



## LE CITRON BLEU

Association Sportive pour le Développement des  
Activités Nautiques

Aérodrome de POINTE A PITRE  
LE RAIZET BP460  
97183 ABYMES cedex

site Internet : <http://citronbleu.org>  
mail : [citronbleu.asso@gmail.com](mailto:citronbleu.asso@gmail.com)

fax : 0590482005

# THEORIE DU NIVEAU 2 DE PLONGEE SUBAQUATIQUE

## Volumes-Flotabilité

## Cours N2, les volumes en plongée

### Le principe d'Archimède

#### Euréka

Archimède (287 – 212 avJC) était un savant grec vivant en Sicile, qui a beaucoup apporté en physique et en mathématiques.

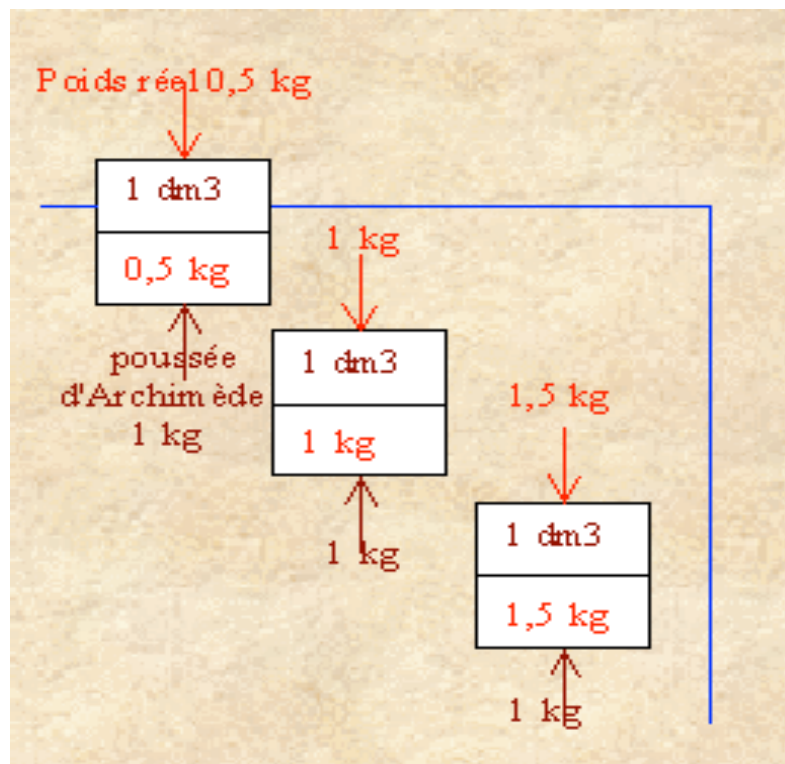
La légende veut qu'il découvrit son fameux théorème à la demande du roi Hiéron 2 qui voulait savoir s'il s'était fait flouer lors de la commande de sa couronne (il se demandait si elle était bien constituée à 100% d'or ou si elle contenait aussi de l'argent).

De manière plus basique, on se rend bien compte que certains objets coulent alors que d'autres flottent, que l'on peut avoir des bateaux en pierre, et qu'entre le début et la fin de la plongée notre équilibre n'est plus le même (on est plus lourd au début qu'à la fin).

Devant ce constat, on peut dire que le poids et le volume interviennent dans la flottabilité.

Exemple :

Si on prend un objet d'un certain volume et qu'on fait varier le poids, celui-ci flottera plus ou moins.



