

**Préparation Niveau II**

# **Physique 1**



**Notions de Pression  
Compressibilité des gaz  
Calcul d'autonomie  
Flottabilité**

Club Subaquatique de Charenton

Vincent BONNEMAISON  
E3 FFESSM

Version 1 : Vincent Bonnemaïson 14.01.2004

Version 2.1 : Révision Bernard Largeault 16.01.2011

## TABLE DES MATIERES

1	LES PRESSIONS.....	3
1.1	JUSTIFICATION PAR RAPPORT A LA PLONGEE .....	3
1.2	EXEMPLE DEMONSTRATIF.....	3
1.3	DEFINITION .....	3
1.3.1	LA PRESSION.....	3
1.3.2	PRESSION ATMOSPHERIQUE.....	3
1.3.3	PRESSION HYDROSTATIQUE OU PRESSION RELATIVE .....	3
1.3.4	PRESSION ABSOLUE .....	3
1.4	APPLICATIONS A LA PLONGEE .....	4
1.5	EXERCICES D'APPLICATION .....	4
1.6	CONCLUSION .....	4
2	COMPRESSIBILITE DES GAZ – CALCUL D'AUTONOMIE .....	5
2.1	JUSTIFICATION PAR RAPPORT A LA PLONGEE .....	5
2.2	EXEMPLES DEMONSTRATIFS.....	5
2.3	MISE EN EVIDENCE .....	5
2.4	LOI DE BOYLE – MARIOTTE .....	6
2.4.1	ENONCE DE LA LOI.....	6
2.4.2	FORMULE MATHEMATIQUE.....	6
2.5	APPLICATIONS A LA PLONGEE .....	6
2.6	EXERCICES D'APPLICATION .....	7
2.6.1	VARIATION DE VOLUME SELON LA PROFONDEUR .....	7
2.6.2	CALCUL D'AUTONOMIE .....	7
2.6.3	BOUTEILLE TAMPON.....	7
2.7	CONCLUSION .....	7
3	LA FLOTTABILITE.....	8
3.1	JUSTIFICATION PAR RAPPORT A LA PLONGEE .....	8
3.2	MISE EN EVIDENCE .....	8
3.3	THEOREME D'ARCHIMEDE (ARCHIMEDE 2 <sup>EME</sup> SIECLE AVANT J-C).....	8
3.4	FORMULE .....	9
3.5	APPLICATION A LA PLONGEE.....	10
3.6	EXERCICES D'APPLICATION .....	11
3.6.1	FLOTTABILITE .....	11
3.6.2	RELEVAGE .....	11
3.7	CONCLUSION.....	11

# 1 LES PRESSIONS

## 1.1 Justification par rapport à la plongée

- ⇒ pression des bouteilles
- ⇒ pression de l'eau

## 1.2 Exemple démonstratif

- raquettes dans la neige
- main dans le sable

## 1.3 Définition

### 1.3.1 La pression

**Une pression est l'action d'une force sur une surface.**

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

P : Pression exprimée en kilogramme-force/cm<sup>2</sup> ou **bar**

F : Force exprimée en kilogramme-force (kg f)

S : Surface exprimée en cm<sup>2</sup>

### 1.3.2 Pression atmosphérique

C'est la pression exercée par le poids de l'air environnant (poids d'une colonne d'air s'exerçant sur 1 cm<sup>2</sup> de surface).

Au niveau de la mer, la pression atmosphérique est toujours égale à 1 bar. Elle diminue avec l'altitude.

### 1.3.3 Pression hydrostatique ou Pression relative

C'est la pression exercée par le poids de l'eau au dessus du plongeur (poids d'une colonne d'eau s'exerçant sur 1 cm<sup>2</sup> de surface).

Elle augmente régulièrement et linéairement avec la profondeur de 1 bar tous les 10 mètres.

