



BREVET 2 *

Accidents mécaniques et toxiques





Objectif du cours

Comprendre et connaître les accidents de plongée et les facteurs favorisant, savoir les prévenir, les identifier et les traiter





Plan du cours

Accidents mécaniques

1. Loi physique Boyle et Mariotte + cavités d'air
2. Les barotraumatismes
3. Conclusions

Accidents toxiques

1. Loi de Dalton
2. Accidents dûs à l'azote
3. Accidents dûs à l'oxygène
4. Accidents dûs au CO₂
5. Accidents dûs au CO
6. Apnée
7. Loi de Henry
8. Les ADD
9. Déshydratation
10. Noyade
11. Température
12. Conclusions



Rappel Boyle-Mariotte



La loi de Boyle-Mariotte dit que le volume occupé par un gaz est inversement proportionnel à la pression qu'il subit.

En termes simples: quand on remonte en plongée, la pression diminue et donc les gaz que nous avons dans le corps se dilatent.

Les barotraumatismes sont liés à la présence de poches 'd'air' dans le corps.



Cavités d'air



Où y a-t-il de l'air dans le corps?

- poumons et système respiratoire en général
- os poreux: sinus frontaux
- oreilles
- intestins
- dent mal chaussée
- pas dans le corps mais lié: dans le masque



Plan du cours

Accidents mécaniques

1. Loi physique Boyle et Mariotte + cavités d'air
2. Les barotraumatismes
3. Conclusions

Accidents toxiques

1. Loi de Dalton
2. Accidents dûs à l'azote
3. Accidents dûs à l'oxygène
4. Accidents dûs au CO₂
5. Accidents dûs au CO
6. Apnée
7. Loi de Henry
8. Les ADD
9. Déshydratation
10. Noyade
11. Température
12. Conclusions



Surpression pulmonaire



Blocage de la respiration en remontant, très grave!

Lésions des poumons pouvant aller jusqu'à la mort!

Différents symptômes (voir diapo suivant)

Prévention: tête vers le haut lors de la remontée, dégager les voies respiratoires.

