

La toxicité des gaz

On ne va pas manquer d'air

...et même en apnée



Mais pourquoi ?

Situations

Matériel

Sécuriser

Conseiller

Facteurs aggravants



Besoins



Anticiper

Comprendre

Comportements



Limites

Adapter

Mécanismes

Quelques principes utiles

Physique générale

Pression partielles

Dissolution des gaz

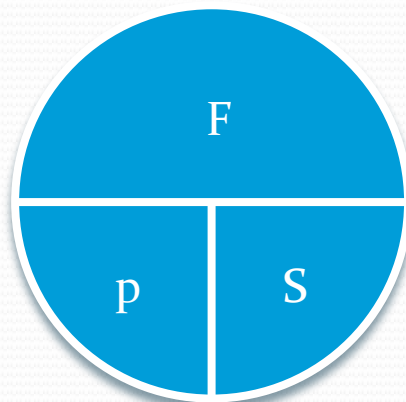
Perfusion & diffusion

Physique générale

RAPPEL

- Force et pression sont liées:

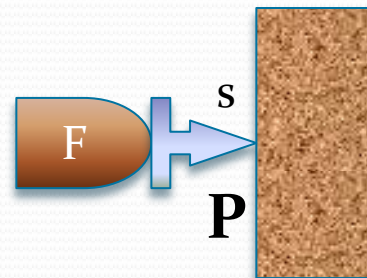
- Faut plonger safe
- Fessée pour sumo



$$pression = \frac{force}{surface}$$

- Quelques exemples:

- Enfoncer une punaise dans du liège;
- Marcher avec des raquettes dans la neige

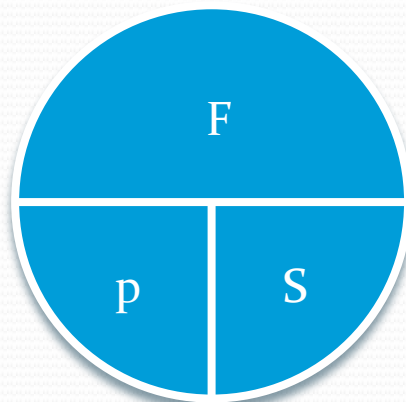


Physique générale

RAPPEL

- Force et pression sont liées:

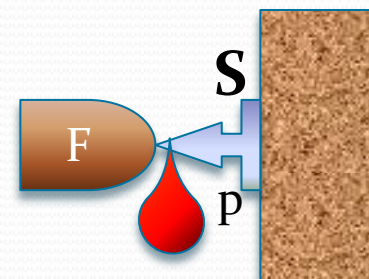
- Faut plonger safe
- Fessée pour sumo



$$pression = \frac{force}{surface}$$

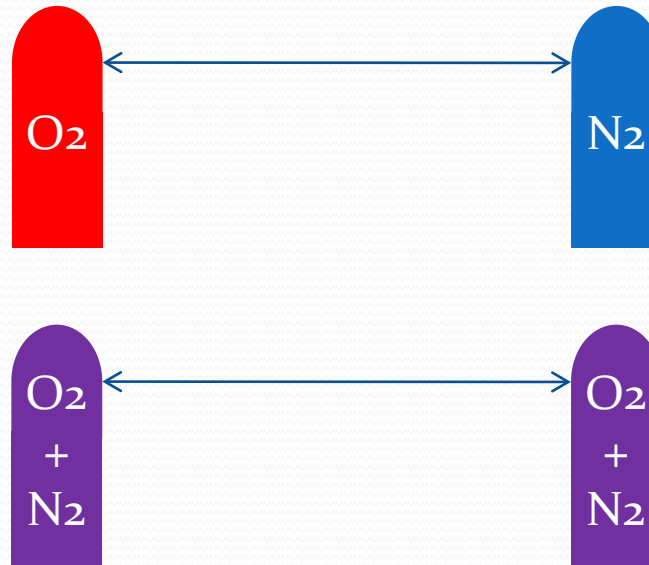
- Quelques exemples:

- Enfoncer une punaise dans du liège;
- Marcher avec des raquettes dans la neige



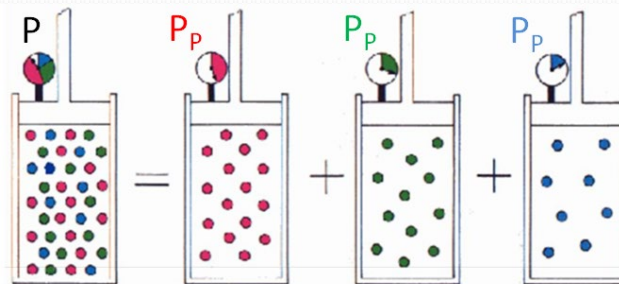
Les pressions partielles

- La pression totale est la somme des pressions des gaz :
 - De l'air à 5 bar = **1bar d'O₂** + **4bar de N₂** ($0.2 \times 5 + 0.8 \times 5$)
 - Connecter 2 blocs contenant des gaz différents



Les pressions partielles

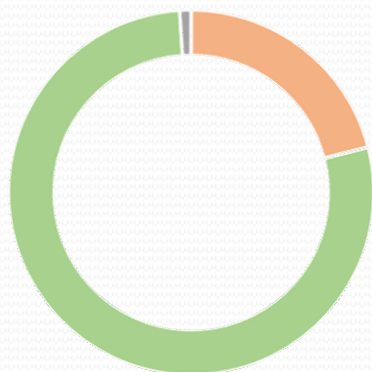
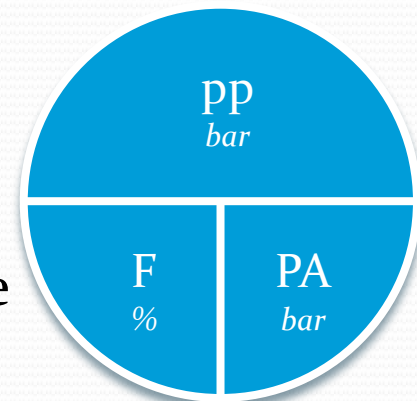
- La pression totale est la somme des pressions des gaz :
 - De l'air à 5 bar = **1bar d'O₂** + **4bar de N₂** ($0.2 \times 5 + 0.8 \times 5$)
 - Connecter 2 blocs contenant des gaz différents



$$P = P_p + P_p + P_p$$

Les pressions partielles

- 3 formules en une :
 - Pression partielle = Fraction \times Pression ambiante
 - Fraction = Pression partielle / Pression ambiante
 - Pression ambiante = Pression partielle / Fraction



■ O2 ■ N2 ■ Divers

Profondeur	P Abs	Pp O ₂	Pp N ₂
0 mètres	1 b	0,2 b	0,8 b
10 mètres	2 b	0,4 b	1,6 b
20 mètres	3 b	0,6 b	2,4 b
30 mètres	4 b	0,8 b	3,2 b
40 mètres	5 b	1,0 b	4,0 b

A température constante, la pression d'un mélange gazeux est égale à la somme des pressions qu'aurait chacun des gaz s'il occupait seul le volume total.

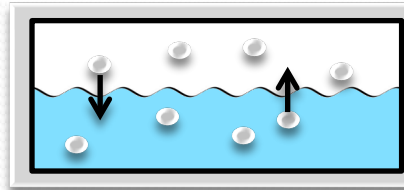
La dissolution des gaz

- Les gaz se dissolvent dans les milieux liquides

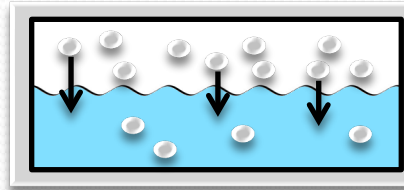
Etat	On parle de...
Gazeux	Pression
Liquide	Tension

Attention :

