Diapos réalisées par Jérôme Kasparian

Tension de surface

Mécanique des alvéoles pulmonaires

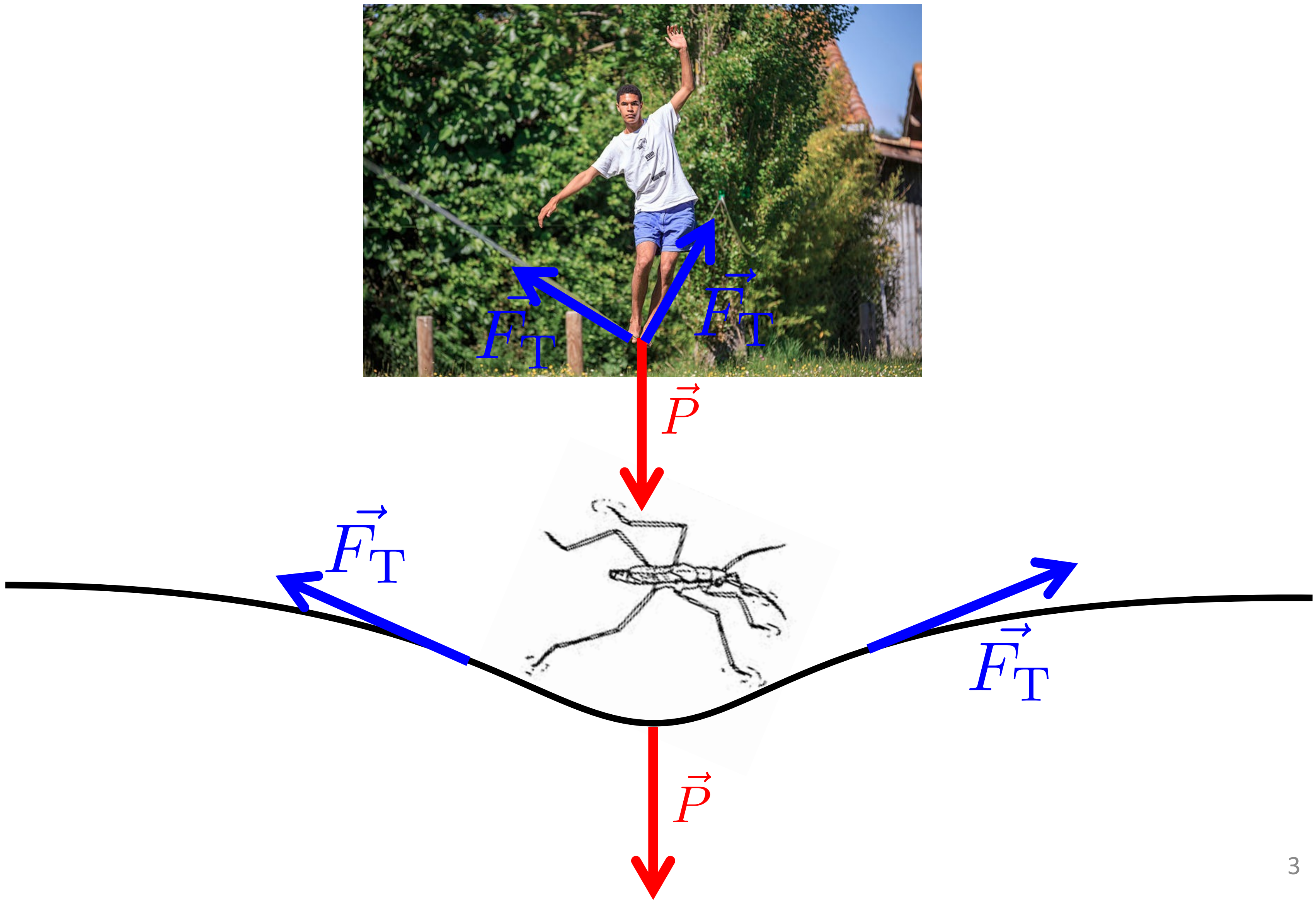
Kane chapitre 15 ; Hecht chapitre 11.8

Exercice

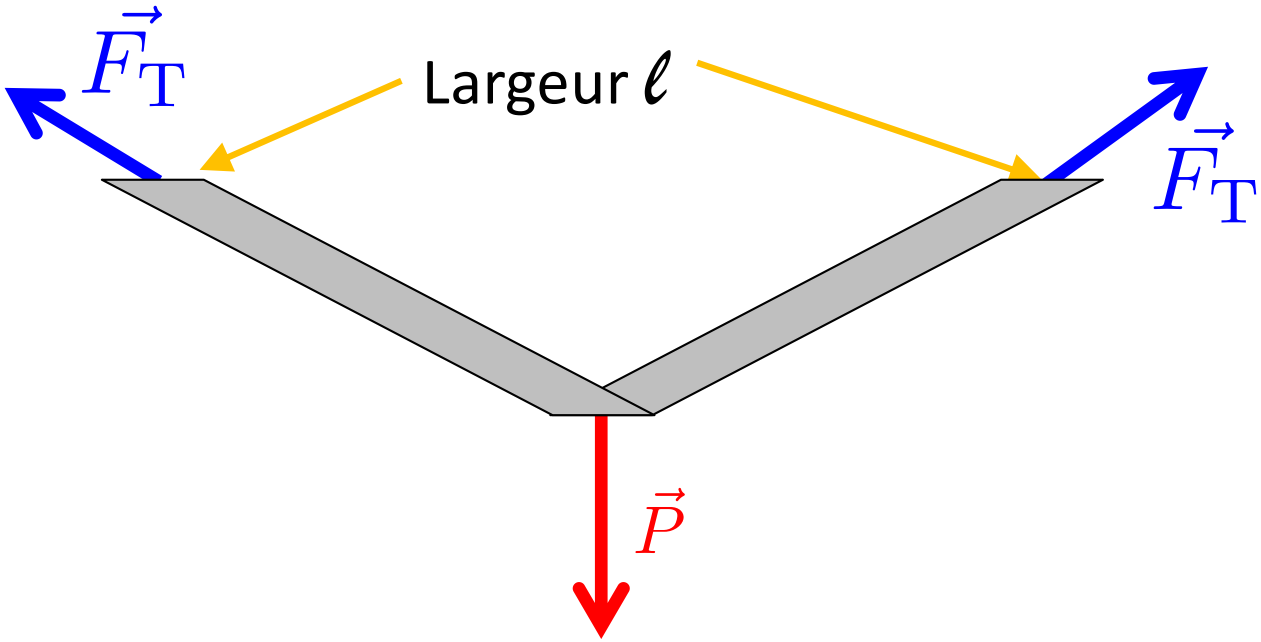
L'insecte marche sur l'eau parce que :

A. il flotte grâce à la force d'Archimède
B. il se maintient à la surface grâce à des mouvements adaptés
C. il est porté par la surface de l'eau
D. il « vole » à la surface grâce à sa vitesse, comme en ski nautique

Porté par la tension de la corde



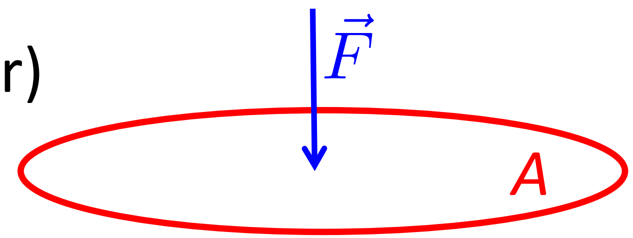
Force linéique : « Tension de surface »



Cf. pression : force par unité de surface

$F = P\,A$

P en N/m^2



« Tension de surface » (tension superficielle) :

