

Notion de physique Appliquée à la plongée

Niveau II

Richard Eric

Sommaire

I.	Effets du milieu	3
I.1.	Le froid.....	3
I.2.	Vision.....	3
I.3.	Perception des sons.....	5
II.	Pression	6
II.1.	Notion de pression.....	6
II.2.	Loi de Mariotte.....	7
II.3.	Pression : Impact en plongée.....	8
III.	Autonomie en air	9
III.1.	Qu'est-ce que l'autonomie en air ?.....	9
III.2.	Facteurs favorisant la consommation.....	9
III.3.	Autonomie en air : Impact en plongée.....	9
IV.	Flottabilité	10
IV.1.	Poussée d'Archimède.....	10
IV.2.	La flottabilité.....	10
IV.3.	Flottabilité : Impact en plongée.....	11
V.	La dissolution des gaz	12
V.1.	La dissolution des gaz.....	12
V.2.	Les états de la saturation.....	12
V.3.	La loi de Henry.....	12
V.4.	La saturation : Impact en plongée.....	12
VI.	Mélange gazeux et pressions partielles	13
VI.1.	La composition de l'air.....	13
VI.2.	La loi de Dalton.....	13
VI.3.	Les pressions partielles.....	13
	De la loi de Dalton il vient la définition des pressions partielles (Pp).....	13
VI.4.	Les pressions partielles : Impact en plongée.....	14
VII.	Correction exercices	15
VII.1.	Exercice 1 : Les pressions.....	15
VII.2.	Exercice 2 : Mariotte.....	17
VII.3.	Exercice 3 : Mariotte.....	18
VII.4.	Exercice 4 : Calcul d'autonomie.....	24
VII.5.	Exercice 5 : Calcul d'autonomie.....	26
VII.6.	Exercice 6 : Flottabilité.....	27
VII.7.	Exercice 7 : Les pressions partielles.....	28

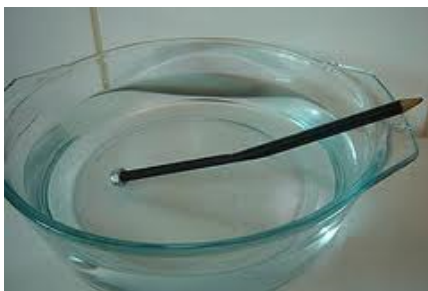
I. Effets du milieu

I.1. Le froid

- On se refroidit **24 fois plus vite dans l'eau** que dans l'air
- On se refroidit majoritairement
 - Par conduction
Transmission de la chaleur / du froid à travers un corps conducteur, nous plongeons c'est par la peau
 - Par convection
Transmission de la chaleur / du froid par la circulation de l'eau autour du plongeur
- **Le froid : Impact en plongée**
Le froid est un facteur favorisant de
 - La consommation
 - De la perte d'attention
 - De l'essoufflement
 - De l'accident de décompression
 - De la narcose

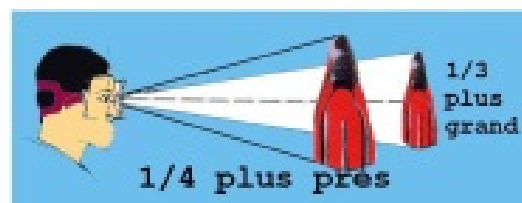
I.2. Vision

- Champ de vision
La jupe réduit le champ de vision tel que des lunettes, effet tunnel du masque
- Réfraction / Réflexion

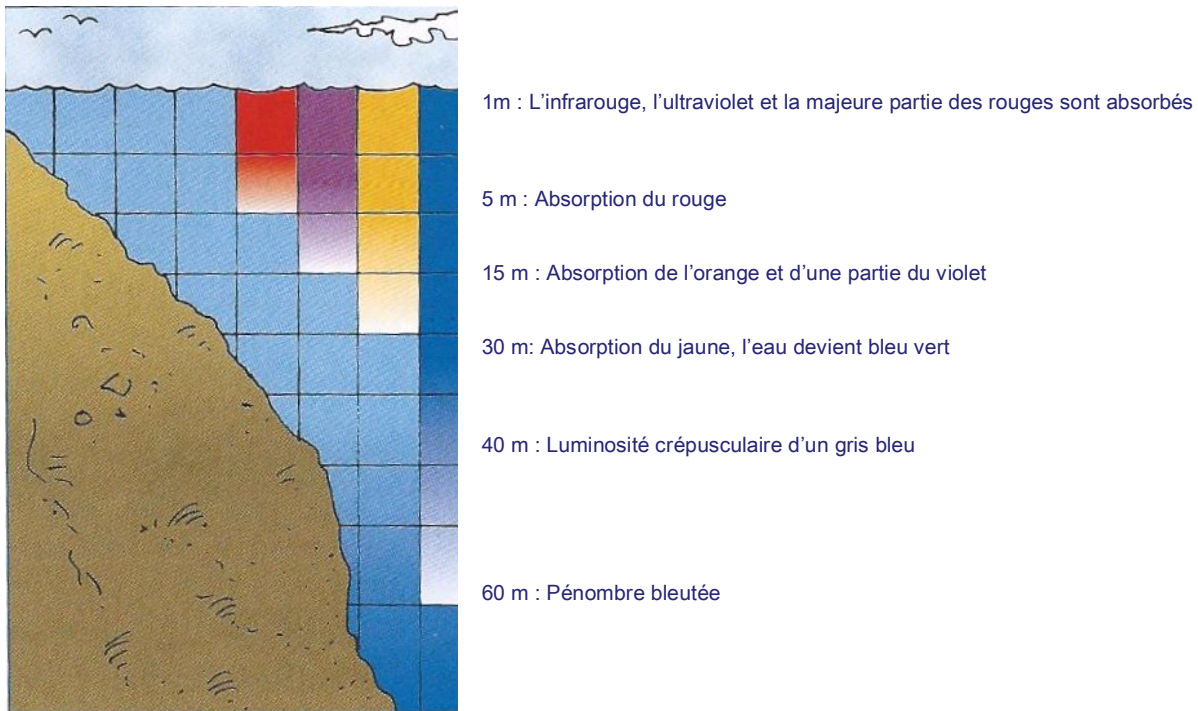


Le crayon nous paraît brisé à cause de la réfraction de la lumière lorsque celle-ci traverse l'eau et l'air.

- Déformation
 - Les objets paraissent plus gros de 33%
 - Les objets paraissent 25% plus près



- Visibilité limitée en plongée par
 - Les particules en suspensions
 - Le fait que la luminosité diminue avec la profondeur
- Absorption des couleurs



- **Vision : Impact en plongée**
 - Souvent les plus belles choses sont à voir près de la surface car il y a plus de lumière.
 - Photographes, pensez à apporter une source de lumière afin de restaurer les couleurs. Par contre, évitez d'aveugler les poissons, ils ne vous ont rien demandés.

I.3. Perception des sons

- Le son se propage **5 fois plus vite** dans l'eau que dans l'air
 - Vitesse de propagation du son est de 1500 m/s sous l'eau et de 340 m/s dans l'air
Remarque : m/s c'est des mètres par seconde
Ainsi dans notre cas, 340 m/s cela signifie que le son parcourt 340 mètres en une seconde
 - Il est difficile sous l'eau de déterminer la provenance d'un son
En effet notre appareil auditif est conçu pour la vitesse du son dans l'air
- Le son se propage très bien sous l'eau
- **Perception des sons : Impact en plongée**
 - Danger !!
 - Je ne peux pas me fier à ce que j'entends sous l'eau
 - Le bruit d'un bateau me semblera être loin alors que le bateau se dirige pile sur moi.

