

Guide de Palanquée - Niveau 4

Aspects théoriques de l'activité - Exercices

Compressibilité des gaz

Pression

Loi de Mariotte

Consommation

Influence de la température

Gonflage

Pressions partielles

Loi de Dalton

Toxicité des gaz

Flottabilité

Théorème d'Archimède

11 décembre 2024

Jean-Pierre GOEHNER – Fabienne KUSTNER/JOLY - Maurice SCHAULI

Exercices (Vu le 27/11)

COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

PRESSIONS

PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

- 1) Un plongeur s'immerge à 37m en mer (Densité = 1,03)
 - a) Quelle est la pression hydrostatique à cette profondeur?
 - b) Quelle est la pression absolue à cette profondeur?

- 2) Un plongeur s'immerge à 37m dans un lac où la pression atmosphérique est de 608 mmHg
 - a) Convertissez la pression atmosphérique en bar.
 - b) Quelle est la pression absolue à cette profondeur?

COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

PRESSIONS

PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

1) Un plongeur s'immerge à 37m en mer

a) $P_{\text{hydro}} = 37/10 \times 1,03 = 3,81 \text{ bars}$

b) $P_{\text{abs}} = P_{\text{atm}} + P_{\text{hydro}} = 1 + 3,81 = 4,81 \text{ bars}$

2) Un plongeur s'immerge à 37m dans un lac ou la pression atmosphérique est de 608 mmHg

a) $P_{\text{atm}} = 608 / 760 = 0,8 \text{ bar}$

b) $P_{\text{abs}} = P_{\text{atm}} + P_{\text{hydro}} = 0,8 + 3,7 = 4,5 \text{ bars}$

Gonflage gilet (Vu le 27/11)

COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

PRESSIONS

PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

EXERCICE :

Un plongeur met 10 litres d'air dans son gilet à 30 mètres.
S'il remonte à 10 m combien d'air le gilet va-t-il contenir ?

REPONSE :

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$P_1 = 4 \text{ b} ; V_1 = 10 \text{ l} ; P_2 = 2 \text{ b}$$

$$V_2 = P_1 V_1 / P_2$$

$$\rightarrow V_2 = 40 / 2 = 20 \text{ l}$$

Exercice gonflage blocs

COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

PRESSIONS

PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

EXERCICE (pour le 11 décembre) :

Vous disposez de 2 blocs tampons de 50 l chacun, tous 2 gonflés à 200 bars. Vous voulez gonfler un bloc de 10 l dans lequel la pression résiduelle est de 20 bars.

Quelle méthode utiliseriez-vous pour gonfler ce bloc de 10L à la pression maximale possible ?

1) Gonflage sur les 2 tampons en même temps.

2) Gonflage successif sur un tampon, puis l'autre.



Réponses gonflage blocs

COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

PRESSIONS

PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

REPONSE:

$$1) P_1 V_{Ta} + P_b V_b = P_f V_{Ta} + P_f V_b$$

$$2) P_1 V_{T1} + P_b V_b = P_{f1} V_{T1} + P_{f1} V_b$$

$$(200 \times 100) + (20 \times 10) = P_f (100 + 10) \quad (200 \times 50) + (20 \times 10) = P_{f1} (50 + 10)$$

$$P_f = \frac{(200 \times 100) + (20 \times 10)}{(100 + 10)}$$

$$P_{f1} = \frac{(200 \times 50) + (20 \times 10)}{(50 + 10)}$$

$$P_f = 183,6 \text{ bars}$$

$$P_{f1} = 170 \text{ bars}$$

2ème étape

La seconde méthode
est plus efficace

$$P_1 V_{T2} + P_{f1} V_b = P_{f2} V_{T2} + P_{f2} V_b$$

$$(200 \times 50) + (170 \times 10) = P_{f2} (50 + 10)$$

$$P_{f2} = \frac{(200 \times 50) + (170 \times 10)}{(50 + 10)}$$

$$P_{f2} = 195 \text{ bars}$$



Consommation – Autonomie (Vu 27/11)

COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

PRESSIONS

PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

EXERCICE :

Pour une consommation estimée à 20 litres/min (estimé en surface), bloc de 15 l gonflé au départ à 210 bars et 1/3 du volume à garder pour la remontée (70b), quelle sera l'autonomie pour une plongée à 45 mètres ? (On néglige le temps de descente à cette profondeur)

REPONSE :

A 45 m, Pabs = 5,5 bars

consommation : $20 \times 5,5 = 110$ litres/min

volume d'air disponible : $P \times V = (210 \times 2/3) \times 15 = 2100$ litres

Autonomie :

C'est le temps qu'il me faudra pour consommer l'air à ma disposition

$2100 / 110 = \mathbf{19,09 \text{ min}}$

Consommation - Autonomie

COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

PRESSIONS

PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

EXERCICE (pour le 11 décembre) :

Pour la plongée suivante (voir photos du carnet), le plongeur ayant utilisé une Bouteille de 15L, quelle a été sa consommation Moyenne ?



