



**Lois physiques
et
accidents mécaniques**

Cours sous pression!



Objectif de ce cours:

Comprendre les dangers liés aux changements de pression suite à l'immersion du plongeur dans l'eau.

On va aborder:

- rappels généraux de physique**
- les lois physiques fondamentales**
- les conséquences de la pression sur le corps humain**



Ce que le 2* est sensé connaître après ce cours:

- **Notions et types de pression**
- **Archimède, Boyle Mariotte et applications plongée**
- **Notions de physiologie du corps humain**
- **Comprendre les barotraumatismes et les prévenir**

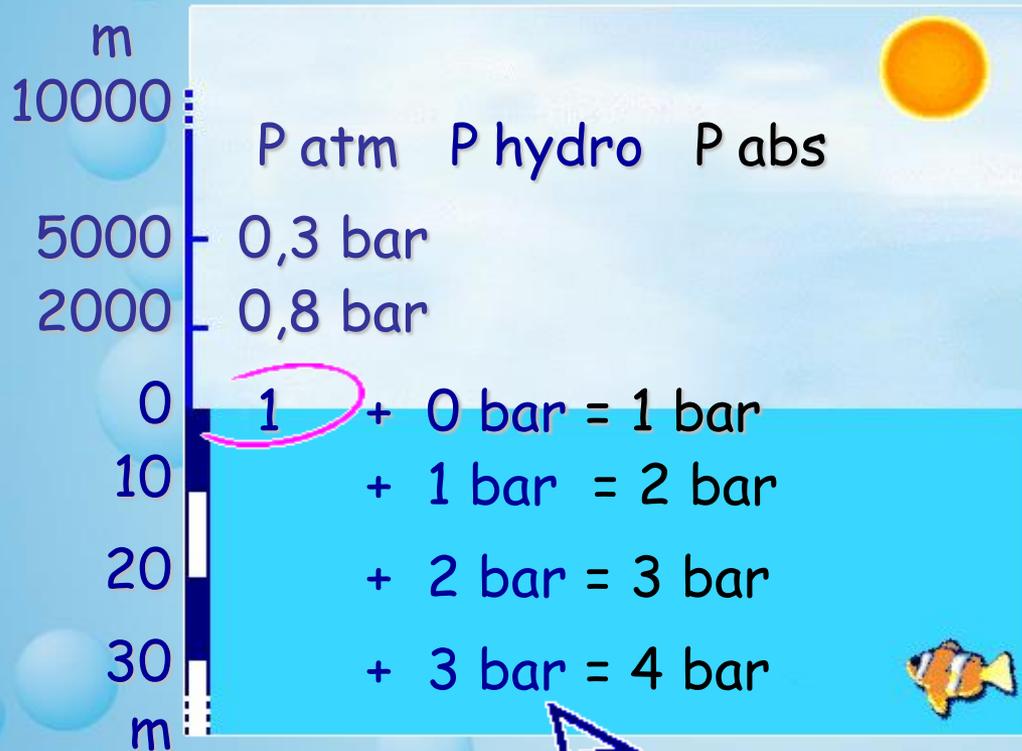


Ce que le 3* est sensé connaître (en plus) après ce cours:

- pression et calculs d'autonomie
- anatomie de l'oreille: systèmes auditif et équilibre
- comprendre tous les accidents mécaniques, prévention, symptômes et traitements



Il y a du poids au dessus de nous!



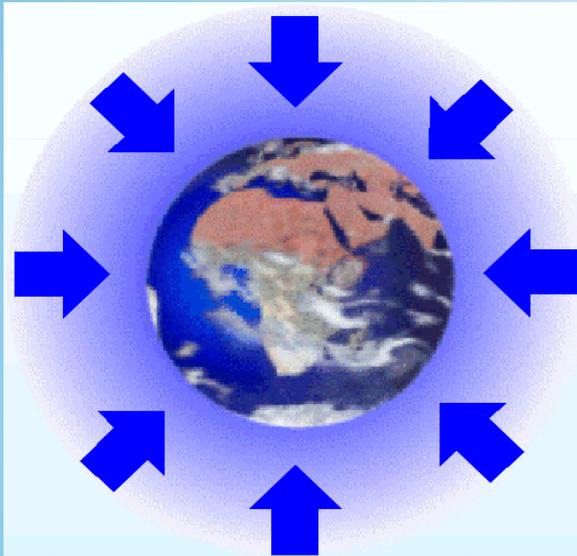
1 bar / 10 m

A la surface de la mer, tout l'air pesant sur notre tête pèse l'équivalent de 10 m d'eau. Donc déjà à 10 m de profondeur on a doublé la pression habituelle!



Observation judicieuse:
Nom d'un petit poisson, mon corps
n'est pas habitué à subir de telles
pressions!

La Pression atmosphérique



est due
au poids de la colonne d'air
 au-dessus de nous

Au niveau de la mer :

$$P_{\text{atm}} = 1 \text{ atm} \sim 1 \text{ bar}$$



La Pression hydrostatique

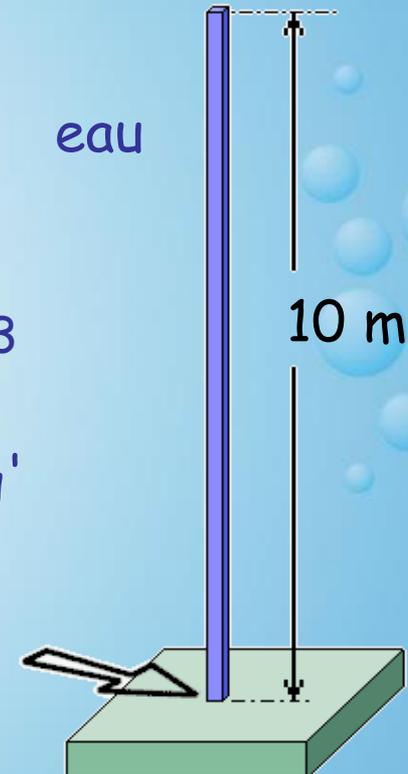
est due
au poids de la colonne d'eau
au-dessus de nous

$$S = 1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$$

$$\text{volume} = 1 \text{ dm}^3$$

$$\text{poids} = 1 \text{ kg'}$$

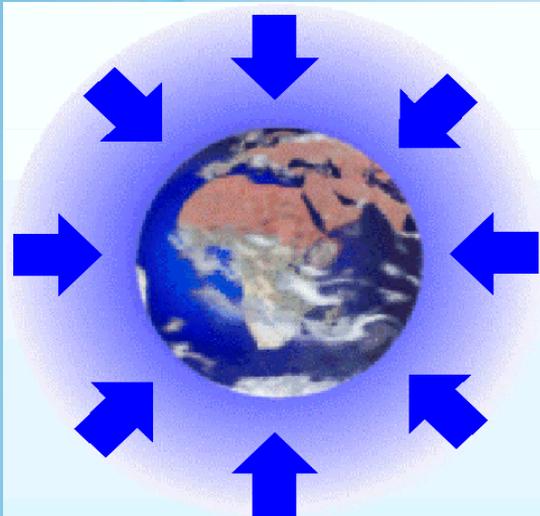
$$P_{\text{hydro}} = 1 \text{ kg'}/\text{cm}^2 \sim 1 \text{ bar}$$



10 m d'eau → P hydro = 1 bar



La Pression absolue ou totale est la somme des deux



est due au poids total de l'air et de l'eau :



	P_{atm}	P_{hydro}	P_{abs}
10000			
5000	0,3 bar		
2000	0,8 bar		
0	1	+ 0 bar = 1 bar	
10		+ 1 bar = 2 bar	
20		+ 2 bar = 3 bar	
30		+ 3 bar = 4 bar	



$P_{abs} = P_{atm} + P_{hydro}$

1 bar / 10 m



Quelques rappels de base

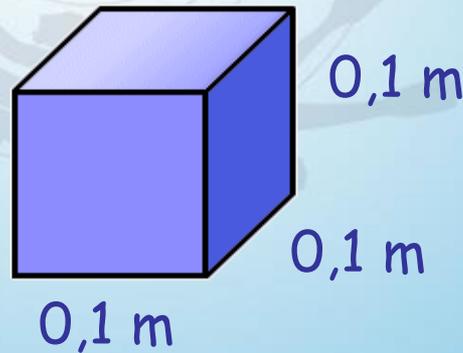




Information générale: Unités de volume

Volume : m^3 , dm^3

$$1 \text{ L} \sim 1 \text{ dm}^3$$



$$\text{volume} = 1 \text{ dm}^3$$

Information générale: Unités de masse et de force

Masse : kg

Force : N (newton) ,

ancienne unité : kilogramme force (kgf ou kg')

Sur Terre :

1 kg de matière pèse **1 kg' = 9,81 N ~ 10 N**

100 g de matière pèsent **0,1 kg' = 0,981 N ~ 1 N**



Note : il est très usuel d'utiliser le même mot (kilogramme, abréviation : kg) comme unité pour la masse, et le poids . La distinction entre masse et poids est commentée dans le cours 3 étoiles.



