

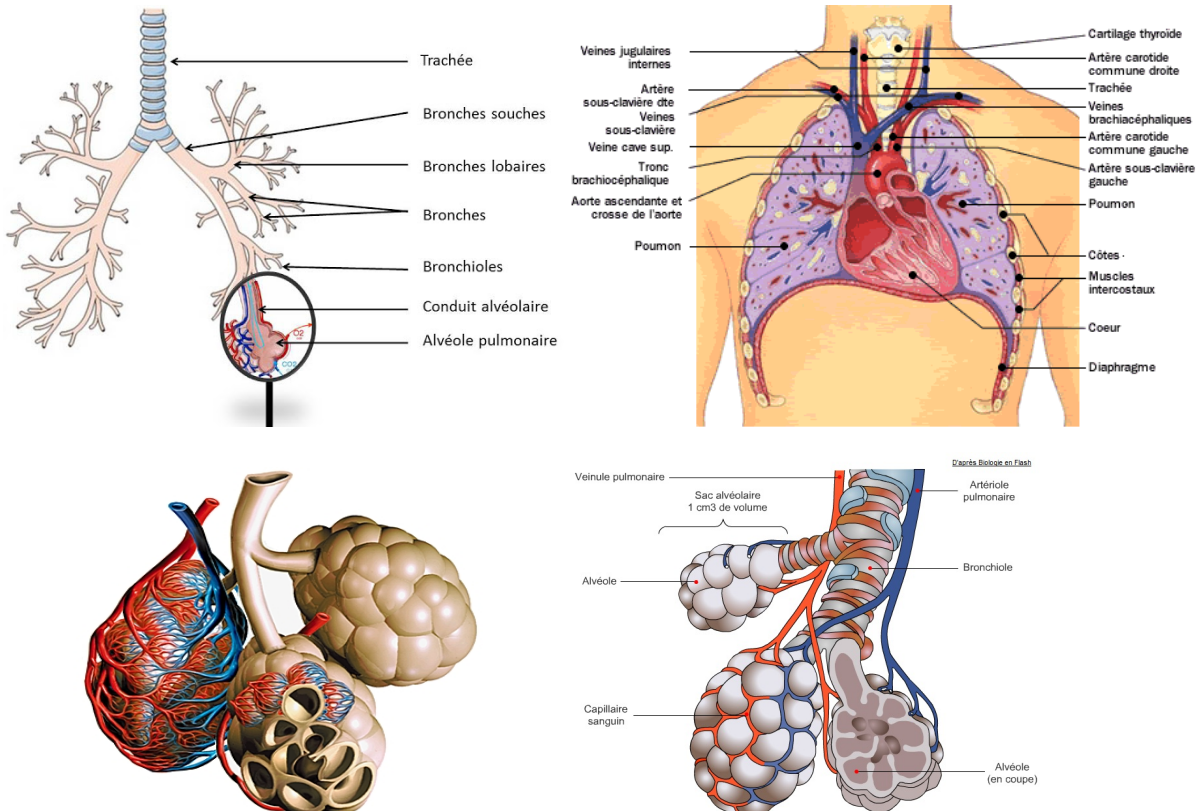
Cours-TD 2 – Le tensioactif dans les poumons

Tensioactifs. Pourquoi il faut ajouter du savon pour faire des bulles ?

Lecture conseillée : <https://openclassrooms.com/forum/sujet/diminution-tension-superficielle>

Anatomie des poumons

Lecture conseillée : <http://tout-sur-l-asthme.blogspot.fr/p/fonctionnement-normal-des-voies.html>



Ordres de grandeur

Alvéoles pulmonaires :

rayon ~ 0.05 à 0.1 mm ;

nombre : $\sim 10^8$;

surface totale : ~ 100 m² (pour comparaison, celle de la peau est d'environ 2m²) ;

tapissés de capillaires, disposés tous les 20 μ m environ.

Le volume inspiré n'est que 10% du volume total des poumons : la surface des alvéoles ne varie que de 7 m² environ à chaque respiration.

La paroi interne est recouverte d'un film liquide mince (« à base » d'eau) d'épaisseur ~ 0.5 μ m.

Et la tension de surface dans les poumons ?

Puisque la paroi interne est recouverte d'un film liquide mince, cela donne lieu à une tension de surface σ air/liquide.

En supposant que les alvéoles soient sphériques, avec r = rayon des alvéoles, cette tension superficielle se traduit par une surpression à l'intérieur des alvéoles donnée par la loi de Laplace :

$$\Delta P = 2\sigma/r$$

La loi de Laplace nous dit que cette différence de pression est d'autant plus grande que le rayon est petit.

Quel est l'ordre de grandeur de cette surpression ?

