

Questions

Flottabilité

Exercice 1 :

Un plongeur veut remonter une ancre de 200 kg, de densité 10, immergée à 40 m dans un lac (densité 1).

- Quel doit être le volume minimum du ballon de remontée?
- De combien de bouteilles de 10 L, gonflées à 200 bar, aura-t-il besoin?
- Quelle sera la pression restante dans les bouteilles utilisées?

Nota : on négligera le poids du parachute

Exercice 2 :

A 5 mètres de profondeur dans de l'eau douce, on injecte 4 litres d'air dans un parachute d'une capacité de 12 litres, équipé d'un lest de 0,1 litre de densité 15 et on le laisse remonter en surface.

- Quel volume occupera l'air en surface ?
- Quel est le poids apparent du lest ?
- Une fois arrivé en surface et stabilisé, le parachute est-il en flottabilité positive, négative ou neutre ?
- Quel sera alors le volume du parachute qui dépassera de la surface ?

Exercice 3 :

Une ancre en fonte de densité 8 est posée sur un fond de 30 m, et occupe un volume de 5 L. Un plongeur décide de la remonter en utilisant un parachute de 40 L de poids apparent nul.

- Quel volume d'air minimum doit-on injecter dans le parachute pour faire décoller l'ancre?
- A quelle profondeur le parachute sera-t-il rempli d'air ?
- Le plongeur n'injecte que 28 L, mais il dispose d'un bout. A quelle profondeur doit-il laisser remonter le parachute pour qu'il puisse entraîner l'ancre ? Quelle est donc la longueur minimale du bout à avoir ?

Exercice 4 :

Un plongeur équipé d'une combinaison humide dont le néoprène renferme 4 litres d'air est lesté de telle sorte que sa flottabilité en surface est neutre quand son gilet est dégonflé et ses muscles ventilatoires au repos (équilibre ventilatoire). Il s'immerge à 40 mètres.

- Quel volume occupe l'air emprisonné dans sa combinaison ? Quel volume d'air doit-il introduire dans son gilet pour rétablir sa flottabilité neutre (toujours muscles ventilatoires au repos) ?
- Partant de cet équilibre, il descend à 50 mètres sans toucher à son gilet. Que devient le volume de l'air emprisonné dans la combinaison et le gilet ? Quel volume d'air doit-il inspirer par rapport à son équilibre ventilatoire pour rétablir une flottabilité neutre ?
- Toujours sans toucher à son gilet, il remonte à 30 mètres. Quel volume d'air doit-il expirer par rapport à son équilibre ventilatoire pour rétablir une flottabilité neutre ?
- Que deviennent les réponses aux questions A, B et C si ce plongeur est surlesté de 2 kg ?
- Quelles réflexions vous inspirent ces résultats ?

Gonflage

Exercice 1 :

Vous devez gonfler 5 blocs de 12 L à la pression de 230 bar. Sachant que 3 de ces blocs sont totalement vides et dans les deux autres il reste respectivement 20 bar et 50 bar.

Vous disposez de deux séries de 5 tampons de 50 L à 250 bar et d'une rampe de gonflage à 5 sorties permettant de gonfler les 5 blocs en même temps. Vous avez le choix entre mettre les 2 séries de tampons ensemble ou utiliser une série après l'autre.

Quelle est la meilleure solution (démontrer par le calcul la justesse de votre raisonnement) ?

Exercice 2 :

Un bloc venant d'être gonflé grâce à des bouteilles tampons à une pression de 230 bar mesurée au manomètre. Sa température s'est élevée à 45°C. Le bloc est stocké pendant 24h avant d'être utilisé. Sa nouvelle température est de 29°C.


Quelle sera la nouvelle pression dans ce bloc ?

Consommation

La consommation d'air d'un plongeur est de 15 litres/min en surface. Ce plongeur s'immerge avec un bloc de 15 litres sur un fond de 45 mètres.

- a) Arrivé au fond, son manomètre indique 199 bar. Combien de temps pourra-t-il rester à 45 mètres avant que son manomètre n'indique 100 bar ?
- b) Conformément aux indications de son ordinateur, il remonte à 10 mètres/min jusqu'à son palier à 5 mètres où il reste 24 min. Quelle sera la pression dans sa bouteille à l'issue de son palier ?

Nota : la consommation pendant la remontée sera calculée à la profondeur moyenne de la remontée.



Corrections

Flottabilité

Exercice 1 :

Un plongeur veut remonter une ancre de 200 kg, de densité 10, immergée à 40 m dans un lac (densité 1).

- a) Quel doit être le volume minimum du ballon de remontée?

