

Chris Braissant

Procédures de décompression

Ban's Diving Resort

Introduction

Plongée à décompression

Historique

Physique

Physiologie

Théorie de la
décompression

Équipement

Techniques et
procédures

Introduction

Sous l'eau:

- Augmentation de la pression ambiante
- Le corps absorbe les gaz inertes (azote principalement)
Passage du système respiratoire au système sanguin
- Quantité absorbée proportionnelle à la durée d'exposition

À la remontée

- Diminution de la pression ambiante
- Les gaz inertes s'échappent
Passage du système sanguin au système respiratoire

Introduction

[Plongée à décompression](#)

Historique

Physique

Physiologie

Théorie de la
décompression

Équipement

Techniques et
procédures

Accident de décompression

- Quantité de gaz inertes accumulée importante
- Remontée trop rapide
- Gaz inertes passent de la forme soluble à la forme gazeuse
(formation de bulles)

Limite de non-décompression

- Faible quantité de gaz inertes absorbée
- Possibilité de remonter jusqu'à la surface sans palier
- Palier de sécurité pour diminuer le risque

Plongée à décompression

- Importante quantité de gaz inertes absorbée
- Impossibilité de remonter jusqu'à la surface sans palier
- Paliers de décompression nécessaires afin de permettre aux gaz inertes de repasser dans le système sanguin
- Création d'un "plafond virtuel"

Introduction

[Plongée à décompression](#)

Historique

Physique

Physiologie

Théorie de la
décompression

Équipement

Techniques et
procédures

- Plongées plus longues en profondeurs
- Exploration (épaves, récifs, grottes, ...)
- Recherche scientifiques
- Recherche et récupération
- Travaux commerciaux
- ...

Robert Boyle (1627 - 1691)

- Physicien et chimiste Irlandais
- Série de tests avec un caisson basse pression
- Observation sur un serpent
- Découverte des maladies de décompression

Maladie des caissons (1841 -)

- Chantiers pour la construction de ponts et de tunnels
- Travailleurs dans un caisson à une profondeur de 20m pendant plusieurs heures
- Douleurs, vertiges et essoufflement de retour à la surface
- Symptômes disparaissent lors d'un retour en profondeurs

Introduction
Plongée à décompression
Historique

Physique

Physiologie

Théorie de la
décompression

Équipement

Techniques et
procédures

Pont de Brooklyn (1870 - 1883)

- Utilisation de caissons pour la contructions des piliers
- Plusieurs travailleurs dans l'incapacité de se tenir droit
- Naissance du terme "bends" (plier)

Paul Bert (1833 - 1886)

- Etudie et enseigne la physiologie en France
- Auteur de *La Pression Barometrique* (1878)
- Découvre:
 - La toxicité de l'oxygène (Effet Paul Bert)
 - La réduction de pression forme des bulles dans les tissus
 - Les bulles sont composées d'azote
- Introduit les paliers profonds (stop à mi-chemin entre la profondeur maximum et la surface)
- Observe les avantages de la recompression et de l'administration d'oxygène pure

John Scott Haldane (1860 - 1936)

- Physiologiste Ecossais
- Travaille avec la marine Royale
- Effort pour réduire les accidents de décompression
- Chaque tissus absorbent et relâchent les gaz à un rythme différent
- Introduction des compartiments tissulaires, des périodes et des pressions maximales de sursaturation
- Première tables de plongée publiées dans le "Journal de l'Hygiène" en 1908

[Introduction](#)[Plongée à décompression](#)[Historique](#)[Physique](#)[Physiologie](#)[Théorie de la décompression](#)[Équipement](#)[Techniques et procédures](#)

US Navy (1912 -)

- Programme pour tester les tables de Haldane à plus de 18m
- Publication des premières tables en 1915
- Révision en 1937 et en 1956 pour les plongées longues et profondes
- Publication du premier manuel de plongée de l'US NAVY en 1924
- Réduction de plus de 60% des accidents de décompression entre 1937 et 1956

Robert Workmann (1921 -)

- Table de l'US NAVY inappropriées pour des plongées longues et profondes
- Modification du modèle de base
- Niveau de sursaturation maximale varie avec la profondeur
- Introduction du terme "M-Value"
- Résultats présentés sous la forme d'une équation permettant de l'utiliser à toutes profondeurs

[Introduction](#)[Plongée à décompression](#)[Historique](#)[Physique](#)[Physiologie](#)[Théorie de la décompression](#)[Équipement](#)[Techniques et procédures](#)

Albert Bühlmann (1923 - 1994)

- Docteur en Médecine à l'Université de Zurich, Suisse
- Travaille avec Hannes Keller pour développer des tables multi-gaz
- Algorithme de décompression comportant 16 compartiments
- Plongée à 120m en 1959, et 300m en 1962!
- Modification du modèle pour la plongée en altitude
- Publication de l'algorithme ZHL-16 (Zurich Limits) toujours utilisé aujourd'hui

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la
décompression

Equipement

Techniques et
procédures

Physique

[Introduction](#)[Physique](#)[Physiologie](#)[Théorie de la décompression](#)[Equipement](#)[Techniques et procédures](#)

Pression:

- Rapport entre de la force s'exerçant sur une surface et son aire.

$$\text{Pression} = \frac{\text{Force}}{\text{Surface}}$$

L'unité de pression du système international d'unité est le Pascal (Pa)

[Introduction](#)[Physique](#)[Physiologie](#)[Théorie de la décompression](#)[Équipement](#)[Techniques et procédures](#)

La pression atmosphérique correspond au poids de la colonne d'air, et change avec l'altitude

Altitude [m]	Pression [hPa]
0	1013.25
1000	898.76
2000	794.98
3000	701.12
5000	540.25
8000	356.06
10000	264.42

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Équipement

Techniques et procédures

Pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer:

$$1\text{ATA} = 1013.25\text{hPa} = 1.01325\text{bar}$$

Pour des raisons pratiques:

$$1\text{ATA} \approx 1\text{bar}$$

Système Impérial:

$$1\text{ATA} = 14.5\text{PSI}$$

$$1\text{bar} = 14.7\text{PSI}$$

Pression hydrostatique:

$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

Eau douce: ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$)

$$0.981 \text{ bar} = 0.968 \text{ ATA} = 10 \text{ mfw}$$

$$1 \text{ bar} = 0.987 \text{ ATA} = 10.19 \text{ mfw}$$

Eau de mer: ($\rho = 1030 \text{ kg/m}^3$)

$$1.010 \text{ bar} = 0.997 \text{ ATA} = 10 \text{ msw}$$

$$1 \text{ bar} = 0.987 \text{ ATA} = 9.89 \text{ msw}$$

Pratique:

$$1 \text{ bar} \approx 1 \text{ ATA} \approx 10 \text{ msw}$$

Pression:

$$\text{Pression} = \text{Profondeur}/10 + 1$$

Profondeur:

$$\text{Profondeur} = (\text{Pression} - 1) \cdot 10$$

Profondeur [msw]	Pression [ATA]	Pression [bar]	Pression [psi]
0	1	1	14.7
10	2	2	29.4
20	3	3	44.1
30	4	4	58.8
40	5	5	73.5

Pression est inversement proportionnelle au volume

$$P \propto \frac{1}{V} \quad (T = \text{constant})$$

Profondeur [msw]	Pression [bar]	Volume	Densité
0	1	1/1	1x
10	2	1/2	2x
20	3	1/3	3x
30	4	1/4	4x
40	5	1/5	5x

La pression d'un gas est égal à la somme des pressions partielles

$$P = PP1 + PP2 + PP3 + \dots + P$$

Profondeur [msw]	Pression [bar]	PN_2 [bar]	PO_2 [bar]
0	1	0.79	0.21
10	2	1.58	0.42
20	3	2.37	0.63
30	4	3.16	0.84
40	5	4.35	1.05

[Introduction](#)[Physique](#)[Physiologie](#)[Théorie de la décompression](#)[Equipement](#)[Techniques et procédures](#)

Relation entre pression partielle, pression ambiante et fraction gazeuse.

$$\frac{PP}{Pa} = Fg$$

PP = Pression Partielle [bar]

Pa = Pression Ambiant [bar]

Fg = Fraction gazeuse [-]

[Introduction](#)[Physique](#)[Physiologie](#)[Théorie de la décompression](#)[Équipement](#)[Techniques et procédures](#)

Pression partielle:

- Permet de déterminer la pression partielle d'un gaz en profondeur
- Exposition à l'oxygène (toxicité)
- Exposition à l'azote (décompression)

$$PP = Pa \times Fg$$

Exemple: Pression partielle d'oxygène pour de l'air à 40m

$$PO_2 = 5 \times 0.21 = 1.05\text{bar}$$

Profondeur maximum d'utilisation (MOD):