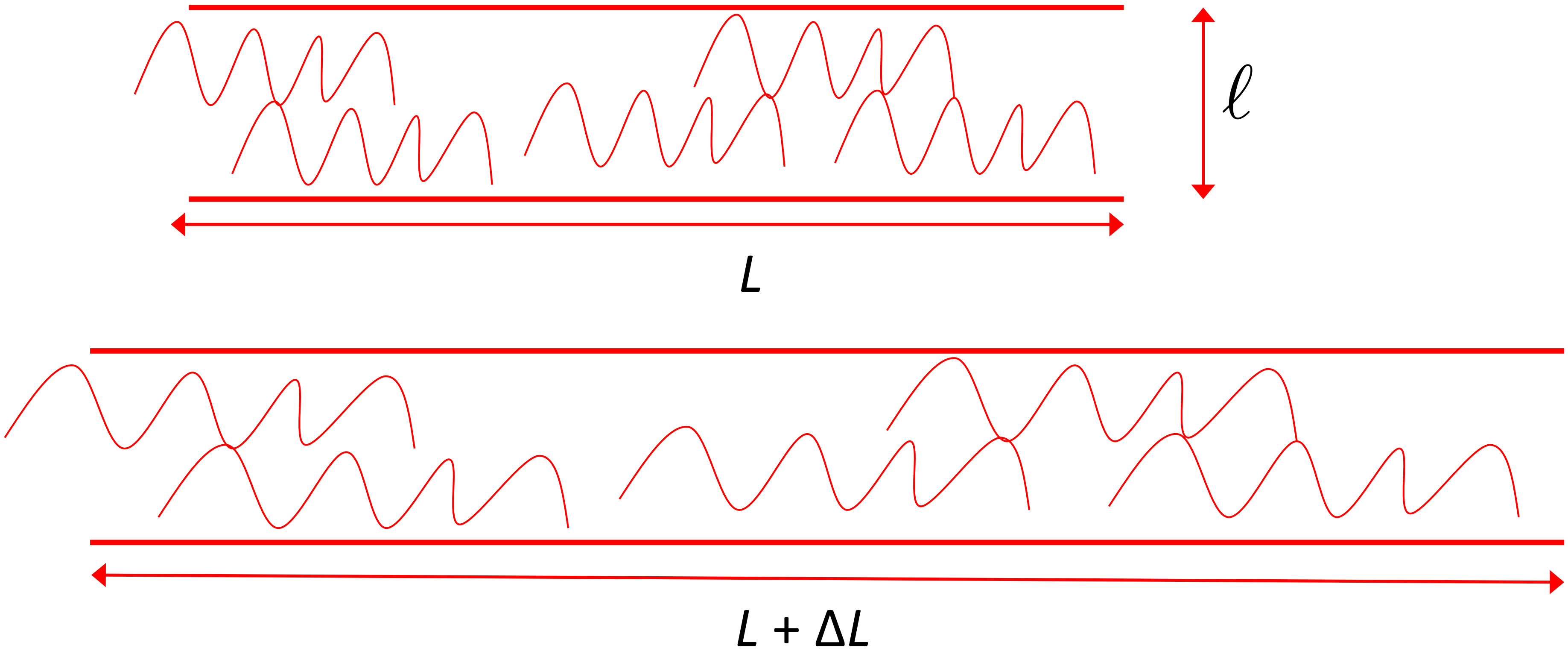
Force par unité de « longueur » (= [ici] largeur)

$\gamma = F / \ell$

$F = \gamma\,\ell$

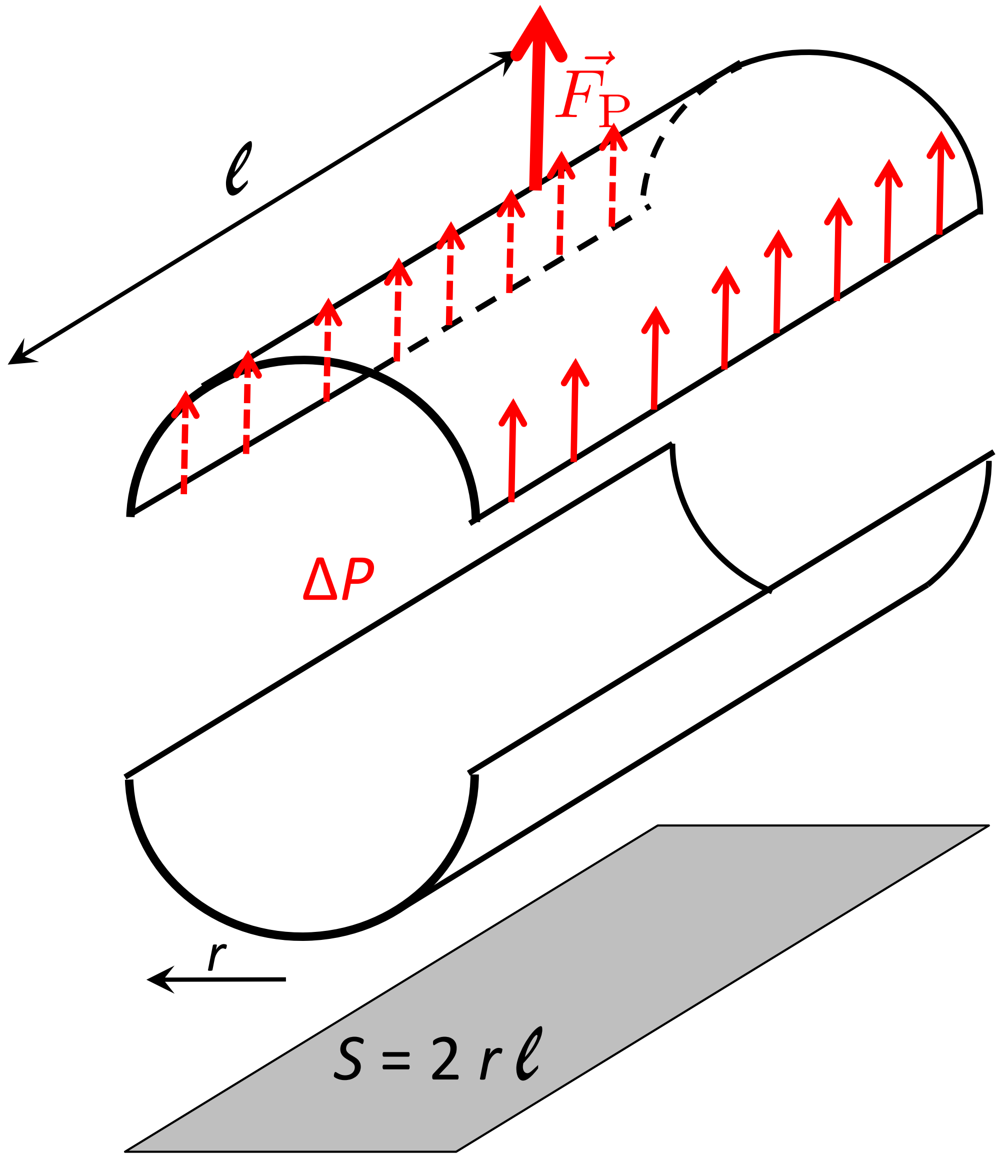
γ en N/m

Membrane élastique



Cf. ressort: $F = -k\,\Delta L$

Tension de surface créée par la pression dans un cylindre élastique



Définition de la pression :