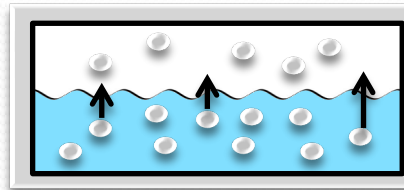
On parle de quantité de gaz dissous et pas cinématique de dissolution



À l'équilibre, autant passe de chaque côté



Pression +++ / Tension +
Gaz dissous ↗



Pression + / Tension +++
Gaz dissous ↘

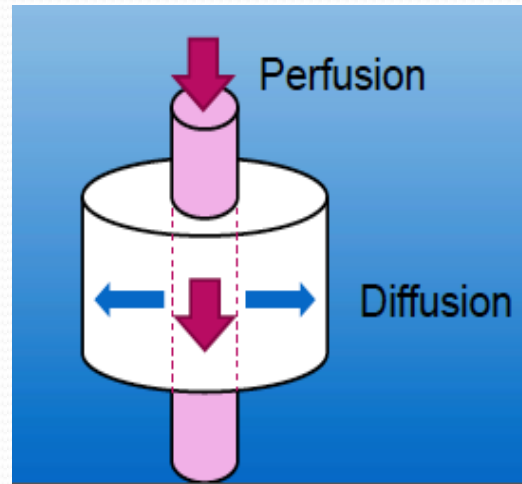
A température constante, la quantité de gaz dissous à saturation est proportionnelle à la pression du gaz au-dessus de ce liquide.

Perfusion et Diffusion

- Perfusion

Le gaz dissous est transporté vers les tissus

(mon colis est dans le camion du livreur du centre de tri à devant chez moi)

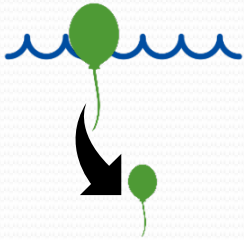


- Diffusion

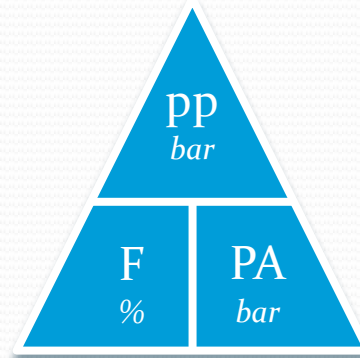
Le gaz dissous passe dans les tissus

(mon colis est devant chez moi, passe le hall, l'ascenseur, la porte d'entrée, la porte de ma chambre)

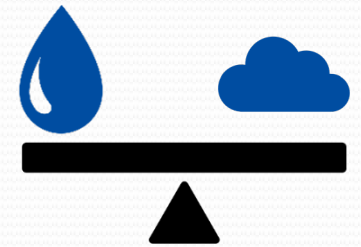
Synthèse



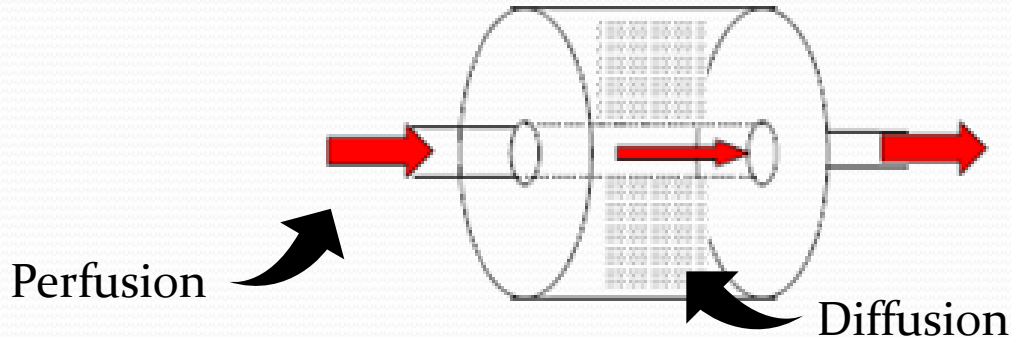
Variations volumes/pression
Boyle-Mariotte



Pressions partielles
Dalton



Dissolution des gaz
Henry



La toxicité des gaz

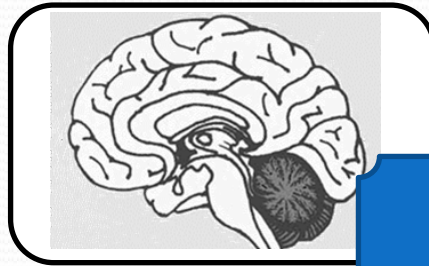
Mais pourquoi ?