- Permet de déterminer la profondeur maximale à laquelle un mélange gazeux peut être utilisé

$$Pa = PP/Fg$$

Exemple: Profondeur maximale d'utilisation d'un Nitrox 36

$$Pa = 1.6 / 0.36 = 4.4 \text{ bar}$$

$$P = (4.4 - 1) \times 10 = 34 \text{ m}$$

Mélange idéal:

- Permet de déterminer le mélange idéal pour une profondeur donnée

$$Fg = PP/Pa$$

Exemple: Mélange idéal pour une plongée à 28m

$$Pa = (28/10) + 1 = 3.8 \text{ bar}$$

$$FO_2 = 1.4/3.8 = 0.36 = \text{EAN}36$$

Introduction

Physique

Physiologie

Echanges gazeux

Formation de bulles

M-Values

Bulles

Accident de décompression

Surpression pulmonaire

Augmentation des risques

Exposition à l'oxygène

Autres gaz

Théorie de la
décompression

Equipement

Techniques et
procédures

Physiologie

Introduction

Physique

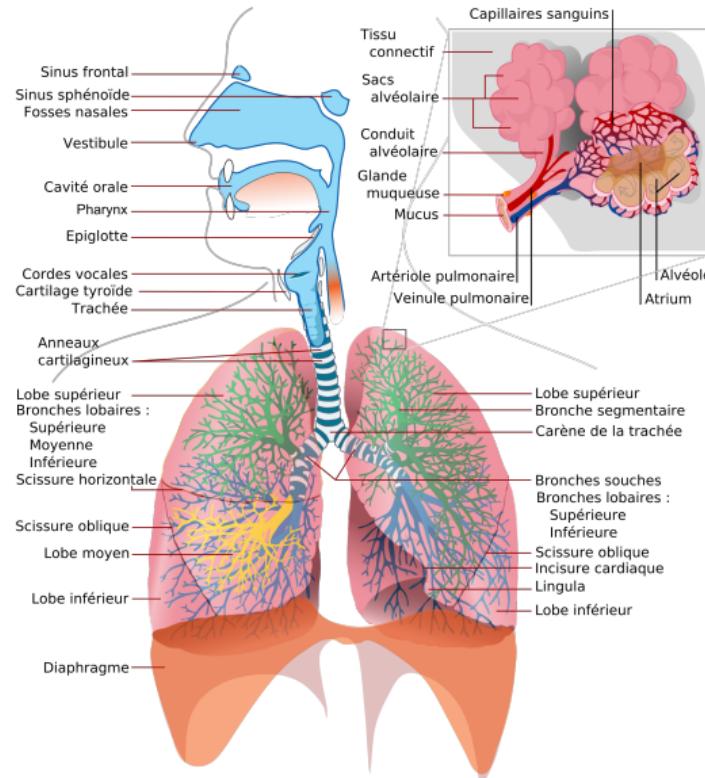
Physiologie

Echanges gazeux
Formation de bulles
M-Values
Bulles
Accident de décompression
Surpression pulmonaire
Augmentation des risques
Exposition à l'oxygène
Autres gaz

Théorie de la décompression

Equipement

Techniques et procédures



Introduction

Physique

Physiologie

Echanges gazeux

Formation de bulles

M-Values

Bulles

Accident de décompression

Surpression pulmonaire

Augmentation des risques

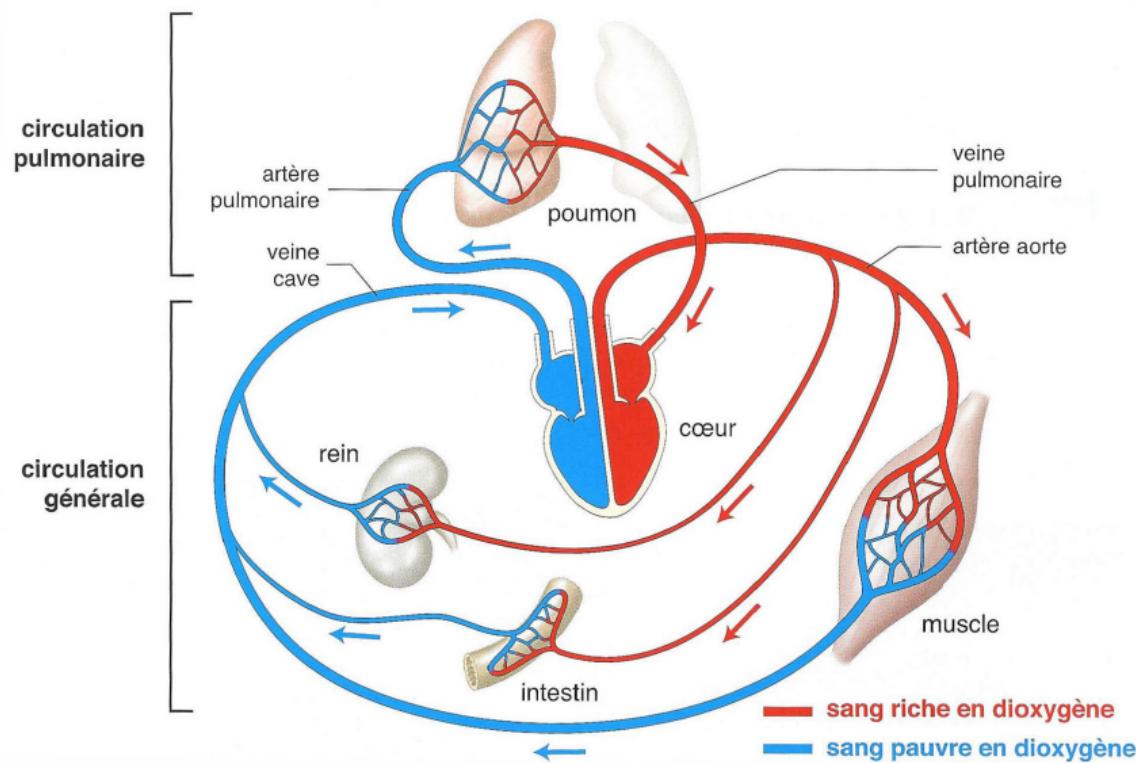
Exposition à l'oxygène

Autres gaz

Théorie de la décompression

Équipement

Techniques et procédures



Introduction

Physique

Physiologie

Echanges gazeux

Formation de bulles

M-Values

Bulles

Accident de décompression

Surpression pulmonaire

Augmentation des risques

Exposition à l'oxygène

Autres gaz

Théorie de la décompression

Equipement

Techniques et procédures

Diffusion:

- Echange gazeux entre:
 - Les alvéoles pulmonaires et les capillaires (poumons)
 - Les capillaires et les tissus (corps)
- Mouvement de molécules
- Haute concentration → Basse concentration
- Loi d'Henry
(Quantité de gaz dissous proportionnelle à la pression partielle)

Introduction

Physique

Physiologie

[Echanges gazeux](#)

Formation de bulles

M-Values

Bulles

Accident de décompression

Surpression pulmonaire

Augmentation des risques

Exposition à l'oxygène

Autres gaz

Théorie de la décompression

Équipement

Techniques et procédures

Perfusion tissulaire:

- Quantité de flux sanguin qu'un tissu reçoit
- Perfusion élevée = Compartiment rapide
(muscles, foie, reins, poumons et système nerveux)
- Perfusion lente = Compartiment lent
(tendons, ligaments, os et cartilages)

[Introduction](#)[Physique](#)[Physiologie](#)[Echanges gazeux](#)[Formation de bulles](#)[M-Values](#)[Bulles](#)[Accident de décompression](#)[Surpression pulmonaire](#)[Augmentation des risques](#)[Exposition à l'oxygène](#)[Autres gaz](#)[Théorie de la décompression](#)[Equipement](#)[Techniques et procédures](#)

Surface (saturation):

- Azote: Gaz inerte, peu ou pas de diffusion
- Oxygène: Se diffuse dans le corps
 - Alvéoles pulmonaires → système sanguin
- Dioxide de carbone: Déchet produit par le métabolisme
 - Système sanguin → alvéoles pulmonaires

Introduction

Physique

Physiologie

Echanges gazeux

Formation de bulles

M-Values

Bulles

Accident de décompression

Surpression pulmonaire

Augmentation des risques

Exposition à l'oxygène

Autres gaz

Théorie de la décompression

Equipement

Techniques et procédures

Descente (sous saturation):

- Pression tissulaire < Pression partielle respirée
→ L'azote se diffuse dans le système sanguin

Au fond (saturation):

- Pression tissulaire = Pression partielle respirée
- Etat de saturation (plus d'échange de gaz inertes)
- Temps avant saturation différents pour chaque compartiments

Remontée (sursaturation):

- Pression tissulaire > Pression partielle respirée
→ L'azote se diffuse vers le système respiratoire

Introduction

Physique

Physiologie

[Echanges gazeux](#)

