

CALCULS D'AUTONOMIE ET SEUIL DE TOXICITE

MARSEILLE



frederic.le-quiniat@ap-hm.fr

Institut de Physiologie et de Médecine en Milieu Maritime et en Environnement Extrême



CALCUL D'AUTONOMIE ET CALCUL DE CONSOMMATION

- AUTONOMIE: on cherche un temps



- CONSOMMATION: on cherche un volume

CALCUL D'AUTONOMIE DE GAZ

- AUTONOMIE
- Volume X pression / débit

CALCUL D'AUTONOMIE DE GAZ

- $\text{PRESSION} \times \text{VOLUME} / \text{DEBIT}$
- Exemple : bouteille d'O₂ de 5 litres, pression de 200 bars, débit de 15 l/min

AUTONOMIE ?

- $200 \times 5 = 1000 \text{ l} / 15 = 67 \text{ minutes}$



CALCUL D'AUTONOMIE DE GAZ EN PLONGEE

- Un plongeur consomme 20 litres d'air par minute en surface
- Il utilise un bloc de 12 litres gonflés à 200 bars
- **Quelle est son autonomie en air en surface ?**



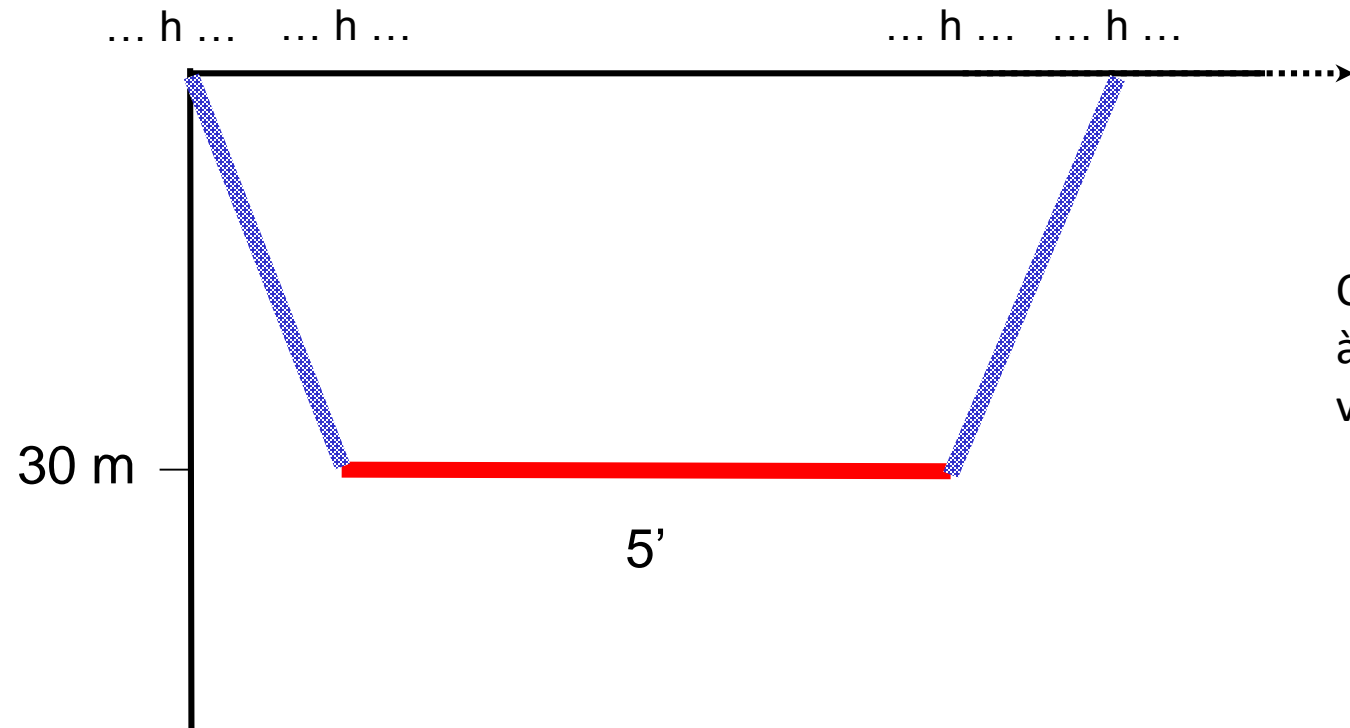
CALCUL D'AUTONOMIE DE GAZ EN PLONGEE

- Un plongeur consomme 20 litres d'air par minute en surface
- Il utilise un bloc de 12 litres gonflés à 200 bars
- Quelle est son autonomie en air ?
- $P \times V / D = 200 \times 12 / 20 = 2400 \text{ l} / 20 = 120 \text{ minutes}$
- **Quelle est son autonomie en air à 20 m ?**
- A 20 mètres la pression absolue est de 3 bars
- $VXP/D / PABS$
- Son autonomie sera de $12 \times 200 / 20 / 3 = 40 \text{ MINUTES}$