On utilise la formule $P_{app} = P_{ancre} - P_{archi}$

On veut $P_{app} = 0$ (pour amorcer la remontée de l'ancre) donc $P_{ancre} = P_{archi}$

$P_{ancre} = P_{archi(ancre)} + P_{archi(parachute)}$

$P_{ancre} = V_{ancre} \times d_{lac} + V_{para} \times d_{lac}$

Avec $d_{lac} = 1$, on obtient $P_{ancre} = V_{ancre} + V_{para}$ et donc $V_{para} = P_{ancre} - V_{ancre}$

On sait que $V_{ancre} = P_{ancre} / d_{ancre} = 200(\text{kg}) / 10 = 20 \text{ L}$

Donc $V_{para} = 200 - 20 = 180 \text{ L}$

- b) De combien de bouteilles de 10l, gonflées à 200 bar, aura-t-il besoin?

On utilise la formule $P_{abs} = P_{hyd} + P_{atm}$ donc $P_{abs} = 4 + 1 = 5 \text{ bar}$

Volume d'air à mettre dans le ballon :

On utilise la formule $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$ soit $1 \text{ bar} \times V_1 = 5 \text{ bar} \times 180 \text{ L}$ donc $V_1 = 900 \text{ L}$

Volume d'air disponible dans la bouteille :

On utilise la formule $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$ soit $1 \text{ bar} \times V_1 = 200 \text{ bar} \times 10 \text{ L}$ donc $V_1 = 2000 \text{ L}$

Le volume d'air disponible est supérieur au volume nécessaire donc une seule bouteille suffit.

- c) Quelle sera la pression restante dans les bouteilles utilisées?

Il restera dans la bouteille $2000 \text{ L} - 900 \text{ L}$ soit 1100 L .

On utilise la formule $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$ soit $P_1 \times 10 \text{ L} = 1 \text{ bar} \times 1100 \text{ L}$

Donc $P_{final} = 1100/10 = 110 \text{ bar}$

Exercice 2 :

A 5 mètres de profondeur dans de l'eau douce, on injecte 4 litres d'air dans un parachute d'une capacité de 12 litres, équipé d'un lest de 0,1 litre de densité 15 et on le laisse remonter en surface.

- a) Quel volume occupera l'air en surface ?

On utilise la formule $P_{abs} = P_{hyd} + P_{atm}$ donc $P_{abs} = 0.5 + 1 = 1.5 \text{ bar}$

On utilise la formule $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$ soit $1 \text{ bar} \times V_1 = 1.5 \text{ bar} \times 4 \text{ L}$ donc $V_1 = 6 \text{ L}$

- b) Quel est le poids apparent du lest ?

On utilise la formule $P_{app} = P_{lest} - P_{archi}$

Soit $P_{app} = V_{lest} \times d_{lest} - V_{lest} \times d_{lac} = 0.1 \times 15 - 0.1 \times 1$ donc $P_{app} = 1.4 \text{ kg}$

- c) Une fois arrivé en surface et stabilisé, le parachute est-il en flottabilité positive, négative ou neutre ?

Par définition, s'il est stabilisé, le parachute ne flotte ni ne coule, il est donc **en flottabilité neutre**.

- d) Quel sera alors le volume du parachute qui dépassera de la surface ?

Pour atteindre l'équilibre, on a alors $P_{app} = P_{lest} - P_{archi} = 0$ (Cf. réponse c).

Donc $P_{archi} = P_{lest} = 1.4$ donc $P_{archi} = V_{para_immergé} \times d_{lac}$ donc $V_{para_immergé} = 1.4 \text{ L}$

Donc ce qui dépasse de la surface $V_{para_émergé} = V_{para_gonflé} - V_{para_immergé} = 6 - 1.4 = 4.6 \text{ L}$

Exercice 3 :

Une ancre en fonte de densité 8 est posée sur un fond de 30m (lac de densité 1), et occupe un volume de 5 L. Un plongeur décide de la remonter en utilisant un parachute de 40 L de poids apparent nul.

- a) Quel volume d'air minimum doit-on injecter dans le parachute pour faire décoller l'ancre?

On utilise la formule $P_{app} = P_{ancre} - P_{archi}$

On veut $P_{app} = 0$ (pour amorcer la remontée de l'ancre) donc $P_{ancre} = P_{archi}$

$P_{ancre} = P_{archi}(ancre) + P_{archi}(parachute)$

$P_{ancre} = V_{ancre} \times d_{lac} + V_{para} \times d_{lac}$

Avec $d_{lac} = 1$, on obtient $P_{ancre} = V_{ancre} + V_{para}$ et donc $V_{para} = P_{ancre} - V_{ancre}$

On sait que $P_{ancre} = V_{ancre} \times d_{ancre} = 5 \text{ L} \times 8 = 40 \text{ kg}$

Donc $V_{para} = 40 - 5 = 35 \text{ L}$

- b) A quelle profondeur le parachute sera-t-il rempli d'air ?