$F_p = \Delta P\, S = 2\, r\, \ell\, \Delta P$

L'effort se répartit sur toute la longueur, de chaque côté

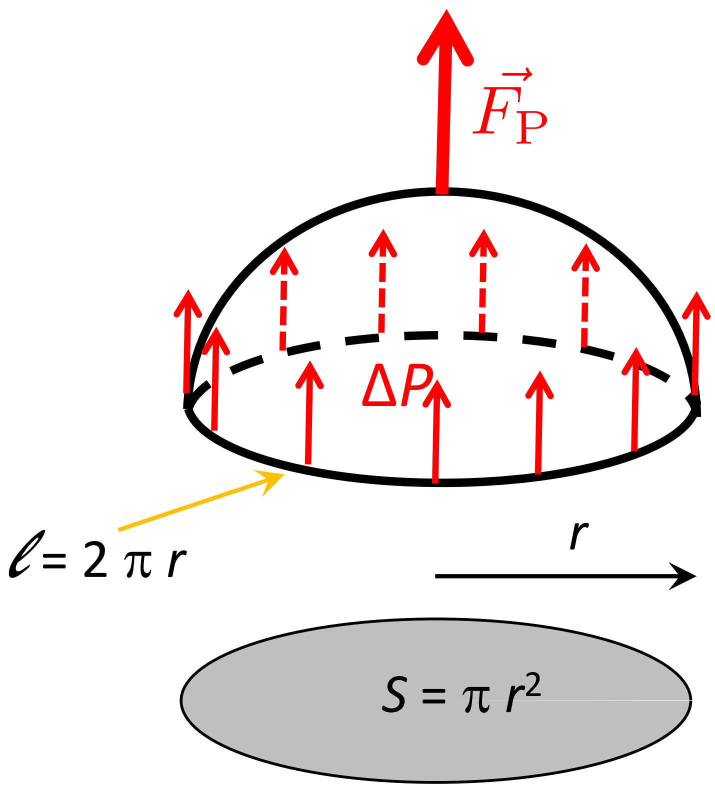
Définition de la tension de surface :

$F_p = 2\, \gamma_p\, \ell$

Donc : $\gamma_p = \Delta P\, r$

Loi de Laplace pour un cylindre élastique

Tension de surface créée par la pression dans une sphère élastique



Définition de la pression :

$F_p = \Delta P\, S = \pi\, r^2\, \Delta P$

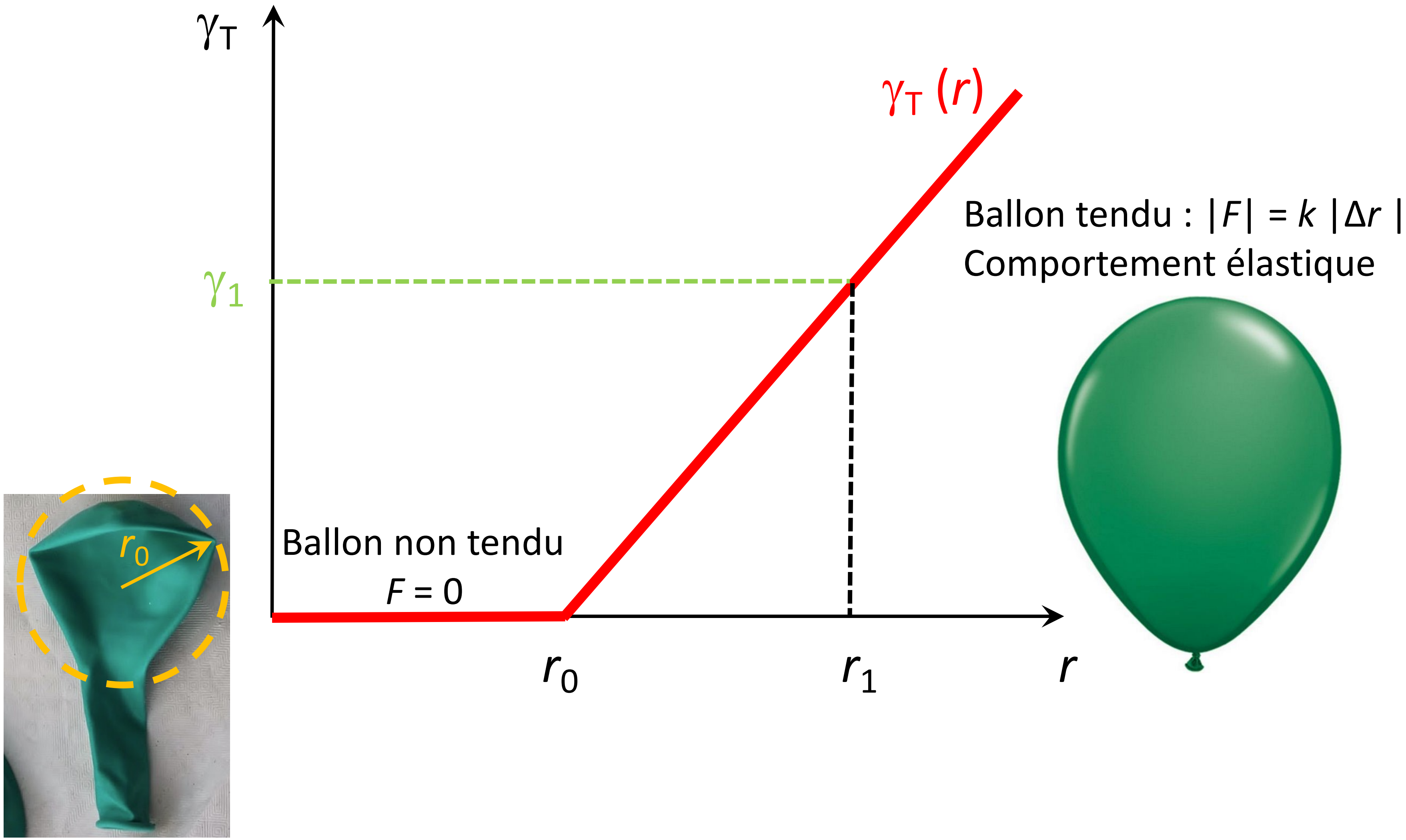
Définition de la tension de surface :

$F_p = 2\,\pi\, r\, \gamma_p$

Donc : $\gamma_p = \Delta P\, r\, /\, 2$

Loi de Laplace pour une sphère élastique

Tension de surface d’une paroi élastique



Équilibre de la surface

$2^{ème}$ loi de Newton sur la paroi :

$$\sum \vec{F} = \overrightarrow{F_\mathrm{P}} + \overrightarrow{F_\mathrm{T}} = \vec{0}$$

