

Dr BOGGIO	9
La physiologie respiratoire	
2.2 S1 Cycles de la vie et grandes fonctions	
IFSI Dijon - Promotion COLLIERE 2014-2015	

Système respiratoire

Les cellules ont besoin d'oxygène
et rejettent du gaz carbonique.

Nécessité d'un approvisionnement continu des cellules
en oxygène (il n'y a pas de stocks).

Deux systèmes de transport sont indispensables :

Le système cardiovasculaire (déjà vu)
assure le transport des gaz, dans le sang,
des poumons aux cellules ou inversement.

Le système respiratoire assure le transport des gaz
de l'environnement jusqu'aux poumons.

Anatomie fonctionnelle

Système respiratoire = voies respiratoires + poumons.

Voies respiratoires = voies respiratoires supérieures
(nez + pharynx) + larynx + trachée + bronches + ramifications (voies
respiratoires inférieures).

Les plus petites bronches (= bronchioles)
se terminent par des sacs minuscules
dans lesquels s'ouvrent les alvéoles pulmonaires.
Les échanges gazeux avec le sang se font
à travers la paroi des alvéoles pulmonaires.

Les voies respiratoires ont un rôle de conduction
mais aussi d'épuration (poussières, bactéries),
de réchauffement et d'humidification.

En plus : phonation.

Nez

L'air pénètre par les narines.

Il parcourt les cavités nasales, séparées par le septum nasal.

Elles sont tapissées par la muqueuse nasale.

La partie supérieure de la muqueuse,
juste sous l'ethmoïde, comporte les récepteurs olfactifs.

Le reste de la muqueuse est très vascularisée,
ce qui permet le réchauffement de l'air et...

les saignements de nez.

Les glandes de la muqueuse sécrètent
un mucus collant
qui emprisonne les poussières en suspension.

L'épithélium de la muqueuse est cilié.

Le battement des cils déplace le mucus vers la gorge
où il est avalé.

Lorsqu'il fait froid, l'action des cils se ralentit,
le mucus s'accumule et coule vers l'avant :
c'est la « goutte au nez »

Les parois médiales des cavités nasales
sont accidentées par des apophyses osseuses :
les cornets qui accroissent la surface de la muqueuse,
et modifient l'écoulement de l'air qui devient turbulent,
favorisant le réchauffement
et le piégeage des poussières par le mucus.

La bouche peut participer en cas de besoin
(nez bouché ou débit d'air élevé)
mais l'épuration est moins bonne.

La cavité nasale et la cavité orale sont séparées par le palais.
Le palais est osseux en avant, mou en arrière (palais mou).

Les cavités nasales sont entourées
des sinus de la face,
cavités creusées dans les os de la face.

Les sinus allègent les os,
communiquent avec les cavités nasales,
font caisse de résonance pour l'émission des sons, sécrètent du mucus.

Les conduits lacrymonasaux (Cf. œil)
débouchent dans les fosses nasales.

Le pharynx

= gorge = structure creuse entourée de nombreux muscles.

Carrefour entre le passage de l'air et celui des aliments.

Il communique avec les cavités nasales par une fente :
les choanes.

Trois étages : nasopharynx, oropharynx, laryngopharynx.

La trompe auditive (Cf. oreille) fait communiquer
l'oreille moyenne et le nasopharynx
(les pharyngites, infections du pharynx
évoluent parfois en otites (infections de l'oreille moyenne)).

Les amygdales sont des amas de tissu lymphatiques.

N.B. Le radical adén(o) renvoie tantôt à glande,
tantôt au tissu lymphatique.

L'amygdale pharyngienne
(appelée végétations, pour végétations adénoïdes)

est située dans la partie supérieure du pharynx,
près de l'orifice interne de la trompe auditive.

Les amygdales palatines
(appelées amygdales tout court) sont dans l'oropharynx, de chaque
côté du palais mou.