On utilise la formule $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$ soit $P_1 \times 40 \text{ L} = 4 \text{ bar} \times 35 \text{ L}$ donc $P_1 = 4 \times 35 / 40 = 3.5 \text{ bar}$

On utilise la formule $P_{abs} = P_{hyd} + P_{atm}$ donc $P_{hyd} = 3.5 - 1 = 2.5 \text{ bar}$.

Le parachute est donc plein à 25 m.

- c) Le plongeur n'injecte que 28L, mais il dispose d'une bonne longueur de bout. A quelle profondeur doit-il laisser remonter le parachute pour qu'il puisse entraîner l'ancre ?

Il faut trouver la profondeur à laquelle les 28 L injectés à 30 m deviendront 35L nécessaires pour soulever l'ancre.

On utilise la formule $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$ soit $P_1 \times 35 \text{ L} = 4 \text{ bar} \times 28 \text{ L}$ donc $P_1 = 4 \times 28 / 35 = 3.2 \text{ bar}$

On utilise la formule $P_{abs} = P_{hyd} + P_{atm}$ donc $P_{hyd} = 3.2 - 1 = 2.2 \text{ bar}$.

On doit donc remonter le parachute jusqu'à 22 m, donc un bout de 8m.

Exercice 4 :

Un plongeur équipé d'une combinaison humide dont le néoprène renferme 4 litres d'air est lesté de telle sorte que sa flottabilité en surface est neutre quand son gilet est dégonflé et ses muscles ventilatoires au repos (équilibre ventilatoire). Il s'immerge à 40 mètres.

- a) Quel volume occupe l'air emprisonné dans sa combinaison ? Quel volume d'air doit-il introduire dans son gilet pour rétablir sa flottabilité neutre (toujours muscles ventilatoires au repos) ?

On utilise la formule $P_{abs} = P_{hyd} + P_{atm}$ donc $P_{abs} = 4 + 1 = 5 \text{ bar}$

On utilise la formule $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$ soit $5 \times V_1 = 1 \text{ bar} \times 4 \text{ L}$ donc $V_{air_combi_40} = 0.8 \text{ L}$

On utilise la formule $P_{app} = P_{plongeur} - P_{archi_surface} = 0$ donc $P_{plongeur} = P_{archi}$ quelle que soit la profondeur.

On sait que $P_{archi} = (V_{plongeur} + V_{air_combi} + V_{air_gilet}) \times d$

Donc comme on est équilibré en surface et à 40m on a

$V_{plongeur} + V_{air_combi_surf} + V_{air_gilet_surf} + V_{poumon_surf} = V_{plongeur} + V_{air_combi_40} + V_{air_gilet_40} + V_{poumon_40}$

Donc $V_{air_gilet_40} = 4 \text{ L} - 0.8 \text{ L} = 3.2 \text{ L}$

- b) Partant de cet équilibre, il descend à 50 mètres sans toucher à son gilet. Que devient le volume de l'air emprisonné dans la combinaison et le gilet ? Quel volume d'air doit-il inspirer par rapport à son équilibre ventilatoire pour rétablir une flottabilité neutre ?

Avec le même raisonnement qu'en réponse a), $V_{air_combi_50} = 0.67 \text{ L}$

Pour le gilet, on utilise $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$ soit $6 \times V_1 = 5 \text{ bar} \times 3.2 \text{ L}$ donc $V_{air_gilet_50} = 2.67 \text{ L}$

On a $V_{air_combi_40} + V_{air_gilet_40} + V_{poumon_40} = V_{air_combi_50} + V_{air_gilet_50} + V_{poumon_50}$

Donc $0.8 + 3.2 + 0 = 0.67 + 2.67 + V_{poumon_50}$

Donc $V_{air_poumon_50} = 4 \text{ L} - 3.33 \text{ L} = 0.67 \text{ L}$ donc on inspire 0.67 L par rapport à l'équilibre.

- c) Toujours sans toucher à son gilet, il remonte à 30 mètres. Quel volume d'air doit-il expirer par rapport à son équilibre ventilatoire pour rétablir une flottabilité neutre ?