$$||\overrightarrow{F_\mathrm{P}}|| = ||\overrightarrow{F_\mathrm{T}}||$$

$$\gamma_P \, \ell = \gamma_T \, \ell$$

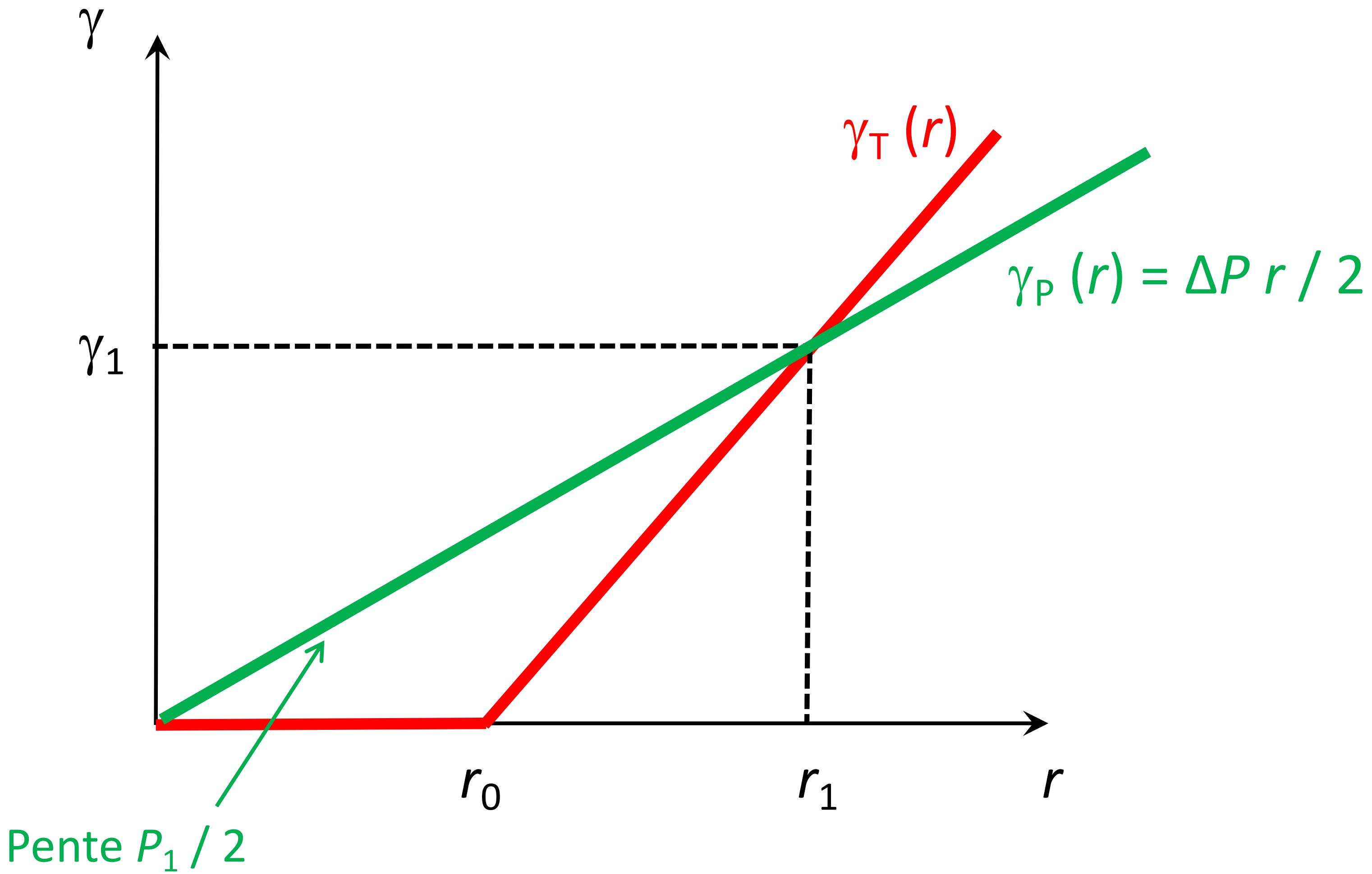
$$\gamma_P = \gamma_T$$

γ_P *et* γ_T dépendent de r

On doit résoudre $\gamma_P(r) = \gamma_T(r)$

→ résolution analytique (calcul) ou graphique

Résolution graphique

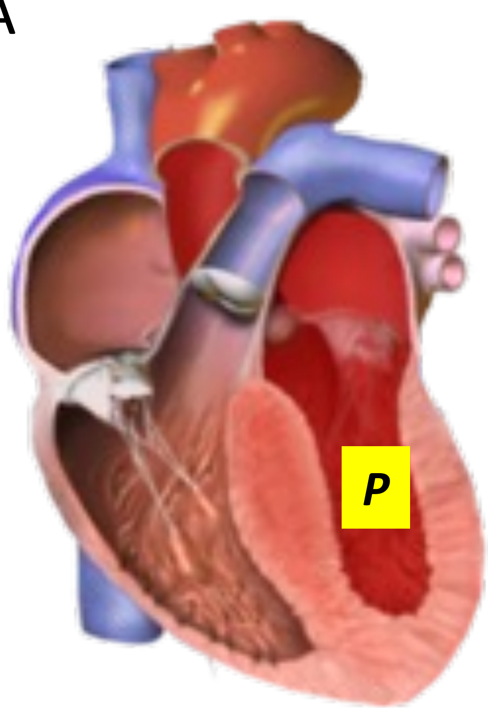


ΔP plus grand ➔ r plus grand…
Le ballon se gonfle !

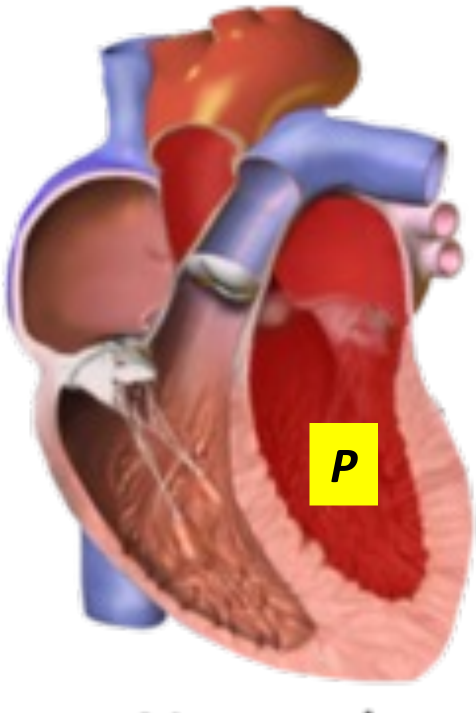
Exercice

Lequel de ces cœurs aura le plus de mal à pomper contre une même pression artérielle ?

