégale densité, pourvu que leur tension soit dans le rapport indiqué par la loi physique; de même

les deux anches distinctes qui donnent naissance, l'une à la voix de poitrine, l'autre à la voix de faucet, peuvent, si l'on compense par des tensions différentes leur inégalité de constitution, donner un même nombre de mouvements vibratoires.

Il y a cependant dans la théorie de M. Donders un point faible qui, quoique de second ordre, doit être signalé. « Dans la voix de poitrine, dit cet auteur, aussi « bien que dans la voix de faucet, on voit les vibrations pour les *sons élevés* se limiter à *la glotte proprement dite*, tandis qu'elles s'étendent pour les *sons graves* « aux *apophyses antérieures des cartilages arytenoïdes*. »

Or, d'après les physiologistes, cette partie de la glotte dont parle M. Donders, *partie intercartilagineuse*, ne serait utile que dans les phénomènes respiratoires, et jamais à l'aide du laryngoscope on n'aurait constaté sur elle de mouvements vibratoires. Cependant, d'après l'opinion formulée par M. le professeur Gavarret (1), « cette extension du mouvement vibratoire n'est pas en elle-même inadmissible. En effet, on comprend que dans l'émission des sons graves les apophyses antérieures des cartilages arytenoïdes, quoique très rapprochées, ne se touchent pas et s'associent aux vibrations des rubans vocaux; c'est par un mode de transmission analogique, dans le violon et le violoncelle, les vibrations de la corde attaquée par l'archet envahissent les parties solides de l'instrument. Ce serait sans doute un cas fort intéressant de communication du mouvement vibratoire par contact; mais la hauteur du son rendu

(1) Loc. cit., p. 347.

« resterait, comme toujours, réglée par les rubans vocaux ; car le mouvement vibratoire, en se propageant des cordes vocales aux apophyses antérieures des cartilages arytenoïdes, ne change pas de période. »

Quoi qu'il en soit, la théorie de M. Donders nous semble non seulement rendre compte de tous les phénomènes constatés, mais elle nous paraît encore irréprochable au point de vue physique. Nous n'y voyons entrer aucune force cachée ni aucune propriété spéciale des organes en jeu ; elle découle simplement de l'application des lois physiques faite à de solides données anatomiques et physiologiques par un esprit net et précis.

Nous devons encore signaler ici une explication récente des différences de timbre de la voix, indiquée par M. Vacher, qui se distingue par plusieurs points de la théorie précédente.

M. Vacher admet bien le phénomène de relâchement dont parle M. Donders, car il a constaté sur lui-même la sensation si particulière de détente dont nous avons parlé, mais il ne l'attribue pas au muscle thyro-arytenoïdien. Pour lui, ce sont les muscles crico-thyroïdiens et crico-arytenoïdiens postérieurs qui se relâchent, si bien que la tension des cordes vocales n'est plus réglée que par la contraction des thyro-arytenoïdiens (1). De plus, les observations auto-laryngoscopiques de l'auteur lui

(1) M. Martel s'est occupé récemment de rechercher par la méthode graphique l'action de ces derniers muscles ; les résultats auxquels il est arrivé sont intéressants, mais ils l'auraient été davantage, ils nous semble, si l'auteur avait expérimenté sur les deux registres de la même voix, et s'il avait comparé les phonogrammes ainsi obtenus.

ont montré que les cordes dans la voix de faucet ne vibraient pas dans toute leur longueur, mais que l'anche se raccourcissait pour ne plus vibrer que dans ses deux tiers antérieurs. Dans le tiers postérieur, les rubans vocaux sont accolés l'un à l'autre, et de ce fait tout mouvement vibratoire est empêché. Il se passerait, d'après M. Vacher, le même phénomène signalé déjà par M. Mandl, et dont l'image laryngoscopique représentée fig. 6 indique les principaux traits. Nous ne ferons pas ici la critique de cette théorie, dont il est facile d'ailleurs de trouver le point faible, si l'on considère que M. Vacher base son explication sur l'observation directe des vibrations d'autant peu d'amplitude que celle des rubans vocaux *dans les parties voisines de leur point d'attache*. Nous renverrons le lecteur à la critique très complète et très démonstrative qu'en a faite M. le professeur Gavarret (1).

En réalité, les deux timbres que nous venons d'envisager dans la voix et dont nous avons parlé jusqu'à présent sont de beaucoup les plus importants, mais il en est d'autres qui méritent d'être signalés. Nous indiquerons le timbre nasillard, le timbre clair, le timbre sombre (voix sombrée). Une explication précise de tous ces timbres est encore à trouver; celle donnée par M. Helmholtz est la seule vraiment physique, mais elle ne s'applique qu'aux timbres éclatants et mordants de la voix et à leurs modifications.

(1) Loc. cit. p. 572-578.

— 51 —

QUATRIÈME PARTIE

Etude de la parole.

Nous n'avons envisagé, jusqu'ici, que les phénomènes acoustiques qui se passent au niveau de la glotte, et nous avons absolument négligé, a dessein, l'influence que pouvaient avoir, sur ces phénomènes, les autres parties du larynx, situées au-dessous et au-dessus. Nous savons, en effet, que la glotte représente, pour ainsi dire, la vanne d'un canal aérien dont la trachée forme, dans l'écoulement de l'air auquel est due ordinairement la voix, la partie située en amont et dont le pharynx, la bouche et les fosses nasales forment la partie en aval. Nous aurons donc à étudier l'influence de ces deux régions distinctes du tube vocal, et les modifications qu'elles apportent aux sons provenant des vibrations laryngiennes.

L'influence du tuyau porte-vent dans les tuyaux à anche a été étudiée par divers auteurs, Weathstone, Bis-

hop, entr'autres; mais c'est certainement encore à Muller que nous devons sur ce point les expériences les plus complètes. Muller a procédé d'une manière très rationnelle, expérimentant tout d'abord sur les tuyaux à anches membraneuses, puis, passant à l'expérimentation directe sur les larynx détachés et disposés suivant la méthode que nous avons indiquée. Le premier mode lui a donné des résultats très nets; « je trouve, dit-il, que « le porte-vent, dont on se sert pour faire parler une « anche membraneuse, influe tout autant sur l'abais- « sement du son que le tuyau ajusté à cette dernière ».

Avec des membranes vibrant à l'air libre, sans tuyau de renforcement placé au-dessus, le changement des sons, suivant les longueurs diverses du porte-vent, est de même ordre que celui qui résulte de l'allongement ou du raccourcissement des tuyaux que l'on peut placer au-dessus de l'anche. « En allongeant le porte-vent, dit « encore Muller, le son baisse par demi-tons jusqu'à « une certaine limite, qui ne s'étend pas non plus jus- « qu'à l'octave. En allongeant davantage, le son revient « par un saut à sa hauteur primitive, puis s'abaisse en- « core à mesure que l'allongement fait des progrès, re- « vient tout à coup au même son aigu, puis baisse encore, « et ainsi de suite. » Muller donne un résumé des ex- périences qu'il a faites à ce sujet et l'on voit, par les chiffres indiqués, que, avec un tuyau porte-vent de 1 pouce de longueur et une anche membraneuse donnant le *la*, on peut, en augmentant jusqu'à 20 pouces la longueur du porte-vent, obtenir le *la*. Le ton saute à ce moment, et si l'on continue à allonger, on arrive de nouveau au *la*, pour une longueur de 24 pouces.

Lorsque la longueur du porte-vent change, et que l'anche membraneuse est surmontée d'un tuyau de renforcement, les faits sont plus difficiles à classer, et Muller, qui a examiné le cas en question, n'a pu donner une règle précise. Après avoir mentionné cette difficulté, il ajoute que : « connaître l'action réciproque de ces influences (du porte-vent et du tuyau de renforcement) serait de la plus haute importance pour la théorie de la voix, puisque là, il y a, à la fois, un corps de tuyau et un porte-vent. Je ne vois que la confirmation constante du fait, que pour une certaine longueur du corps du tuyau *l'allongement du porte-vent change toujours le son*, jusqu'à ce que les influences réciproques soient devenues égales (1). »

Après avoir tiré les conclusions précédentes Muller a cherché si, en prenant pour porte-vent la trachée et pour anches membraneuses les cordes vocales, il arriverait aux mêmes résultats. Les expériences ont été contradictoires, et le larynx humain, préparé, comme le faisait Muller, n'a pas donné cet abaissement successif de son, lorsqu'on allongeait le porte-vent. L'abaissement a eu cependant lieu, mais dans de très faibles limites ;

(1) Nous devons signaler ici, comme s'accordant avec les résultats obtenus par Muller, une expérience très facile à répérer. Si l'on place, sur une soufflerie ordinaire de Cavaillé-Col, un larynx artificiel formé simplement de deux lames de caoutchouc tendues sur un tube cylindrique, on trouve que ce larynx parle avec plus ou moins de facilité suivant le trou du sommier auquel on l'ajuste. Il en est de même, si on intercale un tube de caoutchouc entre la soufflerie et le larynx. (Cette expérience a été indiquée par M. Gabriel, in *Société française de Phys. Résumé des communications. Séance du 18 mai 1883.*)

il na, en aucun cas, pu atteindre un ton entier. Muller semble vouloir attribuer ces différences si grandes à ce fait particulier que les cordes vocales étant unies par une partie lâche au porte-vent sur lequel elles sont tendues, il n'y a pas communication du mouvement vibratoire à ce porte-vent, tandis qu'il n'en est pas de même pour les anches membraneuses tendues sur des tubes à bords rigides, capables de réagir, par leurs vibrations propres, sur les vibrations de la membrane. Cette explication de Muller ne nous semble pas parfaitement concluante, et de nouvelles expériences seraient à faire sur ce point. Quoi qu'il en soit, et d'après la conclusion de Muller lui-même, la longueur du tuyau porte-vent n'exerce pas sur le son des cordes vocales une influence aussi sensible que sur celui que peuvent rendre les anches membraneuses.

Tuyau de résonnance ; sa disposition anatomique. — Il nous reste à examiner maintenant quelle est l'influence du tube de renforcement placé au-dessus de l'anche laryngienne. Cette influence est beaucoup plus grande, et les modifications qui en résultent sont très nombreuses et très importantes. C'est, en effet, par l'action des diverses parties qui composent ce tube, que le son musical provenant des cordes vocales est transformé en les éléments constitutifs du langage dans la *voix parlée* ordinaire ou *parole*. Bien plus, c'est par le simple écoulement de l'air contenu dans les poumons, ou de l'air qui s'y précipite sous l'action des muscles inspirateurs, que sont produits ces bruits si spéciaux constituant la *parole à voix basse* ou la *voix chuchotée*. Le tube de renforcement

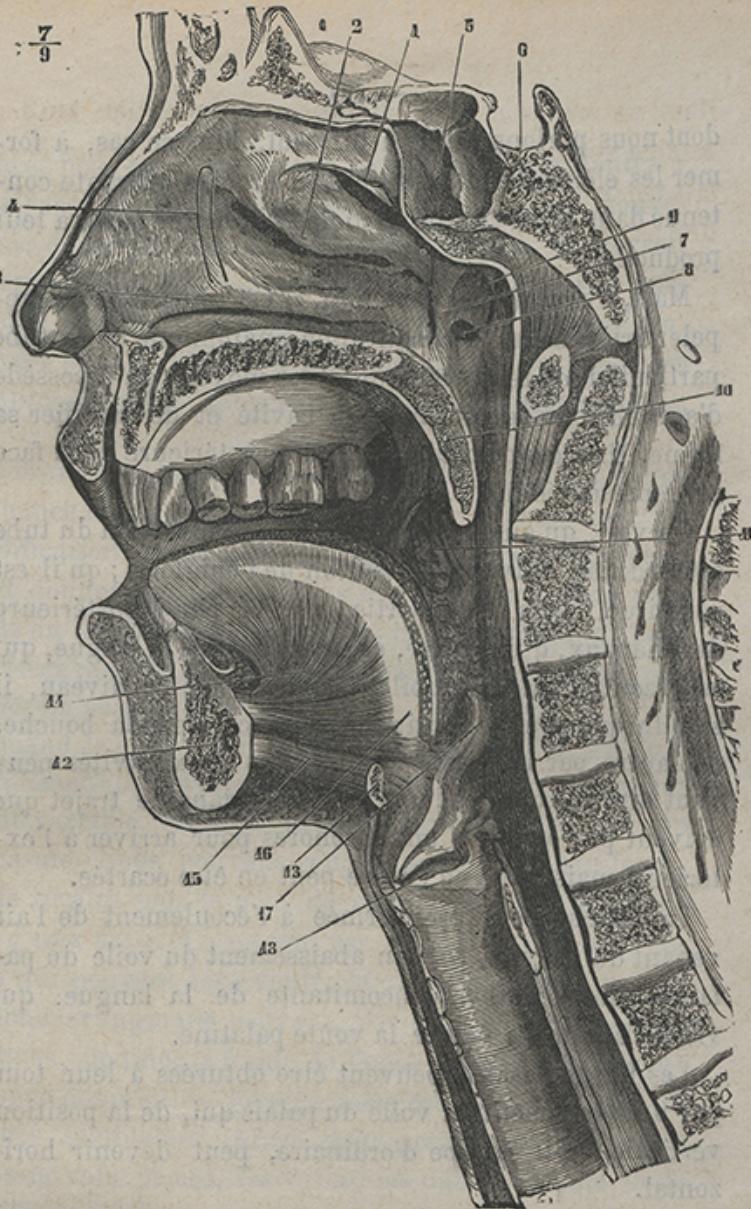


Fig. 7. — Coupe médiane antéro-postérieure de la face (*)
(Beaunis et Bouchard)

(*) (1) Cornet supérieur. — (2) Cornet moyen. — (3) Cornet inférieur. — (4) Ligne ponctuée indiquant la situation du canal nasal. — (5) Sinus sphénoïdal. — (6) Selle turque. — (7) Saillie limitant en arrière les fosses nasales. — (8) Ouverture de la trompe d'Eustache. — (9) Dépression de la muqueuse du pharynx au dessus de cet orifice. — (10) Coupe du voile du palais. — (11) Amygdales. — (12) Coupe du maxillaire inférieur. — (13) Coupe de l'os hyoïde. — (14) Coupe de la langue. — (15) Muscle génio-hyoïdien. — (16) Septum lingual. — (17) Epiglottie. — (18) Orifice du ventricule droit du larynx.

dont nous parlons suffit, à lui seul, dans ce cas, à former les éléments de la parole, et l'anche vibrante contenue dans le larynx ne participe en aucune façon à leur production.

Mais, avant d'aller plus loin, il est important de rappeler brièvement la constitution anatomique de ce tube particulier de renforcement, et les moyens qu'il possède d'agrandir ou de diminuer sa cavité et de modifier sa forme. Une coupe médiane antéro-postérieure de la face est représentée fig. 7.

On voit, qu'au-dessus des cordes, la direction du tube est modifiée, suivant la position de l'épiglotte ; qu'il est constitué, dans cette partie, par la paroi postérieure du pharynx, qui est fixe, et par la base de la langue, qui est essentiellement mobile. Au-dessus de ce niveau, il se bifurque pour se continuer, d'un côté par la bouche, de l'autre par les fosses nasales. Les deux cavités peuvent être introduites l'une et l'autre dans le trajet que doivent parcourir les ondes sonores pour arriver à l'extérieur, mais l'une ou l'autre peut en être écartée.