Avec le même raisonnement qu'en réponse a), $V_{air_combi_30} = 1 \text{ L}$

Pour le gilet, on utilise $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$ soit $4 \times V_1 = 6 \text{ bar} \times 2.67 \text{ L}$ donc $V_{air_gilet_30} = 4 \text{ L}$

On a $V_{\text{air_combi_50}} + V_{\text{air_gilet_50}} + V_{\text{poumon_50}} = V_{\text{air_combi_30}} + V_{\text{air_gilet_30}} + V_{\text{poumon_30}}$

Donc $0.67 + 2.67 + 0.67 = 1 + 4 + V_{\text{poumon_30}}$

Donc $V_{\text{air_poumon_30}} = 4 \text{ L} - 5 \text{ L} = -1 \text{ L}$ donc on expire 1L par rapport à l'équilibre (donc 1.67L par rapport à la situation à 50m).

d) Que deviennent les réponses aux questions a, b et c si ce plongeur est surlesté de 2 kg ?

Si le plongeur est surlesté de 2 kg, il doit introduire 2 litres d'air dans son gilet en surface pour être équilibré.

Les calculs de $V_{\text{air_combi}}$ sont inchangés donc on aura les mêmes résultats à toute profondeur.

Pour l'air gilet, on refait les mêmes calculs à partir de la formule :

$V_{\text{air_combi_surf}} + V_{\text{air_gilet_surf}} + V_{\text{poumon_surf}} = V_{\text{air_combi_40}} + V_{\text{air_gilet_40}} + V_{\text{poumon_40}}$

Donc $V_{\text{air_gilet_40}} = 4 + 2 + 0 - 0.8 - 0 = 5.2 \text{ L}$ (logique, il faut 2L quelle que soit la profondeur pour compenser les 2 kg de lest)

A 50m, on a $V_{\text{air_combi_40}} + V_{\text{air_gilet_40}} + V_{\text{poumon_40}} = V_{\text{air_combi_50}} + V_{\text{air_gilet_50}} + V_{\text{poumon_50}}$

soit $0.8 + 5.2 + 0 = 0.67 + 4.33 + V_{\text{poumon_50}}$

Donc $V_{\text{air_poumon_50}} = 6 \text{ L} - 5 \text{ L} = 1 \text{ L}$ donc on inspire 1 L par rapport à l'équilibre.

A 30m, on a $V_{\text{air_combi_50}} + V_{\text{air_gilet_50}} + V_{\text{poumon_50}} = V_{\text{air_combi_30}} + V_{\text{air_gilet_30}} + V_{\text{poumon_30}}$

Donc $0.67 + 4.33 + 1 = 1 + 6.5 + V_{\text{poumon_30}}$

Donc $V_{\text{air_poumon_30}} = 6 \text{ L} - 7.5 \text{ L} = -1.5 \text{ L}$ donc on expire 1.5L par rapport à l'équilibre (donc 2.5L par rapport à la situation à 50m).

e) Quelles réflexions vous inspirent ces résultats ?

Le surlestage impose une plus grande amplitude de poumon-ballast (2.5L contre 1.67L) pour corriger des variations de profondeur. Comme l'amplitude maximale est physiologiquement limitée, **un surlestage va donc limiter la plage de profondeur dans laquelle le poumon-ballast sera suffisant pour maintenir l'équilibre.**

Gonflage

Exercice 1 :

Vous devez gonfler 5 blocs de 12 L à la pression de 230 bar. Sachant que 3 de ces blocs sont totalement vides et dans les deux autres il reste respectivement 20 bar et 50 bar.

Vous disposez de deux séries de 5 tampons de 50 L à 250 bar et d'une rampe de gonflage à 5 sorties permettant de gonfler les 5 blocs en même temps. Vous avez le choix entre mettre les 2 séries de tampons ensemble ou utiliser une série après l'autre.

Quelle est la meilleure solution (démontrer par le calcul la justesse de votre raisonnement) ?

2 tampons en simultané :

On utilise la formule $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$ donc appliquée à l'ensemble des bouteilles, on a:

$(5 \times 50 \text{L} + 5 \times 50 \text{L}) \times 250 \text{bar} + 3 \times 12 \text{L} \times 0 \text{bar} + 12 \text{L} \times 50 \text{bar} + 12 \text{L} \times 20 \text{bar} = (5 \times 50 \text{L} + 5 \times 50 \text{L} + 5 \times 12 \text{L}) \times P$

$\Rightarrow P_{\text{équilibre}} = 125840/560 = 224,7 \text{ bar}$

On n'atteint pas les 230bar.