II. Pression

II.1. Notion de pression

- Une pression c'est une force qui appuie sur une surface

Exemple, la pression de votre main à plat sur le sable.
- En plongée le bar est l'unité de mesure de la pression

1 bar correspond à :
 - 1 kg / cm² c'est-à-dire une force équivalant à **1 kg** qui s'exerce sur un carré de **1 cm de coté**
 - A la hauteur d'une colonne d'eau **doce** de **10 mètres** de haut qui s'exerce sur un carré de 1 cm de coté
- La pression est de 1 bar au niveau de la mer (à 20 °)
 - Cela correspond à la colonne d'air qui se situe au-dessus
 - C'est la **pression atmosphérique**
- Sous l'eau, la pression augmente de 1 bar tous les 10 mètres (en eau douce)
 - Cette pression s'accroît avec la profondeur
 - C'est la **pression hydrostatique**
- Dans l'eau je suis soumis à une **pression absolue**

Pression **absolue** = La pression **atmosphérique** + la pression **hydrostatique**

Exercice 1 : Les pressions

On plonge en eau douce et la pression atmosphérique est de 1 bar

- a. Calculer la pression à 10 m, 20 m et 40 m
- b. Et à 5 m ?
- c. A quelle profondeur correspond la pression absolue de 4 bar de 2,5 bar ?
- d. Par rapport à la surface, à quelle profondeur la pression aura-t-elle doublé ?
- e. A quelle profondeur la pression doublera-t-elle à nouveau ?

II.2. Loi de Mariotte

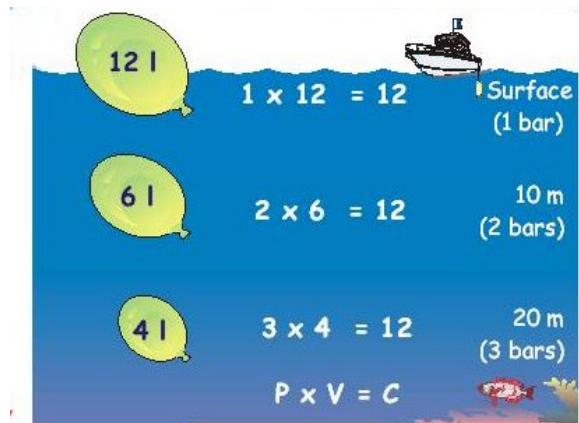
À température constante, le **volume** d'un gaz est **inversement** proportionnel à la **pression** qu'il subit

Si P augmente, V diminue et réciproquement.

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

ou

$$P_1 * V_1 = P_2 * V_2$$



Avec :

- P la pression en bar
- V le volume en litre (l)

Volume d'air détendu (ou volume d'air disponible)

Si on prend une bouteille de plongée contenant de l'air comprimé, le **volume d'air détendu** c'est le volume qu'occuperait l'air de la bouteille s'il était en surface à 1 bar. Le volume d'air détendu est aussi appelé **volume d'air disponible**.

Autrement, imaginez une énorme baudruche gonflable. Vous êtes en surface (donc à 1 bar) sur le quai, vous branchez sur la bouteille de plongée cette grosse baudruche et vous ouvrez le robinet. Le volume d'air détendu c'est l'air qui était dans la bouteille et qui maintenant remplit la baudruche. L'air n'étant plus comprimé, l'air prend nettement plus de place.

Remarques :

- On appelle aussi une bouteille de plongée un bloc
- Il existe plusieurs contenances pour les bouteilles de plongée. Les principaux volumes intérieurs pour les bouteilles sont 12 litres et 15 litres
- Quand on dit qu'une bouteille est gonflée à 200 bars, cela signifie qu'elle est remplie de 200 bars d'air (le mélange le plus couramment utilisé en plongée)

Exercice 2 : Mariotte

- Calculer le volume d'air détendu d'une bouteille 12 l à 200 bars
- Calculer le volume d'air détendu d'une bouteille 15 l à 200 bars

Exercice 3 : Mariotte

Après une plongée de 45 minutes à 20 m, il me reste **65 bars** dans mon bloc de **12 l**.

- Calculer le volume d'air détendu restant dans la bouteille
- Je veux rééquilibrer mon bloc en utilisant une lyre et un second bloc de **15 l** gonflé à **200 bars**
Après équilibrage, combien y aura-t-il de pression dans les deux bouteilles ?

II.3. Pression : Impact en plongée

- Les barotraumatismes :

Le corps humain renferme de nombreuses cavités pleines d'air ou s'exerce la loi de Mariotte. Si la compression et la dilatation des gaz à l'intérieur de ces cavités ne sont pas maîtrisées, des lésions apparaissent, c'est le barotraumatisme.

A la descente

Plaquage de masque
(impact sur le corps humain, les yeux et le visage)

Oreilles

Sinus

Dents



A la remontée

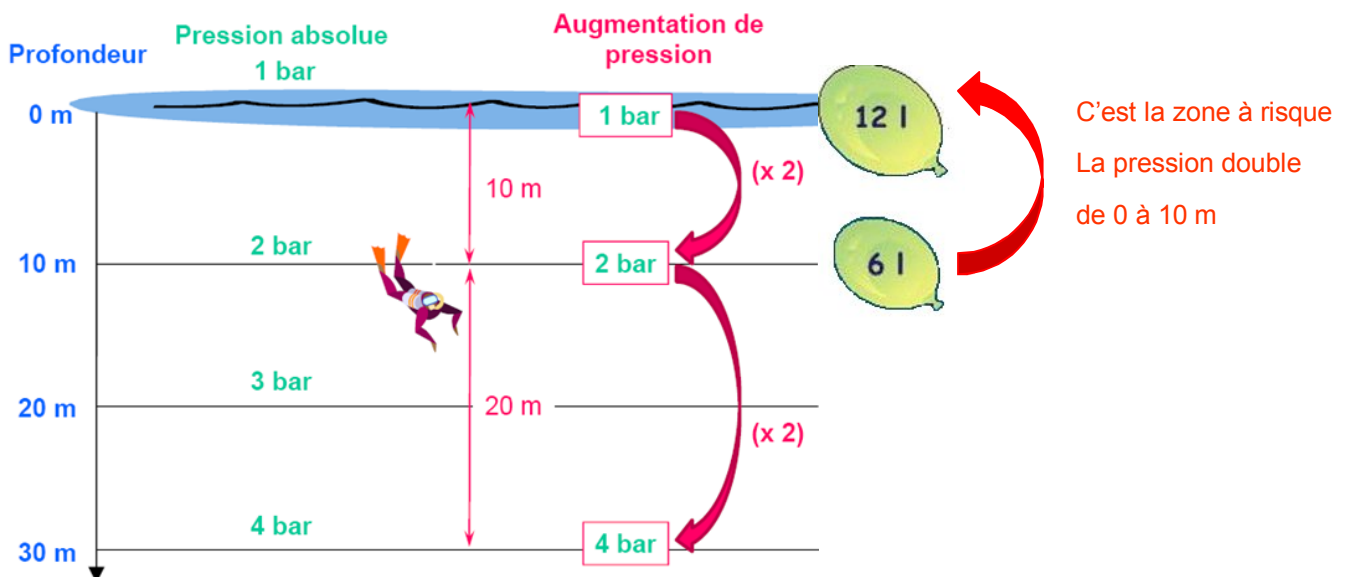
Suppression pulmonaire

Oreilles

Sinus

Dents

Estomac



Autres impacts liés à la pression en plongée

- La saturation et l'accident de décompression
- La narcose

III. Autonomie en air

III.1. Qu'est-ce que l'autonomie en air ?