Les accidents, bienvenue dans
la galaxie des hyper !

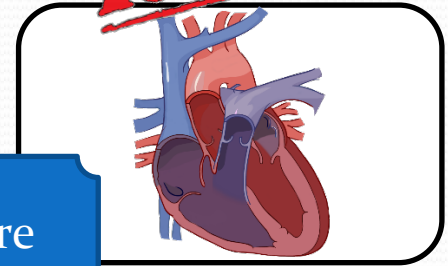
Synthèse

Le corps humain

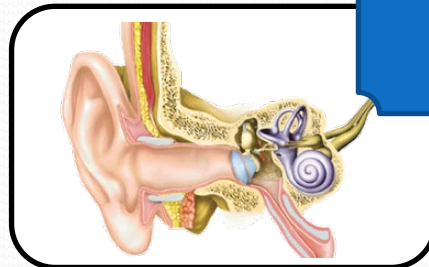
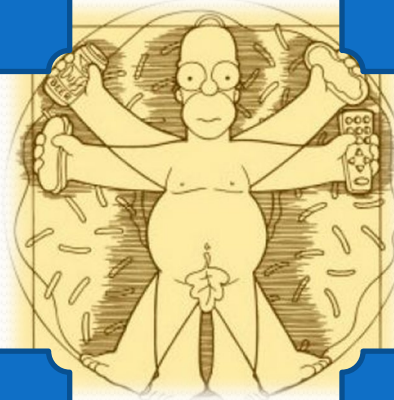
RAPPEL