Information générale: Masse et Poids



ici, sans maigrir,
je pèse moins !

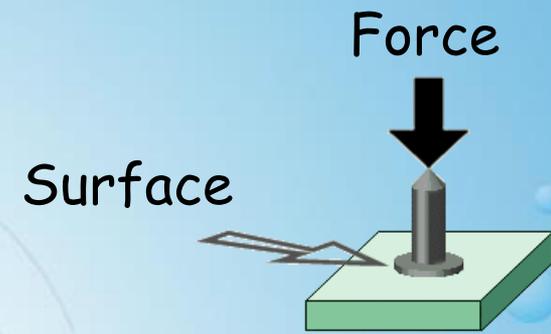
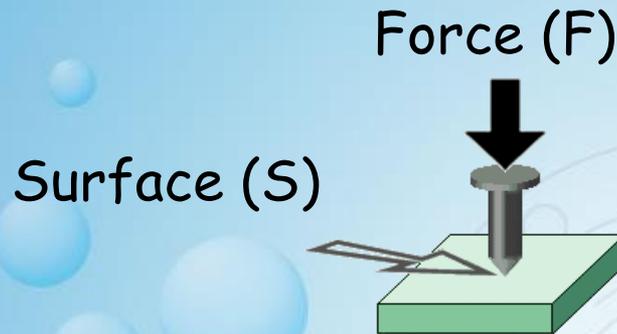


Définition simplifiée :

Masse = quantité de matière (indépendant de l'endroit)

Poids = force d'attraction (dépend de l'endroit)

Information générale: La Pression



Pression : définition :

$$P = F / S$$

Unités: définitions :

Le pascal (Pa) :

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

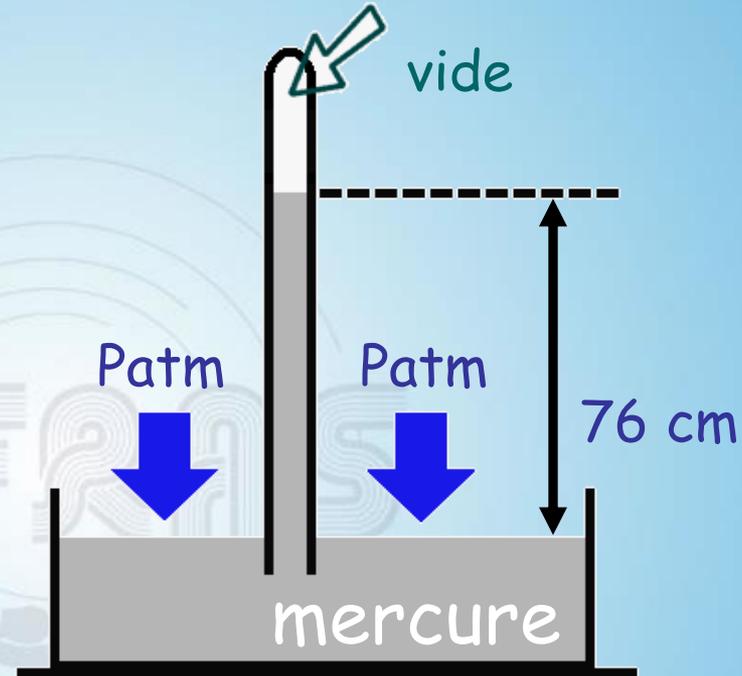
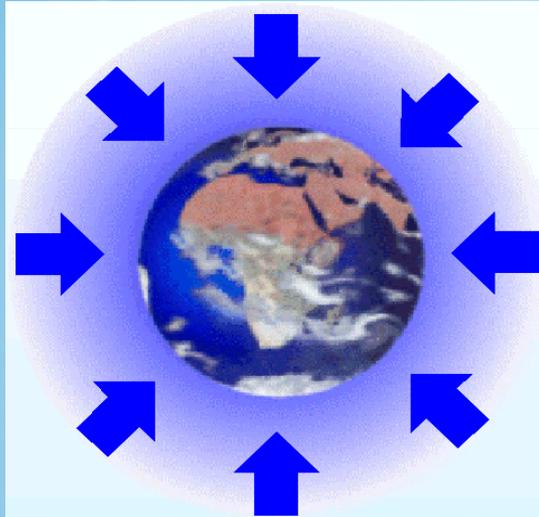
Le bar :

$$1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ Pa}$$

Anciennes unités : le kg'/cm² et l'atmosphère :

$$1 \text{ bar} \sim 1 \text{ atm} \sim 1 \text{ kg'/cm}^2$$

Information générale: Le 1^{er} baromètre : Torricelli



**Pression atmosphérique au niveau de la mer =
pression exercée par une colonne de 76 cm de mercure =**

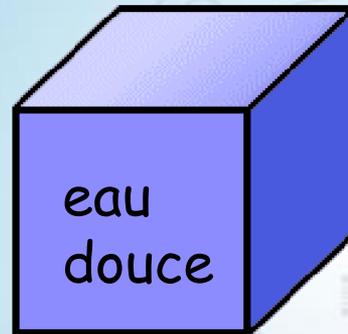
0,760 m de mercure = 1 atm ~ 1 bar

Information générale: Unités : densité



**Densité d'un liquide ou d'un solide
= masse d'un volume de matière / masse du même
volume d'eau pure**

Exemples :



1 dm³ (= 1 L)

1 kg

masse volumique : 1 kg / L

densité : 1

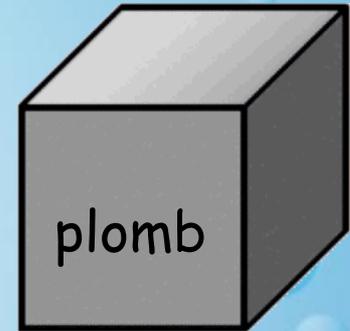


1 dm³

1,03 kg

1,03 kg / L

1,03



1 dm³

11,3 kg

11,3 kg / L

11,3

la densité est une grandeur sans unité



Information générale: Unités : densité d'un gaz

Densité d'un gaz

= masse d'un volume de gaz / masse du même vol. d'air

Air ($t^{\circ} = 0^{\circ}\text{C}$, $P = 1 \text{ bar}$) : masse volumique = 1,29 g/L

(poids volumique = 1,29 g/L)

(densité : $d = 1$)

Exercice : quel poids d'air contient une bouteille de 15 L ?
gonflée à 150 bar à la température de 0°C ?

Réponse :

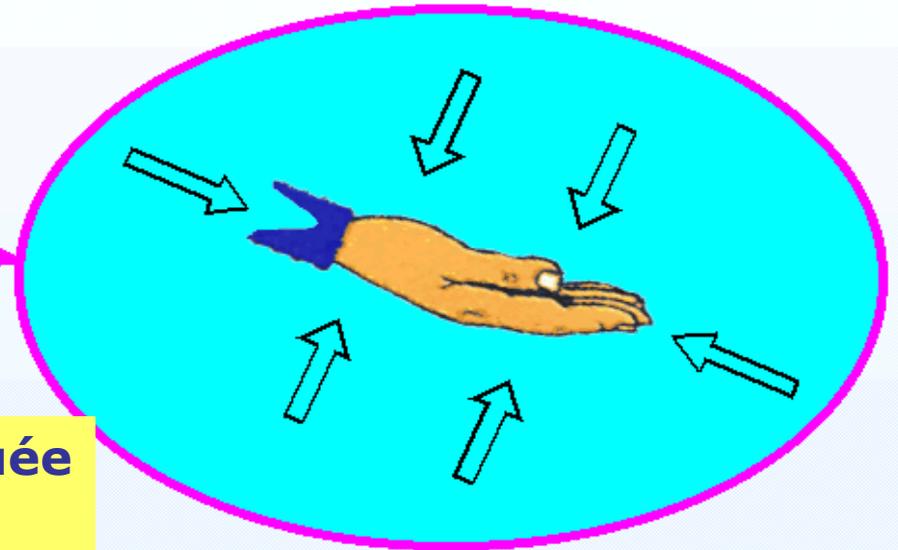
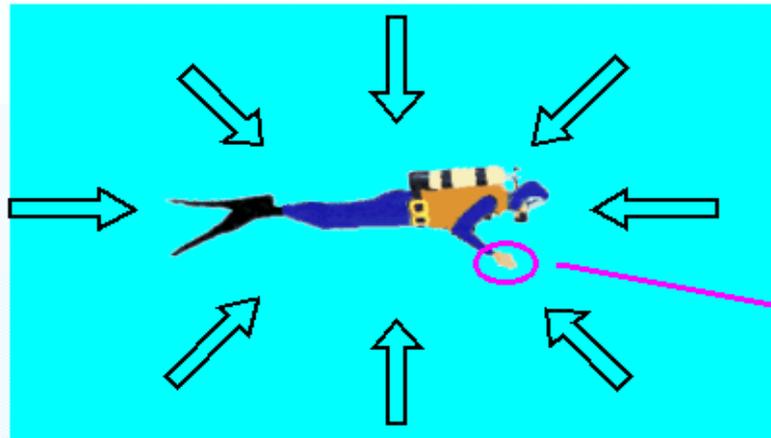
$15 \times 150 = 2250 \text{ L}$; poids d'air = $2250 \text{ L} \times 1,3 \text{ g/L} \sim 2,9 \text{ kg}$



