



# **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**

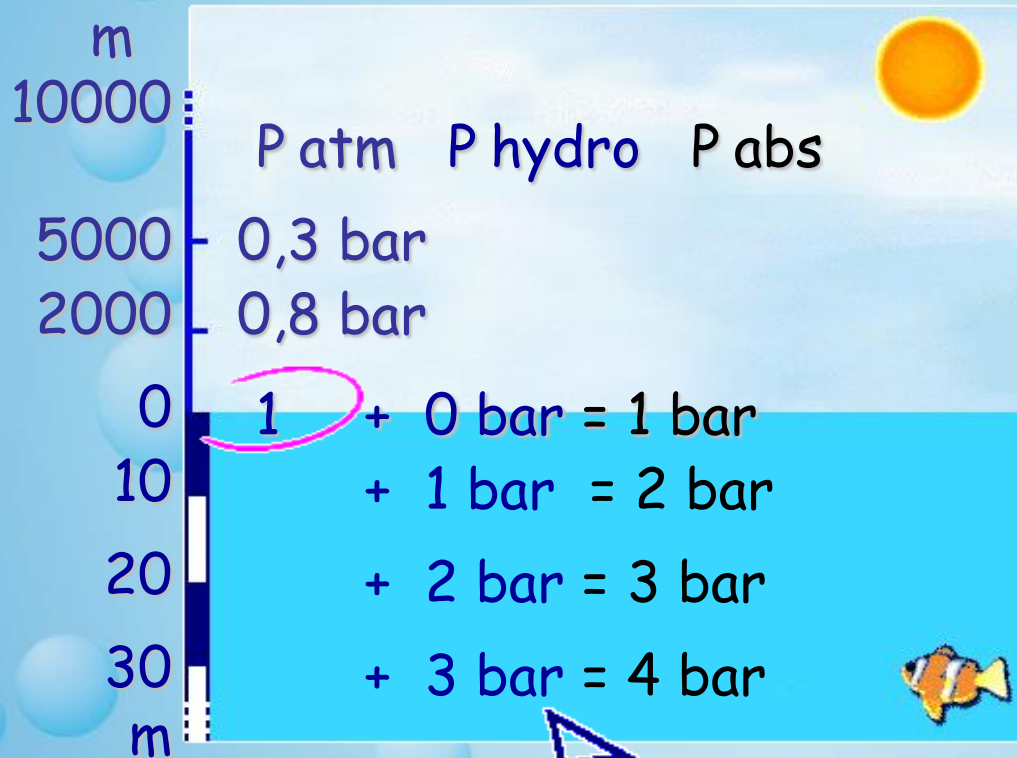


## **Ce que le 3\* est sensé connaître (en plus) après ce cours:**

- 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

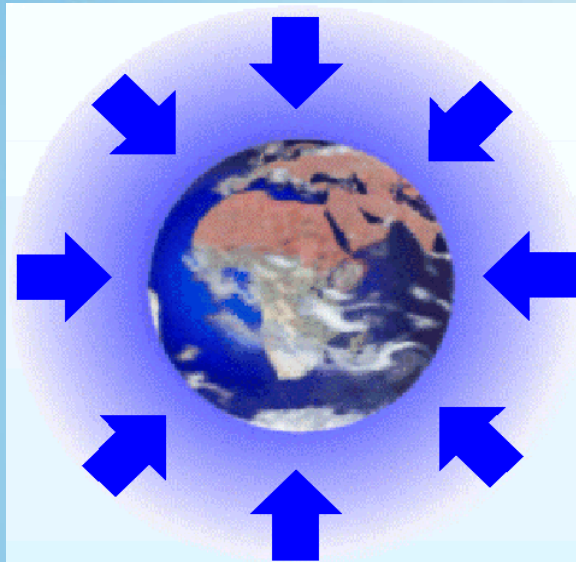
A la surface de la mer, tout l'air pesant sur notre tête pèse l'équivalent de 10 m d'eau. Donc déjà à 10 m de profondeur on a doublé la pression habituelle!



**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



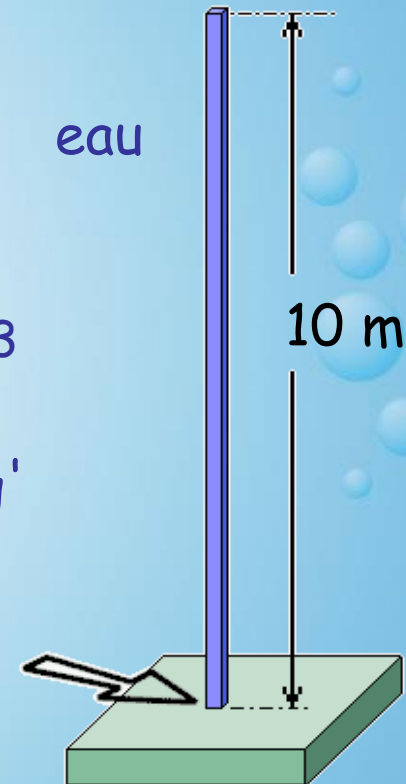
est due  
au poids de la colonne d'eau  
au-dessus de nous

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

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

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

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

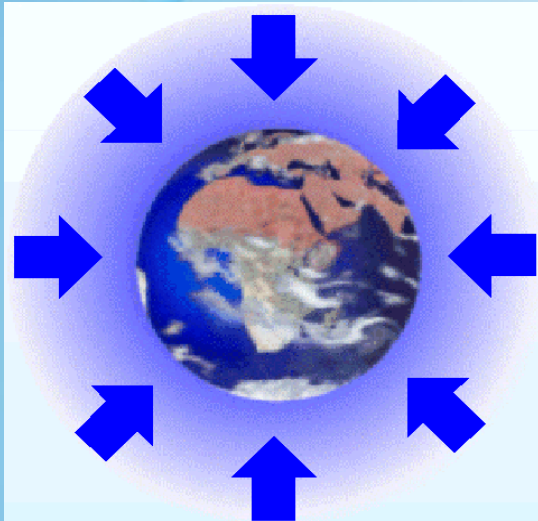


**10 m d'eau → P hydro = 1 bar**





# La Pression absolue ou totale est la somme des deux



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



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

1 bar / 10 m



# Quelques rappels de base

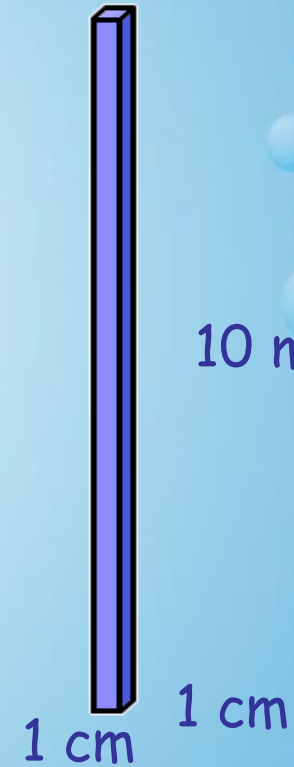
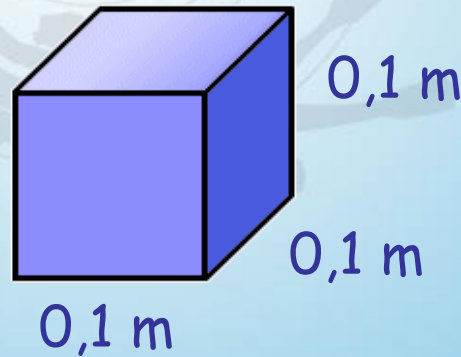




# Information générale: Unités de volume

Volume :  $\text{m}^3$ ,  $\text{dm}^3$

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



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 :

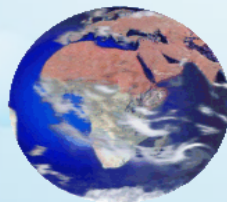
**1 kg de matière** pèse **1 kg' = 9,81 N ~ 10 N**

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

masse 100 g



↓ 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 !



