

oiseaux, etc.; il a pu prendre d'admirables photographies d'oiseaux au vol, montrant comment se décomposent les mouvements des ailes. Ces études ont révélé nombre de faits intéressants, en particulier à l'égard des différentes espèces de vols (ramé, à voile, plané) et du rôle du vent dans la seconde de celle-ci. Il ne saurait toutefois en être question ici, et nous renverrons au beau livre de M. Marey : *le Vol des Oiseaux* (Masson, 1890).

LARYNX ET PHONATION

Définition. — Les animaux possédant un appareil respiratoire pulmonaire émettent tous, à quelques exceptions près, des sons, grâce à un appareil spécial disposé sur le passage de l'air : le larynx. Mais chez l'homme, le fonctionnement de cet appareil atteint un perfectionnement remarquable et l'étude de la phonation ne peut se faire réellement que sur lui.

L'appareil phonateur destiné à former le langage articulé, est constitué par le larynx, partie principale et par une série d'organes qui sont nécessaires pour modifier les sons émis par la langue : cavité buccale, langue, arcades dentaires, lèvres, etc.

Le larynx n'est que la continuation de la trachée, mais il présente des modifications pour faciliter et amplifier les mouvements vibratoires qui constituent le son.

En ce point, en effet, l'air expulsé par le mouvement expiratoire de la cage thoracique, rencontre trois rétrécissements successifs, les cordes vocales inférieures, les cordes vocales supérieures, les replis aryéno-épiglottiques. Ces rétrécissements déterminent entre eux des espaces qui jouent le rôle de résonnateur.

Mais de ces trois rétrécissements, un seul joue un rôle essentiel dans la production du son, ce sont les cordes vocales inférieures de la glotte : les lèvres vocales de Mandl.

Ces cordes vocales inférieures qui s'insèrent par un point d'attache commun sur le cartilage thyroïde, et divergeant ensuite sur les cartilages aryténoïdes, constituent avec ces dernières, un espace losangique : la glotte.

Cet espace lui-même, doit, au point de vue physiologique, être divisé en deux parties, l'une antérieure, comprise entre les cordes vocales et nommée glotte interligamenteuse ou vocale, qui constitue la partie phonétique, l'autre postérieure, comprise entre les cartilages, fixée dans ses dimensions et dans sa forme, c'est la glotte intercartilagineuse ou respiratoire, elle a pour but, en effet, par sa béance permanente d'assurer le passage de l'air nécessaire à la respiration.

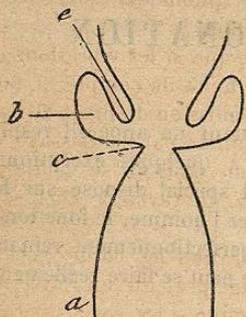


Fig. 89. — Profil de la cavité du larynx.

a, trachée. — c, rétrécissement formé par les cordes vocales inférieures. — e, rétrécissement des cordes supérieures. — b, ventricule de Morgagni.

Les cordes vocales, dont les vibrations vont produire les sons, sont deux replis membraneux de la muqueuse laryngée, présentant un bord libre en saillie. Ces cordes sont constituées par un faisceau de fibres élastiques, recouvert de la muqueuse elle-même, qui n'est plus revêtue comme dans la trachée, par un épithélium cylindrique à cils vibratils, mais bien par un épithélium pavimenteux. Enfin en dessous du faisceau élastique et le bordant, un muscle, le muscle thyro-aryténoïdien. Quant aux cordes vocales supérieures, elles sont constituées par un simple repli de la muqueuse et ne jouent qu'un rôle absolument secondaire dans la phonation.

Les muscles intrinsèques du larynx pourraient être considérés comme la continuation de la couche musculaire de la trachée, toutefois il existe une différence fondamentale due à leurs fonctions mêmes. Destinés à desservir un organe de

relation, à donner des contractions rapides et volontaires, les muscles du larynx, sont des muscles striés, alors que les muscles de la trachée sont à fibres lisses.

On a cru que le son produit par l'émission de l'air expiré était dû uniquement aux vibrations de l'air. Le son étant modifié par le degré plus ou moins grand du rétrécissement de l'orifice glottique; que l'appareil phonateur pouvait se comporter en un mot comme un sifflet.