L'autonomie en air est le temps qu'un plongeur peut évoluer à une certaine profondeur et cela sans manquer d'air !

Cela va dépendre

- De la consommation du plongeur (exprimée en litre par minute l/minute)
La consommation normale en plongée varie de 15 à 20 l/m selon l'expérience
- De la quantité d'air disponible dans la bouteille
- De la profondeur à laquelle le plongeur évolue
- De l'expérience et de l'entraînement du plongeur

Exercice 4 : Calcul d'autonomie

Un plongeur consomme **20l/minute**. Calculer son autonomie en air avec une bouteille de **12 l** gonflée à **200 bars** :

- a) En surface
- b) A 20 mètres
- c) A 40 mètres

Exercice 5 : Calcul d'autonomie

Un plongeur consommant **20l/minute**, plonge à **15 m** avec une bouteille de **12 l** gonflée à **180 bars**.

Calculer l'autonomie en air en gardant **50 bars de réserve**

III.2. Facteurs favorisant la consommation

Certains facteurs peuvent influencer la consommation excessive

- Le lestage
- Le froid
- Le stress
- La forme physique

III.3. Autonomie en air : Impact en plongée

- Si l'autonomie en air est mal gérée, **c'est la panne d'air**.
- **Planification d'une plongée** : Avant une plongée, un plongeur autonome niveau II doit savoir estimer son autonomie en air en fonction de la quantité d'air dans la bouteille dont il dispose et en fonction du profil de la plongée.
- Le directeur de plongée voir les plongeurs eux-mêmes peuvent imposer une marge de sécurité : C'est la réserve qui par défaut est fixée à 50 bars
- En plongée il faut que tous les plongeurs d'une palanquée d'autonome **communiquent** souvent **sur la quantité d'air** restant dans leur bouteille (cf manomètre)

IV. Flottabilité

IV.1. Poussée d'Archimède

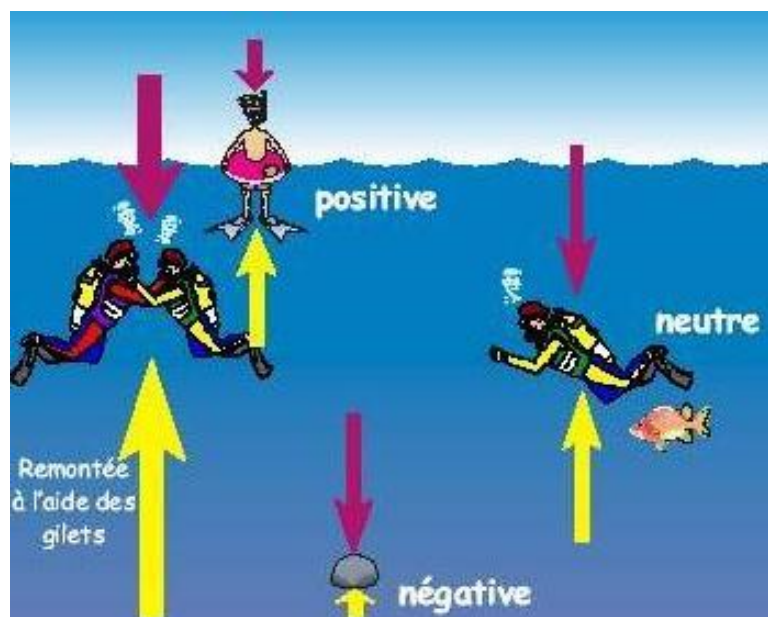
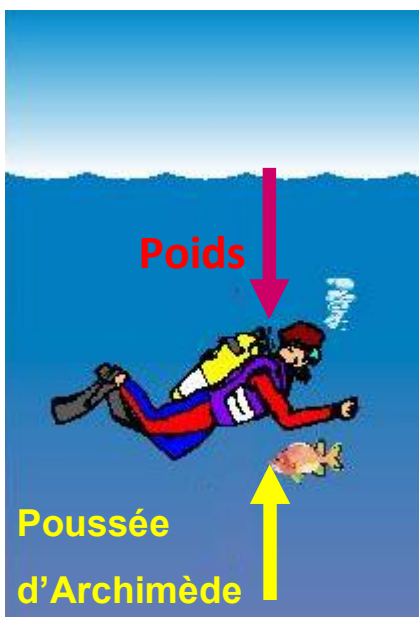
Tout corps plongé dans l'eau reçoit une poussée verticale de bas en haut égale au poids du volume d'eau déplacé.

$$\text{Poids apparent} = \text{Poids} - \text{Poussée d'Archimède}$$



IV.2. La flottabilité

- **flottabilités positive** : Correspond à un **poids apparent négatif**
La Poussée d'Archimède est plus élevée que le poids
- **flottabilités négative** : Correspond à un **poids apparent positif**
La Poussée d'Archimède est moins élevée que le poids
- **flottabilités neutre** : Correspond à un **poids apparent égal à 0**
(ou nulle) La Poussée d'Archimède est égale au poids



Remarque :

Pour la poussée d'Archimède on parle du poids du volume d'eau déplacée. Au niveau II nous nous restreindrons uniquement à l'eau douce.

Et 1 litre d'eau douce = 1 kg

Avec l'eau de mer il faut tenir compte de la densité de l'eau, mais ça c'est pour le niveau IV

IV.3. Flottabilité : Impact en plongée

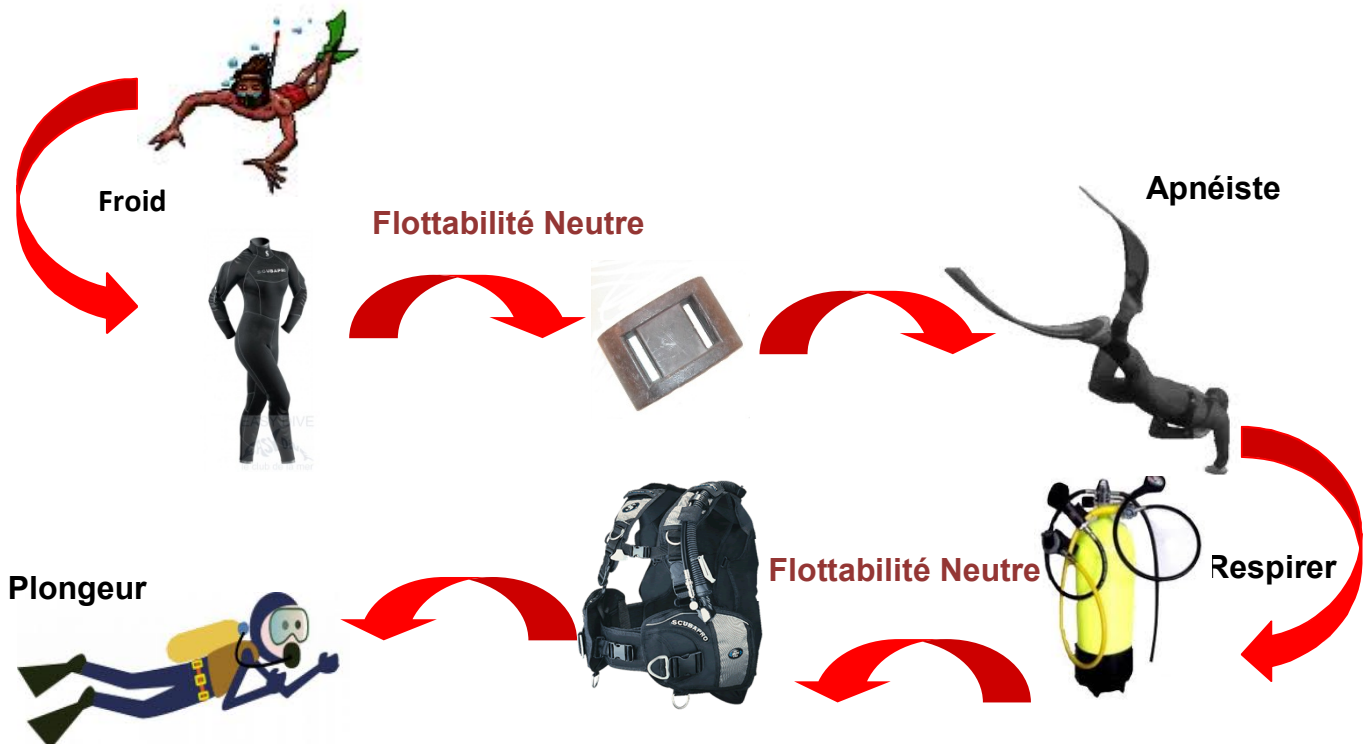
- D'être trop lesté le plongeur risque de sur consommer voir même l'essoufflement
- De n'être pas assez lesté le plongeur risque de ne pas tenir ses paliers donc l'accident de décompression
- On cherche toujours la flottabilité neutre.

