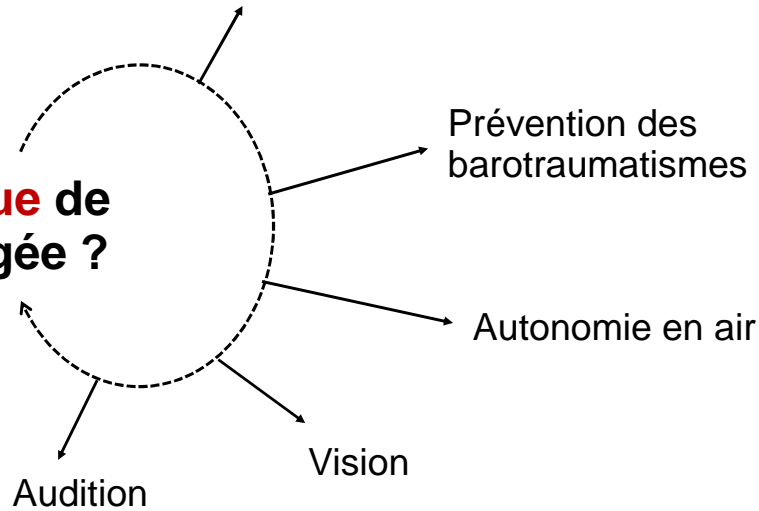


Des **explications** sur : Flottabilité



## Physique de la plongée ?



## Des **observations**...



Les principes physiques impliqués:

- « Mon bloc est léger dans l'eau »
- « Je dois me lester pour réussir à m'immerger »
- « Je dois gonfler mon gilet à la descente pour ne pas couler »
- « A 40 m, les plongées durent moins longtemps qu'à 20 m »
- « Quand je me redresse pour prendre pied sur la cale, mes pieds ne touchent pas le sol ! »

Archimède

Pression EAU = f (profondeur)

Compressibilité des gaz

Pression AIR RESPIRE = Pression EAU

Réfraction de la lumière

## PLAN DU COURS

1. **Poids apparent**
2. **Pressions**
3. **Compressibilité des gaz**
4. **Perception**
  - A. **vision**
  - B. **audition**

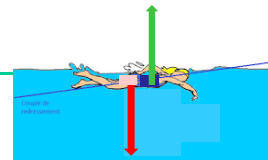
## Quand un corps pénètre dans l'eau...

- Pourquoi la nageuse ne tombe-t-elle pas au fond de la mer ?

Elle subit :

- son *poids* (= masse x gravité) vers le fond
- la *poussée d'Archimède* vers la surface

La nageuse flotte quand les forces s'opposent avec la même grandeur

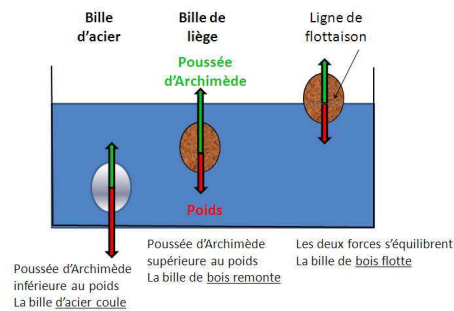


« **Tout corps**, plongé dans un liquide, **subit de la part de ce dernier une poussée verticale** orientée vers le haut, **correspond au poids du liquide déplacé** »

- Y a-t-il toujours équilibre ?

**NON** si  $\text{densité}_{\text{corps}} > 1$

(  $1 = \text{densité}_{\text{eau}}$  )

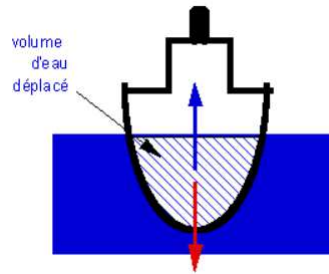


□ Et pourquoi les bateaux en acier flottent-ils ?

si  $\text{densité}_{\text{acier}} \gg 1$ ,

la coque est creuse avec  $\text{densité}_{\text{air}} \sim 0$

⇔  $\text{densité}_{\text{moy.coque}} \ll 1$



## Et en plongée ?



Les 2 forces existent aussi : résultante = un 2ème Poids ....

$$\text{Poids}_{\text{apparent}} = \text{Poids}_{\text{réel}} - \text{Poussée}_{\text{Archimède}}$$

👉 **explique** « Mon bloc est léger dans l'eau »