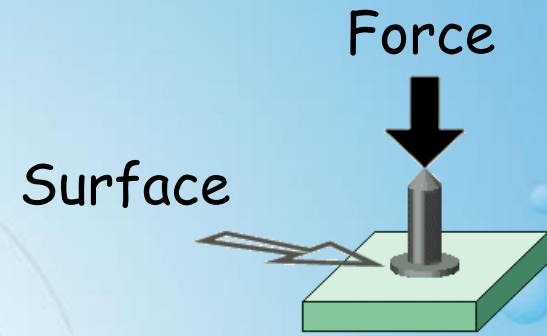
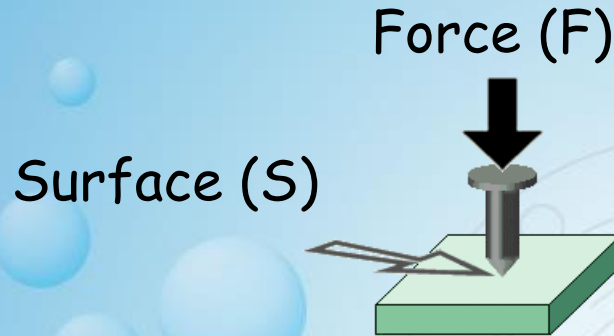
Définition simplifiée :

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 :

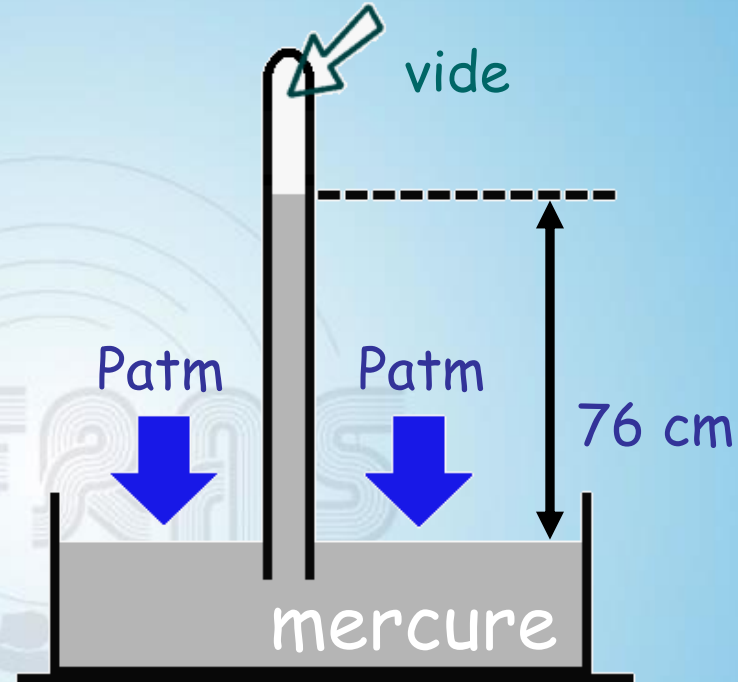
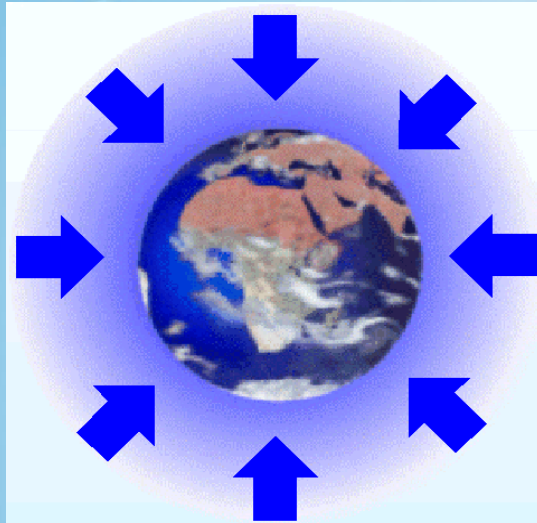
$$1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ Pa}$$

Anciennes unités : le kg'/cm<sup>2</sup> et l'atmosphère :

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



# Information générale: Le 1<sup>er</sup> baromètre : Torricelli



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

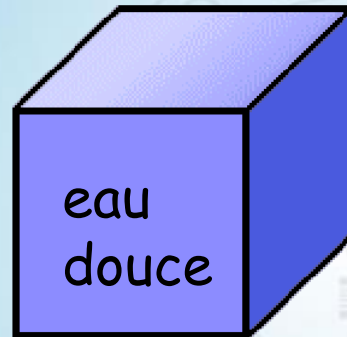
**0,760 m de mercure = 1 atm ~ 1 bar**

# 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 :

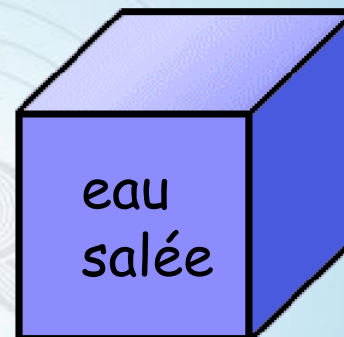


1 dm<sup>3</sup> (= 1 L)

1 kg

masse volumique : 1 kg / L

densité : 1

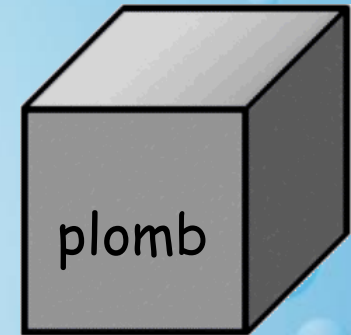


1 dm<sup>3</sup>

1,03 kg

1,03 kg / L

1,03



1 dm<sup>3</sup>

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  $0^{\circ}\text{C}$  ?

Réponse :

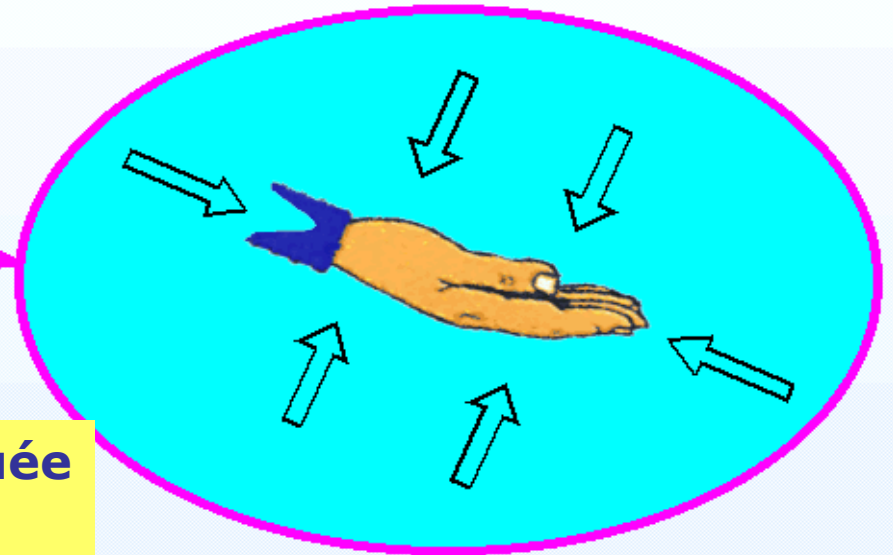
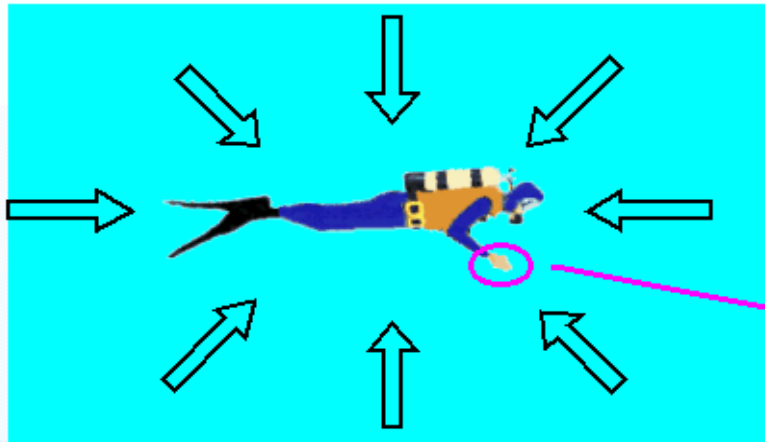
$15 \times 150 = 2250 \text{ L}$  ; poids d'air =  $2250 \text{ L} \times 1,3 \text{ g/L} \sim 2,9 \text{ kg}$