La bouche peut être fermée à l'écoulement de l'air venant du larynx, par un abaissement du voile du palais et une élévation concomitante de la langue, qui vient s'appliquer contre la voûte palatine.

Les fosses nasales peuvent être obturées à leur tour par un relèvement du voile du palais qui, de la position verticale qu'il occupe d'ordinaire, peut devenir horizontal.

Ce sont là deux grandes modifications de la cavité de résonnance, mais ce ne sont pas les seules ; il en est d'autres, en effet, qui, bien que n'introduisant pas des

autres modifications de la cavité de résonnance, contribuent à modifier l'écoulement de l'air dans la cavité de résonnance.

espaces nouveaux, n'en sont pas moins importantes à considérer. Ce sont celles qui reposent sur les mouvements de la langue, des arcades dentaires, des lèvres, et, en général, des parois dépressibles de la cavité buccale. Il est même à remarquer que ce sont les plus employées pour produire les divers phonèmes dont les combinaisons multiples constituent le langage articulé.

Constitution physique de la parole. — Le tuyau de résonnance étant connu, il nous reste à rechercher les modifications auxquelles ses dispositions diverses peuvent donner naissance, dans les sons laryngiens produits au-dessous de lui. Toutes ces modifications peuvent être rangées sous la dénomination de *voix haute articulée ou parole à voix haute*.

Quand la glotte n'entre pas en vibration, l'air s'écoule simplement, à travers le tube vocal, en produisant un bruit variable, selon la disposition des cavités buccale et nasale. Nous pouvons ranger toutes ces manifestations vocales sous le nom de *voix basse articulée ou parole à voix basse*. Ce ne sont pas là tous les modes d'action qui peuvent intervenir; la cavité de résonnance et l'anche laryngienne peuvent, par leurs variations réciproques, modifier la forme de l'onde complexe qui vient frapper nos oreilles, lorsque nous écoutons la voix d'un de nos semblables. Ainsi, pour prendre un exemple, dans la voix parlée, les variations dans la forme de la cavité de résonnance sont seules importantes, tandis qu'on suppose constantes les conditions de vibration des cordes vocales; la voix est alors *articulée sur un seul ton*. Mais, l'inverse peut se produire, il peut se faire que les

Bergonié.

11

variations de cette même cavité soient négligeables, par rapport à celles que subissent les cordes dans leur tension et leur mode vibratoire; on peut appeler *fredonnement* cette classe de sons vocaux. Enfin, la voix, telle que nous l'entendons sortir de la bouche d'un artiste, dans l'opéra, lorsque le *mot* du *libretto* est articulé en même temps que la *note musicale* est variée suivant la pensée du compositeur, nous représente le phénomène phonétique le plus complexe que l'organe vocal soit susceptible de produire; c'est *la voix ou la parole chantée*.

On peut ranger tous les phénomènes phonétiques dans ces trois grandes classes. Mais il en est une qui nous semble plus importante que les autres au point de vue qui nous occupe; c'est celle que nous avons appelée *voix articulée sur un seul ton*. Nous nous bornerons à son étude, car après ce qui a été dit déjà sur les *qualités acoustiques des sons laryngiens*, il sera facile d'en déduire les caractères qui distinguent la *voix fredonnée* et la *parole chantée*.

La voix articulée sur un seul ton comprend deux sortes d'éléments phonétiques ou phonèmes: 1° ceux qui n'ont besoin pour être produits d'aucun mouvement nouveau du tube de résonnance et qui peuvent, pour cette raison, être mis pendant un temps indéfini; 2° ceux dont le caractère essentiel réside dans un changement brusque de l'adaptation de ce même tube et dans le passage rapide d'une de ses positions fixes à une autre position également fixe.

Cette division est fondée sur les changements que peut introduire, dans la production de la voix articulée

sur un seul ton, le tuyau de résonance dont nous avons parlé.

D'autres changements peuvent y être introduits de la part de l'anche laryngienne. Les cordes vocales peuvent, en effet, être mises en vibration par le courant gazeux nécessaire à toute production de la voix, ou bien, ce courant gazeux peut frôler simplement ces cordes et s'écouler par le tube vocal tout entier sans produire de son proprement dit. Dans le premier cas, nous avons affaire à la voix *haute* articulée sur un seul ton, ou *voix parlée* ordinaire ; dans le second, à la voix *basse* articulée ou *voix chuchotée*.

Si l'on revient à ce qui a été dit plus haut touchant la division des phonèmes, on constatera que cette division répond, à quelques exceptions près, à celle faite ordinairement par les linguistes en *voyelles* et *consonnes* ; de plus, il nous semble qu'elle a l'avantage, en s'appuyant sur les caractères physiques que nous avons mentionnés, de ne pas donner lieu à l'appréciation mauvaise des voyelles et des consonnes que signale M. le professeur Gavarret. « Contrairement à une opinion longtemps admise, les voyelles ne sont pas toujours et nécessairement produites par des sons engendrés dans le larynx et modifiés dans la bouche ; dans le chuchotement, les voyelles, sans cesser d'être distinctes, se réduisent à de simples bruits, sont *muettes*. Il n'est pas vrai non plus que toute consonne soit nécessairement muette ou constituée par un simple bruit ; il est des consonnes qui, à volonté, restent muettes ou sont émises avec consonnance de la voix. »

Nous reviendrons, d'ailleurs, plus au long sur ces dé-

finitions, lorsque nous entreprendrons la théorie des voyelles; pour le moment, cet aperçu général est suffisant pour que nous puissions indiquer les méthodes qui ont été employées pour étudier les phénomènes phonétiques.

Il est à noter que les méthodes employées pour étudier les voyelles sont tout à fait différentes de celles employées pour étudier les autres sons de la voix. Dans la première partie de ce cours, nous avons étudié les sons de la voix dans leur séparation, et nous avons étudié les sons de la voix dans leur association.

Si l'on revient à ce qui a été dit plus haut, nous trouvons que l'association des phonèmes dans cette dernière partie du cours est étudiée à deux égards.

On distingue deux types d'association: la association par l'ordre, et la association par l'ensemble.

La première est l'association des phonèmes dans l'ordre dans lesquels ils sont prononcés, c'est-à-dire dans l'ordre dans lesquels ils sont prononcés.

La seconde est l'association des phonèmes dans l'ensemble, c'est-à-dire dans l'ensemble des phonèmes qui sont prononcés.

Il est à noter que l'association par l'ordre est étudiée dans le cours de la phonologie, et que l'association par l'ensemble est étudiée dans le cours de la phonétique.

Il est à noter que l'association par l'ordre est étudiée dans le cours de la phonologie, et que l'association par l'ensemble est étudiée dans le cours de la phonétique.

Il est à noter que l'association par l'ordre est étudiée dans le cours de la phonologie, et que l'association par l'ensemble est étudiée dans le cours de la phonétique.

— 2 —
MÉTHODES EMPLOYÉES POUR L'ÉTUDE DES PHÉNOMÈNES
PHONÉTIQUES.

Toutes ces méthodes peuvent se diviser en deux grandes classes. La première comprend celles qui, ayant recours à la méthode graphique, inscrivent, au moyen de transmissions appropriées, les mouvements des organes eux-mêmes pendant la formation du phonème ; ce sont, à notre avis, les plus parfaites ; car, s'il était possible de construire un instrument sensible, basé sur cette donnée, la lecture de la voix articulée pourrait se faire directement sur les tracés qu'on obtiendrait ainsi, et de grandes conséquences en découleraient (telles que la possibilité, pour les sourds-muets, de lire le langage articulé et de s'exercer à le reproduire ; la représentation des mêmes sons par les mêmes signes, dans toutes les langues). La seconde classe de procédés consiste dans la modification d'un phénomène donné, variable avec les expérimentateurs, sous l'influence de l'onde complexe qui émane du tube vocal. Les signes qui représentent les phonèmes sont ici conventionnels, et il est nécessaire d'établir par quelle variation chacun d'eux sera indiqué avant d'entreprendre une étude complète par ces procédés.

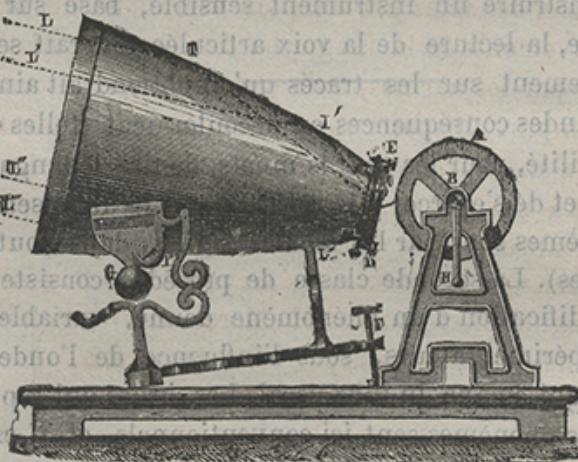
Inscription de ces phénomènes. — Le premier appareil qui ait été inventé dans le but d'inscrire les vibrations vocales est le *phonautographe* de Scott (fig. 8).

Il repose sur une propriété spéciale des membranes, de pouvoir vibrer par influence, même lorsque l'onde excitante est très variable de forme et de longueur. Il se compose donc d'une membrane tendue qui en est la partie essentielle, et d'un appareil réflecteur qui a la forme d'un paraboloïde de révolution dont l'extrémité tronquée est obturée par la membrane, placée dans un plan perpendiculaire à l'axe et passant par son foyer. Les vibrations de la membrane sont transmises à un style léger, ordinairement formé d'une soie de porc, qui les inscrit sur un cylindre animé d'un mouvement hélicoïdal. Pour inscrire les vibrations phonétiques, on

(Fig. 8)
Phonautographe de Scott et de Koenig.

(AB) Cylindre enregistreur. — (C) Membrane vibrante. — (D) Cadre de la membrane. — (E) Vis de calage. — (L, L', L''T, L''T') Trajet des ondes sonores.

parle devant l'ouverture du miroir sonore, et le style



trace sur une feuille enduite de noir de fumée une sinusoïde plus ou moins compliquée.

Cet appareil donne des résultats assez imparfaits qui varient d'ailleurs dans une certaine mesure avec la position du style inscripteur et la tension de la membrane.

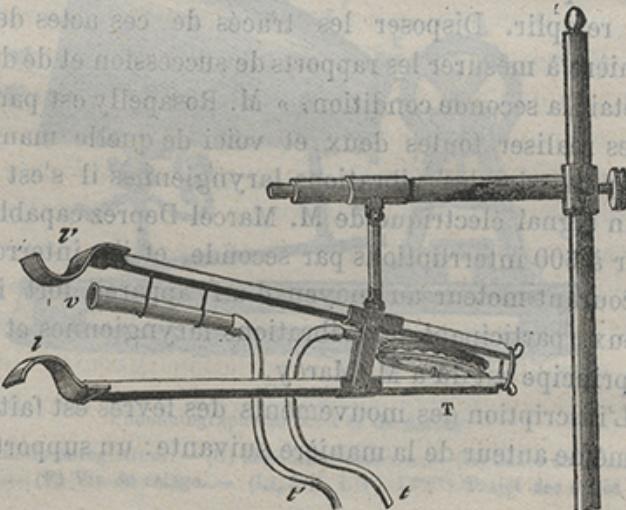
Le procédé dont s'est servi M. Rosapelly est peut-être le plus parfait qui ait été imaginé; c'est celui d'ailleurs qui a donné jusqu'ici les résultats les plus complets. Le but que s'était proposé M. Rosapelly était d'établir l'ordre dans lequel se succèdent les différents actes qui entrent dans la formation des phonèmes, et à chercher les relations chronologiques que ces actes présentent.

« Caractériser graphiquement, dit M. Rosapelly (1), « chacun des actes phonétiques: vibrations du larynx, « mouvements de la langue ou des lèvres, émission de « l'air par les narines, telle était la première condition « à remplir. Disposer les tracés de ces actes de manière à mesurer les rapports de succession et de durée, « était la seconde condition. » M. Rosapelly est parvenu à les réaliser toutes deux et voici de quelle manière: Pour inscrire les vibrations laryngiennes il s'est servi d'un signal électrique de M. Marcel Deprez capable d'abréir à 600 interruptions par seconde, et il a interrompu le courant moteur au moyen d'un appareil fort ingénieux participant aux vibrations laryngiennes et dont le principe est dû à M. Marey.

L'inscription des mouvements des lèvres est faite par le même auteur de la manière suivante: un support ver-

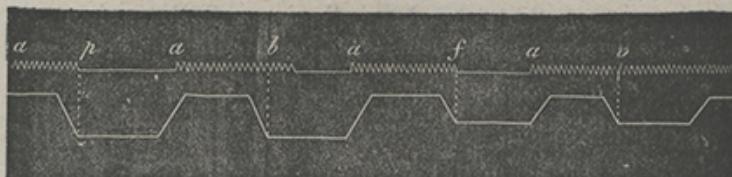
(1) Travaux du laboratoire de M. Marey. Année 1876. P. 115 et suiv.

tical est placé en face de l'expérimentateur, supportant l'appareil explorateur proprement dit, représenté fig. (9). Celui-ci se compose de deux branches articulées au sommet de l'angle qu'elles forment et terminées chacune, à l'autre extrémité, par un petit crochet plat, en argent, qui embrasse l'une des lèvres dans sa courbure. La gouttière *t* se place sous la lèvre supérieure, la gouttière *l*, sur la lèvre inférieure, l'une des branches étant fixe, les mouvements des lèvres tendront à écarter l'autre de la première, à comprimer ou à dilater, par conséquent, l'air qui se trouve contenu dans le système des deux tambours conjugués par le tube *t*. Les compressions et les dilatations successives seront inscrites fidèlement par le levier mû par le tambour enregistreur et l'on obtiendra une certaine courbe.



partie (Fig. 9) Appareil explorateur des mouvements des lèvres, de M. Rosapelly.

La fig. (10) reproduit, d'après Rosapelly, le graphique obtenu lorsqu'on inscrit à la fois les vibrations du larynx et le mouvement des lèvres. La courbe supérieure représente les vibrations laryngiennes, la ligne brisée inférieure les mouvements des lèvres.



(Fig. 10)

Inscription simultanée du mouvement des lèvres et de ceux du larynx,
d'après M. Rosapelly.

M. Rosapelly avait d'abord disposé devant l'ouverture buccale un tube destiné à recevoir le souffle émis pendant l'articulation, mais il a reconnu plus tard que cette adjonction était inutile.

L'inscription des mouvements du voile du palais a aussi pu être obtenue par M. Rosapelly. L'auteur se sert simplement, pour cela, d'un embout introduit dans une des narines et communiquant par un tube de caoutchouc avec un tambour enregistreur. Le levier inscripteur, signale, par une élévation de la courbe, chacune des émissions de l'air par le nez.

Les graphiques obtenus par M. Rosapelly contiennent donc trois éléments importants : 1^o le tracé des vibrations laryngiennes indiquant le moment où ces vibrations se produisent et s'éteignent ; 2^o le tracé relatif aux mouvements des lèvres ; 3^o l'inscription des variations

de pression dans les fosses nasales correspondant aux mouvements du voile du palais. Nous aurons plus tard l'occasion d'indiquer les résultats obtenus par cet auteur.