Nerveux



Circulatoire



Auditif

Ventilatoire



Les échanges gazeux

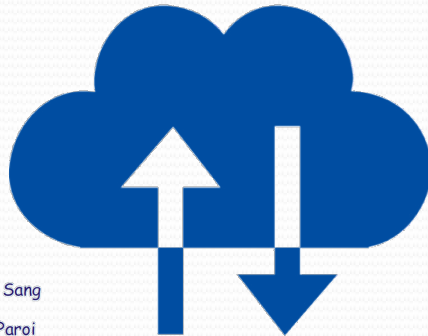
O₂=21%
 CO₂≈0%
 N₂=78%

La ventilation

Efforts

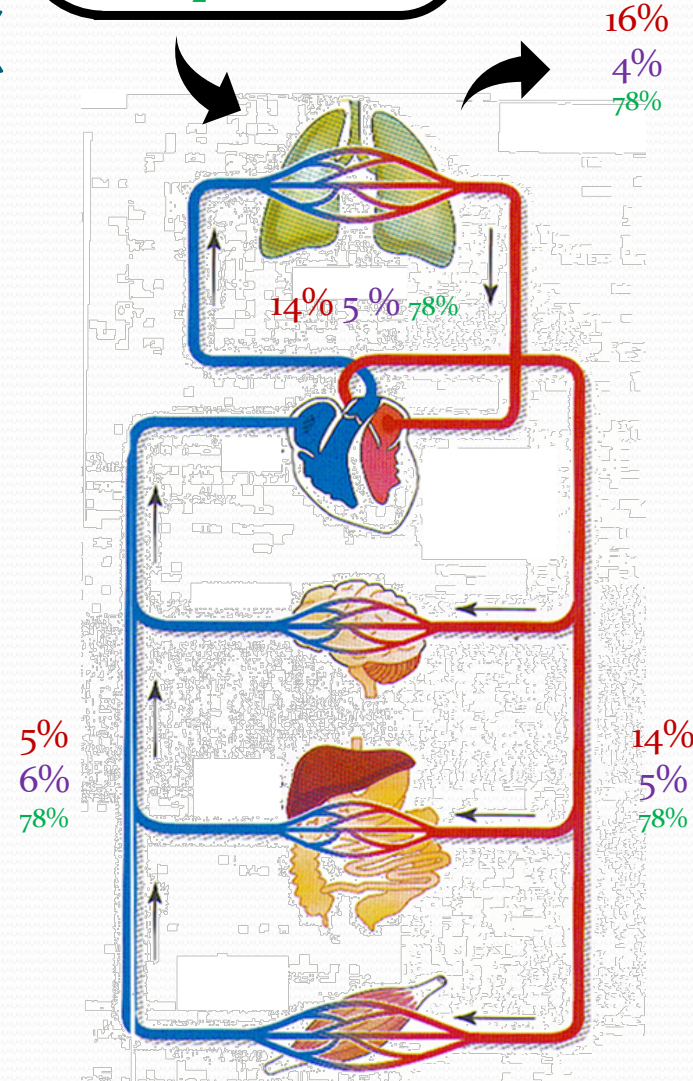
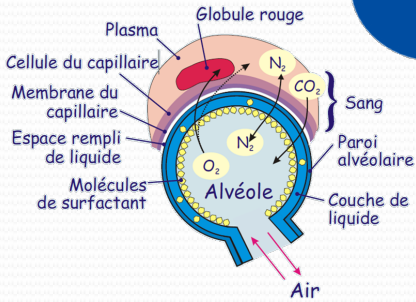
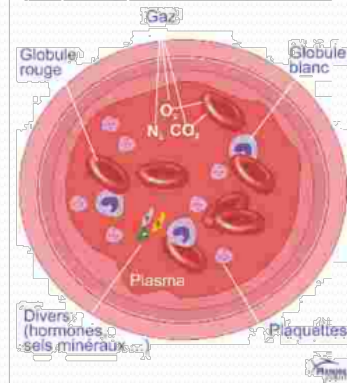
Les espaces morts

