



Tutorat 2023-2024



FORMATION EN SOINS INFIRMIERS

PREFMS CHU DE TOULOUSE

Rédaction 2022-2023

UECP 20

Anatomie et physiologie cardio-
vasculaire et respiratoire

Physiologie de l'appareil respiratoire

Partie I

Ce cours vous est proposé bénévolement par le Tutorat Les Nuits Blanches qui en est sa propriété. Il n'a bénéficié d'aucune relecture par l'équipe pédagogique de la Licence Sciences pour la Santé ni de l'IFSI. Il est ainsi un outil supplémentaire, qui ne se substitue pas aux contenus diffusés par la faculté et l'institut en soins infirmiers.

Rédigé par Sourd Dorian à partir du cours de J.MOURLANETTE présenté le 27/02/2023.

Physiologie de l'appareil respiratoire partie I

I. Définitions

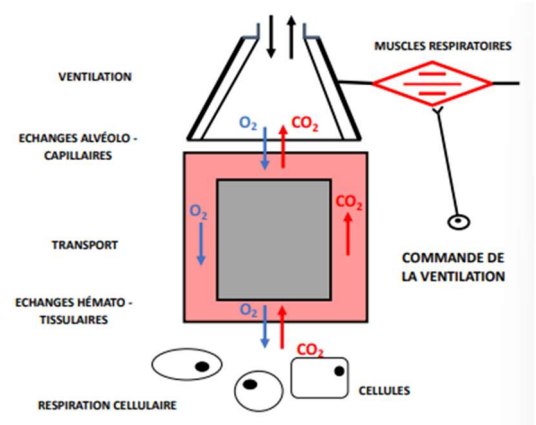
La respiration est le mécanisme permettant aux cellules de l'organisme de recevoir de l'oxygène (O_2), et d'éliminer le dioxyde de carbone (CO_2). La respiration est composée de la ventilation (échanges alvéolo-capillaires) assurée par le système thoraco-pulmonaire, et du transport (échanges hémato-tissulaires) assuré par le système cardio-vasculaire. Dans la chronologie on a donc ventilation puis transport puis respiration cellulaire.

La respiration cellulaire est le moyen de créer de l'énergie grâce à de l' O_2 et des nutriments. Elle est assurée par la mitochondrie qui grâce au cycle de Krebs qui transforme l' O_2 et les nutriments en énergie (ATP) et déchets (CO_2).

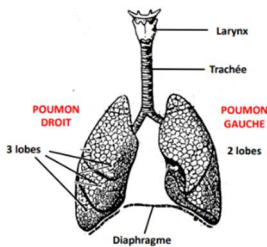
Il y a 2 milieux d'échanges gazeux : Le milieu pulmonaire (échange air-sang) et le milieu cellulaire (échanges sang-tissu)

Les échanges pulmonaires dépendent de 3 paramètres :

- La ventilation (transport du gaz jusqu'à l'alvéole)
- La diffusion alvéolo-capillaire (phénomènes de pression)
- Le contrôle de la ventilation (muscles respiratoires)



II. Rappels anatomiques (voir cours anatomie respiratoire)



Les voies aériennes supérieures (fosse nasale, pharynx, larynx) s'arrêtent à la trachée. Les voies aériennes inférieures vont de la trachée jusqu'aux alvéoles (trachée, poumons). Le diaphragme est le muscle le plus important de la respiration.

Le poumon est divisé en 2 : Le poumon droit a 3 lobes (supérieur, moyen et inférieur) et le poumon gauche a 2 lobes (supérieur et inférieur).

III. Rôle des voies aériennes supérieures

Les voies aériennes supérieures conduisent l'air depuis la cavité nasale vers la trachée via le pharynx et le larynx. Elles servent à humidifier l'air, le réchauffer et le filtrer.

La cavité nasale est un épithélium cilié avec un mucus (rôle de filtration). La muqueuse nasale est la plus fine de l'organisme et il y a une vascularisation riche. La cavité nasale est aussi constituée de cornets divisant les fosses nasales en plusieurs sillons et méats permettant d'avoir un flux d'air turbulent améliorant le contact avec la muqueuse et donc la meilleure humidification, filtration et réchauffement (vaisseaux sanguins).