Consommation - Autonomie

COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

PRESSIONS

PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

Réponse (le 11 décembre) :

Pour la plongée suivante (voir photos du carnet), le plongeur ayant utilisé une Bouteille de 15L, quelle a été sa consommation Moyenne ?



Nous allons assimiler cette plongée à une plongée de profil carré !

Données d'entrée du profil carré :

1/ Profondeur = Profondeur moyenne = 16,3 m

2/ Durée de la plongée : 48 min

3/ Stock d'air consommé : Conso en bars x Volume bouteille = $131 \times 15 = 1\,965\text{ L}$

Conso à la profondeur moyenne de la plongée :

Volume consommé / Durée = $1965/48 = 41\text{ L/min}$

C'est la consommation à la pression ambiante moyenne :

$P_{\text{moy}} = \text{Prof Moy} / 10 + 1 = 2,63\text{ bars}$

Conso ramenée au niveau de la mer (à Patm) :

$41\text{ L/min} / 2,63 = \mathbf{15,6\text{ L/min}}$

Loi de Gay Lussac – Exercices (Vu 27/11)

COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Loi de Gay Lussac Kelvin en C°

PRESSIONS

PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

Après avoir été gonflé à 230 bars un bloc de 15l est à une température de 37°C.

Une fois rangé sa température redescend à 23,5°C.

Quelle pression indiquera un manomètre quand un plongeur vérifiera le bloc avant de plonger ?

Loi de Gay Lussac - Exercices

COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Loi de Gay Lussac
Kelvin en C°

PRESSIONS PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

REPONSE :

$$T1 = 273 + 37 = 310 \text{ K}$$

$$T2 = 273 + 23,5 = 296,5 \text{ K}$$

$$V1 = 15 \text{ litres}$$

$$P2 = (P1 \times T2) / T1$$

$$P2 = (230 \times 296,5) / 310$$

$$P2 = 220 \text{ bars}$$

Loi de Gay Lussac - Exercices

COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Loi de Gay Lussac Kelvin en C°

PRESSIONS

PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

(POUR le 11 décembre)

Après le gonflage de votre bouteille de plongée à 200 bars (pression absolue), la température du bloc est de 37° C.

Avant de plonger, la température du bloc est passée à 13° C.

1) Quelle est la nouvelle pression absolue de votre bouteille ?

2) A l'issue de votre plongée, il reste 78 bars dans votre bloc (toujours à 13 ° C). Exposée au soleil, la pression de la bouteille atteint 90 bars.

Quelle est la température de votre bouteille ?

Loi de Gay Lussac - Exercices

COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Loi de Gay Lussac
Kelvin en C°

PRESSIONS

PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

REPONSE :

$$1) P1 = 200 \text{ b} ; T1 = 37^\circ \text{ C} = 310 \text{ K} ; T2 = 13^\circ \text{ C} = 286 \text{ K}$$

$$P1/T1 = P2/T2$$

$$P2 = (P1 \times T2) / T1 = (200 \times 286) / 310$$

$$P2 = 184,5 \text{ bars}$$

$$2) P1 = 78 \text{ b} ; T1 = 13^\circ \text{ C} = 286 \text{ K} ; P2 = 90 \text{ b}$$

$$P1/T1 = P2/T2$$

$$T2 = (T1 \times P2) / P1 = (286 \times 90) / 78$$

$$T2 = 330 \text{ K} = 57^\circ \text{ C}$$

Toxicité des gaz – Exercices (Vu le 27/11)

COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

PRESSIONS

PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

- Quelle est la profondeur maximale avec un mélange Air pour respecter une $PpO_2 < 1,6$?

$$P_{abs} = PpO_2 / 0,21 = 1,6 / 0,21 = 7,6b \rightarrow \text{profondeur } 66m$$

Ce n'est donc qu'avec des Nitrox ou de l'O₂ pur qu'une $PpO_2 > 1,6$ peut être atteinte

- Pour un mélange Nitrox comportant 37% d'O₂,
 - quelle sera la PpO_2 que vous respirerez à 30m ?
 - quelle sera la PpN_2 que vous respirerez à 30m ?