**Question** : Poids apparent d'un bloc de 12l acier pesant 17 kg immergé en carrière ? (l'épaisseur 7mm du bloc sera négligée)

**Mais** « Que se passe-t-il à la descente ? »

rappels :

$$\mathbf{Poids_{apparent}} = \mathbf{Poids_{réel}} - \mathbf{Poussée_{Archimède}}$$

$> 0 \Leftrightarrow$  le corps « coule »



$\mathbf{Poids_{apparent}} ?$

on veut  $\mathbf{Poids_{apparent}} > 0$

$\mathbf{Poussée_{Archimède}} ?$

$\Rightarrow \mathbf{Poussée_{Archimède}} < \mathbf{Poids_{réel}}$

Or  $\mathbf{Poussée_{Archimède}}$  **proportionnelle** à volume  $\mathbf{V}$  déplacé

En termes de variation de volume ?  $\Rightarrow$  lors descente  $\mathbf{V_{\downarrow}} < \mathbf{V_{surface}}$

👉 **explique** « Vider les poumons pour s'immerger »

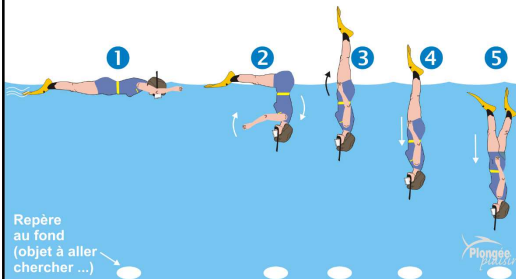
**Et** « Lorsque l'on s'immerge en canard ? »

rappels :

$$\mathbf{Poids_{apparent}} = \mathbf{Poids_{réel}} - \mathbf{Poussée_{Archimède}}$$

$> 0 \Leftrightarrow$  le corps « coule »

**IMMERSION : LE CANARD**



En termes de volume immergé :

$$\mathbf{V_{canard\_etape\_3}} < \mathbf{V_{surface\_etape\_1}}$$

$\Rightarrow \mathbf{Poussée_{A.canard}} < \mathbf{Poussée_{A.surface}}$

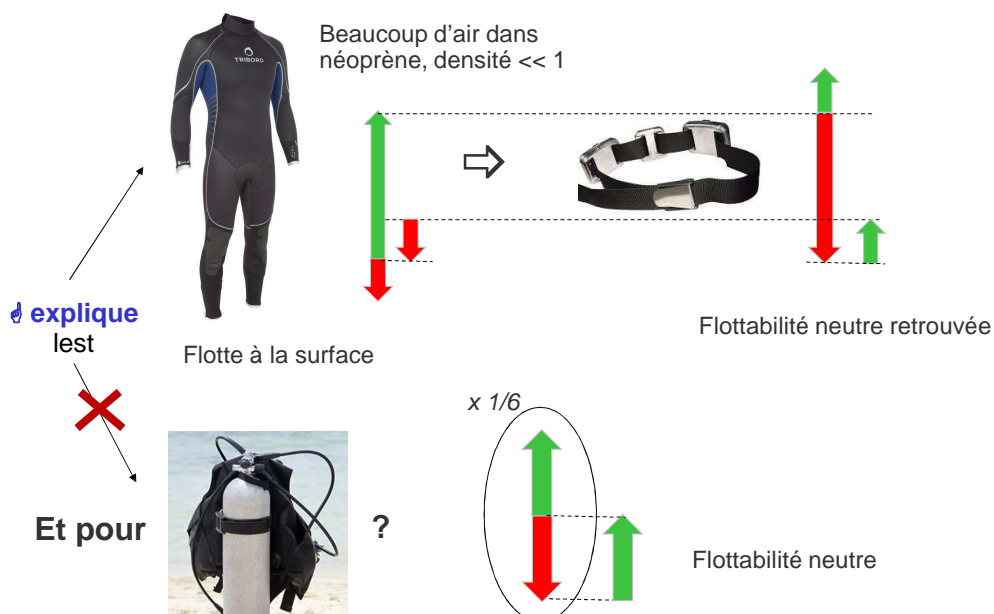
$\Rightarrow \mathbf{Poussée_{A.canard}} < \mathbf{Poids_{réel}}$

$\Rightarrow \mathbf{Poids_{apparent}} > 0$

A partir de l'étape 5, le plongeur retrouve la flottabilité neutre qu'il avait à l'étape 1

