

1° l'air complémentaire (très variable selon les sujets); 2° l'air de la respiration normale (1/2 litre environ); 3° l'air de réserve; 4° l'air résiduel. La somme de ces différentes quantités représente la capacité pulmonaire, qu'on peut évaluer à 4 ou 5 litres, et qu'il ne faut pas confondre avec ce qu'on a appelé la capacité vitale (ou mieux capacité respiratoire), laquelle ne dépasse pas normalement 3 1/2 litres. Parmi ces données numériques, la plus simple et la plus importante est que chaque inspiration amène dans le poumon 1/2 litre (500 centimètres cubes) d'air.

La fréquence de la respiration (nombre des mouvements respiratoires par minute) est de 14 à 16 pour l'adulte. L'homme fait ainsi passer environ 7 litres d'air par minute dans son poumon ( $0,500 \times 14 = 7$ ), ce qui fait 450 litres par heure ( $7 \times 60 = 420$ ), soit environ 10 000 litres par vingt-quatre heures ( $420 \times 24 = 10\ 080$ ).

Le *murmure respiratoire* a sa principale cause dans le poumon lui-même (murmure vésiculaire).

Des 2000 litres d'oxygène qui sont introduits en vingt-quatre heures (avec les 10 000 litres d'air, puisque l'air est composé de 21 d'oxygène pour 79 d'azote), dans le poumon de l'adulte, 530 litres environ, c'est-à-dire à peu près le quart, sont retenus (employés aux combustions organiques). Par contre, il y a environ 400 litres d'acide carbonique expirés (par vingt-quatre heures).

Cet *échange gazeux* nous explique la transformation du sang noir (sang veineux) en sang rouge (sang artériel). En effet, il se fait au niveau de la surface pulmonaire un échange dans lequel le globule sanguin (hématie) se charge d'oxygène, tandis que le plasma du sang laisse dégager l'acide carbonique qu'il contenait en dissolution, et surtout en combinaison.

Ce n'est donc pas au niveau de la surface pulmonaire que se font les *combustions respiratoires* : elles se font dans l'intimité de tous les tissus (comme le prouve d'ailleurs l'étude de la *chaleur animale*).

Le sang est essentiellement l'intermédiaire entre les tissus et l'air extérieur pour le transport du gaz nécessaire aux combustions (oxygène), et du gaz produit par ces combustions (acide carbonique).

Si la *pression extérieure diminue* considérablement, l'oxygène est à une trop faible tension et le sang n'en renferme que des proportions insuffisantes pour entretenir la vie (expériences de Paul Bert. Catastrophe du *Zénith*. Jourdanet et le Mexique).

Si, dans un milieu confiné, l'*acide carbonique* s'accumule, sa pression devient telle qu'elle s'oppose à l'exhalation pulmonaire carbonique, et l'animal périt asphyxié par l'excès d'acide carbonique, quand même l'oxygène lui serait fourni en quantité suffisante (P. Bert).

Si le milieu ambiant renferme de l'*oxyde de carbone*, ce gaz, ayant une grande affinité pour l'hémoglobine, se porte sur le globule rouge du sang, en chasse l'oxygène, et l'animal périt asphyxié puisque le sang ne porte plus d'oxygène aux tissus.

Les effets singuliers qu'exerce l'augmentation considérable de pression extérieure sont dus (P. Bert) à la *forte tension de l'oxygène*.

condition qui arrête toutes les combustions corrélatives au mouvement vital.

Le *système nerveux* règle les actes respiratoires pulmonaires (partie mécanique de la respiration). Le centre des réflexes respiratoires est dans le bulbe (*nœud vital* de Flourens); les voies centripètes sont représentées par la *pneumogastrique* et secondairement par un grand nombre de nerfs sensitifs divers; les voies centrifuges sont représentées par les nerfs moteurs des muscles du thorax.

L'homme appartient à la classe des animaux dits à *sang chaud*, c'est-à-dire dont la température est indépendante du milieu ambiant. La température du corps (prise dans le creux de l'aisselle) est de 37°. L'homme produit de la *chaleur* : près de 3000 calories par vingt-quatre heures (environ 112 calories par heure); cette chaleur est le résultat des combustions qui ont lieu dans l'intimité de *tous les tissus* et aussi des dédoublements et autres actes chimiques très complexes dont les éléments anatomiques sont le siège, ou qui tout au moins se passent dans le sang des capillaires au niveau de ces éléments anatomiques. Aussi le sang veineux général (ventricule droit) est-il plus chaud que le sang artériel. Le sang se rafraîchit au lieu de s'échauffer en passant par le poumon.

Par les nerfs vaso-moteurs, le système nerveux règle la *distribution* de la chaleur; il en règle aussi la *production*, car les nerfs vaso-dilatateurs sont *calorifiques* et les vaso-constricteurs *frigorifiques*.

### III. — Du larynx et de la phonation.

De même que nous verrons bientôt les téguments externes se modifier en certains points de manière à devenir plus aptes à recevoir les impressions du monde extérieur et constituer ainsi les *organes des sens*, de même nous voyons le conduit aëriifère de la respiration présenter au niveau de la partie supérieure du cou une disposition spéciale qui constitue le *larynx*, organe apte à mettre l'homme en relation avec le monde extérieur et particulièrement avec ses semblables. Cet appareil forme donc l'un des organes les plus importants qui servent aux *fonctions de relation*, car il constitue notre principal moyen de communication, d'expression, en un mot.

Les autres moyens de communication et d'expression se trouvent disséminés dans les divers organes extérieurs. C'est ainsi que les *membres* et surtout les *membres supérieurs* sont des organes d'expression dont les signes sont en général très aisément interprétés. La *musculature de la face* est également un appareil d'expression tout particulier. Tous ces muscles, à l'exception de

ceux du globe de l'œil, sont innervés par le nerf de la septième paire, par le facial, qui est sous la dépendance de la moelle allongée; aussi les mille variétés d'expression que présente la face peuvent-elles se produire par simple action réflexe, et sans aucune participation de la volonté.

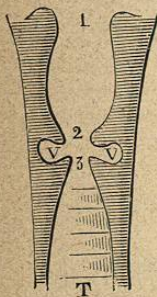


Fig. 113. — Coupe verticale schématisée du larynx \*.

