

9.1 Les différents modes respiratoires chez les Animaux

Pour assurer la respiration cellulaire, les animaux requièrent un approvisionnement continu en oxygène et doivent expulser le gaz carbonique (CO_2), le déchet de la respiration cellulaire. L'atmosphère, formée à environ 21 % de molécules d' O_2 , constitue le principal réservoir d'oxygène de la Terre. Les océans, les lacs et autres plans d'eau contiennent aussi de l'oxygène. Le milieu respiratoire est l'air pour un animal terrestre et l'eau pour un animal aquatique.

Pour que le phénomène respiratoire puisse se produire, il faut donc que l'eau ou que l'air contienne de l'oxygène. Afin que les échanges gazeux puissent se faire, il faut que la surface d'échange soit humide, peu épaisse, mais de grande superficie. Suivant que l'animal mène une vie aquatique ou non, il existe des modes d'adaptation particuliers.

9.1.1 Les organismes unicellulaires

Les échanges se produisent sur l'ensemble de la surface externe = **membrane plasmique** (figure 30).

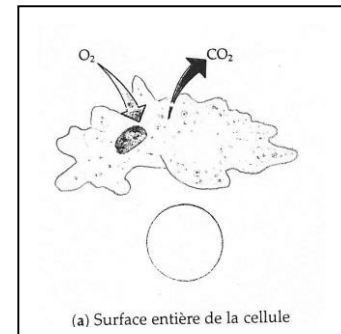


Figure 30 : surface externe

9.1.2 Les vers

Ils respirent à travers toute leur surface corporelle (**respiration cutanée**) (figure 31). Juste sous leur peau se trouve un réseau de petits vaisseaux sanguins appelés capillaires. Ceux-ci vont prendre l'oxygène de l'extérieur et faire ressortir le gaz carbonique. Comme la surface respiratoire de tout animal doit être constamment humide, les vers doivent vivre dans l'eau ou dans des endroits humides.

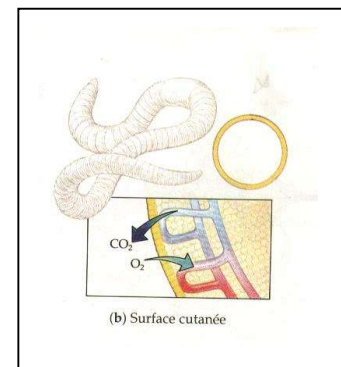


Figure 31 : surface corporelle

9.1.3 Les animaux aquatiques

Même lorsque l'eau est saturée d'air, elle contient environ 20 fois moins d'oxygène que l'air. Cela signifie que tout animal aquatique a besoin d'avoir un moyen beaucoup plus efficace de puiser l'oxygène que celui d'un animal terrestre. Presque tous les animaux aquatiques respirent grâce à des branchies internes ou externes bien vascularisées.

Chez les **invertébrés**, les **branchies** ne sont que des **excroissances** de la **surface corporelle** (figure 32). Chez de nombreux vers marins segmentés, les branchies sont des replis qui s'étendent sur les côtés de chaque segment. Au lieu de se répartir sur tout le corps, les branchies complexes de nombreux autres animaux occupent une région localisée où la peau forme une surface respiratoire plumeuse très étendue (mollusques, crustacés...)

Chez les **vertébrés**, comme les poissons, les **branchies** sont des **excroissances du tube digestif**. Les **branchies internes** des poissons constituent un système tout à fait remarquable d'optimisation des échanges gazeux car elles offrent une très grande surface d'échanges entre le sang et l'eau.

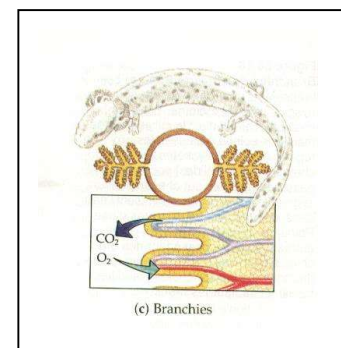


Figure 32 : branchies externes

Chez les poissons osseux les branchies (figure 33) reçoivent continuellement un courant d'eau qui entre par la bouche, traverse le pharynx par des fentes, circule sur les branchies et sort à l'arrière de l'opercule. La disposition des capillaires dans les branchies d'un poisson favorise également les échanges gazeux. **Le sang circule dans ces capillaires en direction opposée à celle de l'eau dans les branchies** (figure 34). Cette caractéristique permet de transférer l'oxygène au sang par un processus très efficace appelé échange à contre-courant. Ce mécanisme d'échange à contre-courant est tellement efficace que les branchies peuvent capter plus de 80% de l'oxygène dissous dans l'eau qui circule sur la surface respiratoire.

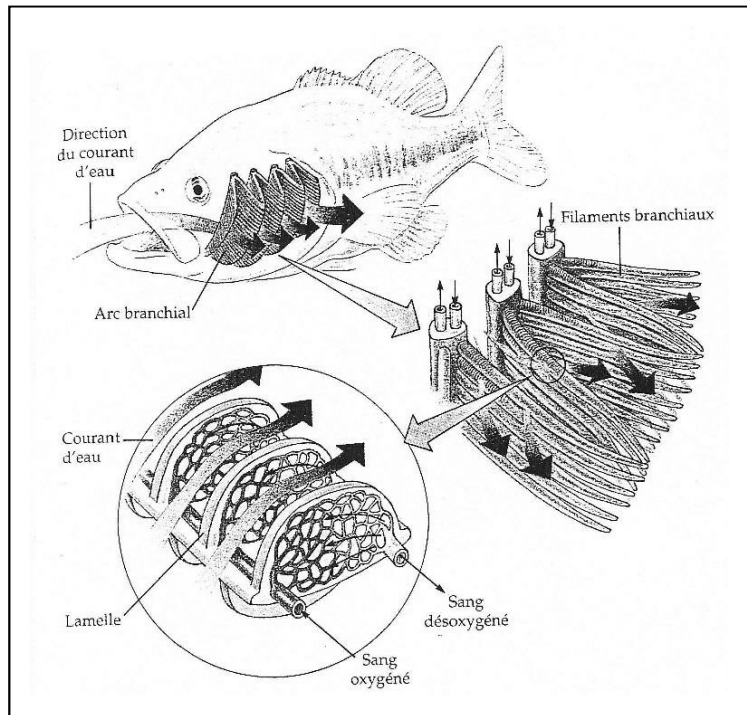


Figure 33 : branchies internes

En résumé, les poissons sont capables d'extraire des quantités importantes d'oxygène à partir de ressources relativement limitées offertes par le milieu aquatique. Tous les poissons ne respirent pas uniquement par des branchies. Certains possèdent en plus des poumons. Ces poissons vivent dans des eaux souvent soumises à l'assèchement. La respiration pulmonaire supplée alors la respiration branchiale.

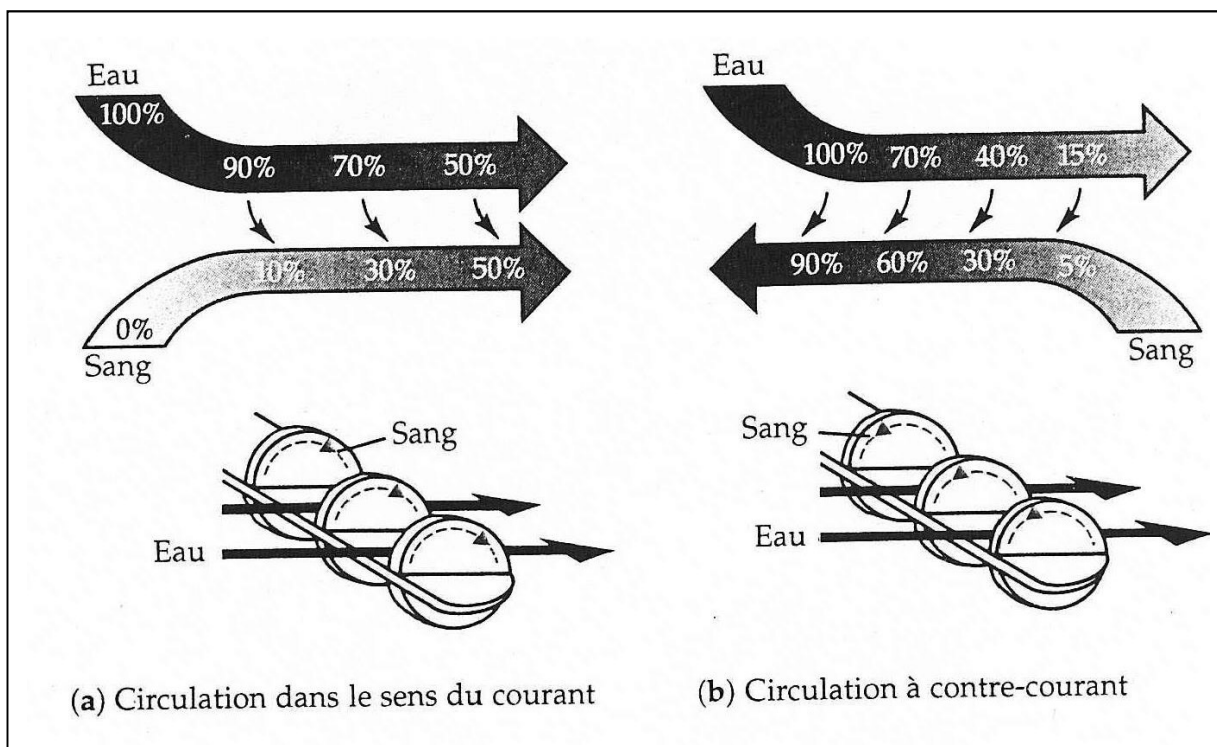


Figure 34 : Echange à contre-courant

9.1.4 Les insectes

Les insectes et certaines araignées possèdent un système respiratoire qui apporte l'air directement aux cellules de l'organisme.