Le moyen d'étude dont s'est servi M. Bondet de Pâris, consiste dans l'inscription simultanée des vibrations laryngiennes et de toutes les inflexions de la voix, au moyen d'un microphone d'une exquise sensibilité inventé par lui.

L'inscription des vibrations laryngiennes se fait très simplement au moyen d'une « membrane mince, tenue sur un cadre ou sur une embouchure du téléphone et portant à son centre une petite lamelle de platine. « En face de cette lamelle, est fixée une vis micrométrique à pointe de platine. En tournant plus ou moins cette vis, on fait varier la distance qui sépare sa pointe de la lamelle portée par la membrane ; lorsque cette distance est très petite, chaque vibration communiquée à la membrane détermine un contact entre les deux surfaces métalliques, et le courant est lancé dans le circuit. » Un signal Deprez est employé comme récepteur et inscrit le nombre de contacts entre la lamelle et la pointe de la vis, par conséquent, le nombre de vibrations de la membrane.

L'inscription phonétique proprement dite a été obtenue par M. Boudet de Pâris en se servant, ainsi que je l'ai indiqué plus haut, d'un microphone de son invention extra-sensible comme transmetteur, et, comme récepteur, d'un téléphone Bell ainsi modifié par lui : « En levant au téléphone Bell son embouchure et son dia-phragme, nous avons vissé, dit-il, sur le bois de l'ins-

« trument l'extrémité d'un ressort d'acier assez résistant; l'autre extrémité de ce ressort vient aboutir en face du noyau aimanté muni de sa bobine; à cette extrémité est soudée une petite masse de fer doux pesant une dizaine de grammes; puis, sur cette masse, et dans le prolongement de l'axe du ressort, est fixé un style léger en bambou de 10 cent. de longueur, et terminé par une plume en baleine. En somme, le diaphragme est remplacé par une armature mobile, assez semblable au trembleur des bobines d'induction.

Voici maintenant la manière dont a procédé M. Boudet: émettant devant la plaque microphonique des voyelles seules, il obtient des tracés correspondants, puis, liant ces mêmes voyelles par des consonnes, de manière à former des mots, il obtient d'autres tracés qu'il peut comparer aux premiers. Cette marche très logique de l'expérience permet évidemment d'attribuer à la prononciation des consonnes les modifications qui distinguent l'un de l'autre les deux tracés. Ceux que l'on trouve dans le livre de M. Boudet de Paris, obtenus par cette méthode, confirment les résultats acquis déjà par M. Rosapelly.

Plusieurs expérimentateurs ont essayé d'inscrire les mouvements communiqués à la membrane d'un phonographe par l'onde vocale, et, par l'analyse des tracés, d'en conclure la constitution de cette onde. Parmi eux, nous devons citer MM. Preece, Mayer et Stroh. Leurs méthodes se ressemblent beaucoup; nous indiquerons seulement celle de M. Mayer.

« Par la méthode suivante, dit cet auteur, j'ai pu parvenir à reproduire sur du verre enfumé de magnifi-

«ques tracés montrant le profil des vibrations sonores
«enregistrées sur la feuille d'étain avec leurs diffé-
«rentes sinuosités. J'adapte pour cela au ressort sup-
«portant la pointe tranchante du phonographe une tige
«longue et légère terminée par une pointe qui appuie de
«côté sur la lame de verre enfumée, et qui peut, par suite
«de la position verticale de celle-ci et d'un mouvement
«qui lui est communiqué, déterminer des raies sinu-
«soïdes. Par cette disposition, on obtient donc simulta-
«nement, quand le phonographe est mis en action, deux
«systèmes de raies dont les unes sont les profils des
«autres. »

Un moyen extrêmement curieux d'inscrire les vibrations phonographiques est celui qu'a employé M. Blake, et dont nous reproduisons ici un exemple représentant les vibrations déterminées par les mots : *Brown univer-*

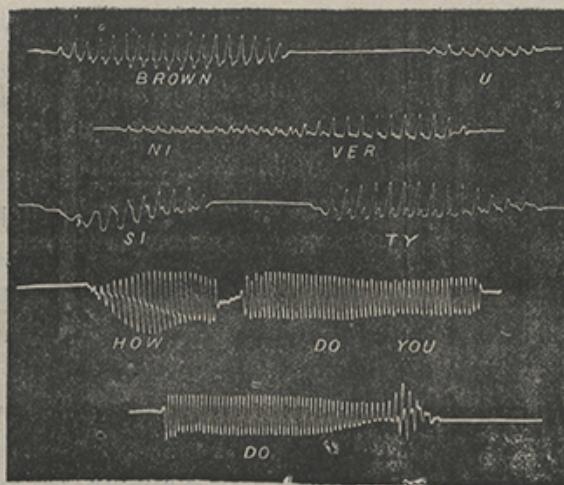
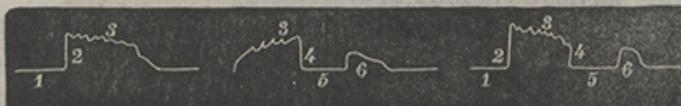


Fig. 11

sity; how do you do. Elles ont été photographiées sous l'influence d'un index adapté à une lame vibrante et éclairé par un pinceau lumineux. Leur amplitude et surtout leurs inflexions sont remarquables.

En construisant son *logographe*, M. Barlow s'est proposé d'obtenir un tracé des forces pneumatiques qui accompagnent les articulations de la voix humaine, sous la forme de diagrammes tels que ceux qui servent à l'étude des pressions à l'intérieur des corps de pompe des machines à vapeur. Il espérait obtenir des formes suffisamment caractéristiques pour être lisibles. Mais il n'a pu arriver à ce résultat d'une manière complète, et, quoique aisément reconnaissable, l'écriture du logographe n'est pas lisible dans le vrai sens du mot. Quoi qu'il en soit, cet appareil consiste en une petite embouchure de trompette dont l'extrémité élargie se termine en une ouverture de 0 m. 07. Cette ouverture est couverte par une mince membrane de caoutchouc. Au cadre de l'ouverture est fixé un bras léger d'aluminium, portant à son extrémité mobile un petit pinceau de martre imbibé de couleur. Au-dessous du pinceau, comme dans les appareils télégraphiques, passe une bande de papier disposée de telle façon que, la membrane étant au repos, la ligne tracée est une ligne droite. C'est la ligne du zéro.



(Fig. 12).
Diagramme de Be,

(Fig. 13).
de eb,

(Fig. 14).
de Bed.

Quand on expérimente, on presse légèrement les lè-

vres contre les bords de l'embouchure, pour éviter toute perte d'air par les côtés, et pour que l'air expiré passant par l'instrument s'échappe au dehors par l'orifice latéral disposé à cet effet. Suivant les variations dans la quantité de cet air expiré, la membrane sera plus ou moins déviée de la ligne du zéro.

Les figures 12, 13, 14 sont des reproductions des tracés obtenus par M. Barlow au moyen de son instrument.

M. Amadeo Gentilli a construit un appareil dont le principe est le même que celui sur lequel s'est appuyé M. Rosapelly dans ses expériences. Il prend, au moyen de leviers et de pinces convenablement disposés, les positions successives qu'occupent les divers organes phonateurs pendant l'action de la parole. Mais l'organe qui lui a paru présenter les mouvements les plus importants à ce point de vue est la langue ; d'où le nom de *glossographe* donné à son appareil. Pour inscrire les mouvements très complexes de cet organe, M. Gentilli introduit dans la bouche de la personne en expérience un système de cinq tiges articulées, dont les mouvements se transmettent par des conducteurs électriques à autant de styles traceurs qui les inscrivent sur une bande de papier mobile. Les cinq leviers correspondent aux différentes parties de la langue et des lèvres. Les tracés obtenus par cet auteur permettent de déduire exactement la position de la langue et des lèvres dans la prononciation de tel ou tel phonème, et d'inscrire les variations de ces positions pendant l'articulation d'un mot ou d'une phrase (1).

(1) MM. Grützner et Oakley-Coles ont aussi essayé de déter-

Les méthodes d'analyse de la parole que l'on peut ranger dans la seconde classe établie plus haut sont assez nombreuses ; nous signalerons seulement les principales. Ce sont l'analyse au moyen des *flammes manométriques* de M. Koenig, le *phonéidoscope* de M. Taylor et le *procédé phonéidoscopique par les anneaux colorés* de M. A. Guébhard.

Le procédé par les flammes manométriques de

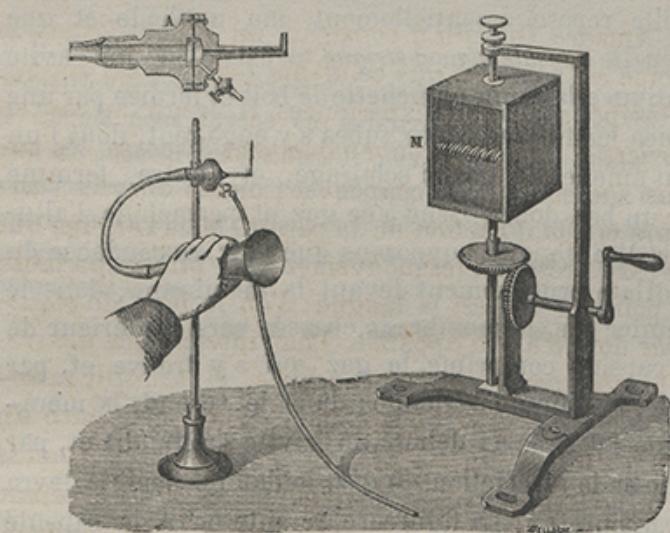


Fig. 15.
Appareil de M. Koenig pour l'analyse des sons vocaux au moyen
des flammes manométriques.

minier les différents points de contact qui s'établissent entre la langue et les parois buccales dans l'articulation des consonnes.

Leurs procédés consistent à enduire d'une matière colorante (Grützner) ou d'un mélange de gomme et de farine (Oakley-Coles) le plan supérieur de la cavité buccale ou la langue de façon, que par le contact il y ait échange d'enduit.

M. Koenig a donné entre les mains de l'habile et savant acousticien qui l'a inventé des résultats très importants, non seulement dans la question qui nous occupe, mais encore et surtout dans toutes celles qui se rapportent au timbre en général. Il est représenté par la fig. 15. Il consiste à rendre sensibles à l'œil les ondes sonores, ou les variations de densité de l'air engendrées par les vibrations d'un corps sonore quelconque. « La petite disposition, dit M. Koenig (1), sur l'emploi de laquelle repose essentiellement ma méthode et que j'appelle *capsule manométrique*, consiste en une cavité pratiquée dans une planchette de bois et fermée par une mince membrane; deux tubes s'y engagent, dont l'un peut amener du gaz d'éclairage, et l'autre, terminé par un bec, donne issue à ce gaz et permet de l'allumer. Maintenant, supposons que l'air se condense ou se dilate brusquement devant la membrane; dans le premier cas, la membrane chassée vers l'intérieur de la capsule comprime le gaz qui s'y trouve et, par suite, la flamme s'allonge; dans le second, la membrane est tirée au dehors, la cavité s'agrandit et, par suite de la raréfaction du gaz, la flamme aspirée devra se raccourcir ». La figure représente en A la capsule manométrique décrite par M. Koenig. Pour obtenir l'image d'un phonème quelconque par cette méthode, on produit ce phonème dans l'embouchure en forme d'entonnoir reliée par un tube de caoutchouc à la capsule manométrique. La petite flamme est agitée de mou-

(1) *Quelques expériences d'acoustique*, par R. Koenig, p. 47 et suiv.

vements correspondants que l'on examine par réflexion au moyen d'un miroir tournant représenté en M.

La figure 00 montre un spécimen des images obtenues par ce moyen pendant la rotation du miroir.

Le procédé imaginé par M. Sedley Taylor repose sur un principe tout différent. Ce physicien a constaté que les couleurs d'une lame liquide mince variaient lorsqu'on soumettait cette lame aux vibrations sonores de

(1) M. Mayer a comparé les images données par les flammes manométriques avec les tracés obtenus par sa méthode, qui consiste, comme nous l'avons vu, à inscrire les vibrations de la membrane phonographique dans le plan même de ces vibrations, de manière à obtenir le profil des phonogrammes ordinaires. Cette comparaison a établi la parfaite concordance de ces trois procédés d'analyse de la parole. La figure représente l'une des nombreuses comparaisons faites.

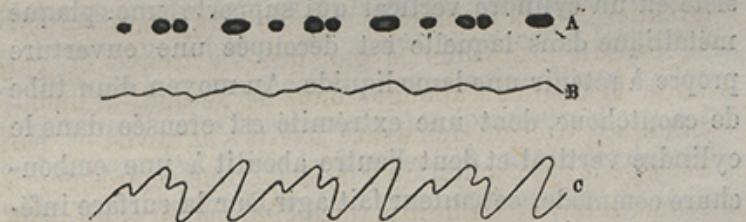


Fig. 16.

Elle est la reproduction des traces correspondantes au son de la lettre A dans les trois systèmes d'enregistrement. Celles qui correspondent à la ligne A sont la reproduction agrandie des traces laissées sur la feuille d'étain par le style phonographique; celles qui correspondent à la ligne B, en représentent les profiles sur la feuille de verre, selon le procédé de M. Mayer; enfin, celles qui correspondent à la ligne C, montrent les contours des flammes manométriques de Koenig.

Bergonié.

13

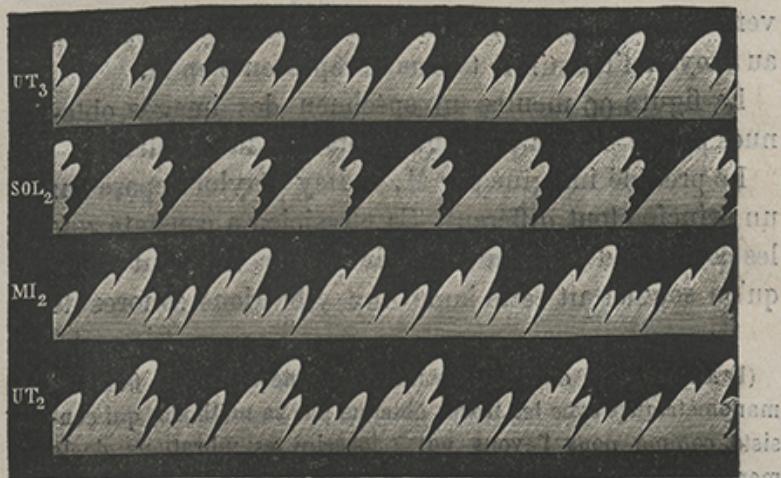


Fig. 17. — Images des semi-voyelles *m* et *n* chantées sur différentes notes (d'après M. Koenig).

l'air. La disposition employée, ou *phonéidoscope*, consiste en un cylindre vertical qui supporte une plaque métallique dans laquelle est découpée une ouverture propre à retenir une lame liquide. Au moyen d'un tube de caoutchouc, dont une extrémité est creusée dans le cylindre vertical et dont l'autre aboutit à une embouchure commode, cet auteur fait agir, sur la surface inférieure de la lame, les vibrations émanées du tuyau vocal. Le résultat de cette action est que les bandes de couleurs s'arrangent en une figure régulière qui demeure à peu près constante pendant un temps assez considérable, pourvu que le son existant ne subisse aucun changement. Les figures phonéidoscopiques présentent un caractère tout à fait spécial, savoir des tourbillons associés par couples et tournant dans des directions opposées.

