Physique appliquée à la plongée

Lois principales d'un point de vue pratique

Théorie

Connaissances générales

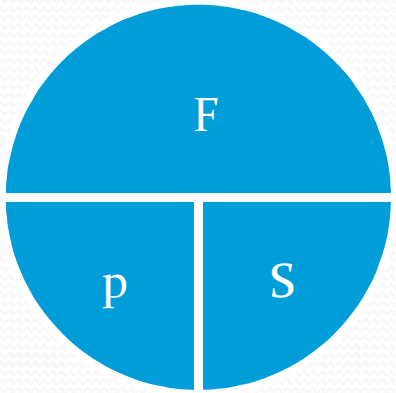
Lien volume & pression

Flottabilité

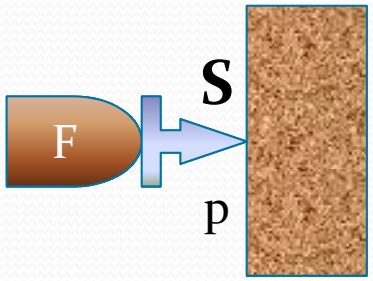
Dalton & Henry

Connaissances générales

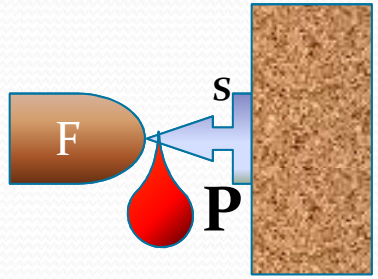
- Force et pression sont liées:
  - Faut plonger safe
  - Fessée pour sumo



$$pression = \frac{force}{surface}$$



- Quelques exemples:
  - Enfoncer une punaise dans du liège;
  - Marcher avec des raquettes dans la neige



Quelques ordres de grandeur

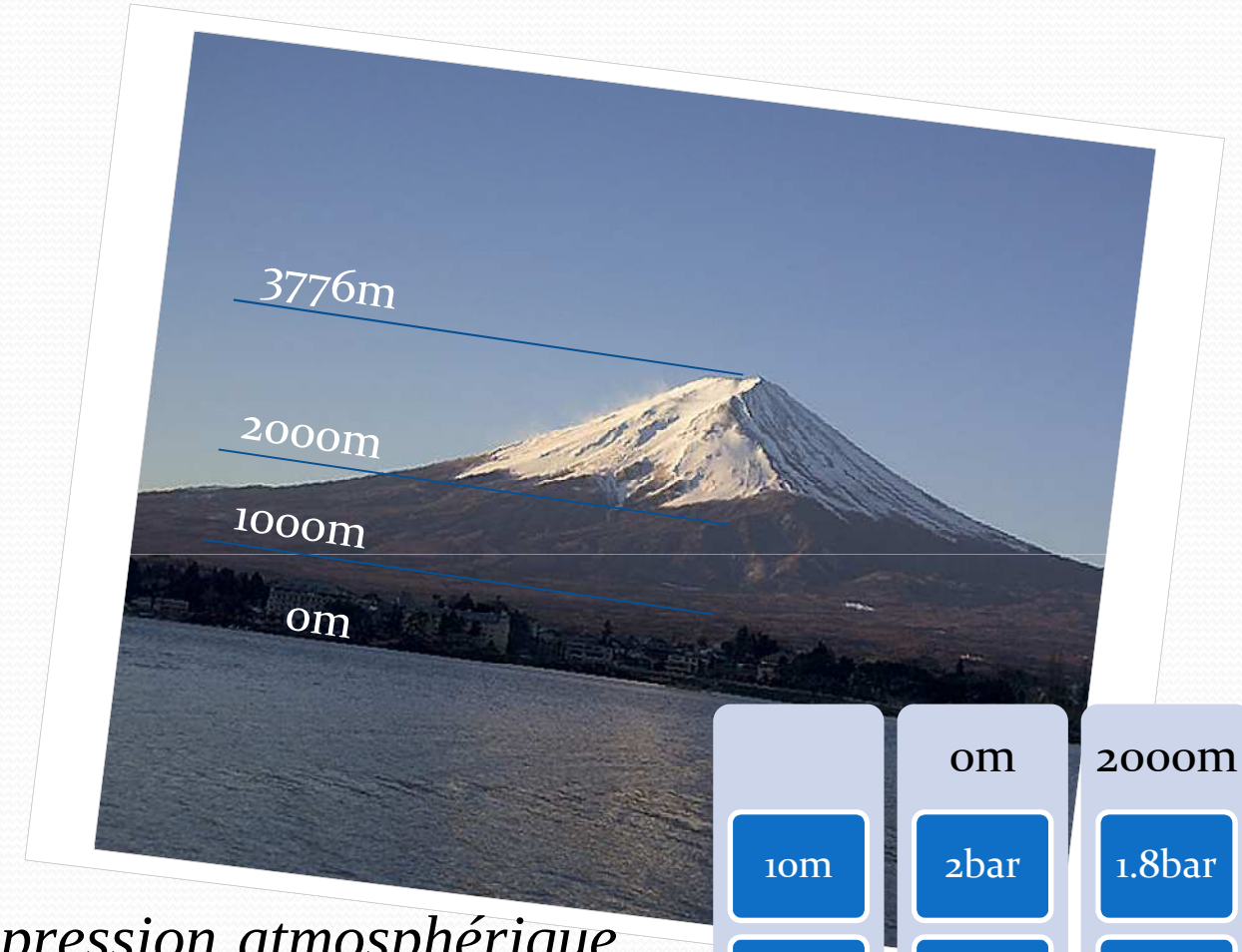
- 1 bar = 1000mbar = 1000hPa = 760mm Hg = 1kg/cm²
- Pression atmosphérique au niveau de la mer:
  p0 = 1013hPa (≈ 1bar)
- Poids de l'air : 1.29g/l
- Poids de l'eau : 1 020 à 1 030g/l (mer morte = 1 240g/l)