Exercice 6 : Flottabilité

En eau douce, un plongeur de **75 kg**, ayant un volume de **82 l** avec sa combi, plonge avec bloc en acier **12 l** de **16 kg**

- Pour rester en flottabilité neutre, le plongeur doit-il utiliser du lest ? Si oui combien ?
- Ce même plongeur désire remplacer son bloc acier par un bloc aluminium **12 l** de **10 kg**. Le plongeur pèse toujours **75 kg**, il y a toujours un volume de **82 l** avec sa combi.

Par rapport à la question a) le plongeur doit-il ajuster le lestage qu'il avait avec son bloc acier ? Si oui de combien ?



- En réalité, les apnéistes doivent avoir une flottabilité légèrement positive. Ainsi s'il y a un problème ils remontent naturellement.

V. La dissolution des gaz

V.1. La dissolution des gaz

Lorsqu'un gaz se trouve au contact de la surface de l'eau, une partie du gaz se retrouve dans l'eau sous forme dissoute

V.2. Les états de la saturation

- **Saturation** : La pression du gaz dissout est **égale** à la pression du gaz à la surface du liquide
- **Sur saturation** : la pression du gaz dissout dans le liquide est **supérieure** à la pression du gaz à la surface du liquide
- **Sous saturation** : la pression du gaz dissout dans le liquide est **inférieure** à la pression du gaz à la surface du liquide

V.3. La loi de Henry

A température **constante** et à **saturation**, la quantité de **gaz dissout** dans un liquide est **proportionnelle** à la **pression** qu'exerce ce gaz sur le liquide.

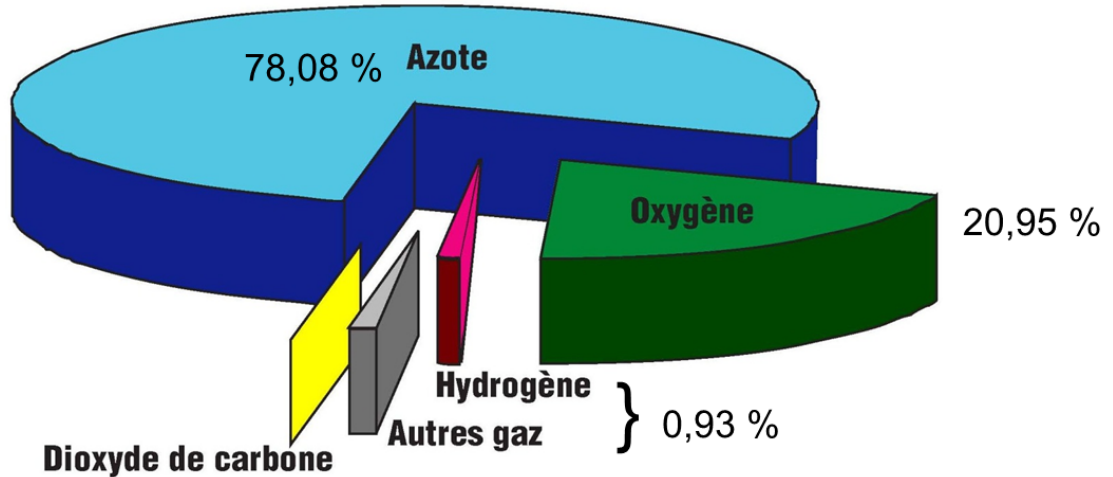
V.4. La saturation : Impact en plongée

- A l'état de sur saturation, si le plongeur remonte trop vite vers la surface ou si la désaturation est perturbée ou non effectuée, on parle alors de **sur saturation critique**. Le plongeur risque alors l'accident de décompression
- Pour se prémunir d'une mauvaise désaturation, le plongeur doit utiliser un moyen de décompression, respecter la vitesse de remontée et réaliser les paliers préconisés.
- Avant la plongée, les plongeurs autonomes doivent planifier ensemble leur plongée, sa durée, sa profondeur maximum et donc de prévoir quel sera le ou les paliers de décompression.

VI. Mélange gazeux et pressions partielles

VI.1. La composition de l'air

COMPOSITION DE L'AIR EN SURFACE



Moins de 0,05%

VI.2. La loi de Dalton

Pour un volume donné, la **pression partielle** d'un gaz dans un **mélange** est la **pression** qu'aurait ce gaz s'il occupait **seul** ce **volume**.

VI.3. Les pressions partielles

De la loi de Dalton il vient la définition des pressions partielles (P_p)

$$P_p\text{Gaz} = \text{PourcentageGaz} \times P_{\text{absolue}}$$

Exemple 1 : En surface

P_{absolue} est de **1 bar**, la pression atmosphérique

- Pression partielle de l'Azote (N_2)
L'Azote représente **80%** de **1 bar**

Soit $P_p\text{Gaz} = \text{PourcentageGaz} \times P_{\text{absolue}}$

$$P_pN_2 = 80\% \times 1$$

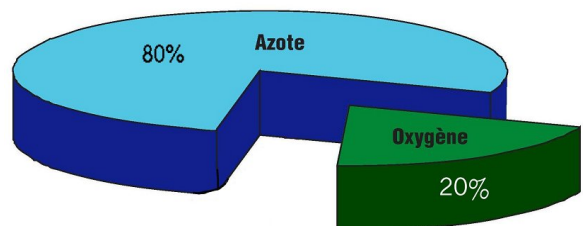
$$P_pN_2 = 0,8 \text{ bar}$$

- Pression partielle de l'oxygène (O_2)
L'oxygene représente **20%** de **1 bar**

Soit $P_p\text{Gaz} = \text{PourcentageGaz} \times P_{\text{absolue}}$

$$P_pO_2 = 20\% \times 1$$

$$P_pO_2 = 0,2 \text{ bar}$$



Exemple 2 : A 20 m

Pabsolue est de **3 bar** : **1 bar** de pression atmosphérique + **2 bar** de pression hydrostatique

- Pression partielle de l'Azote (N₂)
L'Azote représente **80%** de **3 bar**

Soit $PpGaz = \text{PourcentageGaz} \times Pabsolue$

$$PpN_2 = 80\% \times 3$$

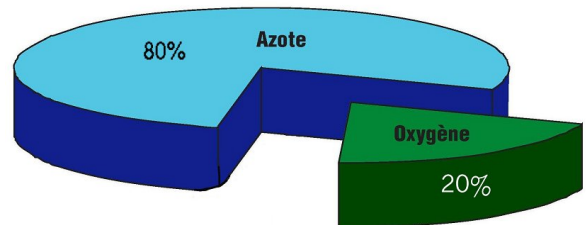
$$PpN_2 = 2.4 \text{ bar}$$

- Pression partielle de l'oxygène (O₂)
L'oxygène représente **20%** de **3 bar**

Soit

$$PpO_2 = 20\% \times 3$$

$$PpO_2 = 0,6 \text{ bar}$$



Exercice 7 : Pression partielle

Avec un mélange de 80% d'azote et de 20% d'oxygène

- Calculer la pression partielle de l'azote à 40 m
- Calculer la pression partielle de l'oxygène à 40 m