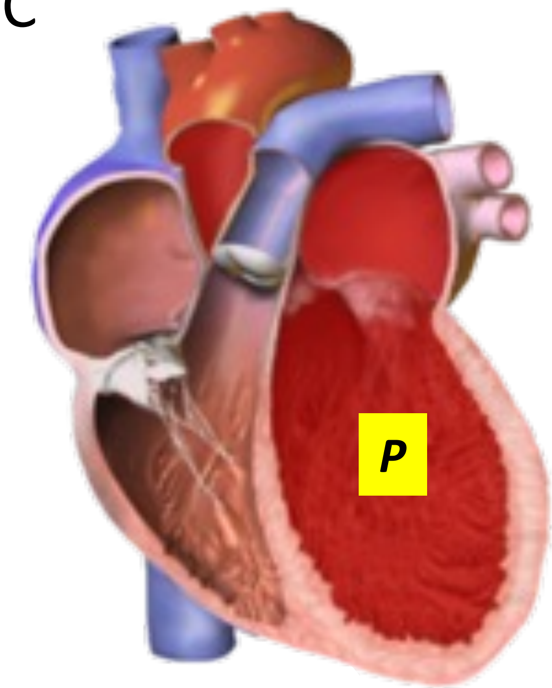
A



B

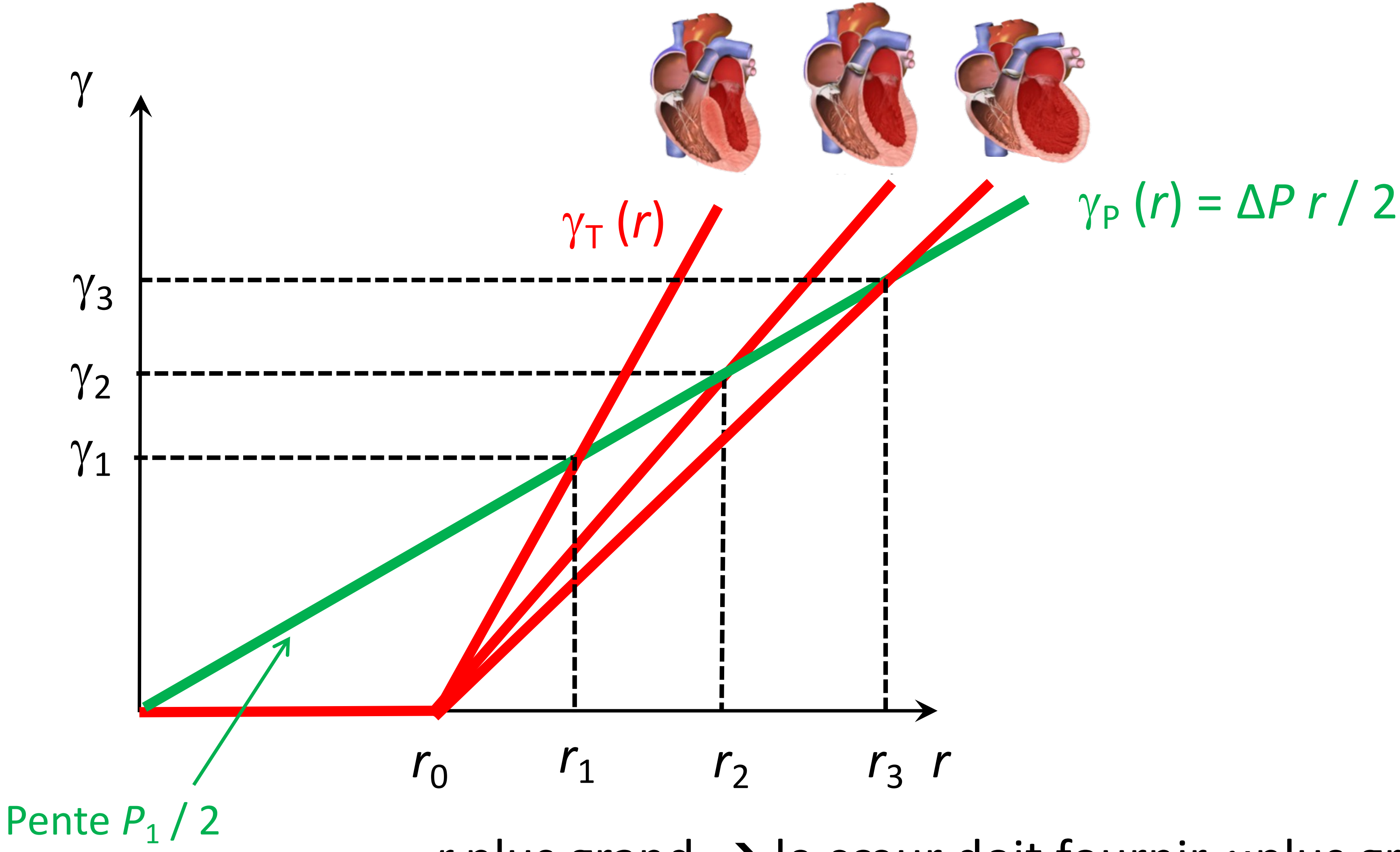


C



Indice : lequel a la plus grande tension de surface ?