Exercice :

1. Calculer la surpression dans des bulles de rayon $r = 1 \text{ mm}$ (une petite bulle dans l'eau) puis une alvéole de rayon 0.1 mm , **en supposant que le liquide soit de l'eau** : $\sigma = 0.07 \text{ N/m}$ (à 37°C).
2. Pour quel diamètre aurait-on une surpression de l'ordre de 1.5 atmosphères ?
3. Comparer la surpression trouvée pour le diamètre des alvéoles à la pression d'une masse M posée sur notre poitrine, dont la surface peut être estimée à environ 0.1 m^2 ($33 \text{ cm} \times 33 \text{ cm}$) : quelle serait la valeur de M ?

A retenir : la relation de Laplace $\Delta P = 2\sigma/r$ fait que plus r est petit, plus la pression est grande. La surpression est particulièrement importante pour les bulles de très petite dimension.

Pour les poumons, si le liquide qui les recouvre était de l'eau pure, on aurait une surpression due à la tension de surface qui correspondrait à une masse de plusieurs kilogrammes.

Peut-on mesurer la tension de surface dans les poumons est en vrai ? Comparaison.

Difficile d'étudier le rôle du surfactant car pas de mesures possibles in vivo. En revanche, on peut étudier des poumons après autopsie et étudier la pression qu'il est nécessaire d'exercer pour obtenir un volume donné : pratiquement, on gonfle les poumons comme des ballons dans des conditions contrôlées.

On trouve la **courbe A** en figure :

Ensuite, on peut refaire l'expérience en remplissant les poumons non pas d'air mais de liquide, et on trouve donc la **courbe B** :

Question :

Qu'est-ce qui permet d'expliquer la différence entre les deux courbes ? Quelle contribution à la pression disparaît si on remplit le poumon de liquide et pas d'air ?

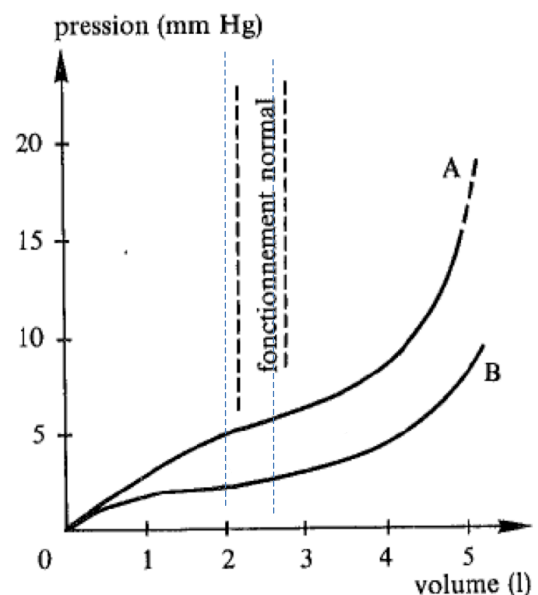
Quelle pourrait être, en revanche, l'autre contribution, celle qui reste lorsqu'on remplit avec du liquide ?

Question :

Evaluer la contribution relative des deux effets dans la gamme de volumes correspondant à un fonctionnement normal.

Question :

Estimer la surpression dans les poumons due à la tension de surface en conditions normales. Comparer à la valeur trouvée précédemment en supposant que le liquide qui revêt les poumons soit de l'eau.



Que vaut approximativement le coefficient de tension superficielle σ pour le liquide qui revêt les alvéoles ?

On retient que la tension de surface joue effectivement un rôle dans l'établissement d'une surpression dans les poumons, mais aussi que la surpression associée est moindre par rapport à ce qu'on aurait avec de l'eau.

Du savon dans les poumons !?

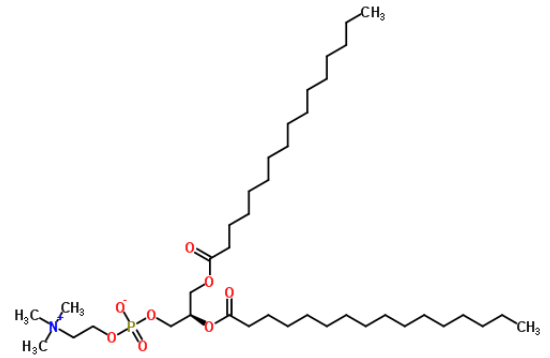
Le rôle de tensioactif est joué, dans les poumons, par le **surfactant pulmonaire** : un mélange complexe contenant entre autre un phospholipide¹, la *dipalmitoylphosphatidylcholine* (figure).

