

QUESTION N° 1 : (5 points)

Un plongeur archéologue désire remonter une statue de marbre de 252 kg. Celle-ci repose sur un fond caillouteux à 35m. Il dispose pour cela :

- d'un bloc supplémentaire de 6 L gonflé à 180 bars
 - d'un parachute de relevage de 200 L. La masse de celui-ci est de 4 kg avec une masse volumique de 2 kg/dm^3 .
(Masse volumique du marbre = 2.8 kg / dm^3 ; Densité de l'eau : 1)
- a) Calculer le volume de la statue.
 - b) Calculer le volume d'air nécessaire au fond pour que l'ensemble décolle
 - c) Calculer la pression restante dans le bloc
 - d) Au lieu de ne prendre qu'un seul parachute de 200 litres, vous recommandez à ce plongeur d'en prendre plusieurs. Dans la gamme de parachute, vous avez le choix entre 20, 50, 100 et 200 litres. Que choisissez-vous et pourquoi ?

QUESTION N° 2 : (5 points)

Vous voulez gonfler 5 blocs de 12 litres. Les pressions résiduelles sont de 30 bars pour 3 d'entre elles et 70 bars pour les deux autres. Leur pression de service est de 230 bars.

Vous disposez de 2 tampons de 50 litres, l'un gonflé à 300 bars et l'autre seulement à 250 bars.

(Toutes les pressions sont lues au manomètre)

- a) En gonflant les 5 blocs en même temps, quelle pression atteindrez-vous dans les blocs à la fin du gonflage ?
- b) En utilisant les tampons l'un après l'autre ?
- c) En utilisant les tampons simultanément ?
- d) Quelle méthode préconisez-vous pour maximiser le gonflage et pourquoi ?

QUESTION N°3 : (2 points)

Un plongeur correctement équilibré en eau douce a un volume total de 80 dm^3 . Il va plonger avec vous en mer ($d=1.03$). Il vous interroge sur le lestage à adopter.

Son volume sera toujours de 80 dm^3 auquel s'ajoutera le volume du lestage supplémentaire ($d=11.4$).

Combien de kilo supplémentaire lui recommandez-vous de prendre ?

QUESTION N°4 : (4 points)

Vous voulez effectuer une plongée avec un mélange Nitrox 40/60 à 25 m.

- a) Quelle sera la PpN₂ à cette profondeur ?
- b) Quelle sera la profondeur équivalente à l'air ? (On prendra 20/80 pour l'air).

QUESTION N° 5 : (4 points)

Vous plongez à l'air (20/80) pendant 20 min à 35 m de profondeur.

- a) Quelle sera la tension d'azote dans les compartiments de période 10 et 20 minutes ?
- b) Quelle sera le compartiment directeur ? Pouvez-vous rejoindre directement la surface ?
Si non, donnez la profondeur plafond et la profondeur du premier palier ?
(C10 min : $Sc = 2.38$; C 20 min : $Sc = 2.04$)

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION N° 1 : (5 points)

Un plongeur archéologue désire remonter une statue de marbre de 252 kg. Celle-ci repose sur un fond caillouteux à 35m. Il dispose pour cela :

- d'un bloc supplémentaire de 6 L gonflé à 180 bars
- d'un parachute de relevage de 200 L. La masse de celui-ci est de 4 kg avec une masse volumique de 2 kg/dm³. (Masse volumique du marbre = 2.8 kg / dm³ ; Densité de l'eau : 1)

a) Calculer le volume de la statue.

- $m = 252 \text{ kg}$, masse volumique (densité) = 2.8 kg / dm³
- $V = m/d \rightarrow 252/2,8 = 90 \text{ dm}^3$

b) Calculer le volume d'air nécessaire au fond pour que l'ensemble décolle

- Volume du parachute vide : $m = 4 \text{ kg}$, $d = 2 \text{ kg/m}^3 \rightarrow V = 2 \text{ dm}^3$
- Poids de l'ensemble statue + parachute = 252 + 4 = 256 kg
- Volume déplacé par l'ensemble = 90 + 2 = 92 dm³
- Poids Apparent = Poids Réel - Poussée d'Archimède = 256 - 92 = 164 kg
- Volume Air pour Décollage de l'ensemble : 164 litres

c) Calculer la pression restante dans le bloc

- Volume Air Nécessaire = Volume fond x Pabs = 164 x 4,5 = 738 litres à un bars
- Volume Air Initial = Volume Bloc x Pression Bloc = 6 x 180 = 1080 litres
- Volume Air Final = Volume Air Initial - Volume Air Nécessaire = 1080 - 738 = 342 litres
- Pression Restante Bloc δ Volume Air Final / Volume Bloc = 342 / 6 = 57 bars.

d) Au lieu de ne prendre qu'un seul parachute de 200 litres, vous recommandez à ce plongeur d'en prendre plusieurs. Dans la gamme de parachute, vous avez le choix entre 20, 50, 100 et 200 litres. Que choisissez-vous et pourquoi ?

Afin d'éviter une remontée rapide de la charge due à la détente de l'air dans le parachute (poussée équivalente de 36 kg), un choix préférable, serait d'en utiliser trois : 20,50 et 100 L. ce qui donnerait une poussée extra de 6 kg maxi dans ce cas.

QUESTION N° 2 : (5 points)

Vous voulez gonfler 5 blocs de 12 litres. Les pressions résiduelles sont de 30 bars pour 3 d'entre elles et 70 bars pour les deux autres. Leur pression de service est de 230 bars.

Vous disposez de 2 tampons de 50 litres, l'un gonflé à 300 bars et l'autre seulement à 250 bars. (Toutes les pressions sont lues au manomètre)

a) En gonflant les 5 blocs en même temps, quelle pression atteindrez-vous dans les blocs à la fin du gonflage :

- Avec le premier tampon à 250b $\delta (3 \times 12 \times 30 + 2 \times 12 \times 70 + 50 \times 250) / (5 \times 12 + 50) = 138,73 \text{ bars}$
- Avec le second tampon $\delta (5 \times 12 \times 138,73 + 50 \times 300) / (5 \times 12 + 50) = 212,03 \text{ bars}$

b) En utilisant les tampons l'un après l'autre ?

- Avec le premier tampon à 300b $\delta (3 \times 12 \times 30 + 2 \times 12 \times 70 + 50 \times 300) / (5 \times 12 + 50) = 161,45 \text{ bars}$
- Avec le second tampon $(5 \times 12 \times 138,73 + 50 \times 250) / (5 \times 12 + 50) = 201,70 \text{ bars}$

c) En utilisant les tampons simultanément ?

$$(3 \times 12 \times 30 + 2 \times 12 \times 70 + 50 \times 250 + 50 \times 300) / (5 \times 12 + 2 \times 50) = 189.12 \text{ bars}$$

d) Quelle méthode préconisez-vous pour maximiser le gonflage et pourquoi ?

Gonflage successif en prenant le tampon avec la plus faible pression en premier.

QUESTION N°3 : (2 points)

Un plongeur correctement équilibré en eau douce a un volume total de 80 dm^3 . Il va plonger avec vous en mer ($d=1.03$). Il vous interroge sur le lestage à adopter.

Son volume sera toujours de 80 dm^3 auquel s'ajoutera le volume du lestage supplémentaire ($d=11.4$).

Combien de kilo supplémentaire lui recommandez-vous de prendre ?

- *Considérons V_{lestage} , le volume de ce nouveau lestage et P_{lestage} son poids.*
- *S'il veut être à nouveau équilibré, nous aurons dont un poids apparent nul c'est à dire*
- *Poussée d'Archimède - Poids réel = 0*
- *Soit $(80 \text{ dm}^3 + V_{\text{lestage}}) \times 1.03 - (80 \text{ kg} + P_{\text{lestage}}) = 0$*
- *Soit $(80 \text{ dm}^3 + V_{\text{lestage}}) \times 1.03 - (80 \text{ kg} + V_{\text{lestage}} \times 11.4) = 0$*
- *$V_{\text{lestage}} = 80 \times (1 - 1.03) / (1 - 11.4) = 0.231 \text{ dm}^3$*
- *$P_{\text{lestage}} = 0.231 \times 11.4 = 2.6 \text{ kg}$*

QUESTION N°4 (4 points)

Vous voulez effectuer une plongée avec un mélange Nitrox 40/60 à 25 m.

a) Quelle sera la PpN2 à cette profondeur ?

$$\text{A } 25\text{m}, P_{\text{abs}} = 3.5 \text{ bars} \quad \delta P_{\text{pN}_2} = 3.5 \times 0.6 = 2.1 \text{ bars}$$

b) Quelle sera la profondeur équivalente à l'air ? (On prendra 20/80 pour l'air).

$$\text{Avec le mélange } 20\% \text{O}_2 \text{ et } 80\% \text{N}_2 \text{ on a } \delta P_{\text{abs}} = P_{\text{p}} / \% \text{ gaz soit } 2.1 / 0.8 = 2.625 \text{ bars} \Rightarrow 16.25 \text{ m}$$

QUESTION N° 5 : (4 points)

Vous plongez à l'air (20/80) pendant 20 min à 35 m de profondeur.

a) Quelle sera la tension d'azote dans les compartiments de période 10 et 20 minutes ?

- *La tension d'azote : $T_{\text{N}_2} \text{ finale} = T_{\text{N}_2} \text{ initiale} + (\text{gradient} \times \% \text{saturation})$*
- *Pour C10 : $T_{\text{N}_2} = 0.8 + (4.5 \times 0.8 - 0.8) \times 0.75 = 2.9 \text{ bars}$*
- *Pour C20 : $T_{\text{N}_2} = 0.8 + (4.5 \times 0.8 - 0.8) \times 0.5 = 2.25 \text{ bars}$*

b) Quelle sera le compartiment directeur ? Pouvez-vous rejoindre directement la surface ?

Si non, donnez la profondeur plafond et la profondeur du premier palier ?

(C10 min : $Sc = 2.38$; C 20 min : $Sc = 2.04$)

Les pressions absolues minimales auxquelles les compartiments peuvent être décompressés sont :

- *$P_{\text{abs}} \geq T_{\text{N}_2} / Sc$*
- *C10 $2.9 / 2.38 = 1.22 \text{ bars}$*
- *C20 $2.25 / 2.04 = 1.10 \text{ bars}$*

Le compartiment de période 10 min est directeur avec une prof. plafond de 2.2m soit un premier palier à 3m

QUESTION N°1 : (2 points)

A l'issu du gonflage, votre bloc de plongée a une pression de 230 bars. Sa température est de 40 °C. Ce bloc est stocké dans un local à 25°C, quelle est sa pression ?

QUESTION N°2 : (4 points)

Lors de votre dernier exercice à 10 mètres de profondeur, vous avez évalué votre consommation d'air à cette profondeur à 32 litres/minute.

- Vous plongez sur un fond de 40 mètres avec un bloc 15 litres gonflé à 220 bars. Vous quittez le fond à lorsque la prssion résiduelle est de 100 bars. Quelle est la durée de la plongée avant la remontée ?
- Le plongeur PE 40 que vous encadrez plonge avec un bloc de 12 litres/ 220 bars. S'il consomme autant que vous, quelle sera la pression lue sur son manomètre avant la remontée ?
- Est-ce que cette situation vous satisfait ? Argumentez votre réponse.

QUESTION N°3 : (4 points)

Lors de cette plongée à 40 mètres, le pilote du bateau vous demande de faciliter le relevage de l'ancre. Pour cela vous mettez en place un parachute de volume = 50 litres. Le volume de l'ancre est de 6 litres. L'ancre est en acier (densité = 8), la densité de l'eau = 1 et on néglige la masse du parachute.

- Le volme du parachute est il suffisant ? Justifier.
- Quelle quantité d'air faut-il mettre dans le parachute ?
- Que représente elle volume d'air détendu ?

QUESTION N°4 : (4 points)

Pour cette plongée à 40 mètres vous souhaitez utiliser un mélange sur oxygéné (Nitrox). (on considérera que l'air est composé de 20% d'O₂ et de 80% de N₂, et que Pp O₂ max = 1.4 bar)

- Quelle sera le mélange optimal ?
- Quelle est la profondeur équivalente à prendre en compte pour utiliser les tables MN90 ?

QUESTION N°5 : (4 points)

En planifiant cette plongée à 40 mètres, vous prévoyez de rester 20 minutes au fond. Vous prenez en compte deux compartiments : T10' (Sc 2,38) et T20' (Sc 2,04)

- Tracez la courbe de charge de l'azote
- Indiquez le compartiment directeur et la profondeur du premier palier

QUESTION N°6 : (2 points)

Un plongeur à un volume corporel de 92 dm³. Son poids apparent en eau douce est proche de zéro. Il souhaite plonger en mer (d = 1,03) et s'interroge sur la modification à apporter à son lestage. Pouvez vous le conseiller en indiquant la correction de lestage ?

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION N°1 : (2 points)

A l'issu du gonflage, votre bloc de plongée a une pression de 230 bars. Sa température est de 40 °C. Ce bloc est stocké dans un local à 25°C, quelle est sa pression ?

- $P1/T1=P2/T2 \rightarrow P2 = (P1 \times T2) / T1$
- Températures à mettre en °K : $T1 = 40 + 273 = 313 \text{ K}$ et $T2 = 25 + 273 = 298 \text{ K}$
- $P2 = (230 \times 298) / 313 = 218,97 \text{ b}$ (arrondi à 219 b)

QUESTION N°2 : (4 points)

Lors de votre dernier exercice à 10 mètres de profondeur, vous avez évalué votre consommation d'air à cette profondeur à 32 litres/minute.

- a) Vous plongez sur un fond de 40 mètres avec un bloc 15 litres gonflé à 220 bars. Vous quittez le fond à lorsque la prssion résiduelle est de 100 bars. Quelle est la durée de la plongée avant la remontée ?
- Une conso de 32 l/mn à 10m → 16 l/mn en surface
 - A 40m, Pabs = 5 b
 - 15l à 220b = 3300 litres d'air détendu
 - On quitte le fond à 100 b, il reste $100 \times 15 = 1500$ litres
 - Consommation = $3300 - 1500 = 1800$ litres
 - A 40 m, la conso est de $16 \times 5 = 80$ l/mn
 - La durée de la plongée est de $1800 / 80 = 22,5$ minutes
- b) Le plongeur PE 40 que vous encadrez plonge avec un bloc de 12 litres/ 220 bars. S'il consomme autant que vous, quelle sera la pression lue sur son manomètre avant la remontée ?
- 12 litres à 220b = 2640 litres
 - il reste $2640 - 1800 = 840$ litres dans le bloc de 12 litres soit 70 bars
- c) Est-ce que cette situation vous satisfait ? Argumentez votre réponse.
Non, il ne restera pas assez d'air dans le bloc 12 litres pour la remontée

QUESTION N°3 : (4 points)

Lors de cette plongée à 40 mètres, le pilote du bateau vous demande de faciliter le relevage de l'ancre. Pour cela vous mettrez en place un parachute de volume = 50 litres. Le volume de l'ancre est de 6 litres. L'ancre est en acier (densité = 8), la densité de l'eau = 1 et on néglige la masse du parachute.

- d) Le volme du parachute est il suffisant ? Justifier.
- $Densité_{ancre} = Masse_{ancre} / Volume_{ancre} \rightarrow Masse_{ancre} = 8 \times 6 = 48 \text{ kg}$
 - Poids apparent de l'ancre = $Masse_{ancre} - Volume_{ancre} \times Densité_{eau} = 48 - (6 \times 1) = 42 \text{ kg}$
 - Le volume du parachute est de 50 litres, donc parachute suffisant

e) Quelle quantité d'air faut-il mettre dans le parachute ?

- $Il\ faut\ que\ P_{app\ parachute} = P_{app\ ancre} \rightarrow Masse_{parachute} - Volume_{parachute} \times Densité_{eau} = P_{app\ ancre}$
- *Comme on néglige le poids du parachute : $P_{app\ parachute} = 0 - (50 \times 1) = 50\text{kg}$ (quand il est gonflé au max)*
- *il faudra mettre 42 litres d'air dans le parachute pour mettre l'ensemble en flottabilité neutre. Quand on commencera à relever l'ancre, l'air va se dilater et l'ancre remontera toute seule.*
- *Nb : cette manoeuvre ne sera qu'en fin de la plongée, sinon le mouillage ne tiendra pas le bateau !*

f) Que représente elle volume d'air détendu ?

- $A\ 40\text{m}\ P_{abs} = 5\text{ b}$
- $Donc\ 42 \times 5 = 210\text{ litres d'air détendu}$

QUESTION N°4 : (4 points)

Pour cette plongée à 40 mètres vous souhaitez utiliser un mélange sur oxygéné (Nitrox).
(on considérera que l'air est composé de 20% d'O₂ et de 80% de N₂, et que $P_{p\ O_2\ max} = 1.4\text{ bar}$)

c) Quelle sera le mélange optimal ?

- $P_{PO_2\ max} = 1,4$
- $\%O_2 = P_{PO_2\ max} / P_{abs} = 1,4 / 5 = 28\%$

d) Quelle est la profondeur équivalente à prendre en compte pour utiliser les tables MN90 ?