Ils ont un système respiratoire relativement simple appelé système trachéen (*figure 35*). Les trachées sont de minuscules tubes aériens qui se ramifient dans tout le corps de l'insecte. Les plus petites ramifications (trachéoles, cellules trachéolaires) atteignent la surface de presque chaque cellule, où les gaz sont échangés par diffusion à travers l'épithélium humide qui recouvre les extrémités terminales du système trachéen. Ce dernier s'ouvre sur l'extérieur par les stigmates, de minuscules pores répartis sur la surface corporelle de l'insecte.

Les insectes n'ont pas besoin d'utiliser leur système circulatoire pour transporter l'oxygène et le gaz carbonique puisque le système trachéen apporte l'oxygène à toutes les cellules.

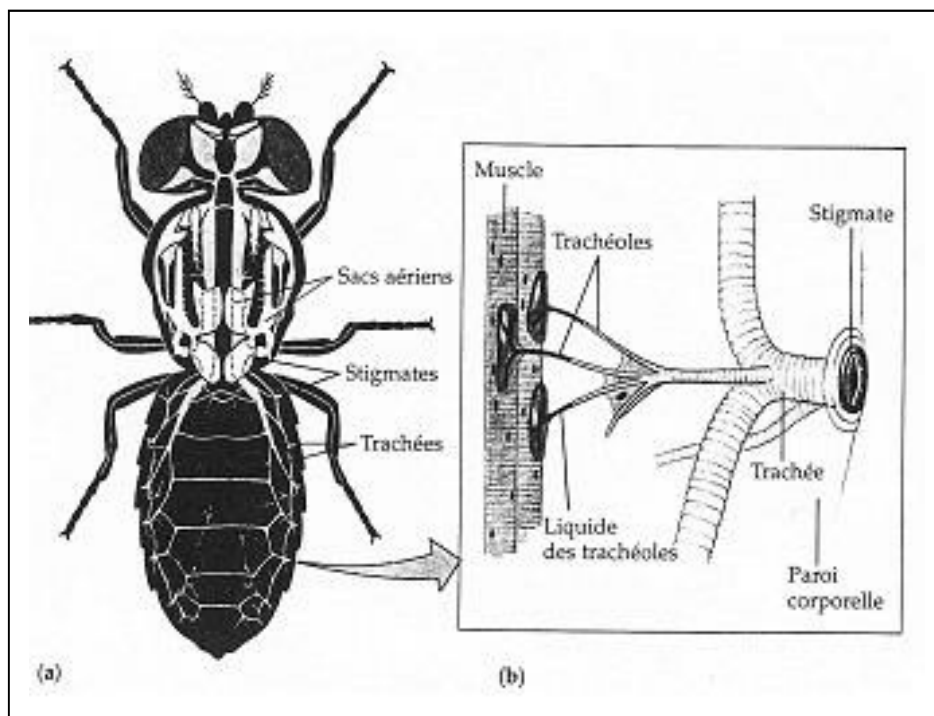


Figure 35 : Le système trachéen

9.1.5 Les vertébrés terrestres

Chez les vertébrés terrestres, il existe des **cavités internes très vascularisées** qui forment ce qu'on appelle les **poumons** (*figure 36*). Ceux-ci ne sont pas très développés chez les amphibiens car la peau joue un rôle respiratoire important. La peau des Amphibiens, tout comme celle des vers de terre, doit être fine et humide ; c'est la raison pour laquelle ces animaux ne peuvent survivre qu'en terrain humide.

La surface interne de l'appareil respiratoire est plus importante chez les reptiles que chez les amphibiens. Chez les oiseaux et les mammifères, cette surface est encore plus élaborée car il existe de nombreux tubules et d'innombrables cavités.

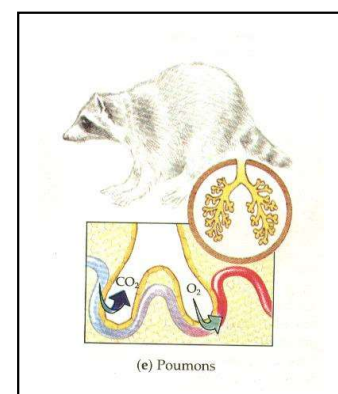


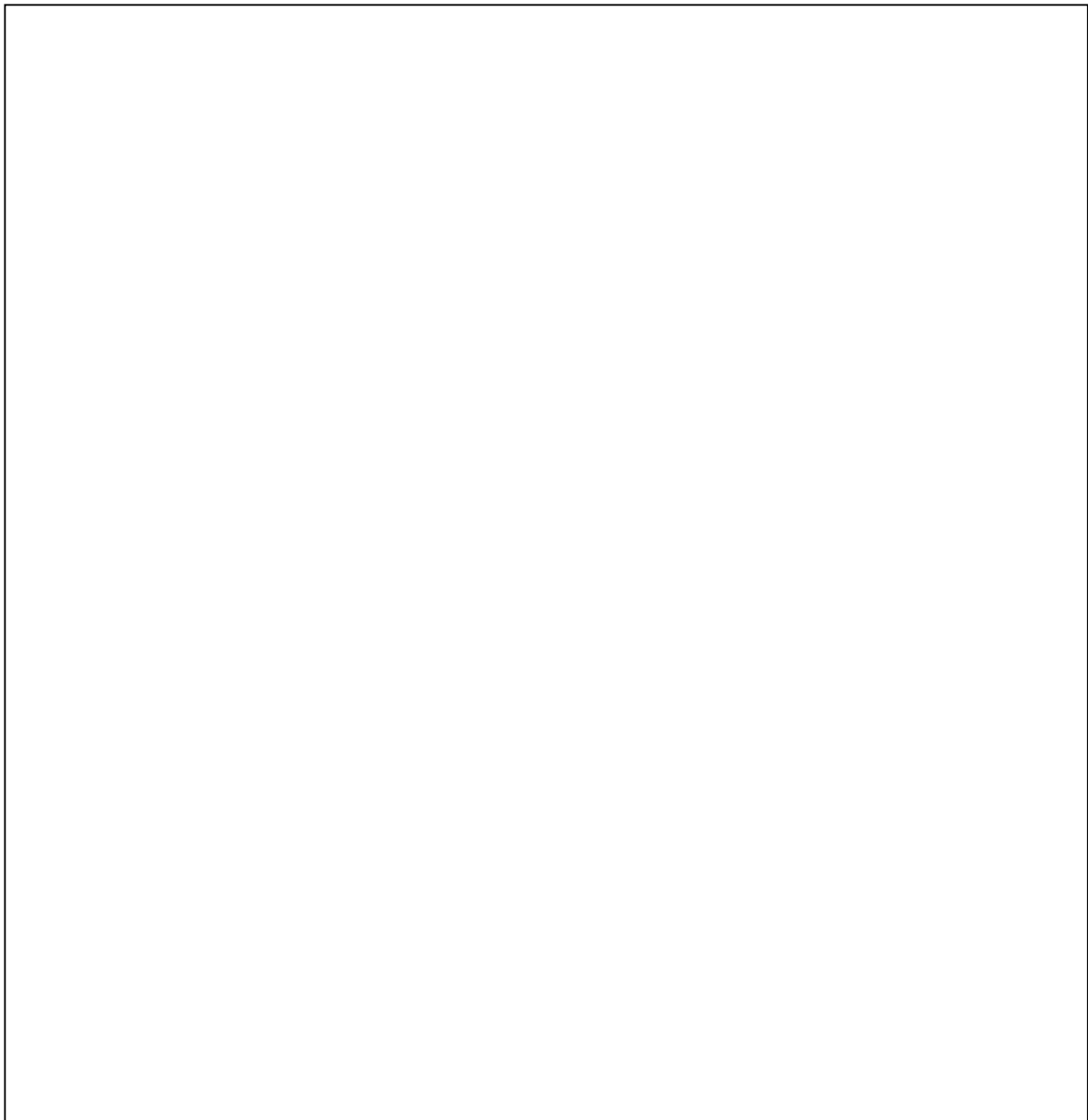
Figure 36 : les poumons

9.2 Introduction au système respiratoire humain

Les milliers de milliards de cellules de ton corps ont besoin d'un apport continu d'oxygène pour accomplir leurs fonctions vitales. Tu peux survivre quelque temps sans nourriture et sans eau, mais tu ne peux absolument pas te passer d'oxygène. Par ailleurs, à mesure qu'elles consomment de l'oxygène, tes cellules doivent libérer le gaz carbonique qu'elles produisent.

Tes systèmes **cardiovasculaire** et **respiratoire** se partagent la responsabilité de fournir de l'oxygène à ton organisme et de le débarrasser du gaz carbonique. Tes organes du système respiratoire régissent les échanges gazeux ayant lieu dans le sang et le milieu externe. Tes organes du système cardiovasculaire assurent le transport des gaz respiratoires entre tes poumons et les cellules de tes tissus, et inversement, en utilisant le sang comme véhicule. Lorsque l'un de ces systèmes fait défaut, les cellules de ton organisme meurent par manque d'oxygène et accumulation de gaz carbonique.