Les résultats fournis par le procédé de M. Sedley Taylor sont surtout remarquables par les différences que l'on peut apprécier phonéidoscopiquement entre les vibrations sonores résultant de l'émission de voyelles très voisines comme le E et le A de la langue allemande.

Nous signalerons encore le procédé phonéidoscopique par les anneaux colorés d'interférence imaginé par M. A. Guébhard. Ce savant expérimentateur a pris pour base de sa méthode d'analyse des sons vocaux, une observation curieuse faite par lui. Il a remarqué, en effet, que si l'on projette le souffle humide de l'haleine sur la surface brillante d'un bain de mercure incomplètement purifié, l'on y développe, par la condensation de la vapeur en nappe mince, de magnifiques bandes colorées, dont les vives nuances, observées sur un fond blanc, reproduisent avec un éclat incomparable la série complémentaire des teintes de Newton. « Véritables courbes de niveau, dit l'auteur, ayant pour cotes leurs couleurs ou leur rang, ces bandes colorées, disent en longueurs d'ondes lumineuses, les épaisseurs d'eau condensées, c'est-à-dire la distribution exacte des densités de vapeur dans la section plane instantanée de la colonne refroidie. » Or, les courants aériens, qui produisent le phénomène de la parole sont naturellement saturés d'humidité; ils devront donc imprimer sur le mercure des diagrammes caractéristiques. C'est, en effet, ce qu'a observé M. Guébhard et il en a tiré, sur la constitution intérieure de ces courants, des renseignements que personne n'avait soupçonnés avant lui. Ainsi dans les diverses figures obtenues en émettant au voisinage de la surface du bain les voyelles indiquées (fig. 18),

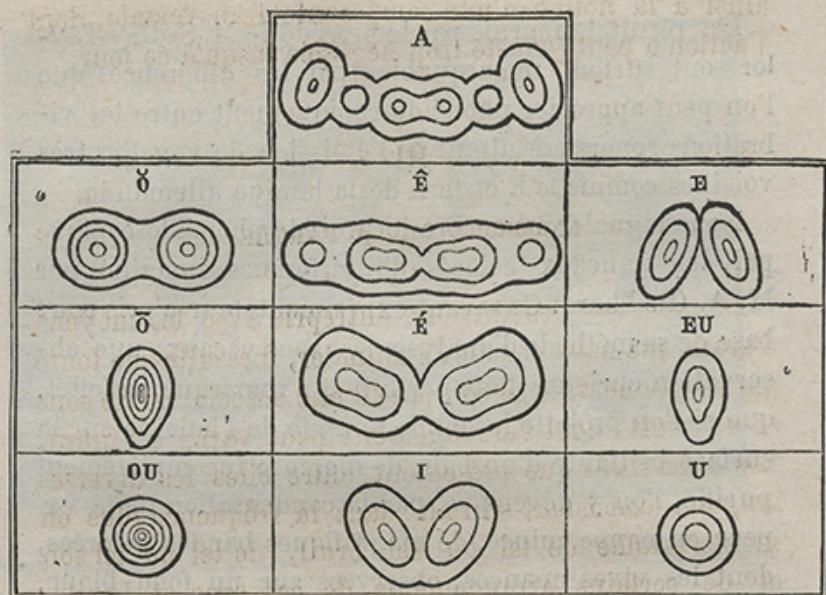


Fig. 18.

Figures phonéidoscopiques représentant les diverses voyelles; d'après M. A. Guébhard.

« on sera frappé de la prédominance, en général, de
« plusieurs centres ou noyaux de plus forte densité et
« l'on rejettéra immédiatement toute assimilation abso-
« lue de la voix aux vibrations longitudinales qui peu-
« vent sortir, si complexes qu'on les suppose, d'un orifice
« unique d'instrument à vent. L'on se figurera plutôt
« le faisceau sonore de ces grands tuyaux d'orgue que
« le constructeur entoure de toute une *fourniture* de pe-
« tits tuyaux harmoniques. »

En résumé, l'avantage incontestable et en même temps le côté vraiment original que présente le procédé phonéidoscopique de M. Guébhard, c'est de pénétrer directement dans l'intimité même du jet sonore et d'arriver

ainsi à la notion d'une composante transversale, dont l'action a peut-être été trop négligée jusqu'à ce jour.

III. **ÉLÉMÉNTS DE LA PAROLE.**

Division. — Des travaux entrepris avec les moyens d'étude que nous venons de signaler, il résulte que toute phrase phonétique se compose d'une association de sons et de bruits dont l'arrangement peut varier à l'infini. Les différences que présentent entre elles les diverses langues, consistent surtout dans la fréquence plus ou moins grande de tel ou tel bruit, de tel ou tel son et de certains arrangements de ces sons et bruits. (Nous ne parlons ici, comme il est facile de le comprendre, que des différences au point de vue physique et non de celles qu'elles peuvent présenter relatives à la signification des mêmes combinaisons phonétiques.)

Il résulte encore de ces recherches qu'une classification des éléments qui entrent dans ces combinaisons, est fort difficile, si l'on veut la faire reposer sur des caractères physiques bien déterminés. La classification en voyelles et consonnes dont les unes seraient nécessairement produites par des sons engendrés dans le larynx et modifiés par la bouche et les autres par un simple bruit sans vibration des cordes vocales, ne peut évidemment se soutenir. On peut émettre très nettement, à voix chuchotée, toutes les voyelles, et l'on peut, comme

l'ont prouvé les recherches de M. Resapelly, prononcer des consonnes avec résonnance de la voix.

Cependant malgré les imperfections que présente cette classification, comme nous n'avons pu en découvrir une meilleure dans les auteurs que nous avons consultés, nous la conserverons pour la clarté de ce qui va suivre.

Consonnes. — Une étude complète des consonnes devrait comprendre leur classification, leurs moyens de formation et leurs différents modes d'association aux voyelles. Nous n'avons pas l'intention d'entreprendre une telle étude, car elle nous semble rentrer plutôt dans le domaine des physiologistes et des philologues que dans le nôtre, et, de plus, nous n'aurions à y constater l'application d'aucune loi physique bien nette. Cependant, nous signalerons sommairement les résultats qui nous paraissent plus généralement se rapprocher de notre genre d'étude. Ils se rapportent aux moyens de formation des consonnes.

Dans l'articulation de la parole, certaines régions mobiles de la cavité buccale se rapprochent de manière à limiter un espace étroit, au travers duquel doit passer l'air expiré. C'est de ce passage brûisque que provient le bruit caractéristique de la consonne. On comprend que si les points susceptibles de se rapprocher ainsi pour la formation de la voix articulée étaient peu nombreux, on pourrait avoir là un caractère simple pour la classification des consonnes ; mais, en réalité, il n'en est rien, et le nombre des régions d'articulation change avec les différents auteurs ; Max Muller, par exemple, en admet neuf, M. Becquerel cinq,

M. Fournié sept, et M. Milne-Edwards un plus grand nombre encore. La classification qui nous semble convenir le mieux est celle adoptée par M. Gavarret. « Certaines consonnes, dit cet auteur (1), B, D, G, P, T, K, sont produites par un changement brusque de la position de parties déterminées de la bouche, ne durent qu'un instant très-court, ne peuvent pas être prolongées, soutenues, sons dites *explosives*. »

La fig. 19 représente la forme de la cavité buccale et

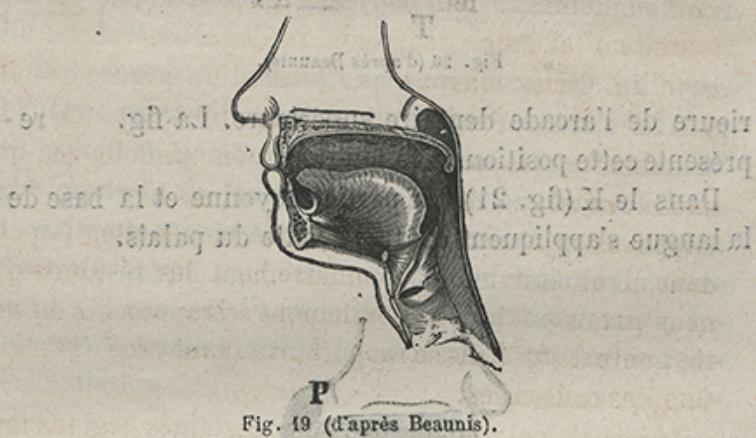


Fig. 19 (d'après Beaunis).

la position de la langue soit avant, soit après l'*explosion* caractéristique de la consonne P. Lorsque l'articulation se produit par l'interruption brusque du courant d'air, les deux bords de la lèvre supérieure et de la lèvre inférieure se rapprochent, ils s'éloignent dans le cas contraire.

Dans le T et dans le D, l'occlusion se produit par l'application de la pointe de la langue contre la face postérieure (1) Loc., p. 368.

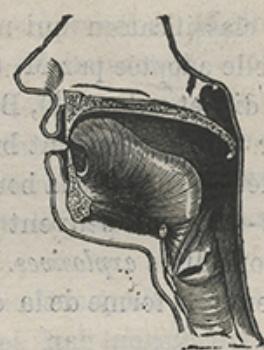


Fig. 20 (d'après Beaunis).

rieure de l'arcade dentaire supérieure. La fig. re-
présente cette position de la langue.

Dans le K (fig. 21), la partie moyenne et la base de la langue s'appliquent contre le voile du palais.

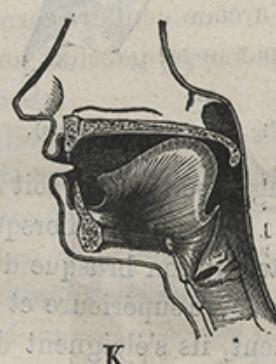


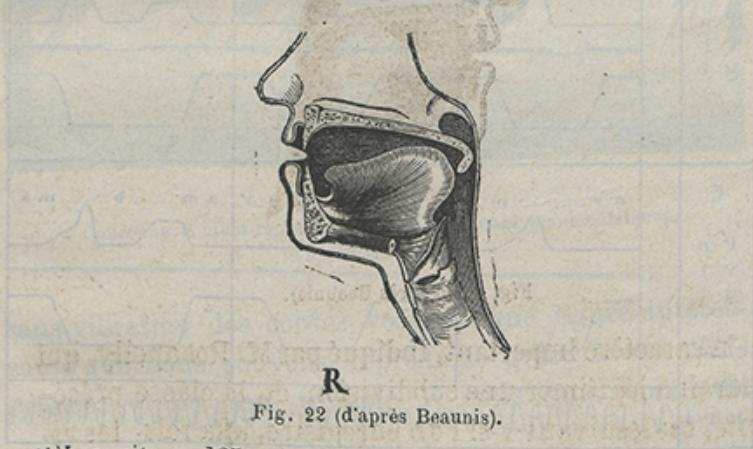
Fig. 21 (d'après Beaunis).

Un caractère important, indiqué par M. Rosapelly, qui tendrait à légitimer une subdivision de la classe précédente, est le suivant : si l'on enregistre, à la fois, les vi-

brations laryngiennes et les mouvements des lèvres pendant la prononciation, on constate que, pour certaines consonnes, pour le B, par exemple, les vibrations laryngiennes existent pendant leur articulation, tandis qu'on n'en trouve pas trace pendant l'articulation du P.

La fig. 23, empruntée au travail de M. Rosapelly, représente quinze phonèmes inscrits par la méthode que nous avons signalée. On peut y reconnaître le fait qui nous occupe, caractérisé surtout dans les colonnes 1 et 2, lignes A et C.

Les consonnes *soutenues* sont produites par un tremblement particulier de certaines parties de la bouche. Elles sont au nombre de deux : L et R. Dans la prononciation de L, la langue se redresse vers la voûte palatine qu'elle presse par sa pointe, tandis que le courant d'air s'échappe par deux interstices latéraux ouverts entre ses bords et l'arcade dentaire correspondante. Les joues sont écartées par le jet gazeux, lorsqu'on exagère l'articulation de L.



(1) Loc. cit., p. 125.
Bergonié.

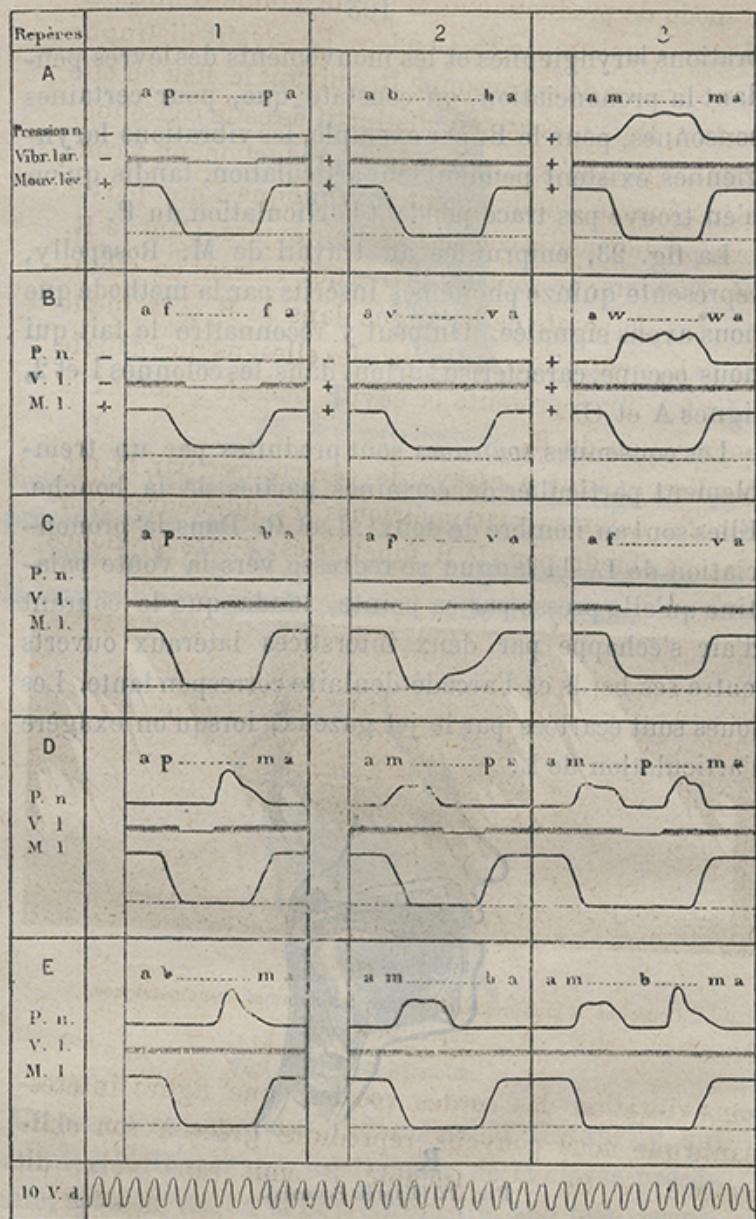


Fig. 22 (d'après M. Rosapelly).