$$PpO_2 = P_{abs30m} \times 0,37 = 4 \times 0,37 = 1,48b$$

$$PpN_2 = P_{abs30m} \times 0,63 = 4 \times 0,63 = 2,52b$$

Toxicité des gaz - Exercices

COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

PRESSIONS

PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

- Quelle est la profondeur maximale d'utilisation (PMU) pour un Nx40 ?
(En prenant une PPO2 Maxi de 1,6 bars pour cet exercice)

$$P_{abs} = P_{pO_2} / 0,4 = 1,6 / 0,40 = 4b \rightarrow \text{profondeur } 30m$$

- Quel est le meilleur mélange Nitrox pour une plongée à 40m ?
(En prenant toujours PPO2 Maxi de 1,6 bars)

$$\% = P_{pO_2} / P_{abs} = 1,6 / 5 = 0,32 \text{ donc un Nitrox à } 32\%$$

Exercice de lestage (Vu le 27/11)

COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

PRESSIONS

PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

EXERCICE 1

Un plongeur d'un volume de 100 dm³ a une masse tout équipé de 99 kg.

Immergé dans de l'eau douce, quel est son poids apparent ?
Que se passe-t-il ?

Même question dans l'eau de mer.

Comment doit être son lestage ?

Densité eau douce = 1

Densité eau de mer = 1,03

Exercice de lestage – Réponse

COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

PRESSIONS

PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

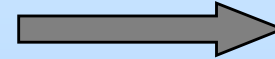
lestage

relevage

REPONSE EXERCICE 1

Eau douce

$$P_{app} = 99 - (100 \times 1)$$



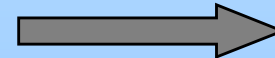
Le plongeur flotte

$$P_{app} = -1$$

Il doit rajouter 1kg de lest

Eau de mer

$$P_{app} = 99 - (100 \times 1,03)$$



Le plongeur flotte

$$P_{app} = -4$$

Il doit rajouter 4 kg de lest

C'est pourquoi on se leste plus en mer qu'en eau douce

Exercice de lestage

COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

PRESSIONS

PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

EXERCICE 2 (Pour le 11 décembre) :

La masse d'un boîtier de caméra est égal à 3 kg son volume est de 5 litres. On dispose d'un lest en plomb de densité 11,3

Quelle est la masse de lest à ajouter pour que le poids apparent du boîtier soit nul en eau douce ($d = 1$)

- Le lest étant placé à l'intérieur du boîtier,
- Le lest étant placé à l'extérieur du boîtier.

Exercice de lestage - Réponse

COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

PRESSIONS

PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

REPONSE EXERCICE 2

$$P_{app} \text{ sans lest : } P_{app} = 3 - 5 = -2$$

Il faut rajouter 2 kg

Si on le met à l'intérieur le volume total n'est pas modifié :

Il faut rajouter 2kg de plomb.

Si on le met à l'extérieur le volume est modifié

$$P_{app} = P_{réel \text{ total}} - P_{Archi \text{ total}}$$

$$P_{app} = (3 + V \times d_{pb}) - (5 + V \times d_{eau}) = 3 - 5 + V(d_{pb} - d_{eau}) = 0$$

$$0 = -2 + 10,3 \times V \rightarrow V = 0,194 \text{ l}$$

$$P = V \times d_{pb} = 0,194 \times 11,3 = 2,18 \text{ kg de plomb.}$$

Exercice de relevage (Vu le 27/11)

COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

PRESSIONS

PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

EXERCICE 3

Une ancre de 50 kg et dont le volume est de 10 litres, repose sur un fond de 40 m (eau douce)

Pour la remonter un plongeur y accroche un parachute dans lequel il introduit 20 litres d'air. (Considérez le parachute extensible),

Que se passe-t-il ?

A partir de quelle profondeur du parachute l'ancre va remonter ?
(Ou quel volume le plongeur doit-il injecter dans le parachute ?)

Exercice de lestage - Réponse

COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

PRESSIONS

PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

REPONSE EXERCICE 3

$$P_{app} = 50 - (10+20)$$

$$P_{app} = 20$$

L'ancre reste sur le fond

Pour que l'ancre monte il faut que $P_{archi} > P_{réel}$

$$P_{archi} > 50$$

→ Volume du parachute = 40 l

$$\text{Mariotte : } 5 \text{ b} \times 20 \text{ l} = P_2 \times 40 \text{ l}$$

$$P_2 = 100 / 40 = 2,5 \text{ bars}$$

→ Profondeur = 15 mètres

Rôle du GP

Les facteurs de la flottabilité



Stabilisation et équilibre :

Un plongeur stabilisé, en évolution horizontale, s'arrête et se redresse.