Variation de la pression avec l'altitude et profondeur

p_0 = 1013hPa

Atmosphérique :
0.1 bar par 1000m

Hydrostatique :
1 bar par 10m d'eau



	0m	2000m
10m	2bar	1.8bar
30m	4bar	3.8bar

$$pression\ absolue = \begin{cases} pression\ atmosphérique \\ + \\ pression\ hydrostatique \end{cases}$$

Variation avec la profondeur

Profondeur	Pression
0m	1bar
10m	2bar
20m	3bar
30m	4bar
60m	7bar

+10 +10 +10 +30

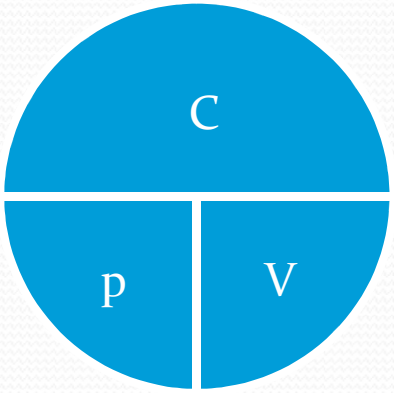
×2 ×1.5 ×1.33 ×1.75

Boyle / Mariotte

- Boyle/Mariotte :

$$pression \times volume = constante$$

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$



- Applications :
  - Stabilisation ;
  - Calcul d'autonomie ;
  - Accidents barotraumatiques ;
  - Transvasement de gaz entre 2 blocs ;
  - Influence de la température du bloc sur la pression.

Les dérivés

- Influence de la température :
  - à volume égal, température ↑ => pression ↑
  - Dehors 30°C, dans l'eau 15°C => pression ↓
- Calcul de conso = calcul de volume
- A la surface, l'équation devient $V_1 = p_2 V_2$
- Masse volumique ↑ avec la profondeur (essoufflement)

Exercices

- Vous consommez 20l/min.
  - Quelle est votre consommation à 20m ?
    - p1×C1 = p2×C2 = 3×20 = 60l/min (×1)
      surface fond fond surface
  - Quelle est votre consommation à 55m ?
    - p1×C1 = p2×C2 = 6.5×20 = 130l/min
      surface fond fond surface
  - Combien de temps pouvez-vous rester à 55m avec un 15l à 200bar ?
    - Vdispo = 15×200 = 3000l => 3000/130 = 23min
      surface bloc bloc surface

Exercices

- Un N3 fait un essoufflement à 60m alors qu'il lui reste 100bar dans son bloc de 12l. Sa consommation passe de 20l/min à 80l/min. Analysez la situation.