CALCUL CONSOMMATION DE GAZ

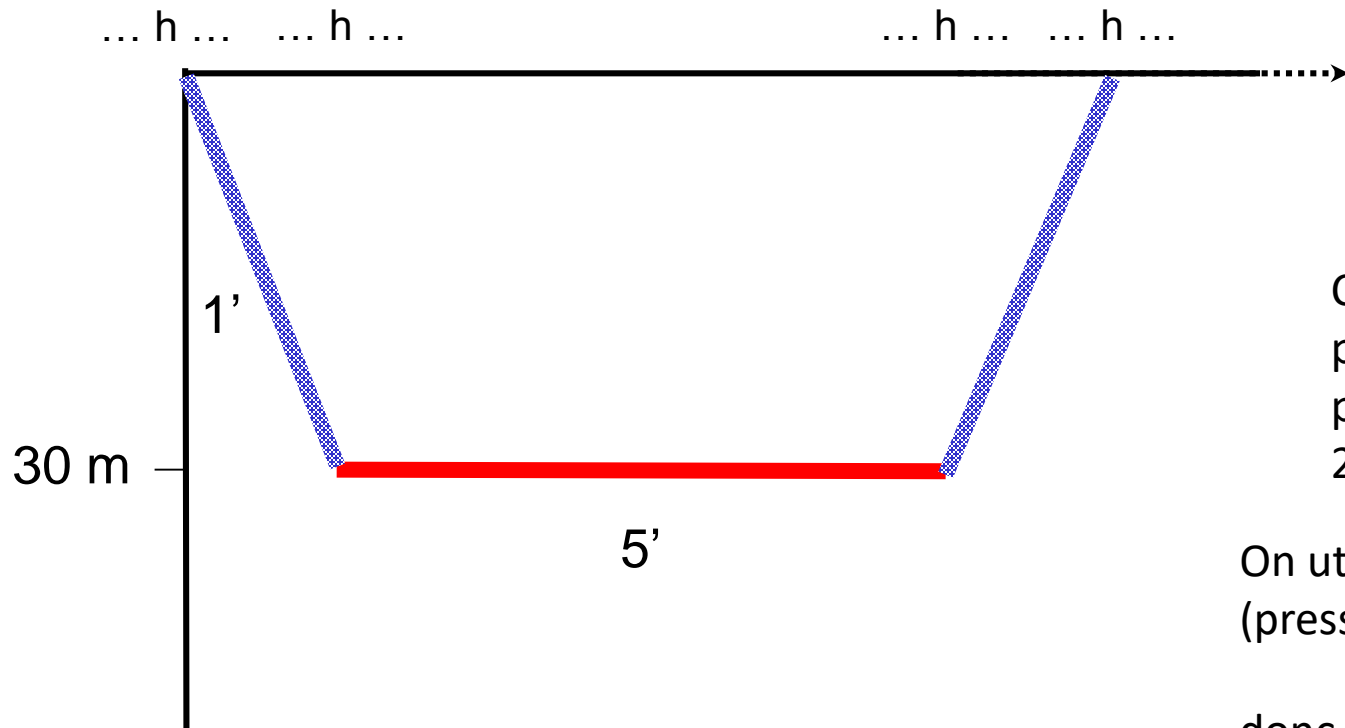
- CONSOMMATION:
- consommation du plongeur x pression en plongée x temps =



Consommation du plongeur
à 30 m pendant 5' en
ventilant à 20L/min?

30 m = 4b
donc

$$20\text{L/min} \times 4 \times 5' = 400 \text{ L}$$



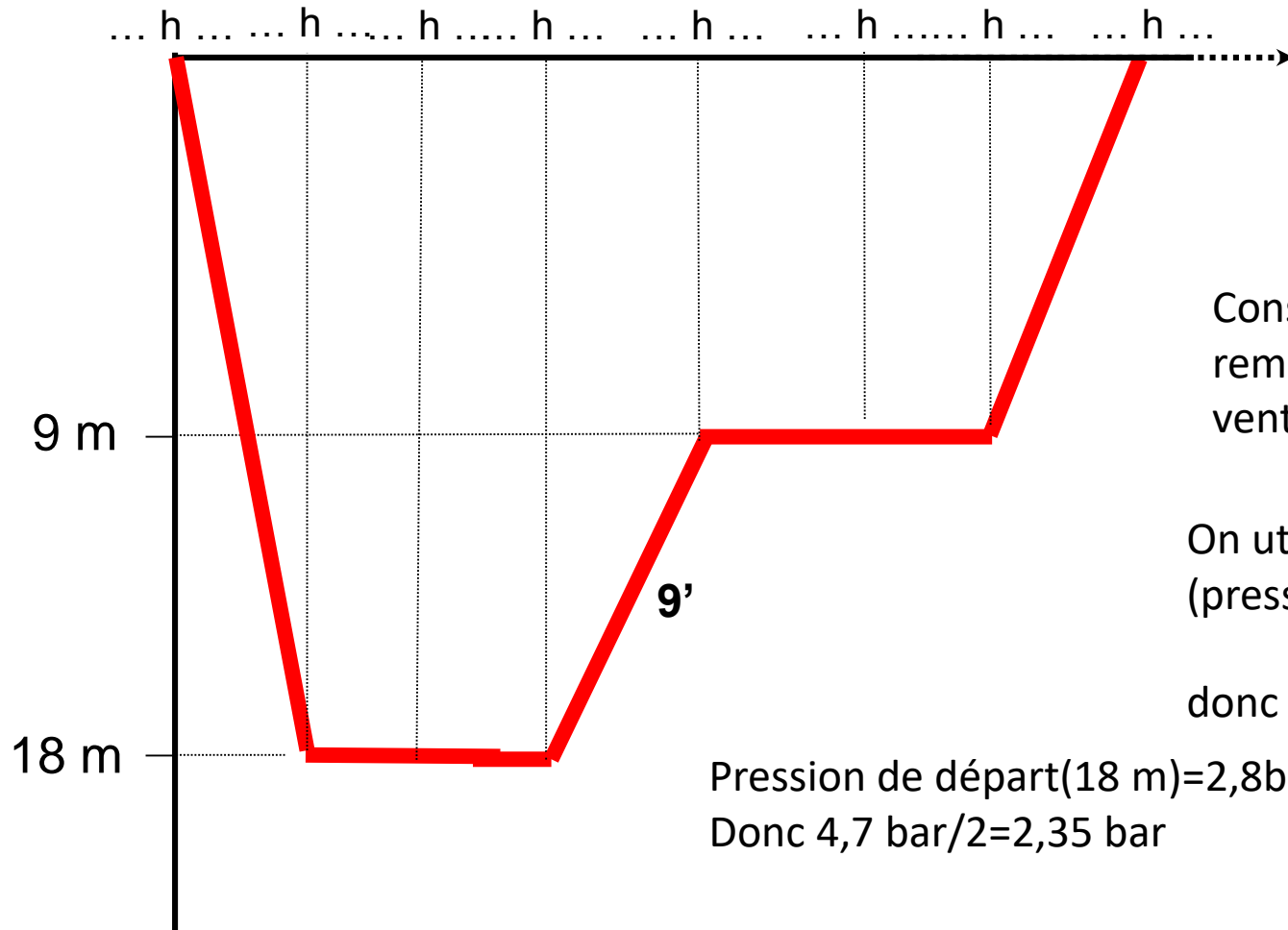
Consommation du plongeur pendant la descente pendant 1' en ventilant à 20L/min?

