

Physiologie de la plongée

plongée libre, plongée en apnée, plongée en scaphandre

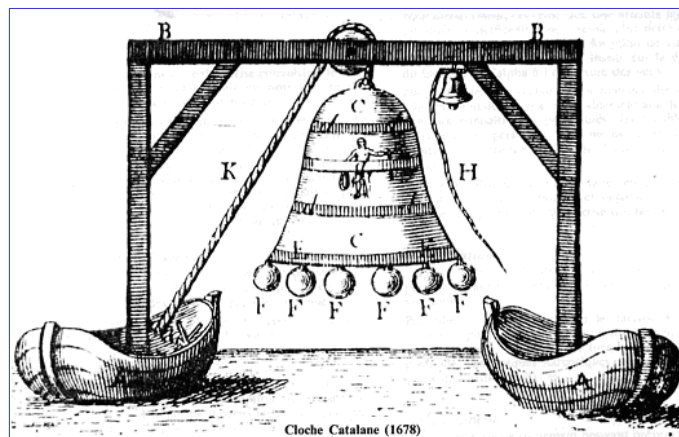
Cours : Physiologie de la plongée
Année universitaire : DCEM1
Année d'étude : 2011/2012
Enseignant : Dr Ph.Bonnin
Module : Physiologie appliquée

Propriété de la Faculté de Médecine Paris7 - Denis Diderot

1

Physiologie de la plongée

plongée libre, plongée en apnée, plongée en scaphandre



2

Physiologie de la plongée

plongée libre, plongée en apnée, plongée en scaphandre

Notions élémentaires de Physique appliquée à la plongée

Densité de l'eau > densité de l'air.

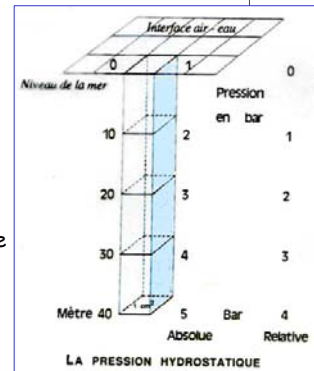
1 litre d'air = 1.293g, 1 litre d'eau = 1000g (x800)

Pression + P hydrostatique
 $P \text{ absolue} = P_{\text{atm}} + 760 \text{ mmHg} / 10 \text{ m d'eau}$
 $\approx 1 \text{ kg/cm}^2 / 10 \text{ m d'eau}$

Les variations de pression sont d'autant plus importantes que l'on se rapproche de la surface

Conséquences :

- Organes solides (-)
- Organes liquides (-)
- Cavités aériennes (+++)
- Gaz dissous (+++)



3

Loi de Boyle Mariotte

A la descente,

Loi de Boyle Mariotte $P \cdot V = Cte$

action sur les cavités aériennes (+++)

Si la cavité est fermée et à parois « mobiles »
(cavité thoracique à glotte fermée) :

la variation de pression entraîne une variation de volume
(par exemple, de 0 à -30 m, la pression est multipliée par 4 et le volume diminué de 1 L à 0.25 L) la cavité thoracique est comprimée.

Si la cavité est fermée et de volume +/- invariable, la pression à l'intérieure devient inférieure à la pression extérieure

Barotraumatisme sinusien (avec suffusion de plasma voire de sang)

Barotraumatisme de l'oreille (le tympan fait protrusion à l'intérieur de l'oreille moyenne avec risque de rupture et surdité)

4

Loi de Henry

Loi de Henry : Vol de gaz dissout = F part. \times P absolue (atm) \times α \times Vol de liquide

action sur les gaz dissous (+++)

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

A la descente,

ex : Pour l'azote de l'air (N_2),

Quantité de gaz dissout dépend :

Faction partielle du gaz = (P partielle / P absolue) = 70%,

α = 0.13,

Vol de liquide = vol liq extracellulaire + vol liq intracellulaire = 42 L

À la surface : Vol N_2 dissout = 70% \times 1 (atm) \times 0.13 \times 42 = 0.4 L