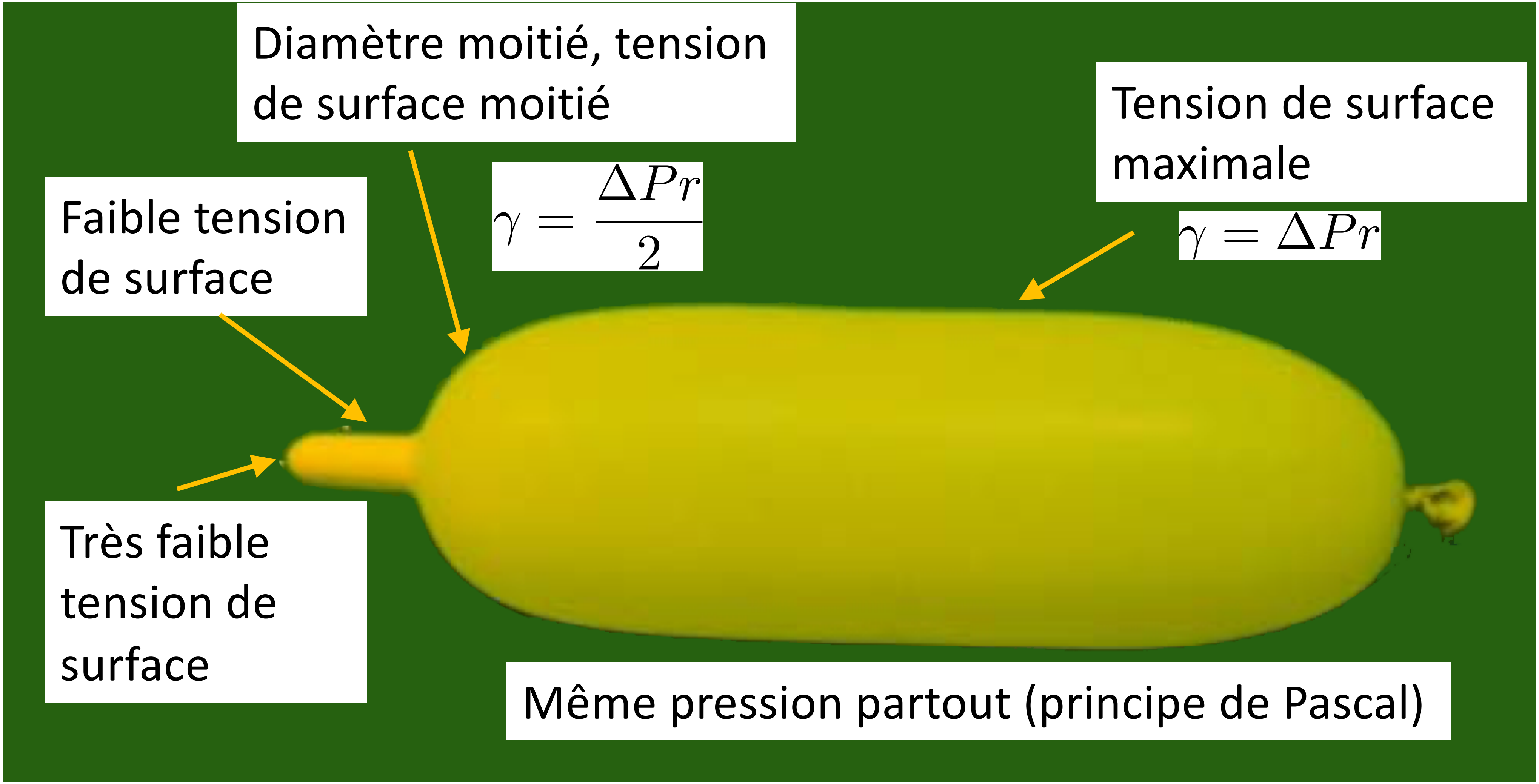
Résolution graphique



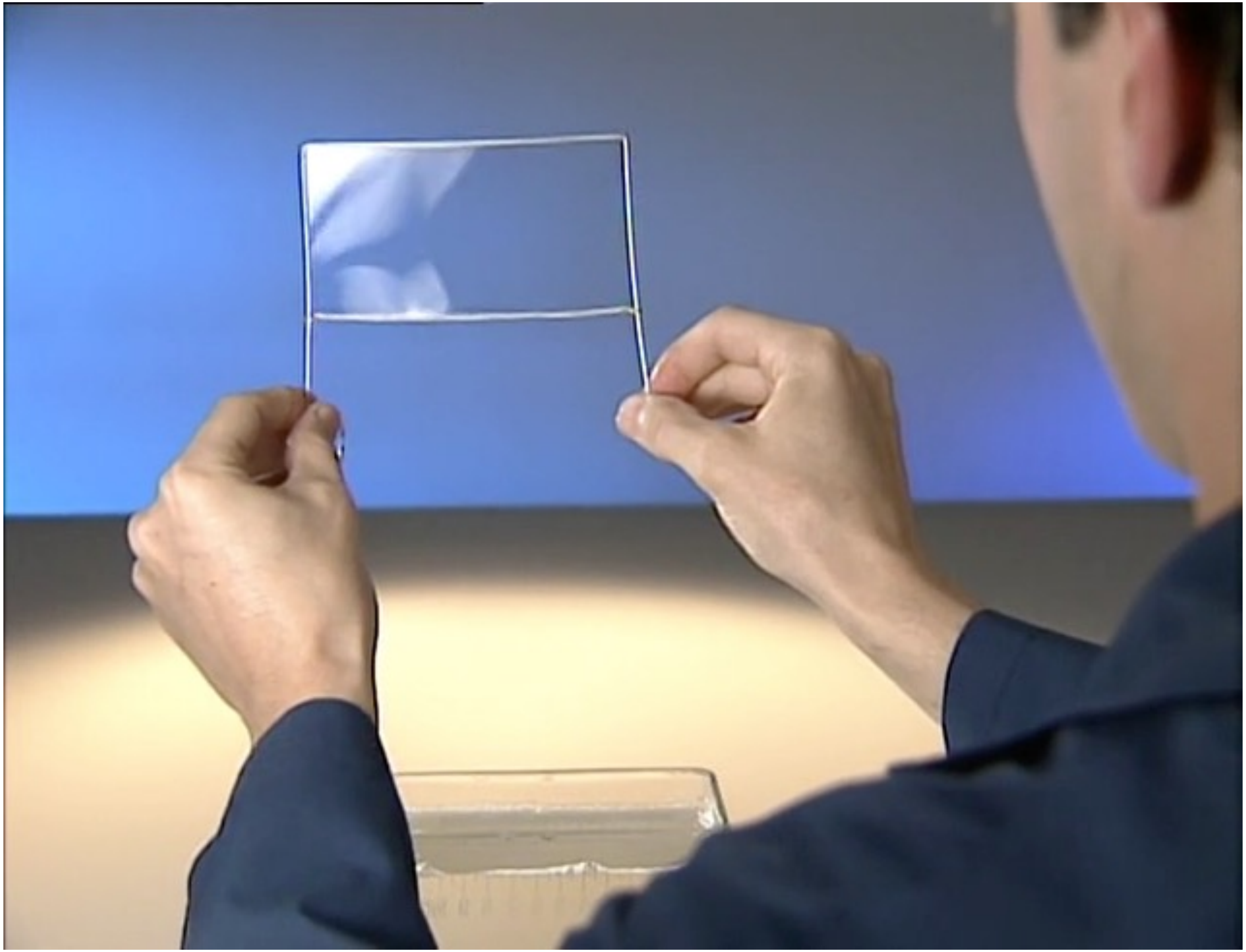
r plus grand ➔ le cœur doit fournir γ plus grand