Mais il est démontré aujourd'hui, que si les vibrations de la colonne d'air peuvent entrer en ligne de compte, il faut faire jouer le rôle principal dans l'émission du bruit aux vibrations des cordes vocales, déterminées par le passage de cette colonne d'air; le larynx, en un mot, ne se comporte pas comme un sifflet, mais comme un tuyau à anche vibrante.

L'air ne peut faire entrer en vibration les cordes vocales que si l'espace qui lui donne passage présente un rétrécissement et le son ne pourra être émis que si les cordes vocales sont tendues. La hauteur différente des sons émis dépendant ainsi qu'on le démontre en acoustique, de la tension et de la longueur des cordes vibrantes; il y a donc lieu d'étudier dans le larynx : 1° le mécanisme qui détermine la tension des cordes vocales; 2° celui qui modifie l'ouverture glottique.

Tension des cordes vocales. — La tension des cordes vocales est déterminée essentiellement par le muscle même qui est compris dans le repli de la muqueuse, le thyro-aryténoïdien, accessoirement par le crico-thyroïdien.

On faisait jouer autrefois le premier rôle à ce dernier muscle, qui, s'insérant sur le cartilage cricoïde d'une part, sur le thyroïde de l'autre, en se contractant, fait basculer ce dernier et détermine ainsi un *allongement*, une tension passive des cordes vocales (Müller). Sans nier une certaine influence au crico-thyroïdien notamment sur la fixation du thyroïde pour

donner un point d'insertion fixe au thyro-aryténoïdien quand il se contracte, il est difficile de lui accorder le rôle prépondérant étant donné :

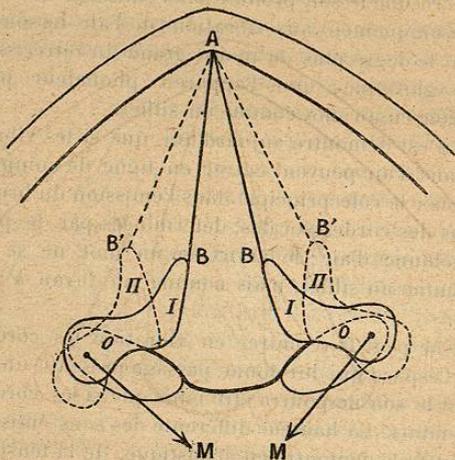


Fig. 90. — Action des muscles crico-aryténoïdiens postérieurs.
 I, Position des cartilages aryténoïdes avant la contraction ;
 II, Position des mêmes cartilages après la contraction ;
 MM, Direction suivant laquelle s'effectue le raccourcissement musculaire ;
 AB, Cordes vocales avant la contraction. — AB', Cordes vocales après la contraction.
 o, Centre de rotation.

1° Que l'examen direct au laryngoscope ne montre pas un allongement des cordes pendant l'émission d'un son.

2° Que la section du nerf moteur de ce muscle (branche externe du laryngé supérieur) n'amène pas de modification appréciable dans l'émission des sons ;

Le thyro-aryténoïdien est, au contraire, le muscle tenseur des cordes vocales. C'est par une contraction active qu'il détermine le degré de tension de ces cordes vibrantes. Le

faisceau élastique qui le borde n'ayant pour rôle que de maintenir la muqueuse et de s'opposer à ses plissements lors de la contraction du muscle. Le thyro-aryténoïdien est donc le muscle d'accommodation de la voix (Mandl).

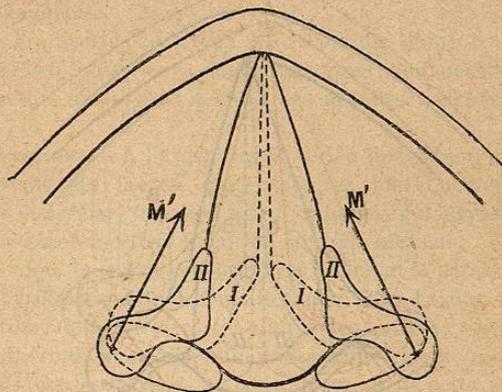


Fig. 91. — Action du muscle crico-aryténoïdien latéral.

I, Position des cartilages avant la contraction ;
 II, Position des cartilages après la contraction.

Modification de l'espace glottique. — Les cordes vocales s'insèrent par un point commun et fixe à la face interne du cartilage cricoïde. Leur autre extrémité a son point d'attache mobile constituée par l'apophyse interne de la base des cartilages aryténoïdes. Or ces cartilages, sollicités par plusieurs muscles, sont très mobiles et susceptibles de mouvements variés, ils peuvent se rapprocher l'un de l'autre, tourner sur leur axe, basculer en dehors et en arrière, entraînant ainsi les cordes vocales et déterminant soit leur éloignement, soit leur rapprochement.

