

et comment il est renouvelé après que la diffusion gazeuse s'est accomplie entre lui et le sang.

Ces phénomènes sont en tout comparables à ceux de la digestion : mais tandis que les aliments introduits dans le tube digestif doivent, avant d'être assimilables, subir un grand nombre de métamorphoses, les éléments respiratoires de l'air sont directement assimilables. Ce gaz ne subit qu'une légère action préparatoire, destinée à le mettre dans le même état de température et d'humidité que la surface pulmonaire avec laquelle il va se trouver en contact. L'origine même de l'arbre aérien est disposée de façon à faire subir à l'air cette légère modification : les fosses nasales sont en effet tapissées par une muqueuse très-humide, très-riche en sang et par suite très-chaude ; elle recouvre une infinité de replis (*cornets*), circonscrivant des canaux étroits (*méats*), par lesquels l'air est obligé de filtrer ; il se charge de vapeur d'eau à ce passage et se met à la température du corps. Ces seules considérations prouvent que c'est par le nez et non par la bouche que doit se faire la respiration normale, et font comprendre le danger de respirer par ce dernier orifice quand on se trouve dans un milieu très-froid et très-sec.

II. — PHÉNOMÈNES MÉCANIQUES DE LA RESPIRATION.

Les avantages que nous avons trouvés à représenter par un graphique schématique la disposition du réservoir circulatoire, se reproduiront ici encore si nous cherchons une expression graphique de la forme de l'appareil respiratoire. On trouve ainsi, par le même raisonnement que pour les vaisseaux, que l'ensemble des canaux aérifères, abstraction faite des cloisons, représente un cône très-évasé, ayant pour base la surface alvéolaire précédemment étudiée, et pour sommet l'ouverture des fosses nasales (fig. 81).

Cette disposition nous fait déjà comprendre que lorsque l'air, par quelque mécanisme que ce soit, entrera ou sortira de ce réservoir, la vitesse de son courant devra être

très-différente dans les différentes zones du cône, d'autant plus rapide que la zone est plus étroite (plus élevée), d'autant plus lente que la zone est plus large (plus rapprochée de la base), et que par exemple vers la base du cône, vers la surface des alvéoles, il doit y avoir une stagnation relative de l'air. Aussi, malgré le nombre de nos mouvements respiratoires, jamais on ne trouve l'air pur au niveau de la surface respirante (alvéolaire), mais un air contenant jusqu'à 8 0/0 d'acide carbonique provenant des échanges gazeux antérieurs (1) ; la partie

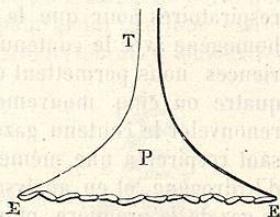


Fig. 81. — Schéma du cône pulmonaire*.

supérieure du cône contient à peu près l'air atmosphérique : dans les zones moyennes se trouve un air moins pur que celui-ci, mais moins altéré que le premier, car il contient seulement 4/100 d'acide carbonique (2). Il

(1) Ce chiffre 8 pour 100 peut paraître trop fort, et cependant il est certainement au-dessous de la vérité. Par l'expérience directe Gréhan a trouvé le chiffre 7,5 pour 100, mais il n'a pas analysé le gaz qui est en contact immédiat avec la surface respirante, puisque, comme nous le verrons plus tard, ce gaz ne peut être expiré, le poumon ne se vidant jamais complètement ; il n'a analysé que les couches qui précèdent la couche en question, de sorte qu'il est permis de conclure que dans cette dernière la proportion d'acide carbonique doit atteindre et même dépasser 8 et 9 pour 100. Voici du reste l'expérience de Gréhan : on inspire 5 cent. cubes d'hydrogène et l'on fait immédiatement l'expiration *en deux temps* ; le second temps de l'expiration se fait dans un petit ballon de caoutchouc muni d'un robinet, dont l'air a été chassé complètement par la compression et par un petit volume d'hydrogène préalablement introduit dans le ballon. Le volume de gaz recueilli dans ce ballon donne à l'analyse, et en remplaçant l'hydrogène par l'air dont il tient expérimentalement la place : 7, 5 pour 100 d'acide carbonique, 13, 5 d'oxygène et 78, 6 d'azote.