Question pour le cours de physique 3 du 11 décembre :

Pourquoi se trouve-t-il déséquilibré ? Et se sent-il entraîné vers le fond par le bloc ?

Dissolution de l' N_2 dans le corps

Qu'entend-on par

1/ Saturation

2/ Sous-Saturation

3/ Sursaturation

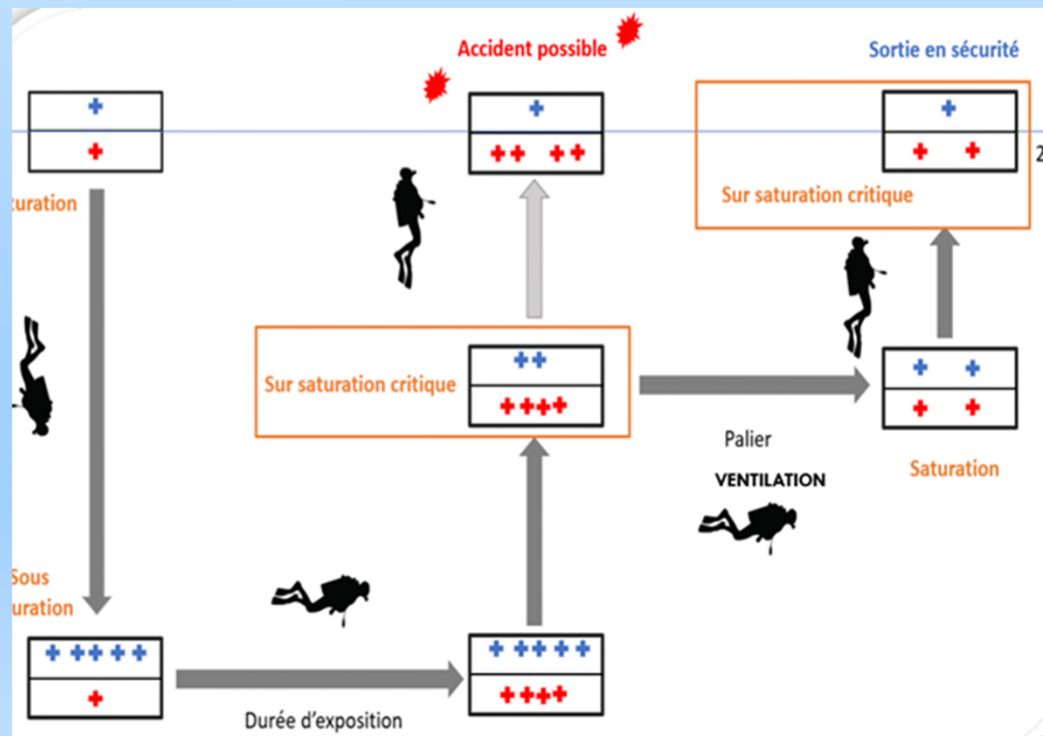
4/ Sursaturation critique

Dissolution de l' N_2 dans le corps

Qu'entend-on par 1/ Saturation

R1/ C'est lorsqu'il y'a équilibre entre l'azote dissout (TN2) et l'azote respiré (PpN2).

C'est le cas p. exemple avant la plongée, en surface au niveau de la mer. La TN2 est de 0,8 bars et correspond aux 80% d'azote dans l'air,