Le crico-aryténoïdien postérieur, s'insérant d'une part à la face postérieure du cricoïde, de l'autre à l'apophyse ex-

terne de l'aryténoïde, fait basculer ce dernier sur son axe, déterminant l'éloignement des deux apophyses externes et par suite l'écartement des cordes vocales. C'est donc le muscle dilatateur de la glotte, chargé d'ouvrir cette dernière

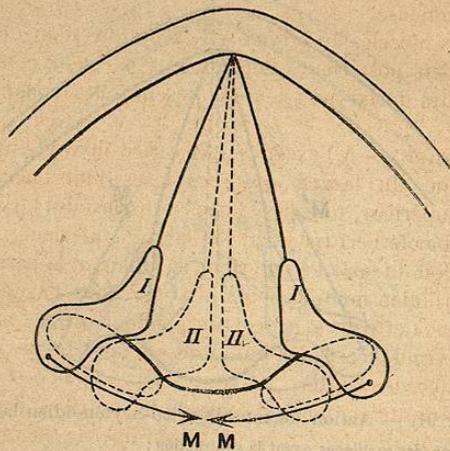


Fig. 92. — Action du muscle ary-aryténoïdien.

I, Position des cartilages avant la contraction ;
II, Position des cartilages après la contraction.

lors de l'inspiration. Il appartient à l'appareil respiratoire et non au larynx phonateur, et cette distinction physiologique est confirmée par cette considération anatomique, que son innervation est faite par des filets du nerf respiratoire, du pneumogastrique, alors que les autres muscles laryngiens reçoivent leurs filets nerveux du spinal. Le crico-aryténoïdien latéral, étendu du bord supérieur du cricoïde (partie latérale, à l'apophyse externe de l'aryténoïde est l'antagonisme du précédent, par un mécanisme de bascule identique, l'axe de pivot étant le même. Il est donc const

du larynx et détermine l'occlusion de la glotte interligamenteuse.

L'ary-aryténoïdien, réunissant les deux aryténoïdes, rapproche en se contractant ces deux cartilages et complète ainsi l'occlusion totale de la glotte en fermant la glotte intercartilagineuse.

Tous les muscles du larynx à l'exception d'un, le crico-aryténoïdien postérieur, déterminent par leur contracture la fermeture du larynx ; ce sont des muscles constricteurs.

Innervation. — A l'exception du crico-thyroïdien, muscle extrinsèque du larynx qui reçoit ses filets nerveux du laryngé supérieur, tous les autres muscles du larynx sont innervés par le nerf récurrent ou laryngé inférieur.

La section du laryngé supérieur en amenant la paralysie du crico-thyroïdien modifie peu, ainsi que nous l'avons vu, la phonation. Cette dernière est simplement altérée par le fait que le thyroïde n'est plus immobilisé quand les thyro-aryténoïdiens (cordes vocales) se contractent, mais cette section peu importante au point de vue de la motricité amène une perturbation profonde dans la sensibilité de la muqueuse laryngée. C'est la branche interne du laryngé supérieur, en effet grâce à ses anastomoses avec le récurrent (anastomose de Galien) qui donne la sensibilité à toute la muqueuse du larynx.

Par suite de l'insensibilité consécutive à la section du nerf laryngé supérieur, les corps étrangers peuvent s'introduire dans le larynx et de là dans les poumons et déterminer des accidents asphyxiques immédiats, ou tout au moins, une inflammation de la muqueuse pulmonaire et une pneumonie consécutive.

Le nerf laryngé inférieur innerve les autres muscles du larynx. Mais ce nerf qui paraît se détacher du pneumogastrique renferme surtout des fibres motrices du nerf spinal. Cl. Bernard a montré que la section intracrânienne du spinal

rend l'animal aphone. Ce sont finalement les fibres du spinal qui vont aux muscles phonateurs. Ainsi qu'il l'a déjà été signalé, le crico-aryténoïdien postérieur qui ne joue aucun rôle dans l'émission de la voix reçoit lui par la même branche des fibres du pneumogastrique.