Formation de bulles

M-Values

Bulles

Accident de décompression

Surpression pulmonaire

Augmentation des risques

Exposition à l'oxygène

Autres gaz

Théorie de la décompression

Equipement

Techniques et procédures

Niveau de saturation dépend de:

- Diffusion (profondeur et gaz)
- Perfusion (type de tissu)
- Temps d'exposition

Introduction

Physique

Physiologie

Echanges gazeux

[Formation de bulles](#)

M-Values

Bulles

Accident de décompression

Surpression pulmonaire

Augmentation des risques

Exposition à l'oxygène

Autres gaz

Théorie de la décompression

Equipement

Techniques et procédures

Gaz dissous dans le sang

Liaisons moléculaires gardent le gaz en solution

Diminution de pression ambiante:

- Diffusion du gaz vers les poumons
- Tension trop élevée = formation de bulles

Introduction

Physique

Physiologie

Echanges gazeux

Formation de bulles

M-Values

Bulles

Accident de décompression

Surpression pulmonaire

Augmentation des risques

Exposition à l'oxygène

Autres gaz

Théorie de la décompression

Equipement

Techniques et procédures

Micronoyaux gazeux:

- Fragilisation des liaisons moléculaires facilitant la formation de bulles

Cause:

- Modification de la circulation sanguine
- Mouvement des tissus et des articulations
- Sursaturation localisée

Introduction
Physique

Physiologie
Echanges gazeux
Formation de bulles
M-Values

Bulles
Accident de décompression
Surpression pulmonaire
Augmentation des risques
Exposition à l'oxygène
Autres gaz

Théorie de la
décompression

Equipement

Techniques et
procédures

M-Values:

- Niveau maximum de sursaturation toléré afin d'éviter un niveau excessif de bulles

Propriétés:

- Perfusion sanguine détermine le type de compartiment tissulaire
- M-Values différentes pour chaque compartiments
- M-Values varient en fonction de la pression ambiante (profondeur)

Introduction

Physique

Physiologie

Echanges gazeux

Formation de bulles

M-Values

Bulles

Accident de décompression

Surpression pulmonaire

Augmentation des risques

Exposition à l'oxygène

Autres gaz

Théorie de la décompression

Equipement

Techniques et procédures

Limite de non-décompression:

- Possibilité de remonter à la surface sans atteindre la limite de sursaturation (M-Values)

Dépassement des limites = paliers de décompression obligatoires

Le principe des M-Values est un modèle et n'est donc pas parfait!

[Introduction](#)[Physique](#)[Physiologie](#)[Echanges gazeux](#)[Formation de bulles](#)[M-Values](#)[Bulles](#)[Accident de décompression](#)[Surpression pulmonaire](#)[Augmentation des risques](#)[Exposition à l'oxygène](#)[Autres gaz](#)[Théorie de la décompression](#)[Equipement](#)[Techniques et procédures](#)

Réaction du corps au bulles gazeuses

- Changement moléculaire des protéines du sang
- Réaction du système immunitaire
- Leucocytes (Globules blancs) entourent la bulle de fibrine
- Plus de diffusion possible!
- Sécrétion d'histamine (inflammation)
- Altération du flux sanguin et coagulation
- Anoxie et necrose des tissus

Introduction

Physique

Physiologie

Echanges gazeux

Formation de bulles

M-Values

Bulles

Accident de décompression

Surpression pulmonaire

Augmentation des risques

Exposition à l'oxygène

Autres gaz

Théorie de la décompression

Equipement

Techniques et procédures

Bulles silencieuses:

- Bulles suffisamment petites pour ne pas altérer la circulation sanguine
- Véhiculées jusqu'au poumons
- Diffusion à travers les alvéoles
- DéTECTée à l'aide d'un Doppler
- Peut s'accumuler dans les capillaires autour des alvéoles et limiter la diffusion
- Fatigue et limite les plongées répétitives

[Introduction](#)[Physique](#)[Physiologie](#)[Echanges gazeux](#)[Formation de bulles](#)[M-Values](#)[Bulles](#)[Accident de décompression](#)[Surpression pulmonaire](#)[Augmentation des risques](#)[Exposition à l'oxygène](#)[Autres gaz](#)[Théorie de la décompression](#)[Equipement](#)[Techniques et procédures](#)

Symptômes:

- Démangeaisons
- Difficulté à uriner
- Douleur articulaire
- Douleur musculure
- Eruptions cutannées
- Essoufflements
- Evanouissement
- Faiblesses
- Fatigue
- Hémoptysie (crachats sanguinolents)
- Inflammations
- Maux de tête
- Nausée
- Paralysie
- Perte de conscience
- Perte de mémoire
- Perte de sensibilité
- Trouble de l'ouïe
- Trouble du comportement
- Troubles visuels
- Vertiges
- Vomissement

Introduction

Physique

Physiologie

Echanges gazeux

Formation de bulles

M-Values

Bulles

Accident de décompression

Surpression pulmonaire

Augmentation des risques

Exposition à l'oxygène

Autres gaz

Théorie de la décompression

Equipement

Techniques et procédures

Traitements:

- Oxygénothérapie: accélère la diffusion et cicatrice les tissus endommagés
- Aspirine: anti-coagulant
- Hydratation: compense la perte de plasma durant la plongée
- Recompression: réduit la taille des bulles

Introduction

Physique

Physiologie

Echanges gazeux

Formation de bulles

M-Values

Bulles

Accident de décompression

Surpression pulmonaire

Augmentation des risques

Exposition à l'oxygène

Autres gaz

Théorie de la décompression

Equipement

Techniques et procédures

Cause:

- Augmentation du volume pulmonaire à la remontée
- Blocage ou expiration insuffisante
- Surpression pulmonaire et déchirure alvéolaire

Conséquences:

- Pneumothorax:
Rupture du feuillet interne de la plèvre
- Emphysème (du médiastin ou sous-cutané):
Rupture des deux feuillets de la plèvre
- Embolie gazeuse:
Passage de l'air à travers les capillaires pulmonaires et dans le système sanguin

Introduction

Physique

Physiologie

Echanges gazeux

Formation de bulles

M-Values

Bulles

Accident de décompression

Surpression pulmonaire

Augmentation des risques

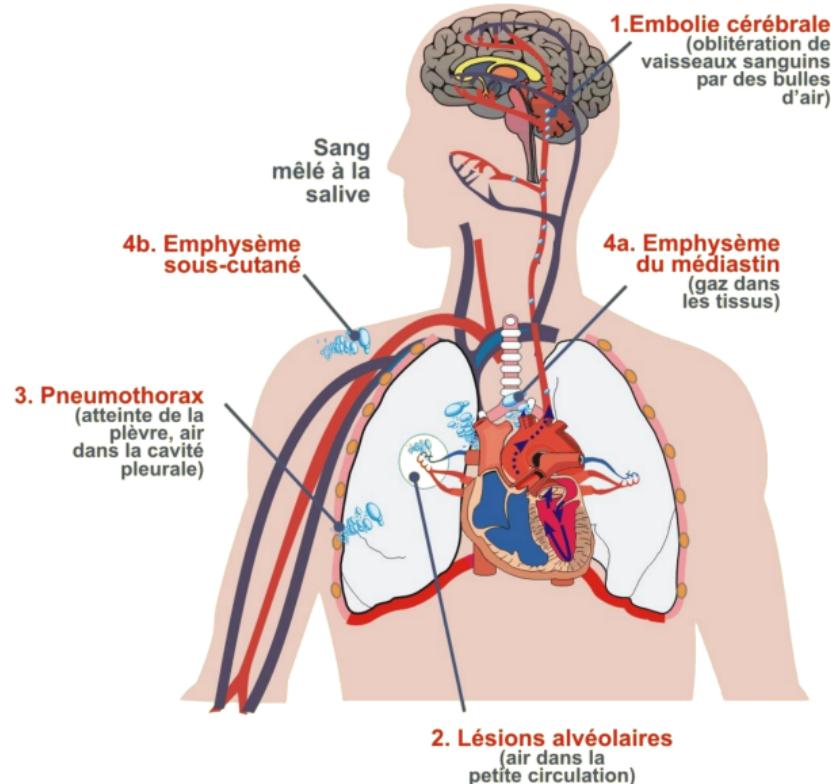
Exposition à l'oxygène

Autres gaz

Théorie de la décompression

Equipement

Techniques et procédures



Introduction

Physique

Physiologie

Echanges gazeux

Formation de bulles

M-Values

Bulles

Accident de décompression

Surpression pulmonaire

Augmentation des risques

Exposition à l'oxygène

Autres gaz

Théorie de la décompression

Equipement

Techniques et procédures

Symptômes:

- Arrêt cardiaque
- Convulsions
- Crachats sanguinolents
- Désorientation
- Douleurs thoraciques
- Etourdissement
- Evanouissement
- Faiblesses
- Paralysie
- Perte de sensibilité
- Sang dans la bouche ou dans le nez
- Troubles visuels