- $\%N_2 = 80 - 28 = 72\%$
- $P_{abs\ équivalente} = P_{abs} \times (\%N_2\ Nitrox) / (\%N_2\ air) = 5 \times (72/80) = 4,5\text{ bars soit } 35\text{ mètres}$

QUESTION N°5 : (4 points)

En planifiant cette plongée à 40 mètres, vous prévoyez de rester 20 minutes au fond.
Vous prenez en compte deux compartiments : T10' (Sc 2,38) et T20' (Sc 2,04)

c) Tracez la courbe de charge de l'azote

- $TN_2 = T_0 + (T_f - T_0) \%saturation$
- $T_0 = 0,8\text{ et } P_{abs} = 4\text{ bars}$
- $T10'$ à 10 minutes, $\%saturation = 0,5$ (1 période) $\rightarrow TN_2 = 0,8 + (4 - 0,8) \times 0,5 = 0,8 + 3,2 \times 0,5 = 2,4\text{ b}$
- $T10'$ à 20 minutes, $\%saturation = 0,75$ (2 périodes) $\rightarrow TN_2 = 0,8 + 3,2 \times 0,75 = 3,2\text{ b}$
- $T20'$ à 10 minutes, $\%saturation = 0,25$ (1/2 période) $\rightarrow TN_2 = 0,8 + 3,2 \times 0,25 = 1,6\text{ b}$
- $T20'$ à 20 minutes, $\%saturation = 0,5$ (1 période) $\rightarrow TN_2 = 0,8 + 3,2 \times 0,5 = 2,4\text{ b}$

d) Indiquez le compartiment directeur et la profondeur du premier palier

- $SC = TN_2 / P_{abs}$
- *Au bout de 20' :*
 - *Pour T10' : $TN_2 / Sc = 3,2 / 2,38 = 1,34\text{ b}$*
 - *Pour T20' : $TN_2 / Sc = 2,4 / 2,04 = 1,17\text{ b}$*
- *Donc T10' est le compartiment directeur*
- *TN₂ de T10 = 1,34b \rightarrow -3,4 mètres.*
- *On prend la profondeur supérieure, donc le premier palier est à 6m*

QUESTION N°6 : (2 points)

Un plongeur à un volume corporel de 92 dm³. Son poids apparent en eau douce est proche de zéro. Il souhaite plonger en mer ($d = 1,03$) et s'interroge sur la modification à apporter à son lestage. Pouvez vous le conseiller en indiquant la correction de lestage ?

- $Poids\ apparent\ du\ plongeur = Masse_{plongeur} - Volume_{plongeur} \times Densité_{eau}$
- *La masse et le volume du plongeur restent constants*
- *Ce qui change, c'est le produit $Volume_{plongeur} \times Densité_{eau}$*
- *En eau douce, $Volume_{plongeur} \times Densité_{eau} = 92 \times 1 = 92\ kg$*
- *En eau de densité 1,3, $Volume_{plongeur} \times Densité_{eau} = 92 \times 1,03 = 89,3\ kg$*
- *Il faudra donc rajouter $92 - 89,3 = 2,67\ kg$ (en arrondissant 3 kg)*

Question 1 (6 points)

On considère que l'air est composé de 80 % d' N_2 et 20 % d' O_2 , que le temps de descente est nul et que le plongeur ne s'est pas immergé dans les 12 dernières heures.

- a) Calculez la TN_2 après une plongée de 10' à 40 mètres.
:
- d'un compartiment de période 5'
 - d'un compartiment de période 10'
- b) Le coefficient S_c du compartiment 5' est 2,72 et celui du compartiment 10' est 2,38
Quel est le compartiment directeur et sa profondeur théorique ?

Question 2 (6 points)

Un plongeur effectue une plongée à 40 mètres. Il consomme en moyenne 20 l d'air par minutes en surface. Il dispose d'une bouteille de 15 l dans laquelle il reste 200 bars lorsqu'il arrive à la profondeur des 40 mètres.

- a) Combien de temps peut-il rester à cette profondeur s'il veut amorcer sa remontée avec 80 bars de réserve ?
- b) Au moment où son manomètre indique 80 bars, il voit un magnifique Mola-Mola et traîne 2 minutes à 40 m avant de remonter réellement. Quelle marge de sécurité en air et en durée a-t-il perdu pour son palier à 3 m en trainant à 40 m ?

Question 3 (6 points)

Vous profitez d'un séjour aux Maldives où les plongées vont s'enchaîner et vous décidez de sécuriser ces dernières en plongeant au Nitrox. Ces plongées ne dépasseront pas les 35 mètres

- a) Quel Nitrox demandez vous en sachant qu'on vous conseille une PpO_2 max de 1,4 bar et qu'on vous propose du 30 % ou du 35 %. Justifiez votre choix par le calcul.
- b) Avant une des plongées, vous vous rendez compte à l'analyse qu'on vous a gonflé votre bloc au Nitrox 35. A quelle profondeur devez vous vous limiter ?

Question 4 (2 points)

Un bloc de 15l est gonflé à 200 bars à une température de 40°C. Quelle sera la pression de ce même bloc, lue au manomètre lorsque l'air aura une température de 15°C une fois dans l'eau ?

Référentiel de correction

Question 1 (6 points)

On considère que l'air est composé de 80 % d' N_2 et 20 % d' O_2 , que le temps de descente est nul et que le plongeur ne s'est pas immergé dans les 12 dernières heures.

- a) Calculez la TN_2 après une plongée de 10' à 40 mètres.
- $TN_2 = T_0 + (T_F - T_0) \times \% \text{ du gradient}$
 - $T_0 = 0,8 \text{ bar}$ et $F = 5 \times 0,8 \text{ bars} = 4 \text{ bars}$
 - d'un compartiment de période 5'
 - 2 périodes $\rightarrow 75\%$
 - Donc $0,8 + ((4 - 0,8) \times 0,75) = 3,2 \text{ bars}$
 - d'un compartiment de période 10'
 - 1 période $\rightarrow 50\%$
 - Donc $0,8 + ((4 - 0,8) \times 0,5) = 2,4 \text{ bars}$
- b) Le coefficient Sc du compartiment 5' est 2,72 et celui du compartiment 10' est 2,38
Quel est le compartiment directeur et sa profondeur théorique ?
- Pour le compartiment 5' : $3,2 / 2,72 = 1,17 \text{ bar} \rightarrow 1,7 \text{ mètres}$
 - Pour le compartiment 10' : $2,4 / 2,38 = 1,008 \text{ bar} \rightarrow 0,08 \text{ m}$
 - Le compartiment directeur est donc le compartiment 5' \rightarrow palier à 3 mètres.

Question 2 (6 points)

Un plongeur effectue une plongée à 40 mètres. Il consomme en moyenne 20 l d'air par minutes en surface. Il dispose d'une bouteille de 15 l dans laquelle il reste 200 bars lorsqu'il arrive à la profondeur des 40 mètres.

- a) Combien de temps peut-il rester à cette profondeur s'il veut amorcer sa remontée avec 80 bars de réserve ?
- Réserve : $80 \times 15 = 1200 \text{ l}$
 - Quantité d'air totale : 3000 l
 - Disponible : 1800 l
 - Conso recalculée : 20 l/mn à 5 bars = 100 l/mn à 40 m
 - Durée plongée : $1800 \text{ l} / 100 \text{ l} = 18 \text{ mn}$
- b) Au moment où son manomètre indique 80 bars, il voit un magnifique Mola-Mola et traîne 2 minutes à 40 m avant de remonter réellement. Quelle marge de sécurité en air et en durée a-t-il perdu pour son palier à 3 m en trainant à 40 m ?
- 2 minutes à 40 m : 200 l d'air consommé. Il reste $1800 - 200 = 1600 \text{ bars}$
 - Il a perdu $2 \times 100 \text{ litres} = 200 \text{ litres}$
 - A 3 m, il consommera $20 \times 1,3 = 26 \text{ l/min}$.
 - Il a perdu $200 / 26 = 7,7 \text{ minutes}$ de marge de sécurité

Question 3 (6 points)

Vous profitez d'un séjour aux Maldives où les plongées vont s'enchaîner et vous décidez de sécuriser ces dernières en plongeant au Nitrox. Ces plongées ne dépasseront pas les 35 mètres

- a) Quel Nitrox demandez vous en sachant qu'on vous conseille une PpO₂ max de 1,4 bar et qu'on vous propose du 30 % ou du 35 %. Justifiez votre choix par le calcul.

- $PpO_2 \text{ maxi} = Pabs \text{ maxi} \times (\% \text{ O}_2 \text{ dans le Nitrox}) \rightarrow (\% \text{ O}_2 \text{ dans le Nitrox}) = PpO_2 \text{ maxi} / Pabs \text{ maxi}$
- $\text{Donc } \% \text{ O}_2 \text{ dans le Nitrox} = 1,4 / 4,5 = 0,31 = 31\%$
- *Il faut donc choisir le Nitrox 30*

- b) Avant une des plongées, vous vous rendez compte à l'analyse qu'on vous a gonflé votre bloc au Nitrox 35. A quelle profondeur devez vous vous limiter ?

- $PpO_2 \text{ maxi} = Pabs \text{ maxi} \times (\% \text{ O}_2 \text{ dans le Nitrox}) \rightarrow Pabs \text{ maxi} = PpO_2 \text{ maxi} / (\% \text{ O}_2 \text{ dans le Nitrox})$
- $\text{Donc } Pabs \text{ maxi} = 1,4 / 0,35 = 4 \text{ bars}$
- *Il faut se limiter à 30 mètres*

Question 4 (2 points)

Un bloc de 15l est gonflé à 200 bars à une température de 40°C. Quelle sera la pression de ce même bloc, lue au manomètre, lorsque l'air aura une température de 15°C une fois dans l'eau ?

- $P_1 \times V_1 / T_1 = P_2 \times V_2 / T_2$
- $\text{Donc ici : } 200 \times 15 / (40 + 273) = P_2 \times 15 / (15 + 273)$
- $3000 / 313 = P_2 \times 15 / 288 \rightarrow P_2 = (3000 \times 288) / (313 \times 15) = 184 \text{ bars}$

CONSIGNES :

- Pour tous les exercices, il sera considéré que l'air est composé de 20% d'O₂ et de 80% de N₂.
- Merci d'indiquer le détail de vos calculs et pas uniquement les résultats.

QUESTION 1 : (3 points)

Un tissu de période 5 minutes, exposé à l'air en surface, saturé en azote, est soumis à de l'air à une pression de 5 bars. Quelle est sa TN₂ après 15 minutes ?

QUESTION 2 : (6 points)

Vous devez traiter un plongeur victime d'un accident de désaturation. Votre bouteille d'O₂ d'un volume de 9 litres est gonflée à 180 bars (pression lue au manomètre). Votre temps de route est de 2 heures pour arriver au port où vous attendent les secours.

- Calculer votre autonomie avec cette bouteille si vous administrez l'O₂ au débit recommandé (15l/mn). Qu'en concluez-vous ?
- Sur quelle valeur devriez-vous régler le débit si vous désirez ne pas interrompre l'apport d'oxygène à l'accidenté durant le retour de 2h ?
- Quelle devrait être la contenance du bloc d'O₂ pour assurer l'alimentation à 15l/mn pendant 2h.

QUESTION 3 : (5 points)

Un bloc acier de 15 litres est gonflé à 200 bars au moyen d'une rampe tampon. Sa température est montée à 47°C durant le gonflage. (Toutes les pressions sont lues au manomètre).

- Quelle sera la pression dans ce bloc lors le lendemain, au cours d'une plongée dans une eau à 11°C.
- En fin de plongée, il reste 50 bars dans le bloc (valeur mesurée immédiatement après la sortie de l'eau). Quelle sera la pression de ce bloc après retour au local de gonflage où la température est de 18°C ? (on arrondira le résultat à la valeur inférieure).
- Quelle la loi physique qui régit ce phénomène ?

QUESTION 4 : (2 points)

On considère que la PpO₂ maximale admissible est de 1,6 bar

- En tant que guide de palanquée, vous prévoyez d'emmener plonger un plongeur niveau 2 Nitrox confirmé sur une épave avec un mélange composé de 35% d'oxygène et 65% d'azote. Quelle est la profondeur qu'il ne devra pas dépasser ?
- L'hélice de l'épave se trouvant à 40 mètres, quelle aurait été la composition du mélange Nitrox nécessaire pour pouvoir s'y rendre

QUESTION 5 : (4 points)

En tant que guide de palanquée, vous plongez avec un niveau 2 sur une épave à 40 mètres. Vous avez un bloc de 15 litres gonflé à 200 bars. Le niveau 2 a un bloc de 12 litres gonflé à 230 bars. Les 2 plongeurs consomment 20 litres/minutes d'air et la consommation de la descente est considérée comme nulle.

- Sachant que vous remonterez lorsque le 1er manomètre indiquera 50 bars, combien de temps pourrez-vous rester sur l'épave ?
- Pour cette plongée, vos paliers seront de 2 minutes à 6 mètres et de 19 minutes à 3 mètres. Vous consommez chacun 70 litres au cours de la remontée jusqu'au 1er palier. (par souci de simplification, on négligera la consommation pendant le transfert palier/palier et palier/surface. Vous et le N2 partez du fond avec 50 bars dans vos blocs.) Avez-vous tous les deux assez d'air pour effectuer vos paliers ?

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION 1 : (3 points)

Un tissu de période 5 minutes, exposé à l'air en surface, saturé en azote, est soumis à de l'air à une pression de 5 bars. Quelle est sa TN_2 après 15 minutes ?

- $TN_2 = T_0 + [(T_f - T_0) \times \%]$
- $TN_2 = 0,8 + [(4 - 0,8) \times (1 - 0,5 \%)] = 0,8 + (3,2 \times 0,875) = 3.6 \text{ bars}$

QUESTION 2 : (6 points)

Vous devez traiter un plongeur victime d'un accident de désaturation. Votre bouteille d'O₂ d'un volume de 9 litres est gonflée à 180 bars (pression lue au manomètre). Votre temps de route est de 2 heures pour arriver au port où vous attendent les secours.

- Calculer votre autonomie avec cette bouteille si vous administrez l'O₂ au débit recommandé (15 l/mn). Qu'en concluez-vous ?
 - Contenu de la bouteille d'oxygène : $9 \times 180 = 1\,620$ litres
 - Autonomie de la bouteille au débit de 15L /mn : $1\,620 / 15 = 108$ mn soit 1 h 48 mn.
 - Vous n'aurez donc pas assez d'O₂ pour assurer le retour dans ces conditions.
- Sur quelle valeur devriez-vous régler le débit si vous désirez ne pas interrompre l'apport d'oxygène à l'accidenté durant le retour de 2h ?
 - Durée du trajet : 2 h soit 120 min.
 - Débit de l'oxygène : $1\,620 / 120 = 13,5$ l/mn (2 points)
 - Nb : pratique à éviter : il aurait fallu prévoir une deuxième bouteille d'O₂ !

c) Quelle devrait être la contenance du bloc d'O₂ pour assurer l'alimentation à 15l/mn pendant 2h.

120 mn x 15 litres : 1800 litres / 9 litres : 200 bars.

QUESTION 3 : (5 points)

Un bloc acier de 15 litres est gonflé à 200 bars au moyen d'une rampe tampon. Sa température est montée à 47°C durant le gonflage. (Toutes les pressions sont lues au manomètre).

a) Quelle sera la pression dans ce bloc lors le lendemain, au cours d'une plongée dans une eau à 11°C.

- $P_1/T_1 = P_2/T_2$
- $T_1 = (47 + 273) = 320 \text{ K}$
- $T_2 = (11 + 273) = 284 \text{ K}$
- $P_2 = P_1 \times T_2/T_1 = 200 \times 284 / 320 = 177.5 \text{ bars}$

b) En fin de plongée, il reste 50 bars dans le bloc (valeur mesurée immédiatement après la sortie de l'eau). Quelle sera la pression de ce bloc après retour au local de gonflage où la température est de 18°C ? (on arrondira le résultat à la valeur inférieure).

- $T_1 = (11 + 273) = 284 \text{ K}$
- $T_2 = (18 + 273) = 291 \text{ K}$
- $P_2 = P_1 \times T_2/T_1 = 50 \times 291 / 284 = 51.2 \text{ bars soit } 51 \text{ bars}$

c) Quelle la loi physique qui régit ce phénomène ?

La loi de Charles.

QUESTION 4 : (2 points)

On considère que la PpO₂ maximale admissible est de 1,6 bar

a) En tant que guide de palanquée, vous prévoyez d'emmener plonger un plongeur niveau 2 Nitrox confirmé sur une épave avec un mélange composé de 35% d'oxygène et 65% d'azote. Quelle est la profondeur qu'il ne devra pas dépasser ?

- $P_{abs} = P_{pO_2} / \%O_2$
- $P_{abs} = 1,6 / 0,35 = 4,57 \text{ bars soit } 35 \text{ mètres}$

b) L'hélice de l'épave se trouvant à 40 mètres, quelle aurait été la composition du mélange Nitrox nécessaire pour pouvoir s'y rendre

- $\%O_2 = P_{pO_2} / P_{abs}$
- $\%O_2 = 1,6 / 5 = 0,32, \text{ soit } 32\% \text{ d'O}_2$

QUESTION 5 : (4 points)

En tant que guide de palanquée, vous plongez avec un niveau 2 sur une épave à 40 mètres. Vous avez un bloc de 15 litres gonflé à 200 bars. Le niveau 2 a un bloc de 12 litres gonflé à 230 bars. Les 2 plongeurs consomment 20 litres/minutes d'air et la consommation de la descente est considérée comme nulle.

a) Sachant que vous remonterez lorsque le 1er manomètre indiquera 50 bars, combien de temps pourrez-vous rester sur l'épave ?

- Niveau 4
 - Quantité d'air disponible : $(200-50)*15 = 2250$ litres
 - Consommation à 40 mètres : $20*5 = 100$ L/min
 - Temps possible au fond : $2250/100 = 22,5$ min

- Niveau 2 (1 point)
 - Quantité d'air disponible : $(230-50)*12 = 2160$ litres
 - Consommation à 40 mètres : $20*5 = 100$ L/min
 - Temps possible au fond : $2160/100 = 21,6$ min

- Ils pourront rester maximum 21,6 minutes sur l'épave

b) Pour cette plongée, vos paliers seront de 2 minutes à 6 mètres et de 19 minutes à 3 mètres. Vous consommez chacun 70 litres au cours de la remontée jusqu'au 1er palier. (par souci de simplification, on négligera la consommation pendant le transfert palier/palier et palier/surface. Vous et le N2 partez du fond avec 50 bars dans vos blocs.) Avez-vous tous les deux assez d'air pour effectuer vos paliers ?