**Loi physique de base No 1:
le principe de Pascal**



Uniformité de la pression : le Principe de Pascal



Si une pression est appliquée à un fluide au repos, cette pression est transmise de façon égale dans toutes les directions



Application à la plongée:

- **base pour comprendre les lois suivantes**
- **ré-épreuve des bouteilles**
- **manomètre: peu importe son orientation**
- **pression uniforme sur le corps**





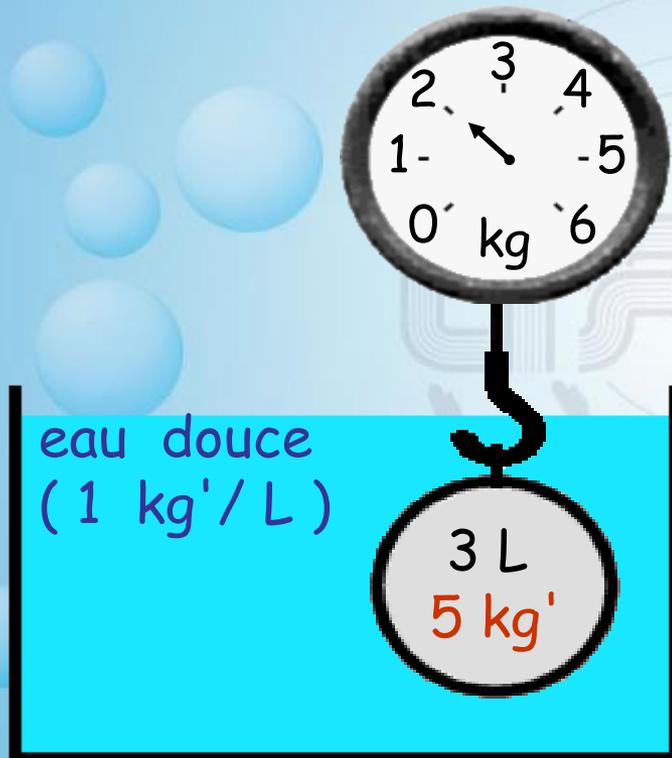
**Loi physique de base No2:
la poussée d'Archimède**

Pourquoi?

Parce qu'elle influence notre équilibre

La poussée d'Archimède

Expérience :



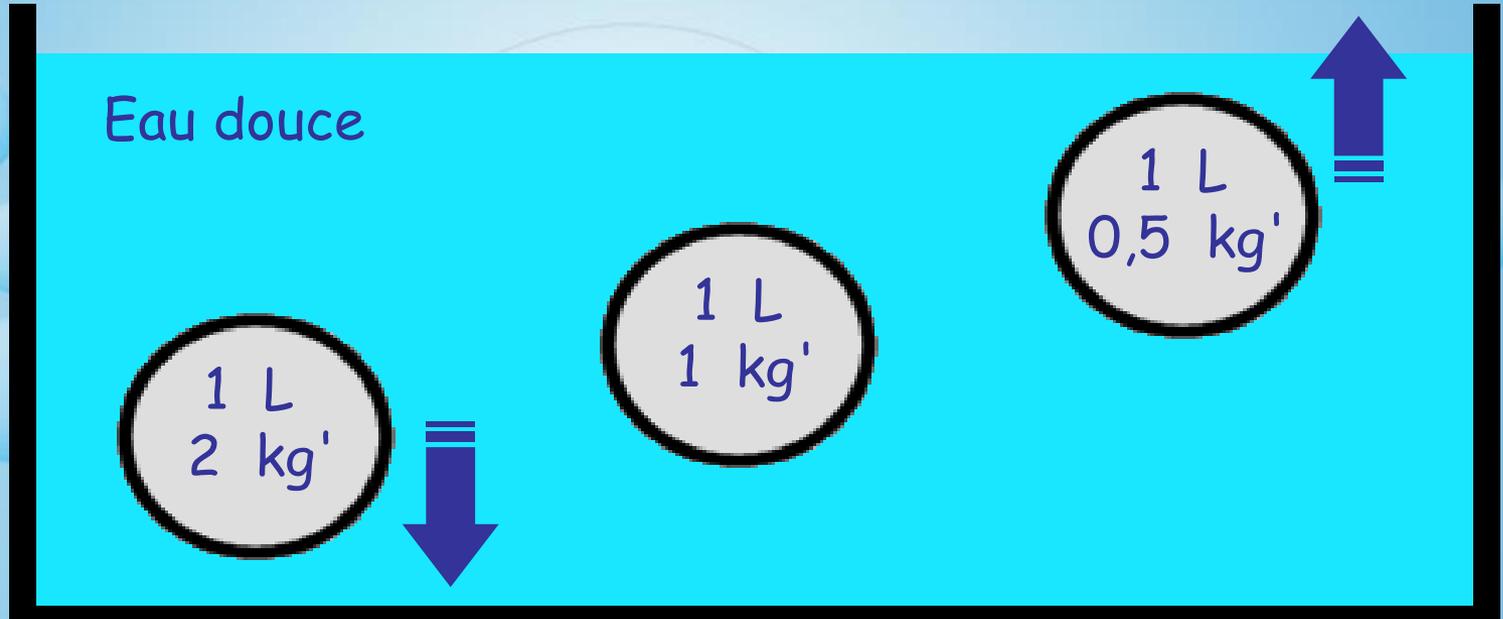
Un objet dans un fluide subit une poussée verticale vers le haut ...

égale au poids du volume de fluide occupé par l'objet .



La flottabilité (eau douce)

Expérience :



Flottabilité : **négative**

nulle

positive

L'objet : **coule**

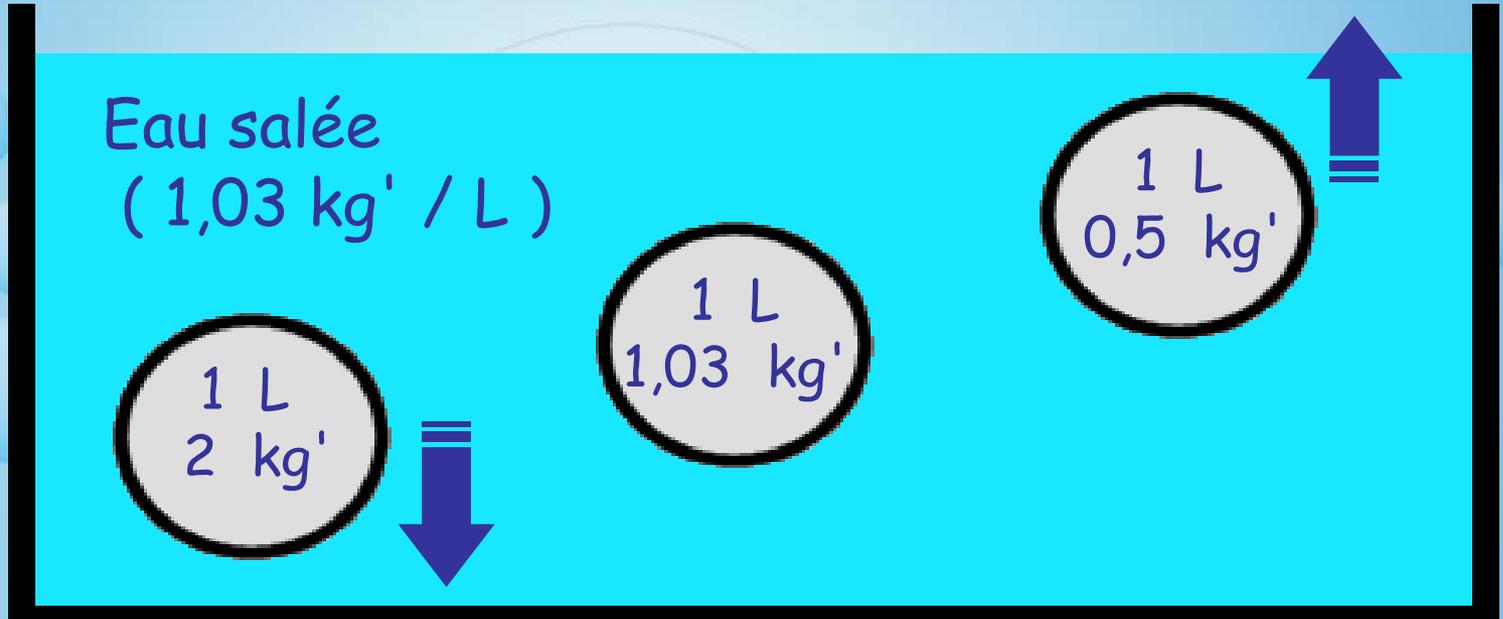
**est en
équilibre**

**remonte à
la surface**



La flottabilité (eau salée)