(2) Becher et Holmgren, pratiquant le tubage du poumon à l'aide d'une sonde, ont extrait l'air des bronches (zones moyennes du cône pulmonaire) et ont trouvé en effet que cet air donne une proportion

* T, trachée ; — P, cavité du poumon ; — E, E, surface respiratoire (épithélium pavimenteux des alvéoles).

s'en faut donc de beaucoup que la nappe sanguine respirante se trouve en contact avec de l'air atmosphérique ordinaire.

Gréhant, remplaçant l'air atmosphérique par de l'hydrogène, a pu déterminer combien il fallait de mouvements respiratoires pour que le gaz fût mélangé d'une manière homogène avec le contenu antérieur du poumon. Ces expériences nous permettent de conclure qu'il faut au moins quatre ou cinq mouvements respiratoires successifs pour renouveler le contenu gazeux du cône pulmonaire. En faisant respirer à une même personne une quantité donnée d'hydrogène, et en analysant dans une série d'expériences le gaz de la première, puis de la deuxième, de la troisième expiration, etc., Gréhant a trouvé que ce n'était guère qu'après 5 inspirations et expirations exécutées dans la cloche pleine d'hydrogène que ce gaz est uniformément réparti dans le poumon. Ces expériences sont très-rigoureuses, puisque le sang n'absorbe presque pas l'hydrogène (l'absorption est si faible qu'elle produit à peine une erreur de $1/28$).

L'introduction de l'air dans le cône respiratoire et son expulsion se font par les mouvements respiratoires de l'inspiration et de l'expiration.

A. *Inspiration.* — Le mouvement inspiratoire a pour action d'allonger le cône en éloignant davantage la base du sommet, et d'augmenter ses autres dimensions en écartant les parois latérales et dépliant la surface de la base. Il en résulte une différence de pression entre l'air extérieur et celui du cône respiratoire, et aussi entre les différentes couches d'air de celui-ci, d'où un échange et un mélange plus intime des gaz intérieurs et extérieurs.

Cette dilatation du cône pulmonaire se fait par l'intermédiaire de la *cage thoracique*, dont tous les diamètres augmentent, grâce à la contraction des muscles et au jeu des

d'acide carbonique de 2,3 pour 100. (Voy. I. Straus, *Des travaux récents sur les gaz du sang et les échanges respiratoires*. Archiv. génér. de médecine, 1873.)

leviers osseux qui la constituent. En effet, la paroi thoracique se compose, sur les côtés et en avant, des côtes avec le sternum, et du diaphragme en bas.

Les côtes sont des *arcs osseux* obliques de haut en bas, d'arrière en avant, et de dedans en dehors, de sorte que lorsqu'elles s'élèvent, en ayant pour point fixe leur extrémité postérieure (articulation costo-vertébrale), leur extrémité antérieure se porte en avant, et leur convexité externe se porte en dehors, d'où agrandissement des diamètres antéro-postérieur et transversal du poumon : la figure 82 fait mieux comprendre ce mécanisme qu'aucune explication. On voit notamment que le sternum doit s'éloigner de la colonne vertébrale : le sternum et la colonne vertébrale, réunis par les côtes, forment comme les deux montants d'une échelle à échelons obliques, et lorsque ces échelons se rapprochent de l'horizontale, les deux montants s'éloignent l'un de l'autre ; c'est un appareil semblable qui constitue le dilateur forcé de l'urèthre employé par les chirurgiens. Enfin le plan incliné de dedans au dehors et de haut en bas que forme la côte, se relève en tournant autour d'un axe oblique qui va du sternum à la colonne vertébrale, et qui représente la corde de l'arc formé par la côte : la convexité de celle-ci se porte donc en dehors, d'où dilatation transverse du thorax.