**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**







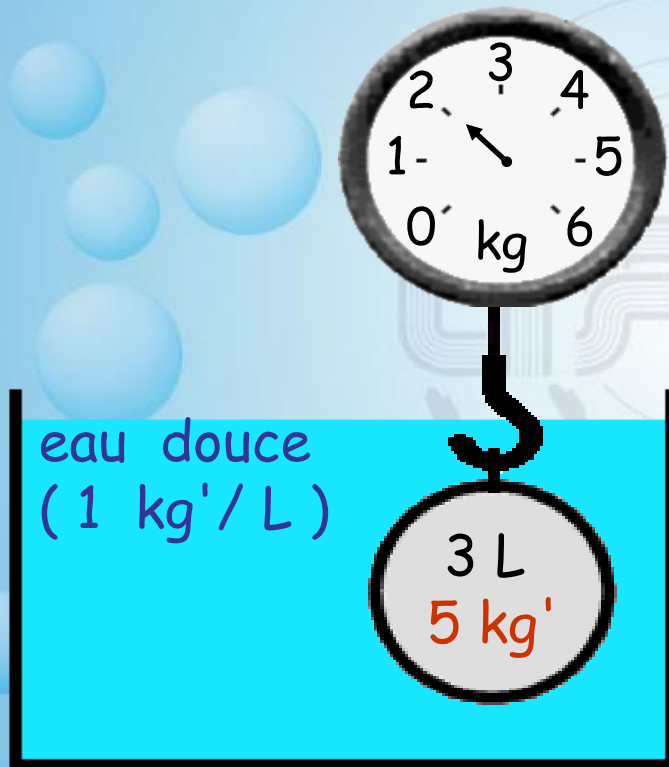
**Loi physique de base No2:  
la poussée d'Archimède**

**Pourquoi?**

**Parce qu'elle influence notre équilibre**

# La poussée d'Archimède

## Expérience :



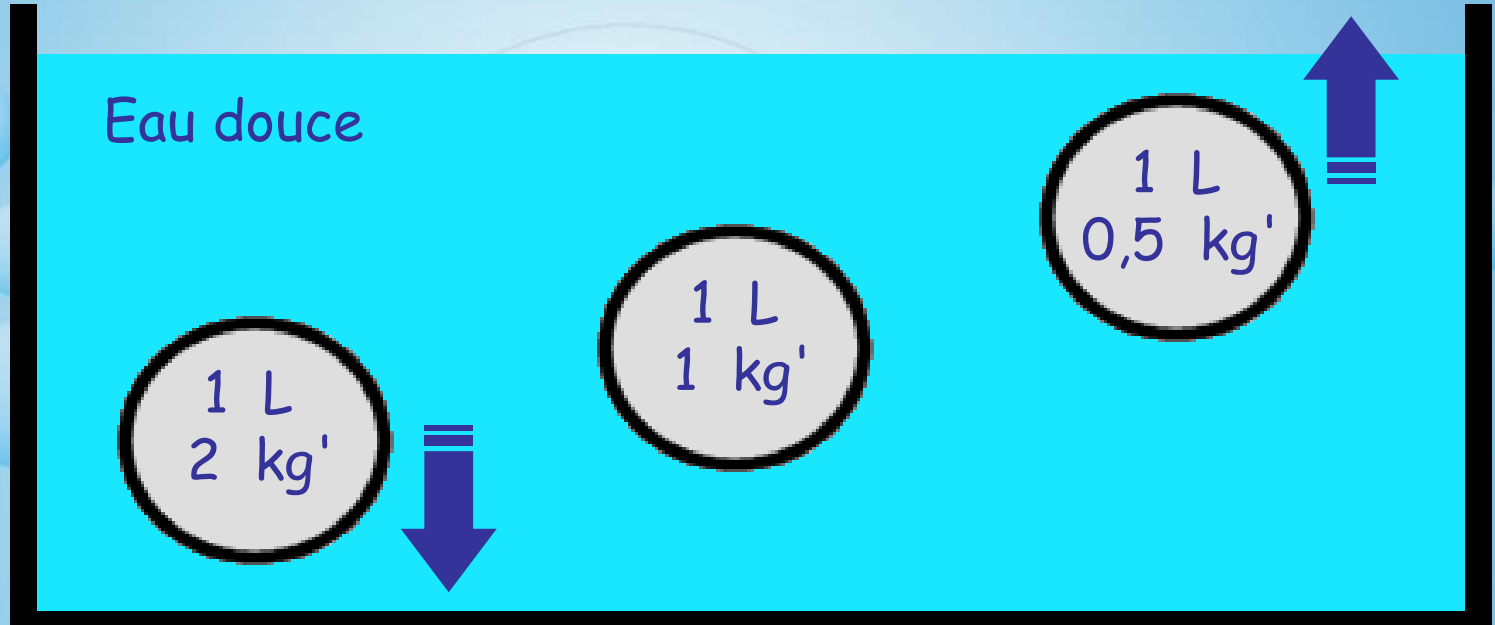
Un objet dans un fluide subit une poussée verticale vers le haut ...

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



# La flottabilité (eau douce)

Expérience :