2 tampons en successif :

1^{er} tampon : $P_{\text{équilibre}_1} = (5 \times 50 \text{L} \times 250 \text{bar} + 3 \times 12 \text{L} \times 0 \text{bar} + 12 \text{L} \times 50 \text{bar} + 12 \text{L} \times 20 \text{bar}) / (5 \times 50 \text{L} + 5 \times 50 \text{L} + 5 \times 12 \text{L})$

$P_{\text{équilibre}_1} = 204,32 \text{ bar}$

2^{ème} tampon : $P_{\text{équilibre}_2} = (5 \times 50 \text{L} \times 250 \text{bar} + 5 \times 12 \text{L} \times 204,32 \text{bar}) / (5 \times 50 \text{L} + 5 \times 50 \text{L} + 5 \times 12 \text{L})$

$P_{\text{équilibre}_2} = 243,84 \text{ bar}$

On a bien plus qu'il n'en faut pour atteindre 230 bar dans les 5 bouteilles.

La meilleure solution est bien sûr de remplir les blocs sur une première série de tampons puis la seconde plutôt que d'utiliser les deux séries ensemble.

Exercice 2 :

Un bloc venant d'être gonflé grâce à des bouteilles tampons à une pression de 230 bar mesurée au manomètre. Sa température s'est élevée à 45°C. Le bloc est stocké pendant 24h avant d'être utilisé. Sa nouvelle température est de 29°C.

Quelle sera la nouvelle pression dans ce bloc ?

On utilise la formule $P_1 / T_1 = P_2 / T_2$ avec $T_{\text{Kelvin}} = T_{\text{°C}} + 273$

Soit $230/(273+45) = P/(273+29)$, donc **$P = 230 \times (273+29)/(273+45) = 218,4 \text{ bar}$**

Consommation

La consommation d'air d'un plongeur est de 15 litres/min en surface. Ce plongeur s'immerge avec un bloc de 15 litres sur un fond de 45 mètres.

- a) Arrivé au fond, son manomètre indique 199 bar. Combien de temps pourra-t-il rester à 45 mètres avant que son manomètre n'indique 100 bar ?

On utilise la formule $P_{\text{abs}} = P_{\text{hyd}} + P_{\text{atm}}$ donc $P_{\text{abs}} = 4,5 + 1 = 5,5 \text{ bar}$

On utilise la formule $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$

Soit $P_1 \times V_1 / 1\text{min} = P_2 \times V_2 / 1\text{min}$ soit $P_1 \times \text{Conso}_1 = P_2 \times \text{Conso}_2$

Donc $5,5\text{bar} \times 15\text{L}/\text{min} = 1\text{bar} \times \text{Conso}_{45}$ donc $\text{Conso}_{45} = 82,5\text{L}/\text{min}$ à 1 bar

Volume disponible dans la bouteille : $V_{\text{dispo}} = (199\text{bar} - 100\text{bar}) \times 15\text{L} / 1\text{bar} = 1485\text{L}$ à 1 bar

$\text{Temps}_{45} = V_{\text{dispo}} / \text{Conso}_{45} = 1485\text{L} / 82,5\text{L}/\text{min} = 18 \text{ min}$

- b) Conformément aux indications de son ordinateur, il remonte à 10 mètres/min jusqu'à son palier à 5 mètres où il reste 24 min. Quelle sera la pression dans sa bouteille à l'issue de son palier ?

Nota : la consommation pendant la remontée sera calculée à la profondeur moyenne de la remontée.

Durée de la remontée = $(45\text{m} - 5\text{m}) / 10\text{m}/\text{min} = 4 \text{ min}$,

Profondeur moyenne = $(45\text{m} + 5\text{m}) / 2 = 25 \text{ m}$, soit 3,5bar (on utilise $P_{\text{abs}} = P_{\text{hyd}} + P_{\text{atm}}$)

Consommation pendant la remontée = $15\text{L}/\text{min} \times 3,5\text{bar} \times 4\text{min} / 1\text{b} = 210\text{L}$ à 1b

Consommation pendant le palier = $15\text{L}/\text{min} \times 1,5\text{bar} \times 24\text{min} / 1\text{b} = 540\text{L}$ à 1b

Volume dispo en début de remontée = $100\text{bar} \times 15\text{L} = 1500\text{L}$

Volume en fin de palier = $1500\text{L} - 210\text{L} - 540\text{L} = 750\text{L}$

$\text{Pression finale} = 750\text{L} / 15\text{L} \times 1 \text{ bar} = 50 \text{ bar}$ (on utilise la formule $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$)

Nota: Si on considère qu'il faut environ 2min 30s à 3 min pour descendre de la surface à 45m de profondeur et si le plongeur reste 18min à 45m, on a un temps de plongée de 21 min à 45m soit des paliers 5min à 6m et 25 min à 3m (un temps supérieur à celui utilisé pour les calculs ...)