Notes personnelles (schéma) :



9.3 L'anatomie fonctionnelle du système respiratoire

Les organes de ton système respiratoire comprennent les **voies respiratoires** et les **poumons**. Les voies respiratoires sont constituées par le **nez** et le **pharynx**, qui forment les **voies respiratoires supérieures**, et par le **larynx**, la **trachée**, les **bronches** et leurs ramifications, qui forment les **voies respiratoires inférieures**. Les **poumons**, quant à eux, contiennent les **alvéoles** pulmonaires. Puisque les échanges gazeux avec le sang ont lieu uniquement dans les alvéoles, les autres structures du système respiratoire ne sont en fait que des voies de conduction qui permettent à l'air d'entrer dans les poumons. Ces voies assurent toutefois d'autres fonctions très importantes. Elles purifient, humidifient et réchauffent l'air inspiré. Parvenu dans les poumons, celui-ci contient beaucoup moins d'agents irritants (poussières, bactéries, ...) qu'à son entrée dans le système, et il est chaud et humide. De plus, diverses structures du système respiratoire contribuent plus ou moins directement à la phonation. La *figure 37* montre les organes du système respiratoire que nous allons décrire ci-après.

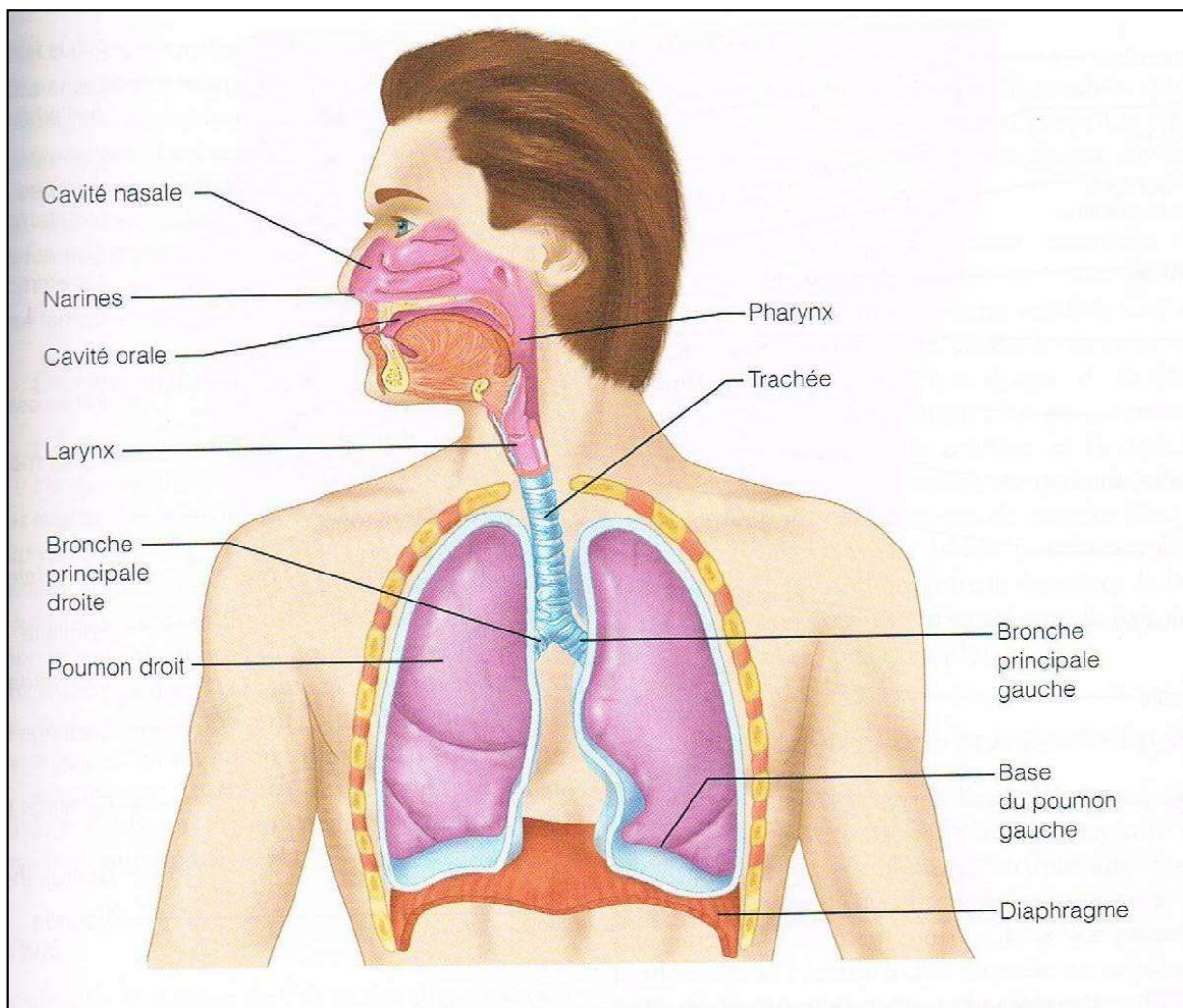


Figure 37 : Les principaux organes du système respiratoire

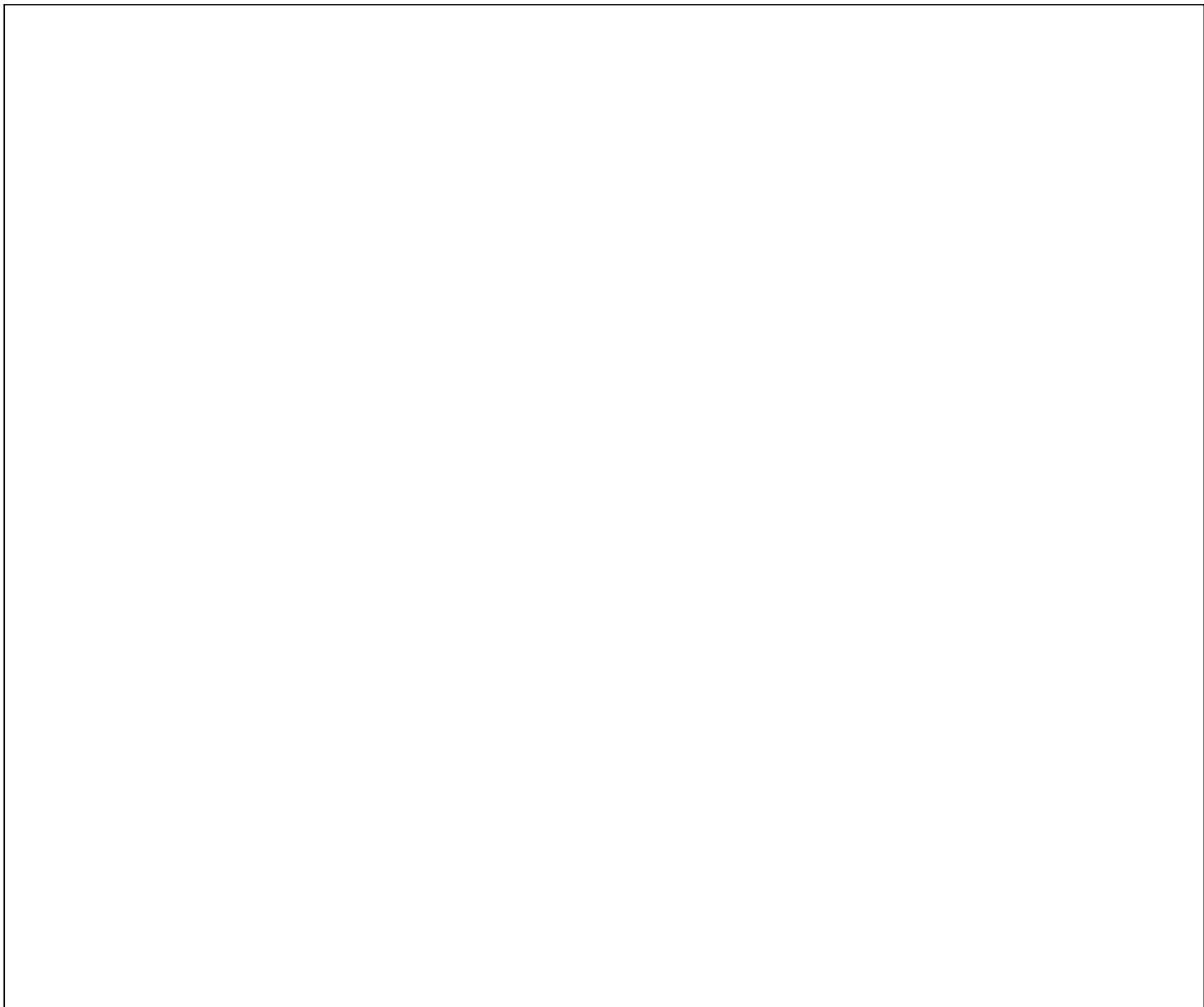
9.3.1 Le nez

Qu'il soit plat ou particulièrement arqué, le nez est la seule partie de ton système respiratoire qui soit visible extérieurement. Pendant la respiration, l'air y pénètre par les **narines**. L'intérieur du nez abrite les **cavités nasales**. Les **récepteurs olfactifs** de l'odorat sont situés dans la muqueuse de la région supérieure des cavités nasales. Le reste de la muqueuse nasale, appelé **région respiratoire de la muqueuse nasale**, repose sur un riche plexus de veines aux parois minces qui réchauffent l'air à son passage. (La localisation superficielle de ces vaisseaux explique la fréquence et l'abondance des saignements de nez.) Par ailleurs, le mucus collant sécrété par les glandes de la muqueuse humidifie l'air et emprisonne les bactéries et les débris étrangers. Les cellules ciliées de la muqueuse nasale créent un léger courant qui achemine le mucus contaminé vers la gorge (oropharynx), où il est avalé et digéré dans l'estomac. Cet important mécanisme passe habituellement inaperçu. Lorsqu'il fait froid, cependant, l'action des cils ralentit ; le mucus s'accumule dans les cavités nasales et il dégoutte des narines.