On utilise la méthode de la mi-pression (pression de départ + pression d'arrivée/2)

donc

Pression de départ(surface)=1bar +pression d'arrivée(30m)=4 bar
Donc $5 \text{ bar} / 2 = 2,5 \text{ bar}$

$20\text{L}/\text{min} \times 2,5 \times 1' = 50 \text{ L}$



Consommation du plongeur pendant la remontée de 18 à 9 m pendant 9' en ventilant à 20L/min?

On utilise la méthode de la mi-pression (pression de départ + pression d'arrivée/2)

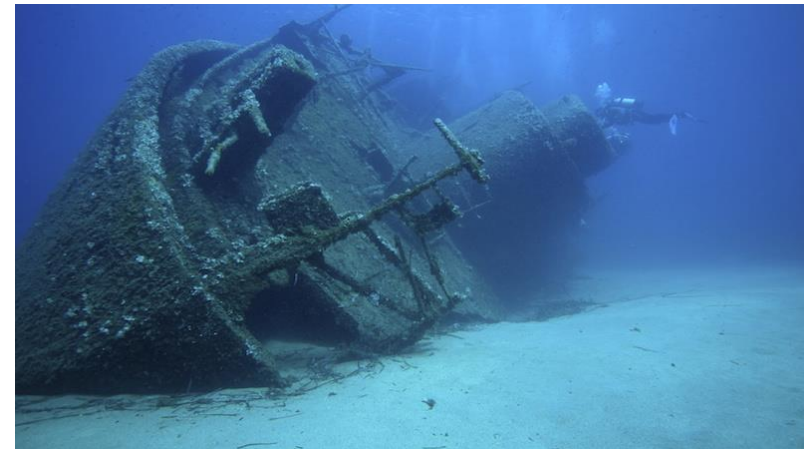
donc

Pression de départ(18 m)=2,8bar +pression d'arrivée(9 m)= 1,9 bar
 Donc $4,7 \text{ bar} / 2 = 2,35 \text{ bar}$

$20\text{L}/\text{min} \times 2,35 \times 9' = 423 \text{ L}$

HYPOTHESES

- Un plongeur fait une plongée à 30 m avec une durée de travail de 35'
- Sa consommation est de 20l/min
- Calculez sa consommation totale de toute sa plongée en tenant compte de sa décompression (décompression + palier)
- Moyen de calcul de désaturation: MT92



ANNEXE 2

PROCÉDURES D'INTERVENTION POUR DES PLONGÉES À L'AIR COMPRIMÉ OU AVEC UN MÉLANGE À BASE D'AZOTE

1. Procédures de compression

La vitesse de descente ne doit pas excéder 30 mètres par minute.

2. Procédures de décompression

Les tables de décompression indiquent les profils de remontée en fonction des paramètres définissant la plongée : profondeur, temps au fond et nature du gaz respiré au fond.

2.1. Unités

Les temps sont exprimés en heures, minutes et secondes (00h00:00). Pour tout événement relatif à une plongée donnée, les temps seront relevés à l'aide d'une seule et même montre.

Les profondeurs sont mesurées en mètres d'eau de mer. Les tables peuvent être utilisées en eau douce sans modification. En principe, la profondeur du scaphandrier est celle mesurée au niveau de ses poumons.

Les pressions sont exprimées en hPa et en bar.

2.2. Domaine de validité des tables

Les tables de décompression prennent en compte une pression atmosphérique standard en surface – arrondie à 1 000 hPa (1 bar). Les tables peuvent supporter de légères variations locales de pression en surface et être utilisées, sans être remises en cause à des altitudes variant entre 0 et 300 mètres à partir du niveau de la mer et pour une variation de 0 à 30 hPa (0,03 bar) de la pression barométrique.

En cas de changement plus important d'altitude ou de pression atmosphérique en surface, il conviendra d'utiliser la méthode plongée en altitude décrite au 10 ci-après.

2.3. Définitions des paramètres de plongée

2.3.1. Profondeur de la plongée

C'est la profondeur maximale atteinte par le scaphandrier pendant sa plongée, quel que soit le temps passé effectivement à cette profondeur.