Les *muscles* qui impriment aux côtes ces mouvements

* Colonne vertébrale avec les côtes qui y sont attachées (région dorsale), et qui viennent en avant s'unir au sternum (d'une manière directe pour les sept premières).

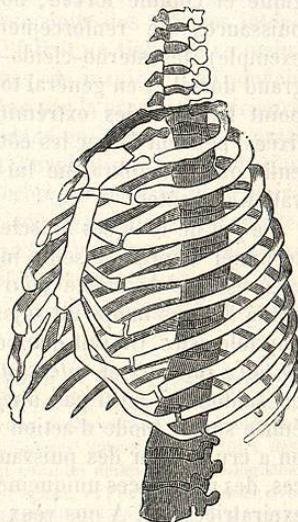


FIG. 82. — Cage thoracique.

sont bien connus; ce sont ceux des parois thoraciques, et la simple étude de la direction de leurs fibres suffit pour démontrer leur action. Ils n'agissent cependant pas toujours tous; lorsque la respiration est calme, comme d'ordinaire, il suffit de la contraction des surcostaux, des scalènes, et peut-être d'une partie des grands dentelés, avec les petits dentelés supérieurs, etc.; mais si l'inspiration devient énergique et comme forcée, nous voyons intervenir, comme puissances de renforcement (en cas de dyspnée par exemple), les sterno-cléido-mastoïdiens, les pectoraux, le grand dorsal et en général tous les muscles qui, prenant un point fixe sur les extrémités supérieures préalablement fixées, peuvent élever les côtes et le sternum. Nous verrons enfin que le diaphragme lui-même peut contribuer à l'élevation des côtes.

Le jeu de tous ces muscles est, disons-nous, facile à déterminer d'après la seule inspection anatomique: mais il n'en est pas de même pour les *intercostaux* qui ont constitué de tous temps un sujet de vives discussions entre les physiologistes. On sait que ces muscles se divisent en *intercostaux internes* et *intercostaux externes*, qui se croisent en sautoir: il n'est pas une manière de voir qui n'ait été émise sur le mode d'action de ces muscles, dans lesquels on a cru trouver des puissances inspiratrices ou expiratrices, des puissances uniquement inspiratrices ou uniquement expiratrices (1). A nos yeux les intercostaux ne jouent au-

(1) Beau et Maissiat (*Archives générales de médecine*, 1842-1843) ont dressé une liste curieuse des opinions émises sur les fonctions des intercostaux. Ces opinions sont au nombre de plus de dix, défendues chacune par de nombreux physiologistes depuis Hamberger et Haller jusqu'à Beau, Maissiat et Sibson; depuis cette époque (1843), de nouveaux physiologistes sont venus prendre part à cette discussion toujours indécise et toujours peu fructueuse. Nous pouvons résumer ces opinions en les classant, avec Sappey, en 6 groupes: — 1° *Les intercostaux externes et internes sont les uns et les autres inspirateurs*: Borelli, Sehac, Boerhaave, Winslow, Haller, Cuvier, Duchenne (de Boulogne), Marcellin Duval. Ce dernier appuie son opinion sur des expériences pratiquées directement sur l'homme, sur des suppliciés, peu de temps après la mort, alors que les muscles sont encore excitables. — Duchenne (de Boulogne) s'appuie surtout sur l'observation clinique de cas de paralysie, où tous les muscles de la respiration étant paralysés, cette