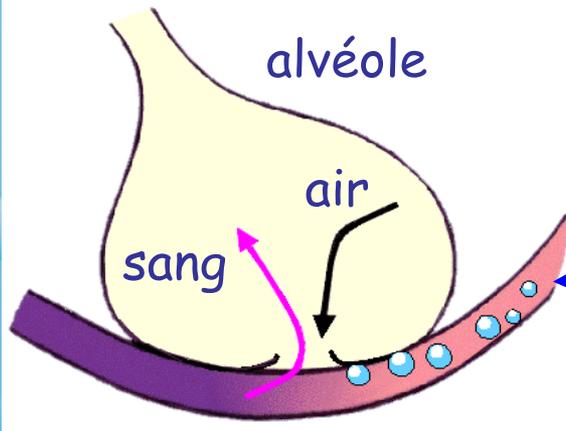
La surpression pulmonaire

**Remontée
expiration bloquée**

**Embolie
cérébrale**

Atteintes des alvéoles

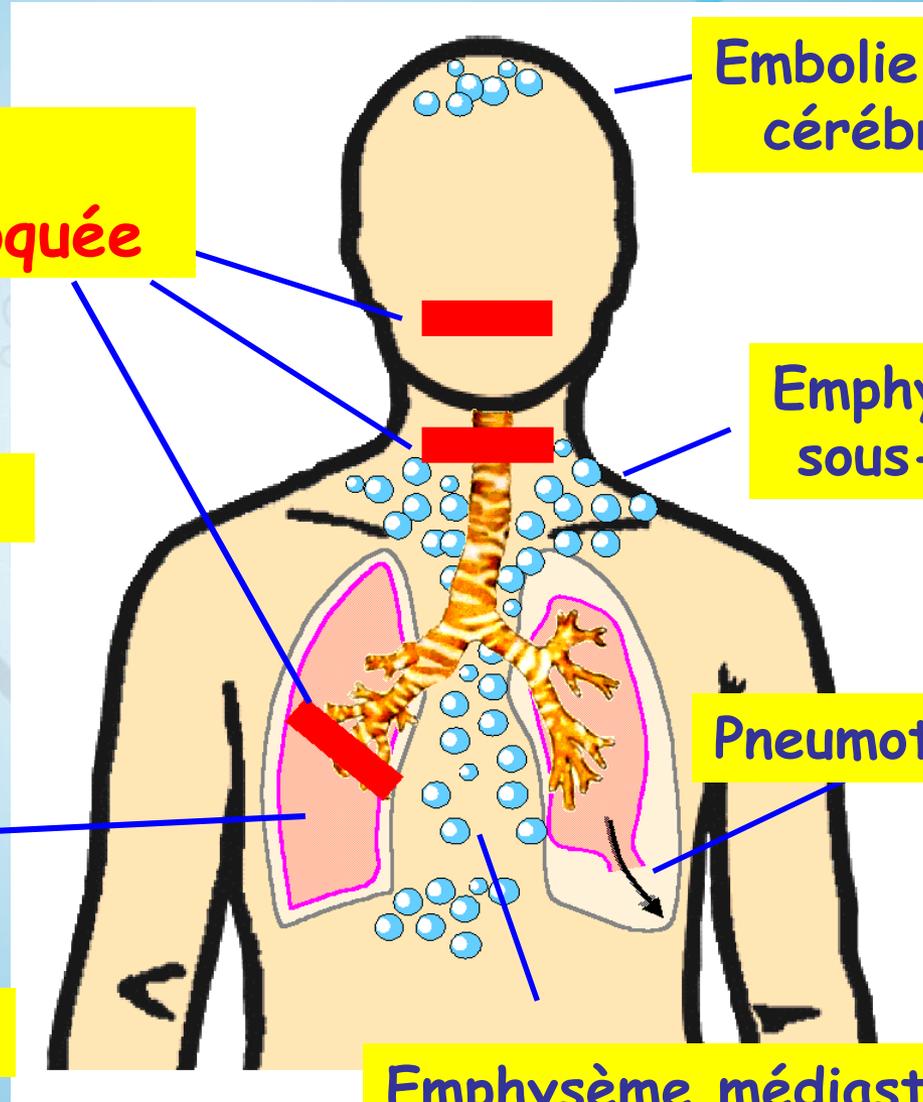
**Emphysème
sous-cutané**



Pneumothorax

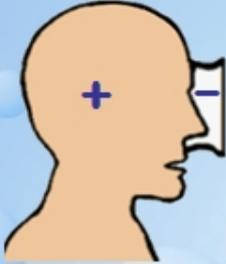
Aéroembolie

Emphysème médiastinal

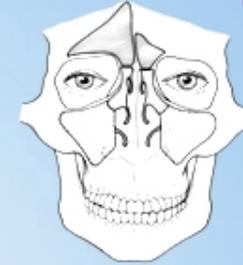


Barotraumatismes

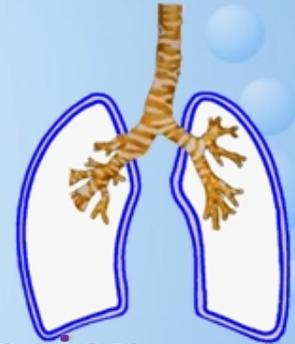
Placage de masque



Sinus bouchés



Surpression pulmonaire

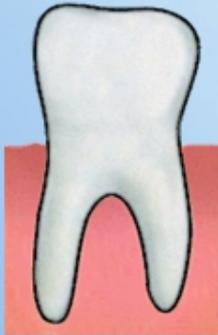


Colique

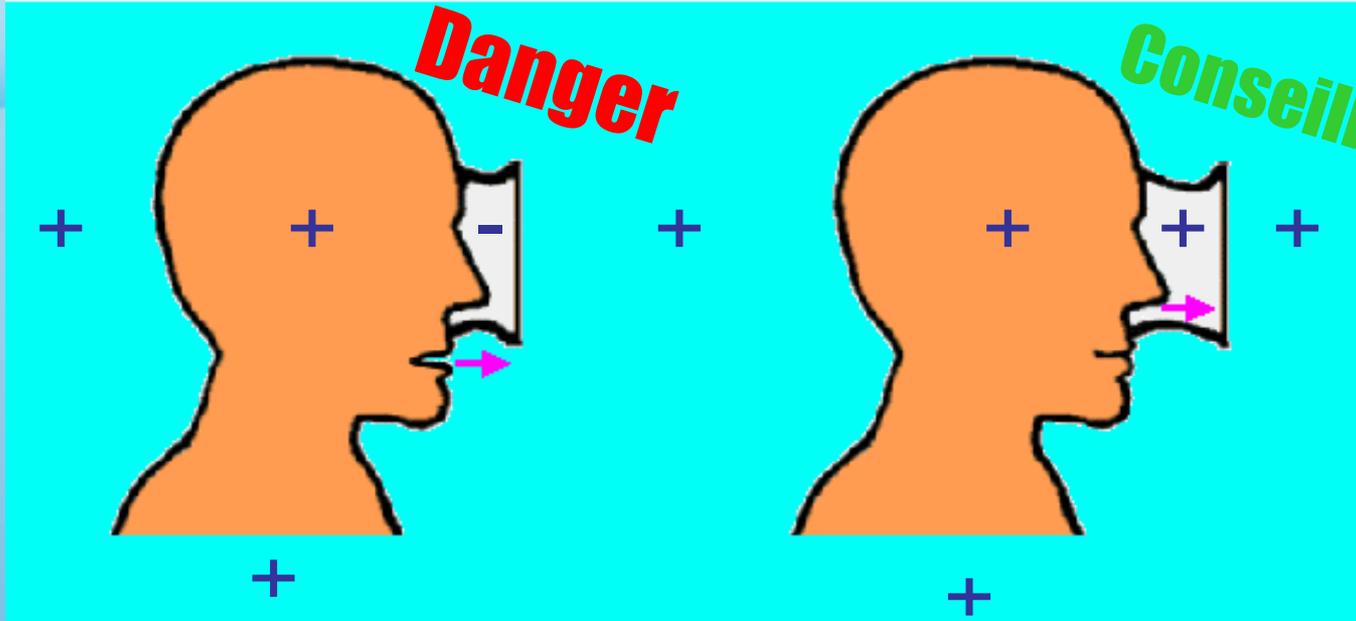
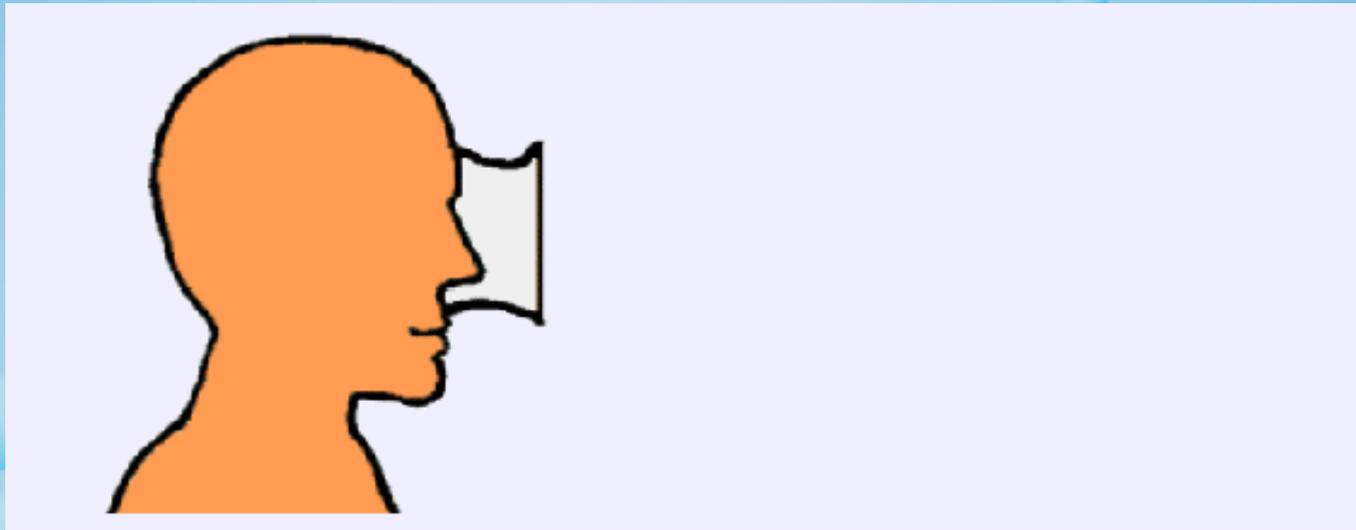
Là où il y a de l'air
il y a un risque