  - Calcul de la consommation ramenée à la surface :

$$\underset{\text{surface}}{p_0 C_0} = \underset{\text{fond}}{p_1 C_1} \Rightarrow C_0 = \frac{p_1 C_1}{p_0} = \frac{7 \times 80}{\underset{\text{fond}}{1}} = 560 l / \min_{\text{surface}}$$

  - Air disponible dans la bouteille lors de l'accident :

$$\underset{\text{surface}}{p_0 V_0} = \underset{\text{bloc}}{p_1 V_1} \Rightarrow V_0 = \frac{p_1 V_1}{p_0} = \frac{100 \times 12}{\underset{\text{bloc}}{1}} = 1200 l_{\text{surface}}$$

Exercices

- Un N… it un esso… emen… om alors qu'il lui reste 100bar d… b… ation passe de 20l/min à …

Dans 2 minutes, le plongeur n'aura plus de gaz dans sa bouteille!!!

- Calcul … face :

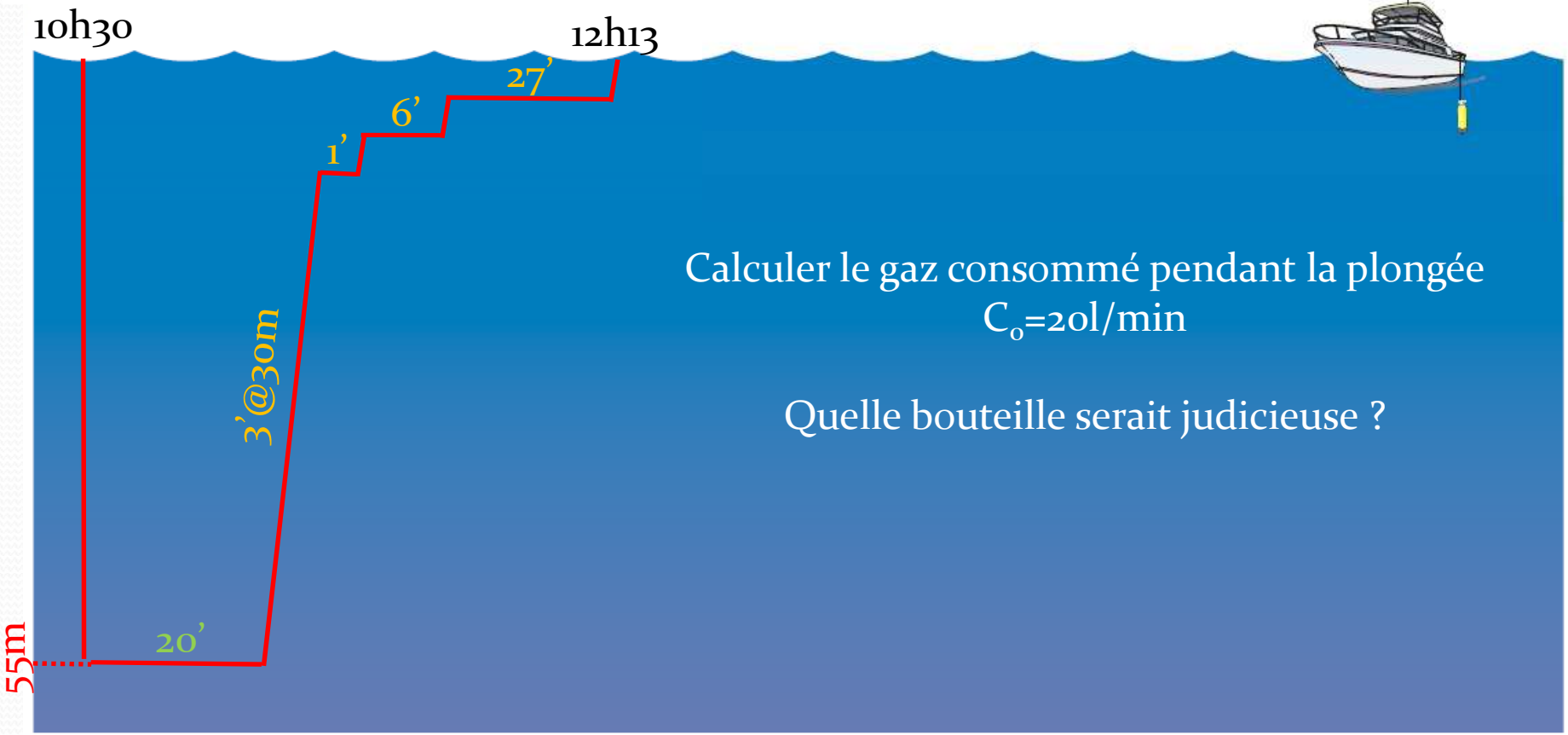
$$\underbrace{p_0 V_0}_{\text{surface}} = \underbrace{p_1 V_1}_{\text{bloc}} = \underbrace{V_0}_{\text{fond}} = \frac{p_1 V_1}{p_0} = \frac{100 \times 12}{\underbrace{1}_{\text{bloc}}} = \underbrace{1200l}_{\text{surface}}$$