Comme le montre la *figure 37* et la *figure 38*, les parois latérales des cavités nasales sont accidentées, puisqu'elles portent trois projections osseuses recouvertes de la muqueuse nasale, les **cornets**, qui accroissent notablement la surface de la muqueuse exposée à l'air. L'air inspiré tourbillonne dans les replis de la cavité nasale, tandis que les particules inhalées sont déviées vers les surfaces recouvertes de mucus qui les captent et les empêchent de s'infiltrer dans les poumons.

Le nez permet non seulement de **purifier**, de **réchauffer** et d'**humidifier** l'air entrant dans les voies respiratoires, mais aussi de récupérer la chaleur et l'humidité de l'air sortant. Respirer par le nez a donc son importance, car la bouche ne peut remplir toutes ces fonctions.

Notes personnelles (schéma) :



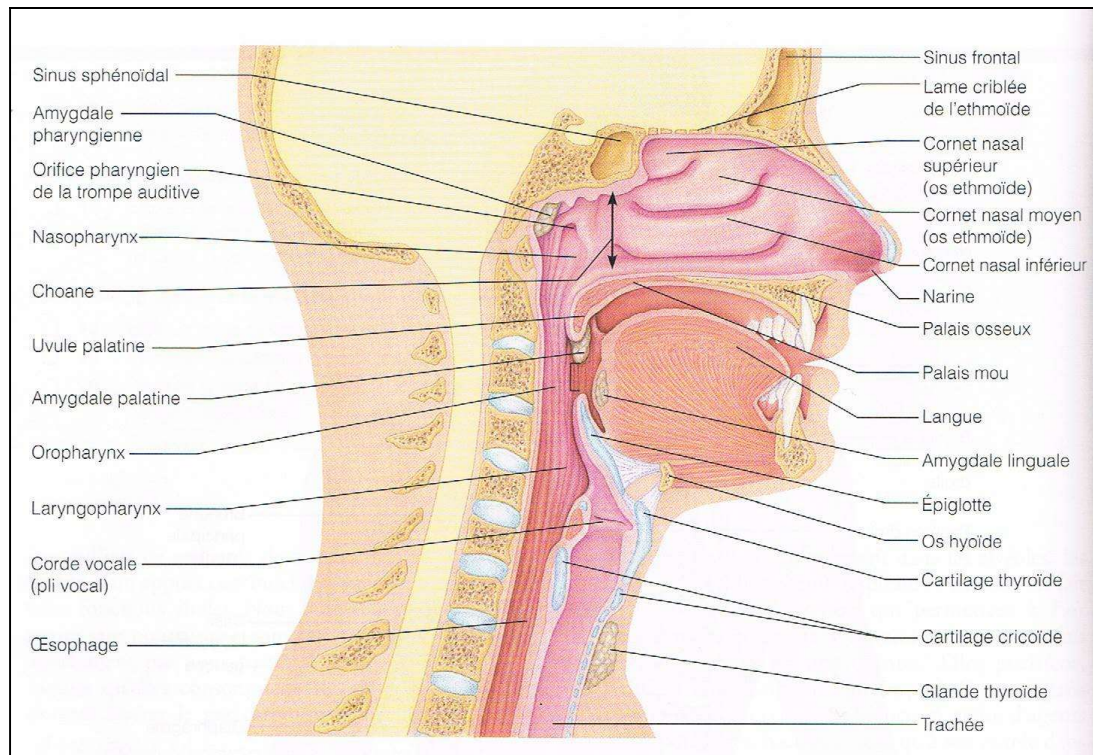


Figure 38 : L'anatomie des voies respiratoires supérieures

9.3.2 Le pharynx

Le pharynx est structure musculaire en forme d'entonnoir d'une longueur d'environ 13 cm. Communément appelé **gorge**, il est le passage que l'air et les aliments empruntent (*figures 37 et 38*). Il communique avec les cavités nasales.

L'air qui entre par les cavités nasales passe dans la portion supérieure du pharynx, appelé **nasopharynx**, puis descend par l'**oropharynx** et le **laryngopharynx** avant d'atteindre le larynx. Les aliments entrent par la bouche, puis pénètrent avec l'air dans l'oropharynx et le laryngopharynx. Ensuite, au lieu de passer dans le larynx, ils bifurquent vers l'œsophage, situé à l'arrière.

Des amas de tissu lymphatique appelés **amygdales** sont présents dans le pharynx.

9.3.3 Le larynx

Le larynx, situé au-dessous du pharynx (*figures 37 et 38*), aiguille le passage de l'air et des aliments dans les conduits appropriés et joue un rôle dans la **phonation**. L'**épiglotte** protège l'ouverture supérieure du larynx. Lorsque nous n'avalons pas, elle permet le passage de l'air dans les voies respiratoires inférieures. Pendant la déglutition, en revanche, le larynx se soulève et l'épiglotte s'incline : elle ferme le larynx et dirige les aliments et les liquides vers l'arrière, dans l'œsophage. Si une substance autre que l'air pénètre dans le larynx, le **réflexe de la toux** se déclenche afin de l'expulser. Puisque ce réflexe est aboli en cas d'inconscience, il faut éviter de faire boire une personne que l'on tente de ranimer.

Une partie de la muqueuse du larynx est formée d'une paire de plis, **les cordes vocales**, qui vibrent et émettent des sons sous l'impulsion de l'air expiré. L'ouverture entre les cordes vocales est appelée **glotte**.

9.3.4 La trachée

L'air qui sort du larynx entre dans la trachée, qui mesure de 10 à 12 cm de long, et descend jusqu'au milieu du thorax environ (*figure 37*).

Les parois de la trachée sont entourées de 15 à 20 anneaux de cartilage en forme de fer à cheval qui lui donnent une certaine rigidité. Ces anneaux assurent deux fonctions : les bords libres sont attachés à l'œsophage et permettent à ce dernier de se dilater vers l'avant pendant la déglutition ; les parties solides soutiennent les parois de la trachée et l'empêchent de s'affaisser au gré des variations de pression provoquées par la respiration. Des faisceaux de muscles lisses situés dans les bords postérieurs libres des anneaux permettent de réduire le diamètre de la trachée pour augmenter la vitesse d'expulsion de l'air au besoin (pendant la toux, par exemple).

La trachée est tapissée d'une muqueuse ciliée (*figure 39*). Ses cils propulsent continuellement le mucus chargé de poussières et de débris en direction opposée de l'air inspiré, vers le pharynx, où il est avalé ou craché.

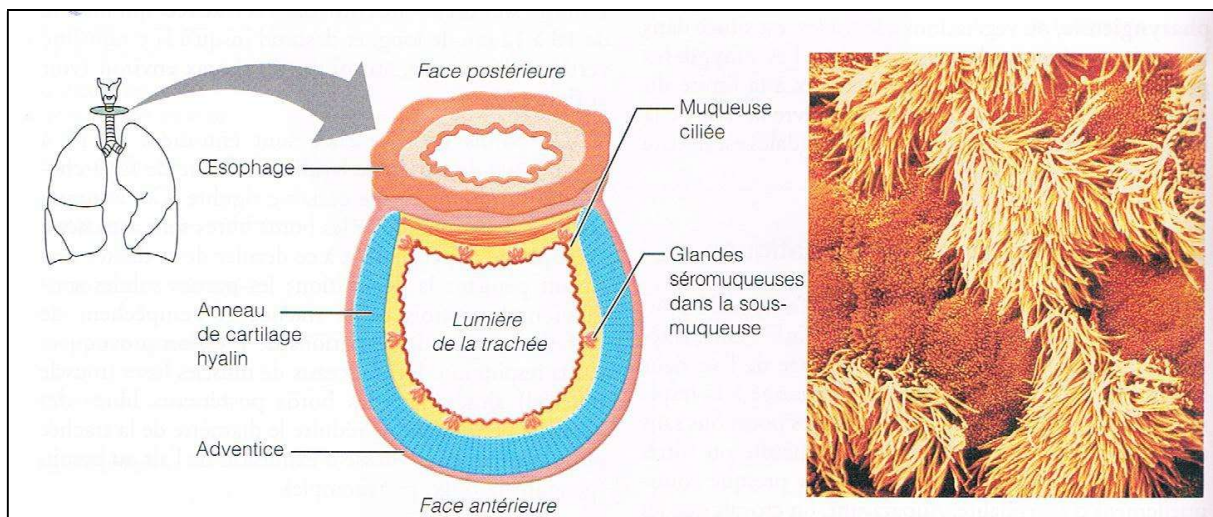


Figure 39 : La trachée et l'œsophage

9.3.5 Les bronches principales

Les bronches principales droite et gauche sont formées par la division de la trachée. Chacune chemine obliquement avant de s'enfoncer dans un poumon (*figures 37 et 40*). Quand il atteint les bronches, l'air est réchauffé, débarrassé de la plupart des impuretés et saturé de vapeur d'eau. Une fois entrées dans les poumons, les bronches principales se subdivisent en ramifications plus petites qui mènent directement aux alvéoles.