À 30 m : Vol N_2 dissout = 70% \times 4 (atm) \times 0.13 \times 42 = 1.6 L

À 300 m : Vol N_2 dissout = 70% \times 31 (atm) \times 0.13 \times 42 = 12 L

La **dissolution** des gaz est un phénomène qui **n'est pas instantané** mais exponentiel /tps

5

Plongée libre

6

Plongée libre

Loi de Boyle Mariotte

(avec bouteilles de gaz comprimé, détendeur buccal)

A la descente.

pour éviter la « rétraction » des cavités, il faut augmenter la masse de gaz pour maintenir le volume intra cavitaire ($M = P/P_0 \times M_0$)

cavité pulmonaire : respiration avec l'embout buccal d'un gaz dont la masse augmente de façon proportionnelle à l'augmentation de la P absolue sans modification des fractions gazeuses du mélange respiratoire,

cavités sinusiennes : la pression s'équilibre avec la pression des voies aériennes supérieures, la pression du mélange respiratoire. Si les méats sont obstrués, il faut développer des efforts de surpression nasale à nez pincé, pour éviter une dépression relative.

cavité auriculaire moyenne : déglutition pour équilibrer les pressions intra et extra cavitaires.

7

Plongée libre

Loi de Boyle Mariotte

(avec bouteilles de gaz comprimé, détendeur buccal)

A la remontée.

Si la cavité est fermée et à parois « mobiles » (cavité thoracique à glotte fermée) :

la variation de pression entraîne une variation de volume

(par exemple, de -30 à 0 m, la pression est divisée par 4 et le volume augmente de 1 L à 4 L)

la cavité thoracique est distendue, la limite d'élasticité pulmonaire dépassée.

survenue d'accident de surpression pulmonaire

+++ temps de remontée et expiration active +++

8

Plongée libre

A la remontée,

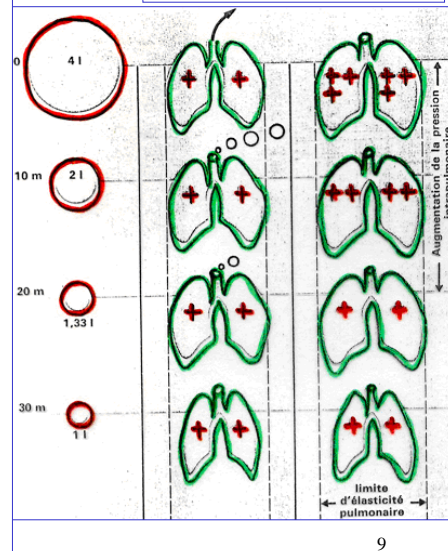
la cavité thoracique est distendue, la limite d'élasticité pulmonaire dépassée.

survenue d'accident de surpression pulmonaire avec

- dilatation pulmonaire
- diffusion accrue (embolies gazeuses possibles)
- effet garrot sur la petite circulation (surcharge cardiaque droite)
- claquage alvéolaire
embolie cérébrale,
pneumo-médiastin,
pneumothorax.

+++ temps de remontée et expiration active
+++

Loi de Boyle Mariotte



Plongée libre

Loi de Boyle Mariotte

(avec bouteilles de gaz comprimé, détendeur buccal)

A la remontée,

Si la cavité est fermée et à parois « mobiles » (voies digestives) :

- douleurs abdominales
- rarement compliquées

Si la cavité est fermée et de volume +/- invariable, la pression à l'intérieur devient supérieure à la pression extérieure

Barotraumatisme de l'oreille

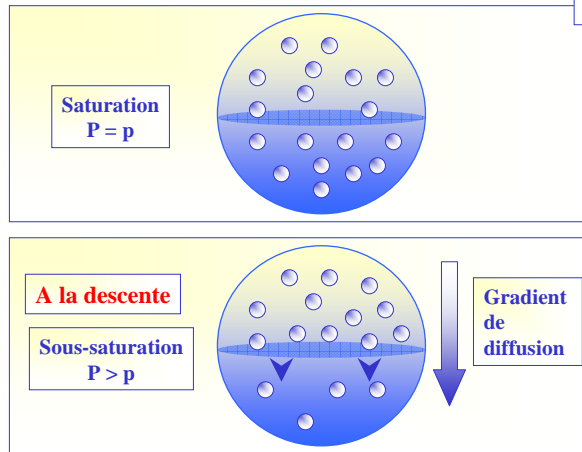
(le tympan fait protrusion à l'extérieur de l'oreille moyenne avec risque de rupture et surdité)