Les amygdales participent au fonctionnement
du système immunitaire. Cf. UE ultérieure

Larynx

Au-dessous du pharynx,
il achemine l'air vers les voies respiratoires inférieures.
Il participe à la phonation.
C'est un conduit formé de
 plusieurs pièces cartilagineuses rigides
 et d'un cartilage élastique, l'épiglotte.
Ces cartilages sont reliés par des muscles et des ligaments

Le plus gros cartilage est le cartilage thyroïde.
Il présente une saillie antérieure, la pomme d'Adam.
L'épiglotte protège l'ouverture supérieure du larynx.
Au cours de la déglutition,
 le larynx s'élève et l'épiglotte s'incline en arrière.
 Elle dirige les aliments vers l'œsophage.
Si une substance autre que l'air pénètre dans le larynx,
 un réflexe de toux se déclenche.
La muqueuse du larynx forme latéralement des replis,
 les cordes vocales.
L'air expiré fait vibrer les cordes vocales,
 provoquant des sons.
La glotte est l'ouverture entre les cordes vocales.

La trachée.

Elle fait suite au larynx.
C'est un tube semi-rigide
de 10 à 12 cm qui va jusqu'au milieu du thorax.
Elle est formée par des anneaux de cartilage
 en forme de fer à cheval,
 fermés en arrière par des fibres musculaires lisses.
Elle est située en avant de l'œsophage.
Elle s'aplatit lorsque les aliments passent dans l'œsophage.
La trachée est tapissée
 d'une muqueuse dont l'épithélium est cilié.
Le battement des cils propulse le mucus
 (éventuellement chargé de poussières)
 vers le pharynx où il est dégluti.
Le tabac altère le mouvement des cils.

L'arbre bronchique

La trachée se divise en deux bronches principales,
 droite et gauche (= bronches souches).
Elles cheminent obliquement et s'enfoncent
 chacune dans un poumon, dans un endroit nommé le hile.
La bronche droite est plus large et plus verticale
 que la gauche :
 les corps étrangers se logent généralement à droite.

L'air qui atteint les bronches est réchauffé, épuré et humidifié (saturé de vapeur d'eau).

Les bronches se divisent en ramifications de plus en plus petites pour donner les bronchioles qui mènent aux alvéoles pulmonaires (alvéole, n.m. ou f. = petite cavité).

L'arbre bronchique est une dénomination imagée (mais pertinente) de la trachée (le tronc) et de ses branches (bronches et bronchioles).

Fig 13.5a

Les bronches ont une structure musculo (muscle lisse) – cartilagineuse. Les bronchioles ne contiennent pas de cartilage. Les cellules musculaires lisses des bronchioles sont innervées par le système sympathique et le système parasymphatique qui peuvent faire varier le calibre des bronchioles (bronchodilatation et bronchoconstriction).

Les poumons

sont des organes volumineux qui remplissent la cavité thoracique sauf la partie centrale, le médiastin lequel contient le cœur, les bronches principales, les gros vaisseaux, l'œsophage. Apex (adj. apical) = extrémité supérieure du poumon. Base (adj. basal) = partie inférieure, reposant sur le diaphragme. Chaque poumon est divisée en lobes. Deux loges à gauche, trois lobes à droite. Chaque lobe reçoit l'air amené par une bronche lobaire, division de la bronche principale et le sang par une division de l'artère pulmonaire. L'ablation chirurgicale d'un lobe est possible. Chaque lobe est divisé en segments, puis en lobules, constitué d'alvéoles.

Chaque poumon est recouvert d'une plèvre (adj. pleural), Une plèvre est une séreuse, un sac virtuel, constituée de deux feuillets.

Fig 13.4

Les deux feuillets se poursuivent l'un par l'autre au niveau des culs-de-sacs de la plèvre. Le feuillet viscéral, dit abusivement plèvre viscérale, est accolé au poumon. Il pénètre dans les scissures.

Le feuillet pariétal, dit plèvre pariétale,
est accolé à la paroi thoracique.
Les deux feuillets glissent l'un sur l'autre.
Ils sécrètent dans l'espace pleural virtuel
une sécrétion séreuse lubrifiante qui réduit les frottements
lorsque les feuillets glissent l'un sur l'autre.
Dire que l'espace pleural (= la cavité pleurale) est virtuel,
c'est dire que les deux feuillets
ne peuvent (normalement) pas être séparés.