VI.4. Les pressions partielles : Impact en plongée

- Hyperoxie (cas de la plongée Nitrox)
- Narcose
- L'essoufflement

VII. Correction exercices

VII.1. Exercice 1 : Les pressions

a) Calculer la pression à 10 m, 20 m et 40 m

La **pression atmosphérique** est de 1 bar (énoncé)

A 10 m

La pression hydrostatique est de 1 bar (1 fois 10 mètres car on est en eau douce)

La pression **absolue** = La pression **atmosphérique** + la pression **hydrostatique**

La pression **absolue** = 1bar + 1 bar

La pression **absolue** = **2 bar**

A 20 m

La pression hydrostatique est de 2 bar (2 fois 10 mètres car on est en eau douce)

La pression **absolue** = La pression **atmosphérique** + la pression **hydrostatique**

La pression **absolue** = 1bar + 2 bar

La pression **absolue** = **3 bar**

A 40 m

La pression hydrostatique est de 4 bar (4 fois 10 mètres car on est en eau douce)

La pression **absolue** = La pression **atmosphérique** + la pression **hydrostatique**

La pression **absolue** = 1bar + 4 bar

La pression **absolue** = **5 bar**

b) Et à 5 m ?

La **pression atmosphérique** est de 1 bar (énoncé)

A 5 m

La pression hydrostatique est de 0,5 bar (la moitié de 10 mètres car on est en eau douce)

La pression **absolue** = La pression **atmosphérique** + la pression **hydrostatique**

La pression **absolue** = 1 bar + 0,5 bar

La pression **absolue** = **1,5 bar**

c) A quelle profondeur correspond la pression absolue de 4 bar de 2,5 bar ?

La **pression atmosphérique** est de 1 bar (énoncé)

La pression **absolue** = La pression **atmosphérique** + la pression **hydrostatique**

Ce qui nous donne

La pression **absolue** - La pression **atmosphérique** = la pression **hydrostatique**

Pression absolue de 4 bar

La pression **hydrostatique** = La pression **absolue** - La pression **atmosphérique**

La pression **hydrostatique** = 4 bar – 1 bar

La pression **hydrostatique** = **3 bar**

On est en eau douce, donc 3 bar correspond à 3 fois 10 mètres soit 30 m

La profondeur à laquelle on à 4 bar est 30 mètres

Pression absolue de 2,5 bar

La pression **hydrostatique** = La pression **absolue** - La pression **atmosphérique**

La pression **hydrostatique** = 2,5 bar – 1 bar

La pression **hydrostatique** = **1,5 bar**

On est en eau douce, donc 1,5 bar correspond à 1,5 fois 10 mètres soit 15 m

La profondeur à laquelle on à 2,5 bar est 15 mètres

d) Par rapport à la surface, à quelle profondeur la pression aura-t-elle doublée ?

En surface on a 1 bar, c'est la pression atmosphérique (énoncé)

Le double d'une pression de 1 bar c'est 2 bar.

On cherche donc la profondeur correspondant à une pression absolue de 2 bar.

Comme vu à la question c)

La pression **hydrostatique** = La pression **absolue** - La pression **atmosphérique**

La pression **hydrostatique** = 2 bar – 1 bar

La pression **hydrostatique** = **1 bar**

On est en eau douce, donc 1 bar correspond à 10 mètres

La profondeur à laquelle la pression aura doublée par rapport à la surface est 10 m

e) A quelle profondeur la pression doublera-t-elle à nouveau ?

De la surface à 10 m de profondeur la pression a doublée, soit 2 bar

Pour que la pression double à nouveau, il faut une pression absolue de 4 bar

La pression **hydrostatique** = La pression **absolue** - La pression **atmosphérique**

La pression **hydrostatique** = 4 bar – 1 bar

La pression **hydrostatique** = **3 bar**

La profondeur à laquelle la pression aura de nouveau doublée est de 30 m

A noter qu'il faut parcourir seulement 10 m (de 0 m à -10m) pour voir la pression doubler
Alors que pour de nouveau doubler la pression il faut parcourir 20 m de plus (de -10 m à -30 m)
C'est pour cela que **les barotraumatismes surviennent plus souvent entre 0 et -10 m que plus profond**

VII.2. Exercice 2 : Mariotte

a) Calculer le volume d'air détendu d'une bouteille 12 l à 200 bars

Calculons le volume d'air qu'occupera le contenu de la bouteille s'il était détendu en surface donc à 1 bar (la pression atmosphérique)

Il faut appliquer la loi de Mariotte

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

(1) Correspond à l'air détendu, comme s'il elle était en surface (à 1 bar)

(2) Correspond à l'air comprimé dans la bouteille (à 200 bars)

$P_1 = 1 \text{ bar}$, la pression en surface

$V_1 =$ Ce que l'on veut calculer, le volume d'air détendu

$P_2 = 200 \text{ bar}$ (énoncé)

$V_2 = 12 \text{ l}$ (volume de la bouteille donné dans l'énoncé)

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

$$1 \times V_1 = 200 \times 12$$

$$V_1 = 200 \times 12$$

$$\mathbf{V_1 = 2400 \text{ l}}$$

b) Calculer le volume d'air détendu d'une bouteille 15 l à 200 bars

Calculons le volume d'air qu'occuperait le contenu de la bouteille s'il était détendu en surface donc à 1 bar (la pression atmosphérique)

Il faut appliquer la loi de Mariotte

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

(1) Correspond à l'air détendu, comme s'il elle était en surface (à 1 bar)

(2) Correspond à l'air comprimé dans la bouteille (à 200 bars)

$P_1 = 1 \text{ bar}$, la pression en surface

$V_1 =$ Ce que l'on veut calculer, le volume d'air détendu

$P_2 = 200 \text{ bars}$ (énoncé)

$V_2 = 15 \text{ l}$ (volume de la bouteille donné dans l'énoncé)

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

$$1 \times V_1 = 200 \times 15$$

$$V_1 = 200 \times 15$$

$$\mathbf{V_1 = 3000 \text{ l}}$$

C'est peut-être évident de le dire, mais on vient de montrer qu'à pression égale il y a plus d'air dans un bloc de 15 l que dans un bloc de 12 l

VII.3. Exercice 3 : Mariotte

Après une plongée de 45 minutes à 20 m, il me reste **65 bars** dans mon bloc de **12 l**.

a) Calculer le volume d'air détendu restant dans la bouteille

Calculons le volume d'air qu'occuperais le contenu de la bouteille s'il était détendu en surface donc à 1 bar (la pression atmosphérique)

Il faut appliquer la loi de Mariotte

$$P1 \times V1 = P2 \times V2$$

(1) Correspond à l'air détendue, comme s'il elle était en surface (à 1 bar)

(2) Correspond à l'air comprimé dans la bouteille (à 65 bars)

$P1 = 1 \text{ bar}$, la pression en surface

$V1 =$ Ce que l'on veut calculer, le volume d'air détendu

$P2 = 65 \text{ bar}$ (énoncé)