Introduction

Physique

Physiologie

Echanges gazeux

Formation de bulles

M-Values

Bulles

Accident de décompression

Surpression pulmonaire

Augmentation des risques

Exposition à l'oxygène

Autres gaz

Théorie de la décompression

Equipement

Techniques et procédures

Facteurs augmentant les risques

- Age
- Altitude
- Blessures
- Cigarettes, fumée
- Deshydratation
- Exercice
- Foramen Ovale Perméable (FOP)
- Obésité
- Température

Introduction

Physique

Physiologie

Echanges gazeux

Formation de bulles

M-Values

Bulles

Accident de décompression

Surpression pulmonaire

Augmentation des risques

Exposition à l'oxygène

Autres gaz

Théorie de la décompression

Equipement

Techniques et procédures

Altitude:

- Diminution de la pression ambiante
- Gradient de pression en fin de plongée

Cigarette:

- Obstructions pulmonaires chroniques
- Fragilise les alvéoles pulmonaires

Introduction

Physique

Physiologie

Echanges gazeux

Formation de bulles

M-Values

Bulles

Accident de décompression

Surpression pulmonaire

Augmentation des risques

Exposition à l'oxygène

Autres gaz

Théorie de la décompression

Équipement

Techniques et procédures

Obésité:

- Solubilité élevée de l'azote
- Faible perfusion
- Risque lors de profondes/longues plongées

Exercice

- Augmente la quantité de micronoyaux, donc favorise la formation de bulles
- Augmente le rythme circulatoire (perfusion), donc la quantité d'azote absorbée

Introduction

Physique

Physiologie

Echanges gazeux

Formation de bulles

M-Values

Bulles

Accident de décompression

Surpression pulmonaire

Augmentation des risques

Exposition à l'oxygène

Autres gaz

Théorie de la décompression

Equipement

Techniques et procédures

Foramen Ovale Perméable (FOP)

- Ouverture entre les oreillettes du coeur
- Sensé se fermer à la naissance
- Perméable = communication entre les oreillettes
- Petite quantité de sang ne passant pas par les poumons
- Azote pas évacué correctement

Introduction

Physique

Physiologie

Echanges gazeux

Formation de bulles

M-Values

Bulles

Accident de décompression

Surpression pulmonaire

Augmentation des risques

Exposition à l'oxygène

Autres gaz

Théorie de la décompression

Équipement

Techniques et procédures

Hypoxie:

- Pression tissulaire d'oxygène trop faible
- Pression minimale de .16 ATA nécessaire (.18 ATA recommandée)
- Trimix ou recycleur uniquement
- Perte de connaissance, arrêt cardiaque

Introduction

Physique

Physiologie

Echanges gazeux

Formation de bulles

M-Values

Bulles

Accident de décompression

Surpression pulmonaire

Augmentation des risques

Exposition à l'oxygène

Autres gaz

Théorie de la
décompression

Equipement

Techniques et
procédures

Hyperoxie:

- Pression tissulaire d'oxygène trop élevée
- Toxicité neurologique ou pulmonaire
- Rapport entre pression et temps d'exposition
- Nécessité de surveiller son exposition

Introduction

Physique

Physiologie

Echanges gazeux

Formation de bulles

M-Values

Bulles

Accident de décompression

Surpression pulmonaire

Augmentation des risques

Exposition à l'oxygène

Autres gaz

Théorie de la décompression

Equipement

Techniques et procédures

Toxicité du système nerveux central (CNS):

- Pression partielle maximum admise de 1.6 bar
- Conditions particulières (froid, stress, travail,...)
- Exposition contrôlée à l'aide de "l'horloge CNS" (CNS Clock)

Introduction

Physique

Physiologie

Echanges gazeux

Formation de bulles

M-Values

Bulles

Accident de décompression

Surpression pulmonaire

Augmentation des risques

Exposition à l'oxygène

Autres gaz

Théorie de la
décompression

Equipement

Techniques et
procédures

Symptômes

C Con Convulsion

V Vision

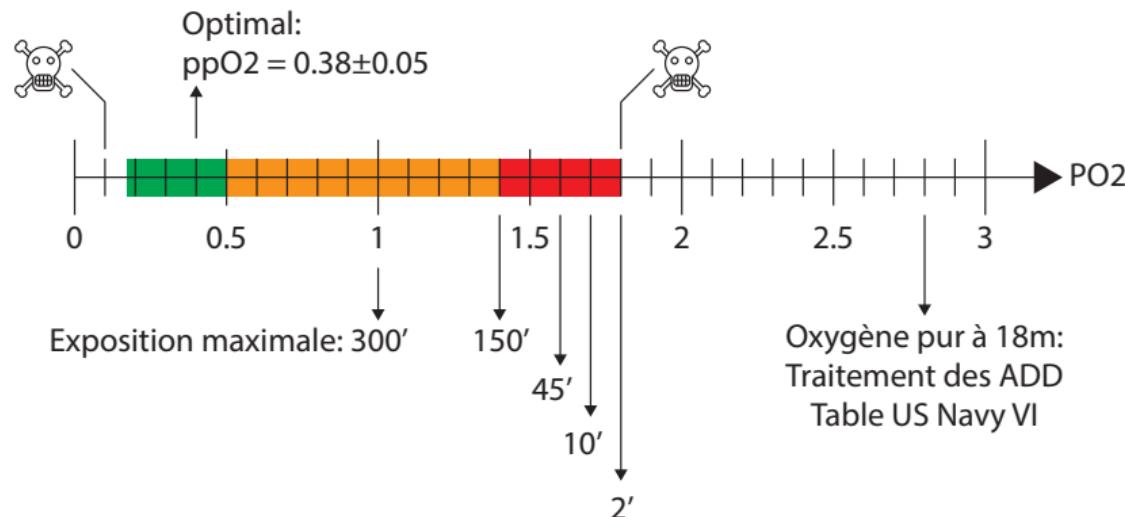
E Ecoute

N Nausée

T Tremblement

I Irritation

V Vertiges

[Introduction](#)[Physique](#)[Physiologie](#)[Echanges gazeux](#)[Formation de bulles](#)[M-Values](#)[Bulles](#)[Accident de décompression](#)[Surpression pulmonaire](#)[Augmentation des risques](#)[Exposition à l'oxygène](#)[Autres gaz](#)[Théorie de la décompression](#)[Equipement](#)[Techniques et procédures](#)

Introduction

Physique

Physiologie

Echanges gazeux

Formation de bulles

M-Values

Bulles

Accident de décompression

Surpression pulmonaire

Augmentation des risques

Exposition à l'oxygène

Autres gaz

Théorie de la
décompression

Equipement

Techniques et
procédures

Toxicité pulmonaire:

- Exposition prolongée
- Effet cummulé sur plusieurs jours
- Exposition contrôlée à l'aide des "Unités de tolérance" (OTU: Oxygen Tolerance Units)

[Introduction](#)[Physique](#)[Physiologie](#)[Echanges gazeux](#)[Formation de bulles](#)[M-Values](#)[Bulles](#)[Accident de décompression](#)[Surpression pulmonaire](#)[Augmentation des risques](#)[Exposition à l'oxygène](#)[Autres gaz](#)[Théorie de la décompression](#)[Equipement](#)[Techniques et procédures](#)

Dioxide de carbone:

- Contrôle le rythme respiratoire
- Déchet produit par le métabolisme
- Niveau trop élevé: Hypercapnia
- Mauvaise respiration et effort prononcé
- Principalement lié aux recycleurs

[Introduction](#)[Physique](#)[Physiologie](#)[Echanges gazeux](#)[Formation de bulles](#)[M-Values](#)[Bulles](#)[Accident de décompression](#)[Surpression pulmonaire](#)[Augmentation des risques](#)[Exposition à l'oxygène](#)[Autres gaz](#)[Théorie de la décompression](#)[Equipement](#)[Techniques et procédures](#)

Monoxide de carbone:

- Extrêmement toxique
- Inodore, incolore
- Produit par combustion
 - Lubrification du compresseur
 - Mauvais placement du compresseur
- Hémoglobine a 300x plus d'affinité avec le *CO* que le *O₂*

[Introduction](#)[Physique](#)[Physiologie](#)[Echanges gazeux](#)[Formation de bulles](#)[M-Values](#)[Bulles](#)[Accident de décompression](#)[Surpression pulmonaire](#)[Augmentation des risques](#)[Exposition à l'oxygène](#)[Autres gaz](#)[Théorie de la décompression](#)[Equipement](#)[Techniques et procédures](#)

Intoxication au monoxide de carbone:

- Nausée
- Vertiges
- Maux de tête
- Fatigue
- Confusion
- Perte de connaissance
- Douleurs thoraciques
- Irritabilité