9.3.6 Les poumons

Les deux poumons sont des organes relativement volumineux. Ils occupent la totalité de la cavité thoracique, sauf sa partie centrale, qui abrite le cœur, les gros vaisseaux sanguins, les bronches, l'œsophage et d'autres organes (*figure 40*). L'étroite extrémité supérieure du poumon est appelée **apex du poumon**. Sa large face inférieure est appelée **base du poumon**, et elle repose sur le diaphragme. Chaque poumon est divisé en lobes par des scissures ; le poumon gauche est divisé en deux lobes et le poumon droit, en trois lobes. Chaque lobe est divisé en segments, eux-mêmes divisés en lobules qui constituent les unités fonctionnelles des poumons.

La surface de chaque poumon est recouverte de la **plèvre viscérale** qui pénètre dans les scissures entre les lobes, et la paroi thoracique est tapissée de la **plèvre pariétale**. Les feuillets de la plèvre produisent le **liquide pleural**, une sécrétion lubrifiante qui réduit la friction des poumons contre la paroi thoracique pendant la respiration et permet un contact étroit entre les deux feuillets. Les feuillets de la plèvre peuvent glisser l'un contre l'autre, mais ils résistent fortement à leur séparation. Par conséquent, chaque poumon adhère fermement à la paroi thoracique, ce qui fait de la **cavité pleurale** un espace bien plus virtuel que réel. Comme nous le verrons, le contact étroit des feuillets de la plèvre est une condition essentielle à une respiration normale. La *figure 40* montre la position de la plèvre dans les poumons et la paroi thoracique.

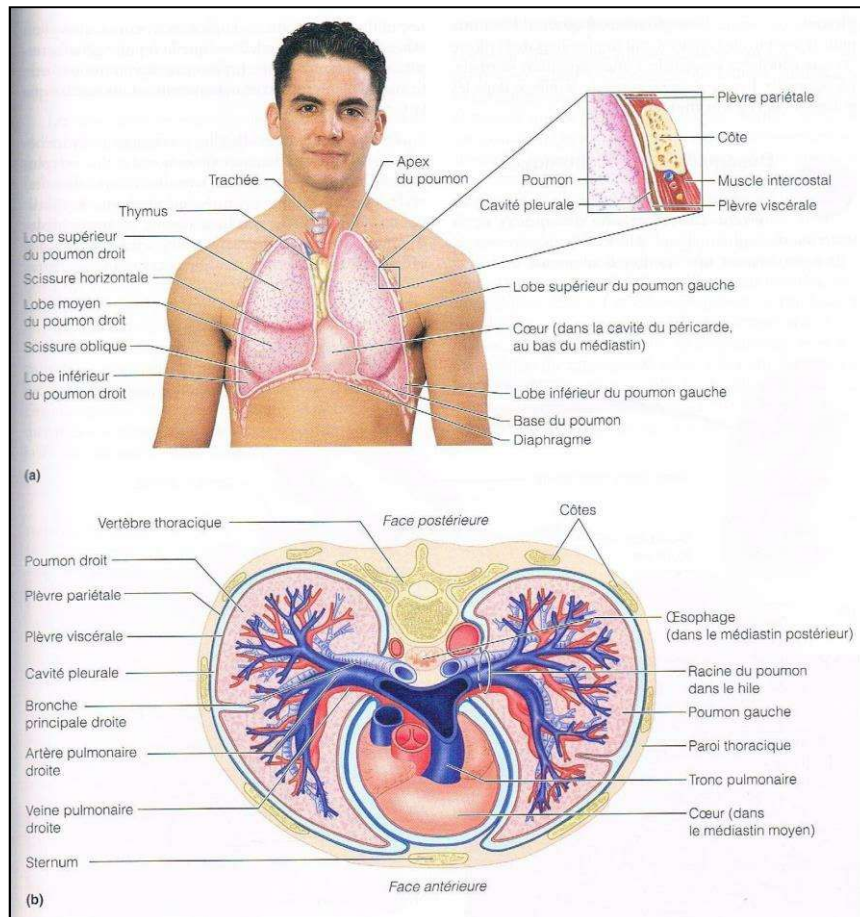


Figure 40 : Les organes de la cavité thoracique

Lorsqu'elles entrent dans les poumons, les bronches principales se ramifient en bronches de plus en plus petites (bronches secondaires, tertiaires et ainsi de suite) et deviennent finalement, après une vingtaine de subdivisions, les plus petits conduits aériens, les bronchioles (*figure 41*). On désigne souvent ce réseau de conduits aériens aux multiples ramifications par l'expression **arbre bronchique**. Tous ces conduits, sauf les plus petits, ont un cartilage de soutien dans leur paroi. La paroi des plus petits conduits contient des muscles lisses qui leur permettent de varier leur diamètre.

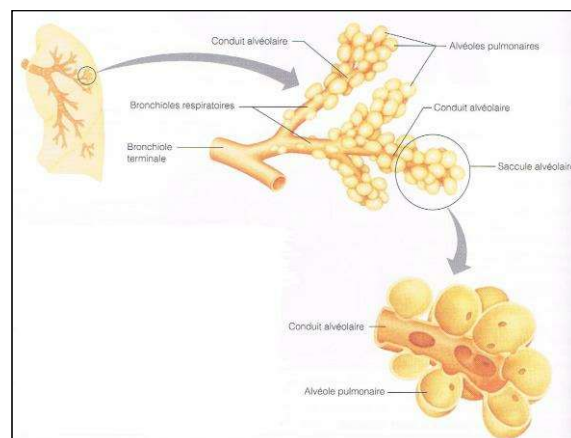


Figure 41 : Les structures de la zone respiratoire

Les **bronchioles terminales** se jettent dans les structures de la zone respiratoire, des conduits encore plus petits qui se terminent quant à eux dans les **alvéoles pulmonaires**. La **zone respiratoire**, qui comprend les bronchioles respiratoires, les conduits alvéolaires et les alvéoles pulmonaires, est le siège des échanges gazeux. Tous les autres conduits aériens sont des **structures de la zone de conduction** qui font circuler l'air allant vers (et venant de) la zone respiratoire. Les 150 millions d'alvéoles pulmonaires, qui ressemblent à des grappes de raisins, constituent la majeure partie du volume d'un poumon. Les poumons sont donc principalement formés d'espaces remplis d'air. Le reste du tissu pulmonaire est constitué de tissu conjonctif. Les poumons sont par conséquent des organes mous, spongieux et élastiques dont la masse dépasse à peine 1kg.

9.3.6.1 La membrane alvéolocapillaire

Les parois des alvéoles pulmonaires sont principalement composées d'une seule couche de cellules épithéliales, appelées **épithéliocytes respiratoires**. Elles sont si minces qu'un mouchoir de papier semble épais en comparaison. Des pores relient les alvéoles pulmonaires d'une même région et fournissent des voies de rechange aux alvéoles dont les bronchioles sont obstruées, par du mucus par exemple. Une trame dense de capillaires pulmonaires recouvre les alvéoles. La paroi des alvéoles et des capillaires, leurs membranes basales fusionnées constituent la **membrane alvéolocapillaire**, ou **barrière air-sang** (figure 42). Les échanges gazeux se produisent par **diffusion** à travers la membrane alvéolocapillaire, l'oxygène passant des alvéoles au sang, et le gaz carbonique du sang aux alvéoles. Chez toi, la surface totale des parois alvéolaires où ont lieu les échanges gazeux est de 50 à 70m², soit de 35 à 40 fois la superficie de la peau.

Les alvéoles pulmonaires forment la dernière ligne de défense de ton système respiratoire. Les **macrophages** alvéolaires, communément appelés **cellules à poussières**, circulent librement à la surface des alvéoles, passant de l'une à l'autre par les pores et captent des bactéries, des particules de carbone et d'autres débris. Parmi les épithéliocytes respiratoires qui composent la majeure partie des parois alvéolaires, se trouvent de grandes cellules d'apparence très différente. Ces cellules élaborent une substance, le surfactant, qui tapisse la face interne de l'alvéole exposée à l'air alvéolaire et joue un rôle important dans la fonction pulmonaire.