**Larynx.** — Le larynx, organe essentiel de la phonation, n'est qu'une portion de la *trachée* modifiée dans sa forme et un peu dans sa structure. *Sous le rapport de la forme*, la trachée présente à

\* On voit que la partie laryngienne du conduit aërifère présente trois rétrécissements circonscrits : — 1, par les replis aryéno-épiglottiques; — 2, par les cordes vocales supérieures; — 3, par les cordes vocales inférieures; — V, V, ventricules du larynx; — T, trachée.

\*\* La lame gauche du cartilage thyroïde (t) est désarticulée et coupée près de son angle saillant; — e, épiglote; — cr, cricoïde; — f, surface articulaire thyroïdienne; — ar, cartilage aryénoïde; — tr, muscle ary-aryénoïdien transverse; — o, muscle ary-aryénoïdien oblique; — p, muscle crico-aryénoïdien postérieur; — l, muscle crico-aryénoïdien latéral; — i, couche inférieure, et s, couche supérieure du muscle thyro-aryénoïdien; — car, cta et cte, faisceaux musculaires très variables et non constants contenus dans les replis aryéno-épiglottiques, et désignés sous le nom de muscle thyro-ary-épiglottique.

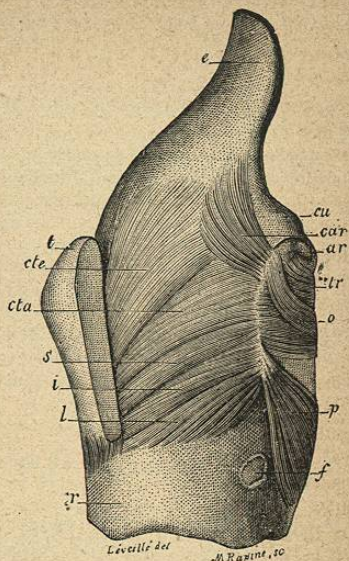


Fig. 119. — Muscles intrinsèques du larynx vus latéralement \*\*.

ce niveau un rétrécissement, une espèce de *défilé*, dont les dimensions peuvent être diminuées ou agrandies de façon à rendre presque à la trachée son calibre primitif. Ce rétrécissement, ce défilé laryngien est multiple, comme le montre un schéma (fig. 113) de la coupe verticale du larynx. Il y a trois rétrécissements qui sont circonscrits, le premier (en allant de haut en bas) par les *replis aryéno-épiglottiques*, le second par les prétendues *cordes vocales supérieures* (simple repli de la muqueuse), le troisième par les *vraies cordes vocales*; c'est ce dernier seul qui constitue la véritable *glotte*, le véritable *orifice phonateur*. — *Sous le rapport de la structure*, nous trouvons au niveau de la glotte les mêmes éléments que dans la trachée, mais modifiés aussi dans un but spécial. Ainsi, tandis que l'épithélium est cylindrique et vibratile dans toute l'étendue de l'arbre aërien, au niveau de l'éperon formé par la glotte proprement dite le revêtement épithélial prend la forme pavimenteuse, plus appropriée aux fonctions des cordes vocales. Cet épithélium, en couches plus nombreuses que l'épithélium vibratile, est en même temps plus apte à prévenir le dessèchement des lèvres d'un orifice où le courant d'air se fait avec le plus de violence. Au-dessous de la muqueuse, nous trouvons le tissu élastique déjà constaté dans toute la longueur de la trachée et toujours formé de fibres irrégulièrement entrelacées et tordues comme des crins de matelas; ce tissu forme au niveau de la glotte une couche plus épaisse, qu'on a considérée comme un ligament sous-jacent à la muqueuse; c'est ce qu'en anatomie on appelle la *corde vocale*.

Au-dessous de ce tissu élastique on trouve encore, comme dans tout l'arbre aërien, le tissu musculaire; mais au niveau du larynx ce n'est plus le muscle lisse, c'est le muscle strié que nous rencontrons; il y forme, comme dans tous les appareils de la vie de relation, des corps musculaires nettement délimités et à fonctions bien déterminées (muscles crico-aryénoïdiens postérieurs, crico-aryénoïdiens latéraux, aryénoïdiens, thyro-aryénoïdiens) (fig. 119). Enfin les anneaux cartilagineux de la trachée se modifient également pour former des pièces spéciales et caractéristiques (cartilages thyroïde, cricoïde, aryénoïdes) (fig. 121 et 122).

**Orifice glottique.** — Le rétrécissement laryngien inférieur ou glotte proprement dite présente, quand on le regarde par en haut, la forme d'une fente triangulaire ou d'un fer de lance, dont le sommet est en avant et la base en arrière. Cette base est formée par les muscles aryénoïdiens. Les bords du triangle sont constitués dans les  $\frac{3}{5}$  antérieurs par les cordes vocales, et dans les  $\frac{2}{5}$

postérieurs par les bords des cartilages aryténoïdes (fig. 123, 124, et 125). Ces cartilages forment des pyramides triangulaires; leur

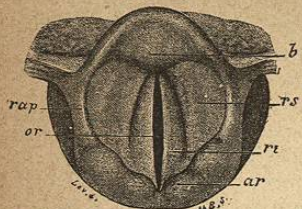


Fig. 120. — Orifice glottique observé sur le vivant au moyen du laryngoscope \*.

base est un triangle dont les angles sont l'un antérieur, l'autre postérieur et le troisième externe; un des côtés de ce triangle est donc interne et forme ainsi la partie postérieure de la glotte. Or, chaque cartilage aryténoïde, dans son articulation avec ce qu'on appelle le *chaton* du cricoïde (V. fig. 121 et 122, et plus loin fig. 124, 125), peut tourner autour

de son axe vertical, de manière à ce que son angle antérieur (ou *apophyse vocale*) se porte soit en dedans, soit en dehors, ce qui

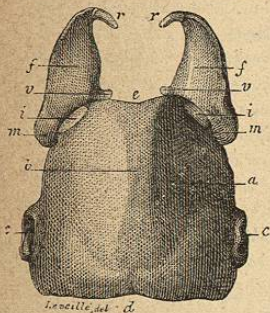


Fig. 124. — Face postérieure des cartilages cricoïde et aryténoïdes \*\*.