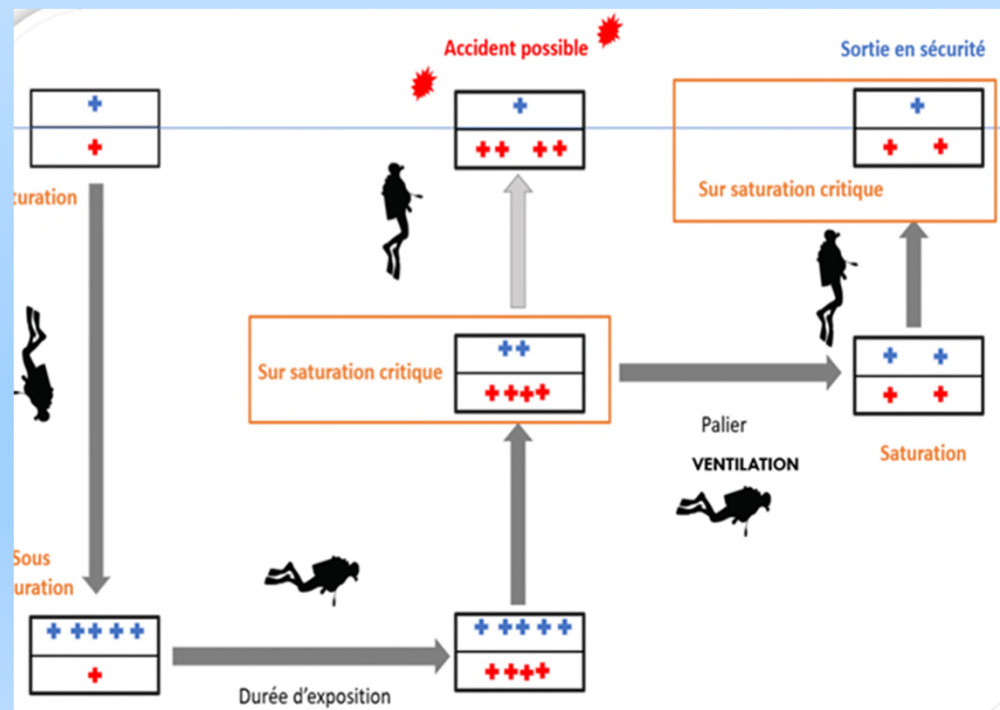


Dissolution de l' N_2 dans le corps

Qu'entend-on par 2/ Sous-Saturation

R2 : C'est la phase de dissolution, quand la pression augmente, les gaz en contact avec un liquide se dissolvent.

En plongée cela correspond à la phase de descente.
 $TN_2 < PpN_2$



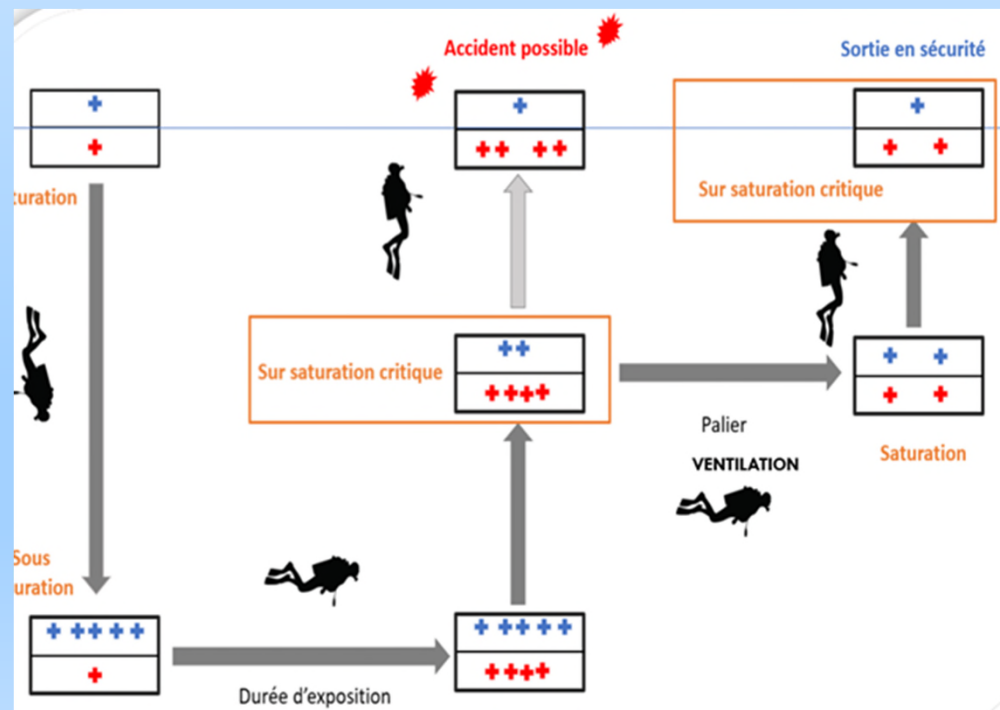
Dissolution de l' N_2 dans le corps

Qu'entend-on par 3/ Sursaturation

R3 : Si la pression exercée par un gaz à la surface d'un liquide diminue, le gaz reprend son état gazeux et s'échappe du liquide.

En plongée cela correspond à la phase de remontée.