Expérience :



Flottabilité : **négative**

nulle

positive

L'objet : **coule**

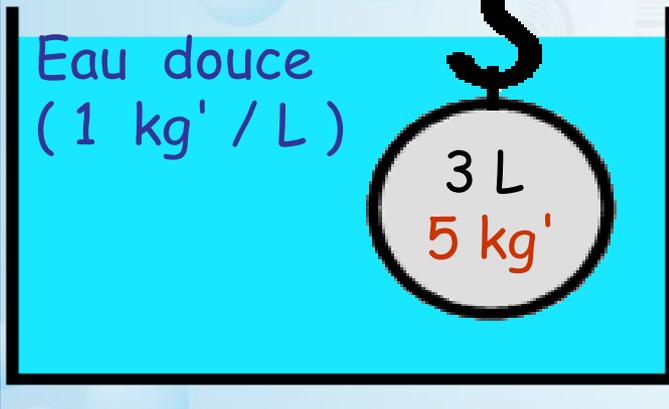
**est en
équilibre**

**remonte à
la surface**

Poids apparent



$$5 - 3 = 2$$



3 kg' Poussée d'Archimède
(force du liquide sur l'objet)

5 kg' Poids (force de la
Terre sur l'objet)

Poids apparent = Poids réel - Poussée d'Archimède



Applications à la plongée:

- le lestage**
- le gilet**
- influence de la respiration sur l'équilibre**
- compression de la combi**
- bouteille plus légère en fin de plongée**
- le canard**
- le tuba nous maintient immergés**

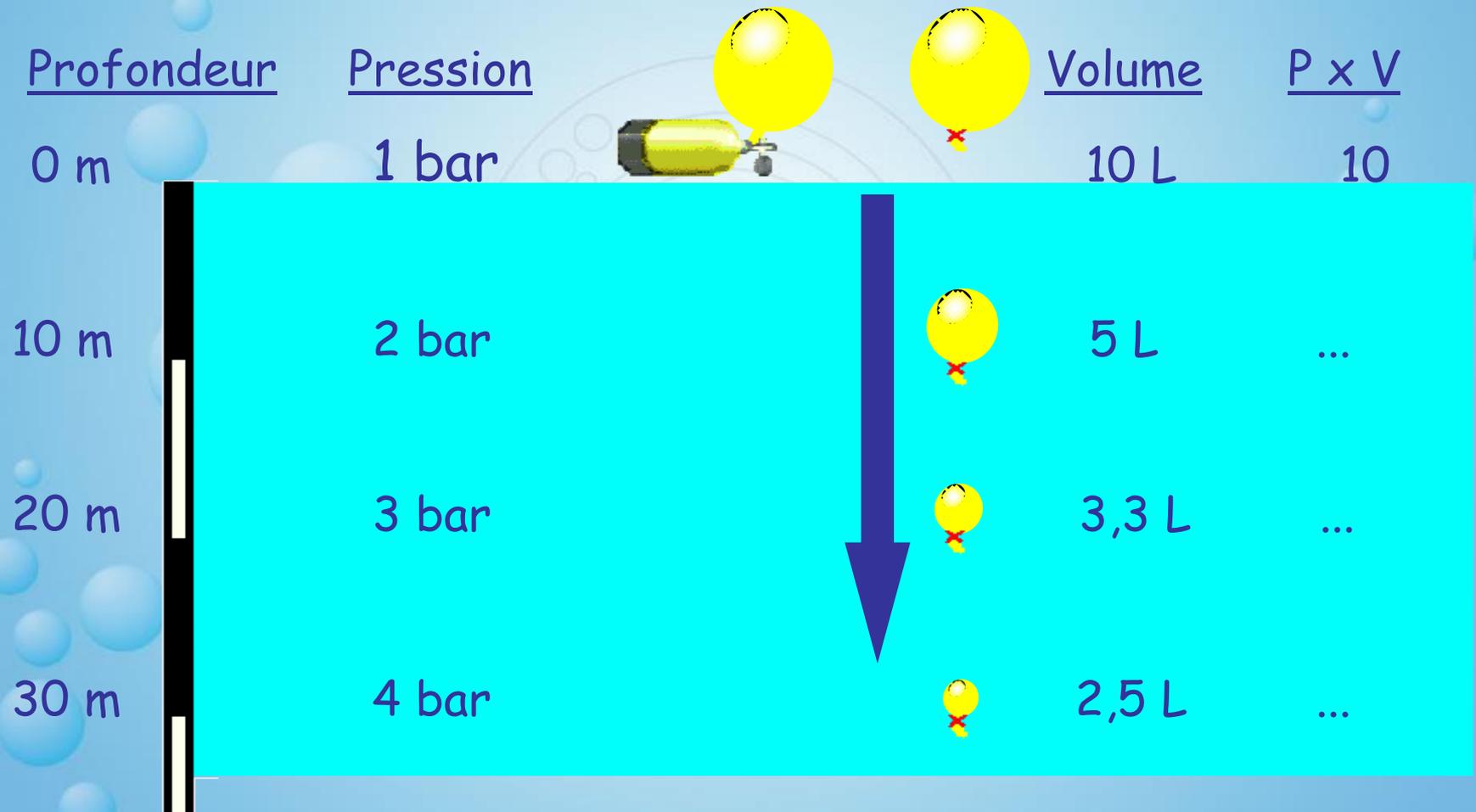


**Loi physique de base No3:
la loi de Boyle Mariotte**





Boyle Mariotte : expérience





Compressibilité des gaz : la loi de Boyle Mariotte



Les solides et les liquides sont quasi incompressibles : même en augmentant fortement la pression, leur volume reste quasi constant.

Les gaz sont très compressibles :

A température constante,

le volume occupé par une masse donnée de gaz

est inversement proportionnel à la pression :

$$P \times V = C^{te}$$

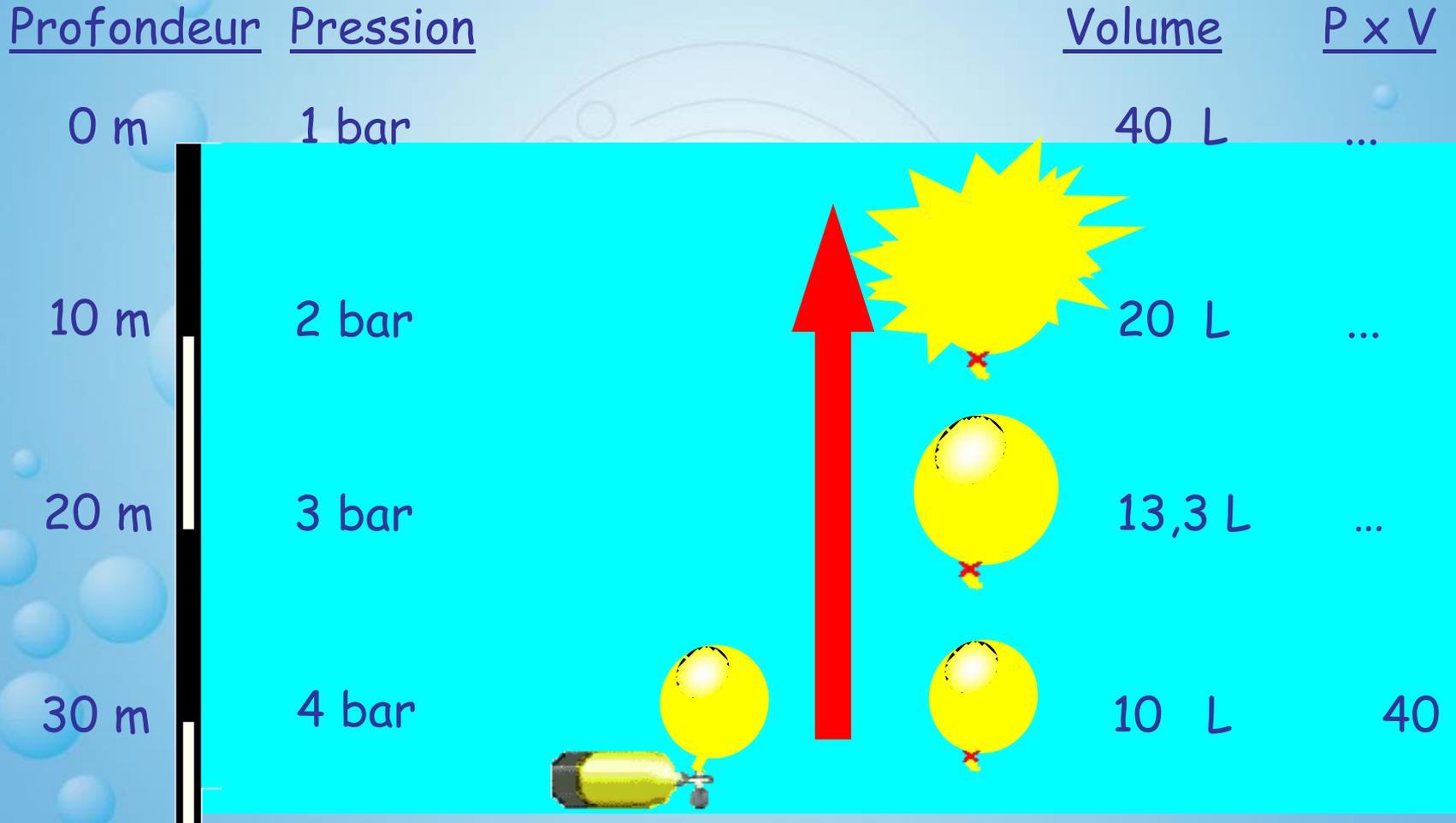
on peut aussi écrire

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$



Boyle Mariotte

Danger





Application à la plongée:

Là où il y a de l'air dans le corps il y a danger!