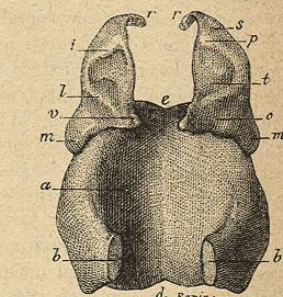


Fig. 123. — Face antérieure du cricoïde et des aryténoïdes \*\*\*.

modifie nécessairement la forme de l'ensemble de la fente glottique,

\* *or*, Orifice glottique; — *ri*, cordes vocales inférieures; — *rs*, cordes vocales supérieures; — *ar*, cartilage aryténoïde; — *rap*, replis aryténo-épiglottiques; — *b*, bourrelet de l'épiglotte.

\*\* *a*, Cartilage cricoïde; — *b*, sa saillie médiane; — *c*, surface articulaire thyroïdienne; — *d*, bord inférieur; — *e*, bord supérieur; — *f*, face postérieure des cartilages aryténoïdes; — *i*, surface articulaire aryténoïdienne du cartilage cricoïde; — *m*, apophyse musculaire (angle externe de la base de l'aryténoïde); — *v*, apophyse vocale vue en raccourci (angle antérieur de la base de l'aryténoïde); *r*, cartilage corniculé.

\*\*\* *a*, Cartilage cricoïde, face interne du chaton; — *b*, surface de section de la portion annulaire enlevée; — *d*, bord inférieur; — *e*, bord supérieur du cricoïde; — *m*, apophyse musculaire (angle externe); — *v*, apophyse vocale (angle antérieur); — *r*, cartilage corniculé; — *i*, *p*, *l*, *t*, *o*, saillies et dépressions de la face antéro-externe de l'aryténoïde, destinées à des insertions musculaires pour les fibres les plus externes du thyro-aryténoïdien, et ligamenteuses pour les cordes vocales supérieures.

puisque cet angle est le point d'attache de la corde vocale occupant les 3/5 antérieurs.

Donc si l'angle antérieur du cartilage aryténoïde se porte en dehors, la glotte sera dilatée et prendra une forme *losangique*

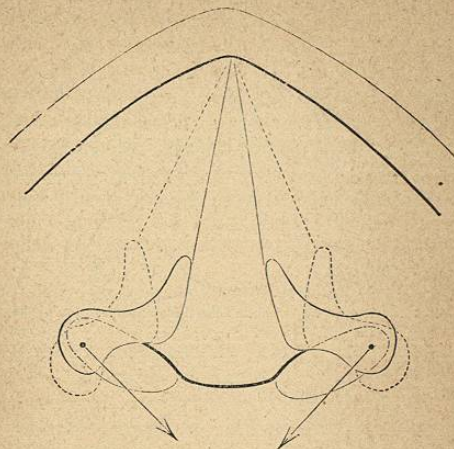


Fig. 123. — Forme losangique de la glotte par l'action des muscles crico-aryténoïdiens postérieurs \*.

(fig. 123). Cet effet est produit par la contraction du muscle *crico-aryténoïdien postérieur*, qui va s'insérer à l'angle externe de l'aryténoïde et imprime à ce cartilage un mouvement de bascule, dit *mouvement de sonnette*.

Si l'angle antérieur du cartilage aryténoïde se porte en dedans, la partie antérieure de la glotte prendra la forme d'une fente qui restera ouverte en arrière en une petite ouverture triangulaire inter aryténoïdienne (fig. 124). Enfin cette dernière ouverture pourra être elle-même réduite à une fente par un second mouvement qui rapprochera directement les deux aryténoïdes l'un de l'autre (fig. 125). La première action est produite par le muscle crico-aryténoïdien latéral qui fait basculer l'aryténoïde en sens inverse du

\* Coupe horizontale schématique des cartilages du larynx, au niveau de la base des cartilages aryténoïdes. — Les lignes ponctuées indiquent la position nouvelle des cartilages par suite de l'action des muscles agissant dans le sens de la flèche.

crico-aryténoïdien postérieur; la seconde action est due à la con-

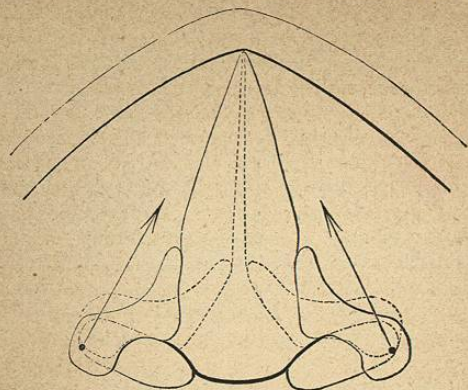


FIG. 124. — Occlusion de la partie interligamenteuse de la glotte \*.

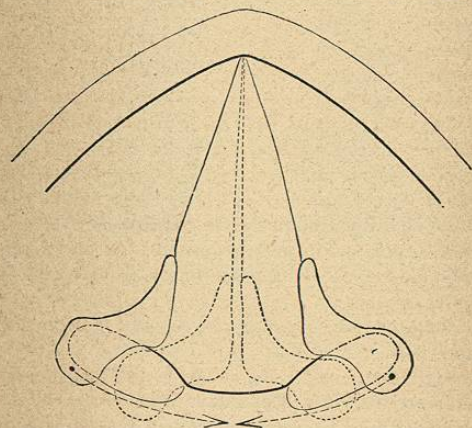


FIG. 125. — Oblitération complète de la fente glottique \*\*.

traction du muscle qui forme la base du triangle glottique, à l'ary-

\* Action des muscles crico-aryténoïdiens latéraux, agissant dans le sens indiqué par les flèches, pour mettre les cartilages aryténoïdes et les cordes vocales dans la position indiquée par les lignes ponctuées.

\*\* Action des muscles ary-aryténoïdiens, mouvement médian des cartilages aryténoïdes, dans le sens indiqué par les deux flèches : les lignes ponctuées indiquent la nouvelle position des aryténoïdes et la nouvelle forme de la glotte.

aryténoïdien, qui déplace les aryténoïdes en totalité et les fait glisser de dehors en dedans (fig. 125).