$$P. rel. (en bar) = \frac{\text{Profondeur (en mètres)}}{10}$$

### 1.3.4 Pression absolue

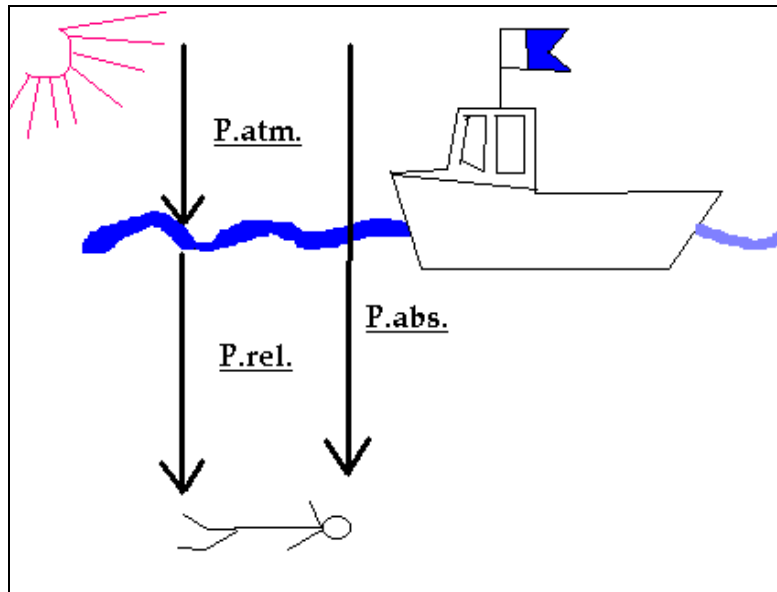
C'est la somme de la pression atmosphérique et de la pression relative.

C'est la pression que subit le plongeur dans l'eau.

$$P. abs. (en bars) = P. atm. + P. rel.$$

$$P. abs. (en bar) = 1 + \frac{\text{Profondeur (en mètres)}}{10}$$

Ces différentes pressions peuvent être représentées schématiquement comme suit :



#### 1.4 Applications à la plongée

Augmentation de la pression avec la profondeur et inversement lors de la remontée. Avec un capteur de pression, on construit donc un profondimètre.

#### 1.5 Exercices d'application

- Quelle est la pression absolue à 15 mètres ?
- A quelle profondeur évolue un plongeur subissant une pression absolue de 3,2 bars ?
- Quelles sont les pressions absolues respectivement à 3, 6 et 9 mètres ?
- Que peut-on en déduire sur la variation relative de ces pressions ?

#### 1.6 Conclusion

Règles de bonne conduite.

Dans les dix premiers mètres de profondeur : vigilance accrue.

## 2 COMPRESSIBILITE DES GAZ – CALCUL D'AUTONOMIE

### 2.1 Justification par rapport à la plongée

Les gaz sont compressibles, leur volume peut varier avec la pression qu'ils subissent  
=> en plongée, la pression varie avec la profondeur.

L'air respiré est un gaz => Il intervient dans la consommation en air.

### 2.2 Exemples démonstratifs

Pompe à vélo.

Pneu, piston dans un moteur.

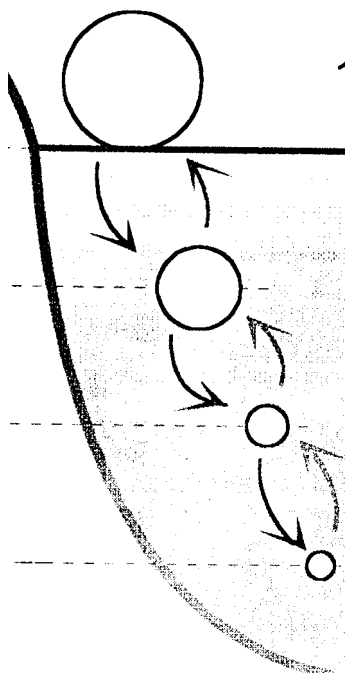
Equilibrage des oreilles.

### 2.3 Mise en évidence

On injecte 12 litres d'air dans un ballon élastique en surface et on l'immerge.

Son volume diminue tout au long de la descente, de façon plus importante dans les premiers mètres, puis de façon de moins en moins sensible.

A la remontée, son volume va varier de façon strictement inverse et retrouver son volume d'origine de 12 litres en surface.



Profondeur (en mètres)	Pression absolue (en bar)	Volumes (en litres)	Produit P x V	Variation de volume	Variation de pression
0	1	12	$1 \times 12 = 12$		
10	2	6	$2 \times 6 = 12$	1 / 2	100 %
20	3	4	$3 \times 4 = 12$	1 / 3	50%
30	4	3	$4 \times 3 = 12$	1 / 4	33 %
40	5	2,4	$5 \times 2,4 = 12$	1 / 5	25 %

Variations de volume plus importantes dans les premiers mètres.

Le produit de la pression par le volume est constant (dans notre exemple : 12).