- Niveau 4 :
 - Quantité d'air restant en partant du fond: $50*15 = 750$ litres
 - Quantité nécessaire pour la remontée et les paliers: $70 + (2*1.6*20) + (19*1.3*20) = 628$ litres

- Niveau 2 :
 - Quantité d'air restant en partant du fond: $50*12 = 600$ litres
 - Quantité nécessaire pour la remontée et les paliers: $70 + (2*1.6*20) + (19*1.3*20) = 628$ litres
 - Donc le niveau 2 n'aura pas assez d'air

QUESTION 1 : (4 points)

Alain et Sophie veulent effectuer une plongée sur un fond de 35 m. Alain va utiliser son bloc de 15 litres (PS=230 b) dans lequel il reste 45 b, et dispose de 2 bouteilles tampon de 50 litres à 240 bars pour gonfler son bloc.

- Quelle méthode de gonflage va-t-il utiliser pour pouvoir emporter le maximum d'air en plongée ? Justifiez votre réponse.
- Quelle sera la pression dans son bloc (arrondir au bar supérieur) ?
- Sachant qu'il consomme 20 l/mn en surface, combien de temps pourra t'il rester au fond ? On néglige la durée de la descente et Daniel souhaite débiter sa remontée avec une réserve de 80 bars.

QUESTION 2 (5 points)

Lors d'une plongée à l'air à 30 mètres pendant 20 minutes, on considère 2 tissus T10' et T20'.

Quel sera le tissu directeur et quelle hauteur de palier imposera-t-il ?

On donne : Sc 10 min = 2,38 et Sc 20 min = 2,04 et la PpO2 maximale autorisée est de 1,6 bar.

QUESTION 3 (3 points)

Vous effectuez une plongée avec un mélange Nitrox 30/70 (O2 30 %, N2 70 %).

La PpO2 maximale autorisée est de 1,6 bar.

- Quelle est la profondeur maximale que vous pouvez atteindre avec ce mélange
- Quelle est la profondeur équivalente air pour ce mélange dans le cas d'une plongée à 30 m ?

QUESTION 4 (3 points)

Un bloc dont la pression est de 180 bars à 15 °C est stocké plusieurs jours dans un local à 50°C.

- Quelle sera sa pression absolue quand il atteindra cette température ?
- Lors de son utilisation à la mise à l'eau, vous constatez que sa pression est de 174 bars. Quelle est la température sur le bateau ?

QUESTION 5 (5 points)

Vous découvrez au cours d'une plongée à 40 mètres une ancre d'un poids réel de 60 kg et d'un volume de 10 litres que vous souhaitez remonter. Pour cela vous introduisez 40 litres d'air dans un parachute de 60 litres. On négligera le poids du parachute. La densité de l'eau = 1.03

- Que va-t-il se passer et pourquoi ?
- A partir de quelle profondeur pourrez-vous lâcher l'ensemble car il sera en équilibre ?
- Quel sera le volume d'air dans le parachute arrivé en surface ?

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION 1 : (4 points)

Alain et Sophie veulent effectuer une plongée sur un fond de 35 m. Alain va utiliser son bloc de 15 litres (PS=230 b) dans lequel il reste 45 b, et dispose de 2 bouteilles tampon de 50 litres à 240 bars pour gonfler son bloc.

- a) Quelle méthode de gonflage va-t-il utiliser pour pouvoir emporter le maximum d'air en plongée ? Justifiez votre réponse.
- b) Quelle sera la pression dans son bloc (arrondir au bar supérieur) ?
- *Méthode 1: Les deux tampons en même temps :*
 - $(2 \times 50 \times 240 + 15 \times 45) / (2 \times 50 + 15) = 214,6 \text{ bars}$
 - *Méthode 2 : Les tampons l'un après l'autre :*
 - *1 er tampon : $(50 \times 240 + 15 \times 45) / (50 + 15) = 195 \text{ bars}$*
 - *2 ème tampon : $(50 \times 240 + 15 \times 195) / (50 + 15) = 229,6 \text{ bars}$*
 - *On voit donc qu'il vaut mieux utiliser les tampons successivement pour arriver à une pression plus importante dans le bloc. Celle-ci sera de 229,6 bars arrondis à 230 bars.*
- c) Sachant qu'il consomme 20 l/mn en surface, combien de temps pourra t'il rester au fond ? On néglige la durées de la descente et Daniel souhaite débiter sa remontée avec une réserve de 80 bars.
- *Volume disponible au fond : $V = 15 \times (230 - 80) = 2250 \text{ l}$*
 - *La consommation d'Alain à 35 m (Pabs = 4,5 b) est $20 \times 4,5 = 90 \text{ L/mn d'air détendu}$,*
 - *Il pourra donc rester : $2250 / 90 = 25 \text{ mn au fond}$.*

QUESTION 2 (5 points)

Lors d'une plongée à l'air à 30 mètres pendant 20 minutes, on considère 2 tissus T10' et T20'. Quel sera le tissu directeur et quelle hauteur de palier imposera-t-il ? On donne : Sc 10 min = 2,38 et Sc 20 min = 2,04 et la PpO2 maximale autorisée est de 1,6 bar.

Comp	Durée	Périodes	P Abs	Multi	TI	TF	TN2	Sc	P Abs Palier	Prof palier	Prof réelle
10	20	2	4	0,75	0,8	3,2	2,6	2,38	1,092	0,924	3m
20	20	1	4	0,5	0,8	3,2	2	2,04	0,980	-0,196	Pas de palier

QUESTION 3 (3 points)

Vous effectuez une plongée avec un mélange Nitrox 30/70 (O2 30 %, N2 70 %). La PpO2 maximale autorisée est de 1,6 bar.

- a) Quelle est la profondeur maximale que vous pouvez atteindre avec ce mélange

$PpO2 = Pabs \times \% \text{ de gaz alors } Pabs = 1,6 / 0,3 = 5,33 \text{ bars donc } 43m$

b) Quelle est la profondeur équivalente air pour ce mélange dans le cas d'une plongée à 30 m ?

$$0,7(\%) \times 4(P_{abs}) / 0,8(\%air) = 3,5 = 25m$$

QUESTION 4 (3 points)

Un bloc dont la pression est de 180 bars à 15 °C est stocké plusieurs jours dans un local à 50°C.

a) Quelle sera sa pression absolue quand il atteindra cette température ?

- $P_1.V_1/T_1 = P_2.V_2/T_2$; $P_1=180$, $V_1=V_2$, $T_1 = 15+273$ K, $T_2=50+273$.
- $P_1/T_1 = P_2/T_2$; $P_2 = T_2(P_1/T_1)$; $P_2 = 323(180/288)$; 201,8 bars.

b) Lors de son utilisation à la mise à l'eau, vous constatez que sa pression est de 174 bars. Quelle est la température sur le bateau ?

- $P_1.V_1/T_1 = P_2.V_2/T_2$; $P_1=201,8$, $V_1=V_2$, $T_1 = 15+273$ K, $P_2=174$.
- $P_1/T_1 = P_2/T_2$; $T_2 = P_2/(P_1/T_1)$; $174/(201,8/323)$; $T \text{ Bateau} = 278,5$ K = 5,5°C
- Ou $174/(180/288)$ $T \text{ Bateau} = 278,5$ K = 5,5°C

QUESTION 5 (5 points)

Vous découvrez au cours d'une plongée à 40 mètres une ancre d'un poids réel de 60 kg et d'un volume de 10 litres que vous souhaitez remonter. Pour cela vous introduisez 40 litres d'air dans un parachute de 60 litres. On négligera le poids du parachute. La densité de l'eau = 1.03

a) Que va-t-il se passer et pourquoi ?

- $P \text{ apparent de l'ensemble (ancree + parachute)} = P_{app} \text{ de l'ancree} + P_{app} \text{ du parachute}$
- Pour savoir si l'ensemble reste au fond ou décolle, il faut comparer les P_{app} de l'ancree et du parachute
- $P_{app} \text{ de l'ancree} = P_{réel} \text{ ancree} - V_{ancree} \times \text{densité eau} = 60 - (10 \times 1,03) = 49,7$ kg
- $P_{app} \text{ du parachute} = 0 - V_{parachute} \times \text{Densité eau} = 40 \times 1,03 = 41,2$ kg
- $P_{app} \text{ ancree} > P_{app} \text{ parachute}$ donc l'ensemble (ancree + parachute) reste au fond

b) A partir de quelle profondeur pourrez-vous lâcher l'ensemble car il sera en équilibre ?

- On peut lâcher le tout quand $P_{app} \text{ total} = 0$
- Il faut donc que $P_{app} \text{ Para} = 49,7$ Kg.
- Sachant $P \times V$ constant, le parachute devrait contenir $49,7/1,03 = 48,25$ L d'air.
- Soit $P_2 = 5 \times 40/48,25 = 4,14$ bars ; 31,4 m

c) Quel sera le volume d'air dans le parachute arrivé en surface ?

- $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$; $P_1 = 5$ bars, $P_2 = 1$ b, $V_1 = 40$; $V_2 = 5 \times 40/1 = 200$ l.
- Mais comme le volume du parachute est de 60 litres le surplus s'échappe, donc il contient 60 l en surface

QUESTION 1 : (5 Points)

Vous préparez une sortie épaves avec votre club, pour une plongée sur le Donator : 48m au sable, 15 minutes au fond, paliers de 2 minutes à 6m et de 7 minutes à 3m, DTR 13 minutes.

(Vous avez l'autorisation du DP pour descendre au sable avec vos Niveaux 3).

a) Quelles consignes de gestion d'air sont à appliquer ?

b) Quel serait le bloc à préparer (volume et pression) ?

(On considère une consommation moyenne de 20l/min et on garde 50 b dans les blocs en fin de plongée)

QUESTION 2 : (3 Points)

Vous mesurez lors du gonflage de votre bloc 12l à 200b une température de 35°C.

Le lendemain il est à température ambiante de 20°C, mais plus à la même pression.

a) Expliquez pourquoi

b) Quelle est cette nouvelle pression ?

QUESTION 3 : (2 Points)

Un plongeur équipé pèse 80 kg pour un volume estimé de 84 litres

Quel devra être son lestage à 3 mètres pour être parfaitement équilibré :

(Remarques : on néglige le volume du lestage et la densité de l'eau de mer est de 1,03)

a) En lac ?

b) En mer ?

QUESTION 4 : (4 Points)

Un compartiment de période 10 minutes est à saturation à l'air atmosphérique. Ce compartiment est soumis à une profondeur de 40 mètres à l'air.

a) Quelle sera la tension d'azote après 30 minutes de plongée ?

b) Déterminer la profondeur du premier palier en considérant uniquement ce compartiment

(Sursaturation critique du compartiment 10 minutes = 2,38)

QUESTION 5 : (5 Points)

On considère que l'air est composé de 20% d'O₂ et de 80% de N₂ et que PpO₂ maxi = 1,6 bar

a) Calculez la profondeur limite d'utilisation d'un mélange Nitrox 40/60

b) Quel serait le mélange optimal pour une plongée à 35 mètres ?

QUESTION 6 : (1 Points)

Sous l'eau tout semble plus gros et plus proche. Expliquez simplement ce phénomène.

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION 1 : (5 Points)

Vous préparez une sortie épaves avec votre club, pour une plongée sur le Donator : 48m au sable, 15 minutes au fond, paliers de 2 minutes à 6m et de 7 minutes à 3m, DTR 13 minutes. (Vous avez l'autorisation du DP pour descendre au sable avec vos Niveaux 3).

- a) Quelles consignes de gestion d'air sont à appliquer ?
Signe mi-pression, déterminer la pression à partir de laquelle il faut amorcer la remontée et avoir en fin de plongée 50 b dans les blocs
- b) Quel serait le bloc à préparer (volume et pression) ?
(On considère une consommation moyenne de 20l/min et on garde 50 b dans les blocs en fin de plongée)
- Conso au fond : 48m et 5,8 b, soit $15 \times 20 \times 5,8 = 1740$ litres
 - Conso à la remontée : prof moyenne = $48/2$ soit 24m (soit 3,4b) donc $4 \times 20 \times 3,4 = 272$ litres
 - Conso au palier : $2 \times 1,6 \times 20 + 7 \times 1,3 \times 20 = 64 + 182 = 246$ litres.
 - Total : 2258 litres
 - Si bloc 12l à 200 bars : il resterait 12b, pas possible
 - Si bloc 12l à 230 bars : il resterait 41b, pas possible
 - Donc il faut 15l à 200b mini : il restera 49,5b (réponse possible aussi avec 13,5l à 230b)

QUESTION 2 : (3 Points)

Vous mesurez lors du gonflage de votre bloc 12l à 200b une température de 35°C. Le lendemain il est à température ambiante de 20°C, mais plus à la même pression.

- a) Expliquez pourquoi
Variation du volume de l'air en fonction de la température. Comme le volume du bloc ne change pas, variation de pression. Loi de Charles : $P_1/T_1 = P_2/T_2$
- b) Quelle est cette nouvelle pression ?
- T en Kelvin soit T en Celsius + 273
 - $P_1 = 200$ bars
 - $T_1 = 35 + 273 = 308$ K
 - $T_2 = 20 + 273 = 293$ K
 - $P_2 = P_1/T_1 \times T_2 = 190$ b

QUESTION 3 : (2 Points)

Un plongeur équipé pèse 80 kg pour un volume estimé de 84 litres

Quel devra être son lestage à 3 mètres pour être parfaitement équilibré :

Remarques : on néglige le volume du lestage et la densité de l'eau de mer est de 1,03

- a) en lac ? *Densité = 1 ; Poussée d'Archimède = 84 kg ; lestage = 4 kg*
 b) en mer ? *Densité = 1,03 ; Poussée d'Archimède = 84 x 1,03 = 86,52 kg ; lestage = 86,52 - 80 = 6,52 kg*

QUESTION 4 : (5 Points)

Un compartiment de période 10 minutes est à saturation à l'air atmosphérique. Ce compartiment est soumis à une profondeur de 40 mètres à l'air.

- a) Quelle sera la tension d'azote après 30 minutes de plongée ?

- $TN_2 = T_0 + (T_f - T_0) \times X \%$
- *Compartiment 10 minutes / temps 30 minutes / soit 3 périodes pleines*
- *1 période : X% = 50% ; 2 périodes : X%=75% ; 3 périodes : X% = 87,5%*
- $TN_2 = 0,8 + (5 \times 0,8 - 0,8) \times 87,5\% = 3,6 \text{ b}$

- b) Déterminer la profondeur du premier palier en considérant uniquement ce compartiment (Sur-saturation critique du compartiment 10 minutes = 2,38)

$$Sc = TN_2/PA \rightarrow PA = TN_2/Sc = 3,6/2,38 = 1,51 \text{ b soit } 5,1 \text{ mètres soit premier palier à } 6 \text{ mètres}$$

QUESTION 5 : (5 Points)

On considère que l'air est composé de 20% d'O₂ et de 80% de N₂ et que PpO₂ maxi = 1,6 bar

- a) Calculez la profondeur limite d'utilisation d'un mélange Nitrox 40/60

$$Pabs \times \%O_2 = PpO_2max \rightarrow Pabs = PpO_2max / \%O_2 = 1,6 / 0,4 = 4 \text{ b soit } 30 \text{ mètres}$$

- b) Quel serait le mélange optimal pour une plongée à 35 mètres ?

- *Pabs à 35 mètres = 4,5 b*
- $PpO_2 = Pabs \times \%O_2 \rightarrow \%O_2 = PpO_2 / Pabs = 1,6/4,5 = 0,355 \text{ soit } 35\% \text{ d'O}_2$
- *Nitrox 35 / 65*

QUESTION 6 : (1 Points)

Sous l'eau tout semble plus gros et plus proche, expliquez simplement ce phénomène ?

- *Réfraction de la lumière lors du passage du milieu eau à l'air via le masque.*
- *On voit 4/3 plus gros et 3/4 plus près.*

QUESTION 1 (4 points)

En tant que niveau 4, vous effectuez 2 semaines d'encadrement en mer. A l'occasion d'une plongée, le DP vous confie la responsabilité d'une palanquée de 2 plongeurs niveau 2 expérimentés.

- a) En tant que plongeur Nitrox et du fait de l'enchaînement de vos plongées, le centre de plongée met à disposition de ses encadrants des blocs Nitrox 32/68. Après contrôle du bloc qui vous est attribué, vous mesurez un pourcentage de 34 % d'O₂.
On considère l'O₂ non toxique pour une PpO₂ ≤ 1,6 bar
Pouvez-vous utiliser ce mélange pour une plongée sur un fond maxi de 40 m ? Justifiez votre réponse
- b) Quel serait le pourcentage maximum d'O₂ du Nitrox utilisé pour évoluer à cette profondeur ?

QUESTION 2 (3 points)

Un de vos plongeurs vous informe qu'il est correctement équilibré en eau douce.

Pour cette plongée en mer (d = 1,03), il s'interroge sur la modification à apporter à son lestage. Son volume est de 90 dm³. Comment doit-il adapter son lestage ?

QUESTION 3 (3 points)

Juste avant la mise à l'eau, un des 2 plongeurs vous indique qu'il n'y a plus que 190 bars au lieu de 230 dans son bloc de 15 l. En concertation avec le DP, vous aviez prévu une plongée de 15 min à 40 m avec un palier de 10 min à 3m.