Dans le cas où le travail exige l'intervention du scaphandrier à différents niveaux, il est nécessaire d'organiser la plongée afin de la commencer par le travail le plus profond et d'éviter des remontées répétées.

En principe, on considère que le scaphandrier doit passer son temps de travail à la profondeur prévue. Les tables peuvent supporter des variations modérées de profondeur du scaphandrier pendant le travail, mais celui-ci ne doit jamais remonter au-delà du niveau du premier palier.

Même à faible profondeur, lors d'une opération dans la zone de décompression sans palier, le scaphandrier ne doit pas revenir en surface pour prendre des outils ou des instructions. En effet, ce type de plongée « yo-yo » même à proximité de la surface, accroît sensiblement le risque d'accident de décompression.

2.3.2. Temps au fond de la plongée

C'est la durée comprise entre le moment où le scaphandrier quitte la surface (ou du début de la compression de la tourelle) et le moment où il entame sa remontée (ou la décompression de la tourelle).

2.3.3. Profondeur et temps d'entrée dans la table

Les tables de décompression sont définies pour des profondeurs allant de 3 mètres en 3 mètres et, généralement, par tranches de 10 minutes de temps au fond.

Il est cependant rare que la profondeur et le temps au fond d'une plongée correspondent exactement à ceux définis dans les tables, il convient donc dans tous les cas de sélectionner une table dont la profondeur soit égale ou immédiatement supérieure à la profondeur de la plongée et de choisir dans cette table le temps au fond égal ou immédiatement supérieur au temps au fond effectué.

Le scaphandrier doit toujours disposer d'un temps de table de rattrapage en cas de dépassement du temps prévu au fond. Pour cette raison, le dernier temps disponible dans la table ne doit normalement pas être utilisé.

2.3.4. Intervalle de plongée

Il s'agit de l'intervalle de temps passé en surface par un scaphandrier entre deux plongées. Il est compté à partir du moment où le scaphandrier a terminé sa décompression jusqu'à celui où il commence une nouvelle plongée. Après une plongée, un intervalle de 12 heures est généralement nécessaire pour atteindre une désaturation complète.

Les procédures applicables pour les plongées successives sont décrites au 12 ci-après. Une seule plongée successive est autorisée.

2.3.5. Vitesse de remontée au premier palier

selon les tables, il convient donc dans tous les cas de sélectionner une table dont la profondeur soit égale ou immédiatement supérieure à la profondeur de la plongée et de choisir dans cette table le temps au fond égal ou immédiatement supérieur au temps au fond effectué.

Le scaphandrier doit toujours disposer d'un temps de table de rattrapage en cas de dépassement du temps prévu au fond. Pour cette raison, le dernier temps disponible dans la table ne doit normalement pas être utilisé.

2.3.4. Intervalle de plongée

Il s'agit de l'intervalle de temps passé en surface par un scaphandrier entre deux plongées. Il est compté à partir du moment où le scaphandrier a terminé sa décompression jusqu'à celui où il commence une nouvelle plongée. Après une plongée, un intervalle de 12 heures est généralement nécessaire pour atteindre une désaturation complète.

Les procédures applicables pour les plongées successives sont décrites au 12 ci-après. Une seule plongée successive est autorisée.

2.3.5. Vitesse de remontée au premier palier

La remontée du scaphandrier au premier palier (ou à la surface) doit s'accomplir à une vitesse comprise entre 9 et 15 mètres par minute. Les temps de remontée indiqués dans les tables de décompression correspondent à une vitesse de remontée de 12 mètres par minute.

2.3.6. Durée des paliers

Les temps des paliers de décompression sont indiqués pour chaque table. Le temps du palier commence dès l'arrivée du scaphandrier à la profondeur de ce palier. La dernière minute du temps de palier est utilisée pour accéder au palier suivant (ou à la surface).

Conditions à respecter pendant les paliers :

- les scaphandriers ne doivent pas travailler pendant les paliers ;
- les scaphandriers et les chefs de plongée doivent organiser la plongée de façon à éviter tout exercice fatiguant pendant la remontée (mauvaise flottabilité ou courant imposant des efforts au scaphandrier) ;
- les scaphandriers en décompression dans un caisson, bien qu'ils n'aient pas à rester totalement immobiles, ne doivent pas avoir à fournir d'activité physique intense.

2.3.7. Paliers à l'oxygène

Respiration à l'oxygène

La respiration d'oxygène pur au masque permet d'accélérer l'élimination des gaz inertes et donc de réduire les temps de décompression. Les tables de décompression avec paliers à l'oxygène sont bien adaptées aux plongées à l'air longues ou profondes.