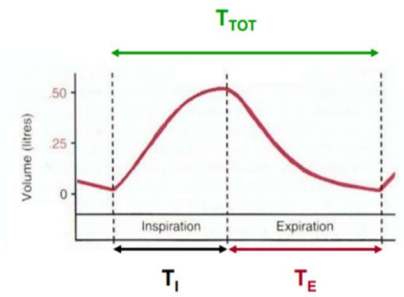
Le pharynx est un carrefour aéro-digestif et il met en jeu des muscles dilateurs à l'inspiration. Ces muscles sont à l'origine de l'apnée obstructive du sommeil qui est un collapsus musculo-pharyngé.

Le larynx est une structure cartilagineuse rigide et élastique pouvant se déformer permettant d'absorber les chocs. L'épiglotte est une partie du larynx qui sert à la protection des voies aériennes lors de la déglutition. La phonation est permise grâce à la vibration des cordes vocales dans le larynx.

IV. Ventilation

C'est le déplacement d'air dans les voies aériennes dû aux mouvements ventilatoires. Il y a un renouvellement constant de l'air contenu dans les alvéoles pulmonaires. C'est un phénomène périodique (reproduction régulière à l'identique) et alternatif avec un phénomène actif d'inspiration et passif d'expiration. Le cycle ventilatoire ne comprend pas des phases identiques : 1/3 inspiration et 2/3 expiration.

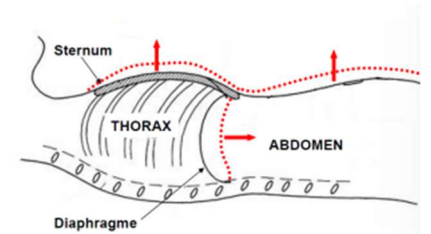
- T_{TOT} = durée totale d'un cycle ventilatoire
- T_I = durée de l'inspiration
- T_E = durée de l'expiration
- Le volume courant représente une ventilation normale et est égal à 500mL.
- La fréquence respiratoire est le nombre de cycle inspiration/expiration par minute et fait 12-16 cycles/min.
- Le volume minute = $FR \times VT = 6 \text{ à } 8L/min$



a. Principes

1) Inspiration et expiration calme de repos

Lors de l'inspiration calme de repos, il y a une augmentation de l'ensemble des dimensions du thorax et un déplacement antérieur de la paroi abdominale (liée au refoulement des viscères abdominaux par la course du diaphragme).



Lors de l'expiration calme de repos, on a un retour passif à la position initiale.

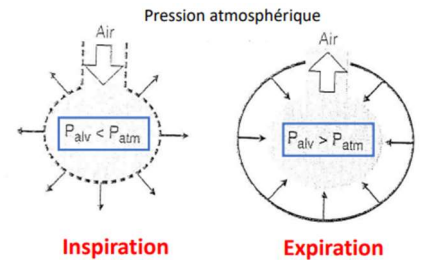
	↑	↓
FREQUENCE RESPIRATOIRE	Tachypnée	Bradypnée
VENTILATION MINUTE	Polypnée	

2) Pression

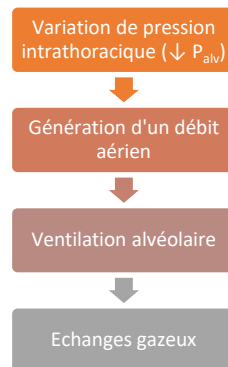
Le mouvement d'air d'une zone de haute pression vers une zone de basse pression forme un gradient de pression. 2 compartiments sont en jeu :

- Compartiment atmosphérique qui donne une pression atmosphérique P_{atm}
- Compartiment alvéolaire qui donne une pression alvéolaire P_{alv}

A l'inspiration, le but des muscles respiratoires est de créer une dépression dans la cage thoracique qui fait baisser la pression alvéolaire. Quand la pression alvéolaire diminue et passe en dessous de la pression atmosphérique, un gradient de pression se crée et l'air arrive jusqu'aux alvéoles. Lorsque la pression alvéolaire devient supérieure à la pression atmosphérique, un gradient de pression se forme et l'air est conduit de manière passive vers le milieu extérieur.