L'étude des centres moteurs cérébraux confirme cette distinction. Il n'existe pas de centre cortical pour le crico-aryténoïdien postérieur alors que les muscles phonateurs peuvent être mis en jeu par une excitation portant sur le pied de la circonvolution frontale ascendante, immédiatement en arrière de l'extrémité inférieure du sillon précentral. Une excitation faite sur la partie antérieure de cette région détermine le rapprochement des cordes vocales (Horsley et Semon). Ce centre existerait également chez l'homme au pied des circonvolutions frontales et pariétales ascendantes (Déjerine).

Technique. — Les vivisections n'ont pas apporté à l'étude du larynx beaucoup de lumières. Les traumatismes nécessaires pour mettre à nu la glotte déterminent déjà un trouble considérable et d'autre part, les sons qu'émettent les animaux ne peuvent que donner des résultats approximatifs pour l'étude de cette fonction de la phonation qui atteint chez l'homme un tel degré de perfectionnement.

L'examen des larynx de cadavre, les considérations anatomiques qui se déduisent du mode d'insertion des différents muscles laryngés, enfin les essais de soufflerie faite sur des larynx dont on déterminait la tension des muscles par des poids (Ferrein, Müller, Merkel) ont permis toutefois d'étudier un certain nombre de points, il en est de même des larynx artificiels.

Mais on doit mentionner spécialement le laryngoscope qui rend chaque jour de grands services dans les maladies du larynx et a permis d'élucider un certain nombre de faits mal expliqués, par l'observation directe sur l'homme.

Un chanteur, Garcia (1854), eut le premier l'idée d'examiner les mouvements de son larynx au moyen d'un petit miroir plan porté au fond de la gorge. Les rayons d'une source lumineuse sont réfléchis par le miroir convenablement incliné

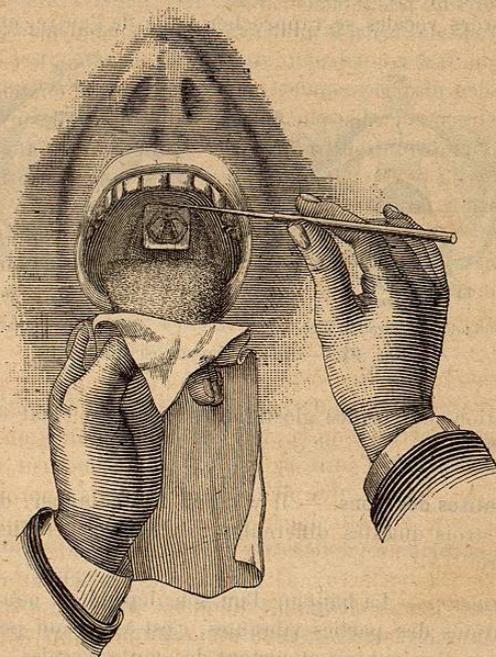
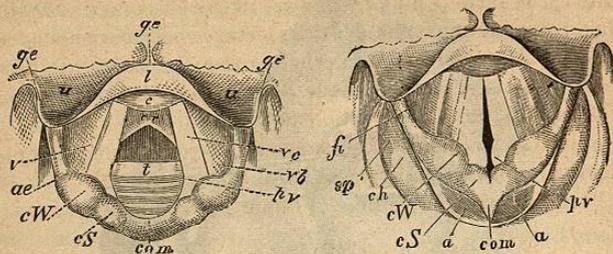


Fig. 93. — Examen laryngoscopique.

sur la glotte qu'ils éclairent et dont l'image vient se former sur le miroir. Tel est le laryngoscope simple auquel on a fait subir de nombreux perfectionnements. Garcia, en reproduisant l'image du miroir laryngé sur une autre glace placée devant lui, étudiait les mouvements de son propre larynx et

faisait de l'auto-laryngoscopie. On parvient, en dirigeant bien le miroir à voir les cordes vocales masquées plus ou moins par les cordes vocales supérieures. Dans la respiration forcée, les cordes sont étendues, et la glotte apparaît béante, si l'on fait alors prononcer la voyelle *a*, on voit les cordes vocales se rapprocher l'une de l'autre, entrer en



Pendant la respiration forcée.

Pendant la phonation.

Fig. 94. — Images laryngoscopiques.

vibration, et l'orifice glottique est réduit à l'état de fente (fig. 94).

Qualités des sons. — Il y a lieu de distinguer, dans les sons, trois qualités différentes : la hauteur, l'intensité, le timbre.