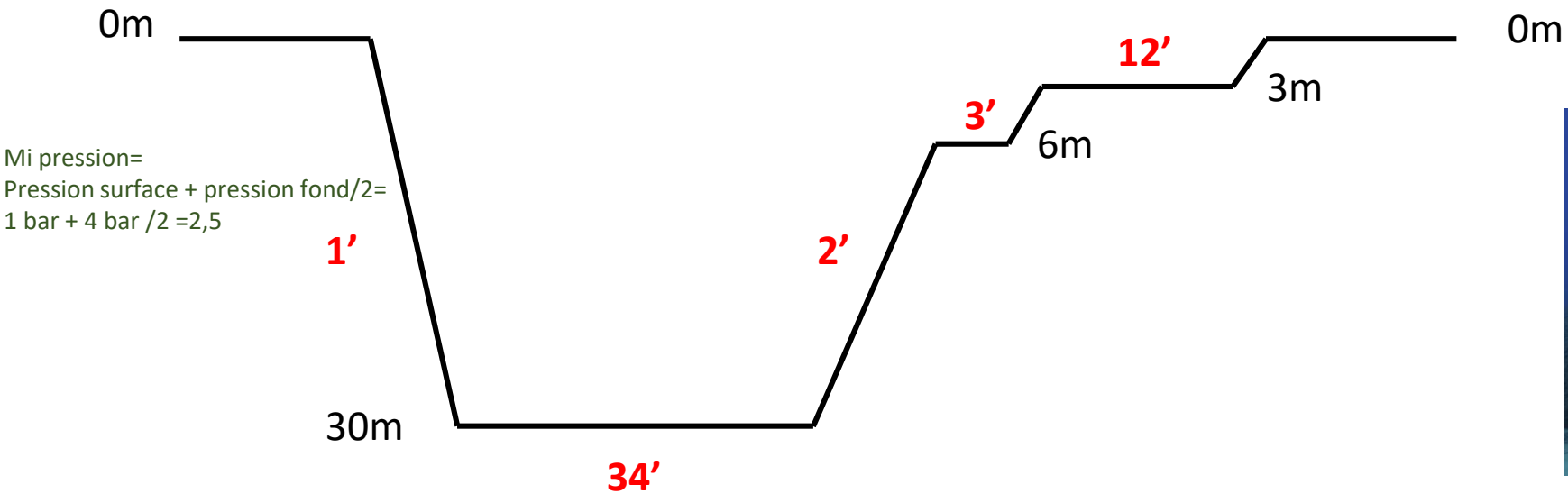
En règle générale, plus les paliers à l'oxygène sont profonds, plus ils sont efficaces dans le processus de la

TABLES AIR/STANDARD

Profondeur 30 mètres

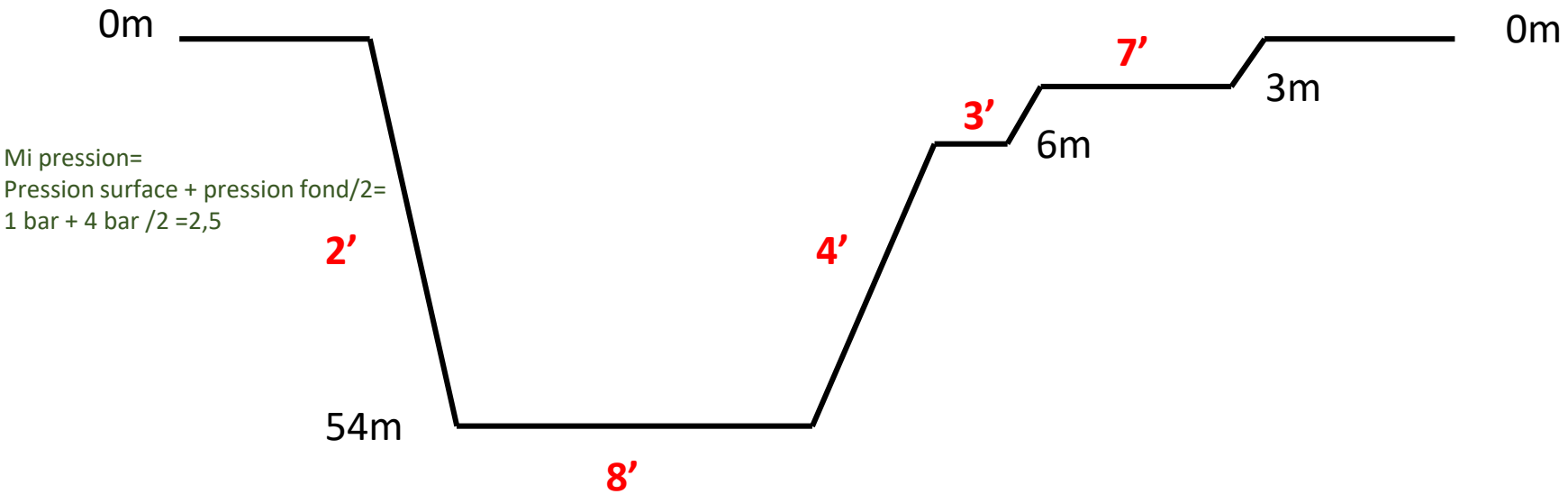
Temps au fond min	Remontée au palier min:sec	Air 18m	Air 15m	Air 12m	Air 9m	Air 6m	Air 3m	Total décomp. min:sec	Plongée successive
15	2:30	-	-	-	-	-	-	2:30	Possible
20	2:15	-	-	-	-	-	3	5:15	Possible
25	2:15	-	-	-	-	-	5	7:15	Possible
30	2:15	-	-	-	-	-	10	12:15	Possible
35	2:00	-	-	-	-	3	12	17:00	Possible
40	2:00	-	-	-	-	5	17	24:00	Possible
45	2:00	-	-	-	-	7	20	29:00	Possible
50	2:00	-	-	-	-	10	25	37:00	Possible
60	1:45	-	-	-	3	15	35	54:45	Possible
70	1:45	-	-	-	5	20	40	66:45	Possible
80	1:45	-	-	-	10	25	50	86:45	Possible
90	1:30	-	-	3	12	30	60	106:30	Possible
100	1:30	-	-	3	17	35	65	121:30	Possible
110	1:30	-	-	3	20	40	75	139:30	Non