cun de ces deux rôles: ils servent essentiellement à compléter la paroi thoracique en remplissant les espaces intercostaux. Mais alors on peut se demander si du tissu fibreux n'aurait pas tout aussi bien rempli ce rôle: la présence du tissu musculaire nous est expliquée si nous nous rappelons bien les propriétés générales du muscle, qui est le tissu le plus élastique de l'économie; or, il fallait ici un tissu d'une élasticité exceptionnelle, puisque, dans les mouvements du thorax, les dimensions des espaces intercostaux changent sans cesse: il fallait un tissu qui se maintint toujours tendu entre les côtes, de manière à ne pouvoir être déprimé de dehors en dedans par la pression extérieure pendant l'inspiration, ou de dedans en dehors par la pression intra-pulmonaire pendant l'expiration. Cette fonction est si importante, que pour l'accomplir le tissu musculaire des intercostaux a besoin que son élasticité soit parfaitement entretenue par la nutrition; si, par exemple dans une *pleurite*, l'inflammation s'est étendue jusqu'à eux, ils sont alors impuissants à remplir la fonction assignée, et dans

fonction continuait cependant à s'accomplir, ce qui ne pourrait être dû qu'à une inspiration active produite par les intercostaux. Dans tous les cas d'atrophie progressive rapportés par Duchenne on peut remarquer qu'il n'est jamais fait mention des muscles surcostaux au sujet desquels d'ailleurs le désaccord est aussi complet entre les physiologistes; Duchenne ne se prononce point à leur égard, et l'on peut supposer avec vraisemblance que la persistance de la respiration était due à la persistance d'action de ces muscles. — 2° *Ils sont les uns et les autres expirateurs*: Vésale, Diemerbroek, Sabatier. C'est à cette manière de voir que se rattachent Beau et Maissiat; pour eux les intercostaux entreraient surtout en jeu lors de l'expiration complexe (cri, toux) et alors on verrait, dans les vivisections, leurs fibres se redresser et se durcir, tandis que dans l'inspiration elles se dépriment en se portant vers le poumon; à cela ils joignent un argument tiré de la physiologie comparée: « On sait que la respiration des oiseaux diffère de celle des mammifères, en ce que l'expiration est primitive, active, et que l'inspiration n'est que le résultat passif de l'élasticité des côtes, qui se déploient après avoir été resserrées par l'action des muscles expirateurs. Par conséquent les intercostaux, qui existent chez les oiseaux comme chez les mammifères, ne peuvent être affectés qu'à l'expiration. Or, peut-on supposer que les mêmes muscles, qui sont expirateurs chez les oiseaux, seraient inspirateurs chez les mammifères? » — 3° *Les intercostaux externes sont expirateurs et les internes sont inspirateurs*: Galien, Bartholin. —

ces cas on trouve, à l'autopsie, des poumons cannelés en travers, parce qu'ils ont pu se mouler sur les espaces intercostaux devenus déprimables.

Enfin la nécessité de cette constante élasticité des espaces intercostaux nous explique la présence de deux couches musculaires, les intercostaux externes et les internes : en effet un schéma bien simple de la direction de ces muscles (dit schéma de Hamberger, fig. 83) nous montre que les points d'insertion des intercostaux externes s'éloignent quand les côtes s'abaissent (expiration), se rapprochent quand elles s'élèvent (inspiration), et que l'inverse a lieu pour les intercostaux internes. On en a d'ordinaire tiré des conclusions relatives à l'effet de leur contraction, considérant les externes comme éleveurs ou inspirateurs, les internes comme abaisseurs ou expirateurs (Hamberger). Mais ce schéma est encore plus facile à interpréter dans notre manière de voir, si nous disons que l'élasticité des intercostaux externes est mise en jeu pendant l'expira-