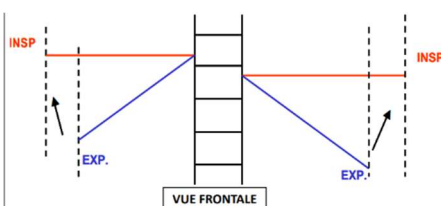


Au repos, $P_{atm} = P_{buccale} = P_{alv}$. On a donc une absence de débit d'air dans l'arbre bronchique. Si on reprend donc par un schéma général :

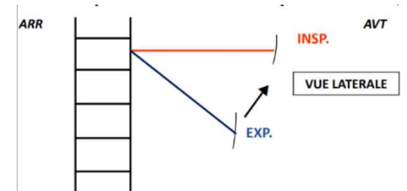


b. Ampliation thoracique

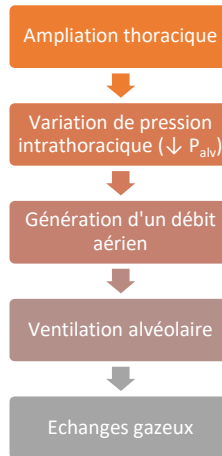
Le phénomène d'ampliation thoracique correspond à l'augmentation du volume de la cage thoracique dans les 3 dimensions lors de l'inspiration. Il est possible grâce à l'anatomie des côtes : elles sont concaves en dedans et oblique en bas et en avant. Cette conformation



spatiale vers une horizontalisation des côtes lors de l'inspiration permet l'augmentation d'avant en arrière et de haut en bas du volume, et la conformation spatiale vers une latéralisation des côtes permet une augmentation du volume de gauche à droite de la cavité thoracique. On a donc bien 3 dimensions. Tout mouvement d'élévation des côtes va projeter en avant l'extrémité antérieure et en dehors la convexité latérale.



On peut donc modifier notre schéma général :



c. Muscles respiratoires

Muscles inspiratoires :

- Diaphragme
 - o Muscle principal
 - o Résistant à la fatigue
 - o Métabolisme aérobie +++
- Intercostaux externes
 - o Stabilisation de la cage thoracique
- Muscles accessoires
 - o Sterno-cléido-mastoiïdien
 - o Scalènes
 - o Ect

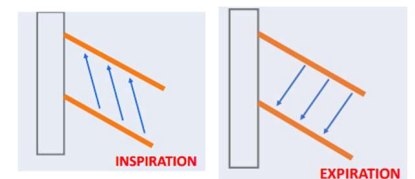
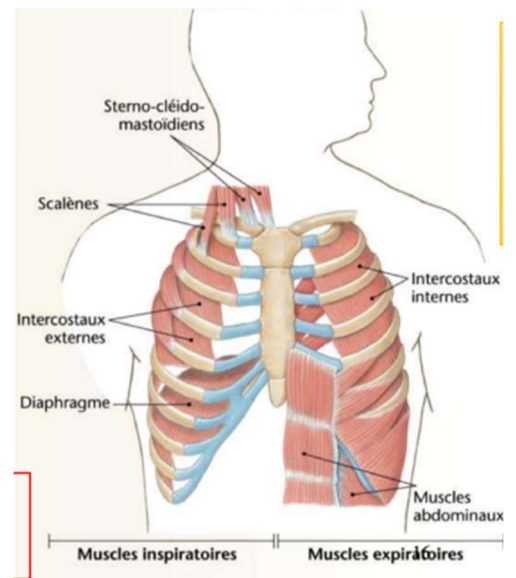
Les muscles accessoires sont recrutés en cas de difficulté respiratoire (détresse respiratoire aigue) : tirage intercostal, poulis inspiratoire...