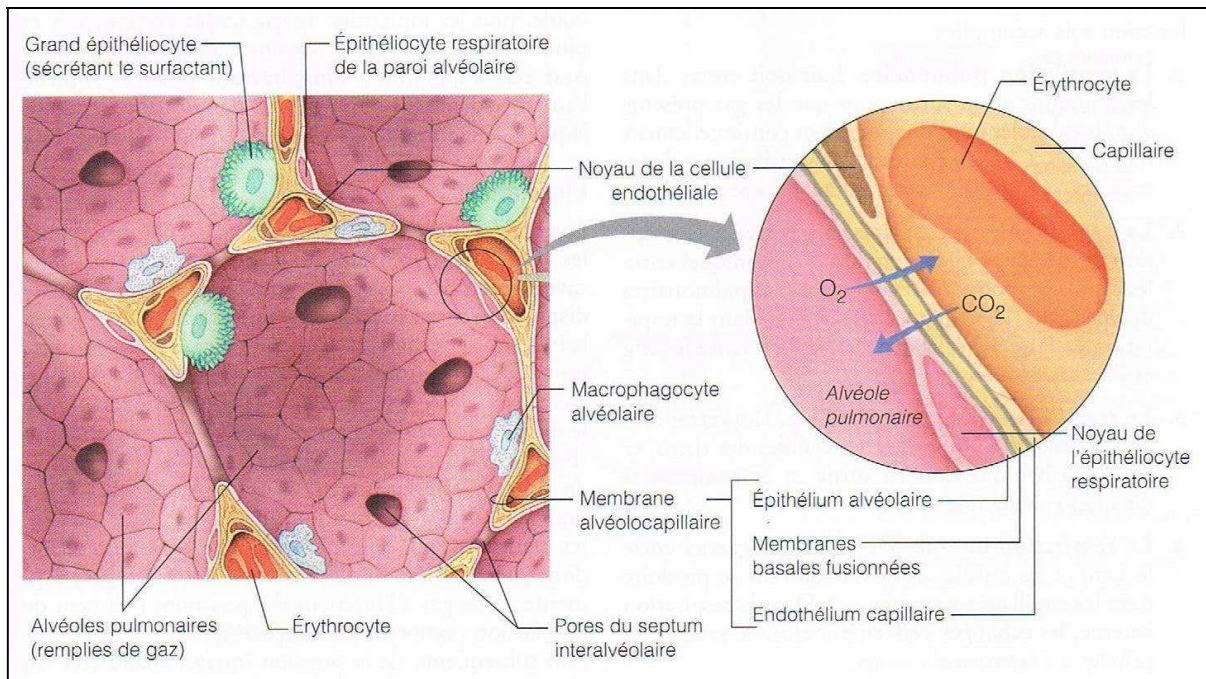


Figure 42 : L'anatomie de la membrane alvéolocapillaire

9.4 La physiologie de la respiration

La principale fonction du système respiratoire est de fournir de l'oxygène à l'organisme et de le débarrasser du gaz carbonique. Quatre phénomènes distincts, qui forment la **respiration**, doivent avoir lieu pour que cette fonction soit accomplie :

- I. **La ventilation pulmonaire.** L'air doit entrer dans tes poumons et en sortir pour que les gaz présents dans les alvéoles pulmonaires soient continuellement renouvelés. C'est ce processus de ventilation pulmonaire qu'on appelle communément « respiration ».
- II. **La respiration externe.** Des échanges gazeux (absorption d'oxygène et libération de gaz carbonique) entre les capillaires pulmonaires et les alvéoles pulmonaires doivent avoir lieu. Rappelez-vous que, dans la respiration externe, les échanges s'effectuent entre le sang et l'extérieur du corps.
- III. **Le transport des gaz respiratoires.** L'oxygène doit entrer dans tes poumons et les cellules de tes tissus, et le gaz carbonique doit en sortir en empruntant la circulation sanguine.
- IV. **La respiration interne.** Des échanges gazeux entre le sang et les cellules de tes tissus doivent se produire dans les capillaires systémiques. Dans les cellules de tes tissus, l'utilisation de l'oxygène et la production de gaz carbonique sont les étapes de la **respiration cellulaire**, activité essentielle à toutes les réactions chimiques fournissant de l'énergie à ton organisme. Dans la respiration interne, les échanges s'effectuent entre le sang et tes cellules à l'intérieur du corps.

Bien que seuls les deux premiers phénomènes soient des fonctions exclusives de ton système respiratoire, tous les quatre sont nécessaires à la réalisation des échanges gazeux. Nous décrirons maintenant chacun de ces processus.

9.4.1 La mécanique de la respiration

La respiration, ou ventilation pulmonaire, est un processus entièrement mécanique qui repose sur des variations de volume survenant dans la cavité thoracique. Au fil du cours, gardez toujours à l'esprit la règle suivante :

Les variations de volume engendrent des variations de pression, les variations de pression provoquent l'écoulement des gaz, et les gaz s'écoulent de manière à égaliser la pression.

Les gaz, comme les liquides, prennent la forme du récipient qui les contient. Contrairement aux liquides, toutefois, ils remplissent toujours entièrement le récipient qui les contient. Par conséquent, plus le volume est grand, plus les molécules de gaz seront éloignées les unes des autres et plus la pression sera faible. Inversement, plus le volume est faible, plus les molécules de gaz seront comprimées et plus la pression sera forte. Voyons maintenant comment tout cela s'applique à l'**inspiration**, pendant laquelle l'air entre dans les poumons, et à l'**expiration**, pendant laquelle l'air sort des poumons.

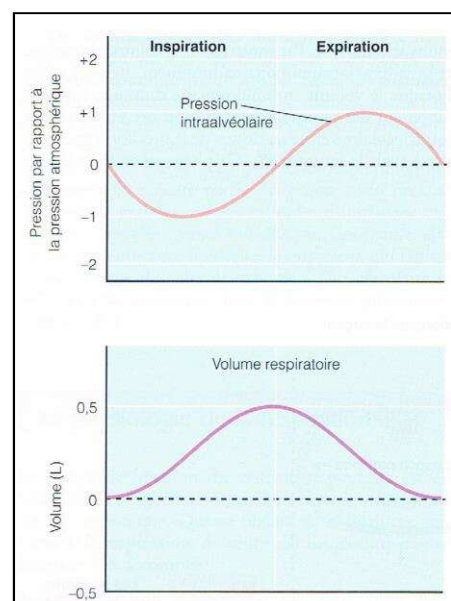


Figure 43 : Les modifications de pression intra-alvéolaire et du volume respiratoire pendant l'inspiration et l'expiration

9.4.1.1 L'inspiration

Lorsque les muscles respiratoires, soit le **diaphragme** et les **muscles intercostaux externes**, se contractent, ta cavité thoracique prend du volume. En se contractant, le diaphragme convexe s'abaisse et s'aplatit. Par le fait même, la hauteur de ta cavité thoracique augmente. La contraction des muscles intercostaux externes élève ta cage thoracique et pousse ton sternum vers l'avant, ce qui augmente le diamètre de ton thorax tant en largeur qu'en profondeur (*figure 44*). Comme ils adhèrent fermement aux parois de ton thorax grâce à la plèvre, tes poumons s'étirent pour s'adapter aux nouvelles dimensions de ton thorax. Le **volume intra pulmonaire** augmente, et les gaz à l'intérieur de tes poumons prennent de l'expansion pour combler l'espace agrandi. La diminution subséquente de la pression intra alvéolaire crée un vide partiel (pression inférieure à la pression atmosphérique) qui aspire de l'air dans tes poumons (*figure 43*). L'air continue de s'écouler dans tes poumons jusqu'à ce que la pression intra alvéolaire soit égale à la pression atmosphérique. Cette séquence de phénomène est appelée **inspiration**.

9.4.1.2 L'expiration

Chez toi, l'expiration est un processus passif qui repose plus sur l'élasticité des poumons que sur la contraction musculaire. A mesure que les muscles inspiratoires se relâchent et retrouvent leur longueur initiale, ta cage thoracique s'abaisse et tes poumons se rétractent. Par conséquent, le volume thoracique et le volume intrapulmonaire diminuent (*figure 44*). Lorsque le volume intrapulmonaire diminue, les gaz à l'intérieur de tes poumons sont comprimés et la pression intra alvéolaire s'élève au-dessus de la pression atmosphérique (*figure 43*). Ce phénomène force les gaz à s'écouler hors de tes poumons pour que la pression à l'intérieur et à l'extérieur de ceux-ci soit la même. Dans des conditions normales, l'expiration n'exige aucun effort, mais lorsque les conduits aériens sont rétrécis par les spasmes des bronchioles (en cas d'**asthme**, par exemple) ou bloqués par du mucus ou du liquide (en cas de **bronchite chronique** ou de **pneumonie**, par exemple), l'expiration devient un processus actif, appelé expiration forcée. Les muscles intercostaux internes entrent alors en action pour abaisser ta cage thoracique, et les muscles abdominaux se contractent et compriment tes organes abdominaux contre ton diaphragme pour forcer l'air à sortir de tes poumons.