Hauteur. — La hauteur d'un son dépend du nombre des vibrations des parties vibrantes, c'est-à-dire un peu de la colonne d'air expirée et surtout des cordes vocales.

Les conditions qui influent sur le nombre des vibrations c'est-à-dire sur la hauteur du son, sont la longueur, la largeur et la tension des cordes vocales. La plus grande hauteur (sons aigus) sera donc atteinte par l'action synergique des thyro-aryténoïdiens (tenseur direct des cordes vocales), et des crico-thyroïdiens et crico-aryténoïdiens qui augmentent leur longueur.

La force du courant d'air, quoique sans grande importance, peut néanmoins forcer la hauteur (Mandl).

La disposition du larynx permet à la voix humaine d'émettre une série de sons de hauteurs variables. La limite dans laquelle chaque voix peut s'étendre est environ de deux octaves dans le chant. Car dans la parole causée, la limite est beaucoup plus restreinte, une demi-octave environ. Mais l'étendue moyenne des deux octaves peut correspondre à des points différents de l'échelle musicale. Les limites extrêmes admises, sont en bas le $Mi_1 = 163$ vibrations et en haut l' $Ut_3 = 2112$ vibrations.

Suivant les régions où se trouvent les voix, on a fait plusieurs groupes au point de vue musical.

Parmi les voix de femmes toujours plus hautes :

La soprano de si_3 au sol_4
 La mezzo soprano du sol_3 au mi_4
 La contralto. mi_2 à ut_4

Puis les voix d'hommes de plus en plus basses :

Le ténor ut_2 au la_3
 Le baryton la_1 à fa_2
 La basse fa_1 à $ré_3$

Ces limites ne sont qu'approximatives et variables d'un individu à l'autre.

Parmi les variations de timbres qu'une personne peut réaliser, il y a lieu de signaler, les modifications désignées sous le nom de voix ou registre de poitrine, de voix ou registre de tête de fausset. Ces appellations viennent de ce qu'en apparence pour ce registre de poitrine la voix est pleine avec résonnance des parois thoraciques, tandis que, dans le second cas, ce sont les parties supérieures de l'appareil vocal qui entraînent surtout en vibrations. D'après Mandl, dans la voix de tête ou de fausset, les lèvres de la glotte interligamenteuse n'entrent en vibration, que sur une partie de leur longueur,

la glotte intercartilagineuse est effacée par suite du rapprochement des deux cartilages aryénoïdes. Dans la voix de poitrine au contraire les cordes vibrent dans toute leur longueur. Une autre théorie (Lehfeldt, Müller) explique ces deux voix, non par des différences dans la longueur, mais dans la partie qui entre en vibration : Dans le registre de poitrine, la corde vibre dans toute son épaisseur dans le registre de tête, le bord libre de la corde entre seul en vibration. Chez l'enfant, la glotte intercartilagineuse n'existant pas, tous les sons rendus sont aigus. C'est à l'époque de la puberté que la glotte intercartilagineuse venant à se développer, le registre de la voix s'abaisse : chez les garçons, d'une octave environ ; chez les filles, de deux à trois tons seulement. On dit alors que la voix *muc*. Chez le vieillard, le registre s'abaisse au-dessous du diapason de l'adulte, les cartilages du larynx subissant avec l'âge une ossification plus ou moins complète, les cordes vocales ne peuvent plus vibrer avec la même facilité. Il est probable aussi que la diminution de l'élasticité des cordes vocales, qui arrive avec l'âge, rend la voix plus grave.

Intensité. — L'intensité du son dépend de l'amplitude des vibrations, dans le cas des sons émis par le larynx, elle dépend surtout de la vitesse de la colonne d'air expirée et par suite de la force des muscles expirateurs et de l'amplitude de la cage thoracique.

Timbre. — On sait que des sons ayant même intensité et même hauteur peuvent encore être distingués entre eux par une différence qui constitue le timbre.

Deux chanteurs donnant la même note pourront être distingués l'un de l'autre. C'est Helmholtz qui a fait voir en quoi réside le timbre des sons. Il a démontré que la plupart des sons qui nous paraissent simples, c'est-à-dire produits par une seule espèce de vibrations, sont en réalité composés d'un *son fondamental* auquel viennent se surajouter des sons accessoires appelés *harmoniques*. Or, c'est précisément de la

combinaison des harmoniques avec le son fondamental que résulte le timbre d'un son.