Par mesure de sécurité, vous fixez un retour surface avec une pression minimale de 50 bars dans son bloc et une consommation moyenne de 20 l / min (à Patm).

La durée de la remontée ne sera pas prise en compte dans le calcul de consommation.

La plongée planifiée est-elle compatible avec la pression du bloc du N₂ ? Justifiez votre réponse

QUESTION 4 (5 points)

L'exploration à 40 m a duré en réalité 20 minutes, pendant laquelle vous avez respiré un mélange Nitrox 32/68.

- a) Quelle sera la tension d'azote du compartiment 10 min à la fin de cette plongée ?
(Composition de l'air : 20 % O₂ et 80 % N₂, les compartiments sont saturés initialement à la pression atmosphérique. On néglige le temps de la descente. Sc 10 min. = 2,38).
- b) Peut-il remonter directement ?

QUESTION 4 (5 points)

A l'issue de la plongée, vous devez regonfler 5 blocs de 15 litres dont la pression résiduelle est de 20 bars et la pression de service de 230 bars. Vous disposez de 3 tampons de 50 litres à 250 bars chacun que vous utiliserez séparément pour gonfler les 5 blocs simultanément. Quelle sera la pression des blocs et de chacun des tampons après gonflage ?

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION 1 (4 points)

En tant que niveau 4, vous effectuez 2 semaines d'encadrement en mer. A l'occasion d'une plongée, le DP vous confie la responsabilité d'une palanquée de 2 plongeurs niveau 2 expérimentés.

a) En tant que plongeur Nitrox et du fait de l'enchaînement de vos plongées, le centre de plongée met à disposition de ses encadrants des blocs Nitrox 32/68. Après contrôle du bloc qui vous est attribué, vous mesurez un pourcentage de 34 % d'O₂.

On considère l'O₂ non toxique pour une PpO₂ ≤ 1,6 bar

Pouvez-vous utiliser ce mélange pour une plongée sur un fond maxi de 40 m ? Justifiez votre réponse

$$PpO_{2\text{maxi}} = Pabs_{\text{plongée}} \times \% O_2 \text{ mélange} \rightarrow PpO_{2\text{maxi}} = 5 \times (34/100) = 1,7 \text{ bar} \rightarrow \text{plongée impossible}$$

b) Quel serait le pourcentage maximum d'O₂ du Nitrox utilisé pour évoluer à cette profondeur ?

- $PpO_{2\text{maxi}} = Pabs_{\text{plongée}} \times \% O_2 \text{ mélange} \rightarrow \% O_2 \text{ mélange} = PpO_{2\text{maxi}} / Pabs_{\text{plongée}}$
- Soit $\% O_2 \text{ mélange} = 1,6 / 5 = 0,32$ donc Nitrox 32/68
(Un Nitrox 30/70 laisserait une marge de sécurité ...)

QUESTION 2 (3 points)

Un de vos plongeurs vous informe qu'il est correctement équilibré en eau douce.

Pour cette plongée en mer (d=1,03), il s'interroge sur la modification à apporter à son lestage. Son volume est de 90 dm³. Comment doit-il adapter son lestage ?

- $P_{\text{archi}} \text{ eau douce} = 90 \times 1 = 90 \text{ kg}$
- $P_{\text{archi}} \text{ eau mer} = 90 \times 1.03 = 92.7 \text{ kg}$
- Le lest doit apporter un P_{app} de 2.7 kg soit un P_{réel} du lest de 2.97 kg

QUESTION 3 (3 points)

Juste avant la mise à l'eau, un des 2 plongeurs vous indique qu'il n'y a plus que 190 bars au lieu de 230 dans son bloc de 15 l. En concertation avec le DP, vous aviez prévu une plongée de 15 min à 40 m avec un palier de 10 min à 3m. Par mesure de sécurité, vous fixez un retour surface avec une pression minimale de 50 bars dans son bloc et une consommation moyenne de 20l/min (à Patm).

La durée de la remontée ne sera pas prise en compte dans le calcul de consommation.

La plongée planifiée est-elle compatible avec la pression du bloc du N₂ ? Justifiez votre réponse

- $\text{Consommation plongée} = \text{durée} \times \text{débit} \times Pabs = 15 \times 20 \times 5 = 1500 \text{ litres}$
- $\text{Consommation palier} = \text{durée} \times \text{débit} \times Pabs = 10 \times 20 \times 1,3 = 260 \text{ litres}$
- $\text{Réserve} = 50 \times 15 = 750 \text{ litres}$
- $\text{Volume disponible} = 190 \times 15 = 2850 \text{ litres}$
- Le volume consommé doit être ≤ au volume disponible
→ $1500 + 260 + 750 = 2510 \text{ litres}$ donc plongée possible

QUESTION 4 (5 points)

L'exploration à 40 m a duré en réalité 20 minutes, pendant laquelle vous avez respiré un mélange Nitrox 32/68.

a) Quelle sera la tension d'azote du compartiment 10 min à la fin de cette plongée ?
(Composition de l'air : 20 % O₂ et 80 % N₂, les compartiments sont saturés initialement à la pression atmosphérique. On néglige le temps de la descente. Sc 10 min = 2,38).

- $T_{N_2} \text{ initiale} = P_{p_{N_2}} \text{ à la surface} = P_{abs} \times \% N_2 = 1 \times 0,8 = 0,8 \text{ bar}$
- $T_{N_2} \text{ finale} = P_{p_{N_2}} \text{ à 40 mètres} = P_{abs} \times \% N_2 = 5 \times 0,68 = 3,4 \text{ bars}$
- $\text{Nombre de périodes} = 2 \Rightarrow \% \text{ saturation} = 50 + 25 = 75 \%$
- $T_{N_2} \text{ en fin de plongée} : T_{N_2} 10' = T_{N_2} \text{ initiale} + (T_{N_2} \text{ finale} - T_{N_2} \text{ initiale}) \times \% \text{ saturation}$
- $\text{Soit } T_{N_2} = 0,8 + (3,4 - 0,8) \times 0,75 = 2,75 \text{ bars}$

b) Peut-il remonter directement ?

- $Sc = TN_2 / P_{abs}$, soit $P_{abs} = TN_2 / Sc$
- $P_{abs} = 2,75 / 2,38 = 1,1 \rightarrow \text{Palier à 3 m}$

QUESTION 4 (5 points)

A l'issue de la plongée, vous devez regonfler 5 blocs de 15 litres dont la pression résiduelle est de 20 bars et la pression de service de 230 bars. Vous disposez de 3 tampons de 50 litres à 250 bars chacun que vous utiliserez séparément pour gonfler les 5 blocs simultanément. Quelle sera la pression des blocs et de chacun des tampons après gonflage ?

- *Pression finale 1^{er} tampon :*

<i>(Avant gonflage)</i>	<i>(Après gonflage)</i>
$(P_{blocs} \times V_{blocs}) + (P_{tampon} \times V_{tampon}) =$	$P_{(blocs + tampons)} \times V_{(blocs + tampons)}$
- D'où $P_{finale} = P_{(blocs + tampons)} = (P_{blocs} \times V_{blocs} + P_{tampon} \times V_{tampon}) / V_{(blocs + tampons)}$
- Soit $P_{finale} = (5 \times 20 \times 15 + 250 \times 50) / (5 \times 15 + 50) = (1\ 500 + 12\ 500) / 125 = 14\ 000 / 125 = 112 \text{ bars}$
- *Pression finale 2^{ème} tampon :*
- $P_{finale} = (5 \times 112 \times 15 + 250 \times 50) / (5 \times 15 + 50) = 8\ 400 + 12\ 500 / 125 = 20\ 900 / 125 = 167,2 \text{ bars}$
- *Pression 3^{ème} tampon :*
- $P_{finale} = (5 \times 15 \times 167) + (250 \times 50) / (5 \times 15 + 50) = 12\ 525 + 12\ 500 = 25\ 025 / 125 = 200,2 \text{ bars}$

Les 3 exercices sont indépendants - Composition de l'air :80%N₂ et 20%O₂

QUESTION 1 (10 points)

Un plongeur effectue une plongée de 30 minutes à 35 mètres. En considérant les compartiments 10 et 30 minutes (Coefficients S_c respectivement 2.38/ 1.82)

- Indiquez la valeur de la tension d'azote pour chacun de ces compartiments au bout de 30 minutes.
- Lors de la remontée, après 30 minutes à 35 mètres, lequel de ces 2 compartiments imposera un premier palier et quelle sera la profondeur de ce premier palier ?

QUESTION 2 (8 points)

On dit que le lestage d'un plongeur doit être effectué à 3 mètres avec une bouteille gonflée à 50 bars.

- Quelle est la masse totale d'une bouteille de volume 15 litres et de masse à vide de 18 kg, lorsqu'elle est gonflée à 200 bars ? Quelle est la masse totale de cette même bouteille lorsqu'elle est gonflée à 50 bars ? (On prendra pour poids de l'air 1 litre = 1.33 grammes) ?
- Dans une eau de densité 1, quelle est la différence de poids apparent entre cette bouteille gonflée à 200 bars et gonflée à 50 bars ? Ce résultat justifie-t-il la pratique décrite précédemment ?

QUESTION 3 (2 points)

Quelle est la vitesse de propagation du son dans l'eau et dans l'air ?

Quelle est la grandeur physique qui explique cette différence ?

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION 1 (10 points)

Un plongeur effectue une plongée de 30 minutes à 35 mètres. En considérant les compartiments 10 et 30 minutes (Coefficients S_c respectivement 2.38/ 1.82)

a) Indiquez la valeur de la tension d'azote pour chacun de ces compartiments au bout de 30 minutes.

- $P_{abs} = 4.5 \text{ bars}$ $T_{n2 \text{ max}} = 3.6 \text{ bars}$
- 1ère période $T_1 = T_0 + 0.5 (3.6 - 0.8) = 2.2 \text{ bars}$
- 2ème période $T_2 = T_1 + 0.5 (3.6 - 2.2) = 2.9 \text{ bars}$
- 3ème période $T_3 = T_2 + 0.5 (3.6 - 2.9) = 3.25 \text{ bars}$
- Donc après 30 minutes :
- Compartiment 10 minutes $T = 3.25 \text{ bars}$
- Compartiment 30 minutes $T = 2,2 \text{ bars}$

b) Lors de la remontée, après 30 minutes à 35 mètres, lequel de ces 2 compartiments imposera un premier palier et quelle sera la profondeur de ce premier palier ?

- $S_c = t/P_{amb}$
- Soit $P_{amb \text{ max pour C10 minutes}} = 3.25/2.38 = 1.365 \text{ bars}$ soit 3.65 mètres (palier à 6 m)
- Soit $P_{amb \text{ max pour C30 minutes}} = 2.2/1.82 = 1.208 \text{ bars}$ soit 2.08 mètres (palier à 3 m)
- C'est donc le compartiment 10 min qui impose un premier palier à 6 mètres.

QUESTION 2 (8 points)

On dit que le lestage d'un plongeur doit être effectué à 3 mètres avec une bouteille gonflée à 50 bars.

a) Quelle est la masse totale d'une bouteille de volume 15 litres et de masse à vide de 18 kg, lorsqu'elle est gonflée à 200 bars ? Quelle est la masse totale de cette même bouteille lorsqu'elle est gonflée à 50 bars ? (On prendra pour poids de l'air 1 litre = 1.33 grammes) ?

- Masse à 200 bars = $18 + (200 \times 15 \times 1.33 / 1000) = 21.99$ soit 22 kg
- Masse à 50 bars = $18 + (50 \times 15 \times 1.33 / 1000) = 18.9975$ soit 19 kg

b) Dans une eau de densité 1, quelle est la différence de poids apparent entre cette bouteille gonflée à 200 bars et gonflée à 50 bars ? Ce résultat justifie-t-il la pratique décrite précédemment ?

- $P_{app \text{ 200}} = 22 - 15 = + 7 \text{ kg}$
- $P_{app \text{ 50}} = 19 - 15 = + 4 \text{ kg}$
- Il y a une différence de 3 kg dans le PA de la bouteille entre 200 et 50 bars. Ceci justifie donc que le lestage s'effectue avec 50 bars dans le bloc, situation que le plongeur rencontrera en fin de plongée lors de son arrêt à 3 m.

QUESTION 3 (2 points)

Quelle est la vitesse de propagation du son dans l'eau et dans l'air ? Quelle est la grandeur physique qui explique cette différence ?

- Eau : 1500 m/s ; Air : 330 m/s
- La différence de densité entre l'eau et l'air

QUESTION 1 (5 pts)

On dispose d'une rampe de 3 blocs tampons de 50 litres chacun à 230 bars. On veut gonfler ensemble, à 200 bars (toutes les pressions sont lues au manomètre) :

- 1 mono de 15 litres dans lequel il reste 20 bars
- 3 mono de 12 litres dans lesquels il reste 40 bars.

- Quelle sera la pression maximale de gonflage si on utilise les tampons successivement ?
- Sur une consommation estimée à 20 litres/min (estimé en surface) et une réserve tarée à 70 bars, quelle sera l'autonomie pour une plongée à 50 mètres, avec le bloc de 15 litres ? (On néglige le temps de descente à cette profondeur).

QUESTION 2 (5 pts)

- Si vous utilisez un mélange Nitrox 40%O₂ et 60% N₂, quelle sera la PpN₂ à 30 m ?
- A quelle profondeur auriez-vous la même PpN₂ avec un mélange 20% O₂ et 80 %N₂
- Sachant que la limite de toxicité de l'oxygène est de 1,6 bar, quel mélange vous permet d'atteindre la plus grande profondeur ? Quelle est cette profondeur ?

QUESTION 3 (6 pts)

- Quelle sera la tension d'azote dans un compartiment de période 20 minutes, initialement saturé à l'air atmosphérique (O₂ = 20% et N₂ = 80 %) après une immersion (à l'air) de 40 minutes à une profondeur de 40 m
- Le coefficient de sursaturation critique (noté Sc) de ce compartiment 20 minutes est égal à 2,04. Quelle serait la conséquence d'un retour immédiat en surface après les 40 minutes à 40 m ?
- Quelle sera donc la profondeur théorique du premier palier?

QUESTION 4 : (4 pts)

Un bloc dont la pression est de 180 bars (P. absolue) à 15 degrés Celsius est stocké dans une ambiance à 50 degrés Celsius.

- Quelle sera sa pression absolue quand il atteindra cette température ?
- Lors de son utilisation, sa pression est de 174 bars. Quelle est la température sur le bateau ?

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION 1 (5 pts)

On dispose d'une rampe de 3 blocs tampons de 50 litres chacun à 230 bars. On veut gonfler ensemble, à 200 bars (toutes les pressions sont lues au manomètre):

- 1 mono de 15 litres dans lequel il reste 20 bars
- 3 mono de 12 litres dans lesquels il reste 40 bars.

a) Quelle sera la pression maximale de gonflage si on utilise les tampons successivement ?

- *Premier tampon : $(50 \times 230 + 15 \times 20 + 3 \times 12 \times 40) / (50 + 15 + 3 \times 12) = 131,1 \text{ bars}$*
- *Deuxième tampon : $(50 \times 230 + 15 \times 131,1 + 3 \times 12 \times 131,1) / (50 + 15 + 3 \times 12) = 180,1 \text{ bars}$*
- *Troisième tampon : $(50 \times 231 + 15 \times 180,1 + 3 \times 12 \times 180,1) / (50 + 15 + 3 \times 12) = 204,8 \text{ bars}$*

b) Sur une consommation estimée à 20 litres/min (estimé en surface) et une réserve tarée à 70 bars, quelle sera l'autonomie pour une plongée à 50 mètres, avec le bloc de 15 litres ? (On néglige le temps de descente à cette profondeur).

- *$20 \times 6 = 120$ $130 \text{ disp} \times 15 = 1950$*
- *Soit : $1950 / 120 = 16,25$ soit 16 mn*

QUESTION 2 (5 pts)

a) Si vous utilisez un mélange Nitrox 40% O₂ et 60% N₂, quelle sera la PpN₂ à 30 m ?

A 30m, $P_{abs} = 4b \Rightarrow P_{pN_2} = 4 \times 0,6 = 2,4 \text{ bars}$

b) A quelle profondeur auriez-vous la même PpN₂ avec un mélange 20% O₂ et 80 %N₂

Avec le mélange 20% O₂ et 80 % N₂ : $2,4 / 0,8 = 3b \Rightarrow 20 \text{ m}$

c) Sachant que la limite de toxicité de l'oxygène est de 1,6 bar, quel mélange vous permet d'atteindre la plus grande profondeur ? Quelle est cette profondeur ?

- *C'est l'air qui permet de plonger à la plus grande profondeur*
- *$P_{pO_2} = P_{abs} \times \% O_2$ soit $P_{abs} = P_{pO_2} / \% O_2$*
- *$P_{abs} = 1,6 / 0,20 = 8 \text{ bars}$ soit 70 m.*

QUESTION 3 (6 pts)

- a) Quelle sera la tension d'azote dans un compartiment de période 20 minutes, initialement saturé à l'air atmosphérique ($O_2 = 20\%$ et $N_2 = 80\%$) après une immersion (à l'air) de 40 minutes à une profondeur de 40 m ?

$$5 \times 0,8 = 4 \times 0,8 = 3,2 \text{ bars}$$

- b) Le coefficient de sursaturation critique (noté Sc .) de ce compartiment 20 minutes est égal à 2,04.