¹ « Un phospholipide est un lipide contenant un groupe acide phosphorique en tant que mono ou di-ester. Cette famille inclut notamment les acides phosphatidiques et les phosphoglycérides¹. Ce sont des lipides amphiphiles, c'est-à-dire constitués d'une « tête » polaire (hydrophile) et de deux « queues » aliphatiques (hydrophobes). »

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Phospholipide>

Le surfactant pulmonaire est fabriqué (à partir du 5^{ème} ou 6^{ème} mois de la vie embryonnaire) par les pneumocytes de type 2, des cellules de la paroi pulmonaire spécialisées, et régulé de manière complexe (hormones, système nerveux, hérédité, nutrition...)

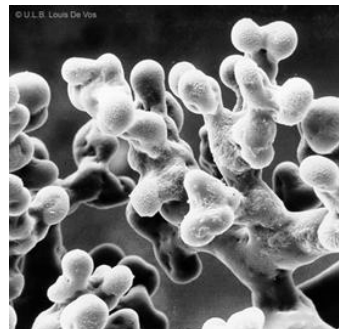
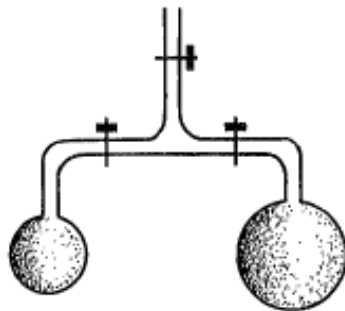
Des défauts dans la production du surfactant ou dans sa composition peuvent être graves : en l'absence de surfactant, on peut avoir un collapsus pulmonaire dont il est difficile de sortir.



Mais il y a un autre problème...

Exercice :

1. On forme deux bulles à l'extrémité de deux tubes, puis on les relie en ouvrant les robinets. Que se passe-t-il ?
2. Si les poumons sont des « grappes » de petites bulles (les alvéoles, voir l'image de microscopie électronique) reliées les une aux autres, que devrait-il se passer si la loi de Laplace s'applique ?
3. Pouvez-vous imaginer un mécanisme pour contrer cet effet ?

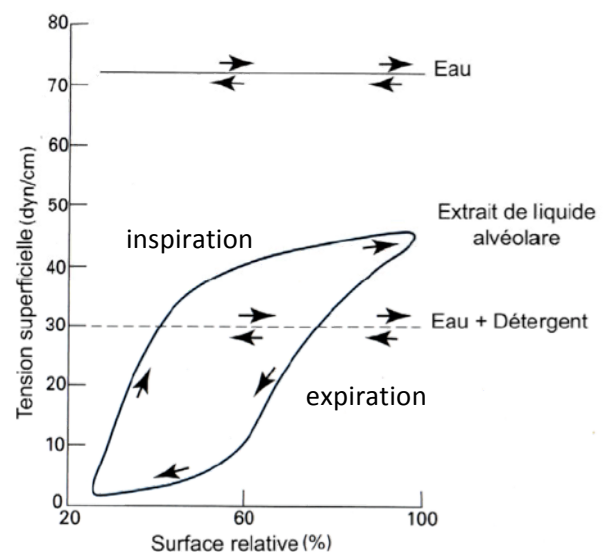


Etude des propriétés du surfactant pulmonaire

On peut recueillir puis étudier un petit volume du liquide qui contient le surfactant, mesurer sa tension superficielle directement en le plaçant dans une cuve dont on fait varier la surface (on rappelle que la tension de surface s'écrit aussi comme une énergie par unité de surface).

On peut augmenter, puis diminuer la surface totale, pour simuler ce qui se passe au cours du cycle respiratoire.

Dans la figure, on a tracé la tension superficielle en fonction de la surface relative à celle qu'on aurait dans les poumons à leur extension maximale (en fin d'inspiration : surface relative maximale = 100%).



Question:

Les mesures présentées dans la figure vous semblent aller dans le sens de votre réponse à la question évoquée dans l'exercice précédent ?

Question:

Que remarquez-vous d'autre dans la courbe présentée en figure ?

On retient donc que le rôle du surfactant pulmonaire est à la fois de diminuer la tension de surface, comme pour un tensioactif, pour faciliter l'ouverture des poumons lors de la respiration, mais aussi de réguler la tension de surface de manière à que lorsque r diminue, $\sigma(r)$ diminue aussi et la pression varie moins par rapport à ce qui est prévu par la loi de Laplace. Ceci empêche les petites alvéoles de se vider dans les grandes, et permet aux alvéoles qui ont des tailles différentes de fonctionner en même temps, car le surfactant pulmonaire permet finalement de réaliser une même pression partout : en moyenne 0.025 N/m sur la figure, ce qui donne une surpression d'environ 4 mmHg.

In vivo :

La situation dans les poumons est en réalité encore plus complexe, car les pneumocytes de type 2 adaptent sans cesse la quantité de surfactant disponible dans les alvéoles, en le sécrétant ou en le réabsorbant suivant des mécanismes de régulation compliqués et encore pas complètement élucidés.