Les **alvéoles pulmonaires**, au nombre de 150 millions, constituent la majeure partie du volume du poumon. **Fig 13.6**
Elles sont remplies d'air.
Malgré son volume, le poumon est donc léger
(1 kilo par poumon).

Les parois des alvéoles sont constitués d'un épithélium simple, dont les cellules, les épithéliocytes alvéolaires (= « cellules alvéolaires ») sont très minces.
Les alvéoles communiquent entre elles par des pores.

Elles sont recouvertes par une trame dense de capillaires pulmonaires, limités par un endothélium vasculaire.

On appelle « membrane alvéolocapillaire » l'ensemble de l'endothélium vasculaire et de l'épithélium alvéolaire dont les membranes basales sont fusionnées.
Cette membrane est très mince et très étendue (60 m²).

L'oxygène et le gaz carbonique traversent cette « membrane alvéolocapillaire » par diffusion simple, de l'alvéole vers le sang pour l'oxygène et inversement pour le gaz carbonique.

Les alvéoles pulmonaires contiennent des macrophagocytes (= macrophages) alvéolaires. Ils circulent d'une alvéole à l'autre. Ils captent les bactéries et les particules étrangères qui auraient échappé au système d'épuration de la zone de conduction (nez, trachée, bronches).

Certains épithéliocytes fabriquent
et sécrètent le surfactant, film tensioactif
(analogue à un détergent)
dispersé sur la face interne des alvéoles.
Ce surfactant participe à l'élasticité des poumons.
Il évite que les alvéoles ne se ferment à l'expiration
et que les petites alvéoles ne se vident dans les grosses.
Il apparaît à la fin de la grossesse.

La physiologie de la respiration

13.10

Le pivot de la respiration est constitué par l'**air alvéolaire**,
c'est-à-dire l'air contenu dans les alvéoles.

Cet air est renouvelé par la **ventilation pulmonaire**,
phénomène périodique d'entrée et de sortie
d'une partie de l'air alvéolaire.

La ventilation pulmonaire est très souvent (et abusivement)
dénommée « respiration ».

Une partie de l'oxygène de l'air alvéolaire
diffuse à travers la membrane alvéolocapillaire
(= diffusion alvéolocapillaire de l'oxygène)
et passe dans les capillaires pulmonaires.

L'oxygène est transporté dans le sang,
par la circulation, jusqu'aux capillaires systémiques
(= tous les autres capillaires que les capillaires pulmonaires).
Il diffuse alors vers toutes les cellules.
Il pénètre dans les mitochondries
et est utilisé dans les réactions chimiques cellulaires
qui permettent la formation d'ATP (Cf. Chimie).

Le gaz carbonique, libéré par ces réactions chimiques,
diffuse dans les capillaires systémiques,
est transporté par la circulation
jusqu'aux capillaires pulmonaires d'où il diffuse
vers les alvéoles pulmonaires.
Il est rejeté dans l'air ambiant par la ventilation.

La ventilation.

La ventilation est un processus mécanique,
dû aux contractions de muscles ventilatoires, muscles striés.

L'inspiration

Le diaphragme, muscle inspiratoire majeur,
muscle squelettique strié,
en forme de coupole à concavité inférieure,
séparant la cavité thoracique de la cavité abdominale,
se contracte.

La coupole s'abaisse et s'aplatit.

La hauteur de la cavité thoracique augmente.

La contraction des muscles inspiratoires accessoires
dont les muscles intercostaux externes,
augmente la largeur
et la profondeur de la cavité thoracique.

Comme les poumons sont solidaires, de la paroi thoracique,
(par l'intermédiaire des plèvres),

l'augmentation du volume de la cavité thoracique entraîne
une augmentation du volume des alvéoles pulmonaires.

Donc la pression de l'air dans les alvéoles diminue.

Elle devient inférieure à la pression atmosphérique.