4° Les intercostaux externes sont inspirateurs et les internes expirateurs : Spigel, Vesling, Hamberger. Cette opinion est surtout fondée sur l'étude du schéma de Hamberger (voir fig. 83 et son explication dans le texte). Elle a été un peu modifiée par Sibson : « Les intercostaux externes sont partout inspirateurs, excepté à leur partie antérieure dans les cinq espaces intercostaux inférieurs ; les intercostaux internes sont inspirateurs à la partie antérieure des cinq premiers espaces, partout ailleurs expirateurs. » (Sibson, *On the mechanism of respiration. — Philosophical transactions*, 1847.) On voit à quelles minuties et quelle confusion paraît conduire cette dernière opinion, qui cependant nous ramène, avec Hermann, à une conception plus simple, si on la considère à un point de vue général : « les externes sont donc des inspirateurs aux parties osseuses des côtes, les internes aux parties cartilagineuses. Mais comme c'est là à peu près la principale action des deux directions de fibres, on peut compter les intercostaux en général parmi les muscles d'inspiration. » (Hermann.) — 5° Les intercostaux externes et internes sont à la fois inspirateurs et expirateurs : Mayow, Magendie. — 6° Les deux intercostaux sont passifs dans les mouvements d'inspiration et d'expiration et font l'office d'une paroi immobile : Van Helmont, Arantius, Cruveilhier ; ou bien ils se contractent, non pour produire des mouvements d'inspiration ou d'expiration, mais pour résister, à ces deux moments, soit à la pression de l'air extérieur, soit à la pression de l'air intérieur. (Küss.) Voy. Aug. Jobelin, *Etude critique sur les muscles intercostaux*. Thèse de Strasbourg, 1870, n° 287.

tion, et celle des internes pendant l'inspiration, et il fallait en effet ces deux jeux alternatifs d'élasticité dans la paroi, puisqu'elle tend alternativement à se déprimer en sens inverse, de dehors en dedans dans l'inspiration et de dedans en dehors dans l'expiration. Nous pouvons encore concevoir que lors des violents efforts de respiration ces muscles se contractent, mais alors ce n'est pas davantage pour mouvoir les côtes, mais toujours pour maintenir la paroi, que leur simple élasticité devenait impuissante à tenir tendue entre les arcs osseux : d'après le schéma de Hamberger, et à notre point de vue,

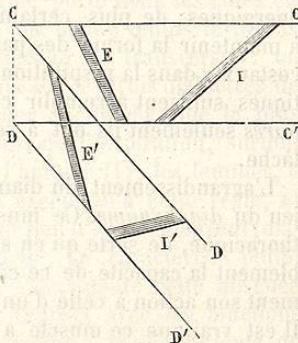


FIG. 83. — Schéma des muscles intercostaux*.

nous avons donc contraction des intercostaux externes pendant l'inspiration, et des internes pendant l'expiration.

Les espaces intercostaux ne sont pas le seul point de la paroi thoracique où des éléments musculaires soient disposés de façon à lutter contre les changements de forme imprimés par les variations de la pression : vers le sommet de la cage thoracique, à la racine du cou, lors des inspirations énergiques, il tend à se produire des dépressions, des *fossettes sus-sternale* et *sus-claviculaire*. Or en ces points nous trouvons précisément des couches musculaires (peucier), ou des bandes musculaires (omo-hyoïdien) tendant des aponévroses, et luttant ainsi contre la pression de dehors en dedans, notamment dans le bâillement, dans le sanglot, etc.

Nous voyons donc, en résumé, que les diamètres transversal et antéro-postérieur de la poitrine sont augmentés

* Schéma dit de Hamberger.

C, C, DC, côtes élevées ; — CD, DD', côtes abaissées ; — I, I', intercostaux internes : tendus dans l'élevation (I), relâchés dans l'abaissement (I') des côtes ; — E, E', intercostaux externes : tendus dans l'abaissement (E'), relâchés dans l'élevation (E) des côtes.

par le jeu des arcs costaux, mis en mouvement par la contraction d'un grand nombre de muscles, les uns normalement en jeu, les autres constituant des puissances accessoires utilisées seulement dans des cas exceptionnellement énergiques; de plus, certains muscles servent uniquement à maintenir la forme des parois, tels sont surtout les intercostaux : dans la respiration normale, leurs propriétés élastiques suffisent à remplir ce but; dans les *efforts respiratoires* seulement ils ont à se contracter pour suffire à leur tâche.