Toutes les modifications de forme de la glotte sont dues à ces deux ordres de mouvement : *mouvement de bascule* et *mouvement de translation en totalité*; et les deux formes extrêmes de la glotte ainsi obtenues sont la forme losangique, qui a lieu pendant l'inspiration, et la forme linéaire, qui tend à se produire pendant l'expiration (V. la *Respiration*, p. 411); mais elle est plus spéciale à la phonation et à l'effort, c'est ce qui nous explique pourquoi l'effort s'accompagne souvent d'un son, d'un cri caractéristique. Nous voyons de plus que des quatre muscles intérieurs du larynx un seul sert à dilater la glotte; c'est le crico aryténoïdien postérieur; le crico-aryténoïdien latéral et l'ary-aryténoïdien ont pour effet de l'oblitérer et de la réduire à l'état de fente. A l'action de ces muscles, il faut joindre celle du *thyro-aryténoïdien*, qui, placé dans l'épaisseur même de la glotte, en complète la fermeture, comme tous les muscles courbes placés autour d'un orifice : mais nous verrons bientôt que la contraction de ce muscle a encore à jouer un rôle bien autrement important.

Nous n'avons pas parlé d'un muscle extérieur du larynx, du *crico-thyroïdien* : ce muscle n'a sur la glotte qu'une action relativement moins importante; il fait basculer le cartilage thyroïde en avant, en le tirant de son côté, et, par suite, il peut allonger la glotte en allongeant les parties fibreuses qui vont de la face interne du thyroïde à l'apophyse antérieure de l'aryténoïde; aussi a-t-il été considéré par un grand nombre d'auteurs comme tenseur des cordes vocales; mais l'expérience directe a montré que le rôle de ce muscle est à peu près nul dans la phonation; les modifications qu'il imprime à la glotte semblent être en rapport plutôt avec la déglutition qu'avec la phonation; et, en effet, il est innervé par le même nerf que le constricteur du pharynx (nerf *laryngé supérieur*, branche externe).

*Mécanisme de la phonation.* — L'expérimentation sur les animaux, les observations accidentelles sur l'homme, les essais de phonation artificielle sur des larynx détachés, tout démontre que c'est au niveau de la glotte que se forme le son de la voix. Quand ce son se produit, nous savons que la glotte se rétrécit : aussi a-t-on cru tout d'abord que l'appareil vocal était comparable, comme mécanisme intime, à un *sifflet*, c'est-à-dire que la cause du son était la vibration de l'air lui-même passant par un orifice étroit, et produisant un son d'autant plus aigu que l'orifice est de dimensions plus petites.

Il est démontré aujourd'hui que, dans cet appareil, ce n'est pas l'air qui vibre, mais bien les *bords de la glotte*, de sorte que le larynx doit être comparé non à un siflet, mais à un *tuyau à anche*. Du reste, nous trouvons dans l'organisme un appareil analogue, qui peut également fonctionner comme une anche, ce sont les *lèvres (orifice buccal)*, qui vibrent elles-mêmes, par exemple, quand on joue du cor; inutile d'insister sur l'analogie anatomique entre l'orifice buccal et l'orifice glottique <sup>1</sup>.

Mais si les bords de la glotte vibrent, ils doivent pour cela être tendus. On a donc supposé que les cordes vocales sous-jacentes à la muqueuse devaient être tendues par la contraction de certains muscles. Müller, ayant fait passer un rapide courant d'air par un larynx dans lequel il avait figuré la contraction des muscles crico-thyroïdiens par la traction d'un certain poids fixé en avant du thyroïde, obtint, en effet, un son par la vibration des cordes vocales tendues, grâce au mouvement de bascule du cartilage thyroïde.

Mais rien ne prouve que les choses se passent ainsi dans la phonation; si les lèvres de la glotte étaient ainsi tendues, la glotte serait nécessairement allongée; or, l'inspection directe prouve que la glotte ne s'allonge que très peu pendant la phonation. De plus, cette tension par bascule du thyroïde étant opérée par le crico-thyroïdien, ce muscle aurait le rôle capital dans la phonation. Or, la section du nerf qui s'y rend (branche externe du larynx supérieur), sa paralysie modifie à peine la voix, tandis que la section du larynx inférieur abolit immédiatement la phonation, et cependant ce nerf ne donne qu'aux muscles intérieurs du larynx et nullement au crico-thyroïdien.

Il n'en est pas moins évident que les lèvres de la glotte doivent être tendues pour vibrer, mais il reste encore à chercher, parmi les tissus qui composent ces lèvres, quel est celui qui est susceptible de tension et quel peut être l'agent de cette tension.

Or, si nous passons en revue les trois tissus qui, de la superficie à la profondeur, composent l'épaisseur des lèvres de la glotte, c'est-à-dire la muqueuse, le ligament élastique (corde vocale) et le muscle (fig. 126), et si nous cherchons quel est celui de ces trois éléments qui peut constituer le corps vibrant, il est évident que nous ne nous arrêterons pas à la *muqueuse*; elle forme un revête-

<sup>1</sup> « Rien n'autorise à comparer les replis thyro-aryténoïdiens inférieurs soit à des cordes, soit à des rubans. Il est beaucoup plus exact de les appeler tout simplement les *replis inférieurs*, ou, si l'on cherche un nom anatomique plus approprié à leur configuration et fonction, *lèvres vocales*. » (L. Mandl, *Traité pratique des maladies du larynx et du pharynx*. Paris, 1872.)

ment protecteur, mais non un appareil susceptible d'être tendu et de vibrer. La *corde vocale*, malgré son nom de ligament, ne nous paraît pas, contrairement à l'opinion généralement reçue, présenter

les conditions nécessaires pour constituer une corde vibrante. Ce ligament est composé de tissu élastique, c'est-à-dire de fibres non rectilignes, mais enchevêtrées en tous sens, de telle sorte que, quelque traction qu'on lui applique, on ne lui donne jamais qu'un degré de tension insignifiant. Du reste, à l'état physiologique, cette tension, accompagnée du rétrécissement de la glotte, ne pourrait être opérée que par le muscle crico-thyroïdien, et nous avons vu que ce muscle n'a qu'un rôle insignifiant dans la phonation.