Pourquoi?

Parce que l'air qui est respiré en profondeur est sous pression. Donc lors de la remontée il va se dilater!



Autres applications à la plongée:

- gonflage des bouteilles**
- gilet**
- parachute**
- consommation d'air**
- placage du masque**
- compression des bulles d'air de la combi**



Quelques notions de physiologie du corps humain liées aux problèmes de pression

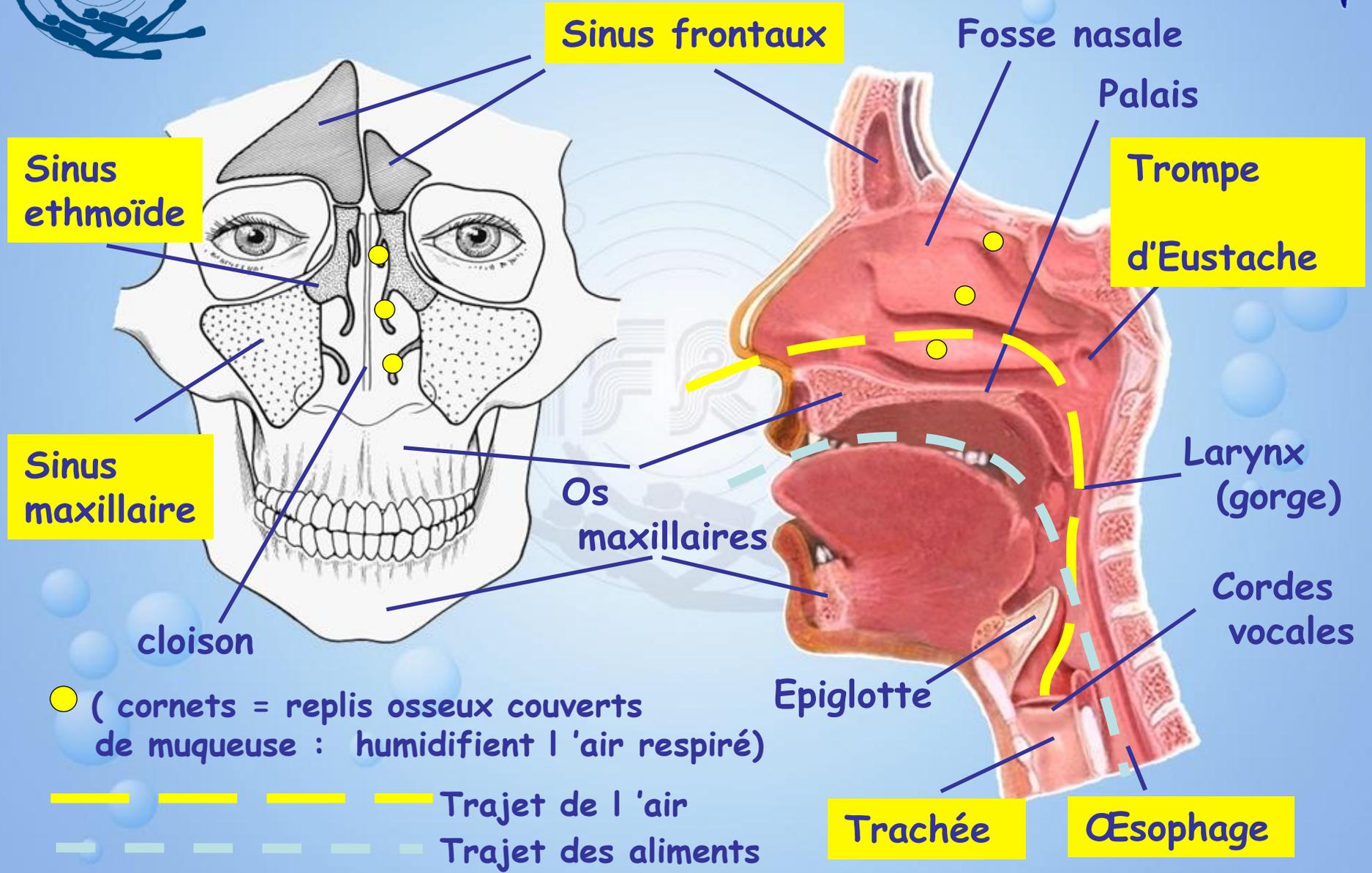
Où y a-t-il de l'air dans le corps?



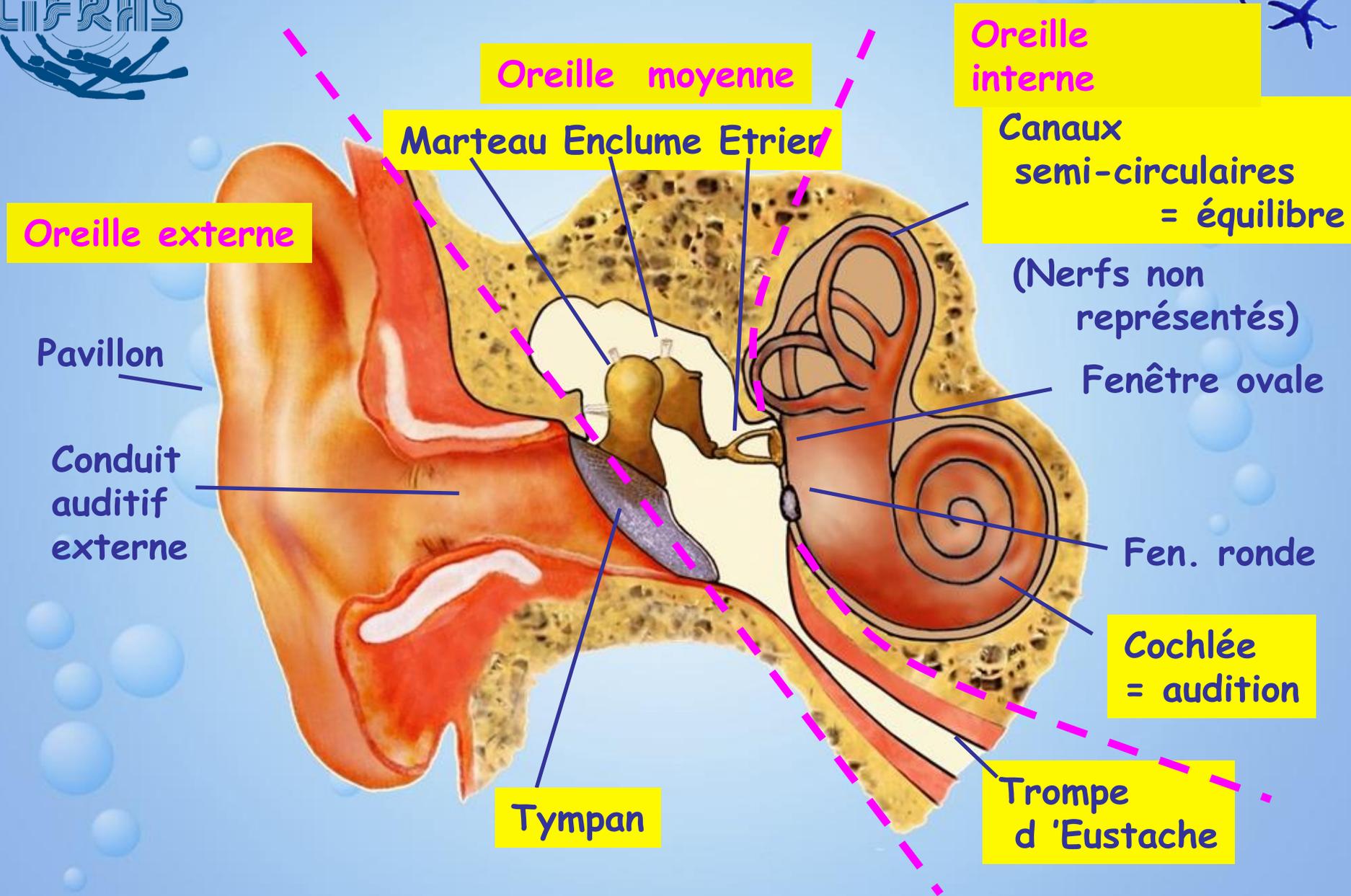
Où y a-t-il de l'air dans le corps?