Rupture de tympan

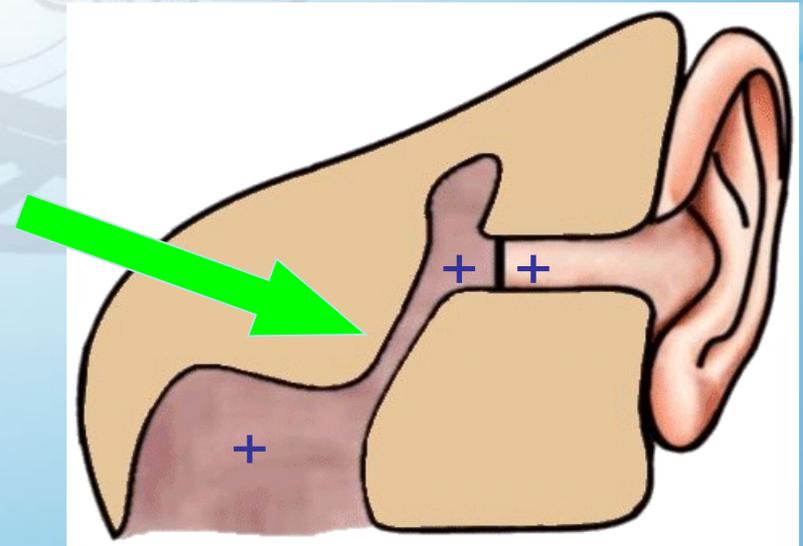
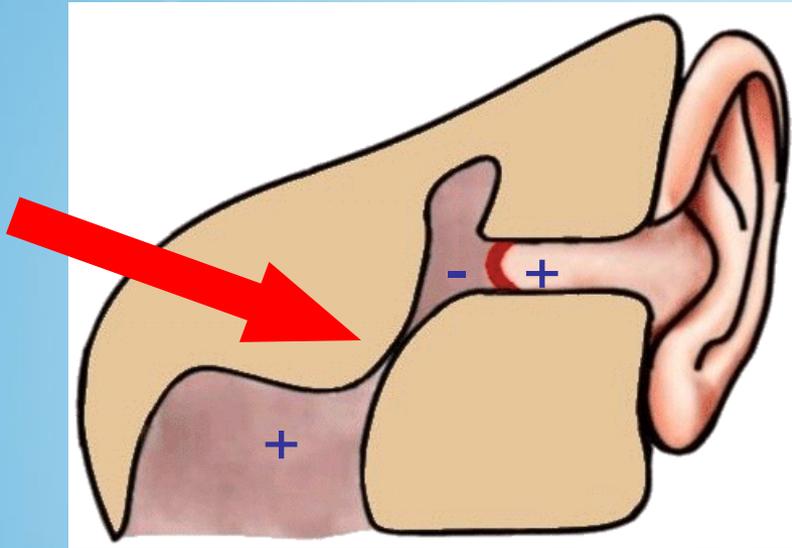
Dent mal
chaussée



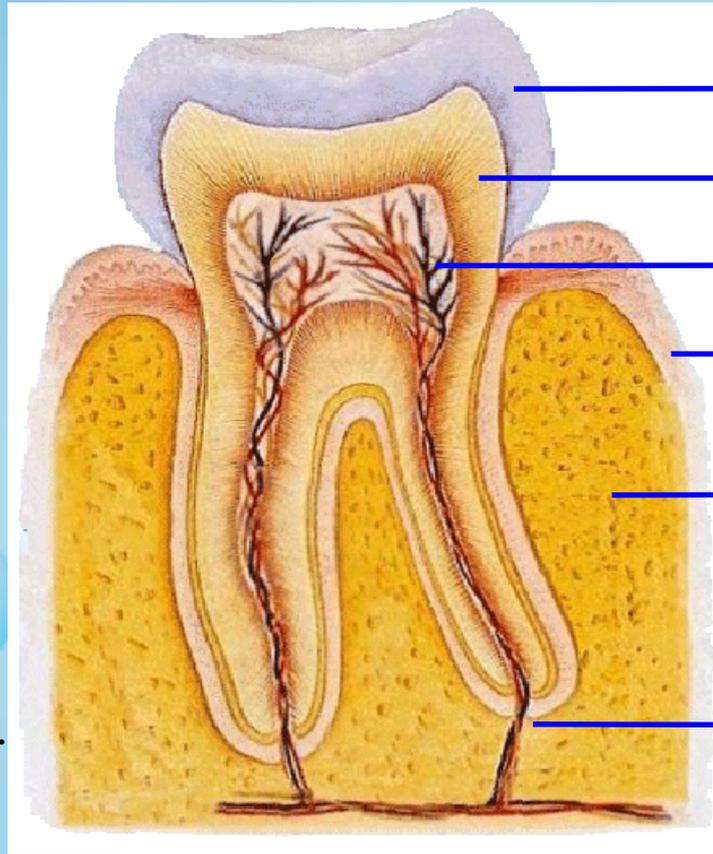
L'effet ventouse du masque



Barotraumatisme du tympan



Barotraumatisme dentaire



émail

dentine

pulpe

gencive

os

vaisseaux sanguins, nerfs

racine

- 1) Descente : une carie mal obturée peut se remplir d'air
- 2) En cours de plongée : le passage de l'air peut se boucher (par exemple si le plombage bouge)
- 3) Remontée : dilatation, douleur... explosion



Plan du cours

Accidents mécaniques

1. Loi physique Boyle et Mariotte + cavités d'air
2. Les barotraumatismes
3. Conclusions

Accidents toxiques

1. Loi de Dalton
2. Accidents dûs à l'azote
3. Accidents dûs à l'oxygène
4. Accidents dûs au CO₂
5. Accidents dûs au CO
6. Apnée
7. Loi de Henry
9. Les ADD
10. Déshydratation
11. Noyade
12. Température
13. Conclusions



Accidents mécaniques

Conclusions

- Pensez à la combinaison de loi de Boyle-Mariotte et à la localisation des cavités d'air
- La surpression pulmonaire est le plus grave barotraumatisme, toujours laisser les voies respiratoires en extension lors de la remontée
- Veillez à plonger en bon état de santé (pas de rhume etc.)