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Théorie de la décompression

[Introduction](#)[Physique](#)[Physiologie](#)[Théorie de la décompression](#)[Modèle d'Haldane](#)[Modèles Neo-Haldanian](#)[Paliers profonds](#)[Facteurs de Gradient](#)[Modèles à bulles](#)[Quantité de bulles](#)[VPM: Modèle à perméabilité variable](#)[RGBM: Reduce Gradient Bubble Model](#)[Equipement](#)[Techniques et procédures](#)

John Scott Haldane

- Premières tables de plongée basées sur un modèle scientifique
- Corps absorbe et relâche les gaz inertes
- Cinq compartiments
- Introduit le concept de sursaturation
- Niveau maximum: "limite critique"
- Remonter aussi proche de la limite critique que possible

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Modèles Neo-Haldanian

- Formation de bulles silencieuses (Doppler)
- Modèles à "Gas en dissolution"
- Workmann, US Navy, Bühlmann,...
- Modèles Haldanian modifiés

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Richard L. Pyle

- Observations pratiques et non scientifiques
- Plongées dans la zone des 55m-65m
- Sensations de fatigues ou malaise
- Symptômes pas constants
 - Pas de symptômes du tout
 - Fatigué est impossible de conduire

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Richard L. Pyle

- Recherche de corrélation
 - Exposition, paliers, courant, visibilité, température, nombre d'heures de sommeil, hydratation,...
 - Nombre de poissons péchés durant la plongée!

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles
VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Richard L. Pyle

- Vessie natatoire
- Doit être vidée à la remontée
- Arrêt à mi-chemin entre le fond et le premier palier
- Arrêt de 2-3 minutes

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Paliers profonds ou Pyle's Stop:

1. Calculer sa planification
2. Ajouter un palier de 2-3 minutes à mi-chemin entre le fond et le premier palier de décompression
3. Recalculer la planification avec le palier profond
4. Si la distance entre le palier profond et le premier palier de décompression est supérieur à 9m, ajouter un palier profond
5. Recommencer tant que nécessaire

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Erik C. Baker

- Plongeur trimix, spéléo, et ingénieur en électronique
- Incohérences dans le conservatisme des paliers profonds
- Idée de créer les facteurs de gradient
- Basé sur les tables de Bühlmann

Facteurs de Gradients

- Fourni un niveau de conservatisme cohérent
- Paliers profonds dans la zone de décompression
- Contrôle la sursaturation
- Marge de sécurité de la M-Value
- Exprimé en pourcentage ($100\% = \text{M-Value}$)
- Facteurs de gradient par paire:
 - GF(Low) contrôle la profondeur du premier palier
(Niveau de sursaturation avant le premier palier)
 - GF(High) contrôle la durée du dernier palier
(Niveau de sursaturation à la fin de la plongée)

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

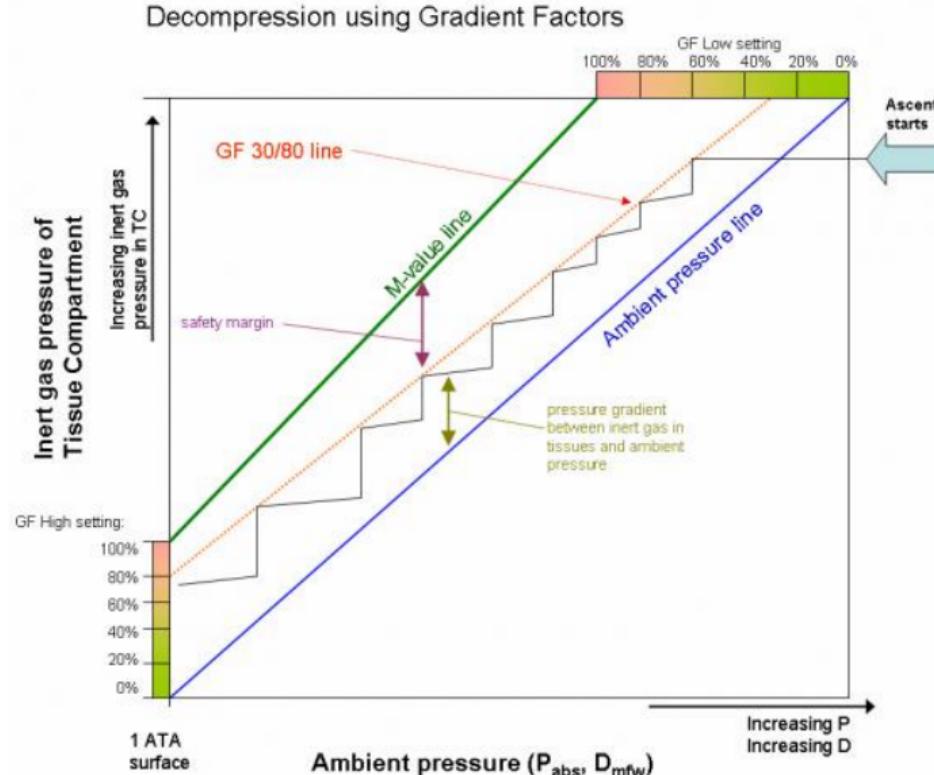
Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures



Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression
Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Albert Richard Behnke Jr (1903 - 1992)

- Médecin pour l'institut de recherche médicale de l'U.S. Navy
- Différences l'embolie gazeuse (AGE) des accidents de décompression
- Ce n'est pas l'éxistance de bulles silencieuses, mais la quantité de gaz libre qui crée un accident de décompression

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Brian Hills & Dr. Hugh LeMessurier (~ 1963)

- Etudient les plongeur de perles en Australie
- Ne plongent pas selon les tables Buhlmann
- Système empirique, paliers plus profonds et remontée direct depuis 7m.
- Temps de décompression réduit de 2/3 par rapport aux tables de l'US Navy
- Nouvelle approche: étudier les gaz dissous et les gaz à l'état libre (bulles)
- Peu de soutien, trop différent, passé aux oubliettes!

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Comportement

- Pour qu'une bulle grandisse, il faut que la pression interne soit plus grande que la pression externe.

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression
Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian
Paliers profonds
Facteurs de Gradient
Modèles à bulles

Quantité de bulles
VPM: Modèle à perméabilité variable
RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

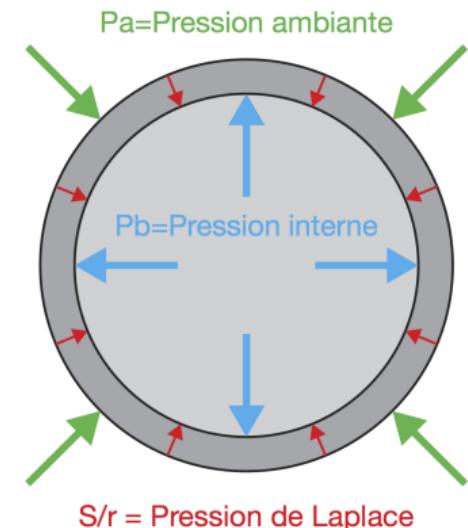
Pression interne

- Pression d'azote dans la bulle

Pression externe

- Pression ambiante
- Tension de surface (peau de la bulle)

Appelée pression de Laplace



Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Changement de taille des bulles

- Pression ambiante
- Concentration de gaz dans la bulle

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Comportement à saturation

- Equilibre des pressions:

$$P_{interne} = P_{ambiante} + P_{Laplace}$$

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Comportement à saturation

- Equilibre des pressions:

$$P_{interne} = P_{ambiante} + P_{Laplace}$$

- Pression tissulaire environnante:

$$P_{tissus} = PN_{2ambiante}$$

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Comportement à saturation

- Equilibre des pressions:

$$P_{interne} = P_{ambiante} + P_{Laplace}$$

- Pression tissulaire environnante:

$$P_{tissus} = PN_{2ambiante}$$

- Diminution de taille (diffusion externe) si:

$$P_{interne} > P_{tissus}$$

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Exemple:

- Plongeur respirant de l'air à 40m:

$$P_{ambiante} = 5\text{bar}$$

$$P_{Laplace} = .5\text{bar}$$

$$P_{intene} = P_{ambiante} + P_{Laplace} = 5.5\text{bar}$$

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient

Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Exemple:

- Plongeur respirant de l'air à 40m:

$$P_{ambiante} = 5\text{bar}$$

$$P_{Laplace} = .5\text{bar}$$

$$P_{intene} = P_{ambiante} + P_{Laplace} = 5.5\text{bar}$$

- Pression dans les tissus (saturés!):

$$P_{tissus} = FN_2 \times P_{ambiante} = .79 \times 5 = 3.95\text{bar}$$

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Exemple:

- Plongeur respirant de l'air à 40m:

$$P_{ambiante} = 5\text{bar}$$

$$P_{Laplace} = .5\text{bar}$$

$$P_{intene} = P_{ambiante} + P_{Laplace} = 5.5\text{bar}$$

- Pression dans les tissus (saturés!):

$$P_{tissus} = FN_2 \times P_{ambiante} = .79 \times 5 = 3.95\text{bar}$$

- La taille de la bulle va diminuer!