- poumons et système respiratoire en général**
- os poreux: sinus frontaux**
- oreilles**
- intestins**
- dent mal chaussée**
- pas dans le corps mais lié: dans le masque**

Tête : cavités aériennes



L'oreille



Oreille moyenne

Oreille interne

Marteau Enclume Etrier

Canaux semi-circulaires = équilibre

Oreille externe

(Nerfs non représentés)

Pavillon

Fenêtre ovale

Conduit auditif externe

Fen. ronde

Cochlée = audition

Tympan

Trompe d'Eustache

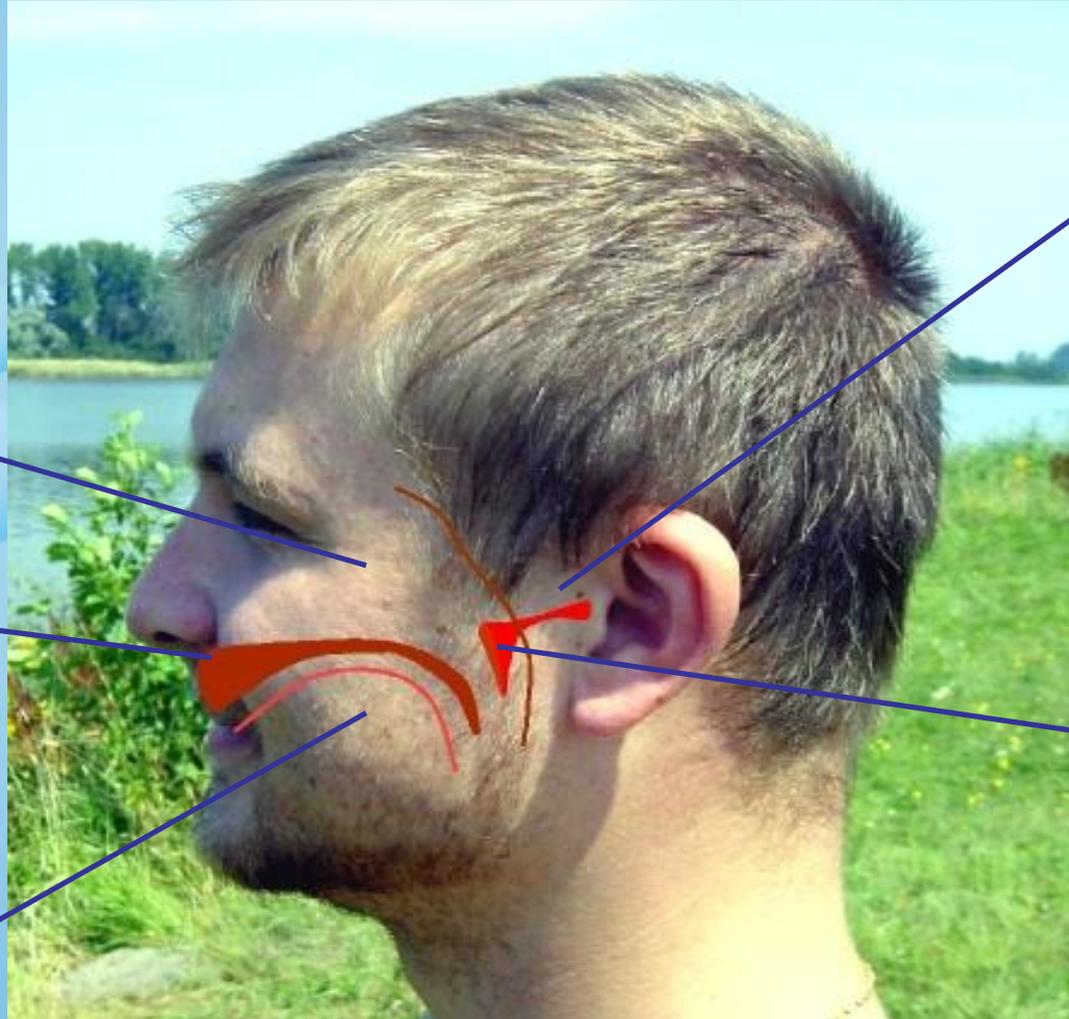
La trompe d'Eustache



Fosses
nasales

Palais

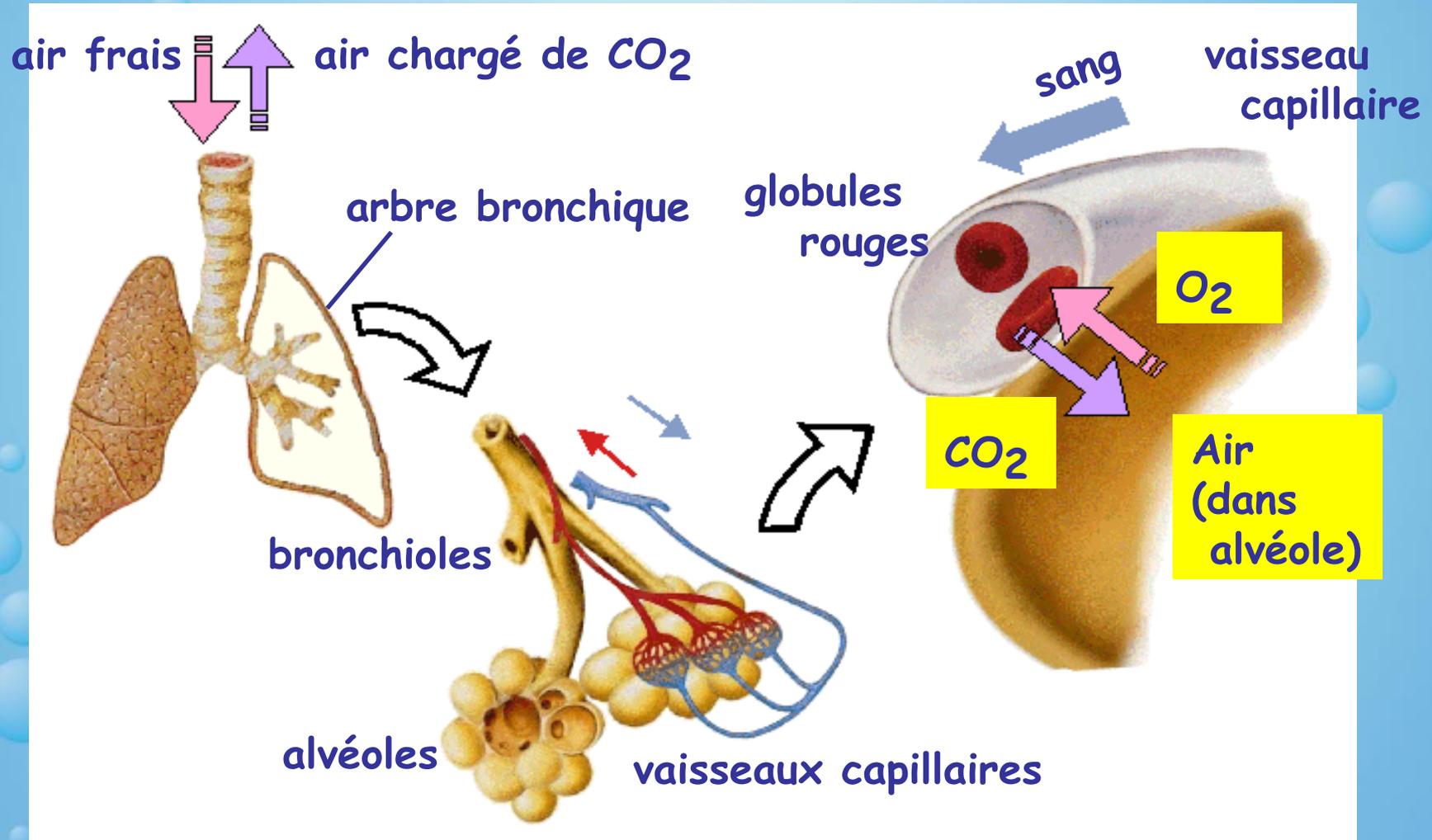
Langue



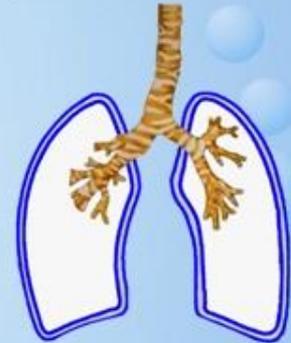
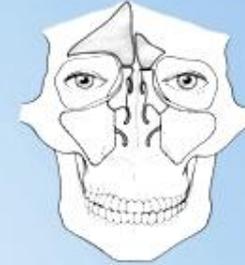
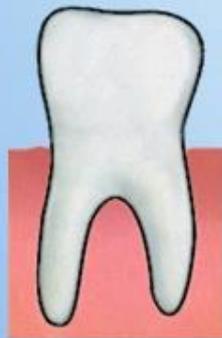
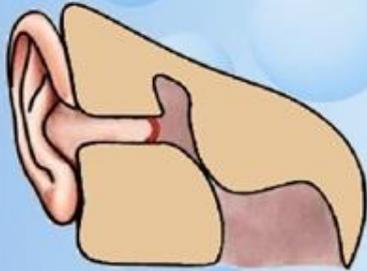
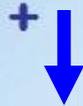
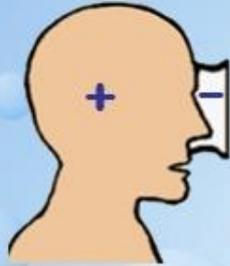
Trompe
d'Eustache