Flottabilité : **négative**

**nulle**

**positive**

L'objet : **coule**

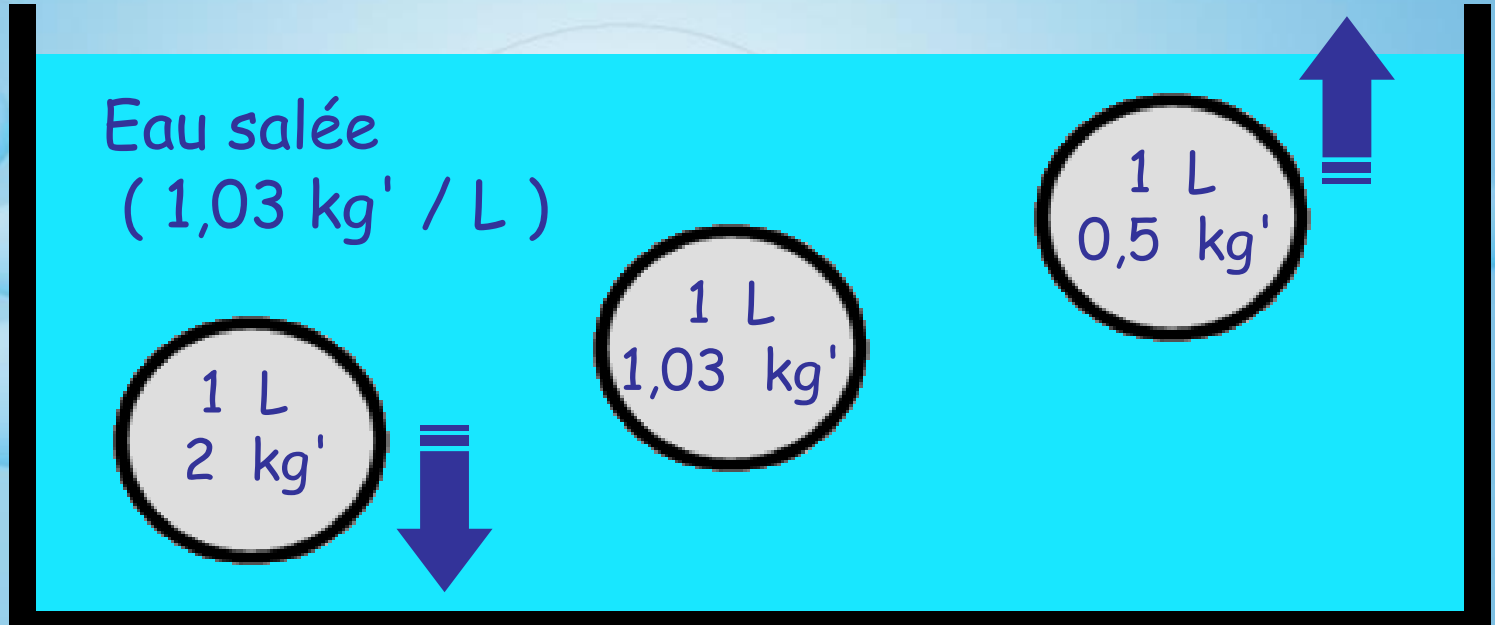
**est en  
équilibre**

**remonte à  
la surface**



# La flottabilité (eau salée)

Expérience :