Quelle serait la conséquence d'un retour immédiat en surface après les 40 minutes à 40 m ?

$$Sc = TN_2 / P_{abs} \text{ donc } : 3,2 / 1 = 3,2 \text{ supérieur à } Sc \text{ donc accident}$$

- c) Quelle sera donc la profondeur théorique du premier palier ?

$$3,2 / 2,04 = 1,56 ; \rightarrow \text{profondeur} = 5,6 \text{ m ; Palier à } 6 \text{ m}$$

QUESTION 4 : (4 pts)

Un bloc dont la pression est de 180 bars (P. absolue) à 15 degrés Celsius est stocké dans une ambiance à 50 degrés Celsius.

- a) Quelle sera sa pression absolue quand il atteindra cette température ?

- $P_1 V_1 / T_1 = P_2 V_2 / T_2$ comme $V_1 = V_2$ $P_1 / T_1 = P_2 / T_2$ soit $P_2 = (P_1 \times T_2) / T_1$
- Températures absolues : $T_1 = 15 + 273 = 288 \text{ }^\circ\text{K}$ et $T_2 = 50 + 273 = 323 \text{ }^\circ\text{K}$
- $P_2 = (180 \times 323) / 288 = 201,9 \text{ bars}$

- b) Lors de son utilisation, sa pression est de 174 bars. Quelle est la température sur le bateau ?

- $T_2 = (P_2 \times T_1) / P_1$
- $T_2 = (174 \times 288) / 180 = 278,4 \text{ }^\circ\text{K}$
- La température sur le bateau est donc de $T^\circ = 278,4 - 273 = 5,4 \text{ }^\circ\text{C}$

QUESTION 1 (6 points)

(Toutes les pressions sont lues au manomètre)

Vous désirez gonfler un bloc bi-bouteille d'une capacité de 2×12 l sachant qu'il y reste une pression de 20 bars. Vous disposez de 3 bouteilles tampons d'un volume de 40 l chacune gonflée à 200 bars (au mano)

- Le bi-bouteille est mis en équilibre avec les 3 tampons en même temps.
Quelle sera la pression finale dans le bi-bouteille ?
- Le bi-bouteille est mis équilibre avec les trois tampons successivement.
Quelle serait la pression finale dans le bi-bouteille ?
- Donnez votre conclusion quand aux méthodes d'utilisation des tampons

QUESTION 2 (6 points)

- Quelle sera la tension d'azote dans un compartiment de période 20 minutes, initialement saturé à l'air atmosphérique après une immersion (à l'air) de 40 minutes à une profondeur de 40 m ?
- Le coefficient de sursaturation critique (noté S_c) de ce compartiment 20 minutes est égal à 2,04.
Quelle serait la conséquence d'un retour immédiat en surface après cette immersion ?
- Quelle sera donc la profondeur théorique du premier palier ?

QUESTION 3 (4 points)

Un boîtier étanche de 5 dm^3 a un poids apparent nul en lac ($d=1$).

Quel lestage devra t-on introduire à l'intérieur pour lui donner le même poids apparent en mer ($d=1,03$) ?

QUESTION 4 (4 points)

Un plongeur arrive au palier de 6 mètres avec 50 bars, il doit y rester deux minutes. Il doit effectuer un palier de 18 minutes à 3 mètres. Equipé d'un bloc de 15 litres, ce plongeur consomme en surface 20 l/min.

- Aura-t-il suffisamment d'air pour terminer ses paliers ?
- Que pensez-vous de l'attitude de ce plongeur ?

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION 1 (6 points)

(Toutes les pressions sont lues au manomètre)

Vous désirez gonfler un bloc bi-bouteille d'une capacité de 2 x 12 l sachant qu'il y reste une pression de 20 bars. Vous disposez de 3 bouteilles tampons d'un volume de 40 l chacune gonflée à 200 bars (au mano)

a) Le bi-bouteille est mis en équilibre avec les 3 tampons en même temps. Quelle sera la pression finale dans le bi bouteille ?

- *Le bi est mis en équilibre avec les 3 tampons en même temps.*
- *Pression finale dans le Bi :*
- *$(24 \text{ l} \times 21 \text{ b}) + (3 \times 40 \text{ l} \times 201 \text{ b}) = (120 \text{ l} + 24 \text{ l}) \times P \text{ finale}$*
- *$504 + 24120 = 144 \text{ l} \times P \text{ finale}$*
- *$P \text{ Finale} = 24624 / 144 = 171 \text{ b}$ donc 170 b au mano.*

- *Autre calcul :*
- *$(24 \times 20) + (3 \times 4 \times 200) = 144 \times P$*
- *$144 P = 480 + 24000 = 24480$*
- *$P = 24480 / 144 = 170 \text{ bars}$*

b) Le bi est mis équilibre avec les trois tampons successivement. Quelle serait la pression finale dans le bi-bouteille ?

- *1er équilibrage : $(24 \times 20) + (200 \times 40)$ $P_1 = 132.5 \text{ b}$*
- *2ème équilibrage : $(132.5 \times 24) + (200 \times 40)$ $P_2 = 174.68 \text{ b}$*
- *3ème équilibrage : $(174.68 \times 24) + (200 \times 40)$ $P_3 = 190.50 \text{ bars au mano.}$*

c) Donnez votre conclusion quand aux méthodes d'utilisation des tampons

il vaut mieux utiliser les tampons l'un après l'autre.

QUESTION 2 (6 points)

a) Quelle sera la tension d'azote dans un compartiment de période 20 minutes, initialement saturé à l'air atmosphérique après une immersion (à l'air) de 40 minutes à une profondeur de 40 m ?

- *Profondeur de 40 mètres soit $P_{abs} = 5 \text{ bars}$*
- *Compartiment de période 20 minutes ; 40 minutes d'exposition à la pression ; soit 2 périodes et donc un coefficient de 0,75*
- *$T_{N_2} = 0,8 + (4 - 0,8) \times 0,75 = 3,2 \text{ bars}$*

b) Le coefficient de sursaturation critique (noté Sc) de ce compartiment 20 minutes est égal à 2,04. Quelle serait la conséquence d'un retour immédiat en surface après cette immersion?

- $Sc = T N_2 / P_{abs}$
- Ici pour un retour en surface on aurait : $T N_2 / P_{abs} = 3,2 / 1 = 3,2$
- Pour le compartiment 20 min, le Sc est égal à 2,04 (cette valeur correspond au seuil au-delà duquel se produirait l'accident de décompression.).
- Un retour en surface donnerait une valeur de 3,2 largement au-delà de la limite, d'où le fort risque d'accident.

c) Quelle sera donc la profondeur théorique du premier palier ?

- $P_{abs} = T N_2 / Sc = 3,2 / 2,04 = 1,57$ bars
- Soit une profondeur de palier théorique de 5,7 m → 6 m en pratique

QUESTION 3 (4 points)

Un boîtier étanche de 5 dm^3 a un poids apparent nul en lac ($d=1$).

Quel lestage devra t-on introduire à l'intérieur pour lui donner le même poids apparent en mer ($d=1,03$) ?

- $P_{app} = P_{réel} - P_{archi}$
- En lac ; $P_{app} = 0$ donc $P_{réel} = P_{archi} = 5 \times 1 = 5 \text{ kg}$.
- En mer ; $P_{archi} = 5 \times 1,03 = 5,15 \text{ kg}$. Pour avoir de nouveau un poids apparent nul, le poids réel doit être de 5,15 kg. Il manque donc 0,15 kg soit 150 g.

QUESTION 4 (4 points)

Un plongeur arrive au palier de 6 mètres avec 50 bars, il doit y rester deux minutes. Il doit effectuer un palier de 18 minutes à 3 mètres. Equipé d'un bloc de 15 litres, ce plongeur consomme en surface 20 l/ min.

a) Aura-t-il suffisamment d'air pour terminer ses paliers ?

- Air disponible dans le bloc : $15 \times 50 = 750$ litres
- Consommation pendant 2' à 6 mètres : $20 \times 2 \times 1,6 = 64$ litres
- Consommation pendant 18' à 3 mètres : $20 \times 18 \times 1,3 = 468$ litres
- Total d'air utilisé lors des paliers : 532 litres

b) Que pensez-vous de l'attitude de ce plongeur ?

Ce plongeur possède suffisamment d'air pour finir ses paliers sans mettre en place de procédure de palier, sans se servir de la bouteille de sécurité, ni prendre de l'air chez son coéquipier. Toute fois il peut toujours, par précaution, l'informer de la situation et vérifier de temps en temps son manomètre

QUESTION 1 (6 points)

Vous disposez de 2 bouteilles tampons de 30 litres chacune gonflées à 300 bars.

Vous souhaitez gonfler à 220 bars deux blocs de 15 litres dont l'un est vide et l'autre à 19 bars résiduels

a) Est-il possible d'arriver à ses fins en ouvrant les deux bouteilles tampons « en simultané » ?

(Il va de soi qu'une réponse chiffrée est demandée pour vous justifier.)

b) Comme vous allez utiliser les bouteilles tampons « une à une », indiquez la pression restant dans chacune d'elles après leur utilisation, pour arriver à la pression souhaitée de 220 b dans les blocs.

c) Peu de temps après leur gonflage, les blocs ont une température de 30 °C pour une pression de 220 bars
Quelle sera leur nouvelle pression lorsqu'ils seront à la température de 19° C ?

QUESTION 2 (3,5 points)

Quels sont les facteurs qui influent sur la dissolution des gaz dans les liquides ?

Vous définirez pour chacun d'entre eux leur application à la plongée.

QUESTION 3 (5,5 points)

Deux compartiments, C1 de période 5' et C2 de période 15' saturés à l'air en surface (composition de l'air : 20 % O₂, 80 % N₂) sont exposés pendant 15 minutes à une pression de 4 bars.

a) Ces deux compartiments peuvent-ils être ramenés une pression de 1 bar sans risque de dégazage anarchique ? Justifiez votre réponse par le calcul. (Le Sc du C_{5'} = 2,72 et le Sc du C_{15'} = 2,2).

b) si non, à quelle profondeur devrait-on le ou les arrêter

c) Lequel des 2 compartiments sera le compartiment directeur ?

Qu'est-ce qu'un compartiment directeur ?

QUESTION 4 (5 points)

Un plongeur arrive au palier de 6 mètres avec 50 bars dans son bloc de 15 litres, il doit y rester deux minutes. Ensuite il doit effectuer un palier de 18 minutes à 3 mètres. (Sa consommation en surface est de 20 l/mn).

a) Aura-t-il suffisamment d'air pour terminer ses paliers ?

b) Quelles auraient pu être vos consignes en tant que guide de palanquée ?

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION 1 (6 points)

Vous disposez de 2 bouteilles tampons de 30 litres chacune gonflées à 300 bars.

Vous souhaitez gonfler à 220 bars deux blocs de 15 litres dont l'un est vide et l'autre à 19 bars résiduels

- a) Est-il possible d'arriver à ses fins en ouvrant les deux bouteilles tampons « en simultanée » ?
(Il va de soi qu'une réponse chiffrée est demandée pour vous justifier.)

$$(2 \times 30 \times 300) + (15 \times 19) + (15 \times 1) / (2 \times 30) + (2 \times 15) = 203,33 \text{ bars, donc non.}$$

- b) Comme vous allez utiliser les bouteilles tampons « une à une », indiquez la pression restant dans chacune d'elles après leur utilisation, pour arriver à la pression souhaitée de 220 bars dans les blocs.

- $(30 \times 300) + (15 \times 19) + (15 \times 1) / 30 + (2 \times 15) = 155 \text{ b dans le tampon 1}$
- $Il \text{ manque } 220 \text{ b} - 155 \text{ b} = 65 \text{ b pour } (2 \times 15) = 30 \text{ litres}$
- $Soit } 65 \times 30 = 1950 \text{ litres d'air à extraire du tampon 2.}$
- $9000 - 1950 = 7050 \text{ litres d'air}$
- $7050 / 30 = 235 \text{ b dans le tampon 2}$

- c) Peu de temps après leur gonflage, les blocs ont une température de 30 °C pour une pression de 220 bars. Quelle sera leur nouvelle pression lorsqu'ils seront à la température de 19° C.

- $220 / (273 + 30) = P2 / (273 + 19)$
- $D'où } P2 = 212 \text{ bars}$

QUESTION 2 (3,5 points)

Quels sont les facteurs qui influent sur la dissolution des gaz dans les liquides ?

Vous définirez pour chacun d'entre eux leur application à la plongée.

FACTEURS	APPLICATION
Nature du GAZ	N2
Nature du LIQUIDE	Les 12 compartiments de l'organisme
La PRESSION	La profondeur de la plongée
Le TEMPS	La durée de la plongée
La TEMPERATURE	La température du corps
La surface de CONTACT	la surface des alvéoles
L'agitation	Le travail du plongeur

QUESTION 3 (5,5 points)

Deux compartiments, C1 de période 5' et C2 de période 15' saturés à l'air en surface (composition de l'air : 20 % O₂, 80 % N₂) sont exposés pendant 15 minutes à une pression de 4 bars.

a) Ces deux compartiments peuvent-ils être ramenés une pression de 1 bar sans risque de dégazage anarchique ? Justifiez votre réponse par le calcul. (Le Sc du C_{5'} = 2,72 et le Sc du C_{15'} = 2,2).

- $C1_{5'} = 0,8 + (3,2 - 0,8) \times 0,875 = 2,9 \text{ b}$, or $2,9 > 2,72 \rightarrow \text{non}$
- $C2_{15'} = 0,8 + (3,2 - 0,8) \times 0,5 = 2 \text{ b}$, or $2 < 2,2 \rightarrow \text{ok}$

b) Sinon, à quelle profondeur devrait-on le ou les arrêter

$$C1_{5'} : P_{amb} = 2,9 / 2,72 = 1,06 \text{ b soit } 0,6 \text{ m donc palier à } 3 \text{ m}$$

c) Lequel des 2 compartiments sera le compartiment directeur ?

Le C1_{5'} est le compartiment directeur.

Qu'est-ce qu'un compartiment directeur ?

C'est le compartiment qui impose le 1^{er} palier

QUESTION 4 (5 points)

Un plongeur arrive au palier de 6 mètres avec 50 bars dans son bloc de 15 litres, il doit y rester deux minutes. Ensuite il doit effectuer un palier de 18 minutes à 3 mètres. (Sa consommation en surface est de 20 L/mn)

a) Aura-t-il suffisamment d'air pour terminer ses paliers ?

- *Air disponible dans le bloc : $15 \times 50 = 750$ litres*
- *Consommation pendant 2' à 6 mètres : $20 \times 2 \times 1,6 = 64$ litres*
- *Consommation pendant 18' à 3 mètres : $20 \times 18 \times 1,3 = 468$ litres*
- *Total d'air utilisé lors des paliers : 532 litres*
- *Ce plongeur possède suffisamment d'air pour finir ses paliers sans mettre en place de procédure d'interruption de palier, sans se servir de la bouteille de sécurité, ni prendre de l'air chez son coéquipier*

b) quelles auraient pu être vos consignes en tant que guide de palanquée ?

- *Départ du fond avec x bars (fonction de la profondeur / temps)*
- *Contrôle des consommations et info mano régulièrement au cours de la plongée*
- *Gestion des décompressions selon calculateur*
- *En sécu, bouteille au palier*
- *Garder un minimum d'air dans son bloc au palier (respirer bloc de sécu, avec autre plongeur) pour le retour surface, bateau*

QUESTION 1 (5points)

On veut remonter un bateau coulé sur un fond de 20 m. Son poids réel est de 3,1 tonnes, son volume est de 600 litres. Densité de l'eau : 1.

- Quel est le poids apparent de l'épave ?
- L'équipe de relevage dispose de deux parachutes de 1500 litres chacun (de poids négligeable) pour remonter l'épave. Ces parachutes sont fixés par des bouts sur la coque et se trouvent à la profondeur de 20 m. Sachant que l'air disponible pour le gonflage du parachute est stocké dans 2 blocs de 15 l gonflés à 213 bars, pourra-t-on remonter l'épave ?
- Les bouts de fixation peuvent être rallongés. De combien doit être au minimum la rallonge du cordage et à quelle profondeur doivent se trouver les parachutes pour réaliser l'opération prévue ?

QUESTION 2 (5points)

Dans votre rôle de titulaire du RIFAP, vous êtes chargés de vérifier l'équipement de sécurité. La bouteille d'oxygène a un volume de 5 litres et est gonflée à 200 bars. Vos plongeurs se rendent régulièrement sur un site situé à 2 heures de navigation.

- En cas d'accident, quel est le débit d'O₂ à administrer ?
- Quelle autonomie avez-vous avec l'équipement existant ?
- Que préconisez-vous ?
- Quelle serait la quantité d'O₂ nécessaire pour pouvoir prendre en charge 2 plongeurs ?

QUESTION 3 (7points)

Un plongeur effectue une plongée à 40 mètres. Après 20 minutes à cette profondeur, il effectue une remontée rapide. En basant votre raisonnement sur le compartiment 10' ($Sc = 2.38$) de la table MN 90 : (On considère que l'air est composé de 20% de O₂ et de 80% de N₂).

- Quelle est la tension d'azote dans ce compartiment au moment de la remontée rapide
- Il redescend à mi-profondeur dans un délai le plus bref possible, en négligeant le temps de remontée et de redescente. Calculer la valeur du coefficient de sursaturation du compartiment 10'. Est-elle critique ?
- Au bout de 30 minutes, il entame sa remontée depuis la mi- profondeur. Quelle est alors la valeur de la tension dans le compartiment 10' ?
- Quel palier est alors imposé par le compartiment 10' lors de la remontée vers la surface ?

QUESTION 4 (3points)

Un bloc de 15 litres gonflé à 210 bars a une température de 40 °C.
Quelle sera sa pression une fois dans l'eau à 17 °C ?

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION 1 (5 points)

On veut remonter un bateau coulé sur un fond de 20 m. Son poids réel est de 3,1 tonnes, son volume est de 600 litres. Densité de l'eau : 1.

a) Quel est le poids apparent de l'épave ?