Helmholtz et Kienig ont démontré que c'est précisément la voix humaine qui est la plus riche en harmoniques ; d'où cette grande diversité de timbre des différentes voix humaines. Les harmoniques se forment en partie sur les cordes vocales elles-mêmes. Celles-ci, mises en branle sous l'influence du courant d'air expiré, donnent naissance à des vibrations d'espèces différents ; il existe des timbres divers du son glottique. Mais ce sont surtout les cavités situées au-dessus de la glotte, pharynx, cavité buccale, etc., qui concourent par la formation d'harmoniques nouvelles à donner une si grande variété de timbres, on distingue dans l'étude du chant, le timbre clair du timbre sombre, mais les différences de mécanismes de ces variétés n'ont pas encore été suffisamment établies.

Parole. — L'appareil laryngé est capable d'émettre des sons, mais pour que ces sons deviennent articulés, se transforment en parole, il faut l'aide des autres parties qui constituent l'appareil phonateur.

Ce sont les parties sus-laryngiennes, la bouche, la langue, les lèvres, l'arcade dentaire qui, outre les modifications de timbres déjà indiquées, transforment le son laryngien en son articulé, en parole.

L'intervention des cordes vocales n'est pas indispensable pour la parole ; dans le chuchotement, dans le parler à voix basse, la glotte interligamenteuse reste fermée et l'air passe par la glotte intercartilagineuse, et ce sont les organes supérieurs qui déterminent seuls le son perçu. Mais comme cet effet ne peut être obtenu que par une dépense considérable d'air, le chuchotement est fatigant. Toutefois les auteurs n'admettent pas tous une passivité complète des cordes vocales. Czermack soutient au contraire que ces cordes contribuent à l'émission des sons dans la voix basse.

Voyelles et consonnes. — La parole se compose essentiellement de voyelles et de consonnes. Il suffira de rappeler quelques-unes des définitions qui ont été données pour indiquer les caractéristiques de chacune d'elles.

Les voyelles sont des sons, les consonnes sont des bruits.

Les voyelles peuvent être émises seules, les consonnes exigent le concours des voyelles. On peut se rattacher à la définition physiologique suivante :

Les voyelles sont des sons, produits par les vibrations des cordes vocales, renforcées et modifiées par des harmoniques formées dans les parties supérieures du tube phonateur.

Les consonnes sont des bruits qui prennent naissance dans les parties supérieures du tube phonateur et sont renforcées par les vibrations laryngées.

Voyelles. — Dans l'émission des voyelles, le larynx et la cavité buccale apportent chacun leur concours. Helmholtz, qui est le créateur de la science physiologique de la parole, a montré qu'en plaçant une série de diapasons devant la bouche au moment de la prononciation des différentes voyelles, à chacune d'elles correspond la vibration d'un diapason donné. Ce qui signifie que pour chaque voyelle, les cordes vocales présentent un nombre de vibrations différent, c'est-à-dire une hauteur de son différente¹. Mais le larynx donne le son fondamental avec une série de sons partiels provenant de la formation de nœuds dans les cordes vocales; c'est la cavité buccale qui, en se modifiant, présentant ainsi une série de résonateurs différents, modifie les harmoniques. On conçoit en effet que les différentes formes données à la bouche par les mouvements des lèvres et la langue, donnent lieu à

¹ A l'aide d'appareils spéciaux nommés résonateurs, Helmholtz a montré que si l'on a une série de résonateurs et qu'on les approche d'un diapason en vibration, on trouve pour l'un des résonateurs un renforcement du son supérieur à ceux donnés par les autres. C'est que ce résonateur est *accordé* pour le son émis par le diapason.

une série de résonateurs différents, qui ne sont accordés que pour certains sons, soit fondamentaux, soit partiels.