L'air entre donc par les voies aériennes

jusqu'à ce que la pression dans les alvéoles
soit égale à la pression atmosphérique.
C'est l'inspiration. 13.8

L'expiration

Au repos, c'est un phénomène passif.
Quand les muscles inspiratoires se relâchent
et retrouvent leur longueur initiale,
le volume de la cavité thoracique diminue,
donc celui des alvéoles pulmonaires diminue,
la pression dans les alvéoles augmente,
devient supérieure à la pression atmosphérique.
L'air sort.
C'est l'expiration.

Lorsque l'expiration est gênée
par une obstruction partielle des voies aériennes,
ou lorsque de grands volumes d'air
doivent être expirés rapidement
(au cours de l'exercice physique),
des muscles expiratoires interviennent activement
(surtout les muscles abdominaux
qui font remonter activement le diaphragme).

Les volumes et les capacités ventilatoires

13.9

Chez l'adulte au repos,
au cours d'une ventilation normale,
un volume d'environ 500 ml d'air (dit « volume courant »)
est inspiré puis expiré.
A la fin d'une expiration normale,
les poumons ne sont pas vides !
Ils contiennent environ 2400 ml d'air alvéolaire
à partir duquel s'effectuent les échanges alvéolocapillaires,
tant pendant l'inspiration que pendant l'expiration.
Le volume courant ne renouvelle donc
qu'une partie de l'air alvéolaire.
A la fin d'une expiration normale,
il est possible par une expiration forcée supplémentaire
d'expirer un volume d'air supplémentaire,
le volume de réserve expiratoire.
Il reste alors dans les poumons 1200 ml (environ) d'air,
le volume résiduel, qu'on ne peut pas faire sortir.
A la fin d'une inspiration normale,
on peut par une inspiration forcée supplémentaire
inspirer un volume de réserve inspiratoire.
Le volume d'air maximum
que l'on peut déplacer par un seul mouvement ventilatoire

entre le niveau d'expiration forcée
jusqu'au niveau d'inspiration forcée
ou inversement

est la capacité vitale (CV).

Elle est la somme du volume courant,
du volume de réserve expiratoire
et du volume de réserve inspiratoire, soit 4800 ml.

Le volume d'air maximum que les poumons peuvent contenir
est la capacité pulmonaire totale.

Elle est la somme de la CV et du volume résiduel.

Tous ces différents volumes peuvent être mesurés par des EFR
(explorations fonctionnelles respiratoires).

Une partie de l'air inspiré remplit les voies aériennes
et ne renouvelle pas l'air alvéolaire.

C'est l'espace mort anatomique. Il vaut 150 ml.

Au cours de la ventilation,
on peut, avec un stéthoscope,
écouter (ausculter) les bruits ventilatoires.

En particulier le remplissage des alvéoles
se traduit par un bruit doux, tout juste perceptible,
le murmure vésiculaire.

Sa disparition signifie, que,
dans la zone auscultée,
les alvéoles ne se remplissent pas.

La diffusion alvéolocapillaire

Le Marieb essaye de ne pas introduire
les notions de pression partielle des gaz.
Ce choix pédagogique rend
la compréhension des phénomènes trop compliquée.
Pour une fois (la seule) on s'écarte du livre.

Dans un mélange gazeux,
chaque gaz du mélange exerce une pression
proportionnelle à son pourcentage dans le mélange.

La somme des pressions partielles
est égale à la pression totale du mélange.

(De la même façon qu'un gaz se déplace
de la zone de haute pression
vers la zone de basse pression),

si deux mélanges gazeux sont en présence l'un de l'autre, chaque gaz du mélange
se déplace

de la zone de haute pression partielle
vers la zone de basse pression partielle.

Si un récipient clos contient un mélange gazeux et un liquide,
une partie des gaz se solubilise (ils sont dissous)

dans le liquide
et exerce dans le liquide la même pression partielle
que dans le mélange gazeux.