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Remontée

- Changement rapide de pression ambiante
- Pressions tissulaires dépendantes des périodes de chaque compartiments

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Remontée

- Changement rapide de pression ambiante
- Pressions tissulaires dépendantes des périodes de chaque compartiments
- Pression interne de la bulle diminue

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Remontée

- Changement rapide de pression ambiante
- Pressions tissulaires dépendantes des périodes de chaque compartiments
- Pression interne de la bulle diminue
- Lorsque la pression interne est inférieure à la pression tissulaire, le gaz se diffuse dans la bulle, et celle-ci augmente!

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Remontée

- Changement rapide de pression ambiante
- Pressions tissulaires dépendantes des périodes de chaque compartiments
- Pression interne de la bulle diminue
- Lorsque la pression interne est inférieure à la pression tissulaire, le gaz se diffuse dans la bulle, et celle-ci augmente!
- Les paliers de décompression limite la pression ambiante pour éviter ce phénomène

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Exemple:

- Le même plongeur remonte rapidement à 20m:

$$P_{ambiente} = 3\text{bar}$$

$$P_{Laplace} = .5\text{bar}$$

$$P_{intene} = 3.5\text{bar}$$

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient

Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Exemple:

- Le même plongeur remonte rapidement à 20m:

$$P_{ambiente} = 3\text{bar}$$

$$P_{Laplace} = .5\text{bar}$$

$$P_{intene} = 3.5\text{bar}$$

- Pression tissulaire n'a pas eu le temps de s'adapter:

$$P_{tissus} = 3.95\text{bar}$$

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Exemple:

- Le même plongeur remonte rapidement à 20m:

$$P_{ambiente} = 3\text{bar}$$

$$P_{Laplace} = .5\text{bar}$$

$$P_{intene} = 3.5\text{bar}$$

- Pression tissulaire n'a pas eu le temps de s'adapter:

$$P_{tissus} = 3.95\text{bar}$$

- La taille de la bulle va augmenter!

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Pression de Laplace

- Directement liée au rayon de la bulle
- Rayon important, pression de Laplace faible
(la "peau" de la bulle devient plus fine)
- Lorsque la bulle grandit, la pression externe diminue, et la bulle grandit encore plus rapidement!
- Des bulles de différentes taille ne réagiront pas pareillement
 - Les grosses bulles augmentent, les petites bulles diminuent

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Rayon critique

- Rayon à partir duquel une bulle commence à grossir
- Modèles essaient de contrôler la taille des bulles
- En dessous du rayon critique, les bulles vont diminuer lorsque le plongeur remonte

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Réalité:

- Corps humain complexe
- Plusieurs compartiments (période et perfusion variées)
- Bulles de toutes les tailles

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Tissus rapides

- Se saturent durant la descente et au fond
- Haut niveau de sursaturation à la remontée
- Creation de bulles
- Paliers profonds nécessaires

Tissus lents

- Se saturent durant les paliers profonds
- Augmente la durée totale des paliers

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression
Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian
Paliers profonds
Facteurs de Gradient
Modèles à bulles
Quantité de bulles
VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Bulles

- Bulles silencieuses ne cause pas d'ADD
- Beaucoup de petites bulles, peu de grandes
- Modèles contrôle le rayon critique
- Laisse grandir que les bulles d'une certaine taille
- Permet de contrôler le volume de gaz inerte

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Principe:

- Basé sur le modèle de Buhlmann
- 16 compartiments
- Ajoute une seule bulle dans chaque compartiment
- Modèle à gaz dissous et à bulles combinés

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

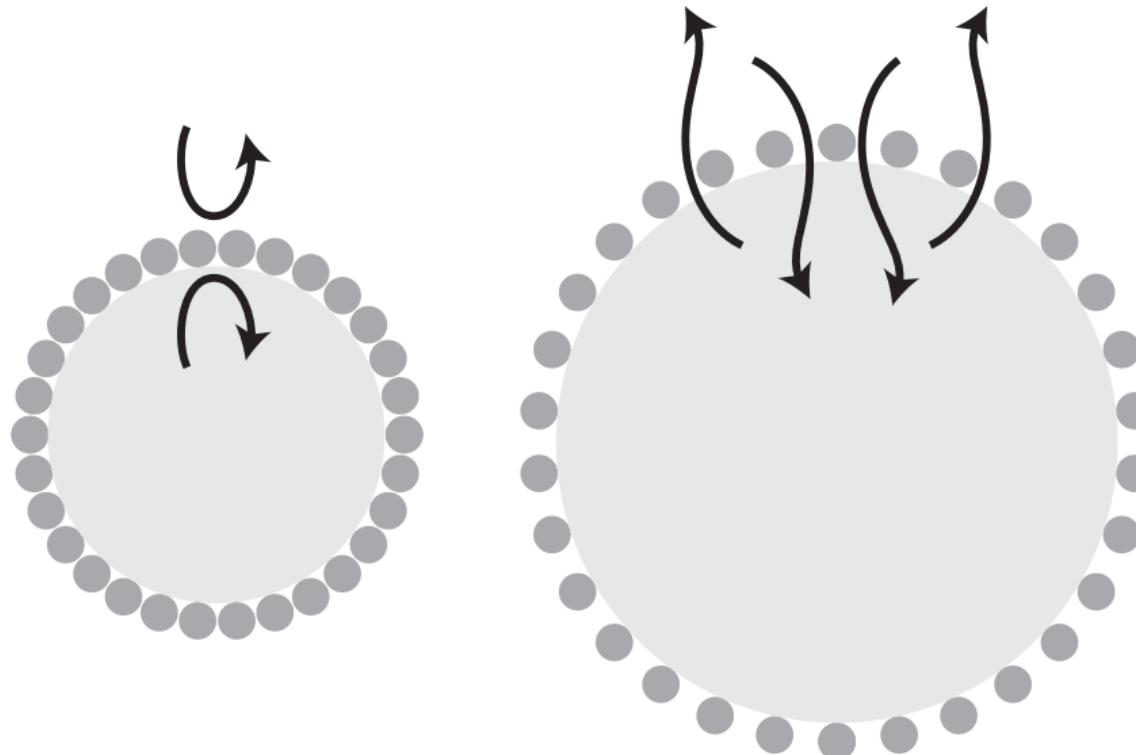
Techniques et procédures

Perméabilité variable:

- "Peau" des bulles composée de micro-billes (molécules)
- La diffusion se fait entre les molécules
- Lorsque la pression ambiante augmente, la perméabilité diminue
- D'où le nom: Perméabilité variable

[Introduction](#)[Physique](#)[Physiologie](#)[Théorie de la décompression](#)[Modèle d'Haldane](#)[Modèles Neo-Haldanian](#)[Paliers profonds](#)[Facteurs de Gradient](#)[Modèles à bulles](#)[Quantité de bulles](#)[VPM: Modèle à perméabilité variable](#)[RGBM: Reduce Gradient Bubble Model](#)[Equipement](#)[Techniques et procédures](#)

Perméabilité variable:



Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Fonctionnement de l'algorithme:

- Diffusion des gaz selon Buhlmann
- VPM surveille le rayon des bulles
- VPM calcule la pression interne de la bulle
- Comparaison entre Buhlmann et VPM pour savoir si une bulle grandit
- Palier avant qu'une bulle grandisse

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

Variante:

- Original: aucune bulle ne grandit - trop conservateur
- Corps peu gérer un certain volume de gaz libre
- Seules les bulles d'une certaine taille peuvent grandir

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

VPM-B:

- Incorpore la loi de Boyle
- Corrige la pression de Laplace avec le nouveau volume (plus grand)
- Ajout de conservatisme

VPM-B/E:

- Algorithme non divulgué
- Ajout de conservatisme pour les plongées extrêmes

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

RGBM vs VPM:

- Basé sur VPM
- Initiallement prévu pour les plongées répétitives

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

RGBM vs VPM:

- VPM: entièrement basé sur le volume des bulles
- RGBM: volume des bulles pour les paliers profonds, gaz dissous pour la surface

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

RGBM vs VPM:

- Reduit les gradients autorisés par 3 facteurs:
 - Bulles conservées lors de plongées répétitives
 - Profils inversés
 - Présence de micro-noyaux

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Modèle d'Haldane

Modèles Neo-Haldanian

Paliers profonds

Facteurs de Gradient

Modèles à bulles

Quantité de bulles

VPM: Modèle à perméabilité variable

RGBM: Reduce Gradient Bubble Model

Equipement

Techniques et procédures

RGBM vs VPM:

- Prend en compte la "fenêtre oxygène"
- Différence de pression partielle d'oxygène entre le sang artériel et les tissus

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures

Equipement

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures

Configurations possibles:

- Bi-bouteilles indépendantes
- Bi-bouteilles avec pont isolateur
- Sidemount

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Équipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures

Bi-bouteilles indépendantes

- Bouteilles dans le dos
- Configuration "à la française"
- Bouteilles totalement indépendantes
- Changement de détendeurs pour équilibrer les pressions
- Requiert plusieurs manomètres

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Équipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures

Bi-bouteilles avec pont isolateur

- Bouteilles dans le dos
- Facilité d'utilisation
- Accès au deux bouteilles avec un seul détendeur
- Possibilité d'isoler les deux bouteilles
- Un seul manomètre nécessaire

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Équipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures

Sidemount:

- Bouteilles sur les côtés
- Bouteilles totalement indépendantes
- Changement de détendeurs pour équilibrer les pressions
- Requiert plusieurs manomètres
- Facilité d'utilisation
- Accessibilité à la robinetterie
- Disponibilité du matériel

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Équipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures

Matériel:

- Aluminium

- Flottabilité positive à vide
- Facilité d'entretien
- Prix
- Pression d'usage: 207 bar

- Acier

- Flottabilité négative en permanence
- Longévité
- Rouille!
- Pression d'usage: 150 - 300 bar

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Bouteilles
Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures

Configurations possibles:

- DIN
- Yoke, étrier, A-clamp, ...

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Équipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures

DIN:

- Joint torique encapsulé
- Pression d'usage plus élevée
- Connection robuste
- Hydrodynamisme
- Joint torique sur le détendeur

Yoke:

- Joint torique pincé
- Pression maximale de 232 bar
- Connection fragile
- Vis proéminente
- Joint torique sur la robinetterie

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Équipement

Bouteilles
Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures

Caractéristiques:

- Simplicité (backplate/wing)
- Flottabilité élevée
- Qualité
- Forme
- Redondance
- Passage de l'air

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Équipement

Bouteilles
Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures



Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Équipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures



Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la
décompression

Équipement

Bouteilles
Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Débiteurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et
procédures

Caractéristiques:

- Matériel bien entretenu
- Débiteurs compensés
- Longueurs des tuyaux adaptées
- Tuyau de 1.5-2m (longhose)

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Équipement

Bouteilles
Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détenueurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures

Bi-bouteilles :

- Droite:
 - Longhose
 - LPi
- Gauche
 - Octopus (necklace)
 - Manomètre
 - LPi (combinaiston étanche)

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

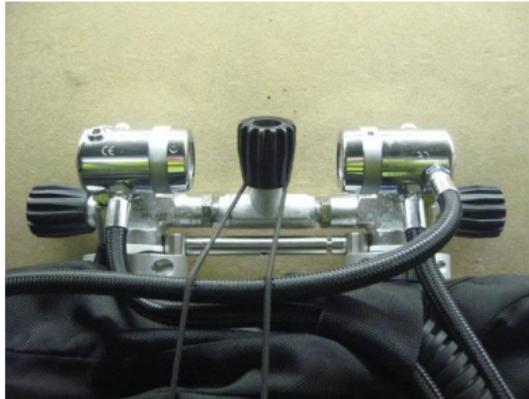
Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures



Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures



Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Équipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Débiteurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures

Sidemount:

- Droite:
 - Longhose
 - Manomètre
 - LPi (combinaison étanche)
- Gauche
 - Octopus (necklace)
 - Manomètre
 - LPi

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Équipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Débiteurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

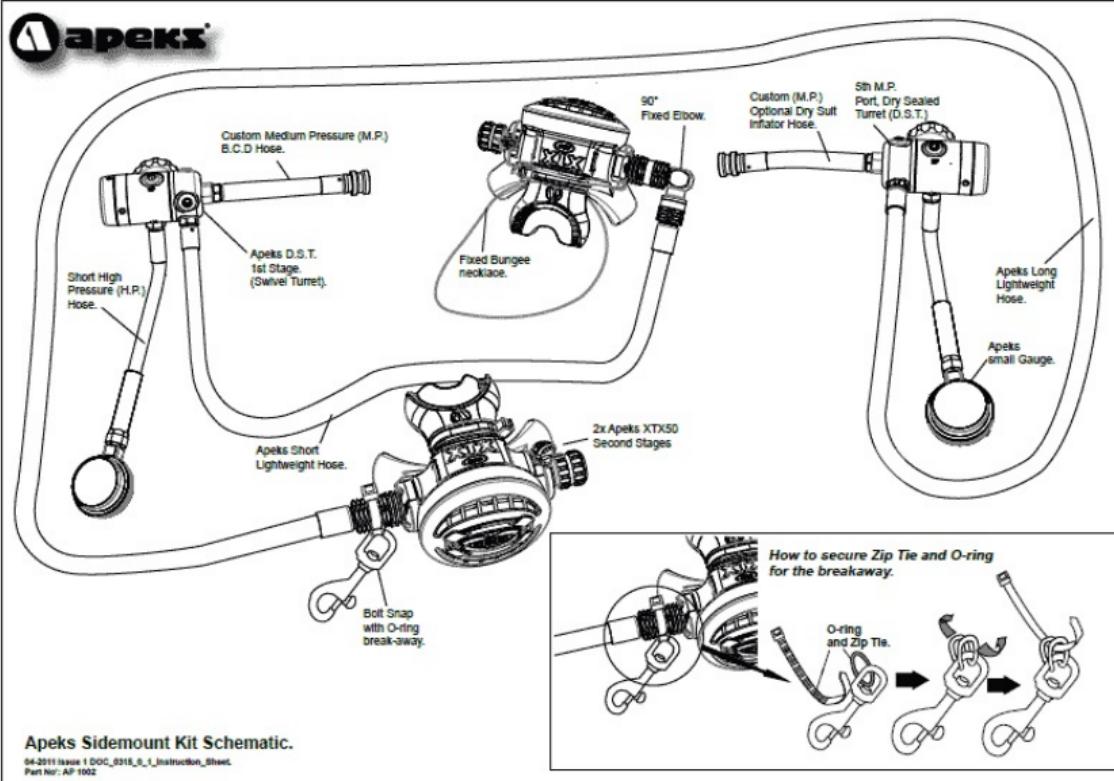
Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures



Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palms

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures

Caractéristiques:

- Robustes
- Rigides
- Sangle ressort

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures



Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures



Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures

Caractéristiques:

- Accessibles!
- Efficaces
- Redondance

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures



Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures



Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures

Caractéristiques:

- Facile d'utilisation!
- Ne s'ouvre pas automatiquement
- Ne rouille pas (inox ou laiton)
- Ne se bloque pas (entretien)
- Pas de connection métal sur métal!!!
- Utilisation de corde nylon

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures



Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures



Couteaux - Pas bien!

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures



Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Bouteilles
Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévideoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures

Caractéristiques:

- Facile d'utilisation!
- Simple
- Pas (peu) de partie(s) mobile(s)
- Ne s'emmèle pas
- Longueur suffisante

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Équipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures



Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévideoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures



Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Bouteilles
Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures

Caractéristiques:

- Visibles
- Volume adapté (redondance de flottabilité?)
- Couleur:
 - Orange: signalisation
 - Jaune: Urgence!
- Longeur de corde
- Utilisation d'un dévidoir!!!

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévideoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures



Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la
décompression

Équipement

Bouteilles
Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et
procédures

Configuration:

- Corde en nylon
- Deux bolt snaps
- Un seul deuxième étage
- Un manomètre
- Elastiques pour tenir les tuyaux en place

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévideoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures



Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la
décompression

Equipement

Bouteilles
Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et
procédures

Annotation:

- Mélange utilisé
- Profondeur maximale d'utilisation (MOD)
- Nom du plongeur
- Suivre la loi nationale

Bouteille de décompression

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Techniques et procédures



Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Bouteilles

Robinetterie

Systèmes de flottabilité

Détendeurs

Palmes

Couteaux

Quincaillerie

Dévidoirs

Marqueurs de surface

Bouteille de décompression

Résumé

Résumé:

- Ranger son matériel
- Ne prendre que le NECESSAIRE!
- Favorisé l'hydrodynamisme
- KISS: Keep It Simple Stupid
- ...
- Et tout doit être de couleur noire!!!

Techniques et procédures

Introduction
Physique
Physiologie
Théorie de la décompression
Equipement
Techniques et procédures
Flottabilité
Trim
Propulsion
Conscience et perception
Communication
Changement de gaz

Techniques et procédures

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Techniques et procédures

Flottabilité

Trim

Propulsion

Conscience et perception

Communication

Changement de gaz

Trois techniques de base:

- FLOTTABILITÉ
- TRIM (position)
- PROPULSION (palmage)

Flottabilité

Habilité à maintenir une position constante dans la colonne d'eau

Techniques:

- BCD principalement
- Poumons ballast
- Combinaison étanche
- Pression des bouteilles

Bénéfices:

- Économie d'énergie
- Éfficacité des paliers
- Protection des fonds marins,
- ...