Flottabilité : **négative**

**nulle**

**positive**

L'objet : **coule**

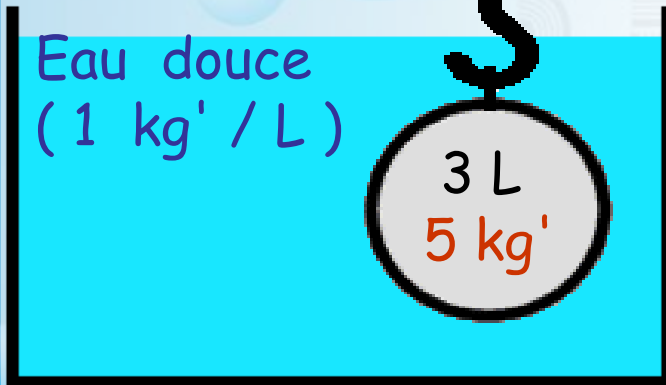
**est en  
équilibre**

**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 :**

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

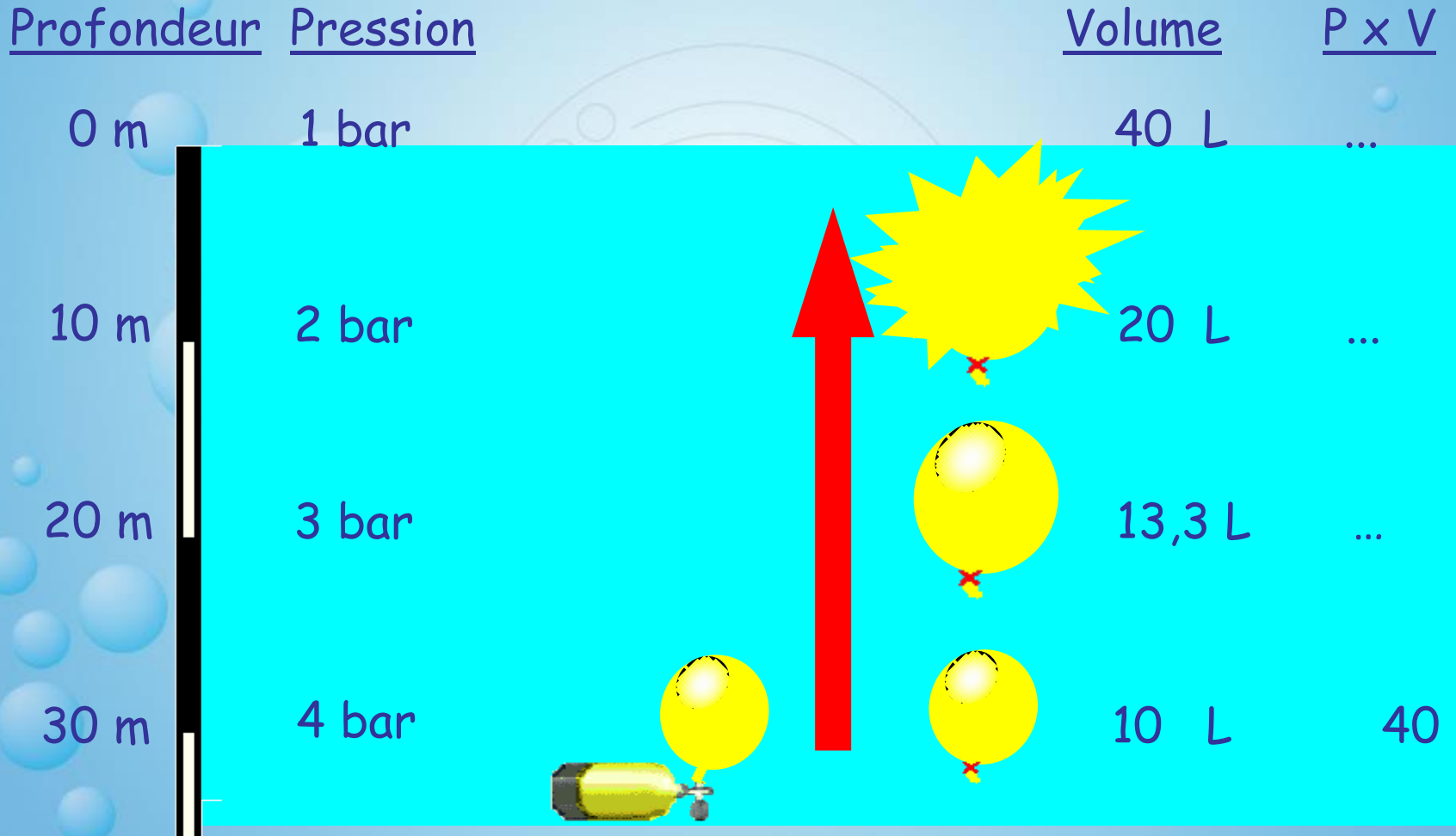
**on peut aussi écrire**

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



# 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**

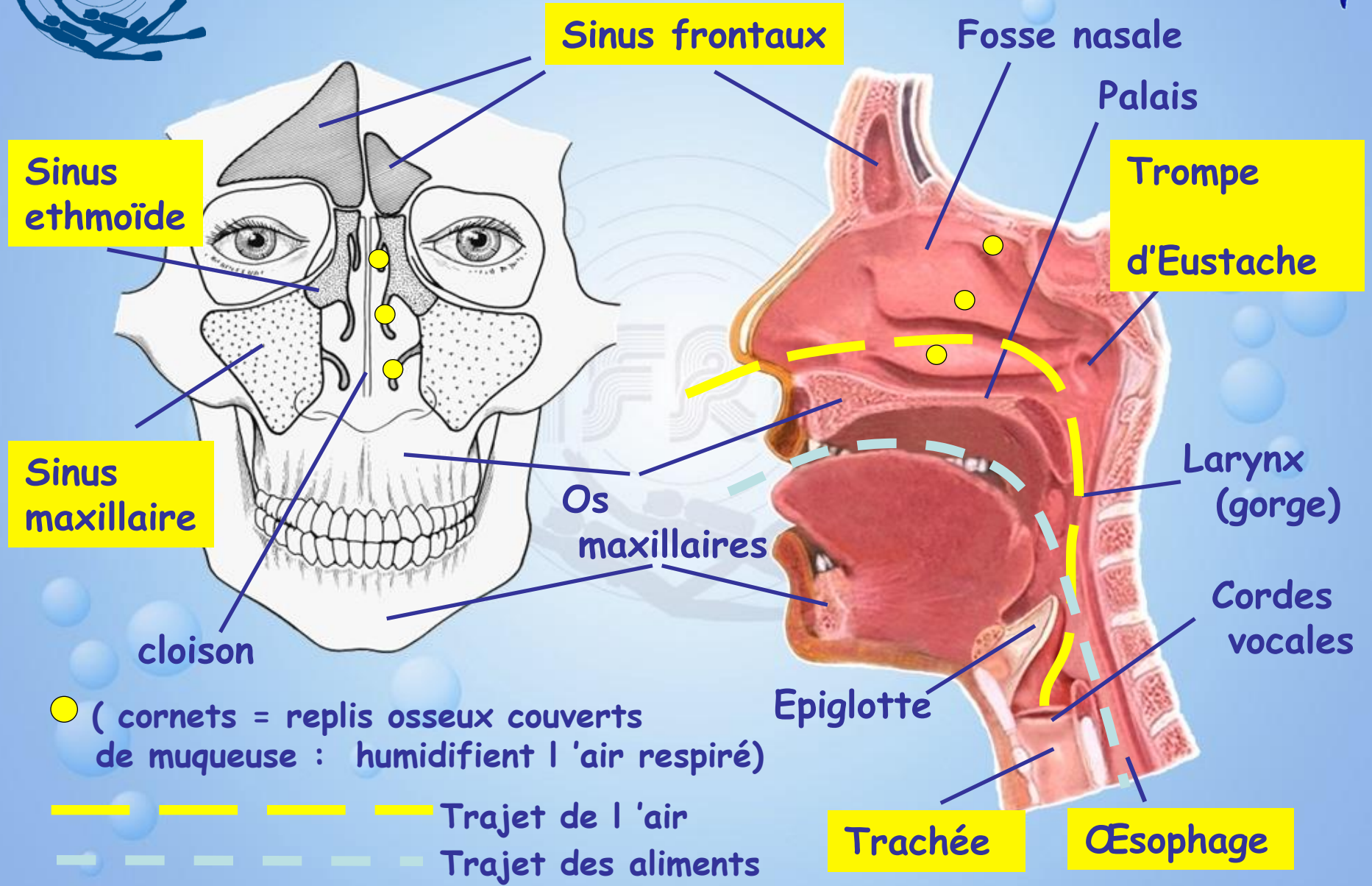
**Où y a-t-il de l'air dans le corps?**



## **Où y a-t-il de l'air dans le corps?**

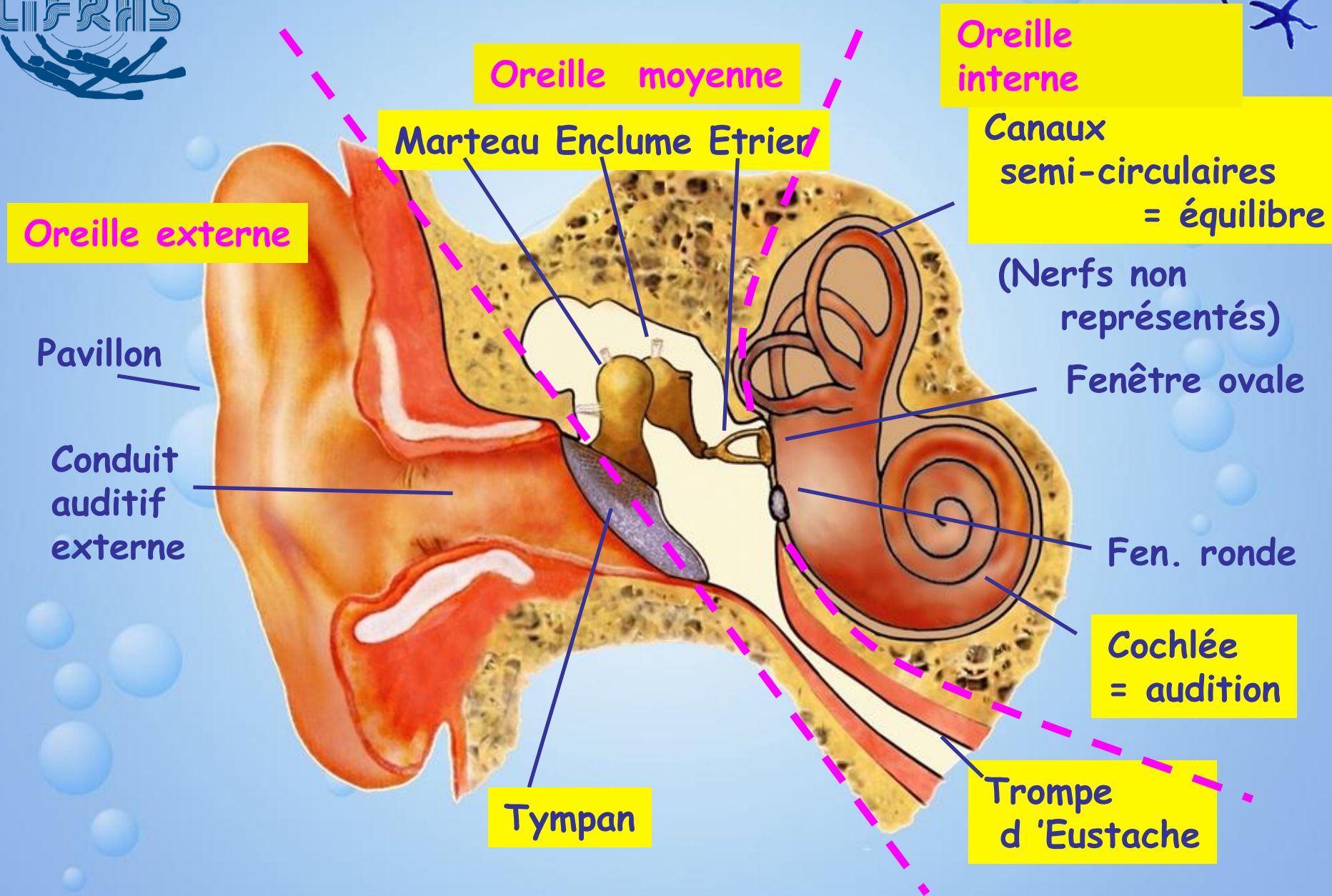
- poumons et système respiratoire en général**
- os poreux: sinus frontaux**
- oreilles**
- intestins**
- dent mal chaussée**
- pas dans le corps mais lié: dans le masque**