Orifice
de la trompe
d'Eustache
dans le pharynx

Les voies aériennes inférieures



Les barotraumatismes





Les barotraumatismes:

- surpression pulmonaire!**
- placage de masque**
- oreille moyenne: tympanans!; vertige
alternobarique, saignements de la muqueuse**
- oreille interne: onde de choc**
- sinus**
- dents**
- colique**



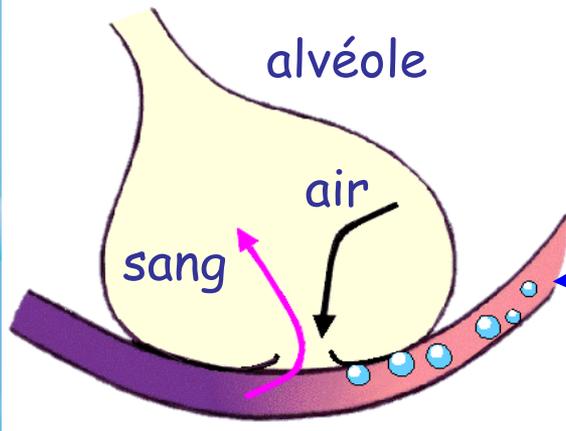
La surpression pulmonaire

**Remontée
expiration bloquée**

**Embolie
cérébrale**

Atteintes des alvéoles

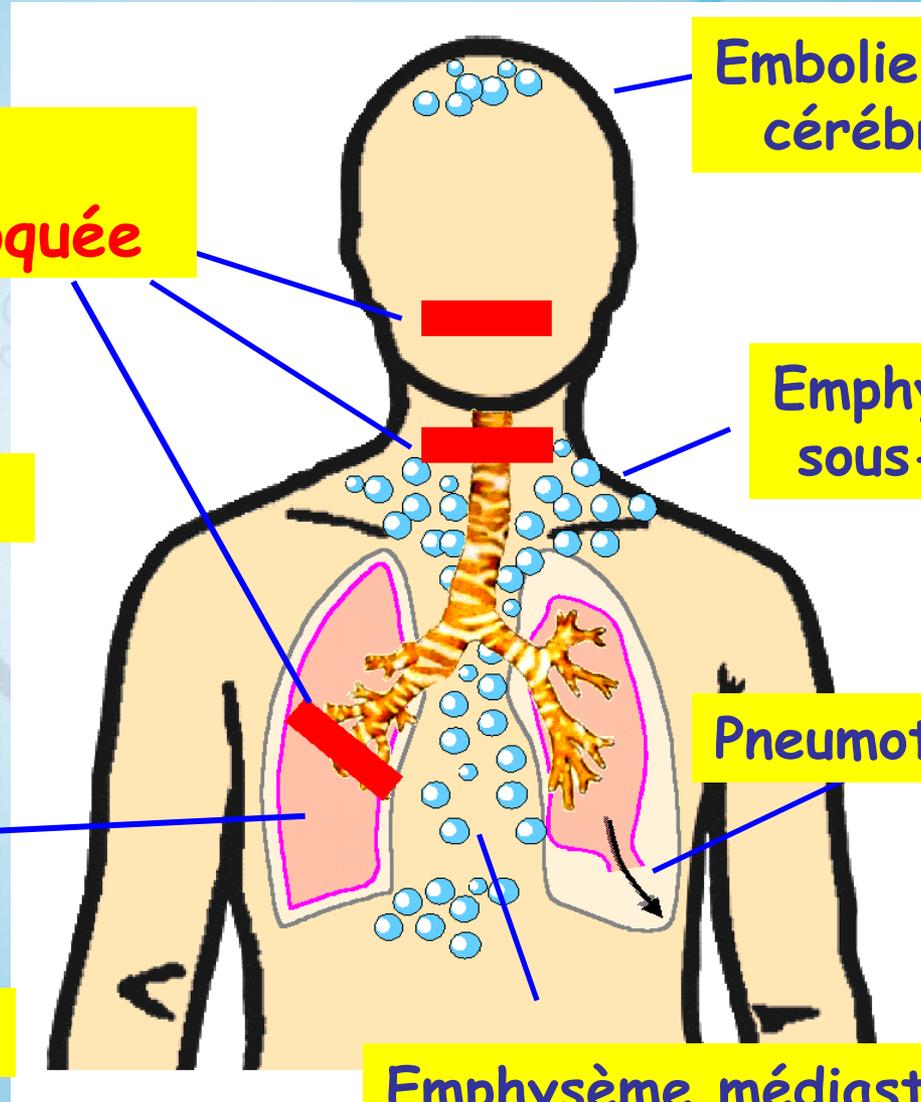
**Emphysème
sous-cutané**



Pneumothorax

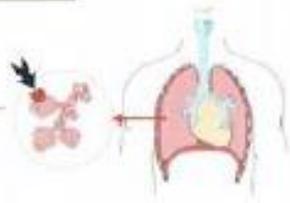
Aéroembolie

Emphysème médiastinal



Déchirure alvéolaire

Lésions pulmonaires



Sang dans les poumons

Réduction de la surface d'échange disponible

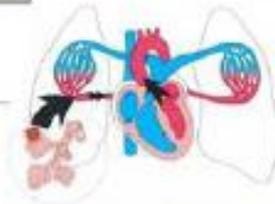
Respiration difficile et douloureuse

Toux

Crachats sanglants

Douleur dans la cage thoracique

Embolie



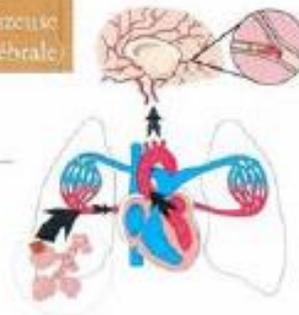
Air dans les capillaires pulmonaires

Air dans les cavités cardiaques

Air dans l'aorte

Embolies coronaires

EGAC
(Embolie gazeuse artérielle cérébrale)