- $P_{app} \text{ épave} = P_{réel} \text{ épave} - P_{Arch} \text{ épave} = P_{réel} \text{ épave} - \text{Volume épave} \times \text{densité eau}$
- *Donc $P_{app} \text{ épave} = 3100 - 600 \times 1 = 2500 \text{ kg}$*

b) L'équipe de relevage dispose de deux parachutes de 1500 litres chacun (de poids négligeable) pour remonter l'épave. Ces parachutes sont fixés par des bouts sur la coque et se trouvent à la profondeur de 20 m. Sachant que l'air disponible pour le gonflage du parachute est stocké dans 2 blocs de 15 l gonflés à 213 bars, Pourra-t-on remonter l'épave ?

- *Pour remonter l'épave, il faut que $P_{app} \text{ épave}$ soit > 0*
- *Il faut donc injecter 2500 litres d'air à 20 m (3 bars) dans les parachutes*
- *En air détendu à la surface (1 bar), cela correspond à $2500 \times 3 = 7500$ litres*
- *Les blocs contiennent $2 \times 15 \times 213 = 6390$ litres, ce qui est insuffisant*

c) Les bouts de fixation peuvent être rallongés. De combien doit être au minimum la rallonge du cordage et à quelle profondeur doivent se trouver les parachutes pour réaliser l'opération prévue ?

- *En utilisant la loi de Mariotte, on calcule la profondeur à laquelle il y aura 2500 litres d'air dans les parachutes en vidant les blocs, de façon à annuler le poids apparent de l'ensemble (parachute + épave)*
- *Soit $P_{atm} \times 6390 = P_{équilibre} \times 2500 \rightarrow P = (1 \times 6390) / 2500 = 2,56$ bars, donc profondeur = 15,6 m.*
- *La longueur du bout doit être au minimum de $20 - 15,6 \text{ m} = 4,4$ mètres*

QUESTION 2 (5 pts)

Dans votre rôle de titulaire du RIFAP, vous êtes chargés de vérifier l'équipement de sécurité. La bouteille d'oxygène a un volume de 5 litres et est gonflée à 200 bars. Vos plongeurs se rendent régulièrement sur un site situé à 2 heures de navigation.

a) En cas d'accident, quel est le débit d'O₂ à administrer ? : *15l/min*

b) Quelle autonomie avez-vous avec l'équipement existant ? :

- *Volume dans la bouteille = $200 \times 5 = 1000$ litres*
- *Donc autonomie = $1000 / 15 = 66,67$ minutes soit environ 1h06*

- c) Que préconisez-vous ? : *emmener plusieurs bouteilles ou aller sur un site plus proche.*
- d) Quelle serait la quantité d'O₂ nécessaire pour pouvoir prendre en charge 2 plongeurs ?
- *Il faut avoir suffisamment d'O₂ pour ventiler à 2x15 l/min pendant 2 h*
 - *Donc 2x15x120 = 3 600 l donc 4 bouteilles de 5 l à 200 bars (ce qui donne une marge de sécurité)*

QUESTION 3 (7 pts)

Un plongeur effectue une plongée à 40 mètres. Après 20 minutes à cette profondeur, il effectue une remontée rapide. En basant votre raisonnement sur le compartiment 10' (Sc= 2.38) de la table MN 90 : (On considère que l'air est composé de 20% de O₂ et de 80% de N₂).

- a) Quelle est la tension d'azote dans ce compartiment au moment de la remontée rapide
- *TN₂ = T_o + (T_f - T_o) x X avec X = 0,75 pour 2 périodes*
 - *Soit TN₂ = 0,8 + (5x0,8 - 0,8)x0,75 = 3,2 bars*
- b) Il redescend à mi- profondeur dans un délai le plus bref possible, en négligeant le temps de remontée et de redescente. Calculer la valeur du coefficient de sursaturation du compartiment 10'. Est-elle critique ?
- *Sc = TN₂ / Pabs = 3,2 / 3 = 1,07 or Sc C10' = 2,38 donc la valeur n'est pas critique.*
- c) Au bout de 30 minutes, il entame sa remontée depuis la mi-profondeur. Quelle est alors la valeur de la tension dans le compartiment 10' ?
- *Au bout de 3 périodes : X = 0,875*
 - *T_o = 3,2 bars*
 - *Soit TN₂ = 3,2 + (4x0,8 - 3,2)x0,875 = 3,2 bars*
- d) Quel palier est alors imposé par le compartiment 10' lors de la remontée vers la surface ?

$$Sc = TN_2 / Pabs \rightarrow Pabs = TN_2 / Sc = 3,2 / 2,38 = 1,34 \text{ bar} \rightarrow 3,4 \text{ m soit } 6 \text{ mètres}$$

QUESTION 4 (3 pts)

Un bloc de 15 litres gonflé à 210 bars à une température de 40 °C. Quelle sera sa pression une fois dans l'eau à 17 °C ?

- *Loi de Charles P₁/T₁ = P₂/T₂ → P₂ = P₁xT₂/T₁*
- *Il faut convertir les T° en Kelvin :*
- *T₁ = 273 + 40 = 313 K*
- *T₂ = 273 + 17 = 290 K*
- *Donc P₂ = 210x290/313 = 194,6 bars*

QUESTION 1 (2 points)

- Quelle est la vitesse de propagation du son dans l'eau et dans l'air ?
- Quelle est la grandeur physique qui explique cette différence

QUESTION 2 (3 points)

Un bloc de 15 litres gonflé à 200 bars (pression absolue) a une température de 40 c°. Quelle sera sa pression absolue lors du départ en plongée dans l'eau à 15 c° ?

QUESTION 3 : la saturation (6 points)

Quels sont les différents états de saturation ?

- Qu'appelle-t-on « sursaturation critique » ?
- Lors d'une plongée à l'air à 30 mètres pendant 20 minutes, on considère 2 compartiments C10 min et C20 min. On donne : S_c 10 min. = 2,38 et S_c 20 min. = 2,04
 - Quelle sera la tension dans ces compartiments au bout de 20 min ?
 - Quel sera le compartiment directeur et quelle profondeur de palier imposera-t-il

QUESTION 4 (4 points)

On dit que le lestage d'un plongeur doit être effectué à 3 mètres avec une bouteille gonflée à 50 bars. (On prendra pour poids de l'air 1 litre = 1.33 grammes et densité de l'eau = 1)

- Quelle est la masse totale d'une bouteille de volume 15 litres et de masse à vide de 18 kg, lorsqu'elle est gonflée à 200 bars ?
- Quelle est la masse totale de cette même bouteille lorsqu'elle est gonflée à 50 bars ?
- Dans une eau de densité 1, quelle est la différence de poids apparent entre cette bouteille gonflée à 200 bars et gonflée à 50 bars ?
- Ce résultat justifie t'il la pratique décrite précédemment ?

QUESTION 5 (3 points)

On considère un mélange gazeux à 65 % N₂ et 35 % O₂.

Quelle est la profondeur maximale d'utilisation de ce gaz si on considère l'O₂ toxique pour $P_{pO_2} \geq 1,6$ bar ?

QUESTION 6 (2 points)

- De quelle manière est modifiée la vision des couleurs en plongée ?
- Pour quoi l'éclairage des objets avec une torche puissante permet il de rétablir les couleurs d'origine

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION 1 (2 points)

a) Quelle est la vitesse de propagation du son dans l'eau et dans l'air ?

- Eau : 330 m/s
- Air : 1500 m/s

b) Quelle est la grandeur physique qui explique cette différence

La densité du milieu dans lequel se propage le son

QUESTION 2 (3 points)

Un bloc de 15 litres gonflé à 200 bars (pression absolue) a une température de 40 c°. Quelle sera sa pression absolue lors du départ en plongée dans l'eau à 15 c° ?

- Loi de Charles : $P_1/T_1 = P_2/T_2 \rightarrow P_2 = P_1 \times T_2/T_1$
- Les températures doivent être converties en degrés Kelvin
 - $T_1 = 273 + 40 = 313$
 - $T_2 = 273 + 15 = 288$
- $P_2 = 200 \times 288/313 = 184 \text{ bars}$

QUESTION 3 : la saturation (6 points)

a) Quels sont les différents états de saturation ?

Sous-saturation, saturation, sursaturation

b) Qu'appelle-t-on « sursaturation critique » ?

- Le « dépassement » de l'état de sursaturation
- La baisse de pression (remontée) est trop rapide,
- Les bulles d'azote grossissent et ne peuvent plus être éliminées correctement par les poumons
- Ce dégazage anarchique entraîne un ADD

- c) Lors d'une plongée à l'air à 30 mètres pendant 20 minutes, on considère 2 compartiments C 10 min et C 20 min. On donne : $Sc_{10 \text{ min.}} = 2,38$ et $Sc_{20 \text{ min.}} = 2,04$; Composition de l'air = 80 % N_2 + 20 % O_2
- Quelle sera la tension dans ces compartiments au bout de 20 min ?`
 - $TN_2 = T_0 + (T_f - T_0) \times X \%$
 - Pour 1 période : $X\% = 50\%$, 2 périodes : $X\% = 75\%$ et 3 périodes : $X\% = 87,5\%$
 - $P = 4 \text{ bars}$
 - Pour C 10' : 20 min = 2 périodes $\rightarrow TN_2 = 0,8 + (3,2 - 0,8) \times 0,75 = 2,6 \text{ bars}$
 - Pour C 20' : 20 min = 1 période $\rightarrow TN_2 = 0,8 + (3,2 - 0,8) \times 0,5 = 2 \text{ bars}$
 - Quel sera le compartiment directeur et quelle profondeur de palier imposera-t-il ?
 - $Sc = TN_2 / P_{abs} \rightarrow P_{abs} = TN_2 / Sc$
 - Pour C10', $P_{abs} = 2,6 / 2,38 = \rightarrow 1,092 \text{ bar} \rightarrow \text{Prof palier} = 0,9 \text{ m}$
 - Pour C20', $P_{abs} = 2 / 2,04 = 0,920 \text{ bar} \rightarrow \text{pas de palier}$
 - Donc C10' est directeur, et le palier devra s'effectuer à 3 m

QUESTION 4 (4 points)

On dit que le lestage d'un plongeur doit être effectué à 3 mètres avec une bouteille gonflée à 50 bars (on prendra pour poids de l'air 1 litre = 1.33 grammes et densité de l'eau = 1)

- a) Quelle est la masse totale d'une bouteille de volume 15 litres et de masse à vide de 18 kg, lorsqu'elle est gonflée à 200 bars ?`
- Masse de l'air dans la bouteille = $200 \times 15 \times 1,33 = 3990 \text{ grammes}$ soit environ 4 kilogrammes
 - Masse du bloc = $18 + 4 = 22 \text{ kg}$
- b) Quelle est la masse totale de cette même bouteille lorsqu'elle est gonflée à 50 bars
- Masse de l'air dans la bouteille = $50 \times 15 \times 1,33 = 997,5 \text{ grammes}$ soit environ 1 kilogramme
 - Masse du bloc = $18 + 1 = 19 \text{ kg}$
- c) Dans une eau de densité 1, quelle est la différence de poids apparent entre cette bouteille gonflée à 200 bars et gonflée à 50 bars ?
- $P_{app} = P_{réel} - P_{archi} \rightarrow P_{réel} \text{ bloc} - \text{Volume}_{\text{exterieur bloc}} \times \text{Densité}_{\text{eau}}$
 - Mais le volume extérieur du bloc est constant et on est dans une eau de même densité
 - La différence du poids apparent dépend donc de la différence des poids réels à 200 et 50 bars soit environ 3 kg

d) Ce résultat justifie t'il la pratique décrite précédemment ?

Oui, car au palier (50 b) , la bouteille sera plus légère de 3 kg

QUESTION 5 (3 points)

On considère un mélange gazeux à 65 % N₂ et 35 % O₂. Quelle est la profondeur maximale d'utilisation de ce gaz si on considère l'O₂ toxique pour $P_{pO_2} \geq 1,6$ bar ?

$$P_{pO_2 \text{ maxi}} = P_{abs} \times \%O_{2 \text{ Nitrox}} \rightarrow P_{abs} = P_{pO_2 \text{ maxi}} / \%O_2 \rightarrow P_{abs} = 1,6 / 0,35 = 4,57 \text{ bars soit profondeur} = 35 \text{ m}$$

QUESTION 6 (2 points)

a) De quelle manière est modifiée la vision des couleurs en plongée ?

- *La lumière blanche est constituée de plusieurs longueurs d'onde correspondant à toutes les couleurs du spectre visibles. Lorsque la profondeur augmente, les couleurs sont progressivement absorbées.*
- *Le rouge disparaît en premier, vers 5 m,*
- *Puis l'orange vers 10 à 15 m,*
- *Le jaune entre 15 et 25 m,*
- *Le vert vers 40 m.*
- *Au-delà de 40 m ne subsiste que le bleu.*

b) Pour quoi l'éclairage des objets avec une torche puissante permet il de rétablir les couleurs d'origine

Car elle produit une lumière blanche proche des objets éclairés, ce qui permet de rétablir toutes les longueurs d'ondes absorbés par la couche d'eau.

Composition de l'air : 80% azote et 20% oxygène ; Limite de toxicité de l'oxygène : 1.6 bar

QUESTION 1 (5 points)

Après une plongée de 60 mn à 30 m, quelle sera la tension d'azote dans les compartiments de période 30 et 60 minutes ?

- Peut-on remonter en surface sans palier ?
- Sinon quelle sera la profondeur du premier palier et quel sera le compartiment directeur ?
(Coefficients de sursaturation critique : Compartiment 30 : 1,82 Compartiment 60 : 1,58)

QUESTION 2 (2 points)

Un bloc de 15 l sort du gonflage à 232 bars à 42°C (pression lue au manomètre).

Après refroidissement à une température de 6°C quelle sera sa pression ?

QUESTION 3 (2 points)

Vous plongez avec un bloc de 12l gonflé à 180 b à 25 mètres pendant 20 minutes. Sachant que vous consommez 20 l/mn en surface. Quelle sera la pression résiduelle dans le bloc à l'issue de cette plongée (pour ce calcul, on négligera la descente et la remontée) ?

QUESTION 4 (2 points)

Quelle est la profondeur maximum possible avec un Nitrox composé de 34% d'oxygène et de 66% d'azote ?

Calculez la profondeur fictive qui vous permettra d'utiliser la table MN90 pour ce mélange à cette profondeur

QUESTION 5 (4 points)

Vous désirez gonfler 3 bouteilles de plongée (2 de 12 l avec une pression résiduelle de 30 et 70b, 1 de 15 l avec une pression résiduelle de 50 b et une pression de service de 230 b).

Vous disposez de 3 bouteilles tampons de 50 l gonflées à 240 b.

Vous désirez gonfler ces 3 bouteilles à une pression égale.

- Quelle méthode de gonflage vous permettra d'avoir la pression maximale dans les bouteilles ?
- Quelle sera cette pression ?

QUESTION 6 (5 points)

Le guindeau de votre bateau de plongée étant en panne, vous décidez de relever l'ancre de votre mouillage à l'aide d'un parachute. L'ancre repose sur un fond de 40 m, son poids réel est de 60 kg et son volume de 10 dm³. Pour la remonter vous introduisez 40 litres d'air dans un parachute de 60 litres (dont on néglige le poids réel et la poussée d'Archimède).

- Que se passe t'il ?
- Jusqu'à quelle profondeur doit-on accompagner l'ensemble (parachute et ancre) pour qu'il remonte seul ?
- Quel est le volume d'air dans le parachute lorsqu'il arrive en surface ?

Remarque : dans cet exercice on considère que la densité de l'eau est égale à 1

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION 1 (5 points)

Après une plongée de 60 mn à 30 m, quelle sera la tension d'azote dans les compartiments de période 30 et 60 minutes ?

- Peut-on remonter en surface sans palier ?
- Sinon quelle sera la profondeur du premier palier et quel sera le compartiment directeur ?
(Coefficients de sursaturation critique : Compartiment 30' = 1,82 et Compartiment 60' = 1,58)
- $T_0 = 0,8 \text{ bars}$; $T_f = 4 \times 0,8 = 3,2 \text{ bars}$; $G (T_f - T_0) = 2,4 \text{ bars}$
- Compartiment 60' : 1 période $\rightarrow S = 0,5$
 - $T_{N2} = 0,8 + 2,4 \times 0,5 = 2 \text{ bars}$
 - $Sc = T_{N2} / P_{abs} \rightarrow P_{abs} = Sc / T_{N2} = 2 / 1,58 = 1,26 \text{ soit } 2,60 \text{ m}$
- Compartiment 30' : 2 périodes $\rightarrow S = 0,75$
 - $T_{N2} = 0,8 + 2,4 \times 0,75 = 2,6 \text{ bars}$
 - $Sc = T_{N2} / P_{abs} \rightarrow P_{abs} = Sc / T_{N2} = 2,6 / 1,82 = 1,42 \text{ soit } 4,20 \text{ m}$
- Donc compartiment 30' directeur

QUESTION 2 (2 points)

Un bloc de 15 l sort du gonflage à 232 bars à 42°C (pression lue au manomètre). Après refroidissement à une température de 6°C quelle sera sa pression ?

- $P_1 / T_1 = P_2 / T_2 \rightarrow P_2 = P_1 \times T_2 / T_1$
- Les températures doivent être converties en degrés K
- $232 / 273 + 42 = P / 273 + 6 \rightarrow P = 232 / 315 \times 279 = 205,49 \text{ bars}$

QUESTION 3 (2 points)

Vous plongez avec un bloc de 12l gonflé à 180 b à 25 mètres pendant 20 minutes. Sachant que vous consommez 20 l/mn en surface, qu'elle sera la pression résiduelle dans le bloc à l'issue de cette plongée (pour ce calcul, on négligera la descente et la remontée) ?