Reste donc le *tissu musculaire*, le muscle thyro-aryténoïdien. Or, le tissu musculaire est très susceptible de tension. Quoi de plus tendu, de plus énergiquement élastique, de plus vibratile qu'un muscle à l'état de contraction? Il est donc probable que c'est le muscle thyro-aryténoïdien qui, au point de vue physiologique, doit constituer la *vraie corde vocale*, le véritable et seul élément vibratile parmi les tissus qui composent les lèvres de la glotte. Pour vibrer, cette corde vocale est tendue, mais elle n'est point tendue par l'effet de puissances étrangères; elle se tend par elle-même; en un mot, le *muscle se contracte* <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> « C'est la contraction du thyro-aryténoïdien interne qui fait que le repli inférieur (lèvres de la glotte), mou et lâche pendant la respiration, se transforme pendant l'émission de la voix en véritable anche, dont la rigidité est proportionnelle à la tonalité. On pourrait donc dire que ce muscle est le muscle d'accommodation de la voix. » (L. Mandl, 1872.)

\* Cette figure montre bien que les lèvres de la glotte sont formées essentiellement par du tissu musculaire; — 4, cartilage thyroïde; — 2, cartilage cricoïde; — 3, premier anneau de la trachée; — 4, épiglotte; — 5, son bourrelet médian; — 6, cordes vocales supérieures; — 7, cordes vocales inférieures; — 8, ventricules de Morgani; — 9, muscle thyro-aryténoïdien (la *vraie corde vocale* au point de vue physiologique); — 10, muscle crico-aryténoïdien latéral. (Beauvais et Bouchard, *Anatomie descriptive*.)

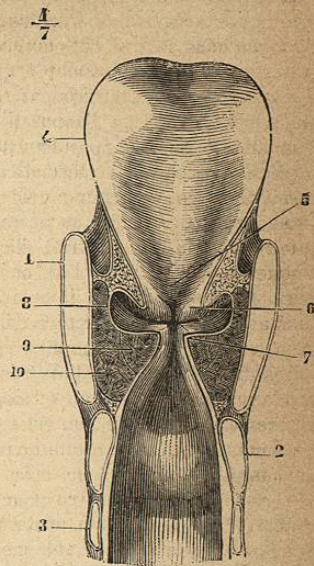


FIG. 126. — Coupe verticale du larynx \*.

La glotte forme donc, en définitive, une *anche vibrante*, non par tension, mais *par contraction*. C'est là, comme source de son, un appareil unique dans son genre, un appareil qu'on ne peut artificiellement imiter, puisqu'on ne peut faire du muscle; les lèvres (*muscle orbiculaire* de l'orifice buccal) fonctionnent d'une manière analogue dans les cas cités précédemment<sup>1</sup>.

Reste alors à se demander à quoi sert la corde vocale élastique. Nous comprendrons facilement son rôle si nous nous figurons ce qui serait advenu si l'appareil phonateur ne s'était composé que d'un muscle recouvert seulement d'une muqueuse; à chaque contraction du premier, la seconde se serait irrégulièrement plissée et aurait altéré le son, comme cela se produit dès que la moindre particule étrangère, mucus ou autre, se trouve arrêtée sur la glotte. Il fallait donc là un appareil élastique qui rendit le muscle et la muqueuse indépendants l'un et l'autre, en s'interposant entre les deux. C'est précisément là le rôle de la corde vocale, et ce que nous avons dit de sa structure démontre assez qu'elle est admirablement conformée pour remplir ce but<sup>2</sup>.

Les différents degrés de rétrécissement de la glotte influent aussi sur la production des sons et modifient leur hauteur; plus la glotte est resserrée, plus le son est aigu, et quand le son arrive à son maximum d'acuité, la glotte ne peut plus se resserrer sans s'oblitérer complètement dans la *voix ordinaire*; mais il paraît y avoir une disposition particulière pour ce qu'on appelle *voix de tête*. Il résulte de la disposition anatomique des parties, que les *cordes vocales* (anatomiques) se relâchent à mesure que la glotte se ferme. Si, donc ces cordes étaient la partie vibrante, les sons devraient être plus graves à mesure que se produit ce rapprochement des lèvres de la glotte; il est vrai que l'étranglement de l'ouverture augmente l'intensité du courant d'air et pourrait ainsi contribuer à l'acuité du son; mais les choses sont bien plus faciles à comprendre si c'est le muscle qui vibre, comme c'est lui qui, en se contractant, contribue à l'oblitération de la glotte et même qui achève cette fermeture, plus il se contracte, plus il est tendu; plus il est, par conséquent, apte à vibrer.

<sup>1</sup> V. la remarque p. 470.

<sup>2</sup> V. Henle, *Handbuch der systematischen Anatomie des Menschen*, 1871, t. II, p. 259. « Les fibres musculaires avancent tellement vers les cordes vocales et sont tellement unies au tissu élastique, qu'il est impossible de penser que les fibres élastiques vibrent isolément et que les fibres musculaires se retirent du repli muqueux... L'utilité du tissu élastique consiste en ce qu'il peut se raccourcir sans former des plis et sans onduler, comme certains ligaments de la colonne vertébrale. »

Ainsi les *cordes élastiques*, dites vocales, n'ont dans la phonation qu'un rôle accessoire, celui de servir d'intermédiaire entre la muqueuse et le muscle; elles n'empêchent pas plus celui-ci de vibrer que les parties molles qui entourent l'orbiculaire des lèvres n'empêchent ce muscle de vibrer quand on joue du cor, par exemple.

Les vibrations du muscle thyro-aryténoïdien sont encore rendues plus faciles par la présence des ventricules du larynx, qui n'ont d'autre but à remplir que de donner plus de liberté à ce muscle (fig. 126).

*Parties annexées à l'appareil de la phonation.* — Le son produit par la glotte est renforcé par les vibrations de la partie du canal aérien qui précède et suit le larynx. Aussi ces parties présentent-elles des mouvements spéciaux pendant la production des sons. Ainsi, pendant l'émission des sons aigus, le larynx monte, et pour cela, nous contractons les muscles sus-laryngés et renversons la tête; pendant les sons graves, le larynx descend et le menton s'abaisse. Ces mouvements sont bien connus, et lorsqu'on examine un malade au laryngoscope, on lui fait parfois émettre des notes aiguës, parce qu'alors l'ascension du larynx vient le présenter plus facilement à l'exploration. On a voulu rendre raison de ces phénomènes en les comparant à ceux que nous produisons dans les instruments à vent. Dans le premier cas, on allongerait le porte-vent (partie sous-glottique) et raccourcirait le porte-voix (partie sus-glottique), et *vice versa* dans le second cas. Mais cette explication est rendue nulle par ce seul fait que les mêmes phénomènes se constatent quand nous produisons le son en inspirant; alors, quoique la valeur physique des appareils soit renversée (porte-voix devenu porte-vent et *vice versa*), le larynx s'élève toujours pour les sons aigus et s'abaisse pour les sons graves.