… 560l / min

surface

- Air disponible da… boute… lors de l'accident :

Exercices - Planification ?



Calculer le gaz consommé pendant la plongée
C_0=20l/min

Quelle bouteille serait judicieuse ?

Exercices - Planification ?

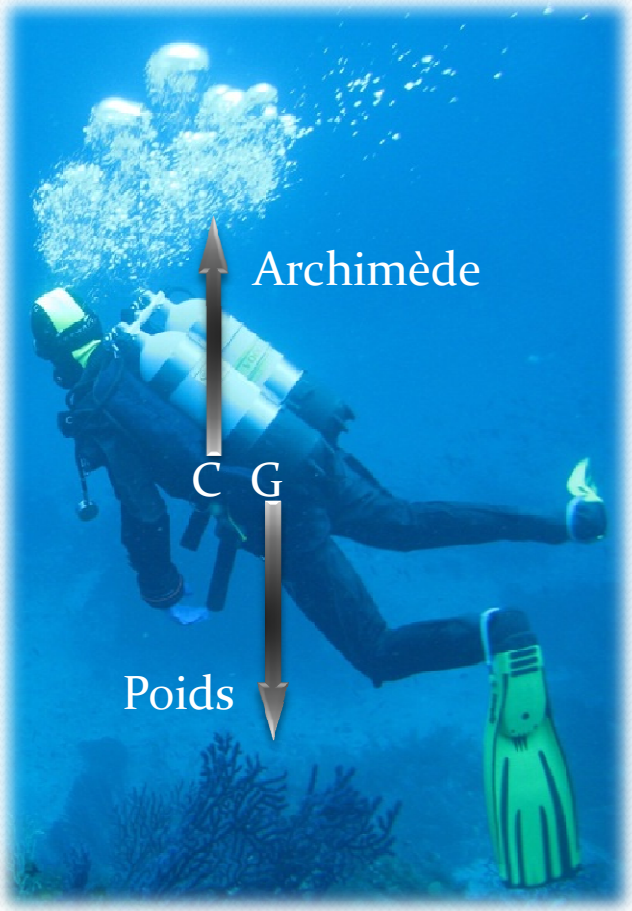
Profondeur [m]	Temps [min]	Pression [bar]	Consommé [l]
55	20	6.5	2600
30	3	4	240
9	1	1.9	38
6	6	1.6	192
3	27	1.3	702
Total	**57**	-	**3772**

- 30% de gaz consommé dans les paliers
- 15l : 251 bar consommés
- Bi-10 : 189bar restant

Archimède

Tout corps plongé dans un fluide au repos, entièrement mouillé par celui-ci ou traversant sa surface libre, subit une force verticale, dirigée de bas en haut et opposée au poids du volume de fluide déplacé.