$TN_2 > PpN_2$

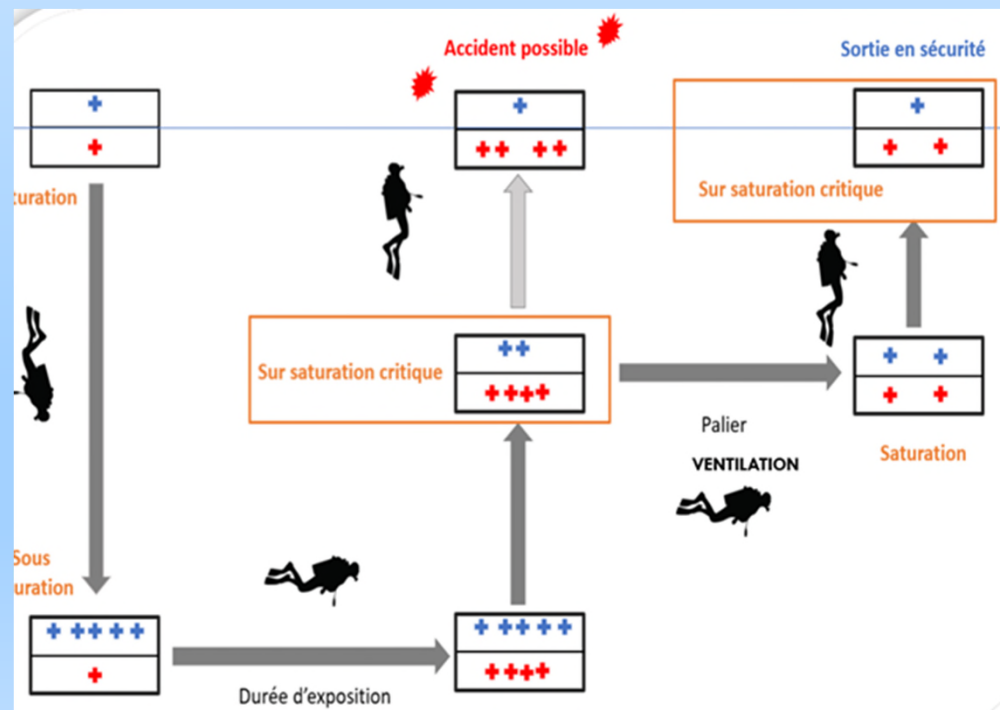


Dissolution de l' N_2 dans le corps

Qu'entend-on par 4/ Sursaturation critique

R4 : C'est le seuil qui ne doit pas être dépassé à la remontée entre la tension d'azote (TN_2) de chaque compartiment et la pression absolue.

$TN_2 \gg PpN_2$ ($TN_2/P_{abs} > Sc$)



Le modèle de Haldane

Qu'entend-on par

1/ Compartiment

Nombre de compartiments ?

2/ Gradient

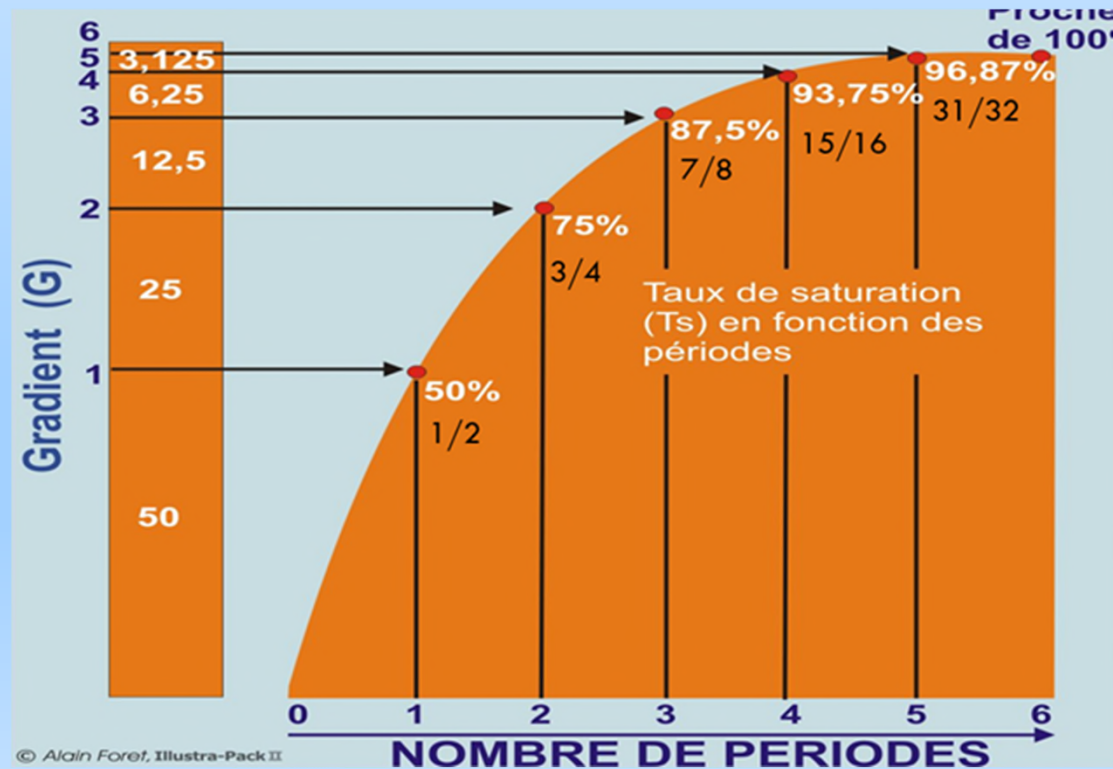
3/ Période

Le modèle de Haldane

1/ Qu'est-ce qu'un compartiment et combien de compartiments Haldane considère-t-il ?