Le fait de l'élévation du larynx s'explique beaucoup mieux en considérant que les parois de la trachée agissent comme appareil de résonance, et que, par suite, il leur faut, pour renforcer tel ou tel son, un état de tension particulier; car la même paroi élastique ne vibre pas indifféremment avec tous les sons; il faut pour cela que sa tension soit modifiée. Plus le son est aigu, plus les parois consonantes doivent être tendues; ainsi la contraction des muscles sus-laryngiens tend à la fois les parois du porte-voix et du porte-vent.

Il faut rattacher à ces appareils de consonance tout l'ensemble de l'appareil nasal, fosses nasales, sinus frontaux, ethmoïdaux, maxillaires. Ces cavités ne sont pas disposées pour des sécrétions, mais, vu leurs parois formées de lamelles élastiques assez minces,

elles sont très aptes à entrer en vibration. Aussi l'altération de ces appareils modifie-t-elle considérablement le timbre de la voix. Les cartilages du nez eux-mêmes font partie de ces appareils de résonance, et chacun sait qu'en empêchant leurs vibrations on altère d'une façon particulière le timbre de la voix.

La trachées, les bronches, le poumon et la cage thoracique vibrent aussi pour renforcer les sons laryngiens. Aussi la voix se modifie-t-elle dans les affections trachéales, bronchiques et pulmonaires.

L'articulation du langage, qui est très différente du simple cri ou son laryngien, résulte presque tout entière du jeu de ces parties consonantes et principalement des modifications dans les ouvertures des lèvres et de l'arrière-gorge.

*Voix et parole.* — Au niveau de la glotte ne peut se produire qu'un son *inarticulé*, le son *glottique*, qui ne présente à considérer que des différences d'intensité, de hauteur, et même de timbre; mais ce son glottique, par le renforcement de certains de ses éléments au niveau des cavités buccale et nasale, et par son mélange avec des bruits produits au niveau de ces mêmes cavités, acquiert des caractères particuliers qui en font la voix et la parole proprement dites (V. *Organes des sens, Audition*, pour l'explication des mots *intensité, hauteur, timbre, bruits*, etc.)

L'intensité du son glottique dépend de la force avec laquelle le courant d'air de l'expiration vient frapper les lèvres de la glotte disposées pour émettre un son déterminé; cette intensité dépend donc essentiellement du développement et de l'élasticité du poumon, de l'ampleur de la cage thoracique, de la force des muscles expirateurs.

Les lèvres vocales produisent un son d'autant plus élevé qu'elles sont plus tendues et plus courtes (plus contractées en un mot). Aussi la voix humaine forme-t-elle des gammes en allant des sons graves aux sons aigus; elle forme même deux séries de gammes, dont l'une plus basse, est généralement désignée sous le nom de *registre de poitrine (voix de poitrine)*, et l'autre plus aiguë, plus élevée, sous celui de *registre de tête (voix de tête)*. Ces expressions n'ont aucune valeur au point de vue physiologique, car dans les deux cas la voix se forme toujours au niveau de la glotte; ce qui a motivé et ce qui justifie jusqu'à un certain point ces expressions, ce sont les sensations que l'on éprouve pendant l'émission de la voix dite de tête ou de poitrine, et les vibrations concomitantes plus accentuées dans les parois thoraciques dans un cas,

dans les cavités sus-laryngiennes dans l'autre cas. D'après Mandl, la modification glottique essentielle qui produit l'émission des sons dans l'un ou l'autre registre, c'est que dans la voix de poitrine l'orifice glottique est ouvert et vibre dans toute son étendue, tandis que dans la voix de tête ou de fausset, l'orifice glottique est ouvert et vibrant seulement dans sa portion interligamenteuse, toute la portion intercartilagineuse étant fermée, en même temps que les cordes vocales supérieures s'abaissent, s'appliquent sur les inférieures, et en recouvrent une partie considérable de manière à diminuer l'étendue de la partie vibrante (comme font les *rasettes* employées dans les tuyaux à anche)<sup>4</sup>.

Dans ces conditions, la voix humaine peut varier en général dans une étendue de deux octaves, et selon que cette étendue de deux octaves est comprise dans des régions plus ou moins hautes de l'échelle des sens musicaux, on a classé les voix humaines, en allant des plus basses aux plus élevées, en voix de basse (du *fa* au *ré*<sub>3</sub>), de baryton (du *la* au *fa*<sub>3</sub>), en voix de ténor (de l'*ut*<sub>2</sub> au *la*<sub>3</sub>), de contralto (du *mi*<sub>2</sub> à l'*ut*<sub>4</sub>), de mezzo-soprano (du *sol*<sub>2</sub> au *mi*<sub>4</sub>), de contralto (du *si*<sub>2</sub> au *sol*<sub>4</sub>); ces deux dernières voix sont des voix de femme. Ces différences individuelles sont dues principalement à des différences de longueur des lèvres de la glotte : la longueur de ces lèvres, représentée par 25 chez l'homme, l'est par 20 chez la femme, par 15 chez les castrats, qui possèdent une voix très aiguë.

La voix de l'enfant est très aiguë, et, en effet, les dimensions de la glotte sont chez lui moitié moindres que chez l'adulte. Lors de la puberté se produit la *mue* de la voix, et, à la suite du développement relativement subit du larynx, la voix s'abaisse d'une octave chez les garçons, de deux tons seulement chez les filles. Dans la vieillesse, par suite de l'ossification des cartilages, de l'atrophie des fibres musculaires (?), le diapason normal baisse encore, en même temps qu'il diminue d'intensité : les ténors deviennent barytons (L. Mandl).