Fig 13.10

Dans l'alvéole pulmonaire la pression partielle en oxygène (P_{O_2})
est de 100 mmHg
et la pression partielle en gaz carbonique (P_{CO_2})
est de 40 mm Hg
(le reste des 760 mm Hg est dû à l'azote et à la vapeur d'eau).
L'air inspiré contient un peu plus d' O_2 que l'air alvéolaire
et pas de CO_2
et l'air expiré contient pratiquement
autant d' O_2 et de CO_2 que l'air alvéolaire.
La P_{O_2} du sang qui revient aux poumons
par l'artère pulmonaire
et perfuse les capillaires pulmonaires
est inférieure à la P_{O_2} alvéolaire
et sa P_{CO_2} est supérieure à la P_{CO_2} alvéolaire.
L'oxygène diffuse donc de l'alvéole
vers le sang des capillaires pulmonaires.
Le CO_2 diffuse du sang capillaire vers l'alvéole.
A la sortie du capillaire, le sang est dit artérialisé.
Il contient de l' O_2 et du CO_2 sous les mêmes (à peu près)
pressions partielles que l'air alvéolaire.
Il est dirigé vers la grande circulation
(capillaires systémiques ou périphériques)
jusqu'à tous les tissus
où il cède une partie de son oxygène
et récupère du gaz carbonique.

Le transport des gaz dans le sang

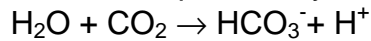
L'oxygène est transporté pour une petite part
sous forme dissoute
mais l'essentiel (98%) est combiné à l'hémoglobine (Hb),
protéine des globules rouges
sous forme d'oxyhémoglobine (HbO_2).

Dans les capillaires pulmonaires : $Hb + O_2 \rightarrow HbO_2$

Dans les capillaires systémiques : $HbO_2 \rightarrow Hb + O_2$

Le gaz carbonique est transporté pour une part
sous une forme dissoute,
pour une autre part (faible)
sous forme liée à l'hémoglobine
(sur des sites différents de ceux de l'oxygène,
donc sans concurrence),
et pour la plus grand part
sous forme d'ions bicarbonates.

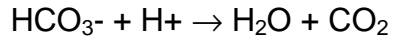
Dans les capillaires systémiques :



La formation des bicarbonates se fait très rapidement dans les globules rouges (elle est accélérée par une enzyme, l'anhydrase carbonique).

Les bicarbonates formés passent ensuite dans le plasma. Les H^+ se fixent sur l'hémoglobine.

Dans les capillaires pulmonaires :



et le CO_2 passe dans les alvéoles.

La régulation de la respiration

L'activité des muscles inspiratoires

(diaphragme et muscles intercostaux externes)

est régie par des influx nerveux

provenant de centres nerveux

situés dans le tronc cérébral.

Le centre le plus important est situé dans le bulbe

(= centre respiratoire bulbaire).

Le centre respiratoire bulbaire

émet de façon spontanée et rythmique des influx nerveux à destination des muscles inspiratoires,

d'où le nom donné par Marieb : centre respiratoire autostimulé. Analogie avec le noeud sinusal.

Les fibres nerveuses qui transmettent ces influx

empruntent le trajet des nerfs phréniques

(issus des plexus cervicaux)

et des nerfs intercostaux.

Au repos, ces influx spontanés provoquent

12 à 15 respirations par minute

(moins ou plus selon les sujets) :

c'est la fréquence respiratoire de repos

Compte tenu de l'importance du phénomène (!),

des mécanismes de contrôle existent.

Ainsi, si l'inspiration dure trop longtemps,

le poumon est davantage distendu.

Des récepteurs sensoriels situés dans la paroi des bronchioles

sont alors stimulés par cette distension

(il s'agit donc de mécanorécepteurs)

et émettent des influx sensitifs

qui empruntent le trajet du nerf vague

jusqu'aux centres bulbaires

et interrompent les influx inspiratoires,

provoquant l'expiration.