+++ temps de remontée et expiration active +++

10

A la descente

Loi de Henry



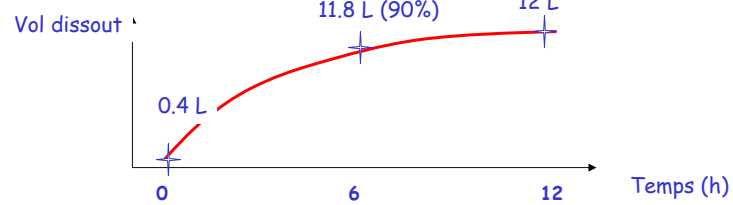
11

Plongée libre

Loi de Henry

A la descente,

Pour l'azote de l'air (N₂), à 300 m,

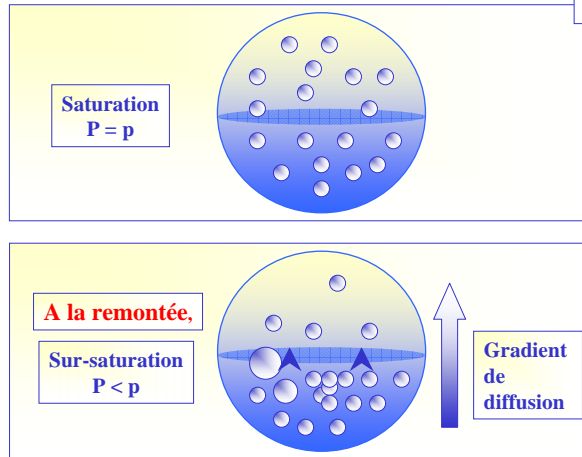


La dissolution des gaz est un phénomène qui n'est pas instantané mais exponentiel /tps

12

A la remontée,

Loi de Henry



13

Plongée libre

Loi de Henry

Loi de Henry : Vol de gaz dissout = F part. x P absolue (atm) x a x Vol de liquide

A la remontée,

Le volume du gaz présent dans les tissus devient supérieur au volume du gaz qui peut être dissout,

c'est vrai pour le N₂, les gaz rares,
c'est faux pour l'O₂ qui est consommé,

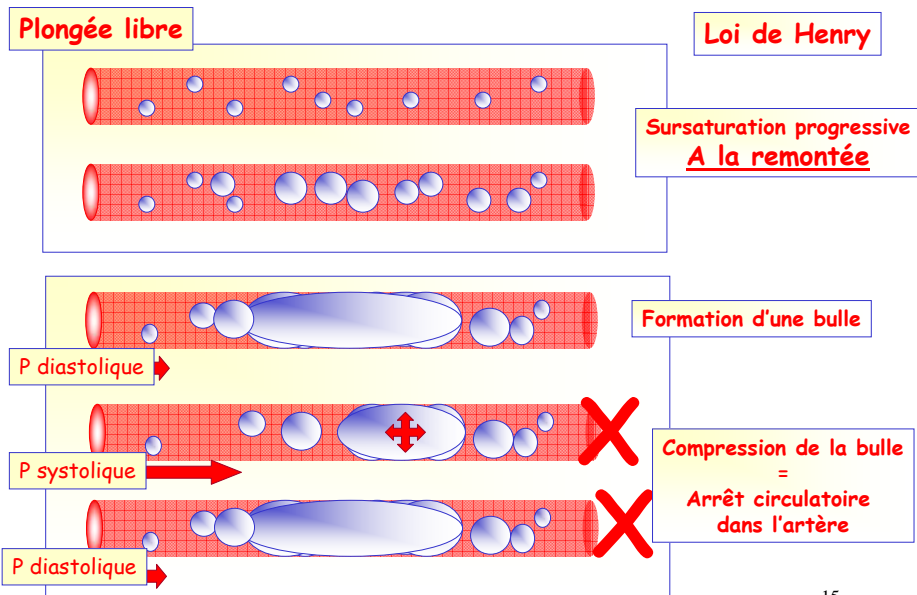


Dès que la Pp du gaz dans les poumons < Pp du gaz dissout dans le sang veineux, les tissus sont en état de sursaturation pour le gaz considéré.