Profondeur 33 mètres



Descente : conso surf x mi pression x tps = $20 \times 2,5 \times 1 = 50 \text{ L}$	Fond : conso surf x pression x tps = $20 \times 4 \times 34 = 2720 \text{ L}$	remontée à 6m : conso surf x mi pression x tps = $20 \times 2,8 \times 2' = 112 \text{ L}$	Palier 6 m : conso surf x pression x tps = $20 \times 1,6 \times 2' = 64 \text{ L}$	Remontée à 3m : $20 \times 1,45 \times 1' = 29 \text{ L}$	Palier 3m : conso surf x pression x tps = $20 \times 1,3 \times 11' = 286 \text{ L}$	Remontée en surface: $20 \times 1,15 \times 1' = 23 \text{ L}$
---	---	---	--	--	---	--

Descente + fond + remontée + palier 6m + palier 3m =
 $50 \text{ L} + 2720 \text{ L} + 112 \text{ L} + 64 \text{ L} + 29 \text{ L} + 286 \text{ L} + 23 \text{ L} = 3284 \text{ L}$
 BLOC 15 L à 200 BARS = 3000L
 BLOC 18 L à 200 BARS = 3600 L



Descente : conso surf x mi pression x tps = $20 \times 3,7b \times 2' = 148 L$	Fond : conso surf x pression x tps = $20 \times 6,4b \times 8' = 1024 L$	remontée : conso surf x mi pression x tps = $20 \times 4 \times 4' = 320 L$	Palier 6 m : conso surf x pression x tps = $20 \times 1,6 \times 2' = 64 L$	Remontée à 3m : conso surf x mi pression x tps = $20 \times 1,45 \times 1' = 29L$	Palier 3m : conso surf x pression x tps = $20 \times 1,3 \times 6' = 156L$	Remontée surface : conso surf x mi pression x tps = $20 \times 1,15 \times 1' = 23L$
---	---	--	--	--	---	---

Descente + fond + remontée + palier 6m + palier 3m =
 $148 L + 1024 L + 320 L + 64 L + 29 L + 156L + 23 L = 1764 L$
 BLOC 15 L à 200 BARS = 3000L
 BLOC 18 L à 200 BARS = 3600 L

CALCUL D'AUTONOMIE DE GAZ DANS UN CAISSON





B 50

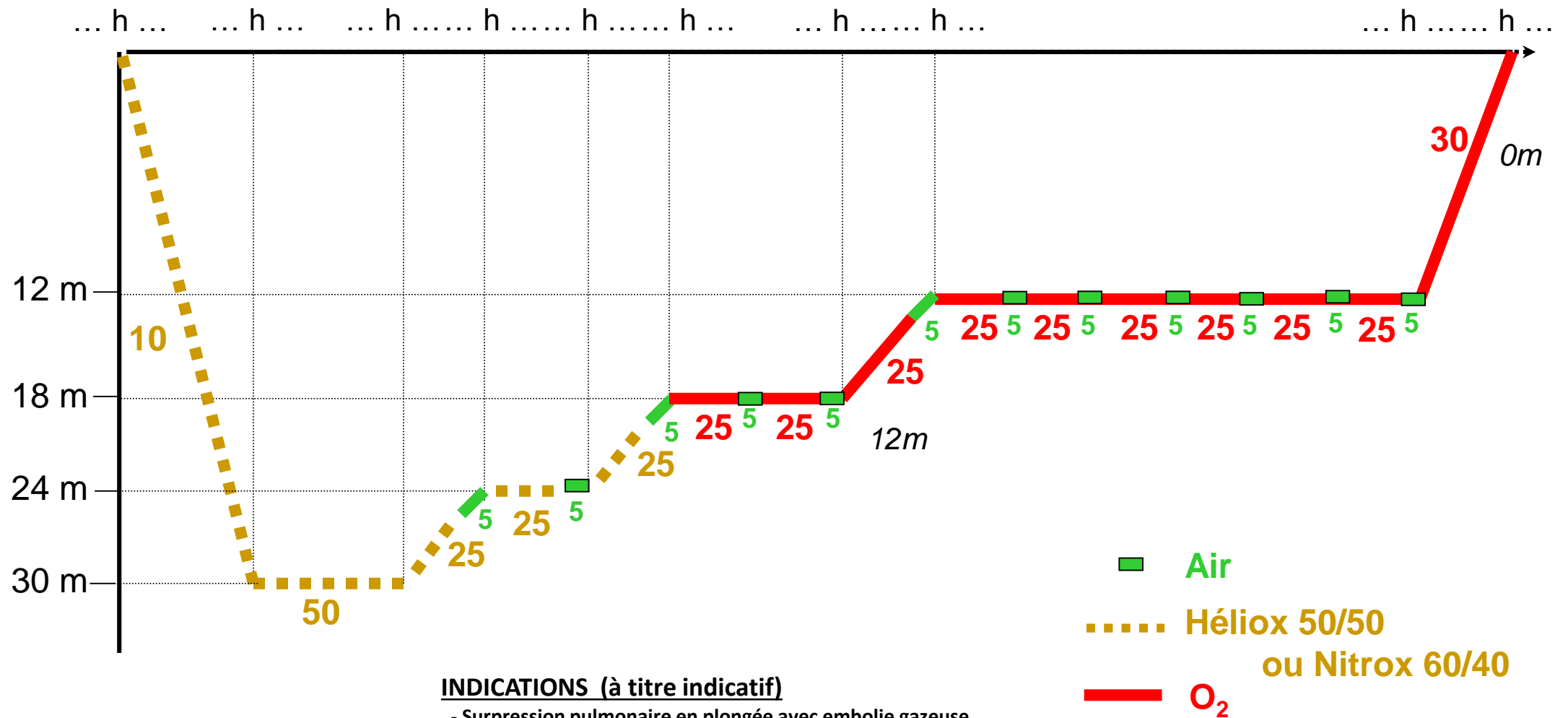


CALCUL D'AUTONOMIE DE GAZ DANS UN CAISSON

- Vous devez effectuer une table thérapeutique CX30
- De combien de bouteilles d'héliox et d'oxygène gonflées à 200 bars aurez-vous besoin pour un patient respirant au masque à 20 l / min?