$V2 = 12 \text{ l}$ (volume de la bouteille donné dans l'énoncé)

$$P1 * V1 = P2 * V2$$

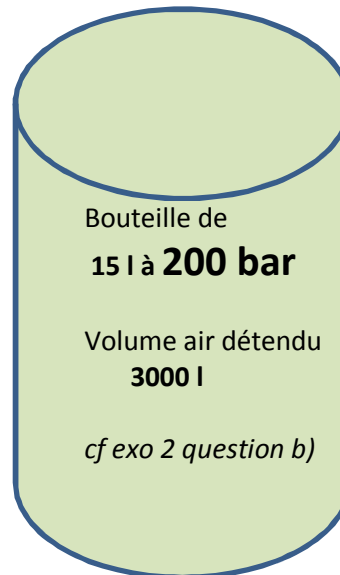
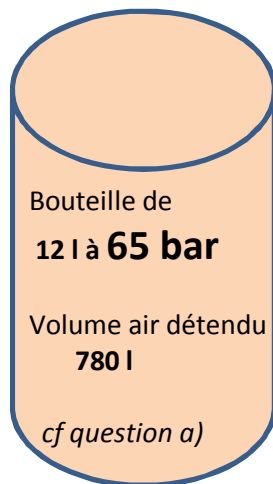
$$1 * V1 = 65 * 12$$

$$V2 = 65 * 12$$

$$\mathbf{V2 = 780 \text{ l}}$$

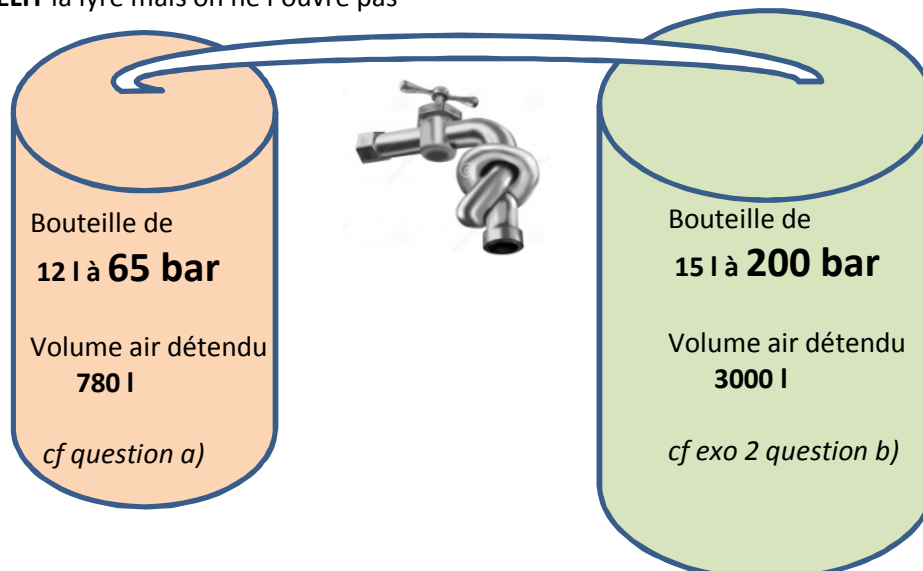
- b) Je veux rééquilibrer mon bloc en utilisant une lyre et un second bloc de **15 l** gonflé à **200 bars**
Après équilibrage, combien y aura-t-il de pression dans les deux bouteilles ?

ETAPE 1



ETAPE 2

On **RELIT** la lyre mais on ne l'ouvre pas

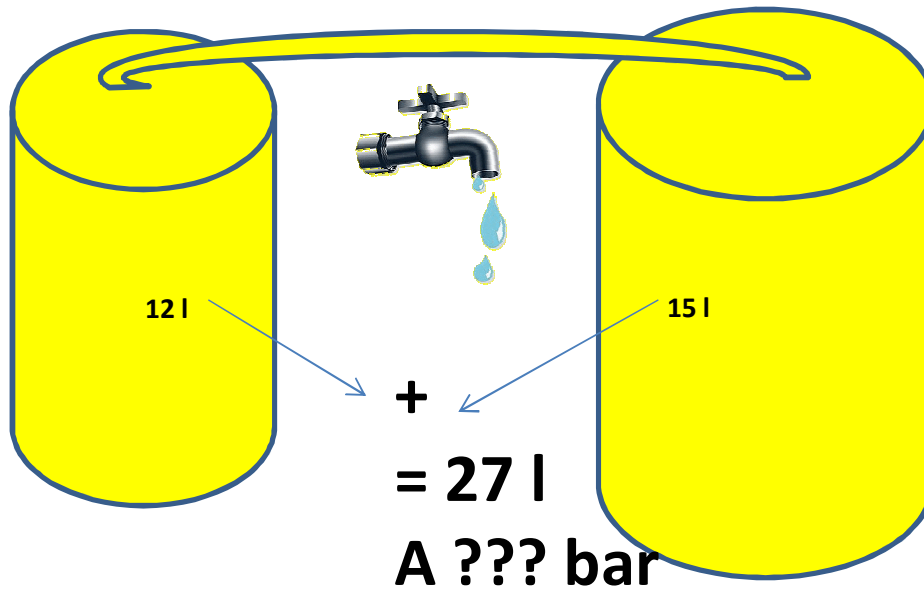


ETAPE 3

On **OUVRE** les robinets des bouteilles et de la lyre

Il n'y a plus qu'un volume de $27 \text{ l} = 12 \text{ l} + 15 \text{ l}$ (On néglige le volume d'air de la lyre)

Vu qu'il n'y a plus qu'un volume, l'air circule librement dans ce volume. Donc après quelques secondes on a la **même pression partout dans ce volume**

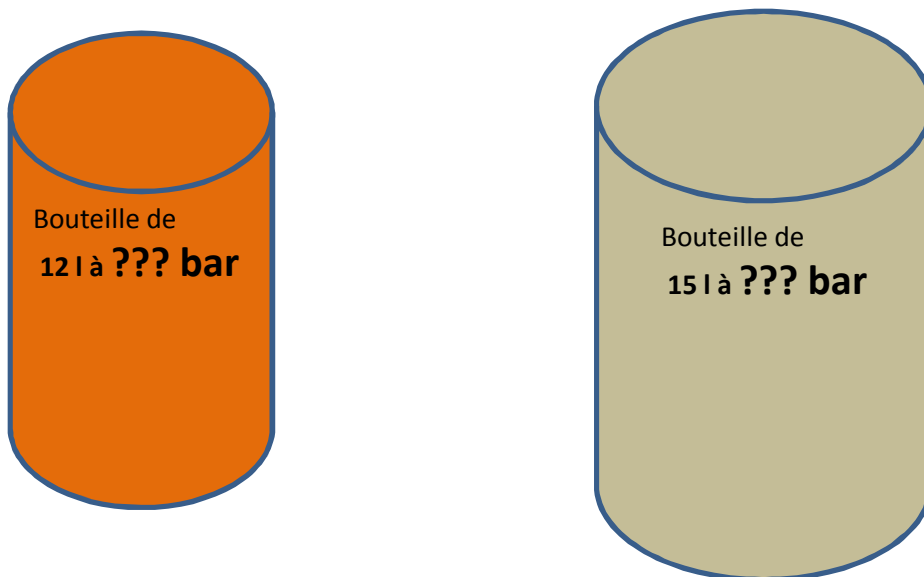


ETAPE 4

On **FERME** les robinets des bouteilles et de la lyre, on **purge** l'air qu'il reste dans la lyre et on **enlève** la lyre.

On a de nouveau **deux volumes** différents, un de 12 l et un de 15 l .