Et quand on ajoute  
une combinaison :

« Canard toujours possible ? »



## PLAN DU COURS

1. Poids apparent
2. Pressions
3. Compressibilité des gaz
4. Perception
  - A. vision
  - B. audition

## Qu'est-ce qu'une **pression** ?

- Une force rapportée à une unité de surface

$$P = \frac{F}{S}$$

- Unités SI : Pascal = N/m<sup>2</sup>  
pression atmosphère : 1013 hectoPascal (hPa)

- En plongée, l'unité est le bar

$$1 \text{ bar} = 1 \text{ kg/cm}^2$$



$$1013 \text{ hPa} \sim 1\,000 \cdot 10^2 \text{ Pa} = 10^5 \text{ N/m}^2 = 10^5 \text{ N}/(10^2 \text{ cm})^2 = 10^5/10^4 \text{ N/cm}^2 = 10 \times (\text{Masse} / \text{Gravité}) \text{ kg/cm}^2 = 10 \times (1/10) = 1 \text{ bar}$$

appréciation pression



3-4 bars

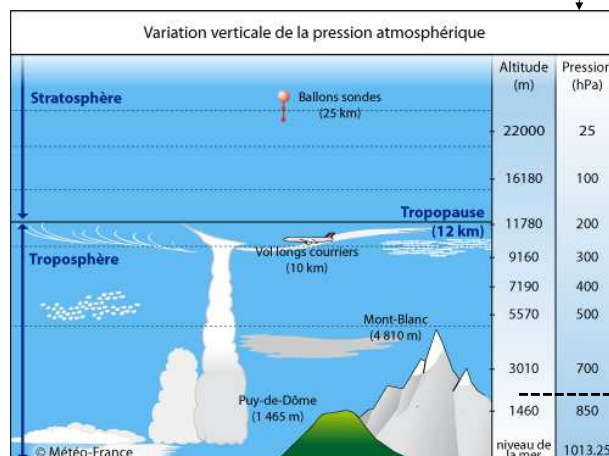


230 bars

## Quelle est l'**origine** de la **pression atmosphérique** ?

Le **poinds** de l'air

par unité de surface



altitude pressurisation cabine

0,8 < 1 bar, **explique** interdiction vol après plongée

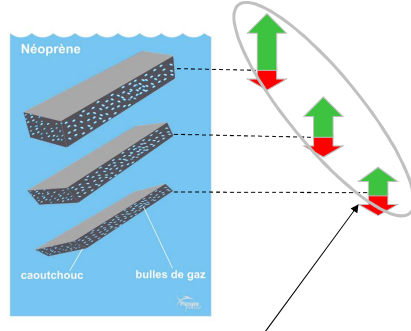
## Et quand est-il de la **pression sous l'eau** ?

$$P_{eau} = P_{atm} + \text{poids de l'eau} / \text{unité de surface}$$



$$P_{eau} = 1 + \frac{\text{profondeur}}{10}$$

« Et pourquoi dois-je gonfler mon gilet à la descente ? »



**L'explication** : diminution de la poussée d'Archimède qu'il faut compenser

**rq** : le gilet est lui aussi ensuite comprimé...

## Et pour **l'air** respiré ?

Ce qui relève du fantasme



max 1,10m [univ. Liège]  
norme NF tuba : max 48 cm

**Pourquoi ?** **Puissance** muscles respiratoires **insuffisante** pour compenser pression eau

⇒ Fournir de l'air tel que

$$P_{air} = P_{eau}$$



## PLAN DU COURS

1. Poids apparent
2. Pressions
3. **Compressibilité des gaz**
4. Perception
  - A. vision
  - B. audition

## La loi de Boyle – Mariotte

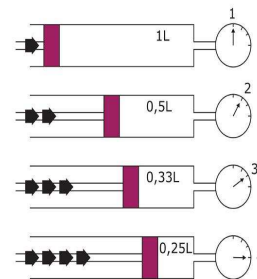
À température constante,  
pour une quantité  
donnée de gaz (parfait) :

$$P \times V = \text{Constante}$$

Exprimé différemment  
entre 2 contextes  
( $P_1, V_1$ ) et ( $P_2, V_2$ ) :

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}$$



**Question :** Si pression  
distinctes dans ce 2 x 10 l,  
50 bars à gauche,  
200 bars à droite,  
pression finale ?



### Méthode générale

- 1) par partie : calcul  $V_{\text{eq. surface air}}$  (1 bar)
  - 2) additionner volumes air  $V_{\text{eq}}$  des parties
- Puisque même pression partout :
- 3) diviser par total volumes des contenants (blocs)