Cette force s'applique au centre de poussée.



Archimède

Poids apparent = Poids réel – Poussée d'Archimède

kg kg L×kg/L

- Application : Un plongeur s'immerge en eau douce avec son matériel (poids total de 90kg), il occupe un volume total de 85l. Quel volume d'air devra-t-il mettre dans son gilet?
  - +90-85×1.00 = +5.00kg => 5.00/1.00 = 5.00l (à 1.00kg/l)

    Poids réel Archimède kg/kg/L L
- Quel volume devra-t-il mettre en eau salée?
  - +90-85×1.03 = +2.45kg => 2.45/1.03 = 2.38l (à 1.03kg/l)

    Poids réel Archimède kg/kg/L L

Archimède

Poids apparent = Poids réel – Poussée d'Archimède

- Il s'immerge avec un bi-10 gonflé à 200bar et ressort en surface avec 50bar. Quelle masse d'air va-t-il perdre?
  - V = (200-50)×(2×10) = 3000l
  - P = 1.29×3000 = 3870g soit 3.87kg
- Le plongeur est-il correctement lesté?
  - Poids en fin de plongée: (90-3.87)-85×1.03 = -1.42kg
  - Il devra mettre au minimum **1.5kg** pour tenir ses paliers!

Les influences sur la flottabilité

- Les volumes d'air : poumon ballast (ventilation) & gilet
- Type de bouteille : acier, aluminium, carbone
  - Acier : densité de 7.85
  - Aluminium : densité de 2.70
  - Carbone : densité de 2.25
- Air dans la bouteille : 1.29g/l
- Densité de l'eau : 1 en eau douce à 1.03 en eau très salée
- Lest : compter pour un débutant 350g / 10kg

Les influences sur la flottabilité

- Combinaison :
  - Shorty : 1l
  - Monopièce 4mm : 4/5l
  - Monopièce 7mm : 5/6l
  - Deux pièces 7mm : 6/7l

- Ecrasement de la combinaison : l'épaisseur diminue de la moitié de la pression absolue
  - à 20m : p_{abs} = 3bar => épaisseur / 1.5

Mise en évidence - lestage?

	12l court	12l long	15l	S80
Volume [l]	12	12	15	11.1
Pression [bar]	230	230	230	207
Volume dispo [l]	2760	2760	3450	2298
Poids air [kg]	3.56	3.56	4.45	2.96
Poids à vide [kg]	16.50	12.20	17.90	14.00
Poids total [kg]	20.06	15.76	22.35	16.96
Volume [l]	14.12	13.56	14.29	16.29
Flotta vide [kg]	**2.38**	**-1.36**	**3.61**	**-2.29**
Flotta pleine [kg]	**5.94**	**2.20**	**8.06**	**0.67**

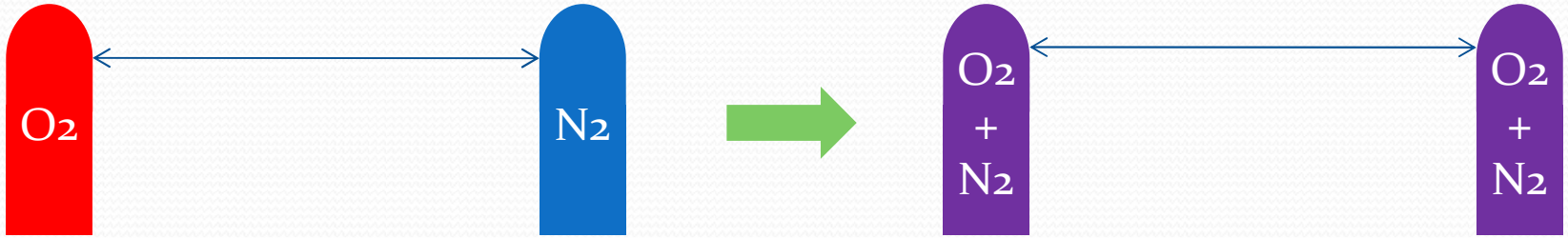
- Changer de type de bloc = changer de lestage