L'air ne peut plus communiquer entre les deux bouteilles. La pression reste la même dans les deux bouteilles, c'est-à-dire la même qu'à l'étape 3



Etape 1 et étape 2

La bouteille de **12 l** gonflée à **65 bars** a un volume d'air détendu de **780 l** *cf question a)*

La bouteille de **15 l** gonflée à **200 bars** a un volume d'air détendu de **3000 l** *cf exo 2 question b)*

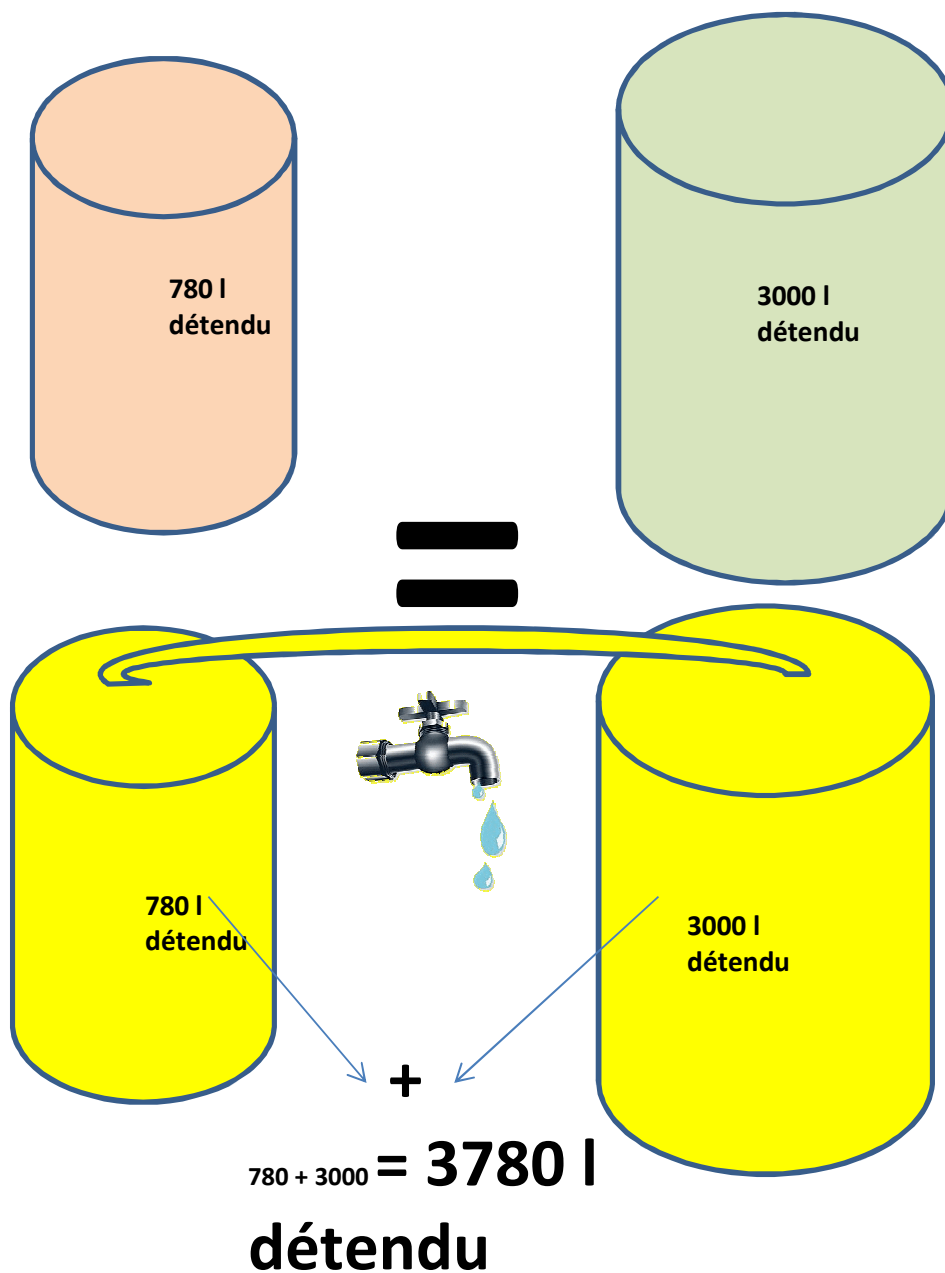
Etape 3

Les deux bouteilles communiquent ensemble, il n'y a plus **qu'un volume V**

Hors ce gros volume unique (en jaune) est composé des deux bouteilles dont nous avons déjà calculé le volume d'air détendu. Et le fait d'avoir relié les deux bouteilles par une lyre n'a pas changé ce volume d'air détendu. L'air c'est juste répartie autrement.

Le volume d'air global détendu est de 780 l + 3000 l

Soit 3780 l *(résultat 1)*



Le volume d'air global détendu c'est aussi le volume de la grosse bouteille de 27 l

D'après Mariotte

$$P1 * V1 = P2 * V2$$

(1) Correspond à l'air détendue, comme s'il elle était en surface (à 1 bar)

(2) Correspond à l'air comprimé dans la grosse bouteille de 27 l

$P1 = 1$ bar, la pression en surface

$V1 =$ **le volume d'air global détendu**

$P2 =$ Ce que l'on cherche

$V2 = 27$ l (12 l + 15 l)

Le volume d'air global détendu du gros volume

$$V1 = P2 * 27 \quad (\text{résultat 2})$$

Hors on a calculé autrement ce même volume d'air global détendu (cf résultat 1)

On a

$$V1 = 3780 \text{ l} \quad (\text{cf résultat 1})$$

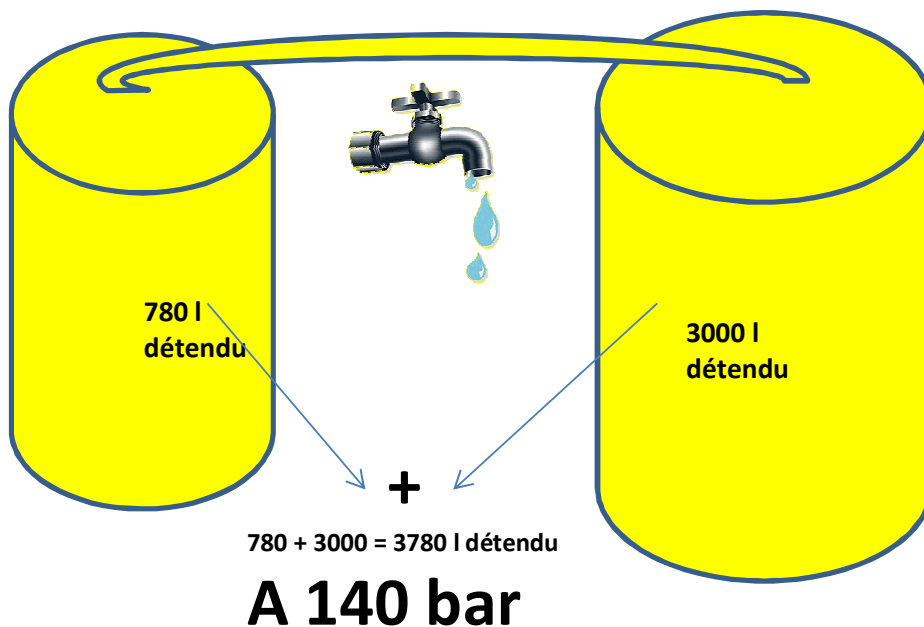
$$V1 = P2 * 27 \quad (\text{cf résultat 2})$$

$$\text{Donc } P2 * 27 = V1 = 3780$$

$$\text{Ou encore } P2 * 27 = 3780$$

$$\text{Soit } P2 = 3780 / 27$$

$$P2 = 140 \text{ bars}$$



Etape 4

On a fermé les robinets des bouteilles et de la purge, l'air ne peut donc plus s'échapper. Dans les deux bouteilles on a donc **140 bar**

C'est comme si vous avez deux pièces indépendantes de même volume mais séparées par une porte.