Réseau complexe et dense



Echange gazeux

Le sang : un transporteur



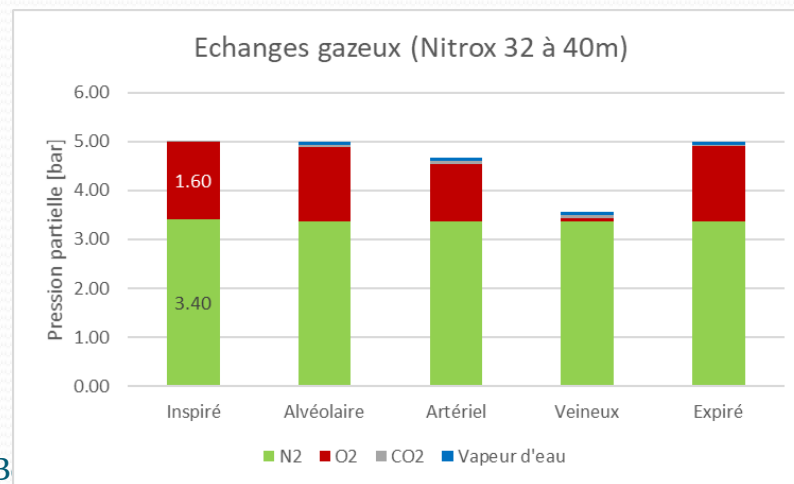
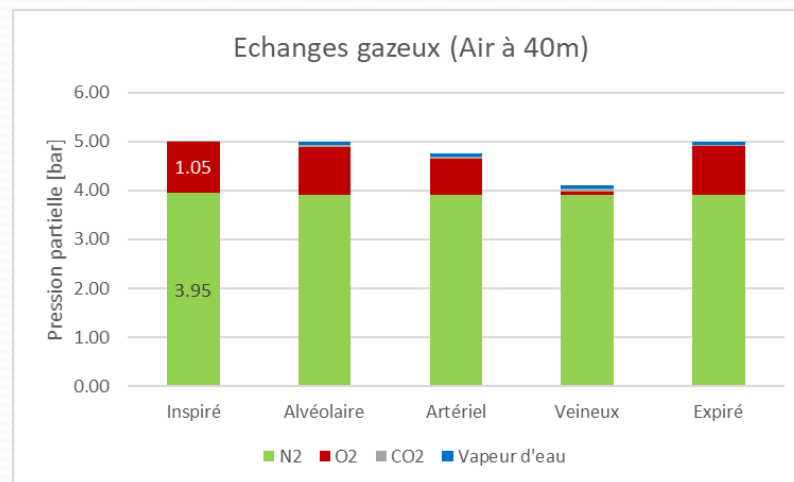
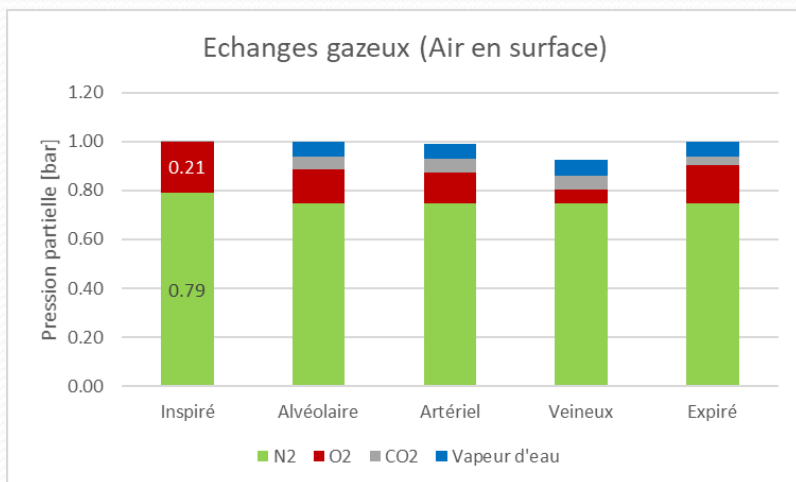
Les freins

Membrane alvéolo capillaire

Diffusion & perfusion

Profondeur, temps de plongée

Et en plongée ?



Pressions plus grandes
Répartitions différentes
Pas toujours à l'air

Les schémas des accidents



Energie à mettre en œuvre / Efficacité

Cause ? / ?

- / +++

Symptôme

+ / ++

Mécanisme

x / x

Conduite à tenir

+++ / +

Secours

x / -

Au travail !

Causes

Mécanismes

Symptômes



Ce que je ressens

Ce que je vois

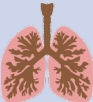
Conduite à tenir

Secours

Toxicité à l'oxygène (hyperoxie)

Causes	Mécanismes
Hyperoxie (ppO ₂ >0.5) Critique à 1.6 bar	Atteinte du système nerveux central
Symptômes	
Ce que je ressens	Ce que je vois
Troubles visuels (effet tunnel, déformations), auditifs (acouphènes), de l'équilibre (nausées, vertiges) 	3 phases : <ul style="list-style-type: none"> • Tonique (contraction, 10'') • Clonique (convulsions, 2 à 3') • Dépression (retour à la normale, 10')
Conduite à tenir	Secours
Diminuer pp o ₂ , maintenir embout en bouche, surveiller et remonter	Assister pour la remontée () , préparer pour évacuation médicale

Toxicité à l'oxygène (hyperoxie)

Facteurs favorisants	Prévention
<p>Milieu (froid, courant)</p> <p>Anxiété (stress lié à la plongée ou autre)</p> <div data-bbox="189 868 884 1182" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>NB : L'effet Lorrain-Smith (intoxication liée à la durée d'exposition à l'oxygène ne se rencontre pas en plongée loisir à l'air) </p> </div>	<p>Ne pas dépasser une ppO_2 de 1,6 =</p> <p>Respecter les profondeurs limites (60m à l'air, différent aux mélanges)</p> <p>Limiter les efforts sous l'eau</p> <p>Savoir ce qu'on respire</p> <p>Attention aux palanquées mixtes</p>