- Volume d'air détendu consommé :
- $3,5 \times 20 \times 20 = 1400 \text{ l soit } 1400 / 12 = 116,66 \text{ b}$
- Il reste donc $180 - 116,66 = 63,34 \text{ b}$

QUESTION 4 (2 points)

- Quelle est la profondeur maximum possible avec un Nitrox composé de 34% d'oxygène et de 66% d'azote ?
- Calculez la profondeur fictive qui vous permettra d'utiliser la table MN90 pour ce mélange à cette profondeur
- $P_p = P_{abs} \times X\% \quad P_{abs} = P_p / X\% = 1,6 / 0,34 = 4,7 \text{ b soit } 37 \text{ m}$
- $P \text{ fictive} = 28m80 \text{ soit } 30m \text{ dans la table MN90}$

QUESTION 5 (4 points)

Vous désirez gonfler 3 bouteilles de plongée (2 de 12 l avec une pression résiduelle de 30 et 70b, 1 de 15 l avec une pression résiduelle de 50 b - pression de service de 230 b).

Vous disposez de 3 bouteilles tampons de 50 l gonflées à 240 b.

Vous désirez gonfler ces 3 bouteilles à une pression égale.

Quelle méthode de gonflage vous permettra d'avoir la pression maximale dans les bouteilles. Quelle sera cette pression ?

- *Utilisation des tampons l'un après l'autres*
- *Tampon 1 :*
 - $50 \times 240 + 12 \times 30 + 12 \times 70 + 15 \times 50 = (50 + 12 + 12 + 15) \times P$
 - $12\ 000 + 360 + 840 + 750 = 89 \times P$
 - $P = 13\ 950 / 89 = 157 \text{ bars}$
- *Tampon 2 :*
 - $50 \times 240 + 12 \times 157 + 12 \times 157 + 15 \times 157 = 89 \times P$
 - $P = 18\ 123 / 89 = 204 \text{ bars}$
- *Tampon 3 :*
 - $50 \times 240 + 12 \times 204 + 12 \times 204 + 15 \times 204 = 89 \times P$
 - $P = 19\ 956 / 89 = 224 \text{ bars}$

QUESTION 6 (5 points)

Le guindeau de votre bateau de plongée étant en panne, vous décidez de relever l'ancre de votre mouillage à l'aide d'un parachute. L'ancre repose sur un fond de 40 m, son poids réel est de 60 kg et son volume de 10 dm³. Pour la remonter vous introduisez 40 litres d'air dans un parachute de 60 litres (dont on néglige le poids propre et la poussée d'Archimède).

- Que se passe t'il ?
- Jusqu'à quelle profondeur doit-on accompagner l'ensemble (parachute et ancre) pour qu'il remonte seul ?
- Quel est le volume d'air dans le parachute lorsqu'il arrive en surface ?

Remarque : dans cet exercice on considère que la densité de l'eau est égale à 1

- *Papp de l'ensemble (ancre parachute), après introduction des 40 litres d'air :*
- *Papp = P réel - P archi = 60 - ((10 + 40) × 1) = 10 kg > 0 donc flottabilité négative, l'ancre reste au fond.*
- *Le Papp sera nul, lorsque le volume du parachute aura atteint 60 - 10 = 50 litres*
- $P_1 V_1 = P_2 V_2 \rightarrow 5 \times 40 = P_2 \times 50 \rightarrow P_2 = 4 \text{ bars}$
- *L'équilibre sera donc atteint à 30 mètres.*
- *On pourra lâcher l'ensemble dès que l'on sera remonté de quelques centimètres.*
- *Volume de l'air en surface : 5 × 40 = 1 × V → V = 200 litres !*
- *Le volume d'air dans le parachute arrivé en surface sera de 60 litres.*
- *Celui-ci ne pouvant en contenir davantage de 60 litres.*
- *Le surplus d'air s'échappera au cours de la remontée.*

QUESTION 1 (3 points).

Un plongeur tout équipé pèse 100 kg et déplace un volume d'eau de 102 litres.

- Calculer le poids du lest qui lui est nécessaire en eau douce (densité 1).
- Calculer le poids du lest qui lui est nécessaire en eau salée (densité 1,03).

QUESTION 2 (6 points)

Un plongeur est assimilé à un seul compartiment de 10', dont le coefficient de sursaturation est de 2,38. Il est immergé à 40 m pendant 40'. L'air se compose de 80% d'azote et de 20% d'oxygène.

- Quelle sera la tension d'azote dans le compartiment 10' ?
- Peut-il remonter sans palier et sinon, quelle sera la profondeur du premier palier ?
- Ce même compartiment est immergé dans un lac d'altitude avec une pression atmosphérique de 0,7 bar, même durée, même profondeur et même composition de l'air. Ce compartiment est saturé à la pression ambiante avant l'immersion. Quelle sera sa tension d'azote dans le compartiment 10' ?
- Peut-il remonter sans palier et sinon, quelle sera la profondeur du premier palier ?

QUESTION 3 (4 points)

Vous disposez de 3 tampons de 30 l de volume chacun, avec une pression de 200 bars. Vous voulez gonfler à 190 bars précisément votre bloc de 15 l, dans lequel il reste une pression de 20 bars.

- Décrivez l'opération.
- Indiquez la pression résiduelle dans chaque tampon.

QUESTION 4 (2 points)

Vous disposez d'un mélange Nitrox contenant 36% d'Oxygène et 64% d'Azote. Jusqu'à quelle profondeur pouvez-vous l'utiliser sans dépasser 1,6 bar de pp O₂ ?

QUESTION 5 (2 points)

Vous souhaitez plonger au Nitrox à 40 mètres sans dépasser une PpO₂ de 1,5 bar. Quelle devra être la teneur maximale en O₂ du mélange ?

QUESTION 6 (3 points)

Les plongeurs pensent souvent qu'ils consomment beaucoup d'air pour descendre à la profondeur souhaitée. Il existe une autre hypothèse pour expliquer ce phénomène : Votre bloc de 15 l vient d'être gonflé à 200 bars. Il est à une température de 40°C.

- Quelle sera sa pression dans une eau à 9° ?
- Comment s'appelle la loi physique qui régit ce phénomène ?

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION 1 (3 points).

Un plongeur tout équipé pèse 100 kg et déplace un volume d'eau de 102 litres.

a) Calculer le poids du lest qui lui est nécessaire en eau douce (densité 1).

- $P_{app} = Pr_{\text{éel}} - P_{\text{archi}} = Pr_{\text{éel}} \text{ plongeur} - (Vol \text{ plongeur} \times \text{densité eau}) = 100 - 102 \times 1 = - 2 \text{ kg}$
- *Il doit rajouter 2 Kg de lest*

b) Calculer le poids du lest qui lui est nécessaire en eau salée (densité 1,03).

- $P_{app} = 100 - 102 \times 1,04 = - 5 \text{ kg.}$
- *Il doit rajouter 5 kg de lest*

QUESTION 2 (6 points)

Un plongeur est assimilé à un seul compartiment de 10', dont le coefficient de sursaturation est de 2,38. Il est immergé à 40 m pendant 40'. L'air se compose de 80% d'azote et de 20% d'oxygène.

a) Quelle sera la tension d'azote dans le compartiment 10' ?

- $TN_2 = T_o + (T_f - T_o) \times X$ avec $X = (2^{\text{nb de périodes}} - 1) / 2^{\text{nb de périodes}}$
- *Nb de périodes = 4, donc $X = (16 - 1) / 16 = 0,9375$ (93,75%)*
- *D'où $TN_2 = 0,8 \times 1 + (5 \times 0,8 - 0,8 \times 1) = 0,8 + (4 - 0,8) = 4 \text{ bars}$*

b) Peut-il remonter sans palier et sinon, quelle sera la profondeur du premier palier ?

- $Sc = TN_2 / P_{abs} \rightarrow P_{abs} = TN_2 / Sc$
- *D'où $P_{abs} = 4 / 2,38 = 1,68 \text{ bar} \rightarrow \text{profondeur plafond} = 6,8 \text{ m soit palier à } 9 \text{ m.}$*

c) Ce même compartiment est immergé dans un lac d'altitude avec une pression atmosphérique de 0,7 bar, même durée, même profondeur et même composition de l'air. Ce compartiment est saturé à la pression ambiante avant l'immersion. Quelle sera sa tension d'azote dans le compartiment 10' ?

- $TN_2 = 0,8 \times 0,7 + (5 \times 0,8 \times 0,7 - 0,8 \times 0,7) = 0,56 + (2,8 - 0,56) = 2,8 \text{ bars}$

d) Peut-il remonter sans palier et sinon, quelle sera la profondeur du premier palier ?

- $Sc = TN_2 / P_{abs} \rightarrow P_{abs} = TN_2 / Sc$
- *D'où $P_{abs} = 2,8 / 2,38 = 1,18 \text{ bar} \rightarrow \text{profondeur plafond} = 1,8 \text{ m soit palier à } 3 \text{ m.}$*

QUESTION 3 (4 points)

Vous disposez de 3 tampons de 30 l de volume chacun, avec une pression de 200 bars. Vous voulez gonfler à 190 bars précisément votre bloc de 15 l, dans lequel il reste une pression de 20 bars.

c) Décrivez l'opération.

- Dans cette configuration, il faut gonfler les blocs successivement sur les tampons
- En effet, si on mettait les tampons en équilibre avec le bloc, on aurait
- $(P_{\text{bloc}} \times V_{\text{bloc}}) + (P_{\text{tampons}} \times V_{\text{tampons}}) = P_{\text{bloc + tampon}} \times V_{\text{bloc + tampons}}$
- D'où $P_{\text{bloc + tampon}} = 20 \times 15 + 200 \times 3 \times 30 / (15 + 3 \times 30) = (300 + 18\,000) / 105 = 174,3$ bars or on veut 190 bars

d) Indiquez la pression résiduelle dans chaque tampon.

- On branche le bloc sur le 1^{er} tampon : $P_1 = 20 \times 15 + 200 \times 30 / (15 + 30) = 6\,300 / 45 = 140$ bars
- Puis sur le 2^{ème} tampon : $P_2 = 140 \times 15 + 200 \times 30 / (15 + 30) = 8\,100 / 45 = 180$ bars
- Si on met le bloc et le 3^{ème} tampon en équilibre, on a :
 $P_3 = 180 \times 15 + 200 \times 30 / (15 + 30) = 8\,700 / 45 = 193$ bars ce qui est trop
- On veut 190 bars dans le bloc en fin de gonflage, donc il doit contenir $190 \times 15 = 2\,850$ litres.
- Après le gonflage sur le 2^{ème} tampon, on a :
 - $180 \times 15 = 2\,700$ litres dans le bloc
 - et $30 \times 200 = 6\,000$ litres dans le 3^{ème} tampon
- Il faut donc transférer $2\,850 - 2\,700 = 150$ litres du 3^{ème} tampon vers le bloc
- Il restera $6000 - 150 = 5\,850$ litres dans le 3^{ème} tampon, d'où $P_3 = 5\,850 / 30 = 195$ bars

QUESTION 4 (2 points)

Vous disposez d'un mélange Nitrox contenant 36% d'Oxygène et 64% d'Azote. Jusqu'à quelle profondeur pouvez-vous l'utiliser sans dépasser 1,6 bar de pp O₂ ?

- $P_{pO_2 \text{ maxi}} = P_{\text{abs}} \times \% \text{ O}_2 \text{ mélange} \rightarrow P_{\text{abs}} = P_{pO_2 \text{ maxi}} / \% \text{ O}_2 \text{ mélange}$
- $P_{\text{abs}} = 1,6 / 0,36 = 4,44$ bars soit une profondeur de 34,4 mètres → 34 mètres (sécurité)

QUESTION 5 (2 points)

Vous souhaitez plonger au Nitrox à 40 mètres sans dépasser une PpO₂ de 1,5 bar. Quelle devra être la teneur maximale en O₂ du mélange ?

$$P_{pO_2 \text{ maxi}} = P_{\text{abs}} \times \% \text{ O}_2 \text{ mélange} \rightarrow \% \text{ O}_2 \text{ mélange} = P_{pO_2 \text{ maxi}} / P_{\text{abs}} = 1,5 / 5 = 0,3 \text{ soit } 30 \%$$

QUESTION 6 (3 points)

Les plongeurs pensent souvent qu'ils consomment beaucoup d'air pour descendre à la profondeur souhaitée. Il existe une autre hypothèse pour expliquer ce phénomène : Votre bloc de 15 l vient d'être gonflé à 200 bars. Il est à une température de 40°C.

a) Quelle sera sa pression dans une eau à 9°?

- $P_1 / T_1 = P_2 / T_2 \rightarrow P_2 = P_1 \times T_2 / T_1$
- Les températures doivent être converties en Kelvin
- $T_1 = 273 + 40 = 313 \text{ K}$; $T_2 = 273 + 9 = 282 \text{ K}$
- $P_2 = 200 \times 282 / 313 = 180 \text{ bars}$

b) Comment s'appelle la loi physique qui régit ce phénomène ?

La loi de Charles.

QUESTION 1 (5 pts)

Nous souhaitons gonfler simultanément nos 4 blocs de 12 litres, à 180 bars.

(2 sont encore gonflés à 30 bars et les 2 autres sont vides).

Pour ce faire, nous disposons de 5 tampons de 50 litres gonflés à 230 bars chacun et reliés entre eux.

Quelle sera la pression dans les tampons à la fin du gonflage ?

(Toutes les pressions données sont lues au manomètre)

QUESTION 2 (3 pts)

Après le gonflage, le manomètre monté sur votre bloc indique 230 bars à une température de

45°C. Votre bloc est stocké dans un local à une température est de 20°C

Quelle sera la pression affichée au manomètre le lendemain matin ?

QUESTION 3 (3 pts)

Un plongeur (volume 95 dm³) a une flottabilité nulle à 3 m en mer (densité = 1,023) avec une ceinture de lest de 3 kg. Il désire plonger en eau douce (densité 1) avec le même matériel.

Quel doit être son nouveau lestage ?

QUESTION 4 (3 pts)

Un plongeur s'immerge avec un mélange Nitrox composé de 40% d'O₂ et de 60% de N₂.

(Composition de l'air atmosphérique : 20% O₂ 80% N₂ ; seuil de toxicité de l'O₂ : PpO₂ = 1,6 bar)

- Quelle profondeur pourra-t-il atteindre avec ce mélange sans risque d'hyperoxie ?
- Avec quelle profondeur doit-on entrer dans les tables MN 90 ?

QUESTION 5 (6 pts)

Un plongeur est résumé à deux compartiments :

C1 : période 15 minutes et Sc = 2,20

C2 : Période 30 minutes et Sc = 1,82

La plongée dure 30 minutes à une profondeur de 40 m

- A quelle profondeur minimale le compartiment C1 peut-il être remonté sans risque ?
- Même question pour C2
- Quel est le compartiment directeur pour cette plongée ? Justifiez votre réponse.
- D'après la table MN 90, à quelle profondeur ce plongeur doit-il effectuer son 1er palier ? Justifiez votre réponse

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION 1 (5 pts)

Nous souhaitons gonfler simultanément nos 4 blocs de 12 litres, à 180 bars.

(2 sont encore gonflés à 30 bars et les 2 autres sont vides).

Pour ce faire, nous disposons de 5 tampons de 50 litres gonflés à 230 bars chacun et reliés entre eux.

Quelle sera la pression dans les tampons à la fin du gonflage ?

(Toutes les pressions données sont lues au manomètre)

- *Par les pressions :*

Avant gonflage

Après gonflage

- $(5 \times 50 \times 230) + (2 \times 30 \times 12) + (2 \times 1 \times 12) = (5 \times 50) \times P + (4 \times 12 \times 180)$
- *soit* $P = (5 \times 50 \times 230 + 2 \times 30 \times 12 + 2 \times 1 \times 12) - (4 \times 12 \times 180) / (5 \times 50)$
- $P = (57\,500 + 720 + 24) - 8\,640 / 250 \approx 198 \text{ bars}$

- *Par les volumes :*

- *Avant gonflage, il reste dans les blocs :*
- $2 \times 30 \times 12 + 2 \times 1 \times 12 = 744 \text{ litres}$
- *Après gonflage, il y aura dans les blocs :* $4 \times 12 \times 180 = 8\,640 \text{ litres}$
- *On a donc transféré* $8\,640 - 744 = 7\,896 \text{ litres}$
- *Avant gonflage, il y a dans les tampons :* $5 \times 50 \times 230 = 57\,500 \text{ litres}$
- *Après, il y aura* $57\,500 - 7\,896 = 49\,604 \text{ litres}$
- *Donc la pression résiduelle* $49\,604 / (5 \times 50) \approx 198 \text{ bars}$

QUESTION 2 (3 pts)

Après le gonflage, le manomètre monté sur votre bloc indique 230 bars à une température de

45°C. Votre bloc est stocké dans un local à une température est de 20°C

Quelle sera la pression affichée au manomètre le lendemain matin ?