Des idées pour Archimède

- Avoir une ventilation douce et **savoir gérer son poumon-ballast** ;
- Savoir gérer son lestage sachant que l'on va perdre de l'air (attention au sur-lestage et sous-lestage) ;
- Mettre dans son carnet de plongée le lestage en fonction de l'eau, combinaison et matériel emporté ;
- Pour l'appareil photo, préférer mettre le lestage dans le caisson (le volume n'est pas modifié).

Les autres lois utiles en plongée

- Loi de Dalton :
  - Mise en évidence : parfum, connecter 2 blocs contenant des gaz différents

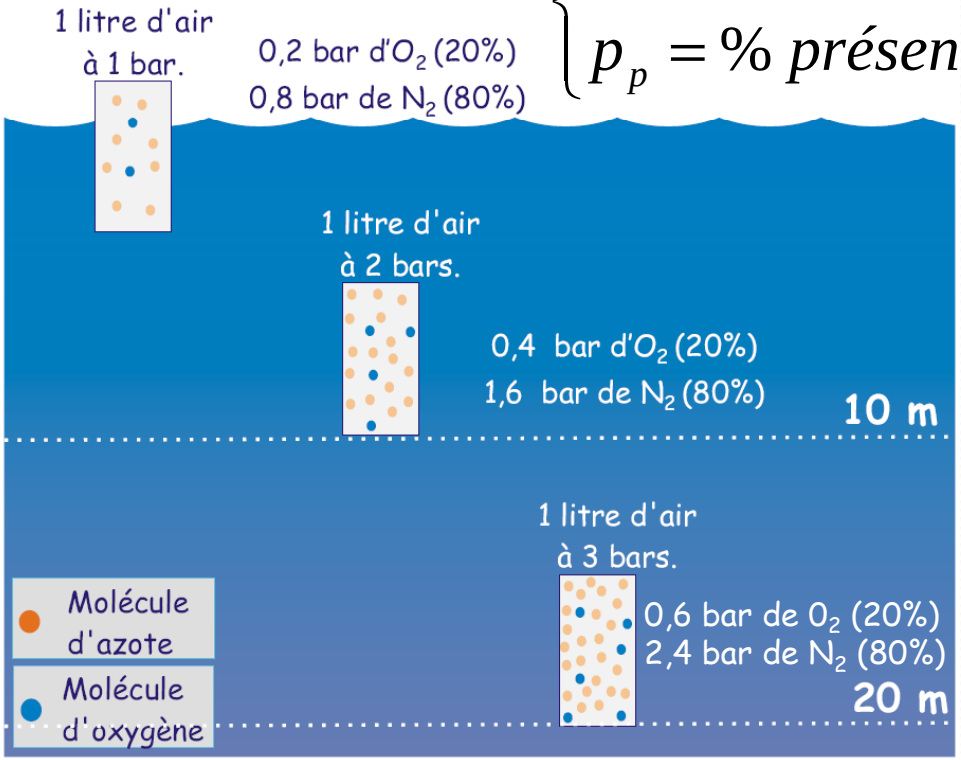


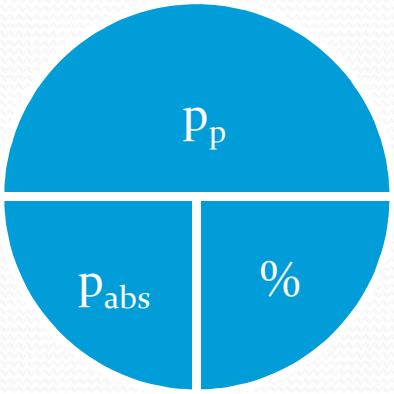
  - Applications :
    - Plongée aux mélanges
    - Toxicité des gaz
    - Mécanisme de l'ADD