TABLE N°8 - OHBCX30 - Acc PLG - 450min

Patient :	Date : ___/___/___	Heure de mise en pression :
Médecin :	Opérateur :	Accompagnateur/Secours :



INDICATIONS (à titre indicatif)

- Surpression pulmonaire en plongée avec embolie gazeuse
- ADD Neuro ou Vestibulaire précoce
- ADD ternaire Neurologique
- Professionnel ADD air Type II
- Professionnel Surpression pulmonaire + EG

HELIOX

- DESCENTE de la surface à 30 mètres :

Conso x mi pression x temps = $20 \text{ l} \times (1+4=5/2=2,5) \times 10 = 500 \text{ L}$

- PALIER DE 30 mètres :

conso x pression x temps : $20 \times 4 \times 50 = 4000 \text{ L}$

- REMONTÉE de 30 m à 25 m =

Conso x mi pression x temps : $20 \times 3,75 \times 25 = 1875 \text{ L}$

- PALIER de 24 m :

conso x pression x temps : $20 \times 3,4 \times 25 = 1700 \text{ L}$

- REMONTÉE de 24 m à 19 m =

Conso x mi pression x temps : $20 \times 3,15 \times 25 = 1575 \text{ L}$

- **TOTAL = 9650 L**

OXYGENE Patient

- PALIER de 18 m :

$$\text{CONSO X PRESSION X TPS} : 20 \times 2,8 \times 50 = 2800 \text{ L}$$

- REMONTÉE de 18 m à 13 m :

$$\text{CONSO X MI PRESSION X TPS} : 20 \times 2,55 \times 25 = 1275 \text{ L}$$

- PALIER 12m = CONSO X PRESSION X TPS = $20 \times 2,2 \times 150' = 6600 \text{ L}$

- REMONTÉE DE 12m à la surface = CONSO X MI PRESSION X TPS =
 $20 \times (2,2 + 1/2 = 1,6) \times 30' = 960 \text{ L}$

- **TOTAL : 11635 L**

OXYGENE Accompagnant

- PALIER 12m = CONSO X PRESSION X TPS = $20 \times 2,2 \times 150' = 6600 \text{ L}$
- REMONTÉE DE 12m à la surface = CONSO X MI PRESSION X TPS = $20 \times (2,2 + 1/2 = 1,6) \times 30' = 960 \text{ L}$
- TOTAL = 7560 L
- TOTAL O2 PATIENT + ACCOMPAGNANT = 11635L + 7560L = 19195 L
- 1 B 50 = 50L X 200 BARS = 10 000 L
- IL FAUT 2 B 50 D'OXYGENE

AIR Patient

- REMONTÉE DE 25m à 24 m = CONSO X MI PRESSION X TPS = $20 \times (3,5+3,4/2=3,45) \times 5' = 345L$
- PALIER 24 m = CONSO X PRESSION X TPS = $20 \times 3,4 \times 5' = 340 L$
- REMONTÉE DE 19 à 18m = CONSO X MI PRESSION X TPS = $20 \times (2,9+2,8/2=2,85) \times 5' = 285L$
- PALIER 18m = CONSO X PRESSION X TPS = $20 \times 2,8 \times 10' = 560 L$
- REMONTÉE DE 13 à 12m = CONSO X MI PRESSION X TPS = $20 \times (2,3+2,2/2=2,25) \times 5' = 225L$
- PALIER 12m = CONSO X PRESSION X TPS = $20 \times 2,2 \times 30' = 1320 L$

- **TOTAL = 3075 L**

AIR Accompagnant

- PALIER 12m = CONSO X PRESSION X TPS = $20 \times 2,2 \times 30' = 1320 \text{ L}$
- TOTAL = 1320 L
- TOTAL RESPIRATION AIR PATIENT + ACCOMPAGNANT = $3075\text{L} + 1320\text{L} = 4395 \text{ L}$
- 1 B 50 D'AIR SUFFIT

CALCUL D'AUTONOMIE DE GAZ DANS UN CAISSON

- Pour l'héliox
- $50 \text{ l} \times 200 \text{ b} = 10\,000 \text{ l}$
- $30 \text{ m} = 4 \text{ bars}$
- $20 \text{ l} / \text{min} \times 4 \text{ bars} = 80 \text{ l} / \text{min}$
- $10\,000 \text{ l} / 80 \text{ l} = 125 \text{ minutes d'autonomie}$

- Séquence à l'héliox = 135 minutes
- Il faudra 2 bouteilles d'héliox

CALCUL D'AUTONOMIE DE GAZ DANS UN CAISSON

- Pour l'oxygène
- $50 \text{ l} \times 200 \text{ b} = 10\,000 \text{ l}$
- $18 \text{ m} = 2,8 \text{ bars}$
- $20 \text{ l} / \text{min} \times 2,8 \text{ bars} = 56 \text{ l} / \text{min}$
- $10\,000 \text{ l} / 56 \text{ l} = 178 \text{ minutes d'autonomie}$