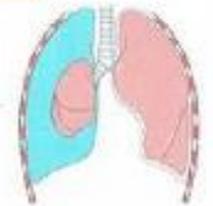
Mêmes symptômes qu'un ADD neurologique

Autres embolies

Air extravasculaire

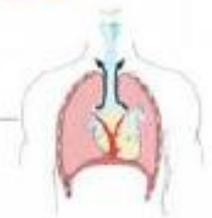
Air suit les voies aériennes

Plèvre



Pneumothorax

Mediastin



Emphysème sous-cutané

Pneumomédiastin

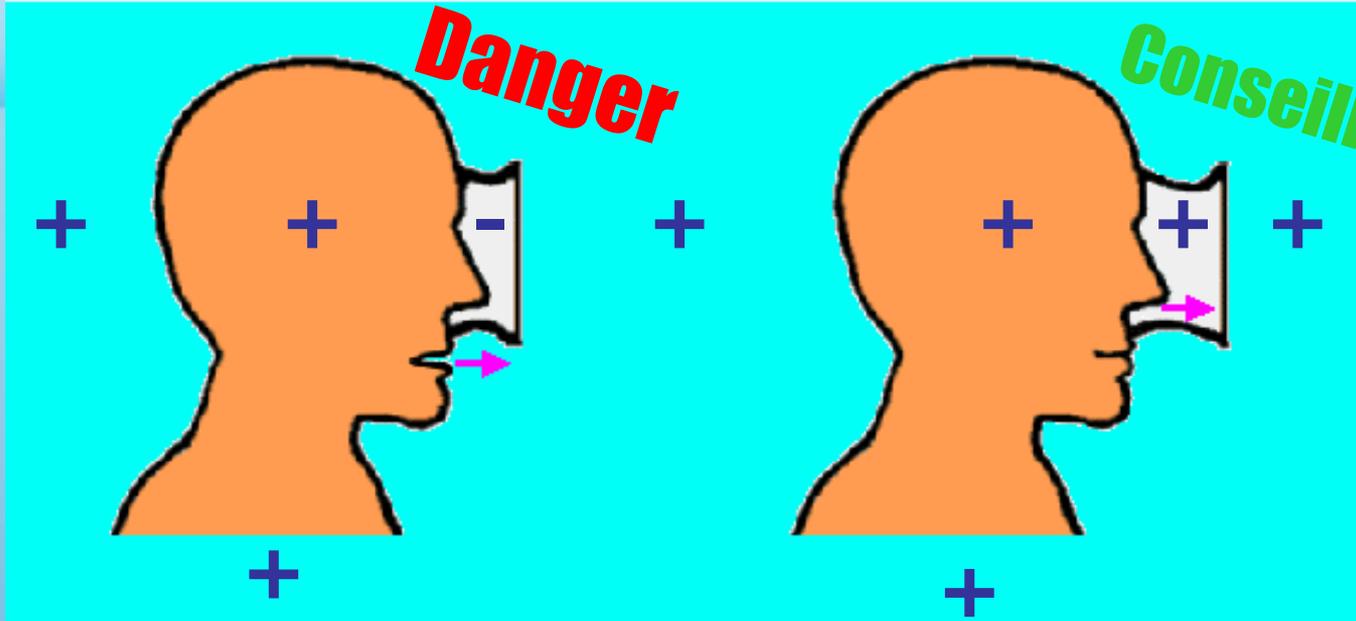
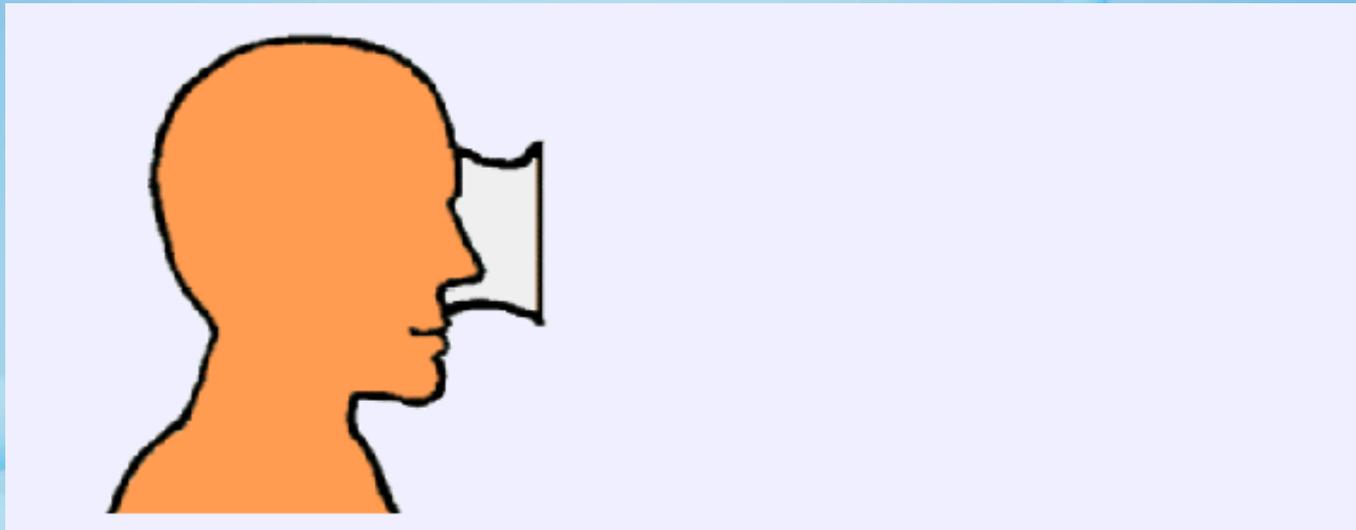


Causes de la surpression pulmonaire:

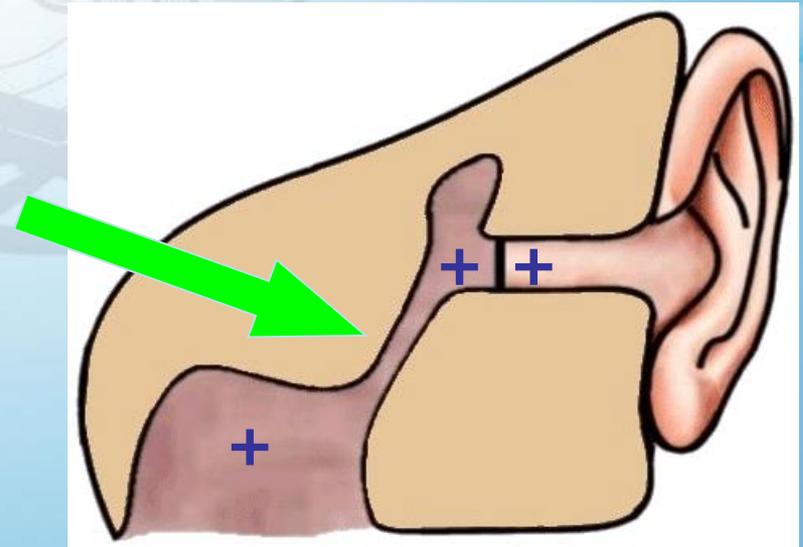
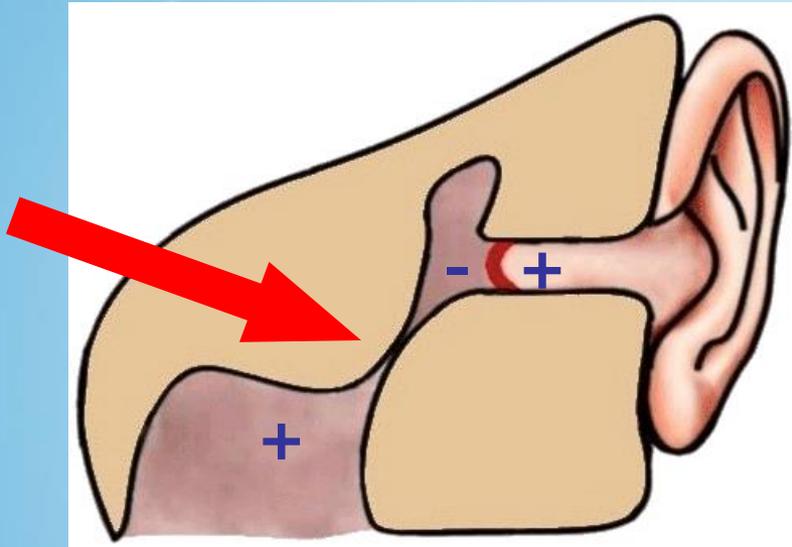
- remontée trop rapide!
- blocage de la respiration (sécrétions, spasme, malformation, asthme, bronchite...)



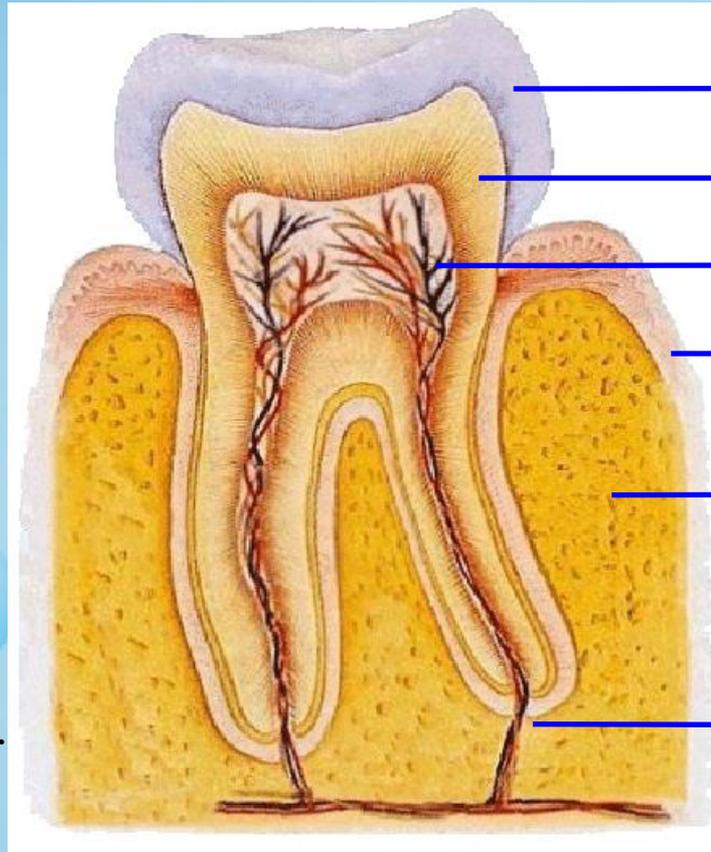
L'effet ventouse du masque



Barotraumatisme du tympan



Barotraumatisme dentaire



émail

dentine

pulpe

gencive

os

vaisseaux sanguins, nerfs

racine

- 1) Descente : une carie mal obturée peut se remplir d'air
- 2) En cours de plongée : le passage de l'air peut se boucher (par exemple si le plombage bouge)
- 3) Remontée : dilatation, douleur... explosion