## Application BM : Gestion du gilet à la descente

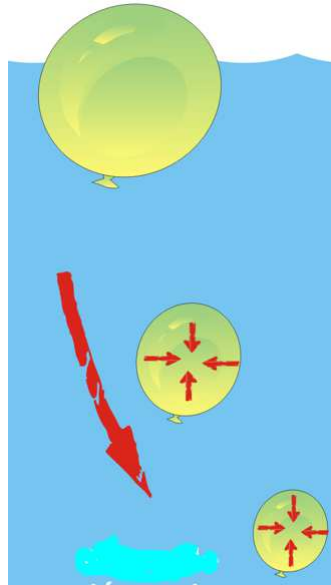
Analogie :  
ballon baudruche = gilet

Le gilet est tout d'abord gonflé pour compenser l'écrasement du néoprène mais ....

$P_2V_2 = P_1V_1$  s'applique !

☞ **explique**

« **gonflage** gilet à la **descente** »

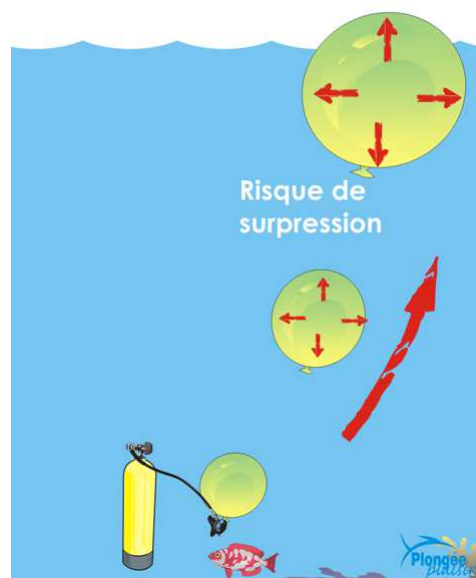


## Application BM : prévention surpression pulmonaire

Pensez que l'air dans le ballon de baudruche pourrait être celui dans vos poumons....

☞ **explique**

« **jamais d'apnée** à la **remontée** ! »



## Et si l'on revenait sur l'interaction BM – Archimède ?

Phrases à compléter :

□ lors de la **descente** :

pression ↗ ⇔ sans intervention volume ↘ , vitesse ↗

*but* : absence de force résultante provoquant début mouvement

⇔ neutralisation entre poids et p. Archimède

⇒ **maintenir** poussée Archimède = poids réel

⇔ **restaurer** volume occupé à la surface

⇔ **équilibrer** pressions

⇒ *action* : **gonfler**

□ lors de la **montée** :

pression ↘ ⇔ sans intervention volume ↗ , vitesse ↗

*but* : absence de force résultante provoquant début mouvement

⇔ neutralisation entre poids et p. Archimède

⇒ **maintenir** poussée Archimède = poids réel

⇔ **restaurer** volume occupé au fond

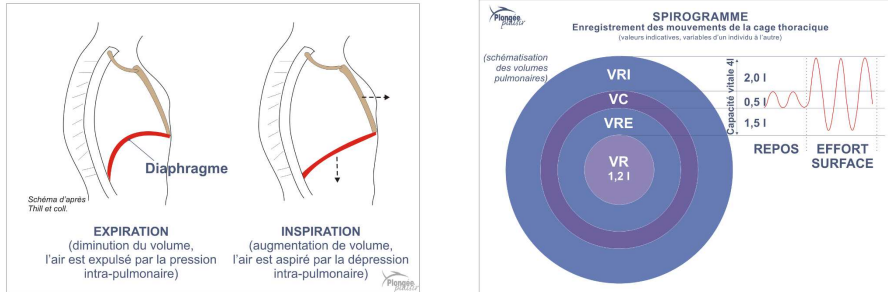
⇔ **équilibrer** pressions

⇒ *action* : **purger**

□ globalement, on plonge à **volume constant** .