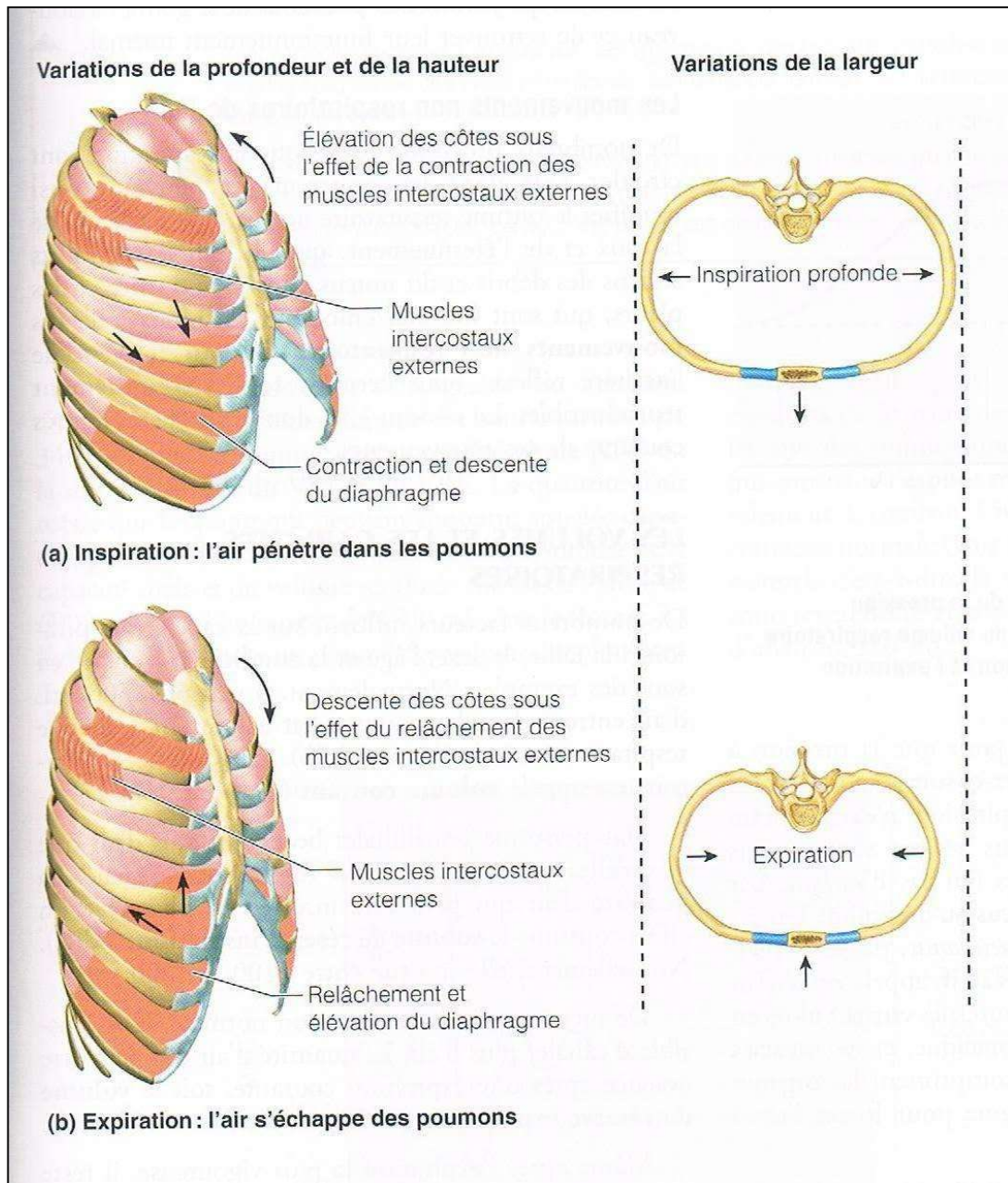


Figure 44 : Les positions de la cage thoracique et du diaphragme pendant la respiration

9.4.2 Les volumes et les capacités respiratoires

De nombreux facteurs influent sur la capacité respiratoire ; la taille, le sexe, l'âge et la condition physique en sont des exemples. Normalement, à peu près 500 ml d'air entrent dans les poumons et en sortent à chaque respiration (figure 44b). Ce volume respiratoire est appelé **volume courant (VC)**.

Tu peux inhaler beaucoup plus d'air que ce que tu inspires pendant une respiration normale. La quantité d'air qui peut être inspirée en plus avec un effort constitue le **volume de réserve inspiratoire (VRI)**. Normalement, elle se situe entre 2100 et 3200 ml.

De même, après une expiration normale, il est possible d'exhaler plus d'air. La quantité d'air qui peut être évacuée après une expiration courante, soit le **volume de réserve expiratoire (VRE)**, est d'environ 1200 ml.

Même après l'expiration la plus vigoureuse, il reste encore quelque 1200 ml d'air dans tes poumons qui ne peuvent être évacués volontairement. Cette quantité est appelée **volume résiduel (VR)**. Le VR permet aux échanges gazeux de continuer entre chaque respiration et contribue à maintenir les alvéoles pulmonaires libres (ouvertes).

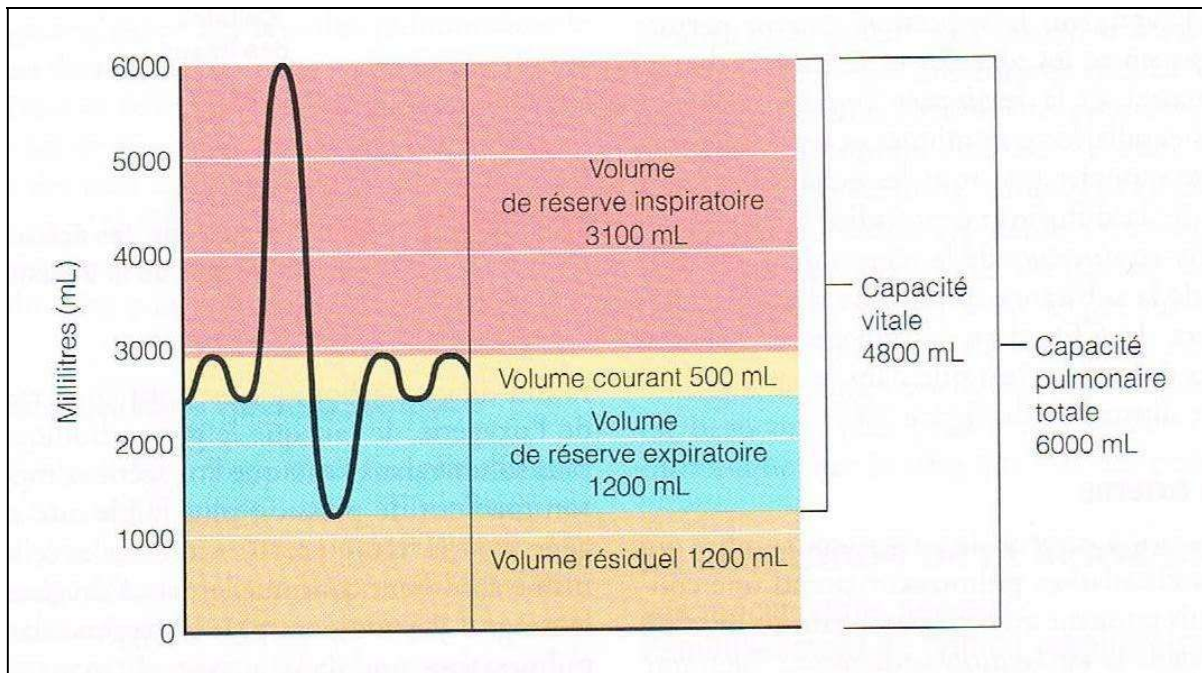


Figure 45 : Spirogramme des volumes respiratoires

La quantité totale d'air échangeable est d'environ 4800 ml chez un jeune homme en bonne santé et de 3400 ml chez la femme ; cette **capacité vitale (CV)** est la somme du VC, du VRI et du VRE.

La quantité d'air totale que tes poumons peuvent contenir, appelée **capacité pulmonaire totale**, est, quant à elle, la somme de la capacité vitale et du volume résiduel : elle est de l'ordre de 6000 ml chez l'homme et de 4500 ml chez la femme. La *figure 45* présente un résumé des volumes respiratoires.

Une bonne partie de l'air inspiré remplit les conduits de la zone de conduction et n'atteint jamais les alvéoles pulmonaires. Le volume de ces conduits, qui constitue l'**espace mort**, se situe généralement à environ 150 ml pendant une respiration courante normale (*figure 45*). Le volume fonctionnel, c'est-à-dire la quantité d'air qui reste dans la zone respiratoire et contribue aux échanges gazeux, est d'environ 350 ml.

9.4.3 La respiration externe, le transport des gaz et la respiration interne

La respiration externe permet l'échange de gaz entre tes alvéoles et le sang (échange gazeux pulmonaire), et la respiration interne, l'échange de gaz entre les capillaires et les cellules de tes tissus. Il faut se rappeler que tous les échanges gazeux suivent les lois de la diffusion, c'est-à-dire qu'ils se produisent toujours en direction de la région de plus faible concentration de la substance qui diffuse. Les quantités relatives d'O₂ et de CO₂ dans les espaces alvéolaires, dans les cellules de tes tissus ainsi que dans le sang artériel et veineux sont illustrées à la *figure 46*.

9.4.3.1 La respiration externe

Pendant la respiration externe, le sang qui s'écoule dans la circulation pulmonaire capte l'oxygène par l'hémoglobine et libère du gaz carbonique. Comme les cellules de ton organisme absorbent continuellement l'oxygène présent dans le sang, il y a toujours plus d'oxygène dans tes alvéoles pulmonaires que dans le sang. L'oxygène circule donc de l'air de tes alvéoles jusqu'à la membrane alvéolocapillaire avant de passer dans le sang moins oxygéné des capillaires pulmonaires. Par ailleurs, les cellules de tes tissus qui captent l'oxygène du sang dans la circulation systémique y libèrent par la même occasion du gaz carbonique. Puisque la concentration de gaz carbonique est nettement plus élevée dans les capillaires pulmonaires que dans l'air de tes alvéoles, le gaz quitte le sang pour passer dans tes alvéoles, d'où il sera expulsé par tes poumons pendant l'expiration. Autrement dit, le sang qui s'écoule de tes poumons dans les veines pulmonaires est riche en oxygène et pauvre en gaz carbonique, et il est prêt à être dirigé vers la circulation systémique.

9.4.3.2 Le transport des gaz dans le sang

L'oxygène est transporté dans le sang de deux façons. La plus grande partie se lie aux molécules d'**hémoglobine** à l'intérieur des globules rouges. Une très petite quantité d'oxygène est véhiculée sous forme dissoute dans le plasma (*figure 47*).