Muscles expiratoires :

- Grands droits abdominaux
- Intercostaux internes

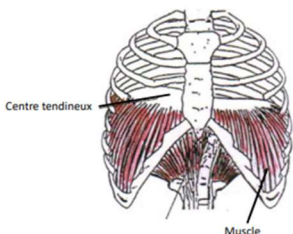
Ils sont recrutés si ↑FR ou ↑VT. En cas d'obstruction bronchique sévère, il y a présence d'une expiration abdominale active.

Les muscles intercostaux externes servent à l'inspiration et les muscles intercostaux internes à l'expiration en raison de la position des centres tendineux (en bas pour les internes et en haut pour les externes).

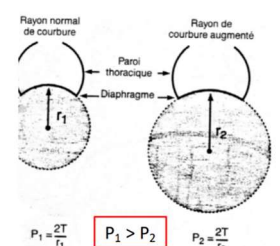


C'est un muscle squelettique entourant un centre tendineux. Il a une forme de voûte concave vers le bas et il forme la séparation entre le thorax et l'abdomen.

Lors de la contraction du diaphragme, il y a un raccourcissement des fibres musculaires, une élévation des côtes et un abaissement du centre tendineux et donc un abaissement des viscères thoraciques puisque les viscères thoraciques sont accolées au diaphragme.

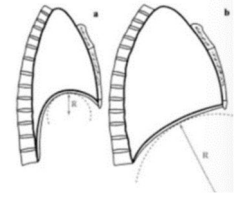


2) Relation tension-longueur



Cette relation nous dit que la force générée par un muscle dépend de sa longueur au repos (notion de postcharge cours physio cardiaque). Le diaphragme est un muscle qui peut s'étirer jusqu'à 130% pour pouvoir développer une force maximale, contrairement à 100% pour la plupart des muscles striés squelettiques.

La loi de Laplace met en relation pression, rayon de courbure et tension musculaire. Si le rayon de courbure du muscle augmente, alors la même tension devra être délivrée sur une surface plus grande et donc la pression est moindre. C'est ce qui arrive lors d'une distension thoracique (=emphysème) : il y a plus d'air dans la cage thoracique, le diaphragme et les intercostaux sont étirés et ils doivent délivrer plus de tension pour réaliser une contraction efficace.

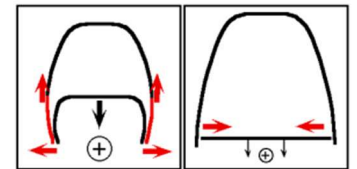


Loi de LaPlace

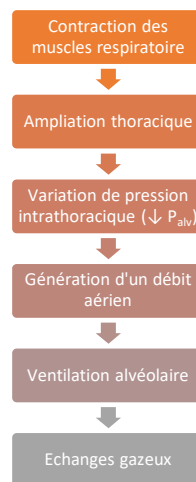
$$P = \frac{2T}{r}$$
 P : pression
 T : tension musculaire
 R : rayon de courbure

Le signe de Hoover est la conséquence de l'anomalie conformationnelle du diaphragme. Il y a une perte de la zone d'apposition du diaphragme et une diminution du diamètre transversal de la partie basse du thorax à l'inspiration.

Une action coordonnée des muscles inspiratoire permet une ampliation thoracique optimale, c'est-à-dire dans les 3 dimensions. Si le diaphragme fonctionne seul, il tirerait la partie supérieures du grill costal vers le bas. Les intercostaux externes en se contractant dirigent les côtes vers le haut, ce qui permet de pallier à ce problème.



Si on reprend notre schéma :



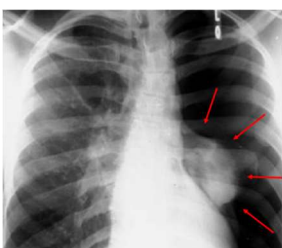
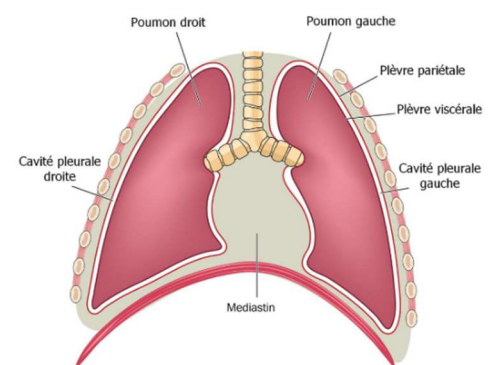
d. La solidarité thoraco-pulmonaire