## 2.4 Loi de BOYLE – MARIOTTE

### 2.4.1 Enoncé de la loi

**A température constante, le volume d'un gaz est inversement proportionnel à la pression qu'il subit.**

Plus la pression exercée sur un volume gazeux est grande, plus ce volume est petit et inversement, plus la pression exercée sur un volume gazeux est petite plus ce volume gazeux est grand.

Cette loi s'exprime aussi de la façon suivante :

**« Pour une même quantité de gaz, le produit du volume par la pression est toujours égal à une constante ».**

### 2.4.2 Formule mathématique

$$P \times V = Cte$$

- ⇒ P est la pression en bar,
- ⇒ V est le volume en litre,
- ⇒ Cte est la constante, sans unité.

Cette formule peut encore s'écrire de la façon suivante :

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

- ⇒  $P_1, V_1$  correspondent à l'état initial,
- ⇒  $P_2, V_2$  correspondent à l'état final.

## 2.5 Applications à la plongée

- Gonflage des bouteilles de plongée, bouteilles tampons (une bouteille de plongée de 12 litres gonflée à 200 bars est une bouteille dans laquelle on a comprimé 200 fois 12 litres d'air. Cela donne un volume respirable de  $12 \times 200 = 2400$  litres d'air à pression ambiante de 1 bar, appelé aussi air détendu.
- Compression des bulles d'air dans le néoprène de la combinaison.
- Variation du volume de l'air de la stab et dans les poumons.
- Consommation d'air en fonction de la profondeur, calcul d'autonomie : consommation moyenne en surface de 10 à 15 litres d'air par minute. Le détendeur délivre de l'air à la pression ambiante. En surface, l'air est délivré par le détendeur à une pression absolue de 1 bar. En plongée, à 20 mètres, la pression absolue est de 3 bars, le détendeur délivre de l'air à cette pression ambiante. L'air est donc comprimé 3 fois. Le volume des poumons étant constant, nous continuons à respirer 10 à 15 litres d'air par

minute, mais de l'air comprimé 3 fois. Nous consommons notre stock d'air 3 fois plus vite.

- Profondimètre basé sur la loi de Mariotte (variation du volume d'une bulle d'air en fonction de la profondeur).
- Dépression à la descente dans les cavités contenant de l'air (oreilles, masques, sinus), surpression à la remontée (les cavités précédentes et surtout les poumons). Prévention des accidents mécaniques ou barotraumatiques : (voir cours sur les accidents).

## 2.6 Exercices d'application

### 2.6.1 Variation de volume selon la profondeur

Vous êtes frais niveau II et plongez en autonomie à 20 mètres. Le volume de vos poumons est de 6 litres. Si à la suite d'une grande frayeur, vous bloquez votre respiration (ne vous amusez jamais à le faire, cet exercice est un contre exemple de ce qu'il faut faire) et remontez sans expirer.

- ⇒ Quel serait le volume de vos poumons successivement à 15m, à 10m, à 5m et en surface ?
- ⇒ Quelle leçon en tirez-vous ?

### 2.6.2 Calcul d'autonomie

Un plongeur dispose d'un bloc de 12 litres gonflé à 200 bars. On considère que la réserve est à 50 bars. Il plonge à 20 mètres, sa consommation est de 10 litres par minute en surface à la pression ambiante de 1 bar.

- ⇒ Quelle est la durée de sa plongée avant qu'il n'entame sa réserve ?
- ⇒ S'il consommait toute sa réserve, au bout de combien de temps demandera-t-il de l'air à son coéquipier ?

### 2.6.3 Bouteille tampon

Vous souhaitez gonfler un bloc de plongée de 12 litres dans lequel la pression résiduelle est de 50 bars. Pour cela, vous disposez de 2 bouteilles tampons de 50 litres gonflées chacune à 200 bars.

- ⇒ Quelle est la pression finale dans votre bloc si vous utilisez les 2 tampons reliés ensemble ?
- ⇒ Quelle est la pression finale si vous utilisez successivement le premier tampon puis le second ?
- ⇒ Quelle conclusion en tirez-vous ?

## 2.7 Conclusion

Compressibilité des gaz :

1. gestion de l'autonomie en air.
2. prévention des accidents barotraumatiques.
3. définition des règles de sécurité : à la descente, à la remontée.
  - Equilibrer oreilles et masque lors de la descente
  - Respirer sans bloquer sa respiration lors de la remontée,
  - Contrôler sa vitesse de remontée.