A suivre : Fonction cardiaque, Christophe Montessuit

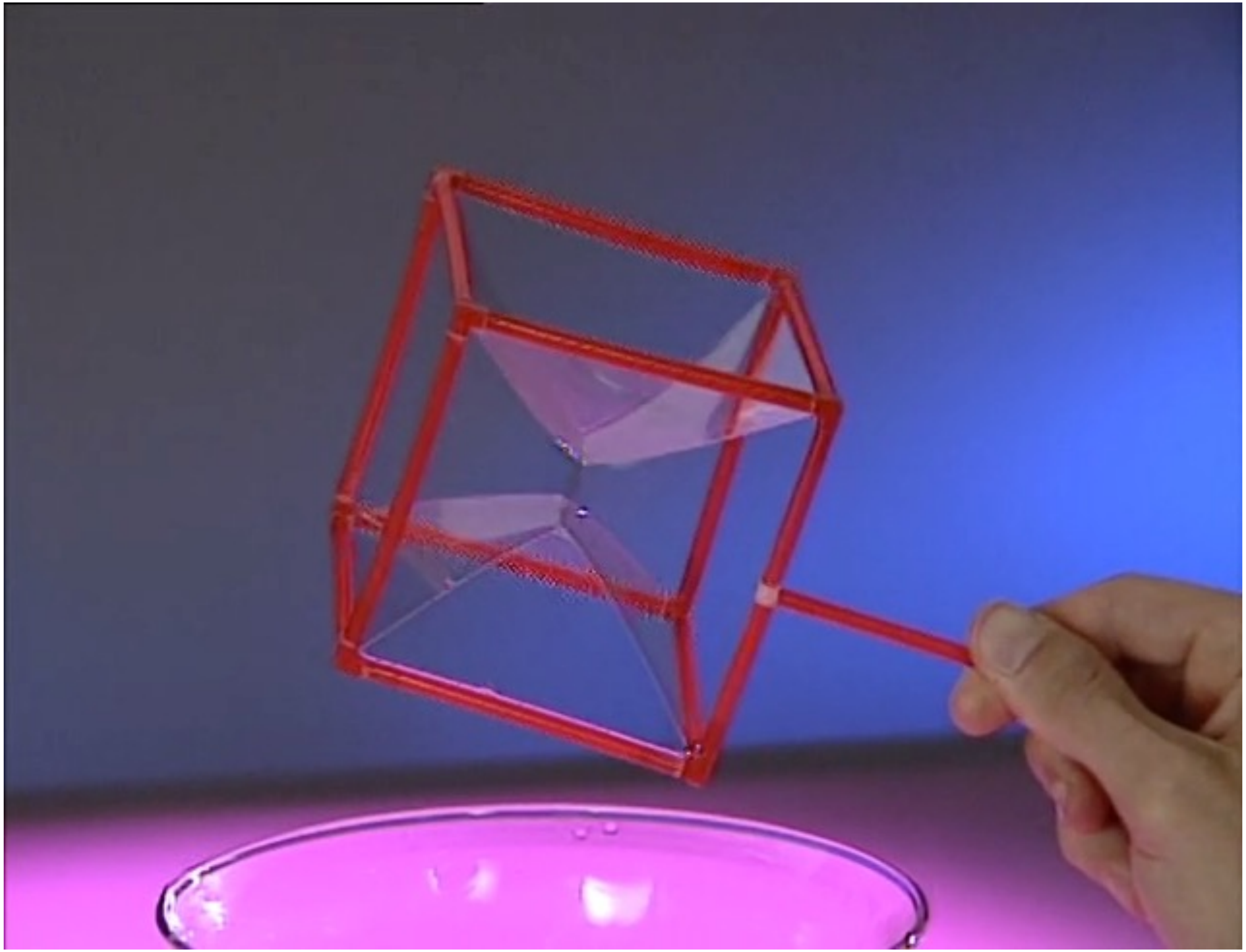
Ballon cylindrique



Tension de surface liquide

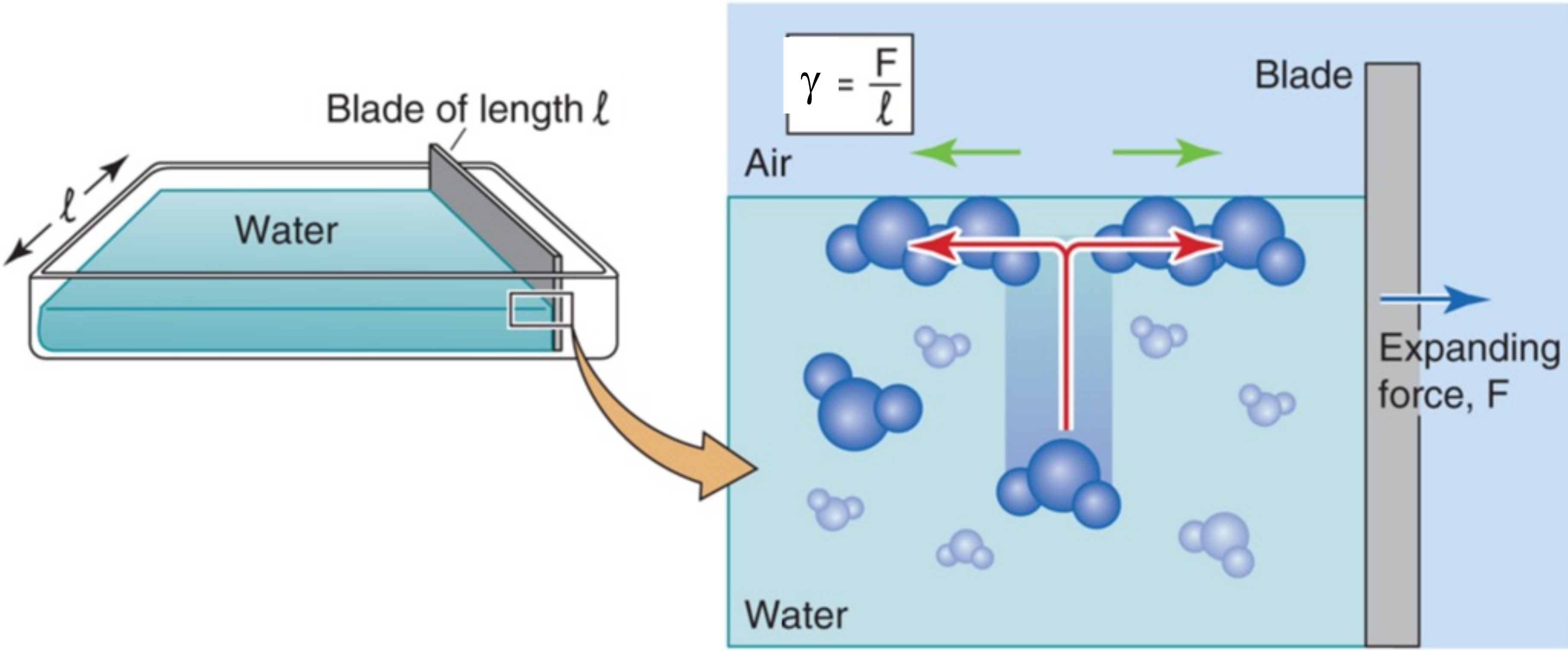


Tension de surface liquide



CF alvéoles pulmonaires : hexagonales !!

Tension de surface : surface liquide

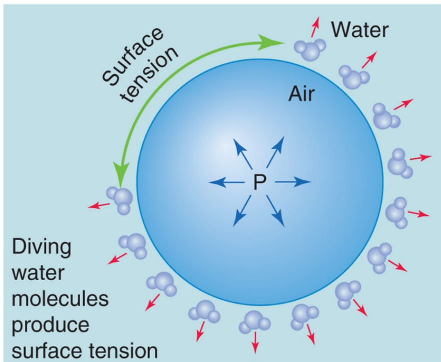


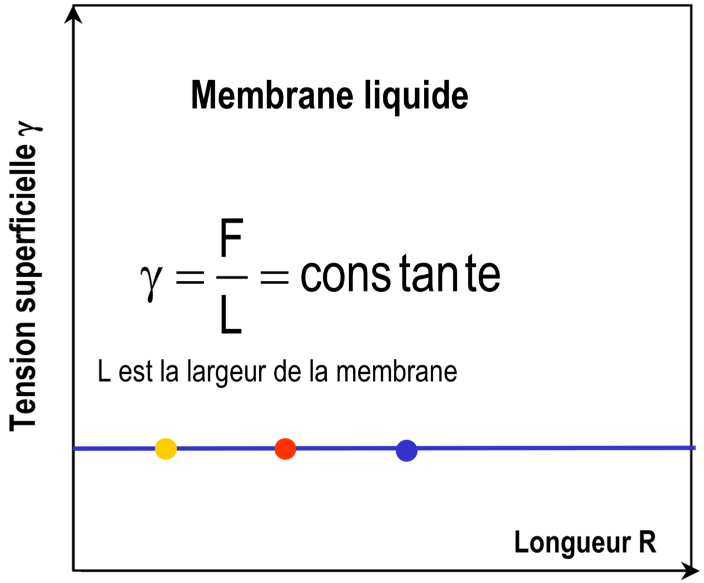
Tension de surface
pour une paroi liquide

Pour étirer le film, il faut augmenter sa surface, donc amener des molécules depuis l'intérieur de la paroi jusqu'à sa surface. L'énergie associée à ce transfert est à l'origine de la tension de surface.

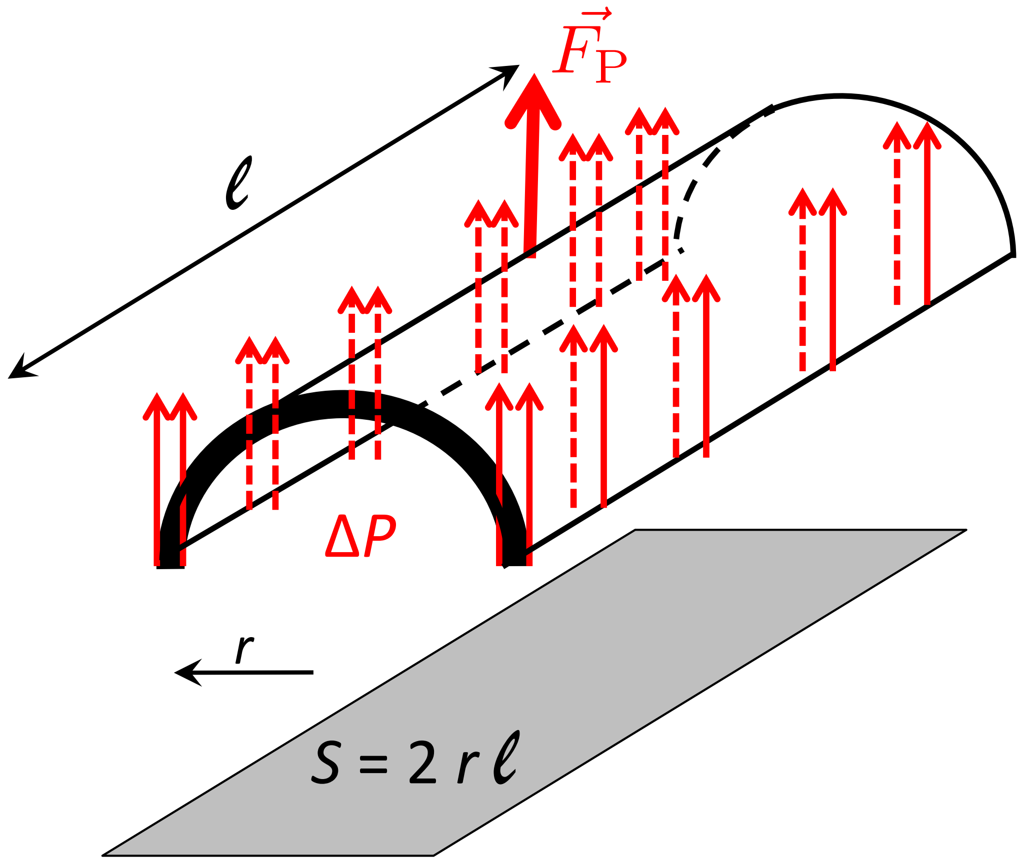
Le nombre de molécules par unité de surface est indépendant de la surface déjà étirée, donc γ aussi.

Le film d'eau savonneuse est « très épais » en nombre de molécules.