## Loi et exercices

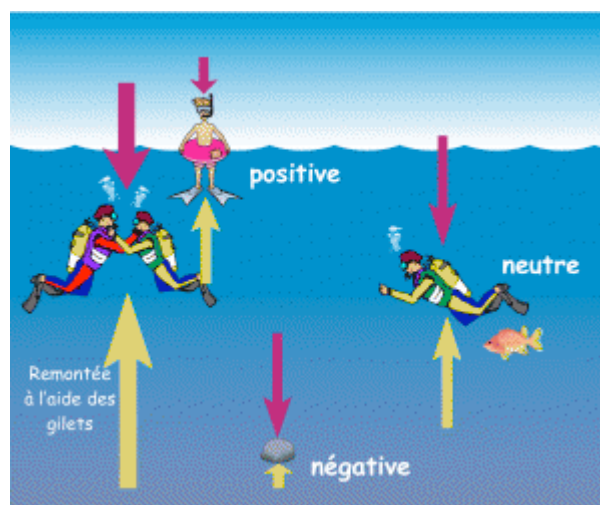
Tout corps plongé dans un fluide au repos, subit une force verticale, dirigée de bas en haut et opposée au poids du volume de fluide déplacé ; cette force est appelée poussée d'Archimède.

On peut en déduire la formule suivante :



$$\text{poids apparent} = \text{poids réel} - \text{poussée d'Archimède}$$

Si le poids apparent est positif, la flottabilité est négative, le plongeur coule  
Si le poids apparent est négatif, la flottabilité est positive, le plongeur flotte  
Si le poids apparent est nul, la flottabilité est nulle, le plongeur est équilibré



### Exercice 1

Une amphore a un poids de 32 kg pour un volume de 15 L.

Quel sera le poids qu'elle aura l'air d'avoir dans l'eau (son poids apparent) ?

Va-t-elle couler ?

### Exercice 2

Un plongeur se bricole un boîtier vidéo. Son volume est de 5 L pour un poids de 4 kg. Il désire l'équilibrer.

Que doit faire le plongeur ?

## **Application à la plongée**

Lors de la plongée certains éléments changent de volume, ou de poids réel et modifient de fait la flottabilité du plongeur.

L'air présent dans la bouteille au début de la plongée est consommé par le plongeur, soit pour respirer, soit pour son gilet. La bouteille ne change pas de volume, mais de poids.

Certains organes internes (intestins et estomac) et la combinaison ne changent pas de poids, mais de volume en fonction de la profondeur.

Pour compenser ces variations (de volume ou de poids), indépendantes du plongeur, on agit sur le gilet, dont on peut modifier le volume.

## **Bonus**

Pour la couronne, Archimède a donc vérifié la différence entre le volume déplacé réellement et le poids de la couronne. Il a ensuite vérifié si le poids apparent de cette couronne correspondait au poids apparent qu'aurait la même masse d'or. Il découvrit que l'orfèvre avait triché.

## Loi de Mariotte (Boyle)

### Edmée l'académicien

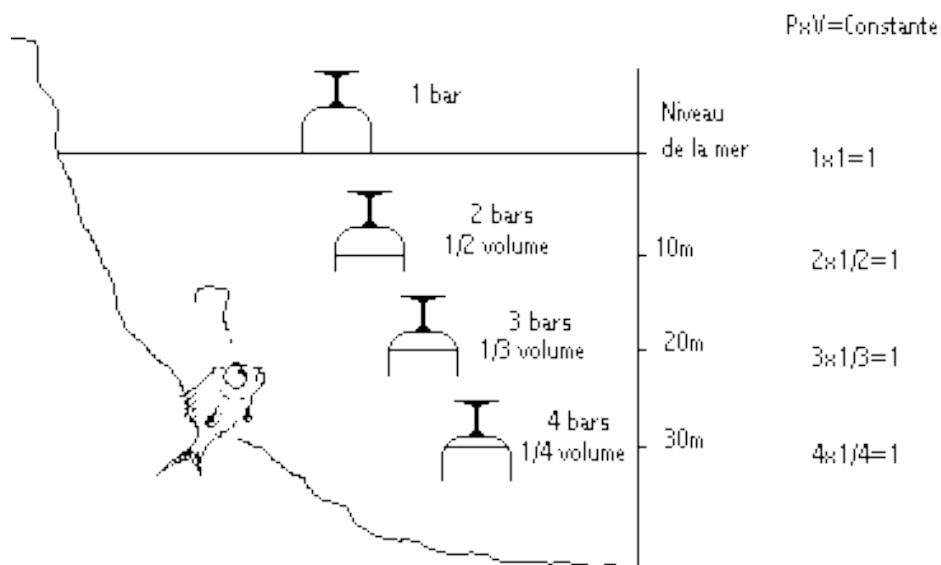
Mariotte (1620-1684) était un physicien et botaniste français. Les travaux qui nous intéressent sont dans le second volume de ses Essais de Physique (*De la nature de l'air*). On y trouve l'observation que le volume des gaz varie inversement à la pression, fait qui avait été découvert en 1660 par Robert Boyle (physicien irlandais 1627-1691).