R1 : C'est une représentation arbitraire du corps humain afin de modéliser celui-ci de manière simplifiée.

Haldane considérait **5** compartiments

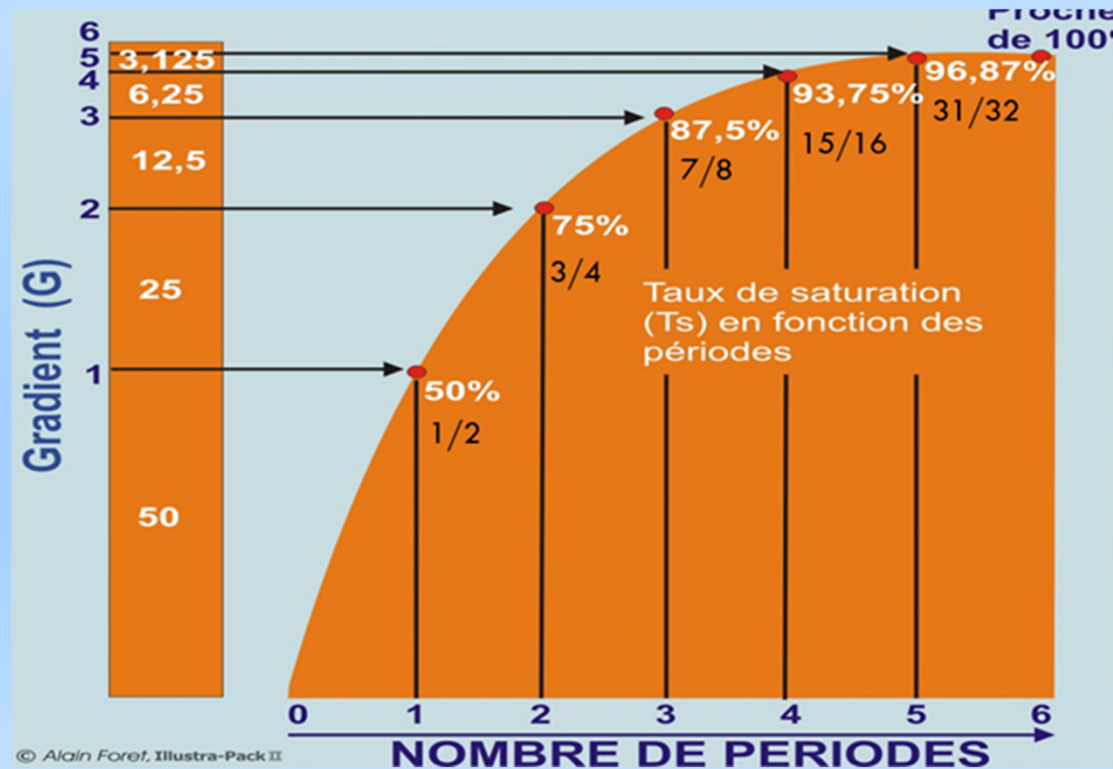


Le modèle de Haldane

2/ Définir un gradient et préciser comment le calculer ?

R2 : C'est la différence entre la PpN2 au fond, à l'instant t, et celle en surface.