Le timbre de la voix a une première source dans les lèvres de la glotte elle-même. On sait qu'Helmholtz a démontré que le timbre (V. *Organes des sens, Audition*) est dû à ce que les sons, qui nous paraissent simples, sont en réalité composés d'un son fondamental et de plusieurs sons accessoires nommés harmoniques (Sauveur). La combinaison variable de ces harmoniques, selon les divers instruments, en constitue le timbre particulier. Les lèvres vocales peuvent, comme les hanches membraneuses, présenter, outre la

<sup>4</sup> Voy. aussi Ch. Bataille, *Nouvelles Recherches sur la phonation*. Paris, 1861.

vibration fondamentale d'un son, des vibrations partielles qui donnent naissance à des harmoniques divers de ce son; de là les *timbres divers du son glottique*. Mais ce qui accentue surtout le timbre de la voix, c'est le mode selon lequel quelques-uns de ces sons harmoniques sont renforcés au niveau des cavités et lames vibrantes sus-glottiques (pharynx, bouche, fosses nasales, etc.), de manière à prédominer et à imprimer leurs caractères particuliers à la voix (V. plus haut, p. 473)<sup>1</sup>.

Cette étude des sons harmoniques, comme sources du timbre de la voix, a permis à Willis, Wheatstone, Donders, Du Bois Reymond, et surtout à Helmholtz<sup>2</sup>, de pénétrer le mécanisme par lequel se produisent les *voyelles*. Les voyelles sont essentiellement des sons produits par le passage de l'air dans les cavités pharyngienne et buccale, qui se disposent d'une manière particulière, et par suite résonnent différemment pour la production de chaque voyelle. Quand on prononce une voyelle à voix basse, la glotte n'y prend aucune part, et le son de la voyelle se produit uniquement par le passage de l'air dans les cavités sus-glottiques disposées en ce moment pour l'émission de la voyelle en question; lorsqu'on prononce cette voyelle à haute voix, les cavités sus-glottiques disposées comme précédemment ont pour effet de renforcer, dans le son glottique, les harmoniques qui correspondent précisément au son de la voyelle que l'on veut émettre. En d'autres termes, les cavités buccale et pharyngienne se comportent comme des *résonateurs*, qui peuvent être diversement accordés<sup>3</sup>.

Nous ne pouvons nous étendre davantage sur cette analyse, qui est du ressort de la physique pure; ajoutons seulement que l'on a pu parfaitement déterminer la forme que prennent ces cavités pour l'émission de telle ou telle voyelle, et que lorsque ces cavités sont ainsi disposées, si l'on fait passer le vent d'une soufflerie devant la bouche, on entend alors, même en retenant sa respiration, se produire des sons qui ressemblent parfaitement aux voyelles que l'on prononcerait à voix basse. D'une manière générale, on peut dire que le « diamètre longitudinal de la cavité pharyngo-buccale est raccourci et son diamètre transversal agrandi successivement pour les voyelles *a*, *e*, *i*; pour les voyelles *o* et *u*, au contraire, le diamètre longitudinal s'allonge et le diamètre transversal diminue. Les mouvements des diverses parties de la cavité se conforment à cette disposition générale. Les lèvres exécutent un mouvement horizontal de plus en plus prononcé en arrière pour les trois premières voyelles, tandis que pour les deux dernières le mouvement en avant sera de plus en plus marqué. Pour l'*o* et l'*u*, il y a

<sup>1</sup> Helmholtz, *Théorie physiologique de la musique*, trad. franç. par Guérout. Paris, 1868.

<sup>2</sup> Laugel, *La Voix, l'Oreille et la Musique*, d'après les travaux de Helmholtz. In *Revue des Deux Mondes*, mai 1867.

<sup>3</sup> Mandl, *Hygiène de la voix parlée ou chantée*. Paris, 1879.

retrait de la langue, tandis que pour l'*e* et l'*i*, la langue est plus ou moins jetée en avant. Les mouvements des *joues*, du *voile du palais*, de la *lucette* et des *piliers* s'accordent à réaliser la disposition générale, etc. » (Mandl, *op. cit.*)

Les *consonnes*, qui sont, après les voyelles, le second élément de la voix articulée, ne sont pas des sons comme les voyelles; ce sont des *bruits*, c'est-à-dire des vibrations irrégulières et trop confusément mélangées pour être perçues séparément (V. *Audition*); ce sont des bruits qui ne peuvent se faire entendre distinctement par eux-mêmes, mais qui se différencient par la manière dont ils laissent commencer ou finir l'émission d'une voyelle. Les consonnes ne peuvent donc pas être prononcées sans l'association d'une voyelle. De là leur nom (*cum sonare*). Au moment de l'émission d'une voyelle, les cavités buccale et pharyngienne se disposent de manière à présenter à l'air, qui va produire la voyelle, certains *obstacles* qu'il ébranle, d'où le bruit plus ou moins éclatant des consonnes.

Selon que cet obstacle siège au niveau des lèvres, de la langue ou du voile du palais et du pharynx, on a des consonnes *labiales*, *linguales* ou *gutturales*; et selon que l'obstacle est vaincu par une espèce d'explosion, par un frottement vibratoire ou par un tremblement, on a des *labiales explosives* (*b*, *p*), *résonnantes* (*f*, *v*, *m*), *tremblotantes* (*r*), des *linguales explosives* (*t*, *d*), *résonnantes* (*s*, *n*, *l*), *tremblotantes* (*r* lingual); des *gutturales explosives* (*k*, *g*), *résonnantes* (*j* et *ch*, surtout chez les Allemands), *tremblotantes* (*r* guttural). La langue française ne possède pas de véritables consonnes gutturales, c'est-à-dire se produisant dans le pharynx; mais certaines langues, et surtout l'arabe, en possèdent de très accentuées, par exemple pour le bruit que nous désignons par *h*, qui paraît alors se produire par un obstacle siégeant très profondément, au niveau même de la glotte. C'est en cherchant à pénétrer le mécanisme de la production des *vraies gutturales* de la langue arabe que Czermack découvrit le *laryngoscope*, aujourd'hui universellement employé pour l'exploration du larynx.