Toxicité à l'azote (narcose)

Causes	Mécanismes
ppN ₂ élevée (O ₂ aussi...)	Perturbation de l'influx nerveux par l'azote dissous
Symptômes	
Ce que je ressens	Ce que je vois
Altération générale de : Raisonnement, mémoire, humeur, sensations, comportement	Réponses inappropriées aux questions Non respect des consignes (direction, stabilisation, etc.) Attitude incohérente
Conduite à tenir	Secours
Remonter de quelque mètres. Être présent durant la remontée. Terminer la plongée avec paliers si obligatoires	Surveiller en surface, débriefer. Prévenir le DP et les autres encadrants le cas échéant

Toxicité à l'azote (narcose)

Facteurs favorisants

Milieu oppressant (froid, noir)

Etat du plongeur

Stress et anxiété



Prévention

Descente lente

Plongée de réadaptation

Vigilance collective

Connaître l'état des plongeurs

Adapter la plongée

Ecouter mais pas laisser passer

Toxicité au CO² (hypercapnie)

Causes	Mécanismes
Pp CO ² excessive (très très très sensible)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hyperventilation ou effort excessif en plongée 2. Intoxication de l'air de la bouteille au gonflage
Symptômes	
Ce que je ressens	Ce que je vois
Céphalée, essoufflement	Essoufflement Chapelet de bulles
Conduite à tenir	Secours
Plongée : remonter , cesser tout effort arrêter de respirer l'air vicié Apnée : arrêter l'apnée	Mise sous O ² et déclenchement chaîne des secours si nécessaire

Toxicité au CO² (hypercapnie)

Facteurs favorisants

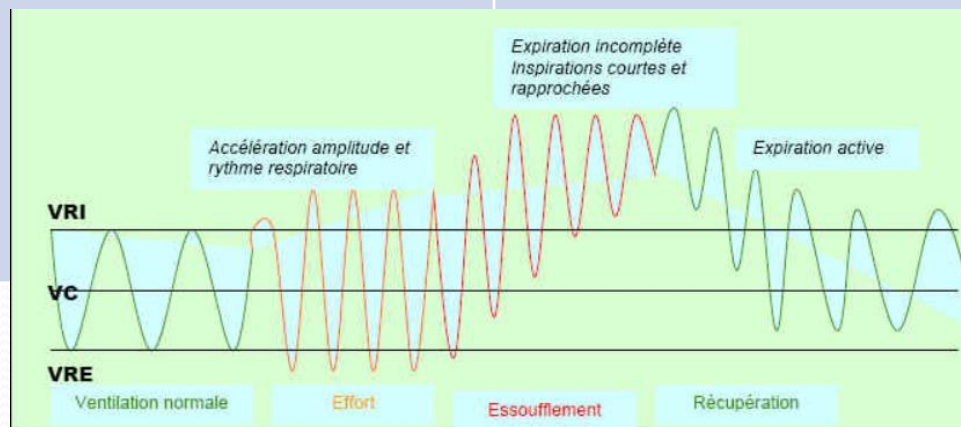
Tout ce qui fait faire un effort

- Palmer contre courant
- Combinaison trop serrée
- Palmes « dures » & lestage

Prévention

Maîtrise de l'effort **avant** et pendant la plongée

- Vigilance sur la ventilation
- Prise d'air du compresseur



Toxicité au CO

Être vigilant dans ce qu'on va respirer : remplissage des blocs dans des locaux adaptés, fumée de cigarette, etc.