Plan du cours

Accidents mécaniques

1. Loi physique Boyle et Mariotte + cavités d'air
2. Les barotraumatismes
3. Conclusions

Accidents toxiques

1. Loi de Dalton
2. Accidents dûs à l'azote
3. Accidents dûs à l'oxygène
4. Accidents dûs au CO₂
5. Accidents dûs au CO
6. Apnée
7. Loi de Henry
8. Les ADD
9. Déshydratation
10. Noyade
11. Température
12. Conclusions



Les mélanges de gaz : Loi de Dalton

- A température constante,
- la pression absolue d'un mélange gazeux
- est égale
- à la somme des pressions « partielles »
- qu'auraient ces gaz s'ils occupaient seuls le volume total.



$$P_p = P.Abs \cdot X = \frac{X}{100}$$



Loi de dalton



S'applique aux gaz contenus dans l'air, principalement l'azote (N₂) et d'oxygène (O₂).

Loi simple qui dit qu'on peut considérer les gaz individuellement. En gros:

1 bar d'air = 0,2 bar d'oxygène et 0,8 bar d'azote

2 bars d'air = 0,4 bar oxygène + 1,6 bar azote
etc.

Question: quelle est la pression partielle de l'oxygène à 30 mètres?

Réponse: $4 \times 0,2 = 0,8$ bar



Limites de toxicité des gaz

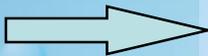


Il existe des concentrations limites à ne pas dépasser pour chaque gaz. Elles sont différentes.

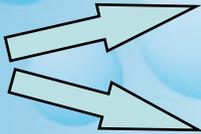
Pourquoi? C'est comme ça. Le corps humain n'est pas fait pour subir des élévations de concentrations importantes de ces gaz et le système nerveux y est sensible!

Attention c'est sérieux: convulsions, troubles de comportement...

Limites de toxicité des gaz



TOXIQUE à Pp 6,4 bar (= profondeur 70 m)



Pp MIN 0,17 bar

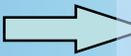


HYPOXIE

Pp MAX 1,6 bar



Hyperoxie



TOXIQUE à Pp:

- 0,04 bar : début essoufflement, céphalées
- 0,06 bar : essoufflement grave, incontrôlable
- 0,08 bar : coma, mort

Attention : ces chiffres sont conventionnels : ils varient d'un individu à l'autre, et avec les circonstances (froid, luminosité, état de fatigue, effort, ...)



Plan du cours

Accidents mécaniques

1. Loi physique Boyle et Mariotte + cavités d'air
2. Les barotraumatismes
3. Conclusions

Accidents toxiques

1. Loi de Dalton
2. Accidents dûs à l'azote
3. Accidents dûs à l'oxygène
4. Accidents dûs au CO₂
5. Accidents dûs au CO
6. Apnée
7. Loi de Henry
8. Les ADD
9. Déshydratation
10. Noyade
11. Température
12. Conclusions



Toxicité à l'azote



Symptôme: narcose ou ivresse des profondeurs

Effet proportionnel à la profondeur, commence à 30-40m

Symptômes similaire à abus d'alcool:

- euphorie
- hébètement
- baisse de la concentration
- sûr de soi
- ne se sent plus responsable, plus d'attention
- panique
- perte de conscience en grande profondeur



Toxicité à l'azote



Effets aggravants

Manque de sommeil

Alcool (évidemment)

Effort car augmentation du taux de CO₂

Traitement

Remonter à 10m/min, la Pp N₂ diminuera

L'effet disparaît, on peut continuer la plongée

Pas de séquelle

Plan du cours

Accidents mécaniques

1. Loi physique Boyle et Mariotte + cavités d'air
2. Les barotraumatismes
3. Conclusions

Accidents toxiques

1. Loi de Dalton
2. Accidents dûs à l'azote
3. Accidents dûs à l'oxygène
4. Accidents dûs au CO₂
5. Accidents dûs au CO
6. Apnée
7. Loi de Henry
8. Les ADD
9. Déshydratation
10. Noyade
11. Température
12. Conclusions



Toxicité à l'oxygène



On ne parlera pas dans ce cours de l'effet Lorrain Smith dû à une exposition prolongée à l'O₂, pas pertinent pour plongeur.

Par contre l'effet Paul Bert doit être mentionné. Autant l'oxygène est bénéfique dans le secourisme qu'une exposition à une Pp > 1,6 bar (équivalent à environ 67m) devient toxique pour le corps (système nerveux) !



Symptômes d'hyperoxie – effet Paul Bert, grave et pertinent pour plongée

Truc: CENTAVIVO

C onvulsions

E uphorie

N ausées

T Tremblements, contractions musculaires

A nxiété

V ision (effet tunnel)

I rritabilité

V ertiges

O reilles

NB: certains symptômes communs avec narcose



Traitements de l'hyperoxie



Dès que signes CENTAVIVO apparaissent, remonter et terminer la plongée (sauf si convulsion car risque de surpression pulmonaire).

NB: l'hyperoxie en elle-même ne laisse pas de séquelles au niveau du cerveau



Hypoxie et anoxie?



On est dans le cas de figure inverse, trop peu d'O₂.
Comment ça peut arriver en plongée? Surpression
pulmonaire, noyade, ADD, intoxication au CO, panne
d'air, état de choc... En bref il n'y a plus assez d'O₂ pour
oxygéner les cellules du corps -> lésions

Symptôme: dans tous les cas (sauf CO), aspect bleuté de la peau. Commence à 0.16 bar: lèvres, visage, doigts.
Si PpO₂ < 0.10 bar, perte de connaissance, coma, mort.

Traitement: donner de l'oxygène



Plan du cours

Accidents mécaniques

1. Loi physique Boyle et Mariotte + cavités d'air
2. Les barotraumatismes
3. Conclusions

Accidents toxiques

1. Loi de Dalton
2. Accidents dûs à l'azote
3. Accidents dûs à l'oxygène
4. Accidents dûs au CO₂
5. Accidents dûs au CO
6. Apnée
7. Loi de Henry
8. Les ADD
9. Déshydratation
10. Noyade
11. Température
12. Conclusions



Intoxication au CO₂ - hypercapnie

Pourquoi trop de CO₂? Causes exogènes (cause externe)
et causes endogènes (dans le corps)

Causes exogènes: tuba (volume mort); mauvais
remplissage bouteille (source de CO₂ à l'aspiration)

Causes endogènes: effort!