Quand la P du gaz dissout > 2x la P du gaz dans les poumons, **SURSATURATION**

Quand le seuil de sursaturation est dépassé, il y a « vaporisation » des gaz avec formation de bulles dans les liquides extracellulaires, le sang et les liquides intracellulaires (+ la graisse pour le N₂)

14



15

Plongée libre **Loi de Henry**

Loi de Henry : Vol de gaz dissout = F part. x P absolue (atm) x a x Vol de liquide

A la remontée.

En remontée lente avec respect des paliers de décompression,

- libération du volume des gaz dissous du sang vers les poumons (diffusion cap pulmonaire)
- libération des gaz dissous des tissus vers le sang (diffusion cap systémique)
- sans « vaporisation » entre 1 et 2 fois la P du gaz dans les poumons.

En remontée rapide, le seuil de sursaturation peut être dépassé avec formation de bulles

16

Plongée libre

Table de palier de décompression

Profondeur	Durée de la plongée	Durée des paliers à :			Durée totale de la remontée	Coeff. cient C
		9 m	6 m	3 m		
10 mètres						
	10			1	1,1	
	20			1	1,2	
	30			1	1,3	
	40			1	1,4	
	50			1	1,5	
	60			1	1,6	
	1 h 30			1	1,7	
	2 h 00			1	1,7	
18 mètres						
	10			1	1,1	
	20			1	1,2	
	30			1	1,3	
	40			1	1,3	
	50			1	1,4	
	60			1	1,5	
	1 h 10			1	1,5	
	1 h 20			1	1,6	
	1 h 30			1	1,7	
	1 h 40			1	1,7	
	1 h 50			5	1,7	
	2 h 00			10	1,8	
18 mètres						
	10			1	1,1	
	20			1	1,2	
	30			1	1,3	
	40			1	1,4	
	50			1	1,5	
	60			1	1,6	
	1 h 15			1	1,6	
	1 h 25			3	1,7	
	1 h 35			6	1,7	
	1 h 45			12	1,8	
	1 h 55			17	1,8	
	2 h 00			26	1,8	
20 mètres						
	10			1	1,1	
	20			1	1,2	
	30			1	1,3	
	40			1	1,4	
	50			1	1,5	
	60			1	1,6	
	1 h 10			6	1,7	
	1 h 20			10	1,7	
	1 h 30			15	1,8	
22 mètres						
	10			1	1,1	
	20			1	1,2	
	30			1	1,3	
	40			1	1,3	
	50			1	1,4	
	60			1	1,5	
	1 h 10			2	1,6	
	1 h 20			3	1,6	
	1 h 30			7	1,6	
24 mètres						
	10			2	1,1	
	20			2	1,3	
	30			2	1,4	
	40			2	1,5	
	50			2	1,6	
	60			5	1,6	
	1 h 10			9	1,6	
	1 h 20			13	1,7	
	1 h 30			22	1,7	
	1 h 40			31	1,8	
	1 h 50			45	1,8	
25 mètres						
	10			2	1,2	
	15			2	1,2	
	20			2	1,3	
	25			2	1,3	
	30			2	1,4	
	35			2	1,5	
	40			3	1,6	
	50			8	1,6	
	60			13	1,6	
	1 h 10			15	1,7	
	1 h 20			23	1,8	
	1 h 30			35	1,8	
	1 h 40			52	1,8	
26 mètres						
	5			2	1,1	
	10			2	1,2	
	15			2	1,2	
	20			2	1,3	
	25			2	1,4	
	30			2	1,4	
	35			2	1,5	
	40			2	1,6	
	45			6	1,6	
	50			11	1,6	
	55			14	1,6	
	60			18	1,7	
	1 h 10			32	1,8	
	1 h 20			42	1,8	
	1 h 30			55	1,9	
28 mètres						
	5			2	1,1	
	10			2	1,2	
	15			2	1,3	