Paroi liquide



Définition de la pression :

$F_p = \Delta P\, S = 2\, r\, \ell\, \Delta P$

Définition de la tension de surface :

$F_p = 4\, \gamma_p\, \ell$

Donc : $\gamma_p = \Delta P\, r\, /2$

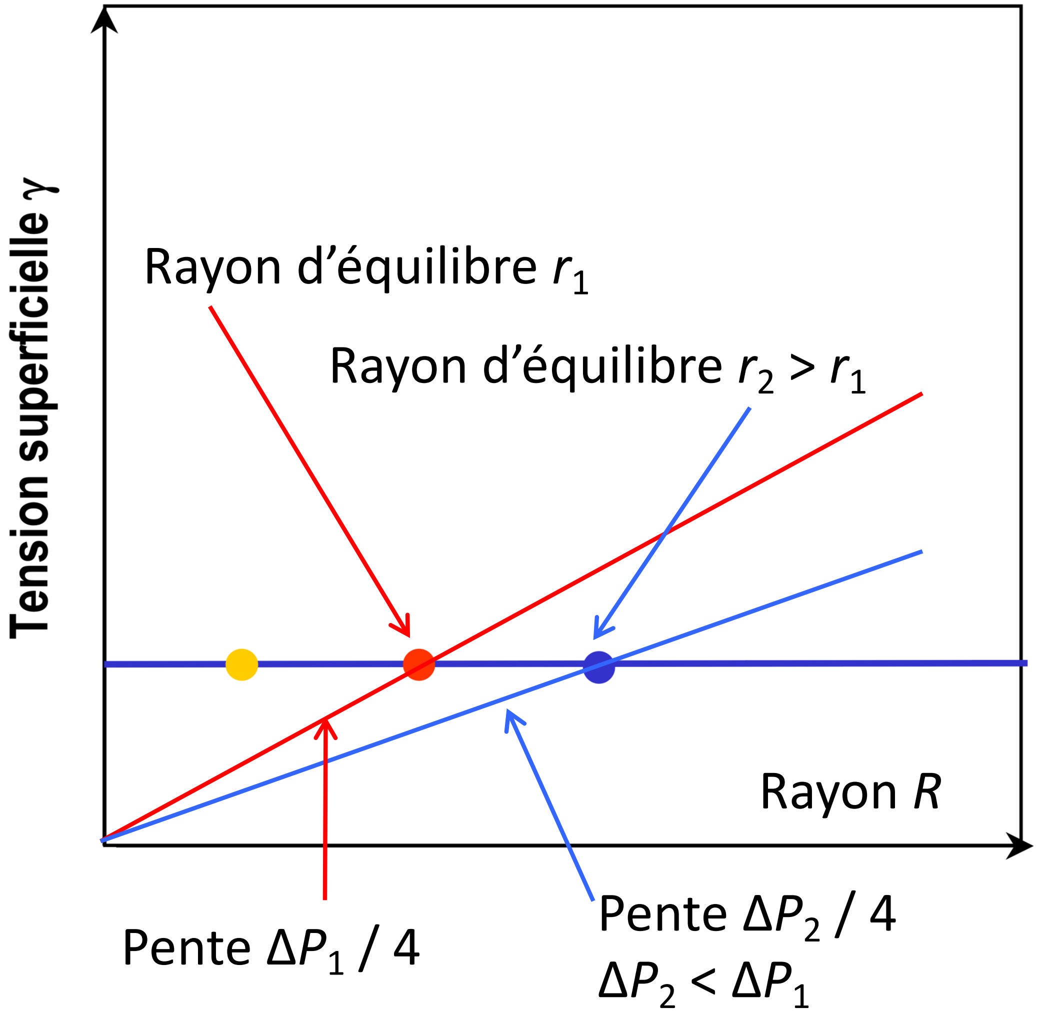
Loi de Laplace pour une paroi liquide cylindrique

Idem:

$\gamma_p = \Delta P\, r\, /4$

Loi de Laplace pour une paroi liquide sphérique

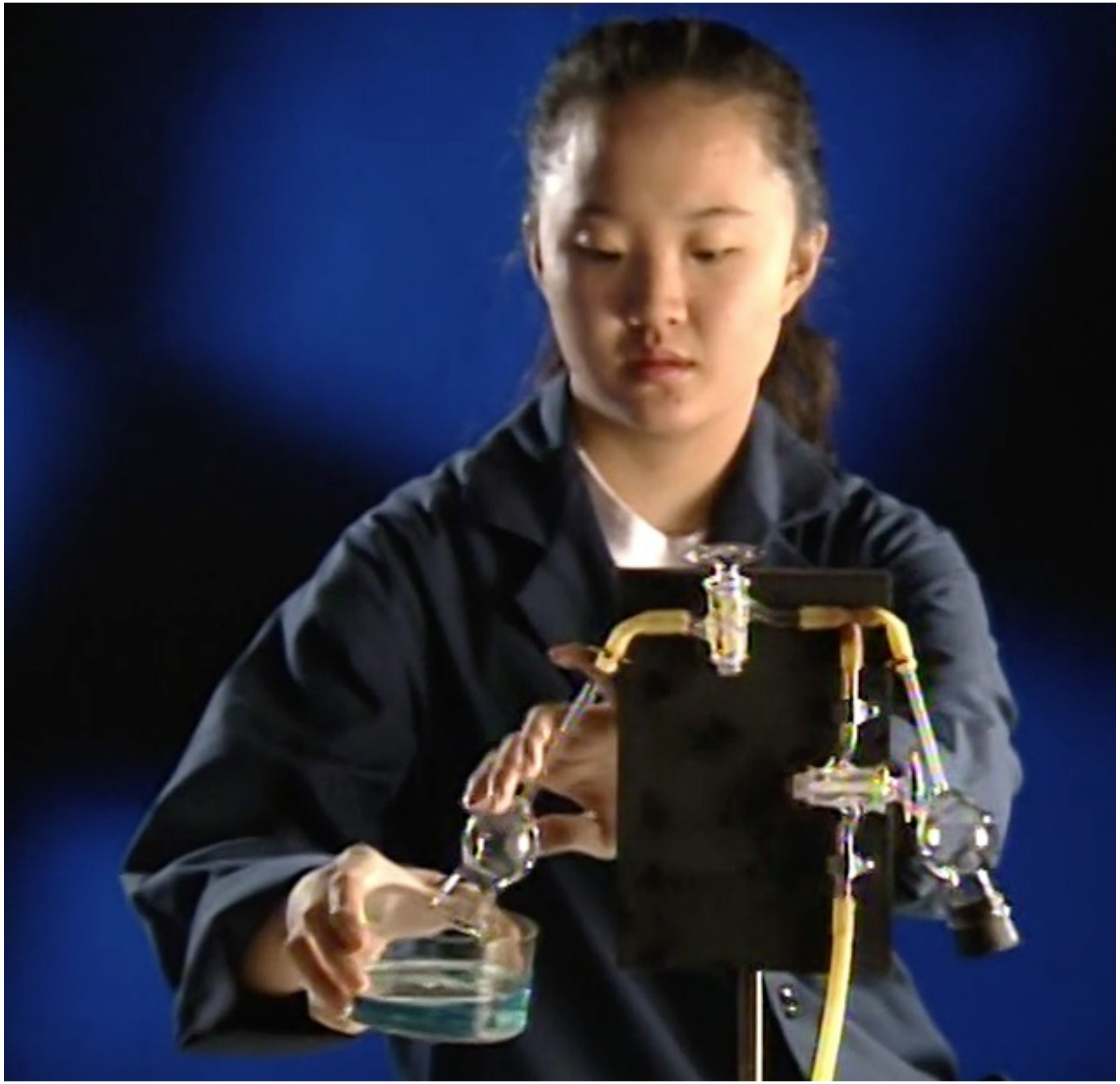
Rayon d'équilibre pour une paroi liquide



Contrairement au ballon, la bulle de savon a un rayon d'équilibre plus faible pour une surpression plus forte. Les grosses bulles se déforment davantage !

Ou résolution explicite : $r = 4\,\gamma\,/\,\Delta P$

Exercice



Exercice

On relie les deux bulles :

A. Les tailles s'équilibrent
B. La petite se vide dans la grande
C. Les tailles restent inchangées
D. La grande se vide dans la petite

Et si on prend deux ballons au lieu des bulles ?

Contrainte mécanique

Pour une paroi épaisse, on peut décrire la tension de surface en fonction de l'épaisseur *e*. On définit la *contrainte mécanique* (ou *tension pariétale*, ou *tension de paroi* en physiologie) $\sigma = \gamma / e$. Elle s'exprime en N / m^2.

La loi de Laplace s'écrit alors, pour une sphère élastique :

$$\boxed{\Delta P = \frac{2\gamma}{r} = \frac{2e\sigma}{r}, \text{ ou } \sigma = \Delta P \frac{r}{2e}}$$