Intoxication au CO₂ - hypercapnie



Symptômes: halètement, mauvaise respiration, essoufflement.

Traitement en plongée: arrêter l'effort, rassurer, respirations profondes, remonter un peu. Si pas d'amélioration arrêter la plongée en remonter en surface.

Incident.

Traitement en surface: oxygène

Prévention: connaître ses limites, bonne forme physique, pas de problème médicaux affectant la respiration, attention fumeurs, ne pas paniquer (d'où le long apprentissage plongée), se protéger du froid, bien se lester, contrôler sa respiration, avertir CP.



Plan du cours

Accidents mécaniques

1. Loi physique Boyle et Mariotte + cavités d'air
2. Les barotraumatismes
3. Conclusions

Accidents toxiques

1. Loi de Dalton
2. Accidents dûs à l'azote
3. Accidents dûs à l'oxygène
4. Accidents dûs au CO₂
5. Accidents dûs au CO
6. Apnée
7. Loi de Henry
8. Les ADD
9. Déshydratation
10. Noyade
11. Température
12. Conclusions



Intoxication au CO

CO? Gaz insipide, incolore, danger caché. Dû à mauvaise combustion.

Le CO se fixe 300 fois plus facilement sur les globules rouges que l'O₂! Il prend sa place et se fixe fortement.

Donc danger d'hypoxie.

Symptômes: en plongée on ne remarque pas car l'O₂ dissous fait fonction, mais à la remontée le corps a besoin de l'O₂ fixé sur hémoglobine. Symptômes varient en fonction de la concentration en CO.



Intoxication au CO



Symptômes:

- léger ou sérieux mal de tête
- vertiges
- nausées, vomissement
- teint rouge et lèvres rouges cerise (car hémoglobie saturée en CO)!
- faiblesse musculaire, crampes
- pouls rapide, respiration rapide
- perte de connaissance et mort



Intoxication au CO



Traitements:

- amener victime dans lieu bien aéré
- O2 à 100%
- appeler les secours

NB: dans les cas graves des transfusions sanguines sont parfois nécessaire + traitement caisson!



Plan du cours

Accidents mécaniques

1. Loi physique Boyle et Mariotte + cavités d'air
2. Les barotraumatismes
3. Conclusions

Accidents toxiques

1. Loi de Dalton
2. Accidents dûs à l'azote
3. Accidents dûs à l'oxygène
4. Accidents dûs au CO₂
5. Accidents dûs au CO
6. Apnée
7. Loi de Henry
8. Les ADD
9. Déshydratation
10. Noyade
11. Température
12. Conclusions



Dangers de la plongée libre (apnée)

En apnée on ne respire pas de gaz sous pression, alors pourquoi y a-t-il danger?

C'est lié à la concentration de CO₂.

Hyperventilation et syncope en piscine:

- mauvaise respiration forcée
- pas plus d'O₂ mais moins de CO₂
- la concentration de CO₂ donne le signal respiratoire
- pas assez de CO₂, le corps ne sait pas qu'il faut respirer alors qu'on a atteint des seuils trop faibles en O₂



Dangers de la plongée libre (apnée)

Prévention: limiter l'hyperventilation à environ 1/3 du temps nécessaire pour commencer les vertiges. Ne jamais faire de l'apnée seul.

Traitement

Retirer rapidement la victime de l'eau, RCP et administration de l'O₂.

En cas de noyade il faut l'amener à l'hôpital car le chlore de l'eau affecte le surfactant des alvéoles pulmonaires.



Plan du cours

Accidents mécaniques

1. Loi physique Boyle et Mariotte + cavités d'air
2. Les barotraumatismes
3. Conclusions

Accidents toxiques

1. Loi de Dalton
2. Accidents dûs à l'azote
3. Accidents dûs à l'oxygène
4. Accidents dûs au CO₂
5. Accidents dûs au CO
6. Apnée
7. Loi de Henry
8. Les ADD
9. Déshydratation
10. Noyade
11. Température
12. Conclusions



Loi de Henry



On imagine un gaz (air respiré) et un liquide (présent dans les tissus du corps).

- En surface le contenu en gaz de l'air est en équilibre avec le contenu dissous dans le corps
- Lorsque l'on descend en plongée, l'air respiré est à plus grande pression (ambiante)
- Les gaz de l'air vont donc aller se dissoudre dans les tissus pendant la plongée
- Plus on va profond et plus la concentration augmente
- A la remontée c'est l'effet inverse

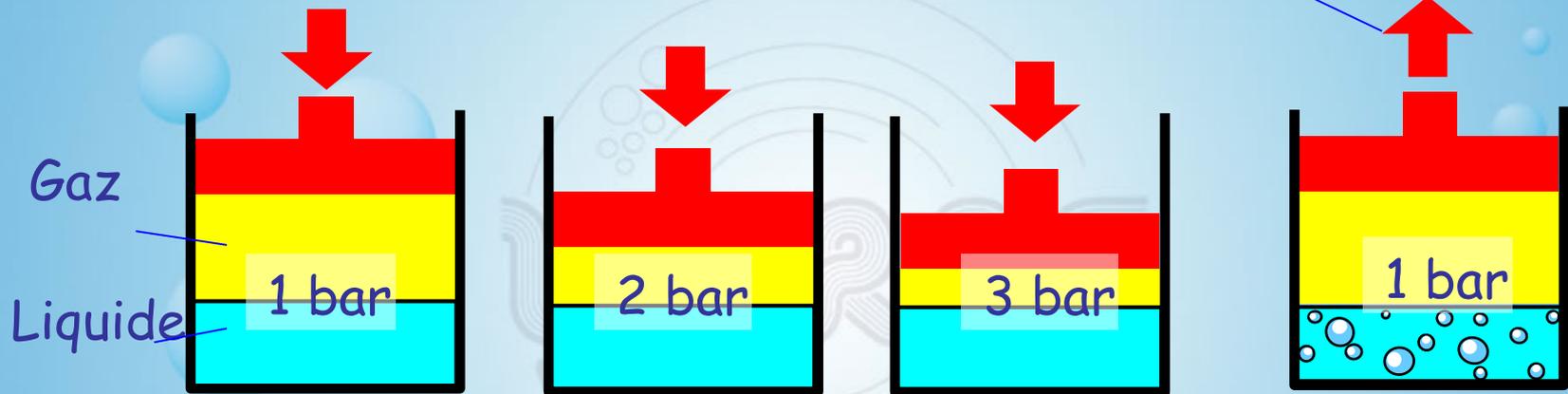


Loi de Henry : énoncé

- A température constante,
- à saturation (= à l'équilibre),
- la quantité de gaz dissout dans un liquide
- est proportionnelle
- à la pression exercée par le gaz à la surface de ce liquide.