Loi de Henry

Plongée libre

Loi de Henry

Loi de Henry : Vol de gaz dissout = F part. x P absolue (atm) x a x Vol de liquide

pendant la plongée,

Toxicité des gaz

Oxygène, effet Lorrain-Smith
effet Paul Bert

Azote, narcose des profondeurs

Plongée en apnée

19

Plongée en apnée

Loi de Boyle Mariotte : $P \times V = Cte$

A la descente,

Plongée en apnée,

cavité pulmonaire : est comprimée,

cavités sinusiennes : la pression s'équilibre avec la pression des voies aériennes supérieures si les méats sont libres.

cavité auriculaire moyenne : la pression s'équilibre avec la pression des voies aériennes supérieures au mouvements de déglutition.

20

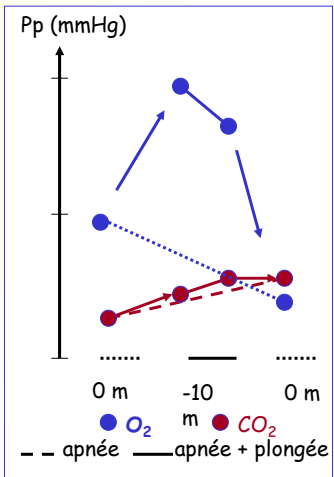
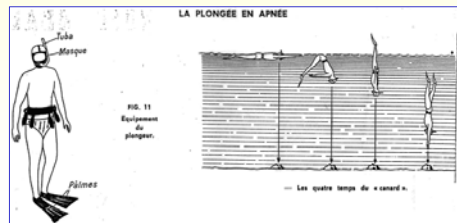
Plongée en apnée

Loi de Boyle Mariotte & loi de Henry

Loi de Boyle Mariotte & Loi de Henry

A la descente.

Plongée en apnée,



21

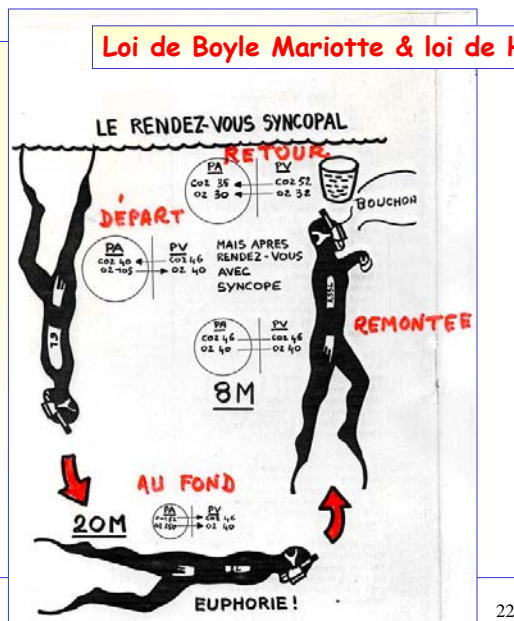
Plongée en apnée

Loi de Boyle Mariotte & loi de Henry

Loi de Boyle Mariotte & Loi de Henry

A la remonté.

« Rendez-vous syncopal des 7 mètres »



22

Accidents de la plongée

↓ descente ↑ montée

origine mécanique,

surpression thoracique ↑
colique du scaphandrier ↑
barotraumatisme sinusien ↓
barotraumatisme de l'oreille ↓

Origine toxique

hyperoxie ↓
narcose de profondeurs (N₂) ↓

Origine biophysique (décompression) ↑

bend ostéoarticulaire (+++ épaule, coude, hanche, genou ---)
accidents neurologiques (graisses et N₂, diffusion ralentie)
(moelle dorsale basse +++ car circulation terminale,
nerf optique, encéphale ---)
accidents cardiovasculaire (bulle dans la circulation)