# Tête : cavités aériennes





# L'oreille



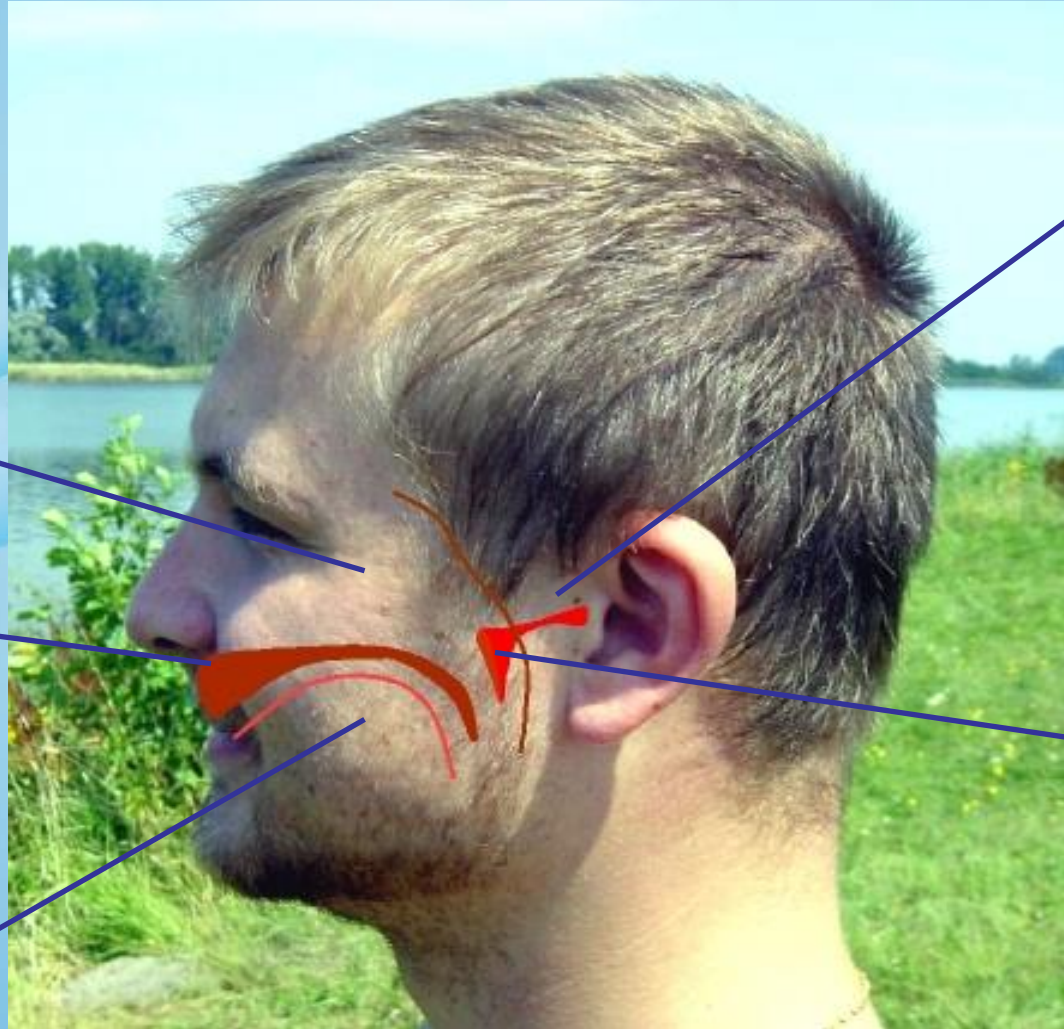
# La trompe d'Eustache



Fosses  
nasales

Palais

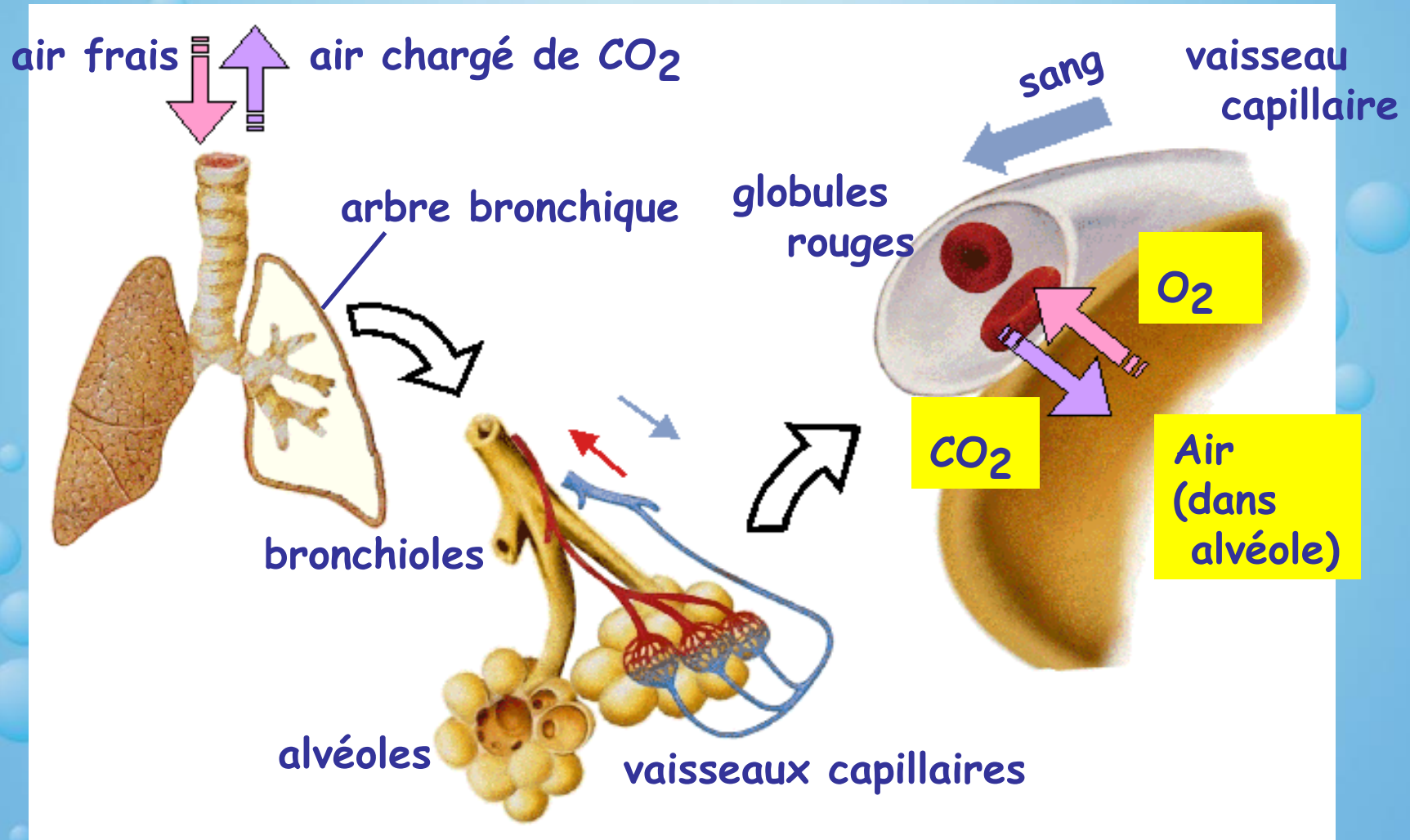
Langue



Trompe  
d'Eustache

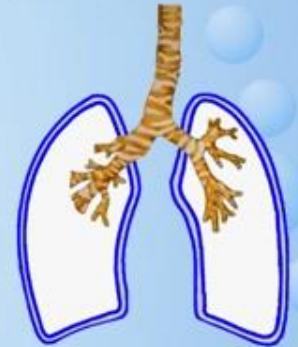
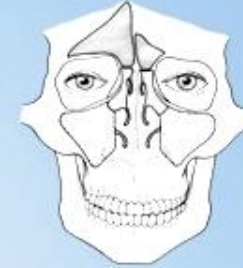
Orifice  
de la trompe  
d'Eustache  
dans le pharynx