Le mode de production de R a été étudié d'une manière très complète par M. Donders. Ce savant distingue quatre variétés de la consonne R, suivant le lieu où elle se produit. Mais le caractère distinctif de cette consonne, c'est que, quelque soit le lieu de sa production, on y constate toujours le frémissement rythmique d'une partie mobile produit par le courant de l'air expiré. Dans le R, de M. Donders, ce sont les lèvres qui entrent en vibration ; c'est la pointe de la langue dans le R₁ ; la luette dans le R₃ ; enfin les cordes vocales elles-mêmes dans le R₄. La fig. 22 représente la cavité buccale pendant la prononciation du R₂.

M. Koenig, qui a essayé de caractériser par sa méthode des flammes manométriques les différentes consonnes, a obtenu pour le R muet, c'est-à-dire prononcé



Fig. 24.

Consonne R muet représentée par les flammes manométriques,
d'après M. Koenig.

sans vibration des cordes vocales, une figure intéressante que nous pouvons reproduire grâce à son obligeance. « Le son tremblé R émis sans voix, dit

« M. Koenig (1), trace sur le miroir une série de larges
« flammes de différentes hauteurs assez régulièrement
« fendues ou dentelées. Dans le miroir tournant que
« j'emploie d'habitude et dont les faces ont quinze cen-
« timètres de largeur, ces flammes paraissent se suivre
« fort irrégulièrement; mais avec un miroir large de
« quarante centimètres, j'ai pu constater l'existence
« d'une période régulière, car le groupe se répétait alors
« de quatre à cinq fois dans le miroir. »

Les consonnes *sifflantes* F, V, S, Z, J, CH, sont pro-
noncées sans que les parties rétrécies qui produisent la
vibration du courant d'air changent de position. De
cette définition découle la propriété de ces consonnes de
pouvoir être prolongées jusqu'à complet épuisement de
l'air contenu dans les poumons.

Dans la prononciation de F (fig. 25), la mâchoire est

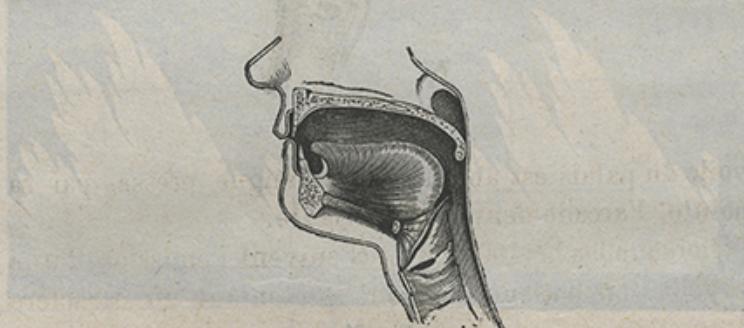


Fig. 25 (d'après Beaunis).

portée un peu en arrière, et la lèvre inférieure vient

(1) Loc. cit., p. 68.

butter contre l'arcade dentaire supérieure. Il n'y a pas de vibrations laryngiennes.

La dernière classe à signaler est celle qui comprend les consonnes M et N que l'on nomme consonnes *nasales*. Elles sont caractérisées par ce fait que, la bouche étant complètement fermée et les lèvres au contact, l'air venu des poumons s'écoule entièrement par les fosses nasales. La figure 26 représente les positions des diverses parties de la bouche pendant la prononciation de N. Le

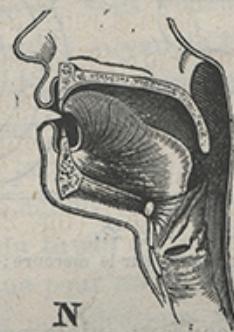


Fig. 26.

voile du palais est abaissé et la langue presse, par sa pointe, l'arcade dentaire supérieure.

Lorsque les bruits de M et N suivent l'émission d'une voyelle, on obtient des sons présentant un caractère particulier que certains auteurs ont considéré comme des sons voyelles. Lorsqu'on les prononce au-dessus d'un bain de mercure suivant le procédé phonéidoscopique de M. A. Guébhard, on obtient des diagrammes caractéristiques et différents suivant la voyelle. Ces diagrammes sont représentés figure 27. La division médiane produite par le double courant d'air des narines

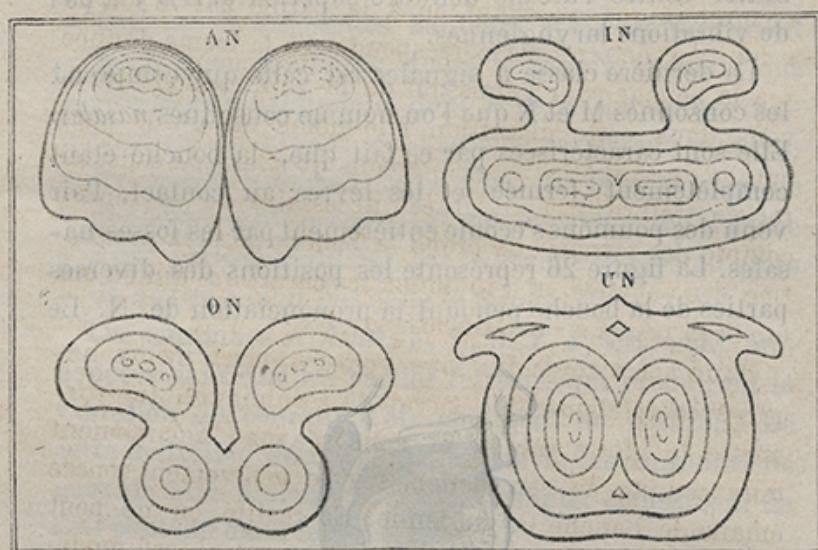


Fig. 27.
Diagrammes des voyelles nasales sur le mercure; d'après M. Guébhard.

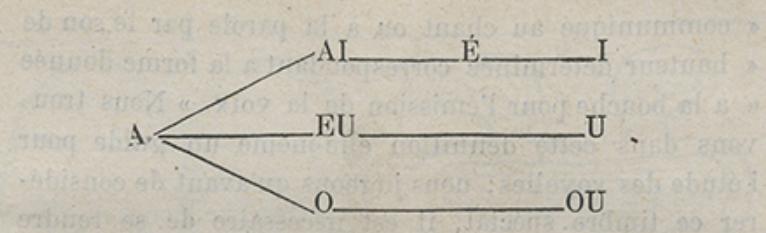
est remarquable. Ce courant existe presque seul dans le son AN, il est au contraire très faible dans UN.

Voyelles. — L'étude des voyelles est beaucoup plus importante, au point de vue qui nous occupe, que celle des consonnes. Pour en donner une preuve il suffira d'anticiper sur cette étude en considérant comme acquis les résultats que nous exposerons dans la suite, et de donner de la voyelle la définition qui lui convient, la seule qui soit vraiment scientifique. D'après M. le professeur Gavarret (1), « *la voyelle est un timbre spécial* ».

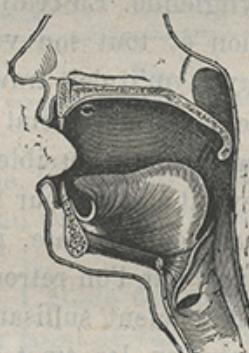
(1) Loc. cit., p. 385.

« communiqué au chant ou à la parole par le son de
« hauteur déterminée correspondant à la forme donnée
« à la bouche pour l'émission de la voix. » Nous trou-
vons dans cette définition elle-même un guide pour
l'étude des voyelles; nous jugeons qu'avant de considé-
rer ce timbre spécial, il est nécessaire de se rendre
compte des formes que prend la bouche dans la produc-
tion des voyelles, et d'indiquer les caractères qui en ont
été tirés pour leur classification.

Dans notre étude des sons vocaux, nous avons né-
gligé complètement le tuyau de résonnance qui sur-
monte la glotte vocale, et nous n'avons aucunement
tenu compte de son action sur le mouvement sonore
émané de l'anche laryngienne. En réalité, on ne peut
pas négliger cette action et tout son vocal est modifi-
é par la forme du tuyau qu'il doit traverser. On com-
prend, dès lors, que pour un même état vibratoire des
cordes vocales, les modifications possibles sont innom-
brables, et que l'on devrait à la rigueur ne pas compter
les voyelles. Cependant, on constate, parmi ce grand
nombre de sons, des types, que l'on retrouve dans toutes
les langues, qui se différencient suffisamment les uns
des autres, surtout lorsqu'on les émet successivement
dans un temps très court; ce sont ces types qui portent
plus exactement le nom de voyelles. Leur nombre varie
avec les différents auteurs, beaucoup n'en admettent
que cinq, M. Helmholtz en admet huit, qu'il classe dans
l'ordre suivant, en prenant l'A pour point de départ de
trois séries dans lesquelles se rangent les sept autres
voyelles :



Cette classification est rationnelle; car, si l'on prend pour point de départ la position des diverses parties de la bouche pendant la prononciation de l'A, on arrive, par des modifications différentes, à prononcer AI, EU, O; mais une fois que la bouche s'est modifiée de manière à émettre AI, par exemple, une simple exagération dans cette adaptation particulière lui permet de pro-



A

Fig. 28 (d'après Beaunis).

noncer E et I. Ainsi, pour prononcer A, l'ouverture buccale est largement ouverte, la langue forme un plateau étendu de l'arcade dentaire inférieure au pharynx.

On passe de A à AI, en rapprochant du palais le dos de la langue, et, en exagérant de plus en plus ce rapprochement, on obtient E et I. Dans cette dernière

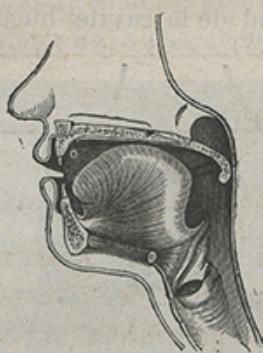


Fig. 29 (d'après Beaunis).

voyelle, la face dorsale vient presser la voûte palatine et la pointe s'abaisse vers l'arcade dentaire inférieure. « La forme de la bouche se rapproche alors, dit M. Helmholtz, de celle d'une bouteille à goulot étroit. La panse de la bouteille se trouve en arrière, dans le pharynx ou arrière-bouche; le goulot est l'étroit canal formé par la surface supérieure de la langue et le dôme du palais. » Cette disposition particulière de la bouche, signalée par M. Helmholtz, est très importante à retenir, car il s'y rattache un fait relatif à leur timbre que nous aurons à signaler.

Pour passer de l'A à l'EU, le même mouvement de la langue vers la voûte palatine se produit; mais, en même temps, les lèvres se rapprochent de manière à constituer un tube, au devant des incisives, par lequel s'échappe l'air pendant la prononciation. Ce tube est surtout caractérisé dans la voyelle U.

Enfin, pour passer de l'A à l'O et à l'OU, la langue, Bergonié.

ramenée vers le fond de la cavité buccale, n'intercepte



OU

Fig. 30 (d'après Beaunis).

plus une partie étroite entre elle et la voûte palatine. La forme générale de la bouche est celle d'une bouteille à large panse, sans goulot. Dans l'OU, cette disposition est exagérée, et la cavité présente les plus grandes dimensions possibles.

Muller a constaté que, lorsque la bouche a pris la forme qui convient pour prononcer une voyelle, il n'est pas besoin, pour que cette voyelle soit émise, que la glotte entre en vibration, il suffit que l'air chassé par les poumons vienne frôler les parois de la cavité ainsi disposée. Le son voyelle prononcé à *voix chuchotée* est très reconnaissable. Avant Muller, Kratzenstein, dans un mémoire couronné par l'Académie de Saint-Pétersbourg, avait observé le même fait. Ce savant avait même construit, dans le cours de ses recherches, des ajutages de forme et de capacités diverses représentés dans la figure 00, à l'aide desquels il put reproduire par une insufflation d'air les timbres des différentes voyelles.

L'O et l'U (allemand) étaient obtenues (fig. 31) avec la même disposition ; un vaisseau conique, dans lequel

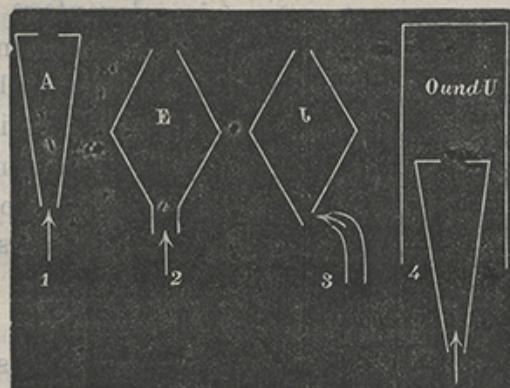


Fig. 31.

Dispositions imaginées par Kratzenstein pour la production des voyelles.

l'air arrivait par le sommet du cône et sortait par un orifice pratiqué dans sa base, était recouvert d'un cylindre de diamètre plus grand que la base du cône. En enfonçant plus ou moins le cylindre, on entendait successivement l'O et l'OU. La disposition au moyen de laquelle le J (allemand) était obtenu est encore assez remarquable.

D'autres observateurs ont reproduit récemment, de la même manière, les sons voyelles. On doit signaler, parmi eux, M. Lefort, qui a basé sur ce principe un moyen d'étude du timbre de ces sons dont nous indiquerons plus loin les résultats.

On voit, par les considérations qui précédent, que la forme et la grandeur de la cavité buccale exercent une grande influence dans la production des sons voyelles, et, comme cette influence ne peut être due qu'à un effet

de résonnance, c'est en prenant pour base les lois qui, en acoustique, régissent les phénomènes de cet ordre que l'on devait arriver à préciser davantage les conditions de leur existence. Aussi, est-ce seulement à partir des travaux de MM. Helmholtz et Donders que la question des voyelles est entrée dans une voie véritablement scientifique. L'on peut même dire que toute notion certaine, ayant trait à ce chapitre d'acoustique biologique, date de leurs recherches ou de celles des physiciens qui les ont suivis.

L'on sait que toute cavité est susceptible de renforcer par résonnance un certain nombre de sons, peu distants les uns des autres, mais qu'il en est un parmi eux sur lequel l'effet de résonnance se fait particulièrement sentir; c'est pour celui-là que la cavité est *accordée*. Il était donc tout naturel, en prenant pour point de départ ce fait d'accoustique, de chercher le son pour lequel la cavité buccale est accordée lorsque telle ou telle voyelle est émise. C'est la recherche qu'a faite M. Donders. Pour cela, il a employé trois méthodes différentes qui donnent des résultats plus ou moins nets. Une de celles qui exposent le moins à des erreurs consiste à diriger, au moyen d'un tube aplati, un courant d'air contre l'arcade dentaire de la personne qui prononce à voix basse la voyelle en question. M. Donders recommande plus particulièrement ce procédé. « La constance du son, dit-il, qu'on « entend très nettement et invariablement, en soufflant « sur la bouche pendant que la même voyelle est chan- « tée doucement sur des tons de différentes hauteurs, « est très surprenante. » Une autre méthode signalée aussi par M. Donders, mais employée surtout par

M. Helmholtz et, dans toute sa rigueur, par M. Koenig, consiste à chercher le diapason dont le son est renforcé par la cavité buccale. Pour cela, ayant une collection de diapasons, on dispose la bouche comme pour la prononciation d'une voyelle, ou bien, l'on chuchote la voyelle elle-même, et l'on approche successivement plusieurs diapasons en vibration jusqu'à ce qu'on ait reconnu que le son de l'un d'eux est beaucoup plus renforcé que celui des diapasons voisins. La cavité buccale est alors accordée pour le son rendu par ce dernier diapason. M. Helmholtz a fait cette dernière détermination pour toutes les voyelles, excepté pour l'OU et pour l'I, par la méthode que nous venons d'indiquer. Mais, comme il avait remarqué que la cavité buccale est inégalement divisée en deux par l'application du dos de la langue contre la voûte palatine, dans l'émission des voyelles AI, E, I, EU, U, il a déterminé le son renforcé pour chacune des cavités et a ainsi trouvé pour ces voyelles deux *sons caractéristiques*.