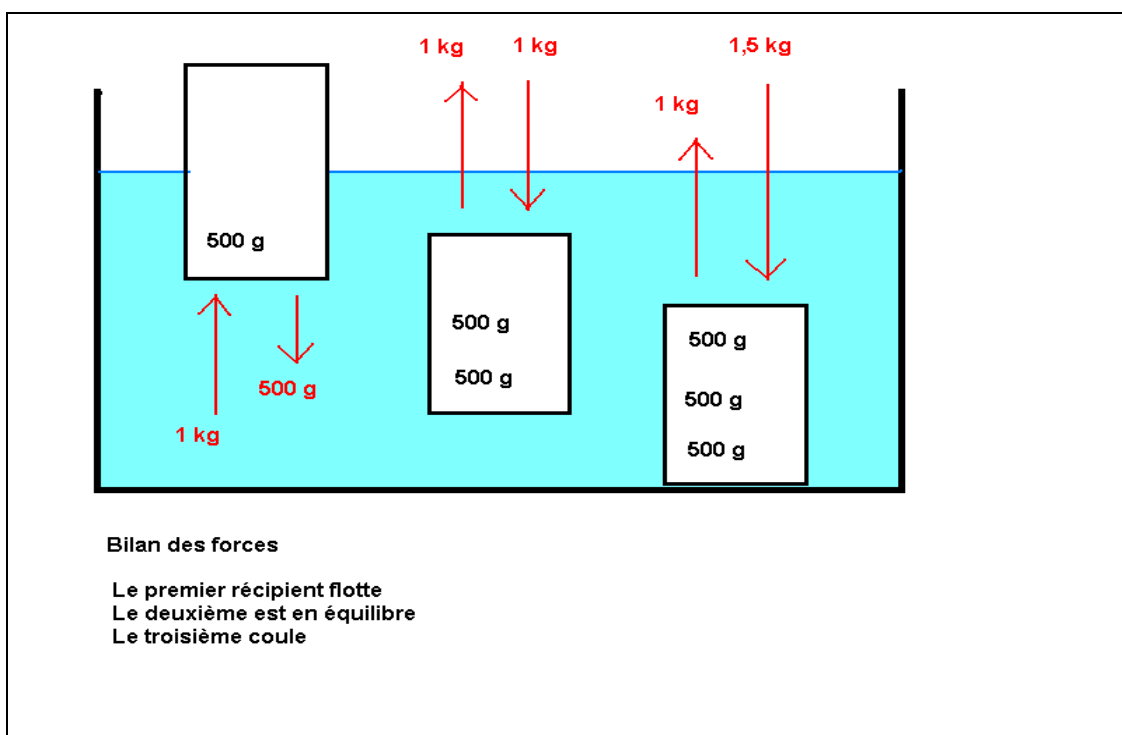
### 3 LA FLOTTABILITE

#### 3.1 Justification par rapport à la plongée

Etre équilibré pour être capable de se maintenir à la profondeur choisie sans effort pendant toute la plongée, gérer sa vitesse de remontée et se maintenir au(x) palier(s) en fin de plongée.

#### 3.2 Mise en évidence

Soit trois récipients hermétiques, indéformables et de poids négligeable d'un volume de  $1 \text{ dm}^3$  dans lesquels on place des poids : 500g dans le 1<sup>er</sup>, 1kg dans le 2<sup>ème</sup> et 1,5 kg dans le 3<sup>ème</sup>.