Les consonnes labiales, et surtout les labiales explosives (*b*, *p*, *m*), sont les plus faciles à prononcer, vu la simplicité des mouvements qu'elles exigent. Ce sont les premières prononcées par l'enfant (*papa*, *mama*, etc.), celles que l'on arrive le plus facilement à faire répéter à certains animaux et que l'on trouve naturellement produites dans le *bélement* (L. Mandl).

D'autre part, certaines mêmes consonnes peuvent être produites par des mécanismes analogues, mais siégeant dans des parties différentes; ainsi on peut distinguer quatre *a* produits, soit par la vibration des lèvres (comme dans *opprobre*), soit par celle du bout de la langue (*r* normal), soit par celle du voile du palais (*r* du grassayement), soit enfin par l'orifice supérieure du larynx.

L'ensemble de ces phénomènes, par lesquels un son est émis par la glotte, *modifié* par les cavités pharyngienne et buccale de manière à



représenter une *voyelle et associé* à certains bruits qui se produisent dans ces mêmes cavités et forment les *consonnes*, cet ensemble constitue la *voix articulée*, et par la combinaison intelligente des voyelles et des consonnes en *syllabes*, et des syllabes en *mots*, constitue la *parole*. Dans la *parole parlée*, les syllabes sont produites avec des variations peu marquées de hauteur; dans la *parole chantée*, au contraire, les syllabes, et surtout les voyelles, leur élément essentiel, sont produites successivement avec des variations de hauteur considérables et harmonieusement réglées.

*Innervation de l'appareil laryngien.* — L'appareil phonateur du larynx est placé sous la dépendance du nerf laryngé inférieur, qui semble venir du pneumogastrique, mais représente en réalité la suite de fibres que ce grand tronc nerveux emprunte à l'accessoire de Willis, ou spinal (branche interne du spinal). Aussi la section du spinal abolit-elle complètement la voix. On pourrait donc le nommer le *nerf vocal*. Chose remarquable, les autres rameaux du spinal (branche externe) se rendent à deux muscles superficiels et bien connus, le sterno-cléido-mastoïdien et le trapèze, muscles qui tous deux jouent un grand rôle dans l'expression par signes, dans ce qu'on pourrait appeler le langage du cou et des épaules (lever les épaules, faire de la tête un signe négatif, etc.). Le nerf spinal semble donc être le nerf de la *mimique* et de la *phonation*.

Tout en servant à la mimique, la branche externe du spinal prend encore une part active mais indirecte à la phonation. C'est elle qui innerve les muscles sterno-mastoïdien et trapèze lorsque, pendant l'expiration sonore, ces muscles se contractent pour empêcher la cage thoracique de s'affaisser subitement, et pour ménager ainsi le soufflet à air. Ce fonctionnement est facile à constater chez les chanteurs, où il constitue ce que Mandl a appelé la *lutte vocale*. En effet, dans ce moment le spinal lutte contre l'expiration, et Cl. Bernard, qui par de nombreuses vivisections a démontré ce même rôle du spinal chez les animaux pendant l'émission d'un cri prolongé, a montré par là qu'au point de vue physiologique le nerf spinal est, non pas l'*accessoire*, mais bien l'*antagoniste* du pneumogastrique, puisque, au niveau de la glotte (branche interne), il produit des mouvements opposés à la respiration.

Il est démontré aujourd'hui que le *centre nerveux de la phonation* a son siège dans la moelle allongée. En effet, ce centre ne se trouve pas dans le cerveau, car on a vu des anencéphales qui criaient sous l'influence d'excitations extérieures ou de douleurs internes. Quant au *centre du langage articulé*, ou plutôt quant au centre de la *mémoire des mots*, nous avons vu qu'il est dans la

substance corticale du cerveau, et qu'aujourd'hui on est parvenu à localiser la partie corticale qui est le siège de la *mémoire visuelle*, et celui qui répond à la *mémoire auditive des mots* (V. fig. 31, p. 107), et qu'enfin la troisième circonvolution frontale gauche, ou *circonvolution de Broca*, est le siège de la *mémoire des mouvements phonateurs*. Mais le centre bulbaire peut encore fonctionner par action réflexe, alors que le centre cérébral est détruit, car le cri peut être très facile et l'articulation très difficile. Aussi faut-il distinguer l'*amnésie*, ou perte de la mémoire des mots, de l'*aphasie laryngienne* ou perte de la voix.

Disons enfin que le fonctionnement de l'appareil phonateur, au point de vue du langage, est dans une relation étroite avec celui de l'audition; la parole ne pouvant venir qu'après l'audition, l'enfant n'apprend à parler que par la reproduction des sons qu'il entend journellement. Celui qui n'a pas entendu ne peut parler; bien plus, ainsi que l'a démontré Bonnafont, tout individu ayant entendu et parlé jusqu'à l'âge de trois ou quatre ans, même de cinq, et qui accidentellement viendra à perdre complètement l'ouïe, perdra peu à peu l'usage de la parole à tel point que, quelques années après, il sera à peine susceptible d'articuler quelques sons. On peut donc dire que le sourd-muet de naissance n'est muet que parce qu'il est sourd<sup>1</sup>.

RÉSUMÉ. — Le *larynx* est l'organe de la phonation, qui se produit au niveau des *cordes vocales inférieures* (véritables cordes vocales). Ce sont les bords de la *glotte* qui vibrent, et les muscles qui modifient l'ouverture de la glotte et en tendent les bords (cordes vocales), modifient ainsi l'*acuité* des sons. De tous ces muscles, le plus important à considérer est le *thyro-aryténoïdien*.

La glotte ne produit qu'un *son inarticulé*, doué d'une *hauteur*, d'un *timbre* et d'une *intensité* variables.

L'*articulation* des sons est due : 1<sup>o</sup> au mode selon lequel quelques-uns des *harmoniques* du son glottique sont renforcés par les cavités pharyngienne, nasale, buccale (production des voyelles); 2<sup>o</sup> aux *bruits* qui se produisent au moment ou à la fin de l'émission dans la cavité buccale (*consonnes* labiales, linguales, gutturales, etc.)

Le *nerf récurrent* (branche interne du spinal annexée au pneumogastrique) est le nerf de la phonation; il innerve les muscles du larynx.

<sup>1</sup> Voy. J. P. Bonnafont, *Traité théorique et pratique des maladies de l'oreille*, 2<sup>e</sup> édition, p. 609. Paris, 1873.