Trim

Orientation et position du corps dans la colonne d'eau

Corps plat, genoux plié, bras en avant, tête relevée

Changements:

- Direction de voyage
- Lestage
- Air dans la wing
- Combinaison étanche
- Pression des bouteilles

Bénéfices:

- Économie d'énergie
- Éfficacité des paliers
- Protection des fonds marins,
- ...

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Techniques et procédures

Flottabilité

Trim

Propulsion

Conscience et perception

Communication

Changement de gaz



Propulsion

Habilité à se déplacer dans la colonne d'eau

Techniques:

- Frog kick
- Frog kick modifié
- Back kick
- Helicopter turn
- Flutter kick
- Pull and glide

Bénéfices:

- Économie d'énergie
- Facilité de déplacement
- Maitrise du positionnement
- Protection des fonds marins,
- ...

[Introduction](#)[Physique](#)[Physiologie](#)[Théorie de la décompression](#)[Équipement](#)[Techniques et procédures](#)[Flottabilité](#)[Trim](#)[Propulsion](#)[Conscience et perception](#)[Communication](#)[Changement de gaz](#)

Frog kick:

Utilisé en permanence

1. Garder son trim horizontal
2. Palmes à plat, parallèles au sol
3. Angles des genoux entre 90° et 120°
4. Ouvrir les chevilles
5. Pousser en étendant et fermant les jambes, sans abaisser les genoux
6. Remettre les palmes à plat
7. Plier les genoux
8. ... et recommencer!

Frog kick modifié:

Utilise uniquement les chevilles

1. Garder son trim horizontal
2. Palmes à plat, parallèles au sol
3. Angles des genoux entre 90° et 120°
4. Ouvrir les chevilles en gardant les talons ensemble
5. Fermer les chevilles (applaudir avec les pieds)
6. Remettre les palmes à plat
7. ... et recommencer!

Back kick

Le plus important!

Permet de se stabiliser et garder sa position

1. Garder son trim horizontal
2. Angles des genoux entre 90° et 120°
3. Etendre les genoux EN GARDANT LES PALMES A PLAT!
(des palmes qui remontent entraîne un mouvement en avant)
4. Ouvrir les chevilles
5. Replier le bas des jambes en garder les genoux au même niveau
6. Ramener les genoux et pieds ensemble
7. ... et recommencer!

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Équipement

Techniques et procédures

Flottabilité

Trim

Propulsion

Conscience et perception

Communication

Changement de gaz

Helicopter turn

- Permet de pivoter sur soi-même
- Frog kick d'une seule jambe
- Back kick modifié d'une seule jambe
(utilise le dessus de la palme)

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Techniques et procédures

Flottabilité

Trim

Propulsion

Conscience et perception

Communication

Changement de gaz

La véritable attention est composée de trois caractéristiques:

- La conscience personnelle
- La conscience globale
- La conscience situationnelle

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Techniques et procédures

Flottabilité

Trim

Propulsion

Conscience et perception

Communication

Changement de gaz

Conscience personnelle:

- Respiration
- Flottabilité
- Trim
- Propulsion
- Equipement hydrodynamique
- Reserve d'air
- Profondeur, temps
- Planification
- ...

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Techniques et procédures

Flottabilité

Trim

Propulsion

Conscience et perception

Communication

Changement de gaz

Conscience globale:

- Position par rapport aux autres membres de l'équipe
- Contrôle des autres membres (équipement, consommation, état mental)
- Emplacement sur le site de plongée
- Techniques adaptées au milieu (palmage)
- Dangers environnants (ligne, fillets, ...)
- ...

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Techniques et procédures

Flottabilité

Trim

Propulsion

Conscience et perception

Communication

Changement de gaz

Conscience situationnelle: Anticipation

- Consommation adaptée me permettant de continuer la plongée
- Possibilité de retourner aux bouteilles de décompression
- Courant affectant mon trajet de retour
- Anticipation de problèmes
- Limite de non-décompression
- ...

Introduction
Physique
Physiologie
Théorie de la décompression
Equipement
Techniques et procédures
Flottabilité
Trim
Propulsion
Conscience et perception
Communication
Changement de gaz

Plusieurs types de communication

- Positionnement
- Lampe
- Mains
- Écrite
- Verbale

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Techniques et procédures

Flottabilité

Trim

Propulsion

Conscience et perception

Communication

Changement de gaz

Positionnement

- Positionnement par rapport aux membres de l'équipe
- Côte-à-côte ou en V (mouvement)
- Face-à-face (statique)

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Équipement

Techniques et procédures

Flottabilité

Trim

Propulsion

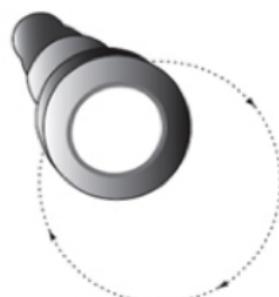
Conscience et perception

Communication

Changement de gaz

Lampe:

Ok, tout va bien:



Besoin d'attention:



Urgence:



Signes:

Introduction
Physique
Physiologie
Théorie de la décompression
Equipement
Techniques et procédures
Flottabilité
Trim
Propulsion
Conscience et perception
Communication
Changement de gaz



"ONE"



"TWO"



"THREE"



"FOUR"



"FIVE"



"SIX"



"SEVEN"



"EIGHT"



"NINE"



"ZERO"

Introduction
Physique
Physiologie
Théorie de la décompression
Equipement
Techniques et procédures
Flottabilité
Trim
Propulsion
Conscience et perception
Communication
Changement de gaz



"OK"



"END OF DIVE "



"HOLD"



"PROBLEM"

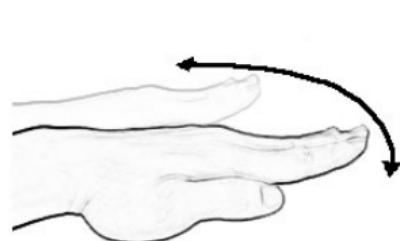


"NO"

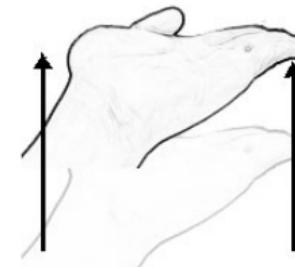


"QUESTION"

Introduction
Physique
Physiologie
Théorie de la décompression
Equipement
Techniques et procédures
Flottabilité
Trim
Propulsion
Conscience et perception
Communication
Changement de gaz



"LEVEL OFF"



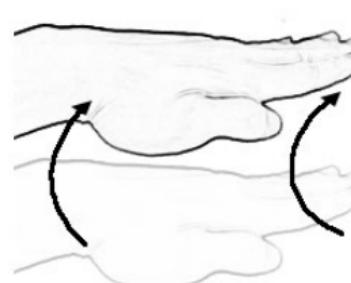
"UP"



"DOWN"



"DECO"

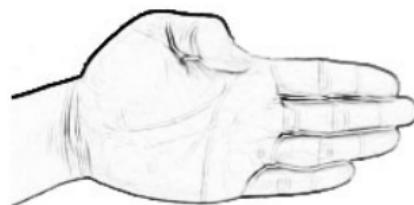


"UP TO NEXT STOP"



"SWITCH"

Introduction
Physique
Physiologie
Théorie de la décompression
Equipement
Techniques et procédures
Flottabilité
Trim
Propulsion
Conscience et perception
Communication
Changement de gaz



"DIRECTION OF TRAVEL"



"TURN AROUND"



"WAY TO THE SURFACE"

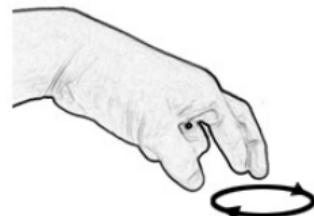
Introduction
Physique
Physiologie
Théorie de la décompression
Equipement
Techniques et procédures
Flottabilité
Trim
Propulsion
Conscience et perception
Communication
Changement de gaz



"LINE"



"REEL"



"TIE"



"ENTANGLEMENT"



"JUMP"

Introduction

Physique

Physiologie

Théorie de la décompression

Equipement

Techniques et procédures

Flottabilité

Trim

Propulsion

Conscience et perception

Communication

Changement de gaz

TDI: MODS

- M Mix
- O Open
- S Switch

PADI: NOTOX

- N Noter (information sur la bouteille)
- O Observer (profondeur actuelle)
- T Tourner (ouvrir la robinetterie)
- O Orienter (le deuxième étage)
- X Echanger et contrôler