Cette solidarité thoraco-pulmonaire est assurée par le plèvre qui est la membrane délimitant une cavité virtuelle entre les poumons et la cage thoracique. Elle est composée de 2 feuillets :

- Pariétal (accolé à la paroi thoracique)
- Viscéral (accolé au poumon)

La couche liquidienne mono-moléculaire permet le glissement du poumon sur la paroi thoracique.

La pression intra-pleurale est infra atmosphérique car elle est de -2 à -5cmH₂O à l'équilibre. L'éléphant est le seul mammifère à ne pas avoir de plèvre, ce qui lui permet de ne pas avoir de décollement de la plèvre lorsqu'il va dans l'eau et qu'il fait sortir sa trompe pour respirer.

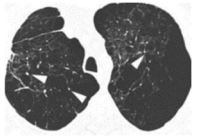


Lors d'un pneumothorax, il y a de l'air dans la cavité pleurale entraînant un décollement du feuillet viscéral et pariétal. Ce décollement cause une désolidarisation du thorax et du poumon à cause de la rétraction de celui-ci au niveau du hile pulmonaire comme sur la radio ci-contre.

e. La compliance pulmonaire

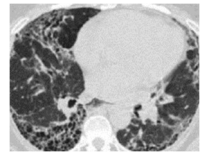
C'est la capacité du poumon à se déformer lorsqu'il y a une variation de pression.

$$C = \frac{\Delta V}{\Delta P}$$

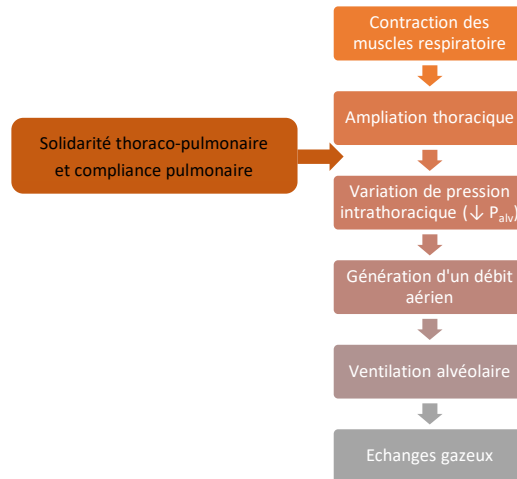


Lors d'un emphysème, il y a une destruction du tissu pulmonaire et l'air entre plus facilement que ce qu'il ne sort. Les poumons se distendent progressivement et il y a un plus grand volume pour une faible pression, donc une trop grande compliance pulmonaire.

Lors d'une fibrose, il y a un excès de tissu conjonctif (cicatrice secondaire à une agression du poumon) qui se laisse moins bien déformer que le tissu pulmonaire et qui ne participe pas aux échanges alvéolaires. On a donc une augmentation de la pression associée à une diminution du volume pulmonaire et donc une moins bonne compliance pulmonaire.



Reprenons le schéma :



V. Ecoulement de l'air dans les bronches

a. L'arbre bronchique

C'est la structure véhiculant l'air inspiré et expiré entre le larynx et les alvéoles pulmonaire. Ce sont des « tubes » branchés en séries et il y a une division de 2 en 2.

Trachée → bronche souche (D et G) → bronches lobaires → bronches segmentaires → bronches sous segmentaires

ZONE DE CONDUCTION	TRACHÉE	G
		0
		1
	BR	2
	BL	3
	BLT	4
		↓
ZONE TRANSITIONNELLE et RESPIRATOIRE		17
	BLR	18
		19
		20
	CA	21
		22
	SA	23

Plus on se rapproche de la distalité, moins il y a de cartilages et plus il y a de muscles pulmonaires et la contraction anormale de ces muscles lisses bronchiques (en raison d'une inflammation) donne une crise d'asthme.