L 'air que nous respirons est un mélange de gaz
Dans un mélange de gaz, ceux-ci se comportent indépendamment l'un de l'autre, et la loi de Henry est vraie pour chacun d'entre eux :
la quantité de gaz dissout est proportionnelle à la pression partielle de ce gaz dans le mélange.

Expérience : dissolution d'un gaz dans un liquide



Masse de gaz dissous (x) $M = 1$

$M = 2$

$M = 3$

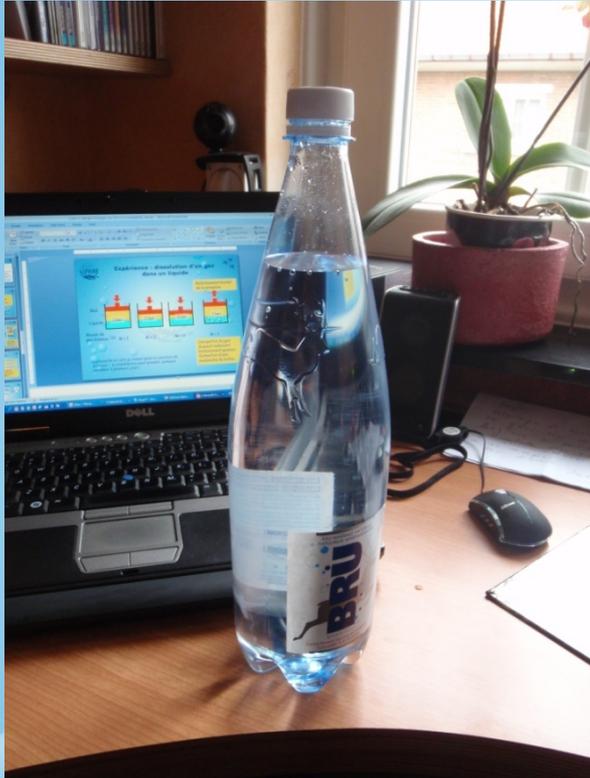
$M = 1$

(x) mesurée un certain temps après la variation de pression : la stabilisation peut prendre quelques secondes à plusieurs jours.

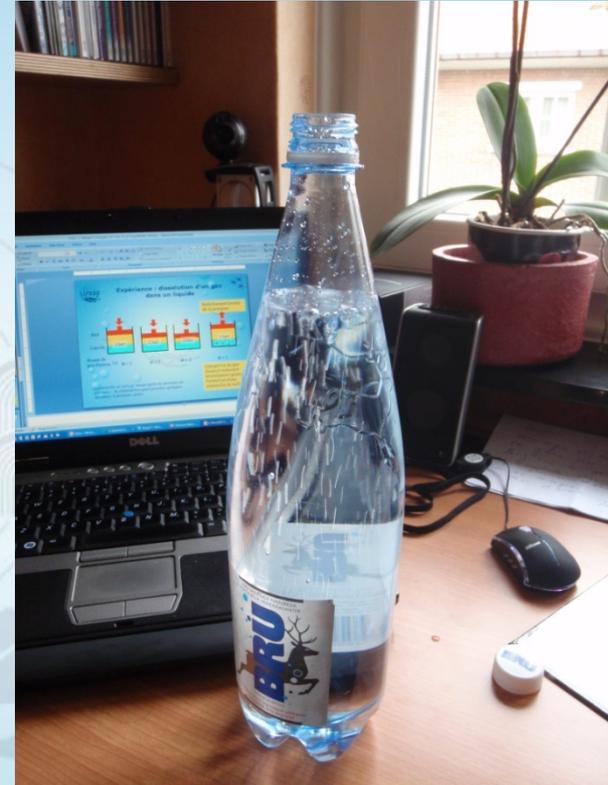
Relâchement brutal de la pression

Une partie du gaz dissout redevient brutalement gazeux: formation d'une avalanche de bulles

Expérience : dissolution d'un gaz dans un liquide



CO₂ dissous dans l'eau,
bouteille sous pression
Comme N₂ dissous dans
plongeur (sous pression) en plongée



Ouverture de la bouteille -> chute de pression,
CO₂ dissous se dégage en formant des bulles.
Imaginez dans le corps du plongeur
si remontée trop rapide!

Etat d'équilibre , états de déséquilibre

$$T < P$$

Sous-saturation (= déséquilibre)

$$T = P$$

Saturation (= équilibre)

$$T > P$$

Sursaturation (= déséquilibre)

$$T \gg P$$

Sursaturation CRITIQUE
= dangereux déséquilibre :

A tout moment, du gaz dissout
peut repasser brutalement
en phase gazeuse
(= former des bulles).

T = tension de vapeur de N₂:
pression à laquelle l'N₂
gazeux est en équilibre avec
l'N₂ dissous



Plan du cours

Accidents mécaniques

1. Loi physique Boyle et Mariotte + cavités d'air
2. Les barotraumatismes
3. Conclusions

Accidents toxiques

1. Loi de Dalton
2. Accidents dûs à l'azote
3. Accidents dûs à l'oxygène
4. Accidents dûs au CO₂
5. Accidents dûs au CO
6. Apnée
7. Loi de Henry
8. Les ADD
9. Déshydratation
10. Noyade
11. Température
12. Conclusions



**L'ADD – accident de décompression
ou MDD – maladie de décompression**

Les bulles d'azote sont dangereuses!