Les autres lois utiles en plongée

- Loi de Dalton :

$$\begin{cases} p_{abs} = \sum p_p \\ p_p = \%\ présence \times p_{abs} \end{cases}$$





$p_p = p_{abs} \times \%$

$p_{abs} = p_p / \%$

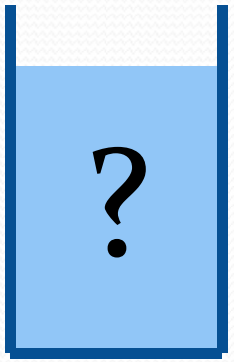
$\% = p_p / p_{abs}$

Les autres lois utiles en plongée

- Loi de Dalton :
  - Vous plongez à l'air à 60m, quelles sont vos pressions partielles de N2 et d'O2 respirés ?
  - N2 : 0.80×7 = 5.6bar
  - O2 : 0.20×7 = 1.4bar

Les autres lois utiles en plongée

- Loi de Henry :
  - A l'équilibre (saturation) : quantité de gaz dissoute dans un liquide proportionnelle à la pression exercée par ce gaz à la surface du liquide
  - Sous-saturation : p_p du gaz < gaz dissous
  - Sur-saturation : p_p du gaz > gaz dissous



- **Un retour à l'équilibre est nécessaire** => notion de saturation/désaturation

Astuces de calcul

- Trouver une méthode de calcul adapté à soi ;
- Essayer de ramener les calculs à la surface (p = 1bar) ;
- Simplifier au maximum les calculs ;
- Garder une certaine cohérence dans les calculs :
  - Si l'on diminue la température d'un bloc, sa pression doit diminuer ;
  - Si l'on augmente la pression, le volume doit diminuer.
- Essayer de se rappeler de certaines équations.

Merci à tous de votre attention

Mise en évidence

- Cyrille et Martial vont faire une 60m en Méditerranée. Cyrille est correctement équilibré avec 3kg alors que Martial met 6kg pour le même volume.
  - Surface : Martial doit mettre 3l dans sa stab.
  - Fond :
    - Cyrille doit mettre 3l ;
    - Martial doit mettre 24l.
  - Remontée :
    - Martial doit purger un volume plus important, difficile à gérer.
    - Cyrille s'équilibre aisément avec le poumon-ballast.

Exercices supplémentaires

- Lors d'une plongée à 40m, vous découvrez une statuette en plomb bizarrement intacte de 9l. Le parachute de levage à bord du bateau fait 100l, cela suffit-il?

$$P_{app} = 9 \times 11 - 9 \times 1 = 90kg$$

- Il vous reste 75bar dans votre bouteille (15l), pouvez-vous remonter la statuette ?

$$V_{dispo} = 75 \times 15 = 1125l$$
$$V_{utilisé} = 5 \times 90 = 450l$$
$$p_{restante} = 75 - \frac{450}{15} = 45bar$$

Exercices supplémentaires

- Vous souhaitez commencer votre remontée avec 50bar dans la bouteille. Combien de gaz mettez vous dans le parachute ?