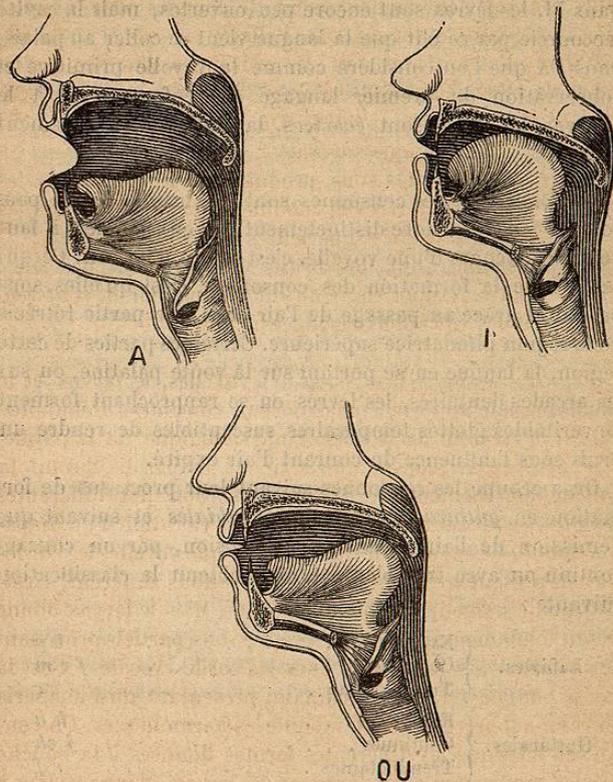


Fig. 95. — Modification de la cavité buccale dans la prononciation des voyelles.

Au point de vue phonétique, voyelles et diptongues doivent être confondus, et on peut ainsi admettre six voyelles :

OU O A É I U. Ainsi, dans l'OU, l'orifice buccal est étroit, la cavité allongée, la langue légèrement aplatie en avant. Dans l'I, les lèvres sont encore peu ouvertes, mais la cavité raccourcie par ce fait que la langue vient se coller au palais. Dans l'A que l'on considère comme la voyelle primitive et l'observation du premier langage des enfants tend à le prouver, les lèvres sont écartées, la langue complètement effacée.

Consonnes. — Les consonnes sont des bruits, qui ne peuvent se faire entendre distinctement par eux-mêmes, il faut donc le concours d'une voyelle, c'est-à-dire d'un son. Ce qui caractérise la formation des consonnes, c'est qu'elles sont produites grâce au passage de l'air dans une partie rétrécie de la région phonatrice supérieure. Certaines parties de cette région, la langue en se portant sur la voûte palatine, ou sur les arcades dentaires, les lèvres en se rapprochant forment de véritables glottes temporaires susceptibles de rendre un bruit sous l'influence du courant d'air expiré.

On a groupé les consonnes suivant leur processus de formation en *gutturales, linguales et labiales* et suivant que l'émission de l'air se fait avec explosion, par un courant continu ou avec tremblement, on a obtenu la classification suivante :

Labiales.	{	Explosives	<i>b p</i>
		Continues	<i>f v m</i>
		Tremblotante	<i>r</i>
Gutturales.	{	Explosives.	<i>h a</i>
		Continues	<i>j ch</i>
		Tremblotantes	<i>r f</i>
Linguales.	{	Explosives	<i>t d</i>
		Continues	<i>s n l</i>
		Tremblotante.	<i>r</i>

La consonne *r* a surtout pour caractéristique le tremblement ou la vibration. Les consonnes *m, n*, pourraient être

groupées à part, car dans leur formation, la cavité nasale entre en jeu par suite de l'abaissement du voile du palais, et elles constituent le groupe des consonnes nasales : nasale gutturale *N, G*, nasale labiale *M*, nasale linguale *M*.

Technique. — L'étude des sons articulés a été faite au moyen de plusieurs procédés.

Marey et Rosapelly ont enregistré simultanément les vibrations du larynx, les mouvements des lèvres et les mouvements du voile du palais. Quant aux mouvements de la langue, on n'a pu encore les inscrire par suite de leur variété, on peut simplement se rendre compte des points ou des régions qui viennent toucher la voûte palatine, en recouvrant la langue d'un enduit coloré qui laisse une trace sur les points correspondants touchés (procédés des empreintes colorées).

Le phonautographe de Scott permettait d'inscrire les vibrations produites en parlant devant une membrane tendue possédant un stylet inscripteur. Le phonographe d'Edison, le graphophone sont des perfectionnements de cet appareil primitif, qui permettent non seulement d'inscrire les vibrations produites, mais de reproduire la parole, en déterminant les vibrations d'une membrane.

Les *flammes manométriques de Kœnig* permettent de rendre visibles les vibrations de l'appareil phonateur pour les différents sons. L'opérateur parle dans un entonnoir et les ondulations viennent agir sur une petite flamme qui subit ainsi des oscillations, on recueille l'image de cette flamme sur un miroir tournant avec une certaine vitesse. On voit alors que chaque son, chaque voyelle détermine une image lumineuse spéciale, qui est sa caractéristique.