Accidents biophysiques

Rappel: Henry: quantité dissoute,

Boyle-Mariotte: grossissement



ADD



- Les ADD sont dûs à la formation de bulles dans le corps qui suit une trop brusque diminution de pression (remontée trop rapide).
- Il faut du temps pour que l'azote dissous dans le corps se dégage.
- Les différents tissus ont des cinétiques (vitesses) de saturation/ désaturation différentes.
- Des bulles se forment presque toujours, le tout est qu'elles restent de faible taille (micro bulles. NB: RGBM: algorithme d'ordis basé sur celles-ci)



Effets nocifs des bulles d' N_2



- Bulles stationnaires abîment les tissus, les compriment: douleurs localisées au niveau des articulations (Bends)
- Bulles circulantes: plus dangereuses car bloquent la circulation sanguine, problème d'oxygénation des tissus et de dégazage de l' N_2 .



Les ADD

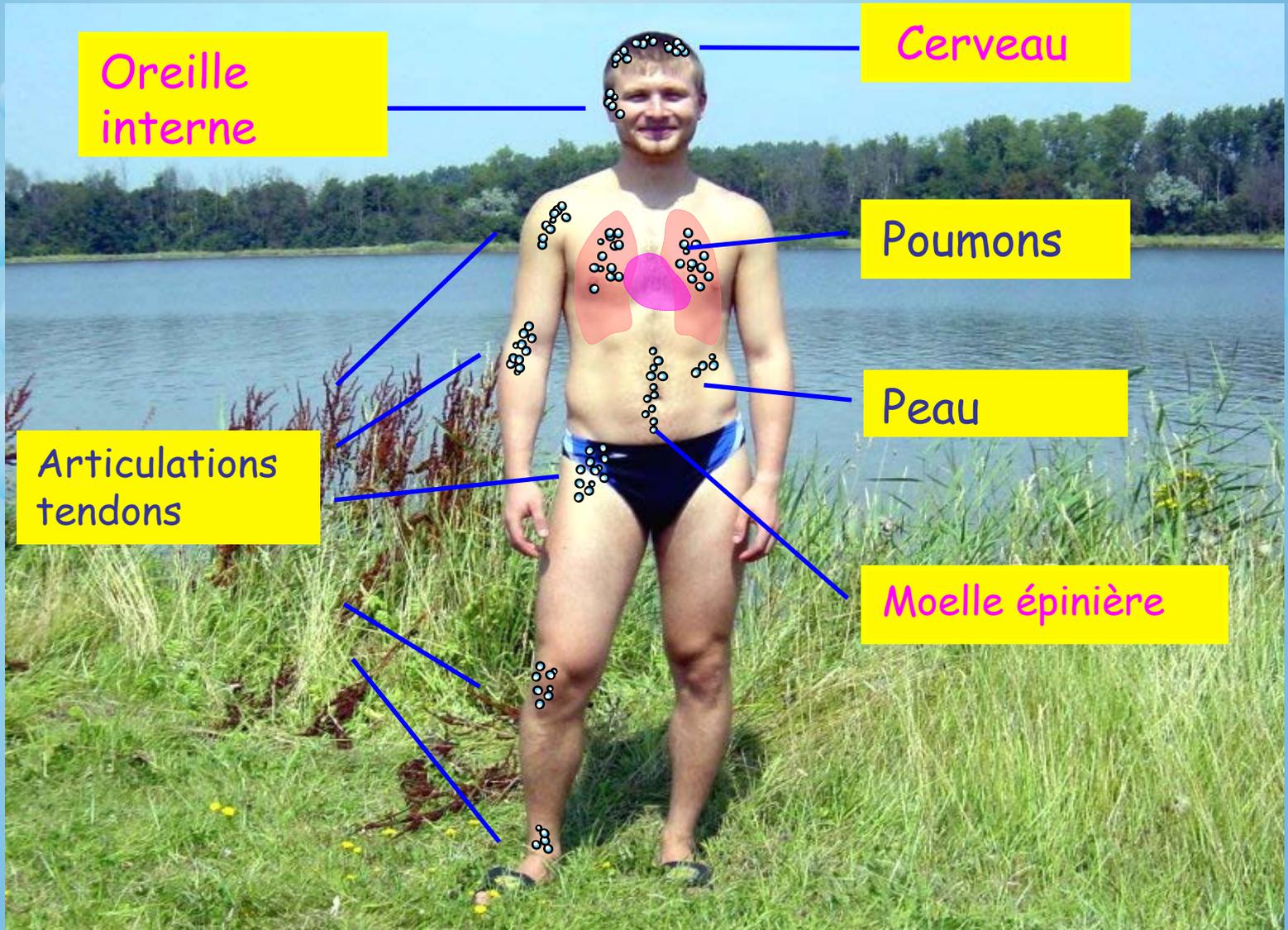


Dans 50% des cas dans la ½ heure qui suit la plongée (parfois même lors de la remontée), et 99% des cas dans les 6 heures.

Types d'incidents:

- incidents bénins: fatigue inhabituelle, malaise, démangeaisons (sans changement aspect peau)
- incidents graves: tout incident bénin qui ne disparaît pas après administration O₂ pendant 30 min.

Problèmes ADD: où?





Les ADD - Symptômes



2/3 des accidents sont neurologiques: les bulles d'azote se coincent dans:

- la moelle épinière (myéline très grasse) : douleurs dans le dos, insensibilité, marche difficile, paralysies!
- le cerveau: comme pour l'embolie cérébrale due aux bulles d'air (cfr cours précédent): troubles de la parole, de la vue, convulsions, paralysie



Les ADD - Symptômes



Autres symptômes:

- peau: puces (fait mal) et moutons (pas mal)
- articulations: les 'bends' (on se courbe) aux coudes, genoux etc. Ils apparaissent typiquement peu de temps après la sortie. Faut soigner sinon irréversibilité!
- oreille interne: bulle dans artère auditive, perte d'équilibre, bourdonnements, sifflements
- poumons: encombrement car dégazage massif, détresse respiratoire (chokes), douleur au niveau des poumons, difficulté de respirer



Les ADD – Facteurs de risque



- Non respect des règles: remontée trop rapide, plongée yo-yo
- Effort avant, pendant et après le plongée
- Température
- Déshydratation
- Age, sexe, fatigue, condition physique, obésité, FOP, tabac



Prévention de l' A D D

RESPECT
STRICT

de la limitation de la vitesse de remontée
des paliers
des procédures données dans les tables