Un ballon voit sa taille augmenter lorsqu'il monte en altitude, et diminuer lorsque qu'on le descend en profondeur.

On a tous pu le constater avec un paquet de chips qui se gonfle lorsqu'on fait de la montagne.

Exemple :

Si on regarde la volume d'air présent dans le verre, il diminue lorsque la profondeur augmente.



### Loi et exercices

A température constante, la pression d'un gaz inversement proportionnelle à son volume.

D'où la formule suivante :

Lors du passage de l'état 1 à l'état 2 :

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

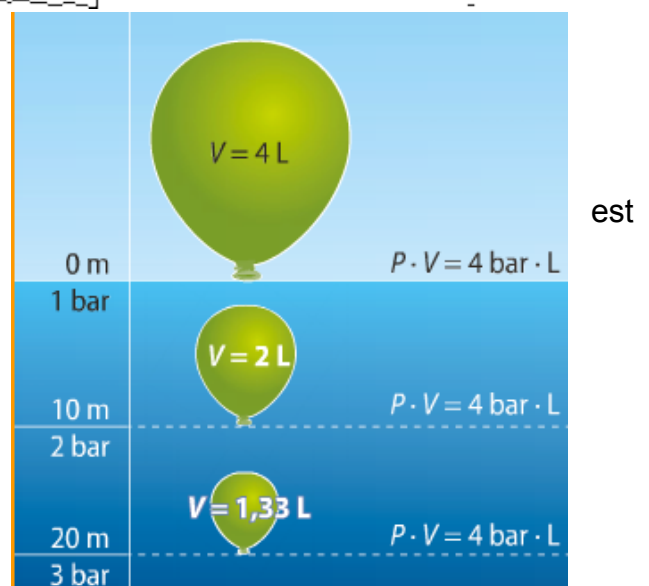
Ou plus simplement,

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

#### Exercice 1

Un ballon en surface a un volume de 12 L.  
Quel est son volume à 10 m ? à 30 m ?

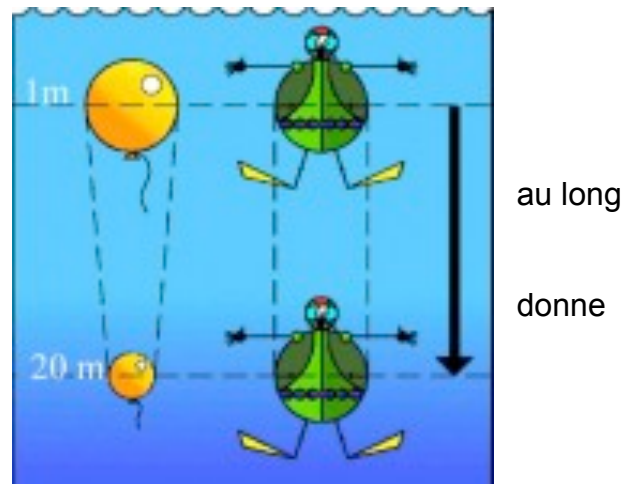
#### Exercice 2



Un plongeur consomme 20 L d'air par minute en surface. Sa bouteille, d'une capacité de 12 L est gonflée à 200 bars. Les consignes sont de remonter avec 40 bars. Combien de temps peut il passer à 20 m ?

### Application à la plongée

Lorsqu'un plongeur remonte il doit souffler tout de sa remontée, sous risque de provoquer une surpression pulmonaire.  
De la même manière, lors d'une plongée on ne pas d'air à un apnéiste.