$$p_{dispo} = 75 - 50 = 25bar \Rightarrow V_{dispo} = 25 \times 15 = 375l$$

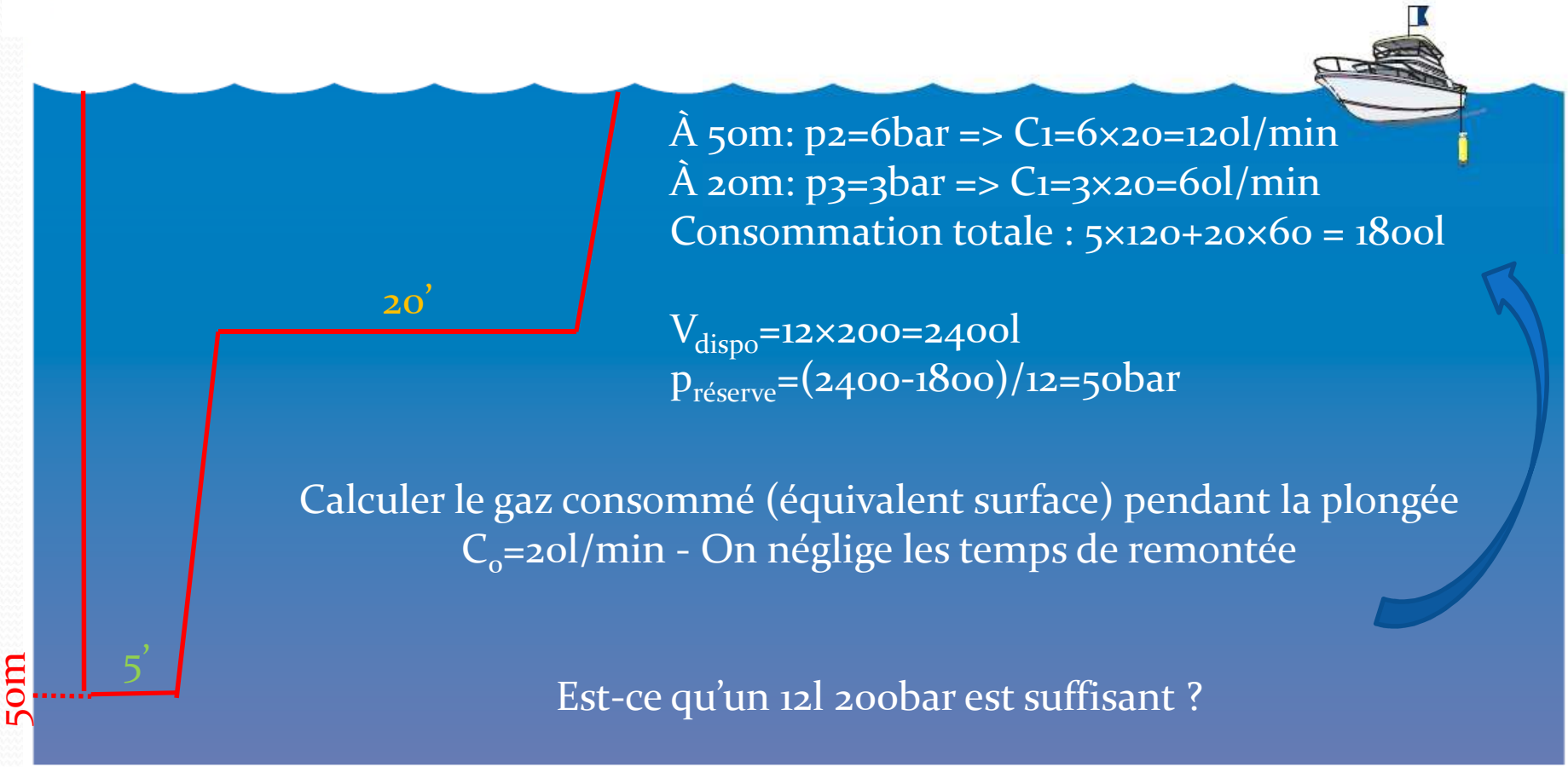
- Quel est le poids apparent de la statuette ?

$$V_{dispo@40} = \frac{375}{5} = 75l \Rightarrow P_{app} = 9 \times 11 - (9 + 75) \times 1 = 15kg$$

- A partir de quel profondeur la statuette remonte-t-elle toute seule ?

$$\begin{cases} 40m : V_{para} = 75l \\ xm : V_{para} = 90l \end{cases} \Rightarrow p_{recherchée} = \frac{75l}{90l} \times 5bar = 4.17bar \Rightarrow 31m$$

Exercices - Planification ?



À 50m: p2=6bar => C1=6x20=120l/min
À 20m: p3=3bar => C1=3x20=60l/min
Consommation totale : 5x120+20x60 = 1800l

V_{dispo}=12x200=2400l
$p_{réserve}$=(2400-1800)/12=50bar

Calculer le gaz consommé (équivalent surface) pendant la plongée
C_0=20l/min - On néglige les temps de remontée

Est-ce qu'un 12l 200bar est suffisant ?