EVITER

plongée yo-yo
efforts intenses et inutiles ...
avant, pendant, après la plongée
plongée libre - de 3 h avant ou
après une plongée à l'air comprimé

EVALUER,
DECIDER

plonger dans la courbe de non-paliers
si les circonstances présentent un
risque potentiel, et
palier de sécurité
si la T° et l'état de la mer le permettent



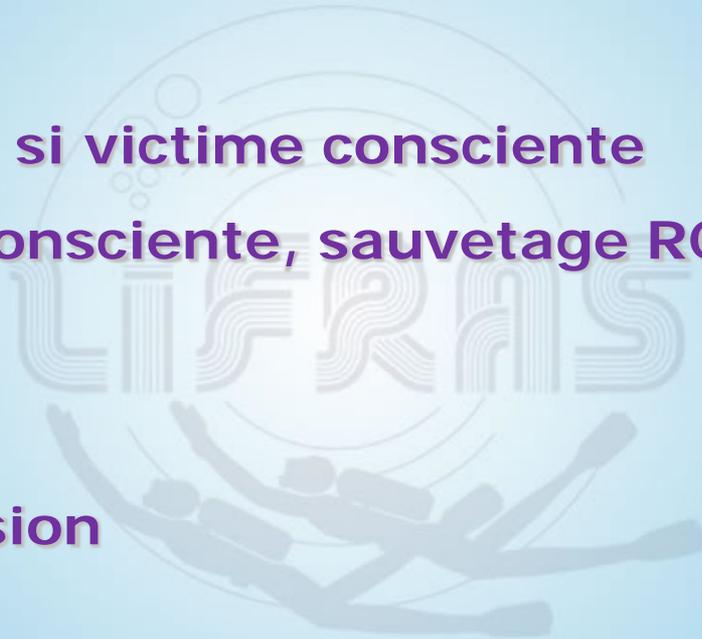
Les ADD – Traitement



- Si on soupçonne un ADD -> 112 et caisson
- Oxygène 100%
- Donner de l'eau si victime consciente
- Si victime pas consciente, sauvetage RCP

Pas d'aspirine

Pas de ré-immersion





Plan du cours

Accidents mécaniques

1. Loi physique Boyle et Mariotte + cavités d'air
2. Les barotraumatismes
3. Conclusions

Accidents toxiques

1. Loi de Dalton
2. Accidents dûs à l'azote
3. Accidents dûs à l'oxygène
4. Accidents dûs au CO₂
5. Accidents dûs au CO
6. Apnée
7. Loi de Henry
8. Les ADD
9. Déshydratation
10. Noyade
11. Température
12. Conclusions



Déshydratation



Pourquoi un problème? Car épaissement du sang, moins bonne circulation et dissolution des gaz -> plus de risque d'ADD.

Comment on se déshydrate en plongée?

- pression de l'eau en immersion, le sang de la périphérie migre vers le centre du corps, plus d'urine
- froid
- transpiration
- hypercapnie (CO₂ influe sur une hormone anti diurétique)
- respiration

Plan du cours



Accidents mécaniques

1. Loi physique Boyle et Mariotte + cavités d'air
2. Les barotraumatismes
3. Conclusions

Accidents toxiques

1. Loi de Dalton
2. Accidents dûs à l'azote
3. Accidents dûs à l'oxygène
4. Accidents dûs au CO₂
5. Accidents dûs au CO
6. Apnée
7. Loi de Henry
8. Les ADD
9. Déshydratation
10. Noyade
11. Température
12. Conclusions



La noyade



Cause fréquente de mort en plongée, associée à l'hypoxie. Mort par asphyxie, dans l'eau. S'il est pas mort il n'est pas noyé, donc pré-noyade.

- En général peu d'eau dans les poumons.
- Teint bleuté de la peau car manque d'O₂
- Arrêt respiratoire? RCP, O₂ et hôpital
- Pas grave? Se méfier car si eau dans poumons problèmes retardés possibles (noyade retardée si eau salée, destruction surfactant alvéolaire si chlore et même si eau douce)



Plan du cours

Accidents mécaniques

1. Loi physique Boyle et Mariotte + cavités d'air
2. Les barotraumatismes
3. Conclusions

Accidents toxiques

1. Loi de Dalton
2. Accidents dûs à l'azote
3. Accidents dûs à l'oxygène
4. Accidents dûs au CO₂
5. Accidents dûs au CO
6. Apnée
7. Loi de Henry
8. Les ADD
9. Déshydratation
10. Noyade
11. Température
12. Conclusions



La température

- Notre corps se régule pour maintenir une T° de 37°C
- Hypothermie si T° centrale < 35°C
- Facile de se refroidir dans l'eau, aucune mer à 37°C!
- L'eau conduit la chaleur (froid) 23x mieux que l'air!
- Compensation du froid ou de la chaleur = augmentation du métabolisme
- Froid -> sang de périphérie vers organes centraux -> augmentation pression sanguine, + d'urine, cœur travaille davantage, hypoxie en périphérie
- Si victime du froid, réchauffer de l'intérieur, pas de l'extérieur car re-afflux sang vers périphérie, chute brutale tension artérielle, choc, syncope

Plan du cours



Accidents mécaniques

1. Loi physique Boyle et Mariotte + cavités d'air
2. Les barotraumatismes
3. Conclusions

Accidents toxiques

1. Loi de Dalton
2. Accidents dûs à l'azote
3. Accidents dûs à l'oxygène
4. Accidents dûs au CO₂
5. Accidents dûs au CO
6. Apnée
7. Loi de Henry
8. Les ADD
9. Déshydratation
10. Noyade
11. Température
12. Conclusions



Accidents toxiques

Conclusions

- L'azote, l'oxygène et d'autres gaz présentent tous des risques spécifiques
- Les ADD sont causés par la formation des bulles d'azote – Respectez les règles de plongée!
- La narcose n'est pas grave en soi mais peut le devenir – soyez vigilant
- Veillez à la qualité du gonflage (CO₂, CO) et évitez l'effort
- Réhydratez-vous (eau!) et attention au froid
- L'apnée c'est bien mais pas anodin. Apprenez à vous connaître
- Veillez à plonger en bon état de santé et n'hésitez pas à appliquer du conservatisme



MERCI DE VOTRE ATTENTION!