M. Koenig a fait connaître en 1870 (1) des déterminations faites par lui de ces sons caractéristiques des voyelles. La méthode de M. Koenig a été uniforme, c'est-à-dire qu'il a procédé pour l'I et pour l'OU comme pour les autres voyelles, ce que M. Helmholtz n'avait pu faire à cause de difficultés matérielles. Mais, au lieu de distinguer huit voyelles, comme l'avait fait ce dernier savant, M. Koenig n'en considère que cinq : A, E, I, O, OU.

D'autres expérimentateurs ont encore déterminé par

(1) Comptes rendus, 1870, t. LXX, p. 931.

d'autres méthodes les sons qui nous occupent. Citons parmi eux MM. A. Bourseul et Auerbach qui percutent les incisives pendant que la bouche est disposée pour la prononciation des diverses voyelles.

Les différents observateurs que nous venons de signaler ne sont pas entièrement d'accord sur les sons dont nous venons de parler, sons qui ont reçu la dénomination de *vocables* ou de *sons caractéristiques*. Le tableau ci-joint indique les résultats qu'ils ont obtenus :

Voyelles	NOTES OBTENUES PAR :		
	DONDERS	HELMHOLTZ	KENIG
OU	fa ₃	fa ₂	si ₁ ^b
O	ré ₃	si ₂ ^b	si ₂ ^b
A	si ₃ ^b	si ₄ ^b	si ₃ ^b
E	ut ₃ [#]	si ₂ ^b	si ₄ ^b
I	fa ₅	ré ₄	si ₅ ^b

Il est encore à remarquer que ces déterminations ayant été faites par des expérimentateurs auxquels la langue allemande est surtout familière, leur prononciation n'est pas absolument conforme à la nôtre et qu'une détermi-

nation de ces mêmes vocables, faite par un homme du midi de la France, serait fort intéressante.

Si l'on se rapporte à ce que nous avons dit précédemment, au sujet des sons particuliers pour lesquels une masse d'air limitée est accordée, l'on comprendra que certains sons bien déterminés, parmi la masse sonore provenant de la vibration des cordes vocales, seront renforcés par la cavité buccale et que ces sons varieront avec les différentes voyelles. Ces sons renforcés seront en relation simple avec ceux que nous avons signalés dans le tableau précédent, et le timbre de la voyelle sera constitué par la prédominance du son de résonnance de la bouche adaptée à cette voyelle et de ses harmoniques sur tous les autres sons émanant du larynx.

C'est, en effet, ce qu'ont confirmé les expériences de MM. Donders, Helmholtz et Koenig. L'influence de ces résonnances sur le timbre des voyelles, dit M. Helmholtz, est telle, quelles « renforcent tous ceux des harmoniques qui coïncident avec l'un des sons propres de la cavité buccale, ou qui en sont tout au moins assez voisins, tandis qu'elles étouffent plus ou moins les autres. L'extinction des sons non renforcés est d'autant plus frappante que la cavité de la bouche est plus resserrée, soit entre les lèvres comme dans l'OU, soit entre la langue et le palais comme dans l'I et l'U. » Pour démontrer le fait avancé, M. Helmholtz a procédé à l'analyse du timbre des voyelles, comme il l'avait déjà fait pour les timbres des instruments de musique en général. Pour cela il se sert de la méthode, bien connue, des *résonnateurs*, et il trouve ainsi que pour un O bien pur et bien plein le résonnateur accordé

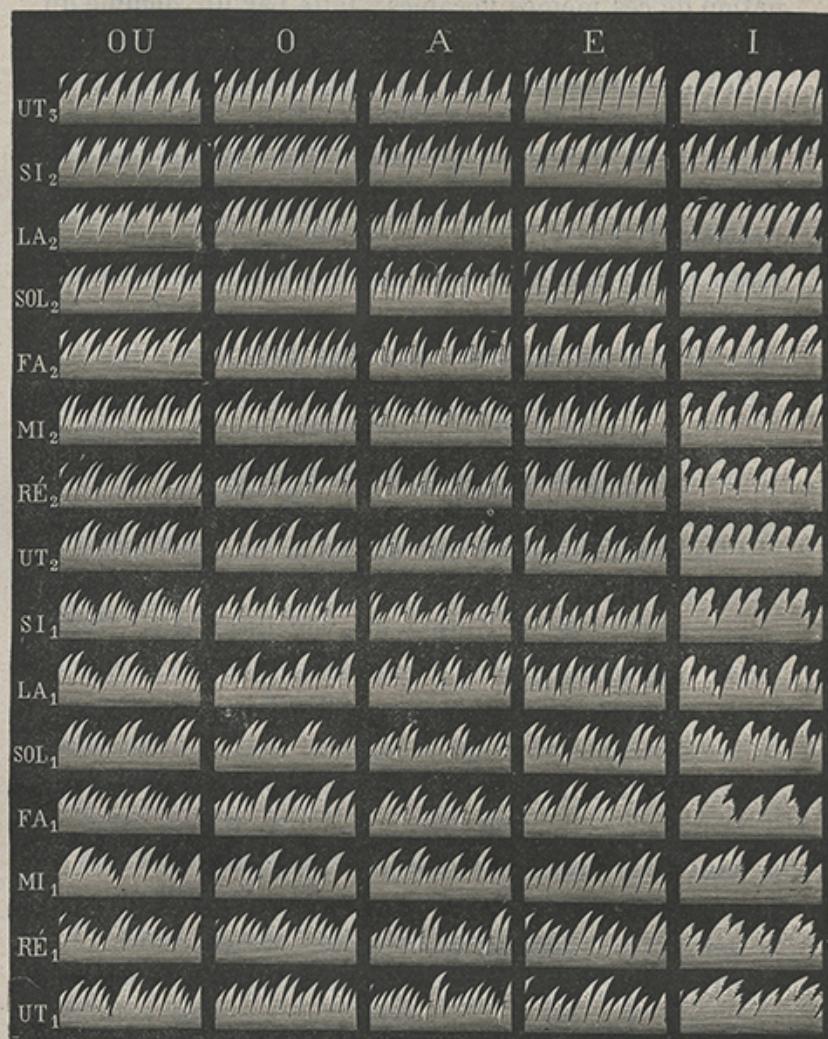


Fig. 32.

Voyelles chantées sur différentes notes, représentées par des flammes manométriques.
(Koenig).

pour le *si* \flat éclate énergiquement dans l'oreille; pour l'*A*, pour l'*É* et pour l'*I*, on entend à peine ce son. Les résultats sont aussi confirmatifs lorsqu'on prend les résonnateurs renforçant les vocables des autres voyelles.

Pénétré de cette idée, que la cavité buccale renforçait des sons bien déterminés quelque fut la note sur laquelle la voyelle était chantée, M. Koenig a essayé de constater, à l'aide des flammes manométriques, les variations que pouvaient apporter à l'image des flammes, le changement de hauteur de cette note. Les résultats qu'il a obtenus sont indiqués dans la fig. 32. Cette figure représente les images des flammes vues dans le miroir tournant lorsque l'on chante les voyelles *OU*, *O*, *A*, *E*, *I*, sur les notes des deux gammes, de *ut₁* à *ut₃*.

Enfin la théorie des voyelles telle que nous venons de l'exposer a reçu une confirmation éclatante par la synthèse, qu'a pu faire de ces timbres particuliers, l'éminent physicien allemand, M. Helmholtz. A cet effet, il s'est servi d'un appareil composé d'une série de diapasons entretenus électriquement et vibrant devant des résonnateurs correspondants dont on pouvait, à volonté, ouvrir ou fermer l'embouchure. Au moyen de cette disposition, lorsqu'on faisait résonner simultanément la note caractéristique d'une voyelle déterminée, et les harmoniques de cette note, mais plus faiblement que la note fondamentale, l'appareil rendait le timbre de la voyelle.

Une conséquence importante qui découle de la théorie de M. Donders et de M. Helmholtz est celle que ces auteurs ont signalée se rapportant à l'émission des voyelles dans la voix chantée.

« Il faut avoir égard, dit M. Helmholtz, à ce fait que « certaines voyelles se prononcent beaucoup mieux que « d'autres dans certaines régions de la gamme. D'après « mes propres observations, d'ailleurs peu étendues sous « ce rapport, les voyelles qui conviennent le mieux sont « d'abord celles dont le son caractéristique est le deuxième « ou le troisième son partiel de la note chantée. »

Ainsi, ce physicien a trouvé que chez les hommes, l'OU, dont le son caractéristique est *fa₁*, convient le mieux pour le *ré₁*, le *mi₁*, le *fa₁*, puis pour le *fa₀* d'une octave au-dessous. Il a constaté encore que les voix de femmes au-dessous de l'*ut₂* ont toutes une tendance à chanter un O sourd et à transformer toutes les autres voyelles pour les rapprocher de cet O.

Au sujet de cette conséquence de la théorie de MM. Donders, Helmholtz et Koenig qui est la théorie classique, adoptée par le plus grand nombre, nous devons en signaler une autre, toute récente, qui en diffère absolument. C'est celle que M. J. Lefort a indiquée dans la note insérée aux Comptes Rendus de l'Acad. des Sc. (23 avril 1883).

Cet auteur a expérimenté suivant la méthode de Kratzenstein et de M. Donders, en soufflant dans une cavité dont il pouvait à la fois modifier et les dimensions et l'ouverture.

Cette cavité était constituée par un tube de verre ou de métal de grand diamètre, fermé à sa partie inférieure par un fond mobile dans lequel débouchait le tuyau porte-vent. L'orifice supérieure du tube était bouché par des diaphragmes percés d'ouvertures variables. M. Lefort a ainsi pu reproduire les voyelles telles qu'elles sont don-

nées dans la voix chuchotée ; mais le résultat absolument nouveau qu'il a fait connaître, est celui énoncé dans les quelques lignes suivantes de sa Note : « Si, après avoir « fermé l'orifice supérieure de la cavité, on l'ouvre gra- « duellement, on forme également des séries de ces « mêmes bruits caractéristiques des voyelles, dont les « notes de capacité varient par demi-tons à mesure que « l'ouverture s'agrandit ».

« Ce changement de tonalité démontre l'exactitude de « la règle établie dans ma méthode de chant, qui or- « donne d'augmenter l'ouverture de la bouche, lorsque « les sons suivent une marche ascendante.

« On arrive, par ce moyen, à émettre *toutes les voyelles* « *pures dans toute l'étendue de l'échelle vocale.* »

Ce résultat est certainement très intéressant et les expériences desquelles il découle nous paraissent concluantes mais les déductions qu'en tire l'auteur touchant la constitution des sons voyelles, nous semblent insuffisamment justifiées. « Il résulte, dit-il, de cette nouvelle « théorie, que les voyelles ne sont pas des timbres, « comme on l'enseigne généralement, et qu'elles sont « les notes de hauteurs différentes, d'un même instru- « ment, l'instrument de la parole, complètement dis- « tinct de l'instrument vocal. » Ce passage de la note de M. Lefort nous montre qu'il ne donne pas au mot timbre la signification qu'on lui donne en physique, mais bien celle qui lui est attribuée dans l'enseignement du chant, signification qui n'a d'ailleurs aucune valeur scientifique. Nous ne nous arrêterons donc point à discuter son opinion sur ce point (1).

(1) D'après les idées de MM. Gariel et Gavarret à l'instigation

Il nous reste à signaler un point important, établi par les belles expériences récentes de M. Koenig, ayant rapport aux différences de phases que peuvent présenter les sons partiels qui forment un timbre donné. D'après M. Helmholtz les différences de phase entre les harmo-

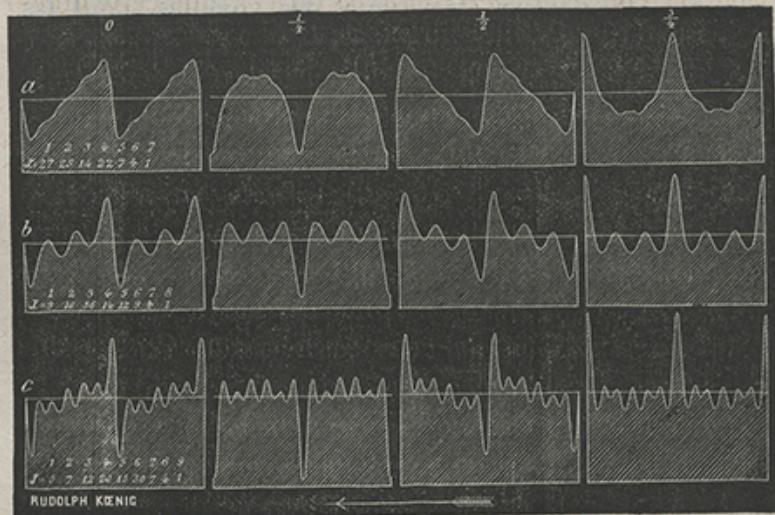


Fig. 34.

Courbes résultant de la superposition de sinusoides qui représentent les harmoniques des voyelles.

desquels M. Lefort a fait ses expériences, celles-ci pourraient conduire à ce résultat simple que la constitution du timbre des voyelles serait analogue à celles des timbres de tous les autres instruments. Il n'y aurait pas de vocables de *hauteur* invariable, mais bien des harmoniques de *rang* invariable caractérisques des diverses voyelles. Ce qui tendrait à le prouver ce serait la possibilité, démontrée par M. Lefort, d'émettre une voyelle quelconque dans *toute l'échelle des tons*, et cela en modifiant convenablement la cavité buccale. Il est à remarquer de plus, que les chanteurs prononçant distinctement changent à chaque instant la forme de

l'organisme pour faire varier la hauteur de la voyelle.

niques ne pourraient faire varier le timbre dans lequel ils entrent, ce serait seulement leur rang, leur intensité et leur nombre. Telle n'est pas la conclusion à laquelle M. Koenig a été conduit par son travail sur la synthèse des timbres au moyen de la *sirène à ondes*; il constate, en effet, et l'on a pu constater avec lui (1), que cette différence n'est pas négligeable. Pour ce qui a trait à la question des voyelles, M. Koenig a construit des courbes dans lesquelles il a composé les sinusoïdes représentatives de la hauteur et de l'intensité des harmoniques pour les voyelles OU (fig. 34 a), O (fig. 34 b), A (fig. 34 c).