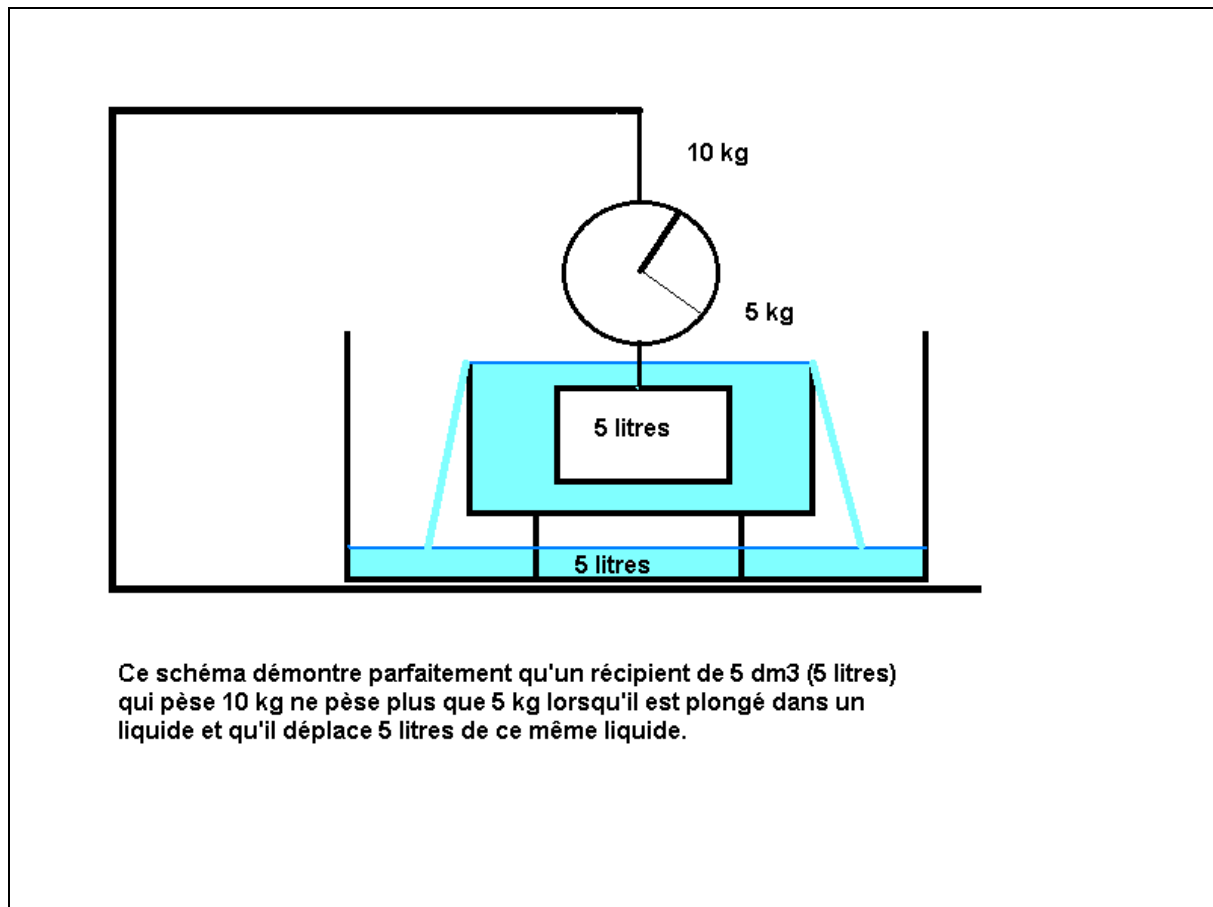


#### 3.3 THEOREME D'ARCHIMEDE (Archimède 2<sup>ème</sup> siècle avant J-C)

Enoncé :

« Tout corps plongé dans un liquide, reçoit de la part de celui-ci une poussée verticale, dirigée de bas en haut et égale au poids du liquide déplacé »



Démonstration par la balance hydrostatique :Définition :

On appelle "Poids apparent", la différence entre le poids réel et la Poussée d'Archimède

**3.4 FORMULE**

<i>Poids apparent</i>	=	<i>Poids réel</i>	-	<i>Poussée d'Archimède</i>
Poids dans l'eau en kg	=	Poids sur terre en kg	-	Poids du volume d'eau déplacé (1 litre = 1 kg)

Le poids apparent détermine l'équilibre d'un corps immergé autrement dit sa flottabilité.