Etape 1 et étape 2

Dans la pièce N°1 il fait 15 °

Dans la pièce N°2 il fait 25°

Etape 3

Vous ouvrez la porte entre les deux pièces, il n'y a donc plus qu'une seule et même grande pièce. Au bout d'un certain temps, il y a la même température 20 ° partout dans le gros volume que font maintenant les deux pièces réunies.

Etape 4

Vous refermez la porte, les deux pièces sont à nouveau indépendantes, mais il fait 20° dans chaque pièce.

Il y a donc 140 bars dans chaque bouteille

Il faut retenir **qu'après équilibrage**, dans les **deux bouteilles** il y a exactement la **même pression**

VII.4. Exercice 4 : Calcul d'autonomie

Un plongeur consomme **20l/minute**. Calculer son autonomie en air avec une bouteille de **12 l** gonflée à **200 bar** :

a) **En surface**

Calculons le volume d'air détendu

D'après la loi de Mariotte : $P_1 * V_1 = P_2 * V_2$

$$1 * V_1 = 200 * 12$$

$$V_1 = 2400 \text{ l}$$

Le plongeur consomme 20 l/ minutes

Donc il a pour autonomie

Volume d'air détendu / consommation = **2400/20**

Soit 120 minutes en surface

b) **A 20 mètres**

Le **volume d'air détendu** de la bouteille est toujours de **2400 l**

Le corps humain a toujours besoin de plus ou moins de 5 l d'air dans les poumons. **La différence** par rapport à la surface est que cet **air dans les poumons est comprimé à 3 bar** (Pression absolue à 20m)

Donc le plongeur qui consomme toujours 20 l/minute mais à 20 m, consomme en réalité bien plus à cause de la pression absolue.

D'après la loi de Mariotte : $P_1 * V_1 = P_2 * V_2$

$$1 * V_1 = 3 * 20 \quad (\text{des } 20 \text{ l par minute})$$

$$V_1 = 60 \text{ l}$$

A 20 m, le plongeur consomme l'équivalent de 60 l/ minute en surface

Volume d'air détendu / consommation équivalente en surface = **2400/60**

Soit 40 minutes à 20 mètres

c) **A 40 mètres**

De la même manière, le volume d'air détendu de la bouteille est toujours de 2400 l
La pression absolue est de 5 bar

Le plongeur consomme en réalité toujours 20 l / minute

D'après la loi de Mariotte $P_1 * V_1 = P_2 * V_2$

$$1 * V_1 = 5 * 20 \quad (\text{des } 20 \text{ l par minute})$$

$$V_1 = 100 \text{ l}$$

A 40 m, le plongeur consomme l'équivalent de 100 l/ minute en surface

Volume d'air détendu / consommation équivalente en surface = **2400/100**

Soit 24 minutes à 40 mètres

Il faut retenir **que plus on descend profond, plus l'autonomie en air est réduite.**

Attention à la panne d'air

- **en autonomie, communiquez** avec vos coéquipier et plongez moins profond si vous voyez qu'un membre de la palanqué consomme de trop
- **à 40 m, communiquez** à votre guide de palanqué (GP) votre consommation. Et si la pression dans votre bloc diminue de trop, communiquez avec le GP même s'il ne vous l'a pas demandé

VII.5. Exercice 5 : Calcul d'autonomie

Un plongeur consommant **20l/minute**, plonge à **15 m** avec une bouteille de **12 l** gonflée à **180 bar**.

Calculer l'autonomie en air en gardant 50 bar de réserve

Pression absolue à 15 mètres : 2,5 bar

Calcule du volume d'air détendu

D'après la loi de Mariotte $P_1 * V_1 = P_2 * V_2$

Vu que l'on garde un réserve de 50 bar on a $P_2 = 180 - 50$

$$1 * V_1 = (180-50) * 12$$

$$V_1 = 130 * 12$$

$$V_1 = 1560 \text{ l}$$

Consommation équivalente en surface

D'après la loi de Mariotte $P_1 * V_1 = P_2 * V_2$

$$1 * V_1 = 2,5 * 20$$

$$V_1 = 50 \text{ l}$$

A 15 m, le plongeur consomme l'équivalent de 50 l/ minute en surface

Volume d'air détendu / consommation équivalente en surface = **1560/50**

Soit 31,2 minutes

On arrondit en dessous

Soit 31 minutes à 15 mètres

VII.6. Exercice 6 : Flottabilité

En eau douce, un plongeur de **75 kg**, ayant un volume de **82 l** avec sa combi, plonge avec bloc en acier **12 l** de **16 kg**

a) Pour rester en flottabilité neutre, le plongeur doit-il utiliser du lest ? Si oui combien ?

Il faut appliquer la loi sur la **poussée d'Archimède**

Poids total = poids plongeur + poids de la bouteille

$$\text{Poids} = 75 \text{ kg} + 16 \text{ kg} = \mathbf{91 \text{ kg}}$$

Poussée d'Archimède, c'est le poids du volume d'eau déplacé

Autrement dit le volume du plongeur + le volume de la bouteille

Volume d'eau déplacée est de $82 + 12 = 94 \text{ l}$

Etant en eau douce, la poussée d'Archimède est le poids de 94 l d'eau douce

Donc, la poussée d'Archimède est de 94 kg

Poids apparent = Poids – Poussée d'Archimède

$$\text{Poids apparent} = 91 - 94$$

$$\text{Poids apparent} = -3 \text{ kg}$$

Le plongeur est en flottabilité positive, il flotte.

Pour être en flottabilité neutre il doit ajouter 3 kg de lest

b) Ce même plongeur désire remplacer son bloc acier par un bloc aluminium **12 l** de **10 kg**.

Le plongeur pèse toujours **75 kg**, il y a toujours un volume de **82 l** avec sa combi.

Par rapport à la question a) le plongeur doit-il ajuster le lestage qu'il avait avec son bloc acier ?

Le poids total = poids plongeur + poids de la bouteille

$$\text{Poids} = 75 + 10 = 85 \text{ kg}$$

Volume d'eau déplacée est toujours de 94 l . La poussée d'Archimède est toujours de 94 kg

Poids apparent = Poids – Poussée d'Archimède

$$\text{Poids apparent} = 85 - 94$$

$$\text{Poids apparent} = -9 \text{ kg}$$

Le plongeur est en flottabilité positive, il flotte.

Il lui faut 9 kg de lest soit 6 kg de plus en lest par rapport au lest pour la bouteille acier

VII.7. Exercice 7 : Les pressions partielles

Avec un mélange de 80% d'azote et de 20% d'oxygène

a) Calculer la pression partielle de l'azote à 40 m

Pabsolue est de **5 bar** : **1 bar** de pression atmosphérique + **4 bar** de pression hydrostatique

L'Azote représente **80%** de **5 bar**

Soit $PpGaz = PourcentageGaz \times Pabsolue$

$$PpN2 = 80\% * 5$$

$$PpN2 = 4 \text{ bar}$$

b) Calculer la pression partielle de l'oxygène à 40 m

Pabsolue est de **5 bar** : **1 bar** de pression atmosphérique + **4 bar** de pression hydrostatique

L'oxygene représente **20%** de **5 bar**

Soit $PpGaz = PourcentageGaz \times Pabsolue$

$$PpO2 = 20\% * 5$$

$$PpO2 = 1 \text{ bar}$$