Loi de Charles : $P_1/T_1 = P_2/T_2$ soit $P_2 = P_1 T_2 / T_1$

- $P_1 = 230 \text{ bars}$,
- $T_1 = 273 + 45 = 318 \text{ K}$
- $T_2 = 20 + 273 = 293 \text{ K}$,
- $P_2 = 230 \times 293 / 318 \approx 212 \text{ bars}$

QUESTION 3 (3 pts)

Un plongeur (volume 95 dm^3) a une flottabilité nulle à 3 m en mer (densité = 1,023) avec une ceinture de lest de 3 kg. Il désire plonger en eau douce (densité 1) avec le même matériel. Quel doit être son nouveau lestage ?

$$P_{app} = P_{réel} - P_{archi} = P_{réel} \text{ plongeur} - \text{Volume plongeur} \times \text{densité liquide}$$

- En mer, le plongeur est équilibré, donc P_{app} est nul
- On a donc $P_{réel} = P_{archi}$
- Soit $P_{réel} \text{ plongeur} + \text{lestage} = \text{Volume plongeur} \times \text{densité liquide}$
- Soit $Pr + 3 = 95 \times 1,023$
- d'où $Pr = 97,185 - 3 = 94,19 \approx 94 \text{ kg}$
- En eau douce : $94 + \text{lestage} = 95 \times 1$ d'où $\text{lestage} = 95 - 94 = 1 \text{ kg}$

QUESTION 4 (3 pts)

Un plongeur s'immerge avec un mélange Nitrox composé de 40% d' O_2 et de 60% de N_2 .
(Composition de l'air atmosphérique : 20% O_2 80% N_2 ; seuil de toxicité de l' O_2 : $P_{pO_2} = 1,6 \text{ bar}$)
Quelle profondeur pourra-t-il atteindre avec ce mélange sans risque d'hyperoxie ?
Avec quelle profondeur doit-on entrer dans les tables MN 90 ?

- Règle de Dalton $P_p \text{ gaz} = P_{abs} \times \% \text{ gaz du mélange}$
- Donc $1,6 = P_{abs} \times 0,4 = 1,4 \text{ b}$
- Donc $P_{abs} = 1,6 / 0,4 = 4 \text{ b}$ donc 30 m
- Pression équivalente air
- $PAE = P_{abs} \times (\%N_2 \text{ Nitrox} / \% N_2 \text{ air})$
- Donc $PAE = 4 \times 60 / 80 = 3 \text{ bars}$ soit 20 m

QUESTION 5 (6 pts)

Un plongeur est résumé à deux compartiments :

C1 : période 15 minutes et $Sc = 2,20$

C2 : Période 30 minutes et $Sc = 1,82$

La plongée dure 30 minutes à une profondeur de 40 m

a) A quelle profondeur minimale le compartiment C1 peut-il être remonté sans risque ? Même question pour C2

- $TN2 = T0 + G \times S$
- $T0 = 0,8 \text{ bar}$
- A 40 m : $Tf = 5 \times 0,8 = 4 \text{ bars}$
- Donc $G = 4 - 0,8 = 3,2 \text{ bars}$
- Pour C1, 2 périodes donc $S = 0,75$
- $TN2 = 0,8 + 3,2 \times 0,75 = 3,2 \text{ bars}$
- $SC = TN2 / Pabs$ soit $Pabs = TN2 / Sc$
- $Pabs = 3,2 / 2,2 \approx 1,45 \text{ b}$ donc 4,5 mètres
- Pour C2 : $TN2 = 0,8 + 3,2 \times 0,5 = 2,4 \text{ bars}$
- $Pabs = 2,4 / 1,82 \approx 1,32 \text{ bar}$ donc 3,2 mètres

b) Quel est le compartiment directeur pour cette plongée ? Justifiez votre réponse.

c) D'après la table MN 90, à quelle profondeur ce plongeur doit-il effectuer son 1er palier ? Justifiez votre réponse

- C'est C1 : donne le palier le plus profond
- Premier palier à 6 m
- Première valeur supérieure à 4,5 m dans la table = 6m

QUESTION 1 (6 points).

On dispose d'une rampe de 2 blocs tampons de 50 litres chacun à 230 bars.

On veut gonfler simultanément 3 blocs de 15 litres (pression maxi = 230 bars) dans lesquels il reste 40 bars.

- Quelle sera la pression maximale de gonflage si on utilise les tampons simultanément ?
- Quelle sera la pression dans les bouteilles si on utilise les tampons successivement ?
- Qu'en concluez-vous ?

QUESTION 2 (3 points)

Un bloc de 18 litres en fin de gonflage à 200 bars (pression absolue) a une température de 40 C°. Quelle sera sa pression absolue au départ d'une plongée dans l'eau à 17 C° ?

QUESTION 3 (2 points)

La saturation :

- Quels sont les différents états de saturation ?
- Quelle loi décrit la saturation ? Énoncez-la.

QUESTION 4 (5 points)

Lors d'une plongée à l'air à 30 mètres pendant 20 minutes, on considère deux compartiments C10' et C20' de périodes respectives 10 et 20 minutes. On donne : S_c 10 min. = 2,38 et S_c 20 min. = 2,04

- Quelle sera la tension dans ces compartiments au bout de 20 min ?
- Quel sera le compartiment directeur et quelle profondeur de palier imposera-t-il ?

QUESTION 5 (4 points)

Une ancre en fonte est posée sur un fond de 30 m, et occupe un volume de 5 litres.

Un plongeur décide de la remonter en utilisant un parachute de 40 litres de poids apparent nul. (Densité de la fonte = 8)

- 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

REFERENTIEL DE CORRECTIONS

QUESTION 1 (6 points).

On dispose d'une rampe de 2 blocs tampons de 50 litres chacun à 230 bars.
On veut gonfler simultanément 3 blocs de 15 litres (pression maxi = 230 b)
dans lesquels il reste 40 bars.

- a) Quelle sera la pression maximale de gonflage si on utilise les tampons simultanément ?
 $2 \times 50 \times 230 + 3 \times 15 \times 40 / 100 + 3 \times 15 = 171,03 = 171 \text{ bars}$
- b) Quelle sera la pression dans les bouteilles si on utilise les tampons successivement ?
- 1^{er} bloc : $15 \times 40 + 100 \times 230 / 100 + 15 = 205,22 \approx 205 \text{ bars}$
 - 2^{ème} bloc : $15 \times 40 + 100 \times 205,22 / 100 + 15 = 183,67 \approx 184 \text{ bars}$
 - 3^{ème} bloc : $15 \times 40 + 100 \times 183,67 / 100 + 15 = 164,93 \approx 165 \text{ bars}$
- c) Qu'en concluez-vous ?

On gagne toujours à utiliser des tampons séparément et successivement

QUESTION 2 (3 points)

Un bloc de 18 litres en fin de gonflage à 200 bars (pression absolue) a une température de 40 C°.
Quelle sera sa pression absolue au départ d'une plongée dans l'eau à 17 C° ?

- Température absolue en fin de gonflage : $T_1 = 40 + 273 = 313 \text{ ° K}$
- Température absolue en plongée : $T_2 = 17 + 273 = 290 \text{ ° K}$.
- $P_1 / T_1 = P_2 / T_2$
- D'où $P_2 = (P_1 \times T_2) / T_1 = (200 \times 290) / 313$
- Donc $P_2 = 185,3 \text{ bars}$

QUESTION 3 (2 points)

La saturation :

- a) Quels sont les différents états de saturation ?

Sous-saturation ; Saturation (équilibre) ; Sursaturation.

- b) Quelle loi décrit la saturation ? Énoncez-la.

Loi de Henry : à température donnée, la quantité de gaz dissous à saturation dans un liquide est proportionnelle à la pression exercée par le gaz au-dessus de ce liquide

QUESTION 4 (5 points)

Lors d'une plongée à l'air à 30 mètres pendant 20 minutes, on considère deux compartiments C10' et C20' de périodes respectives 10 et 20 minutes. On donne : $Sc_{10 \text{ min.}} = 2,38$ et $Sc_{20 \text{ min.}} = 2,04$

a) Quelle sera la tension dans ces compartiments au bout de 20 min ?

- Profondeur 30 mètres soit 4 bars. PpN_2 à 30 mètres : $PpN_2 = 4 \times 0,8 = 3,2$ bars
- Compartiment de période 10 minutes ; Nombre de périodes : 2 ; Coefficient : 0,75
 $T_{N_2} (10 \text{ min.}) = 0,8 + (3,2 - 0,8) \times 0,75 = 2,6$ bars
- Compartiment de période 20 minutes ; Nombre de périodes : 1 ; Coefficient : 0,5
 $T_{N_2} (20 \text{ min.}) = 0,8 + (3,2 - 0,8) \times 0,5 = 2$ bars

b) Quel sera le compartiment directeur et quelle profondeur de palier imposera-t-il ?

- $Sc = T_{N_2} / P_{abs}$ soit $P_{abs} = T_{N_2} / Sc$
- Pour C10' : $Sc = 2,6 / 2,38 = 1,093$ bar soit 0,93 mètres.
- Pour C20' : $Sc = 2 / 2,04 = 0,98$ bar donc pas de palier.
- Le compartiment directeur sera le tissu 10 minutes, et le palier devra s'effectuer à 3 mètres

QUESTION 5 (4 points)

Une ancre en fonte est posée sur un fond de 30 m, et occupe un volume de 5 litres.

Un plongeur décide de la remonter en utilisant un parachute de 40 litres de poids apparent nul.
(densité de la fonte = 8)

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

$D = 8, V = 5 \Rightarrow P_{réel} = 40 \text{ kg}$, P_{parchi} pour 5 l : 5 kg $\Rightarrow P_{app} = 35 \text{ Kg} \Rightarrow \text{Vol min} = 35 \text{ l}$ à 4 bars
Volume d'air injecté dans le ballon : $35 \times 4 = 140 \text{ l}$;

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

Profondeur à laquelle le ballon sera rempli : $140 : 40 = 3,5 \text{ b}$ soit 25 mètres.

QUESTION 1 (5 points).

Un plongeur est assimilé à deux compartiments, l'un de 10' et l'autre de 20' avec comme coefficients de sursaturation respectifs 2,38 et 2,04.

- Quelle est la saturation de chaque compartiment après 20' d'immersion à 35 mètres ?
- Après ces 20', le plongeur souhaite remonter en surface. Le peut-il ? Sinon quel est le compartiment directeur et la profondeur du premier palier ?

QUESTION 2 (3 points)

Un bloc est gonflé à 230 bars à une température de 60° à la fin du gonflage.

- Quelle sera sa pression par une température de 17° ?
- Quelle sera sa pression dans une eau à 4° (les résultats seront arrondis au bar le plus proche).

QUESTION 3 (4 points)

Vous devez effectuer des gonflages avant une plongée. Pour cela, vous disposez de rampes tampons de 2 x 50 litres reliées entre elles, gonflées à 250 bars avec 6 sorties pour charger les bouteilles. Vous devez gonfler 6 blocs de 12 litres dans lesquels il reste 50 bars.

- Quelle pression obtenez-vous en équilibrant le tout ?
- Combien de blocs pourrez-vous gonfler à 200 bars si vous les gonflez les uns après les autres ?

QUESTION 4 (2 points)

Vous utilisez un mélange Nitrox contenant 35% d'Oxygène et 65% d'Azote.
À quelle profondeur pouvez-vous descendre sans dépasser 1,6 bar de PpO_2 ?

QUESTION 5 (2 points)

Vous désirez descendre à 40 mètres. Quelle devra être la teneur maximale en O_2 du mélange, sans dépasser 1,6 bar de PpO_2 ?

QUESTION 6 (4 points)

Un plongeur consomme 20 litres/minute en surface. Il veut effectuer une plongée sur l'épave du Togo située à 60 mètres. À cette profondeur, il lui reste une pression de 200 bars dans son bloc de 15 litres. Il souhaite amorcer sa remontée avec 100 bars dans le bloc.

- Combien de temps pourra-t-il rester à 60 m ? (arrondissez le résultat à la minute inférieure)
- Avec le temps de descente, il a une durée de plongée de 13', ce qui fait comme paliers : 1' à 9 m, 4' à 6 m et 19' à 3m. Quelle sera la pression dans le bloc à la fin de la plongée ? (On néglige la consommation à la remontée et entre les paliers).

REFERENTIEL DE CORRECTION

QUESTION 1 (5 points).

Un plongeur est assimilé à deux compartiments, l'un de 10' et l'autre de 20' avec comme coefficients de sursaturation respectifs 2,38 et 2,04.

a) Quelle est la saturation de chaque compartiment après 20' d'immersion à 35 mètres ?

- $T_0 = 0,8$ b $T_f = 0,8 \times 4,5 = 3,6$.
- 1° compartiment de 10' : $0,8 + \{(3,6 - 0,8) \times 75\% \} = 2,9$ bars.
- 2° compartiment de 20' : $0,8 + \{(3,6 - 0,8) \times 50\% \} = 2,2$ bars.

b) Après ces 20', le plongeur souhaite remonter en surface. Le peut-il ?

Non, car les Sc des 2 compartiments sont dépassés

Sinon quel est le compartiment directeur et la profondeur du premier palier ?

- 1° : $P_{Abs} = TN_2$: Cs donc 2,9 : 2,38 = 1,218. Prof du palier 0,22 m soit 3 m
- 2° : $P_{Abs} = TN_2$: Cs donc 2,2 : 2,04 = 1,078. Prof du palier 0,08 m
- Donc compartiment directeur : celui de 10' qui impose le palier le plus profond.

QUESTION 2 (3 points)

Un bloc est gonflé à 230 bars à une température de 60° à la fin du gonflage.

$$P_1 / T_1 = P_2 / T_2 \quad T \text{ en } ^\circ K (^\circ C + 273^\circ) \text{ donc } P \text{ recherchée} = P \text{ connue} \times T_2 / T_1$$

a) Quelle sera sa pression par une température de 17° ? : *200,30 soit 200 bars*

b) Quelle sera sa pression dans une eau à 4°

Les résultats seront arrondis au bar le plus proche (de Niolon) : *191,03 soit 191 bars*

QUESTION 3 (4 points)

Vous devez effectuer des gonflages avant une plongée. Pour cela, vous disposez de rampes tampons de 2 x 50 l reliées entre elles, gonflées à 250 bars avec 6 sorties pour charger les bouteilles. Vous devez gonfler 6 blocs de 12 l dans lesquels il reste 50 bars.

a. Quelle pression obtenez-vous en équilibrant le tout ?

- Nombre de litres d'air total = $2 \times 50 \times 250 + 6 \times 12 \times 50 = 25\,000 + 3\,600 = 28\,600$ litres
- Volume total des contenants = $2 \times 50 = 6 \times 12 = 172$ litres
- Pression d'équilibre $28\,600 : 172 = 166,27$ b, soit 166 b

b. Combien de blocs pourrez-vous gonfler à 200 bars si vous les gonflez les uns après les autres ?

- On dispose au delà de 200 bars de 250 - 200 bars $\times (50 \times 2) = 50 \times 100 = 5\,000\text{ l}$.
- Pour compléter un bloc de 12 l de 50 b à 200 b il faut $150 \times 12 = 1\,800\text{ l}$.
- Donc $5000 : 1800 = 2,77 =$ seuls 2 blocs peuvent être gonflés à 200 bars
- en utilisant $P1V1 + P2V2 = P3V3$ (moins souvent utilisé par les candidats), on a
- après le 1^{er} bloc : $P3 = (50 \times 12 + 2 \times 50 \times 250) / (2 \times 50 + 12) = 228,64$ bars dans les tampons
- après le 2^{ème} bloc $P3 = (50 \times 12 + 2 \times 50 \times 228,64) / (2 \times 50 + 12) = 209,5$ bars
- après le 3^{ème} bloc $P3 = (50 \times 12 + 2 \times 50 \times 209,5) / (2 \times 50 + 12) = 192,4$ bars
- Donc seul 2 blocs peuvent être gonflés à 200 bars) CQFD

QUESTION 4 (2 points)

Vous utilisez un mélange Nitrox contenant 35% d'Oxygène et 65% d'Azote.
À quelle profondeur pouvez-vous descendre sans dépasser 1,6 bar de PpO_2 ?

$$PpO_2 = P \text{ abs} \times \% \text{ donc } P \text{ abs} = PpO_2 : \% = 1,6 : 0,35 = 4,57 \text{ b,}$$

Donc 35,7 m arrondis à 35m par sécurité (sinon on dépasse 1,6 bar)

QUESTION 5 (2 points)

Vous désirez descendre à 40 mètres. Quelle devra être la teneur maximale en O_2 du mélange, sans dépasser 1,6 bar de PpO_2 ?

$$PpO_2 = P \text{ abs} \times \% \text{ donc } \% = PpO_2 : P \text{ abs} = 1,6 : 5 = 32\%$$

QUESTION 6 (4 points)

Un plongeur consomme 20 litres/minute en surface. Il veut effectuer une plongée sur l'épave du Togo située à 60 mètres. À cette profondeur, il lui reste une pression de 200 bars dans son bloc de 15 litres. Il souhaite amorcer sa remontée avec 100 bars dans le bloc.

a) Combien de temps pourra-t-il rester à 60 m ? (arrondissez le résultat à la minute inférieure)

- Conso à 60 m = $7 \times 20 = 140\text{ l}$. Il dispose de $100 \text{ bars} \times 15\text{ l} = 1\,500\text{ l}$
- Temps : $1\,500 : 140 = 10,71'$, soit 10'.

b) Avec le temps de descente, il a une durée de plongée de 13', ce qui fait comme paliers : 1' à 9 m, 4' à 6 m, 19' à 3m. Quelle sera la pression dans le bloc à la fin de la plongée ? (On néglige la consommation à la remontée et entre les paliers).

- 1' à 9 m = $20 \times 1 \times 1,9 = 38\text{ l}$
- 4' à 6 m = $20 \times 4 \times 1,6 = 128\text{ l}$
- 19' à 3 m = $20 \times 19 \times 1,3 = 494\text{ l}$
- soit 660 en tout
- Pression : 100 bars résiduels à la remontée correspondent à $100 \times 15 = 1\,500\text{ l}$
- $1\,500 - 660\text{ l} = 840\text{ l}$.
- $840 : 15 = 56 \text{ bats}$