## Autre application BM : Calcul d'autonomie en plongée

### Physiologie/respiration : volume courant ?



**Calcul :** au repos, un cycle respiratoire toutes les 3 secondes  
débit  $(60 / 3) \times 0,5 = 10 \text{ l/min}$   
en **plongée** = effort modéré ~ **consommation x 2**  
débit : **20 l/min**

**Calcul :** Et en pression consommée par minute avec un 15 l ?

- à la surface :  $20/15 \text{ bars/min} = 4/3 \text{ bars/min}$
- à 10 m :  $8/3 \text{ bars/min}$
- à 20 m :  $12/3 \text{ bars/min} = 4 \text{ bars/min}$
- à 40 m :  $20/3 \text{ bars/min} \sim 7 \text{ bars/min}$

**Calcul :** Autonomie pour un 15l gonflé à 200 bars ?  
(phase descente négligée),

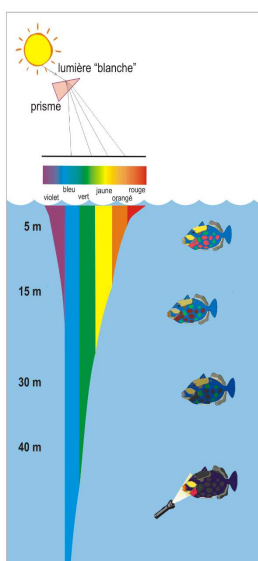
👉 **réserve**

- à 20 m :  $(200-50) / 4 = 37,5 \text{ min} \sim 40 \text{ min}$
- à 40 m :  $(200-50) \times 3 / 20 = 22,5 \text{ min} \sim 20 \text{ min}$

## PLAN DU COURS

1. Poids apparent
2. Pressions
3. Compressibilité des gaz
4. Perception
  - A. vision
  - B. audition

## Pourquoi le « grand bleu » ?



Parce que :

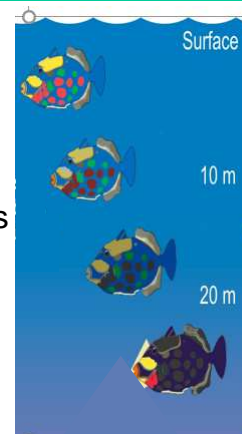
- l'eau **filtre** la lumière
- la lumière blanche est une **superposition** de couleurs

👉 **explique :**

Il faut éclairer pour restituer les couleurs

👉 **remarque :**

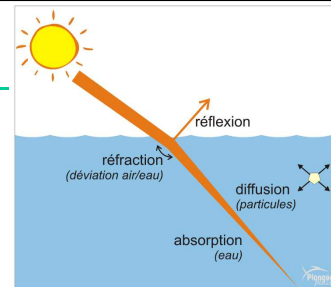
La sécurité est aussi un bon argument pour s'équiper d'une lampe / phare !



## Pourquoi se **relève t-on trop tôt** sur la cale ?

Parce que :

- les rayons de lumière sont **réfractés**
- notre cerveau ne le sait pas



En plongée, changement de **milieu de propagation** à nouveau entre eau et verre du masque

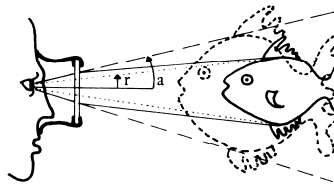


FIG. 11

Le masque grossit et rapproche les objets ( $\frac{a}{r} = \frac{4}{3}$ )  
r = taille réelle  
a = taille apparente

⇒ notre perception est erronée :

- **objets grossis** d'un tiers
- **distances raccourcies** d'un quart

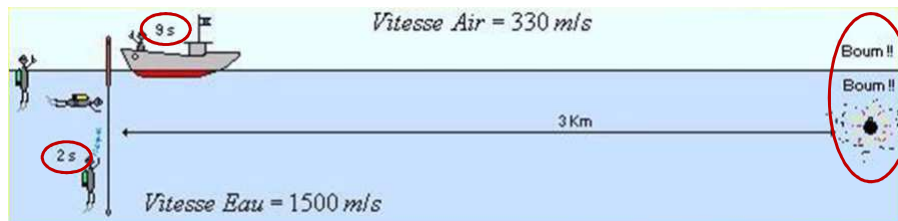
## PLAN DU COURS

1. Poids apparent
2. Pressions
3. Compressibilité des gaz
4. **Perception**
  - A. vision
  - B. **audition**

## Pourquoi est-il impossible de localiser une source sonore ?

Parce que :

- notre cerveau infère une position par rapport à un décalage de perception entre oreilles
- le son se propage 5 fois plus vite dans l'eau que dans l'air



- dans l'eau, l'écart entre nos oreilles reste le même !