« Je n'ai étudié ces trois timbres, dit M. Koenig, qu'avec les différences de phase 0 et $1/4$, et j'ai toujours trouvé le son plus fort et plus strident pour la phase $1/4$ que pour 0; cependant la différence de phase n'était pas également sensible dans les trois cas; elle était le plus sensible dans le premier cas et le moins dans le dernier. » Quant à la reproduction des voyelles elles-mêmes, M. Koenig, dit n'avoir obtenu que des résultats insuffisants, excepté pour l'A, qui était assez bien caractérisé. Ses recherches sur ce point ne sont pas encore terminées.

leur bouche, lorsqu'ils effectuent une vocalise sur une même voyelle. Hâtons-nous d'ajouter que ce ne sont là que de simples conjectures, ayant besoin pour être soutenues de preuves beaucoup plus nombreuses et d'expériences techniques faites par un physicien, mais que c'est à M. Lefort que revient la priorité des expériences faites dans cette voie.

(1) Séance du 4 mai 1883 de la *Société française de physique*.

IV.

SYNTHÈSE DE LA VOIX ARTICULÉE.

Avant de terminer cette étude, il nous paraît nécessaire de dire quelques mots des tentatives faites pour produire mécaniquement la parole. Nous n'avons à signaler que celles qui se basant sur l'étude des mouvements phonétiques sur le vivant, ont eu pour but de les imiter le mieux possible, et nous laisserons de côté tous les autres moyens de *reproduction* de la parole qui utilisent une action mécanique ou physique (phonographe et téléphone) dont l'étude nous entraînerait trop loin.

La construction d'une *machine parlante* a été souvent essayée, soit dans un but de simple curiosité soit pour un essai scientifique. Nous citerons comme pouvant être rangée dans cette dernière catégorie, celle tentée en 1791, à Vienne, par Kœmpelen. Elle avait la forme d'un automate dont la main gauche maniait le soufflet et la droite les ressorts qui la faisaient parler. Mais la machine de beaucoup la mieux étudiée et la mieux conçue au point de vue mécanique, est celle que M. Faber vint montrer à Paris, en 1876 (1). Cette machine prononçait des mots et des phrases, dont l'articulation était quelquefois incorrecte, mais dont on pouvait cependant saisir le sens. Elle est représentée en coupe fig. 35. Elle se composait essentiellement de deux parties, l'une qui servait à la phonation, l'autre, purement mécanique, formée de touches et de leviers, servant à manœuvrer les

(1) Cette machine existe encore au laboratoire de Physique de Faculté de médecine de Paris.

diverses pièces de l'organe phonateur. La première est formée d'un soufflet et d'un tube vocal analogue au larynx

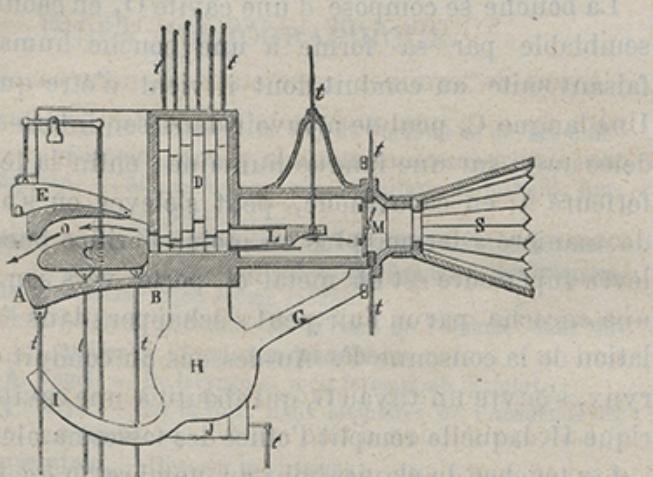


Fig. 35. Machine parlante de Faber.

et à la cavité buccale. En sortant du soufflet S, l'air vient buter contre un petit moulinet qui donne, lorsqu'on l'actionne, un tremblement assez semblable au frémissement de R. En L est le larynx proprement dit, dont la partie essentielle est une languette d'ivoire, vibrant à la manière d'une anche battante, et dont on peut augmenter ou diminuer la longueur, de manière à faire varier le son rendu. Le larynx communique avec la bouche par un conduit en forme de pyramide D, dans lequel sont adaptés six diaphragmes métalliques, placés verticalement les uns derrière les autres et pouvant glisser de manière à s'éloigner plus ou moins de la face horizontale de la pyramide qui les contient. Ces diaphragmes ne sont pas terminés par des bords infé-

rieurs linéaires, mais ces bords présentent des inégalités variables dont la forme a été déterminée par l'expérience.

La bouche se compose d'une cavité O, en caoutchouc, semblable par sa forme à une bouche humaine et faisant suite au conduit dont il vient d'être question. Une langue C, peut se mouvoir dans son intérieur, modelée aussi sur une langue humaine; enfin la lèvre inférieure A, en caoutchouc, peut s'élever ou s'abaisser de manière à fermer plus ou moins l'orifice buccal. La lèvre supérieure est en métal et porte vers son milieu une encoche par où l'air peut s'échapper dans l'articulation de la consonne F. Au-dessous du conduit du larynx, s'ouvre un tuyau G, qui aboutit à une cavité sphérique H, laquelle remplit l'office des fosses nasales.

Les touches du clavier sont au nombre de quatorze et produisent par leur abaissement, lorsqu'on fait marcher la machine, les sons suivants : *a, o, u, i, e, l, r, v, f, s, ch, b, d, g*. De plus, on peut, en ouvrant plusieurs touches, telles que celle du 6 et celle qui met les fosses nasales en communication avec l'extérieur, produire les sons des nasales *m, n*.

Ou voit, par cet exposé rapide, combien la structure de cette machine, on pourrait presque dire sa conformation anatomique, se rapproche de celle du tube vocal de l'homme. Peut-être, au moyen d'un tel appareil, aurait-on pu, par une expérimentation bien conduite, éclaircir certains points obscurs des phénomènes de la phonation. Aussi, est-il d'autant plus regrettable, que son fonctionnement, à la suite d'une opération malheureuse de laryngoplastie, ait été pour toujours compromis.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE.

- 1700 — **Dodart.** Sur les causes de la voix de l'homme et de ses différents tons; dans Mémoires de l'Académie des sciences.
- 1702 — **C. Amman.** — *Surdus loquens seu Dissertatio de loquella.* Amsterdam, 1702.
- 1706 — **Dodart.** — Sur les causes de la voix de l'homme et de ses différents tons; dans Mémoires de l'Académie des sciences.
- 1707 — **Dodart.** — Même sujet. Même recueil.
- 1741 — **Ferrein.** — De la formation de la voix de l'homme; dans Mémoires de l'Académie des sciences.
- 1747 — **R.-A. Vogel.** — *De larynge et vocis formatione.* Erfuert.
- 1779 — **Vicq d'Azyr.** — Sur la voix, dans Mémoires de l'Académie des sciences.
- 1782 — **Kratzenstein.** — *Obs. sur la physique.*
- 1784 — **C.-F. Hellwig.** — *Dissertatio de formatione loquelæ.* Tübingen.
- 1791 — **W. von Kempelen.** — *Mechanismus der menschlichen sprache* nebst Beschreibung seiner sprechenden Machine. Wien.
- 1803 — **M.-F. Rampont.** — *De la voix et de la parole.* Thèse, Paris.
- Dupuytren — *Larynx des eunuques.* Mém. Soc. philom.
- 1805 — **G. Cuvier.** — *Organes de la voix.* In Anatomie comparée, t. IV.
- 1806 — **Dutrochet.** — *Essai sur une nouvelle théorie de la voix, avec l'exposé des divers systèmes qui ont paru jusqu'à ce jour sur cet objet.* Thèse, Paris.
- 1809 — **Chladni.** — *Traité d'Acoustique.* Paris.
- 1815 — **Romer.** — *The physiology of the human voice.* London.
- 1819 — **J.-G. Frick.** — *De theoria vocis dissert.* Berlin.
- 1821 — **Despiney.** — *Physiologie de la voix et du chant.*
- 1823 — **J.-B. Biot.** — *Cours de physique expér.* Paris.
- 1825 — **F. Savart.** — *Mémoire sur la voix humaine, dans Annales de chimie et de physique,* t. XXX.
- Mémoire sur la voix des oiseaux. Même recueil, t. XXXII.
- 1826 — **Mayer.** — *Ueber die menschliche Stimme und Sprache,* dans Meckel's Archiv. f. Anat. und Physiol., 1826.
- 1828 — **Rudolphi.** *Physiologie.* Berlin, t. II, p. 370.
- 1829 — **Savart et Deleau.** — *Mémoire sur la voix présenté à l'Acad. des sciences.*

- 1830 — **Gerdy.** — Note sur la voix, dans Bulletin des sciences médicales de Féruccac, t. VII.
- Malgaigne.** — Nouvelle théorie de la voix humaine, dans Arch. gén. de méd., t. XXV.
- Schultess.** — Das Stammeln und Stottern. Zürich.
- 1831 — **Brun-Séchaud** — Propositions physiques, anatomiques et physiologiques sur la voix et son mécanisme, etc. Thèse, Paris.
- 1832 — **R. Willis.** — Annales de physique, t. XXIV.
- **Gerdy.** — Article Voix dans sa Physiologie didactique et critique, t. 1^{er}, 2^e partie. Paris.
- **Bennati.** — Recherches sur le mécanisme de la voix humaine. Paris.
- 1834 — **Colombat (de l'Isère).** — Traité des maladies des organes de la voix, ou recherches théoriques et pratiques sur la physiolog., la pathol., la thérap. et l'hygiène de l'appareil vocal. Paris.
- 1835 — **John Bishop.** — An experimental inquiry into the cause of the human voice, dans Philosoph. Transact. Londres.
- Lehfeldt.** — Nonnulla de vocis formatione. Dissert. Berlin.
- Valleix.** — Du rôle des fosses nasales dans l'acte de la phonation, dans Archives gén. de méd., 2^e série, t. VIII.
- 1836 — **John Bishop.** — Experimental researches into the physiology of the human voice, dans Philosoph. Trans., Londres.
- A. Wiedemann.** — De voce humanâ atque de ignotâ hucusque cantus modulatione quædam, dissert. Dorpat.
- 1837 — **Cagnard de Latour.** — Sur la pression à laquelle l'air contenu dans la trachée se trouve soumis pendant l'acte de la phonation, dans Comptes rendus de l'Acad. des sciences, t. IV.
- Wheatstone.** — Critique des expériences de Willis. London and Westminster Review.
- 1838 — **J. Müller.** — Voix et Parole dans Traité de physiologie, t. II. Trad. franç. 1845 et 1855.
- Boutin.** — Quels sont les principaux vices de circulation des sons. Thèse de Paris.
- 1839 — **H. Hösser.** — Menschliche Stimme, etc., für Sänger, Lehrer, und Freunde des Gesanges. Berlin.
- 1841 — **Despiney.** — Physiologie de la voix et du chant. Thèse, Paris, 1821. (Réimprimé in-8°, Bourg, 1841.)
- Nöggerath.** — De voce, lingua, etc.
- 1844 — **Petrequin et Biday.** — Mém. sur le mécanisme de la voix de fausset, dans Gaz. méd. n° 8 et 9.

- Bourguet.** — Nouvelles considérations sur la bronchotomie et sur quelques points de la phonation. Thèse, Montpellier, 1843. — **F. Romer.** — The physiology of the human voice. London.
- Segond.** — Hygiène du chanteur. Paris.
- Liskowius.** — Physiologie der menschlichen Stimme für Aerzte und Nichtärzte ; Leipzig.
- Blandel.** — Du mécanisme de la voix humaine, dans la Gazette médicale, n° 37.
- M. Garcia.** — Mémoire sur la voix humaine (présenté à l'Académie des Sciences, en 1840).
- Segond.** — Sur la parole, sur les mouvements du larynx, sur les modifications du timbre de la voix humaine, sur la voix inspiratoire, dans Archives gén. de médecine, 4^e série, t. XVII.
- E. Th. Werner.** — Nonnulla de vitiis loquela; Gryphiae;
- Röhrig.** — Mémoires (couronnés par l'Institut).
- Segond.** — Sur la parole, sur les mouvements du larynx, sur les modifications du timbre, dans Archives gén. de médecine, 4^e série, t. XX.
- A. Rinne.** — Ueber das Stimmorgan, etc. Archives de Müller.
- J. Müller.** — Art. Voix et parole, dans Traité de Physiologie (trad. franç., 2^e édit.)
- John Bishop.** — Art. Voice, dans Todd's Cyclopædia, t. IV, 1852.
- C. Mayer.** — Ueber den Bau des organes der Stimme bei dem Menschen, den Saugethieren und einigen grösseren Vögeln; nebst physiologischen Bemerkungen, dans nova Acta Acad. Leopoldin. Carol, t. XX.
- Harless.** — Article Stimme, dans Handwörterbuch der physiologie de R. Wagner; t. V.
- C. Bruch.** — Zur Physiologie der Sprache, Bâle, 1854.
- Mandl.** — De la fatigue de la voix dans les rapports avec le mode de respiration, dans Gazette médicale, n°s 16 et 18.
- Lepsius.** — Das allgemeine liguistische Alphabet.
- Merkel.** — Anat. und Physiol. des menschlichen Stimme und Sprachorgans.
- Brücke.** — Grundzüge der Physiologie und Systematik der Sprachlaute.
- Bourguet.** — Résultats de l'oblitération de la glotte chez l'homme au point de vue de l'acte de la parole; dans Gazette médicale, n° 9.
- Guillet.** — Mémoire sur la mesure des quantités d'air dépensées pour la production des sons de la voix, dans Comptes rendus Académie des Sciences.

- Helmholtz.** — Ueber die Vocale, dans Archiv. für die holländischen Beiträge zur Natur und Heilkunde, t. I.
- Kudelka.** — Ueber Herrn, Dr Bruecke's Lautsystem et réponse de M. Bruecke; dans Sitzungsberichte der K. K. Akad. der Wissenschaften zu Wien, t. XXVIII.
- 1857 — **Donders.** — Ueber die Natur der Vocale, dans Archiv. für die holländ. Beiträge Nat. und Heilkunde, t. I.
- Czermak.** — Ueber reine und nasalirte Vocale, dans Sitzungsberichte der K. K. Akad. d. W. zu Wien, t. XXVIII.
- Id.** — Ueber die Sprache, etc. (même recueil).
- Id.** — Ueber das Verhalten des weichen Gaumens beim hervorbringen der reinen Vocale, dans Sitzungsberichte der K. K. Akad. der Wissenschaften zu Wien, t. XXIV, 1857.
- 1858 — **Id.** — Physiologische Untersuchungen mit Garcia's Kehlkopfspiegel, dans Sitzungsberichte der K. K. Akad. des Wissenschaften zu Wien, t. XXIX, 1858.
- Id.** — Enige Beobachtungen ueber die Sprache bei vollständiger Verwachung des Gaumensegels mit der hinteren Sclundwand, dans même recueil, t. XXIX, 1858.
- C. L. Merkel.** — Ueber einige phonetische Streitpunkte, dans Schmidt's Jahrbücher, t. C.
- Schuch.** — Die Bewegungen des weichen Gaumens beim Sprechen und Schlucken, dans Wiener medicinische Wochenschrift, n° 3.
- L. Türck.** — Der Kehlkopfrachenspiegel und die Methode seiner Gebrauches, dans Zeitschrift der K. K. Gesellschaft der Ärzte zu Wien, n° 26.
- Masson.** — Nouvelle théorie de la voix. Gazette hebdomadaire.
- 1859 — **Helmholtz.** — Ueber die Klangfarbe der Vocale, dans Gelehrte K. baierschen Akadem. der Wissenschaften, nos 67, 68, 69, München.
- L. Türck.** — Ueber eine Verbesserung des laryngoscopischen Verfahrens, dans Sitzungsberichte der K. K. Akad. d. Wissensch zu Wien.
- 1860 — **Czermak.** — Der Kehlkopfspiegel und seine Verwerthung für Physiologie und Medicin. Leipzig.
- C. L. Merkel.** — Die neueren Leistungen auf dem Gebiete der Laryngoscopie und Phonetik, dans Schmidt's Jahrbücher, t. CVIII.
- 1861 — **Czermak.** — Bemerkungen zur Lehre vom Mechanismus des Larynx Verschlusses, dans Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere, VIII, 1861.