Cette loi nous permet de :

- calculer la capacité d'un bloc
- comprendre (et mesurer) les variations d'air
- calculer notre autonomie en fonction de notre consommation (profil de plongée carré)
- calculer la capacité d'un gilet
- comprendre et éviter les accidents
- comprendre le fonctionnement des profondimètres (et altimètres).

### Exercices bonus (Archimède et Mariotte)

#### Exercice 1

Tout équipé, au sec, un plongeur a un poids réel de 85kg pour un volume de 70L. Il descend à 40m. Il s'y stabilise grâce à son gilet.

Quel volume d'air doit il mettre dans son gilet ?

S'il gonfle son gilet à l'aide d'une bouteille indépendante de 0,4L, quelle pression minimale doit il avoir dans cette bouteille ?

#### Exercice 2

Une ancre se trouve à 30m, son poids réel est de 150kg, son volume de 10L. On a un parachute de 200L, de poids négligeable, qu'on gonfle avec 70L à 30m.

Quelle longueur de corde est nécessaire entre le parachute et l'ancre pour la remonter ?

# Barotraumatismes

## Explication

Baro = pression  
Trauma = lésions

Les barotraumatismes sont causés par les variations de pressions et de volumes des gaz. Le plongeur possède de nombreuses cavités dans son corps ou son équipement occupées par de l'air.

Exemple : un ballon avec 5L à 10m de profondeur aura doublé de volume à la surface.

C'est dans la zone de 0 à 10m que les variations de pressions sont les plus importantes et que le plongeur doit être le plus vigilant.

Les lésions se produisent lorsque la différence de pression entre le milieu et l'organe concerné est plus importante que la tolérance physiologique de ce même organe.

Ces différences peuvent avoir lieu à la descente comme à la montée. Les accidents lors des remontées sont plus graves, car il faut quand même regagner la surface.

A la descente : placage de masque, oreilles, sinus et dents

A la remontée : oreilles, sinus, dents, intestins-estomac et **surpression pulmonaire**.

## Placage de masque

A la descente, la pression augmente. Le masque commence par se déformer. Lorsque sa limite est atteinte, c'est notre visage qui prend le relais, notamment en « aspirant » le nez et les yeux, provoquant des lésions capillaires.

## Symptômes

Lors de la plongée : sensation de succion, troubles de la vision, douleurs,... hémorragies.

Au retour : œil au beurre noir, œil rouge, troubles de la vue, saignements de nez,....

Consulter un ORL ou un ophtalmologiste et suspendre ses plongées selon les symptômes.

Prévention : souffler par le nez dans le masque pendant la descente.

## Les sinus

Si les sinus sont encombrés ou bouchés,

- lors de la descente la pression à l'intérieur diminue et la muqueuse peut se décoller par effet ventouse,
- lors de la remontée, elle va augmenter et écraser la muqueuse contre la paroi osseuse.

## Symptômes

Hypersécrétion (envie de se moucher), saignement de nez, douleur au dessus des arcades et au niveau des pommettes, mal au niveau des dents, douleur aiguë au niveau des sinus pouvant mener à la syncope.

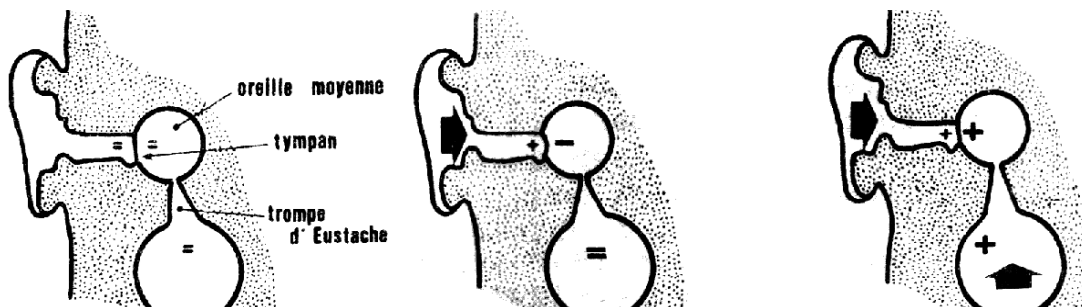
A la descente, dès les premières sensations de mal être, remonter un peu puis réessayer doucement en diminuant le taux de descente. Si cela persiste, annuler la plongée.