L'arbre bronchique comporte 23 divisions. De la première division à la 17^e division il y a la zone de conduction qui a pour rôle de conduire l'air jusqu'à la zone transitionnelle. C'est un « espace mort anatomique », c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'échanges gazeux qui s'effectuent.

A parti de la 17^e division, on entre dans la zone d'échange où il y a l'apparition des premières alvéoles pulmonaire et des capillaires. Plus on se rapproche de la distalité, plus il y a d'alvéoles.

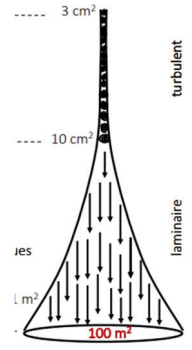
Plus on avance dans les divisions, et plus les surfaces d'échange sont grande. On peut représenter ça sous la forme d'une cône où la partie étroite représente la trachée et la partie large représente les dernières divisions. A partir de la dixième division (à 10cm² d'échanges), on passe d'un flux turbulent à un flux laminaire.

L'augmentation de la surface d'échange se fait sous forme exponentielle.

b. Résistance des voies aériennes

La répartition des résistances à l'écoulement de l'air dans les voies aériennes n'est pas la même en fonction de la partie où l'on se trouve :

- Sphère ORL = 50 % (objectif = laisser l'air le plus possible en contact pour le réchauffer, l'humidifier...)
- Grosses bronches = 40 %
- Petites bronches = 10 % (> G7)

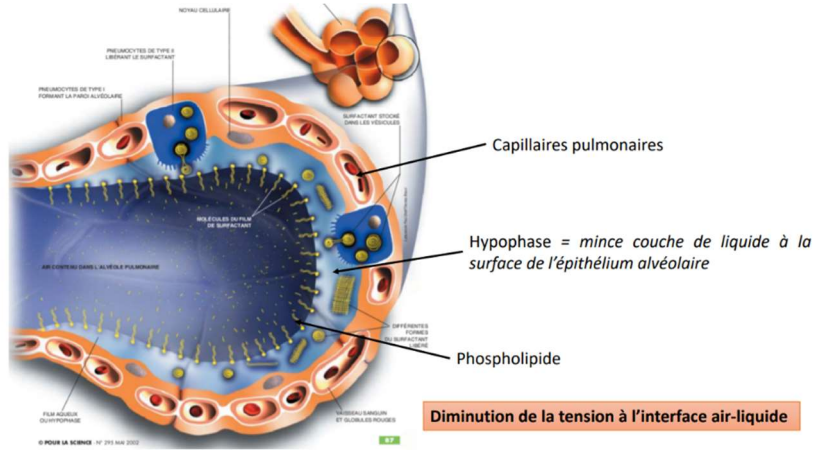


Le flux laminaire est le mode d'écoulement d'un fluide où l'ensemble du fluide s'écoule plus ou moins dans la même direction. A l'opposé du flux turbulent.

c. Les alvéoles

Ce sont les unités fonctionnelles du poumon qui permettent les échanges gazeux alvéolo-capillaire. Elles sont au nombre de 300 millions et ont une surface entre 70 à 100 cm².

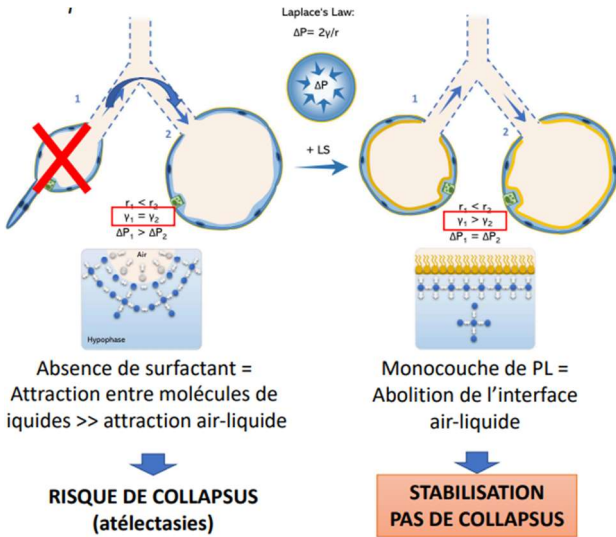
L'hypophase est une mince couche de liquide à la surface interne de l'épithélium alvéolaire. Les alvéoles sont aussi tapissées de surfactant qui est un matériel moléculaire complexe composé de 90% de lipides (principalement de phospholipides) et 10% de protéines. Les phospholipides sont composés d'une tête protéique hydrophile et d'une queue lipidique hydrophobe.