- M. Garcia.** — Recherches sur la voix humaine, dans comptes rendus Acad. des Sciences.
- 1861 — **E. Secten.** — Doctrines anciennes et nouvelles sur le chant. (Leipsig.)
- Ch. Bataille.** — Nouvelles recherches sur la phonation avec figures. Paris, 1861.
- Moura-Bourouillou.** — Cours complet de laryngoscopie, suivi des applications du laryngoscope à l'étude des phénomènes de la phonation et de la déglutition. Paris.
- E. Seiler.** — Altes und neues über die Ausbildung des Gesangorgans. Leipzig.
- 1862 — **C.-L. Merkel.** — Die Functionen des menschlichen Schlund und Kehlkopfes, etc.
- Henle.** — Zur Physiologie der Stimme (Götting. Nachrichten).
- 1863 — **Donders.** — Zur Klangfarbe der Vocale, dans Archiv für die holl. Beiträge, III.
- C.-L. Merkel.** — Anatomie und Physiologie des menschlichen Stimmund Sprachorgans, Leipzig. 2^e édition.
- G. Passavant.** — Ueber die Verschliessung des Schlundes beim Sprechen. Dissert. Frankfurt.
- Thausing.** — Das natürliche Lautsystem.
- 1864 — **Max Müller.** — La Science du langage (trad. franç.).
- 1865 — **Donders.** — Over stem en spraak (Nederl. Arch. voor Genees., t. I).
- Id. — Over de tong-werktuigen, etc. (même recueil).
- Czermak.** — Ueber den Spiritus asper. und lenis und über die Flüsterstimme (Wiener Akad.).
- 1866 — **E. Fournié.** — Physiologie de la voix et de la parole. Paris.
- Panofka.** — Observations sur la trachée-artère. Comptes rendus.
- Donders.** — De phonautograaf (Arch. voor Genees., t. I).
- Merkel.** — Physiol. der menschlichen Sprache.
- 1867 — **Laugel.** — La voix, l'oreille et la musique, d'après les travaux de Helmholtz, in Revue des Deux-Mondes, mai 1867.
- Terné van der Heul.** — De invloed, etc.
- Radan.** — L'acoustique et les phénomènes du son. Paris.
- 1868 — **E. Fournié.** — Physiologie et instruction du sourd-muet. Paris.
- Helmholtz.** — Théorie physiologique de la musique, trad. franç., in-8, Paris.
- Hermann.** — Ueber telephonische Reproduction von Vocalklängen (Arch. de Pflüger, t. XVII).
- Béclard.** — Article Larynx in Dictionn. des Sciences médicales. Paris.

- 1869 — G. Engel. — Studien zur Theorie des Gesanges. (Arch. für Anat.)
- W. Marcel. — On the falsetto or head-sounds of the human voice. Philos. Magazine, t. XXXVII.
- J. Rossbach. — Physiol. und Pathol. der menschlichen Stimme.
- Passavant. — Ueber die Verschliessung des Schlundes beim Sprechen. (Arch. für pat. Anat., t. XLVI.)
- Longet. — Traité de physiologie (3^e éd., t. II. Paris).
- Tyndall. — Le Son (Trad. de l'abbé Moigno. Paris).
- Krishaber. — Rech. expér. sur les divers mécanismes d'occlusion du larynx (Gaz. méd.).
- Prat. — Du rôle physiologique des tubes cartilagineux, etc. (Même recueil).
- 1870 — R. König. — Comptes rendus de l'Acad. des Sciences (Avril).
- 1871 — Donders. — De physiologie der Spraakklanken (ond. in het phys. labor. Utrecht, t. III).
- 1872 — Rossbach. — Doppeltönigkeit der Stimme bei ungleicher Spannung der Stimmbänder (Arch. de Virchow, t. LIV).
- Lucae. — Berl. Klin. Wochensch.
- Klunder. — Ein Versuch die Fehler zu bestimmen, welche der Kehlkopf beim Halten eines Tons macht.
- Maudl. — Traité pratique des maladies du larynx et du pharynx. Paris.
- 1873 — Fr. Riegel. — Ueber die Lähmung der Glottiserweiterer (Berl. Klin. Wochensch.).
- 1875 — E.-V. Quanten. — Enige Bemerk. zur Helmholtz'schen Vocallehre (Pogg. Ann. CLIV).
- Coudereau. — Essai de classification des bruits articulés (Bull. de la Soc. d'Anthrop.).
- Morey. — Phonautographe (Journ. de physique, IV, 349).
- H. Beannis. — Nouveaux éléments de physiologie humaine. Paris.
- 1876 — A. Krönig. — Sur les voyelles et un nouveau diapason naturel. (Pogg, CLVII, p. 339).
- J. Michael. — Zur Physiologie und Pathologie des Gesanges. (Berl. Klin. Wochensch.).
- E. Sievers. — Grundzüge der Lautphysiologie.
- C.-L. Rosapelly. — Essai d'inscription des mouvements phonétiques. (Trav. du labor. de Marey).
- Gentrén. — Beob. am weichen Gaumen.
- Auerbach. — Résonnance de la bouche par la percussion. (Ann. Pogg. VIII, p. 177-253).
- Gay. — Théorie physique de la phonation. Thèse d'agrégation.

- 1877 — **Goltz.** — Ein Vorlesungs Versuche mittelst des Fernsprechers.
(Arch. de Pflüger, t. XVI.).
- Grassmann.** — Ueber die physikalische Natur der Sprachlaute
(Ann. de Physik.).
- Auerbach.** — Unt. über die Natur des Vokalklanges (Ann. de Physik.).
- Fr. Frank.** — De l'étude des phénomènes phonétiques à l'aide de la méthode graphique (Nat. n° 227).
- A.-J. Godard.** — Du bégaiement et de son traitement physiologique (Thèse de Paris).
- L. Vacher.** — De la voix chez l'homme, etc. (Thèse de Paris).
- A. Hornus.** — Essai sur les troubles de la parole (Thèse de Paris).
- 1877 — **F. Auerbach.** — Unt. über die Natur des Vocalklanges (Ann. de Physik.).
- Gavarret.** — Phénomènes physiques de la phonation et de l'audition.
- Löri.** — Zur Physiologie der Stimme. (Post. med. chir. Presse).
- 1878 — **Oertel.** — Laryngostroboskopische Beobachtungen über die Bildung der Register bei der menschlichen Stimme. (Centralbl.).
- Hermann.** — Notiz über das Telephon. Arch. de Pflüger, t. XVI.
- Steiner.** — Ueber die Laryngoskopie am Kaninchen. Arch. für Physiol.
- Hirschberg.** — Ueber laryngoskopische Untersuchungs Methoden. (Arch. für Physiol.)
- Lucae.** — Ueber das Phonometer. (Même recueil.)
- Id.** — Zum Mechanismus des Gaumensegel, etc.
- Walton.** — The function of the epiglottis. (Journ. of Physiol.)
- Vacher.** — Obs. cliniques, etc. Théorie de la phonation (Lyon méd.).
- Schneebeli.** — Expér. avec le phonautographe (Arch. des sc. phys. et natur.).
- Id.** — L'application du téléphone dans les cours (Arch. des sc. phys. et nat.).
- Auerbach.** — Bestimmung der Resonanztöne der Mundhöhle durch Percussion. (Wied. Ann., t. III.)
- Id.** — Zur Grassmann'schen Vocaltheorie. (Même recueil.)
- Hermann.** — Ueber telephonische Reproduktion von vocal Klängen. (Arch. de Pflüger, t. XVII.)
- E. W. Blake.** — A method of recording articulate vibrations by means of photography. (Amer. Journ. of sc.).

- Pieniazek.** — Ueber die Ursache und Bedeutung der näselnden Sprache. (Wien. med. Blätter.)
- Auerbach.** — Résonnance de la bouche par la percussion. (Ann. Pogg. III, p. 152.)
- Bourseul.** — Contribution à la théorie des voyelles. Journ. de Phys., t. VII.
- Helmholtz.** — Téléphone et timbre. (Pogg. V. n° 12, p. 448.)
- Fl. Jenkin et A. Ewing.** — Théorie des voyelles Helmholtz et le phonographe. (Nat. XIII, n° 347.)
- Fleeming et A. Ewing.** — Phonographe et théorie des voyelles. (Journ. de Phys. VII, 247.)
- W. J. Millar.** — Transmission des voyelles, par fils métalliques. (Beiblätter.)
- Foulis.** — Un larynx artificiel. (La Nature, n° 255.)
- Du Moncel.** — Téléphone, microphone et phonographe. Machine parlante.
- Niaudet.** — Phonographe. (Journ. de Phys. VII, 109.)
- H. Grassmann.** — Ueber die physikal. Natur der Sprachlaute. (Ann. d. Physik. N. F. I., 606-629.)
- 1879 — **A. Chervin.** — Anal. physiologique des éléments de la parole.
- Hartmann.** — Exper. Stud. über die Function der Eustachischen Röhre.
- Boudet de Paris.** — Comptes rendus Acad. des Sc. p. 847.
- A. Klündter.** — Ueber die Genauigkeit der Stimme. (Arch. de Du Bois-Reymond.)
- Hensen.** — Ein einfaches Verfahren zur Beobachtung der Tonhöhe eines gesungenen Tones. (Arch. für Physiol.)
- R. Bergeron.** — De la mue de la voix.
- Morera.** — Sur les dimensions des diverses parties des lèvres vocales. (Bull. de l'Académie de médecine.)
- Grützner.** — Physiol. der Stimme und Sprache. (Hermann's Handbuch der Physiol.)
- Illingworth.** — The physiology of the larynx (Lancet).
- M. Reichert.** — Eine neue Methode zur Aufrichtung des Hehleckels, etc. (Arch. de Langenbeck, t. XXIV.)
- Preece et Stroh.** — Studies in acoustics. On the synthetic examination of vowel sounds. (Proceed. Roy. Soc., t. XXVIII.)
- Sneebelli.** — Sur la théorie du timbre et particulièrement des voyelles. Arch. d. sc. phys. et nat., t. I).
- Gariel.** — Machine parlante de Faber. (J. de Phys. t. VIII, p. 274.)
- A. Guébhard.** — Nouveau procédé phonéidoscopique par les anneaux colorés d'interférence (Congrès de Montpellier).

- Gordon Holmes.** — A. Treatise on vocal Physiology and Hygiene, with especial reference to the voice. L. R. C. P. Edinburgh, Churchill. (1879, William Pole).
- A. Graham Bell.** — Vocaltheorien. (Am. S. of Otol. I.)
1880. — **Jelenify.** — Der musculus vocalis und die Stimmregister. (Arch. de Pflüger, t. XXII.)
- Landois.** — Ueber tönende Vocalflamme. (Centralbl.)
- Hartmann.** — Ueber das Verhalten des Gaumensegels bei der articulation. (Même recueil.)
- Boudet de Paris.** — Des applications du téléphone et du microphone à la physiologie et à la clinique. Chap. II.
- Id. — Etude de la voix articulée, p. 77.
- Fournié.** — De la voix des eunuques et de son traitement (Gaz. des hôp. 104).
- R. Falkson.** — Ueber die Function des weichen Gaumens und des Pharynx. (Virchow's Arch. LXXIX, 3 p. 477.)
- A. Guébhard.** — Farbenringe und Vocaltöne. (Das Ausland, Stuttgart, No. XXIII.)
- F. Simon.** — On the mechanical impairment of the functions of the cricoarytaenoid articulation with some remarks on perichondritis of the laryngeal cartilages. (London; Med. Times and Gaz. oct. 30, nov. 13, 20, 1880.)
- F. Techmer.** — Phonetik zur vergleichenden Physiologie der Stimme und Sprache. (Leipzig.)
- E. Colombat.** — Traité d'orthophonie. Voix normale, bégaiement, etc (Paris, Asselin.)
- M. Moura.** — Statistique millimétrique des diverses parties de l'organe de la voix. Mémoire en 3 parties. (C. R.)
- J.-M. Bosanquet.** — On the nature of the sounds which occur in the beats of consonance. (Phys. Soc. 13. Novb.)
- Id. — Voix eunuchoidé. Mond. (2) LIII, 288-291.
- R. Roig.** — Contribucion al estudio de la fonografia. (Barcelona, redaccion y administracion de la Chronica científica, br. in-8°; C. R. 1880.)
- A. Jurasz.** — Ueber den phonischen Stimmritzen Krampf. (Deutsch. Arch. f. Klin. Med. XXVI, 156.)
- 1882 — **Bourseul.** — Théorie des voyelles. Ass. franç. p. l'av. des Sc. Congrès de la Rochelle.
- J. le Conte.** — Phil. Magaz (5. XIII, p. 98-112) Journ. de Physique (2^e série, t. I, p. 420).
- A. Gentilli.** — Der Glossograph. Druck von S. S. Weber. Leipzig
- 1883 — **Martel.** — Etude expér. sur les fonctions du muscle thyro-cricoïdien. (Arch. de physiol. n° 5.)
- J. Lefort.** — Etude expér. sur la prod. des voyelles dans la parole chuchotée. (C. R. 23 avril.)

TABLE DES MATIÈRES.

INTRODUCTION	1
PREMIÈRE PARTIE. — Acoustique physique	5
I. Généralités sur les tuyaux sonores	5
II. Production du son dans les instruments à anches	6
Anches rigides	7
Anches membraneuses	8
DEUXIÈME PARTIE. — Anatomie de l'instrument vocal	15
Parties mobiles	16
Muscles moteurs	19
Corps vibrant	21
TROISIÈME PARTIE. — Étude acoustique des sons vocaux	25
I. Historique	25
II. Procédés divers employés pour étudier les mouvements vibratoires du larynx	29
1 ^o Vivisections	29
2 ^o Laryngoscopie	30
3 ^o Expériences sur des larynx de cadavre	31
4 ^o Larynx artificiels	37
III. Résultats fournis par les divers moyens d'étude	
Théorie de la voix	40
Physiologie	40
Intensité des sons vocaux	45
Hauteur des sons vocaux	49
Du timbre des sons vocaux	53

QUATRIÈME PARTIE. — Étude de la parole.....	75
I. Principes physiques.....	75
Tuyau de résonnance; sa disposition anatomique.....	78
Constitution physique de la parole.....	81
II. Méthodes employées pour l'étude des phénomènes phonétiques.....	85
Inscription de ces phénomènes.....	85
Autres procédés d'études.....	94
III. Éléments de la parole. Division.....	101
Consonnes.....	102
Voyelles.....	110
IV. Synthèse de la voix articulée.....	126
INDEX BIBLIOGRAPHIQUE.....	129