- Séquence à l'oxygène = $(9 \times 25) + 30 \text{ minutes} = 255 \text{ minutes}$
- Il faudra 2 bouteilles d'oxygène

SEUIL DE TOXICITE

L'OXYGENE

- LA NORMOXIE : ce dit lorsque l'oxygène est en concentration normale dans le sang. Elle correspond à une ppO_2 de 0,21 bar.
- L'HYPEROXIE : pour l'hyperoxie on distingue l'effet PAUL BERT et l'effet LORRAIN SMITH

L'OXYGENE

- LA NORMOXIE : ce dit lorsque l'oxygène est en concentration normale dans le sang. Elle correspond à une ppO_2 de 0,21 bar.
- L'HYPEROXIE : pour l'hyperoxie on distingue l'effet PAUL BERT et l'effet LORRAIN SMITH

EN PRATIQUE

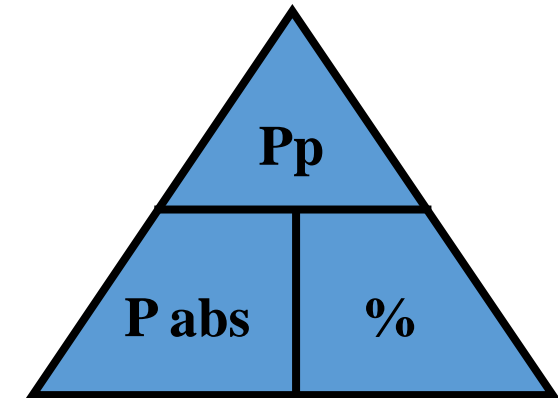
ACCIDENT TOXIQUE : Crise Hyperoxique (Effet Bert)



L'hyperoxie se produit quand la pression partielle d'O₂ augmente au-dessus de 0,21 bar. Elle devient aigue à partir de 1,6 bar de ppO₂ quel que soit la durée d'exposition.

Donc à l'air

$$P_{abs} = pp\ O_2 / \% = 1,6 / 0,21 = 7,6\ b\ \text{soit}\ 66m$$



EN PRATIQUE

ACCIDENT TOXIQUE :

Crise Hyperoxique (Effet LORRAIN SMITH)



L'hyperoxie se produit quand la pression partielle d'O₂ est au moins de 0,5 b pour une durée d'exposition supérieure à deux heures

EN PRATIQUE

La PpO₂ autorisée en milieu pro

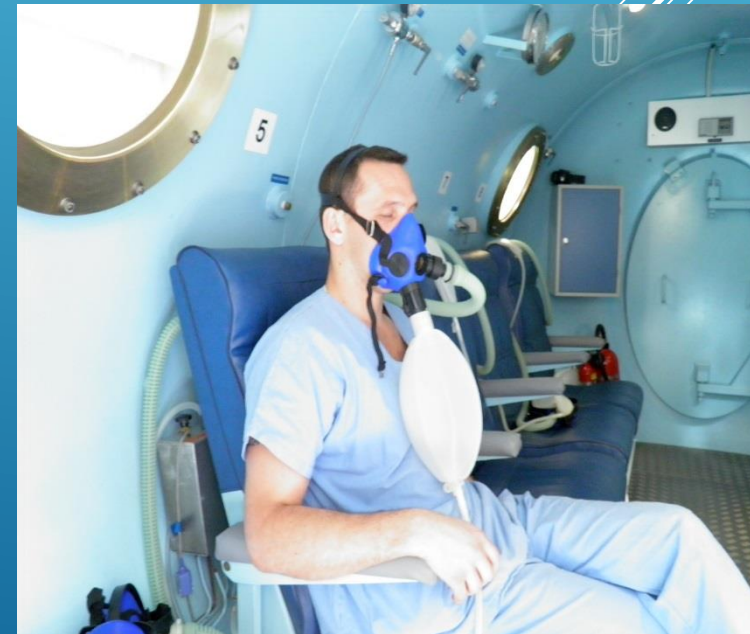
Thérapeutique : 2,8 bars



Humide : 1,6 bars



Ambiance sèche :
2,2 bars



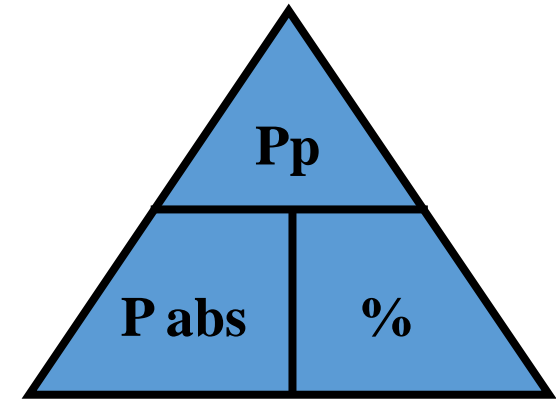
LES PRESSIONS PARTIELLES

LA LOI DE DALTON

SEUIL DE TOXICITE

OXYGENE : 1,6 bars

AZOTE : 5,6 bars



EXERCICES

L'O₂ devient toxique à partir d'une pression partielle de 1,6 bar
Quelle est la limite de profondeur pour un mélange NITROX 40/60 ?

Je recherche une profondeur donc une pression absolue
Le NITROX 40/60 est composé de 40 % d'O₂ et 60 %
d'azote

Profondeur = Pabs

Soit Pabs = Pp : % O₂ du nitrox

Soit Pabs : 1,6 : 0,4 = 4 bars soit 30 m