Pendant l'exercice physique,
 le cortex moteur qui émet les influx nerveux
 destinés aux muscles impliqués dans l'exercice,
 adresse simultanément des ordres aux centres bulbaires
 pour augmenter la fréquence des influx
 destinés aux muscles inspiratoires
 et aux muscles expiratoires,
 provoquant une augmentation de la ventilation
 (= « hyperpnée », de « hyper »,
 augmentation et « pnée », respiration).
 Au cours de l'hyperpnée,
 la fréquence ventilatoire augmente
 et l'amplitude de la ventilation (volume courant) également.
 N.B. « Apnée » (De « a », sans et « pnée »),
 est l'arrêt de la ventilation.

Le niveau de la ventilation
 s'adapte spontanément aux besoins de l'organisme.
 La régulation est assurée par des chimiorécepteurs,
 c'est-à-dire des récepteurs sensoriels
 sensibles aux variations chimiques.

Des chimiorécepteurs situés dans le bulbe rachidien
 (donc à proximité immédiate
 des centres respiratoires bulbaires)
 sont sensibles aux variations
 de la pression partielle en CO₂ dissous du sang artériel
 et aux variations de pH du sang artériel.
 Toute augmentation de la concentration de CO₂ dans le sang,
 toute diminution du pH sanguin,
 (= augmentation de la concentration en H⁺)
 stimulent la ventilation.

Cette augmentation de la ventilation
 conduit à rejeter davantage de CO₂
 donc à faire baisser la concentration de CO₂
 dans le sang artériel
 et à rétablir le pH
 puisque les deux facteurs sont liés :

$$\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{HCO}_2^- + \text{H}^+$$
 (si la concentration de CO₂ augmente,
 la concentration en H⁺ augmente,
 donc le pH diminue.
 et inversement.)

D'autres chimiorécepteurs situés
 dans la crosse de l'aorte
 et dans les artères carotides
 sont sensibles aux variations de la pression partielle en oxygène) dans le sang
 artériel.

Une diminution importante de la de la pression partielle en oxygène (par exemple en haute altitude) stimule ces chimiorécepteurs.

Ils adressent des influx sensitifs aux centres bulbaires qui réagissent en augmentant la fréquence et l'amplitude de la ventilation, ce qui augmente la pression partielle en oxygène dans le sang.

L'hyperpnée (= hyperventilation) ou l'apnée volontaires ne peuvent être maintenues plus de quelques minutes en raison de l'intensité de ces phénomènes régulateurs.

En apnée, la pression partielle en O₂ dans le sang diminue, la pression partielle en CO₂ s'élève, le pH baisse (acidose).

La stimulation des centres bulbaires provoque la reprise de la ventilation (malgré la volonté). Inversement en hyperventilation...

Le développement et le vieillissement du système respiratoire.

Les poumons du fœtus sont remplis de liquide. Les échanges respiratoires s'effectuent à travers le placenta.

A la naissance, les voies respiratoires se vident de leur liquide et se remplissent d'air.

Les poumons se gonflent.

Les échanges respiratoires s'établissent.

Leur efficacité nécessite la présence de surfactant, une substance lipidique qui tapisse la face interne des alvéoles. C'est un film tensioactif (analogie avec un détergent)

qui évite que les alvéoles ne s'affaissent totalement à l'expiration.

Dans ce cas, les échanges alvéolocapillaires s'interrompraient pendant l'expiration.

Le surfactant est fabriqué à la fin de la vie fœtale.

Il peut faire défaut chez certains prématurés qui développent à la naissance une détresse respiratoire, nécessitant une ventilation assistée.

Le poumon continue de se développer après la naissance, jusqu'à l'âge adulte (formation de nouvelles alvéoles).

La fréquence respiratoire est élevée supérieure à 40 chez le nouveau-né, autour de 30 chez le nourrisson.

Elle diminue pour s'établir autour de 15 chez l'adulte.

Chez la personne âgée, la paroi thoracique devient plus rigide, les poumons moins élastiques.

La capacité vitale diminue.

La sensibilité des chimiorécepteurs diminue,

pouvant expliquer la fréquence des apnées pendant le sommeil.

L'activité des cils des muqueuses des voies aériennes s'altère.

Les macrophagocytes pulmonaires s'affaiblissent.

Les infections pulmonaires sont plus fréquentes.