# Les voies aériennes inférieures





# Les barotraumatismes





## **Les barotraumatismes:**

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



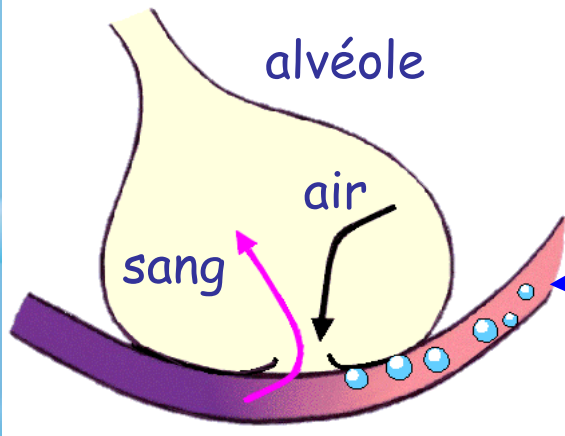
# La surpression pulmonaire

**Remontée  
expiration bloquée**

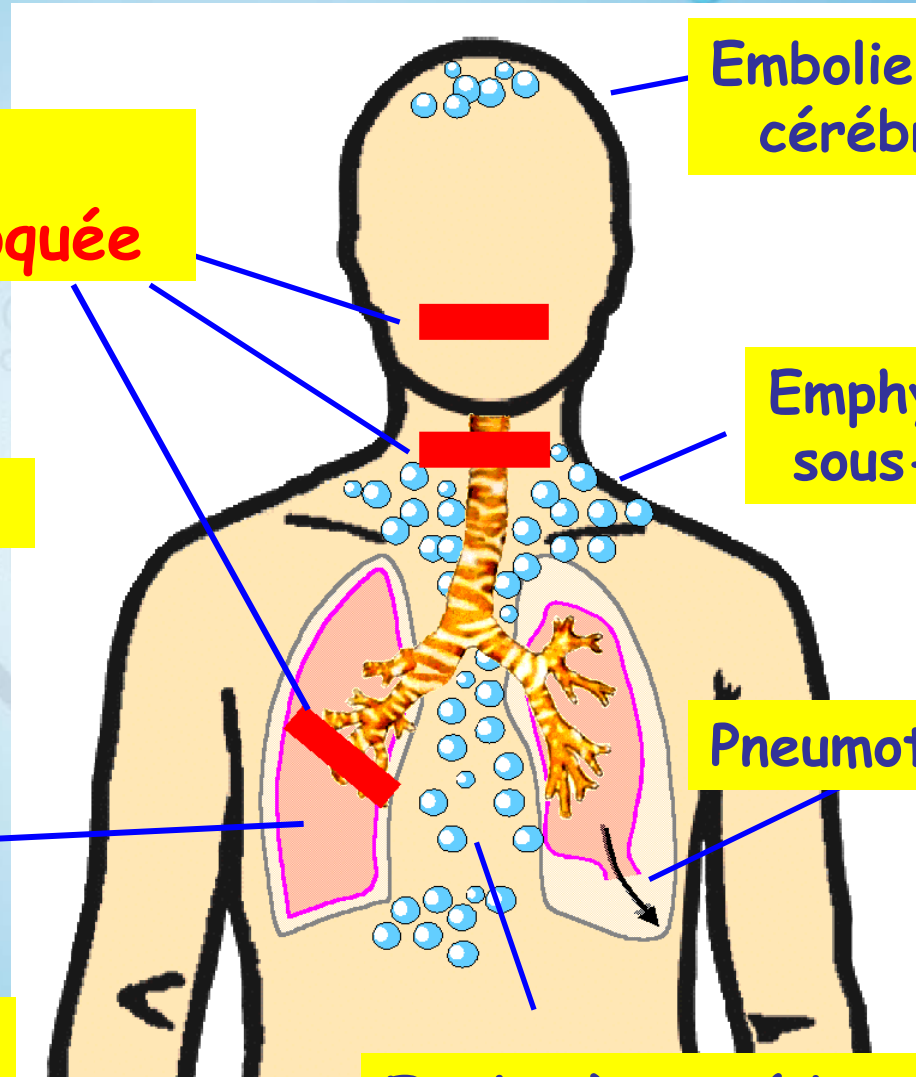
**Embolie  
cérébrale**

**Atteintes des alvéoles**

**Emphysème  
sous-cutané**



**Aéroembolie**

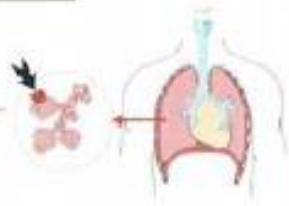


**Pneumothorax**

**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



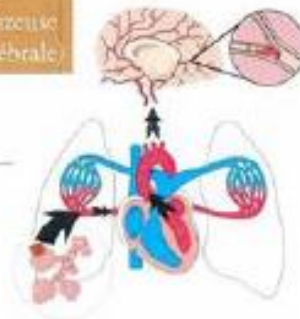
Air dans les capillaires pulmonaires

Air dans les cavités cardiaques

Air dans l'aorte

Embolies coronaires

EGAC (Embolie gazeuse artérielle cérébrale)