La plus grande partie du gaz carbonique est transportée, elle, non pas dans les globules rouges, mais dans le plasma. Une quantité plus faible est transportée dans les globules rouges fixée à l'hémoglobine.

9.4.3.3 La respiration interne

Le mécanisme de la respiration interne, qui permet l'échange de gaz entre le sang et les cellules de tes tissus, est l'opposé du phénomène ayant lieu dans tes poumons. Pendant la respiration interne, le sang libère de l'oxygène et absorbe du gaz carbonique, comme le montre la *figure 47*. Le gaz carbonique diffusant des cellules de tes tissus entre dans le sang.

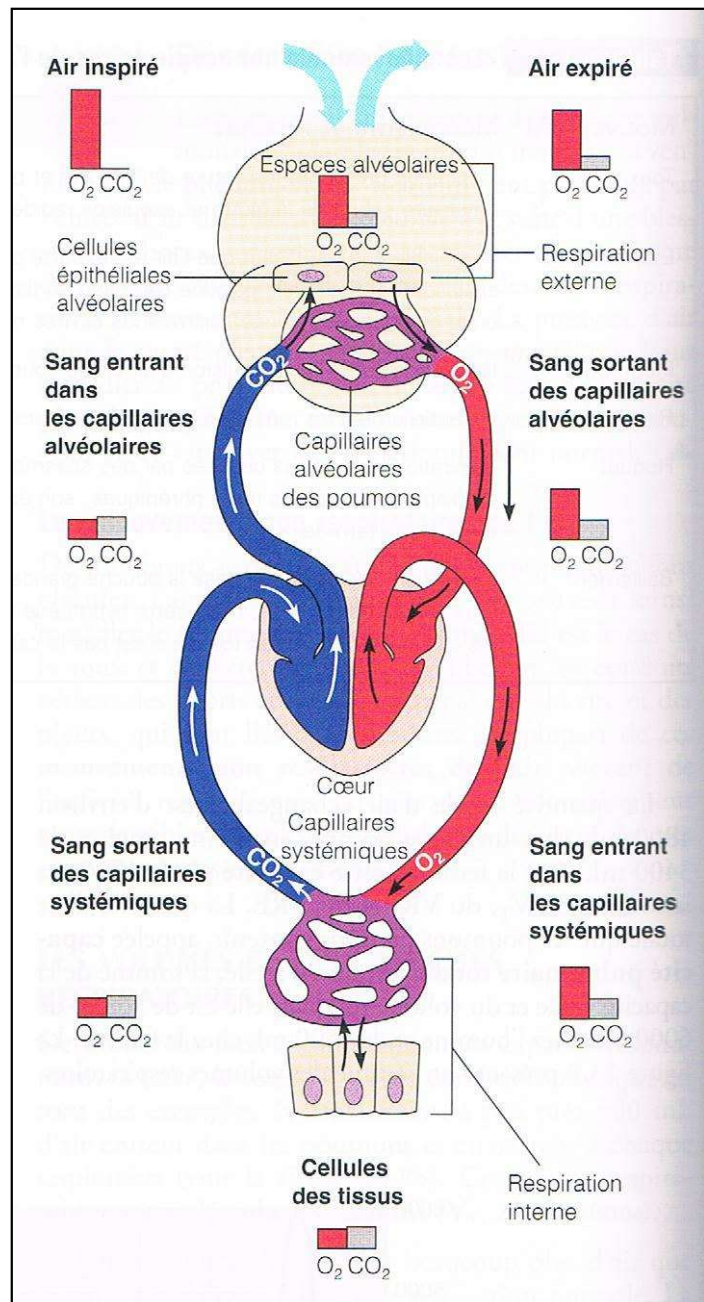


Figure 46 : Dans l'organisme, les échanges gazeux suivent les lois de la diffusion.

Au terme de ces échanges, le sang veineux dans la circulation systémique est beaucoup plus pauvre en oxygène et riche en gaz carbonique que le sang qui sort de tes poumons.

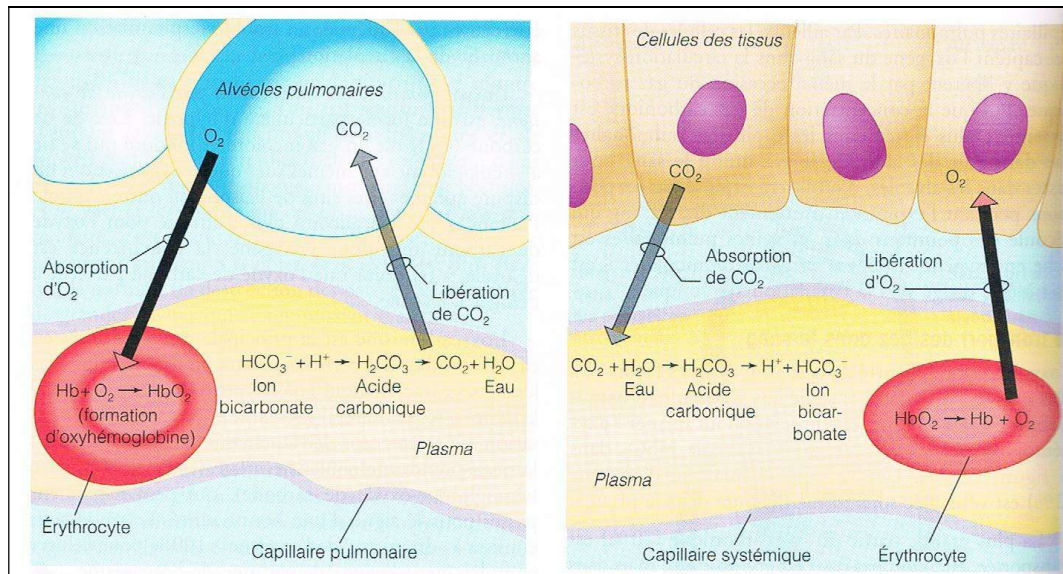


Figure 47 : Représentation schématique des principaux mécanismes d'absorption et de libération d'oxygène et de gaz carbonique dans l'organisme.

9.4.4 La régulation de la respiration

9.4.4.1 Les mécanismes nerveux : l'établissement du rythme respiratoire

La respiration n'est pas un acte aussi simple qu'il y paraît. Nous nous limiterons ici aux aspects les plus fondamentaux de la mécanique respiratoire. L'activité des muscles respiratoires, de ton diaphragme et de tes muscles intercostaux externes est régie par les influx nerveux émis à partir de ton cerveau par tes nerfs phréniques et tes nerfs intercostaux.

Les centres nerveux qui régissent la fréquence et l'amplitude respiratoires sont situés dans le **bulbe rachidien** et le **pont** (figure 48). Le bulbe rachidien, qui établit le rythme respiratoire de base, contient un centre inspiratoire autostimulé ainsi que d'autres centres respiratoires. Les centres du pont semblent adoucir les transitions de l'inspiration et de l'expiration régies par le bulbe rachidien. L'influx circulant entre les centres du pont et ceux du bulbe rachidien produit de 12 à 15 respirations par minute. Il s'agit de la fréquence respiratoire normale.

De plus, les bronchioles et les alvéoles pulmonaires contiennent des mécanorécepteurs qui s'activent et déclenchent un réflexe protecteur s'il y a distension excessive et dangereuse de tes poumons. Lorsque tes poumons sont trop distendus, les mécanorécepteurs émettent des influx vers le bulbe rachidien par l'intermédiaire de tes nerfs vagues ; peu de temps après, l'inspiration prend fin et l'expiration a lieu. Pendant l'exercice physique, la respiration est plus profonde et plus vigoureuse, car les centres nerveux de ton cerveau émettent plus d'influx vers les muscles respiratoires. Dans cette forme de respiration, appelée hyperpnée, la fréquence respiratoire n'augmente pas de façon marquée. Après un exercice vigoureux,

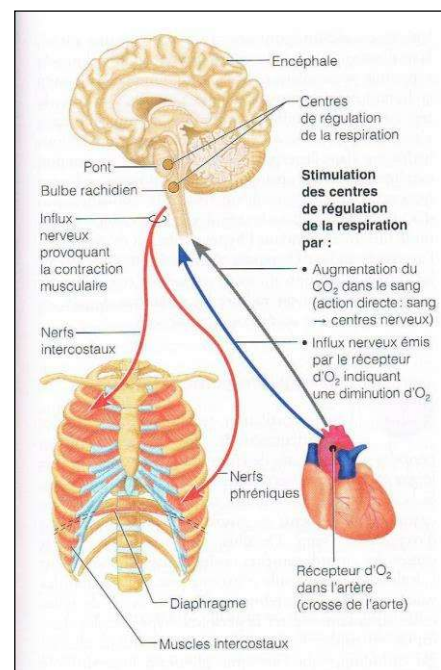


Figure 48 : Les centres de régulation de la respiration

l'expiration devient active ; les muscles abdominaux et tous les muscles aptes à abaisser la cage thoracique sont mis à contribution pour la faciliter.

Si les centres respiratoires du bulbe rachidien sont complètement inactivés (en cas de surdose de somnifères, de morphine ou d'alcool, par exemple), la respiration cesse complètement et la mort survient.

Il existe d'autres facteurs qui peuvent influencer la fréquence et l'amplitude respiratoires, comme

- Les facteurs physiques (toux, exercice...)
- La régulation volontaire
- Les facteurs émotionnels (peur...)
- Les facteurs chimiques (concentration de gaz carbonique dans le sang)