L'agrandissement du diamètre vertical se produit par le jeu du *diaphragme*. Ce muscle constitue la base du cône thoracique, de sorte qu'en s'abaissant il modifie considérablement la capacité de ce cône : on peut comparer exactement son action à celle d'un *piston* dans un *corps de pompe*. Il est vrai que ce muscle a la forme d'une voûte, et que l'on a pu se croire autorisé à penser qu'en se contractant il redressait sa courbure, et qu'ainsi seulement il augmentait le diamètre vertical de la cavité dont il forme la base, base qui serait convexe vers en haut pendant le repos du muscle, et plane pendant sa contraction. Mais il faut remarquer que la courbure du diaphragme est moulée exactement sur celle des viscères abdominaux, et, par exemple à droite, sur celle du foie : donc, quand le muscle se contracte, il ne peut en rien modifier cette convexité, cette courbure, il ne peut que la déplacer, de haut en bas, en refoulant les viscères devant lui dans le même sens; aussi voyons-nous les parois abdominales se soulever d'une manière synchrone à chaque dilatation inspiratrice du thorax. Le diaphragme forme donc un *piston de forme convexe* qui se meut dans le corps de pompe constitué par la cage thoracique; mais en s'abaissant il n'agit pas seulement sur le diamètre vertical du thorax : rappelons-nous que sa périphérie s'insère sur les côtes, que celles-ci sont mobiles, et que par suite, *en même temps que le centre voûté du diaphragme se porte en bas, sa périphérie doit sensiblement monter*; en d'autres termes, ce muscle, comme un grand nombre d'autres, n'a pas de points d'insertion réellement fixes, et ses fibres en se contractant prennent en même temps un point relative-

ment fixe sur les côtes pour abaisser le centre phrénique et les viscères, et en même temps un point relativement fixe sur les viscères (centre phrénique) pour élever les côtes et le sternum.

Par cette action le diaphragme porte donc les côtes en avant et en dehors, et il dilate en même temps le thorax dans ses diamètres antéro-postérieur et transversal : on peut donc dire qu'il agit à la fois sur les trois diamètres de la poitrine. Aussi faut-il attribuer au diaphragme la plus grande part dans les mouvements de l'inspiration, surtout chez les jeunes sujets, et chez l'homme (1); les femmes, à partir de l'âge de puberté, font exception à cette règle, et chez elle le type respiratoire, au lieu d'être *abdominal* (diaphragmatique) ou *costo-inférieur*, se caractérise plutôt par une forme *costo-supérieure*; sans doute cette absence du jeu diaphragmatique est en rapport avec les fonctions génitales, vers l'époque de la gestation, le diaphragme ne pouvant sans inconvénient presser sur l'utérus gravide.

En résumé, dans l'inspiration la dilatation thoracique a lieu dans tous les sens, et l'action du diaphragme est prédominante pour produire cet effet; une inspiration complète, nécessitée par un effort à accomplir, utilisera toutes les puissances inspiratrices, et mettra en jeu toute la mobilité dont les côtes sont susceptibles, le sternum aussi pourra être élevé par les muscles qui s'insèrent à son extrémité supérieure. Mais dans les circonstances ordinaires, dans la respiration tranquille, spontanée, on peut observer que sur le même individu, certaines côtes jouissent d'une amplitude de mouvement remarquable, alors que d'autres se meuvent à peine et que d'un sujet à l'autre, dans les mêmes conditions, ce ne sont point toujours les mêmes côtes qui sont affectées des mouvements les plus étendus; dans certains cas aussi, toute la cage thoracique paraît presque immobile, et aucune

(1) Aussi la paralysie du diaphragme apporte-t-elle les plus grands troubles dans toutes les fonctions qui ont pour condition le jeu complet de la cage thoracique : la phonation n'est pas perdue, mais la voix est très-faible; la toux, l'éternement provoquent une grande gêne dans la respiration. (Voy. Duchenne (de Boulogne), *De l'électrisation localisée*, 3^e édit. Paris, 1872, p. 908.)