Si Poids réel > Poussée d'Archimède  
Alors la flottabilité est dite négative

le Poids apparent > 0  
donc le corps coule

Si Poids réel = Poussée d'Archimède  
Alors la flottabilité est dite nulle

le Poids apparent = 0  
donc le corps est en équilibre

Si Poids réel < Poussée d'Archimède  
Alors la flottabilité est dite positive

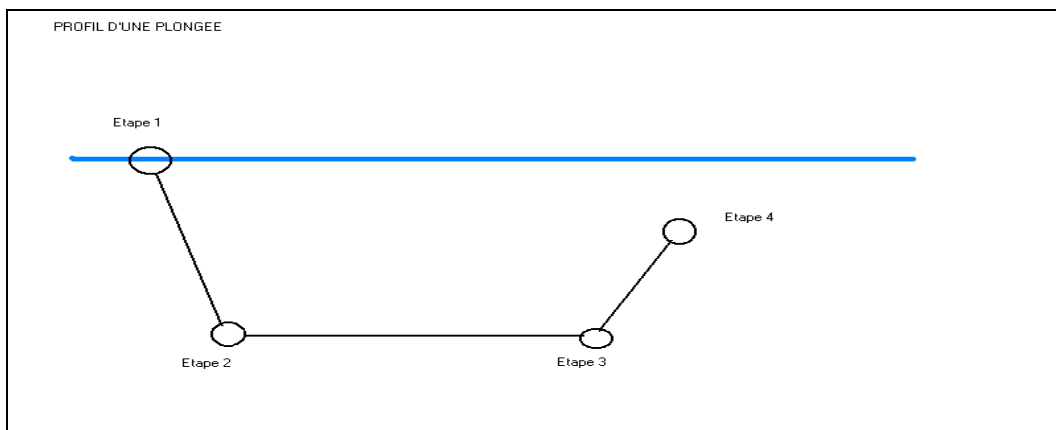
le Poids apparent < 0  
donc le corps remonte en surface

### 3.5 APPLICATION A LA PLONGEE

Phoque, Canard, poumon ballast, stabilisation ; le bon lestage est celui qui permet en fin de plongée, bouteille presque vide, gilet purgé et poumons à moitié pleins, de rester stabilisé et sans effort au palier à 3 m.

Analysons les différentes étapes d'une plongée.

Prenons un plongeur d'un poids de 75kg et d'un volume de 80 litres. En début de plongée, sa bouteille est pleine et pèse 18kg pour un volume extérieur de 15 litres. Sa combinaison néoprène avec divers petits équipements pèse 5kg pour un volume de 8 litres. La stab pèse 2kg pour un volume de 3 litres.



Etape 1 :  
Combien de lest doit-il emporter pour être équilibré ?

Etape 2 :  
Le plongeur descend avec sa palanquée. Sa combinaison néoprène diminue de volume et se comprime d'un volume de 3 litres.  
Que doit faire le plongeur pour rester équilibré ?

Etape 3 :  
Le plongeur consomme sa bouteille. Sa bouteille s'allège de 3kg de l'air consommé par le plongeur. Que doit faire le plongeur pour rester équilibré ?

Etape 4 :  
Le plongeur remonte en surface. Sa combinaison néoprène reprend son volume d'origine et re-gagne les 3 litres comprimés lors de la descente.  
Que doit faire le plongeur pour rester équilibré au palier ?

Cet exercice a pour but de montrer que Poids et Volume changent tout au long de la plongée. Le volume de la combinaison change en fonction de la profondeur, la bouteille change de poids au fur et à mesure que l'air est consommé. La recherche de l'équilibre est permanente en plongée.

Faites un tableau des différentes étapes et comparez vos résultats à ceux du tableau de la page suivante.

Tableau résumé des différentes étapes :

	Etape 1		Etape 2		Etape 3		Etape 4	
	Poids kg	Volume litre	Poids kg	Volume litre	Poids kg	Volume litre	Poids kg	Volume litre
Plongeur	75	80	75	80	75	80	75	80
Bouteille	18	15	18	15	17	15	15	15
Equipt	5	10	5	7	5	7	5	10
Stab.	2	3	2	6	2	5	2	0
Lest	8		8		8		8	
Total	108	108	108	108	107	107	105	105

### 3.6 EXERCICES D'APPLICATION

#### 3.6.1 Flottabilité

Quel est le poids apparent d'une camera sous marine en caisson étanche qui pèse 5 kg en surface et dont le volume est de 8 dm<sup>3</sup> ? Que faudrait-il faire pour que le poids apparent soit nul ?

#### 3.6.2 Relevage

Une amphore dont la masse est 72 kg et le volume 48 dm<sup>3</sup> repose sur un fond de 50 m.

Un plongeur y attache un parachute dans lequel il introduit 20 l d'air (à la pression de 6 bars).

Que se passe-t-il ? Que faudrait-il faire pour remonter l'objet ?

### 3.7 CONCLUSION

Bonne gestion de la flottabilité et de l'équilibre => élément de sécurité

Une bonne flottabilité permet :

- d'être confortable à la profondeur souhaitée pour profiter un maximum de sa plongée et du spectacle sous-marin.
- d'éviter les efforts inutiles et l'essoufflement.
- de moins consommer et donc d'augmenter son autonomie
- de gérer la remontée (vitesse de remontée et stabilisation au palier).
- d'éviter de "faire le crabe" au fond ou racler le plafond d'une grotte (respect de l'environnement).

**Autonomie optimale et confort accru.**