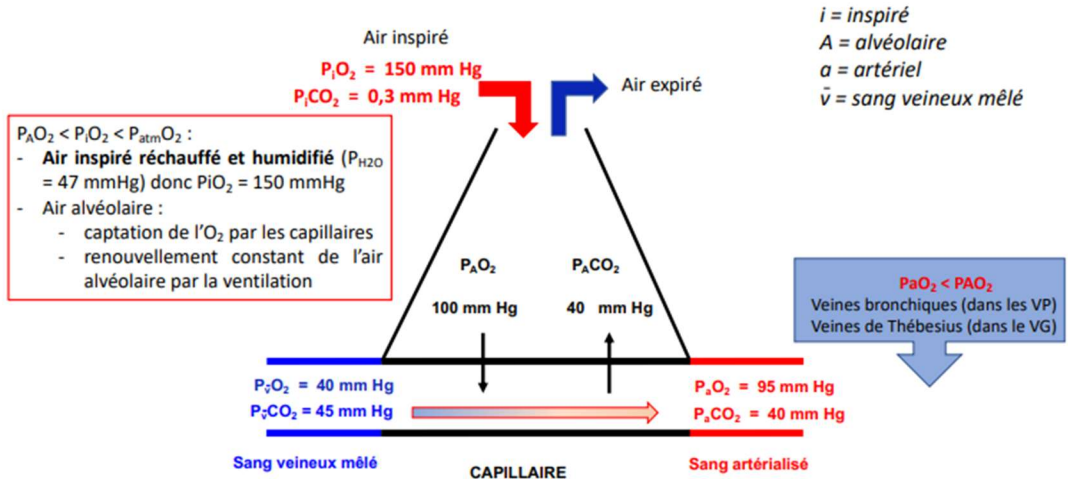
Les alvéoles ne sont pas toutes de la même taille. Sans surfactant, l'air va créer des « bulles de savon » au contact de l'hypophase. Ceci a pour cause d'augmenter la pression dans les alvéoles de petite taille (Loi de Laplace) et un gradient de pression se crée amenant l'air des petites alvéoles vers les grandes. La compliance pulmonaire est très faible.

Avec surfactant, il n'y a pas de contact entre l'air et l'hypophase et donc il n'y a pas d'effet « bulles de savon ». Il n'y a pas de gradient de pression qui se crée entre les alvéoles et l'air reste au contact du surfactant. La compliance pulmonaire reste normale.

Chez les prématurés, il n'y a pas de surfactant et il y a un risque de détresse respiratoire. On amène donc du surfactant de manière exogène.



VI. Rapport ventilation perfusion



La forme de cône représente une alvéole et le rectangle horizontal un capillaire. La pression en O₂ inspirée est de 150mmHg et la pression en CO₂ inspirée est de 0,3mmHg. Au niveau alvéolaire, la pression en O₂ n'est plus que de 100mmHg. Les mouvements d'air vont de la plus forte pression vers la plus basse. Le sang veineux arrivant au niveau de l'alvéole est pauvre en dioxygène avec P_vO₂ = 40 mmHg et riche en dioxyde de carbone avec P_vCO₂ = 45mmHg. Au contact de l'alvéole, le sang veineux s'enrichit de dioxygène avec P_aO₂ = 95mmHg et se vide de dioxyde de carbone avec P_aCO₂ = 40mmHg.

Chaque unité alvéolo-capillaire est une unité d'échange agissant différemment des autres. Il y a une inhomogénéité de répartition de la ventilation et de la perfusion.