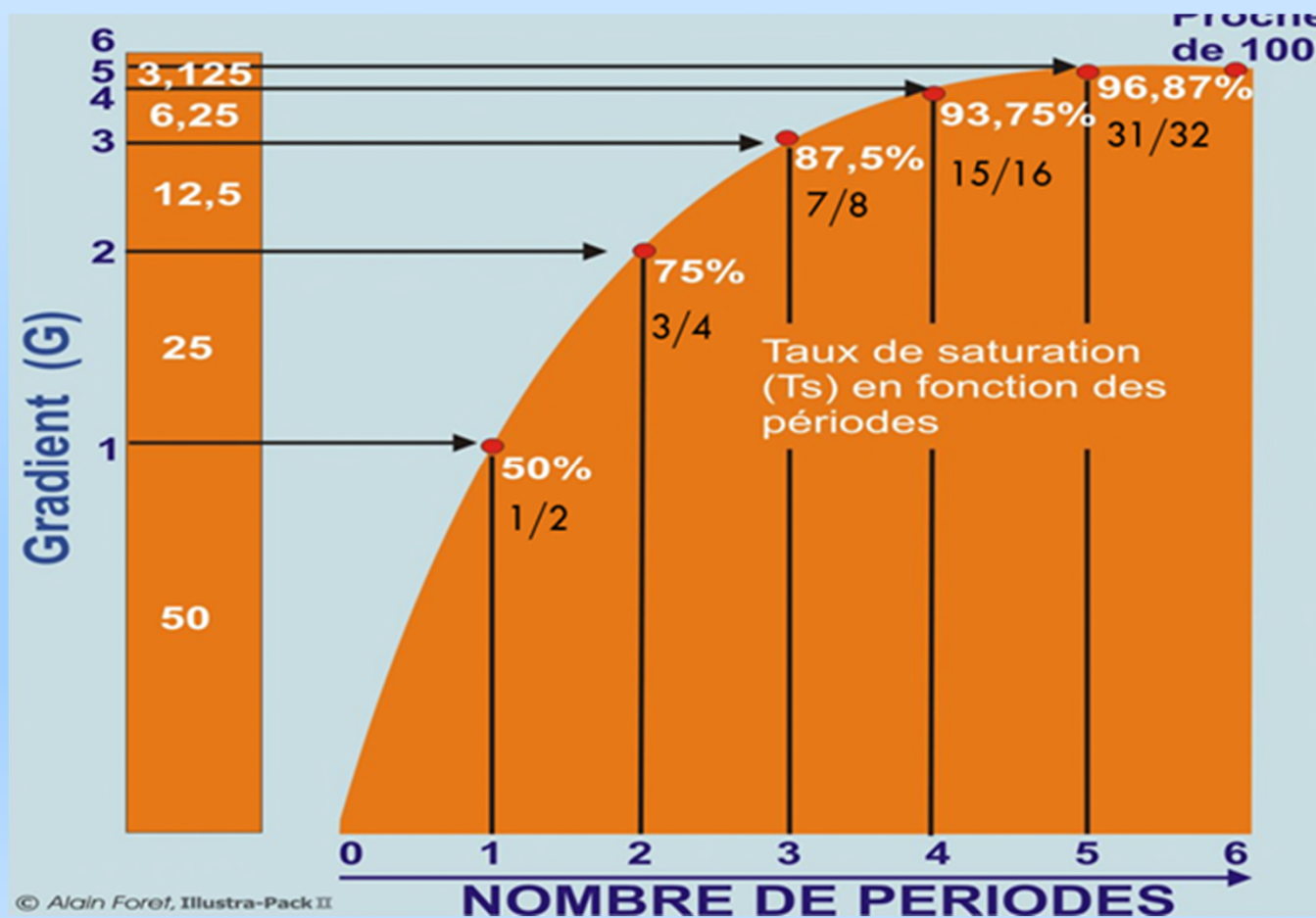
$$G = PpN2 - T_o$$



Le modèle de Haldane

3/ Qu'est-ce qu'une période ?

R3 : C'est, pour le compartiment de cette période donnée, le temps nécessaire afin qu'il absorbe 50% du gradient de pression disponible.



Autres modèles : RGBM

1/ Que signifie RGM ?
2/ Dans quelles marques
d'ordinateurs trouve-t-on le
modèle RGBM ?

1/ RGBM : Modèle à réduction de bulles.
Reduced Gradient Bubble Model

2/ MARES – SUUNTO - CRESSI

En plongée les objets vous paraissent plus gros et proche qu'ils ne le sont en réalité.

Donnez l'ordre de grandeur de ce phénomène,

Ils paraissent plus gros de $\frac{4}{3}$

Ils paraissent plus proche de $\frac{3}{4}$

1/ Quelle est la vitesse du son dans l'air ?

2/ Dans l'eau ?

3/ Quelle est la conséquence sur la localisation de l'origine du son pour un plongeur en immersion ?

1/ 330 m/s dans l'air

2/ 1500 m/s dans l'eau

3/ La localisation du son dans l'air est possible par la différence de temps de perception par chaque oreille. Or, dans l'eau, ce temps est divisé par 5, et notre cerveau n'arrive pas à traiter les informations. Nous n'arrivons plus à situer l'origine des sons perçus.

Questions ?

Merci de votre attention et bon courage

**A vous de creuser
maintenant**



Maurice SCHAULI

E Mail:

maurice.schauli@orange.fr

Tel: 06 13 60 87 15