A la remontée, redescendre un peu puis réessayer doucement en diminuant le taux de montée et en déglutissant et mastiquant.  
Selon les symptômes, consulter un ORL.

Prévention : ne jamais forcer (la descente ou la remontée)  
Ne pas plonger enrhumé.

## Les oreilles

L'air prisonnier derrière les tympans peut ne pas s'équilibrer suffisamment vite/bien de manière naturelle lors de la descente.



A la remontée il n'y pas de problème d'équilibre en général.

### Symptômes

Douleur plus ou moins forte, qui va en augmentant. Si on persiste, il y a un risque de perforation du tympan, d'où un coup de poignard et une sensation de froid dans l'oreille. Le plongeur peut aussi avoir des vertiges, voire une syncope. Une fois à la surface, si le tympan est percé, on entend un sifflement lorsque le plongeur souffle en se bouchant le nez (Valsalva).

Lors de la descente, dès les premières sensations de douleur, remonter un peu puis réessayer doucement en diminuant le taux de descente. Réessayer Valsalva, sans trop forcer. Si cela persiste, annuler la plongée.

A la remontée, redescendre un peu puis réessayer doucement en diminuant le taux de montée et en déglutissant et mastiquant. Essayer la BTV au cas où.

Prévention : bien équilibrer ses oreilles, et ne jamais forcer à la descente.

A la descente, équilibrer avant d'avoir mal, remonter un peu, descendre tête en haut.

**Ne jamais faire Valsalva à la remontée.**

Bien se rincer les oreilles à l'eau douce.

## Les intestins et l'estomac

Il y a de l'air dans l'estomac (soit avalé, soit issu de la fermentation de la nourriture). Au cours de la plongée les changements de volume peuvent provoquer certaines douleurs.

### Symptômes

Douleurs à l'abdomen, ventre bombé, douloureux, tendu, gaz difficiles.

Prévention : éviter les féculents et les boissons gazeuses avant la plongée.

Ne pas hésiter à se lâcher...



## Les dents

S'il y a une carie, l'air peut s'infiltrer dans la dent.

A la remontée, si l'air se retrouve emprisonné, ou si la remontée est légèrement rapide, l'air ne peut s'évacuer et va provoquer une douleur.

Par ailleurs, la température de l'eau et l'air comprimé froid peuvent entraîner des sensations douloureuses sur les dents.

### Symptômes

Mal aux dents.

A la descente, il vaut mieux interrompre la plongée.

A la remontée, redescendre un peu puis réessayer doucement en diminuant le taux de montée et en déglutissant et mastiquant.

Si une dent casse ou une couronne tombe, prendre un autre détendeur. Le premier risque de se retrouver bouché.

Prévention : aller voir un dentiste une fois par an en précisant qu'on est plongeur.

## La surpression pulmonaire (c'est l'accident le plus grave)

Nous avons de l'air dans les poumons. Si la respiration est bloquée, nos poumons se comportent comme un ballon de baudruche et leur volume augmente lors de la remontée, jusqu'à la rupture des alvéoles pulmonaires.

### Symptômes

Douleur thoracique, difficultés respiratoires, crachats sanguins et bave rosâtre, cyanose, thorax dilaté, crise épileptique, choc, syncope, mort...

### Prévention :

Il faut donc éviter de :

- bloquer sa respiration
- bloquer sa glotte
- faire une remontée non maîtrisée, notamment lors des exercices (RSE, sur un embout,...)
- remonter trop rapidement
- remonter sans expirer suffisamment
- donner de l'air à un apnéiste

**C'est le plus grave des barotraumatismes, et il peut se produire entre 5 m et la surface...**

Alors, qui c'est lui ?



**E...  
BEAUCOUP DE PLAISIR SOUS L'EAU...  
DANS TOUTES LES MERS...  
DANS TOUTES LES EAUX...**