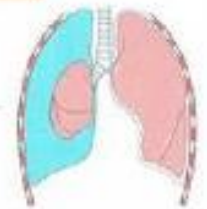
Mêmes symptômes qu'un ADD neurologique

Autres embolies

## Air extravasculaire

### Air suit les voies aériennes

#### Plèvre



Pneumothorax

#### Mediastin



Emphysème sous-cutané

Pneumomédiastin



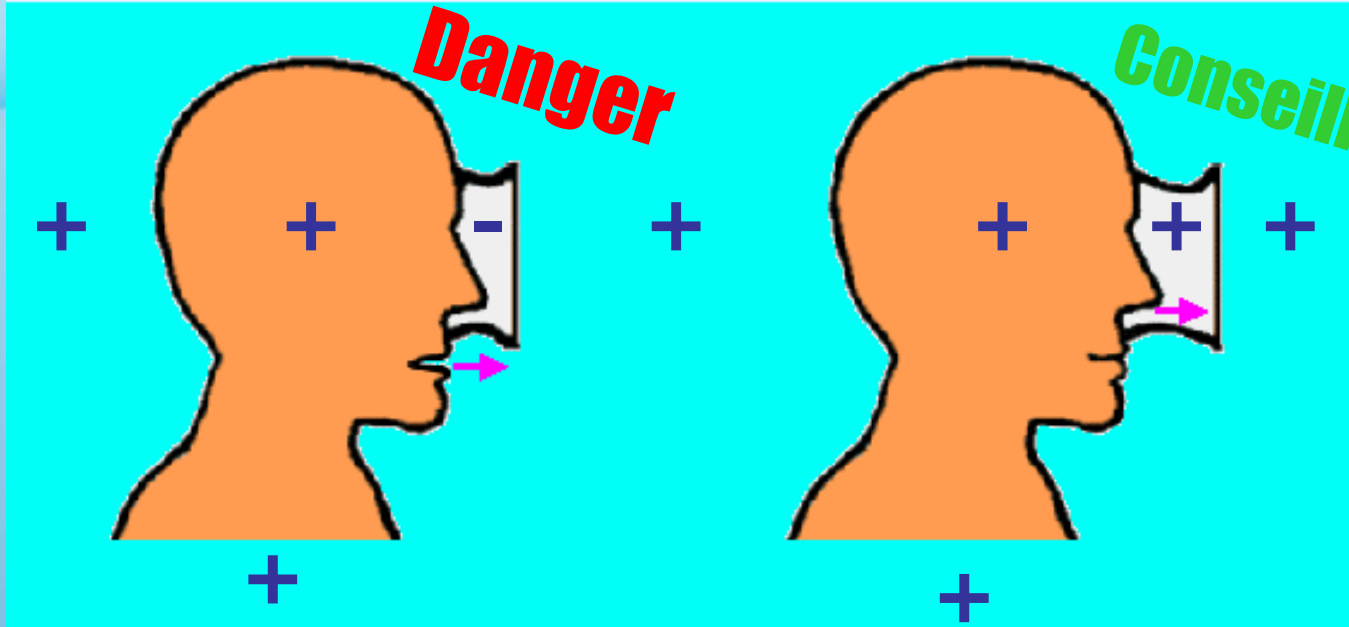
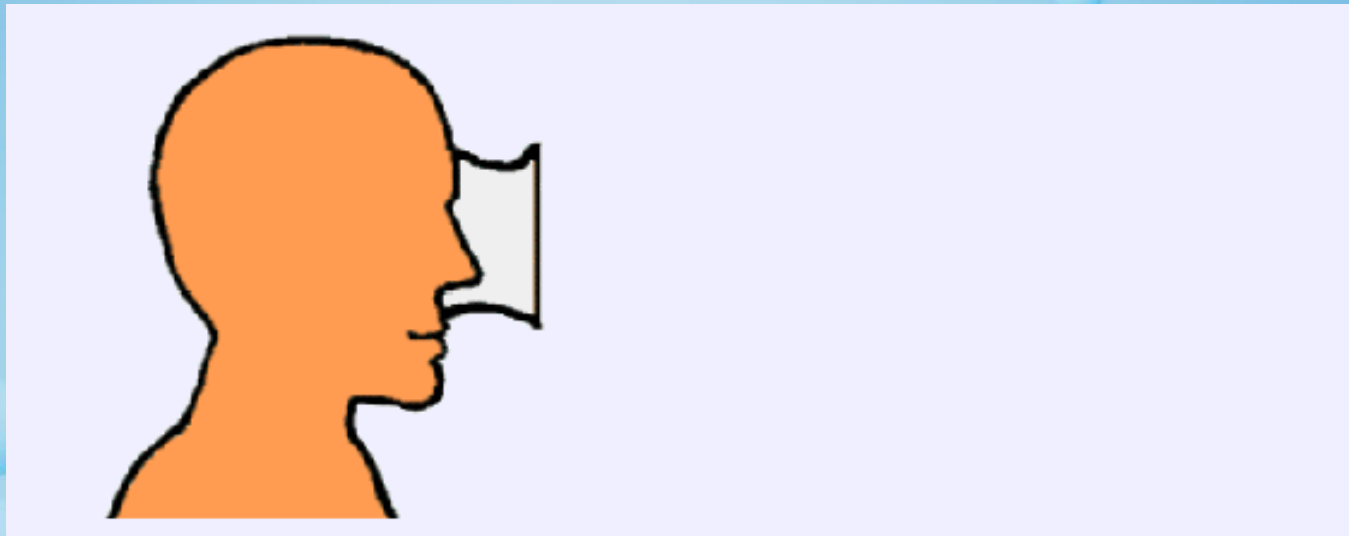


## **Causes de la surpression pulmonaire:**

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

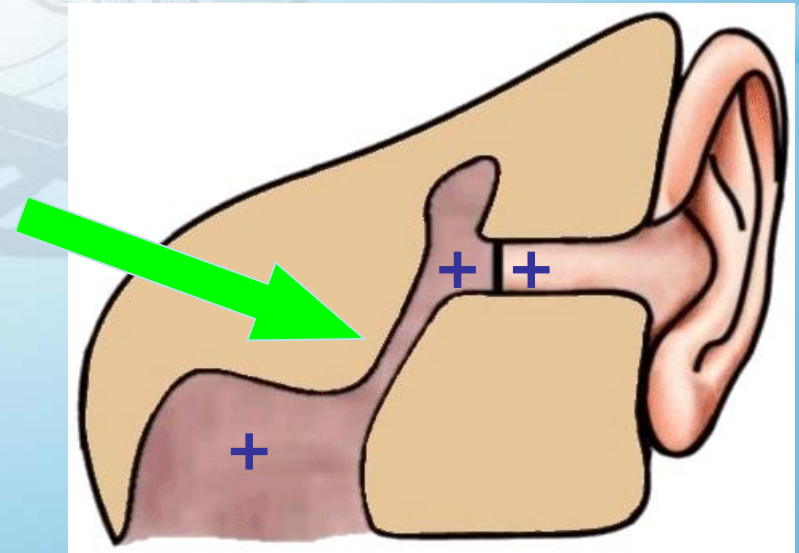
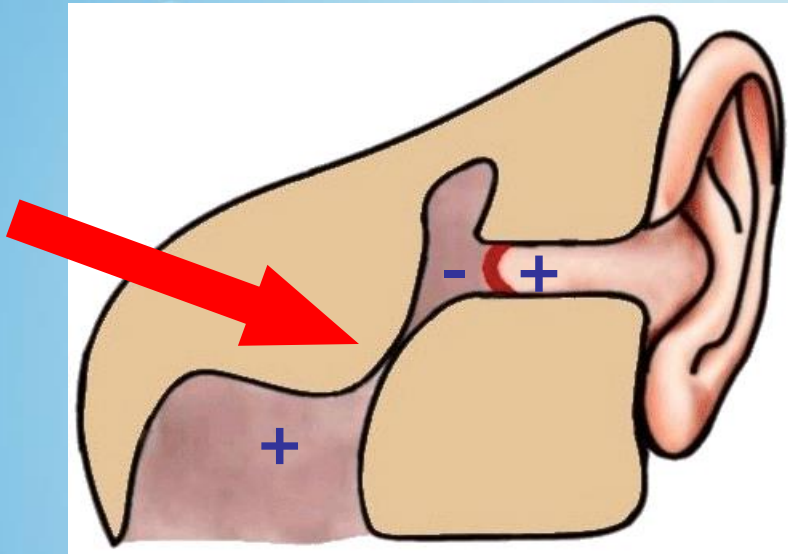


# L'effet ventouse du masque

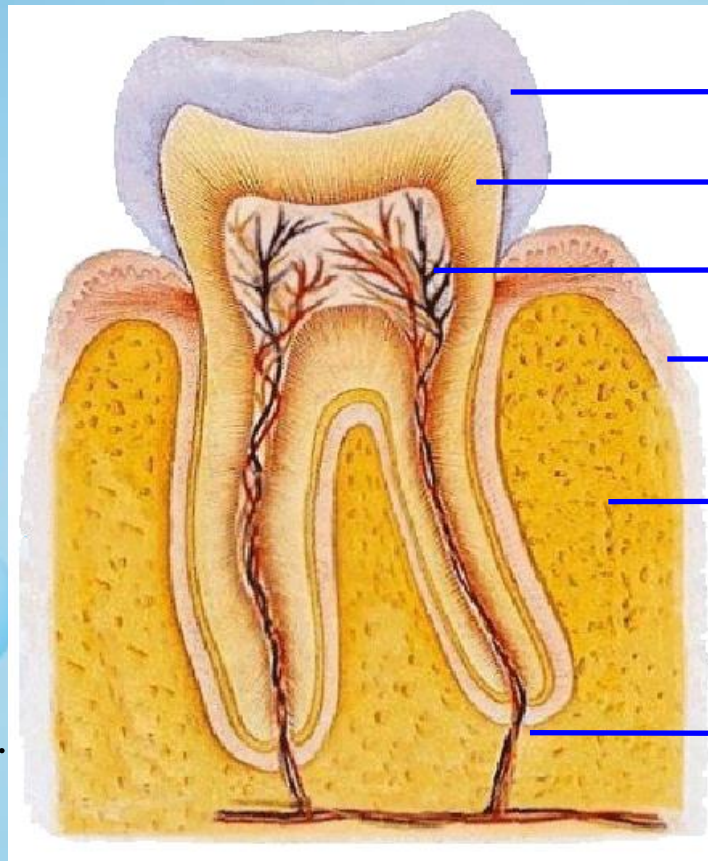




# Barotraumatisme du tympan



# 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