Causes	Mécanismes
Affinité du CO pour l'hémoglobine >>> O ₂	Pas de transport d'oxygène... le film est court...
Symptômes	
Ce que je ressens	Ce que je vois
Céphalées, nausées, malaise, dyspnée	Troubles de la conscience, convulsions, coma
Conduite à tenir	Secours
Arrêt immédiat des activités, donner son air	Intoxication grave => mettre sous O ₂ et déclencher les secours

Synthèse pour un GP

	Oxygène	Azote	CO ₂	CO
Prévention	Respect de la profondeur Savoir ce que l'on respire	Adaptation à la profondeur Descente lente, limiter efforts	Pas d'effort	Vigilance au remplissage des blocs
Facteurs favorisants	Stress et état général		Condition physique et matériel adapté	Gonfleur en état d'ébriété
Symptômes	Crise convulsive (!)	Comportement inadapté	Ventilation excessive	Syncope
Conduite à tenir	Prise en charge Décoller Réguler pendant la remontée			
Point de vigilance	Conduite à tenir adaptée à la phase	RAS, ça va aller mieux	Panne d'air Lâcher embout	Syncope (donner son air)
Chaine de secours/support	Evacuation	RAS, en parler avec bienveillance	A adapter	Mise sous O ₂ et évacuation

L'apnée

Blup

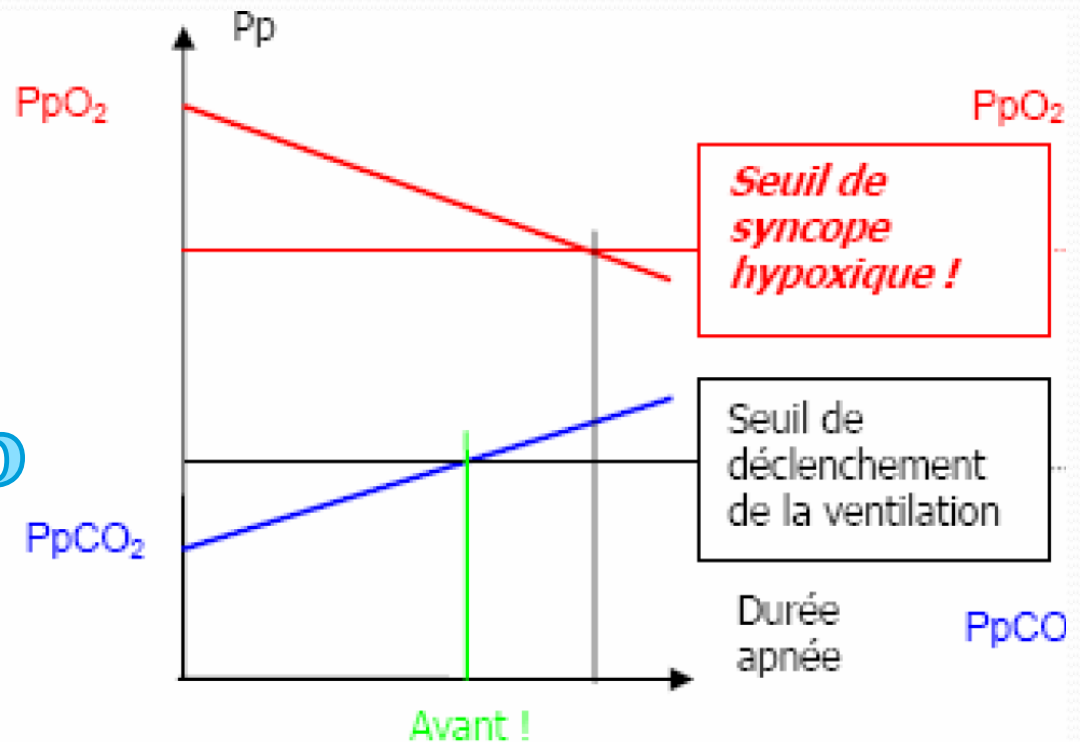
Blup

Blup

Mais pourquoi ?

- On l'a vu, le corps est un moteur :
 - Je produis du CO_2
 - J'ai besoin d' O_2

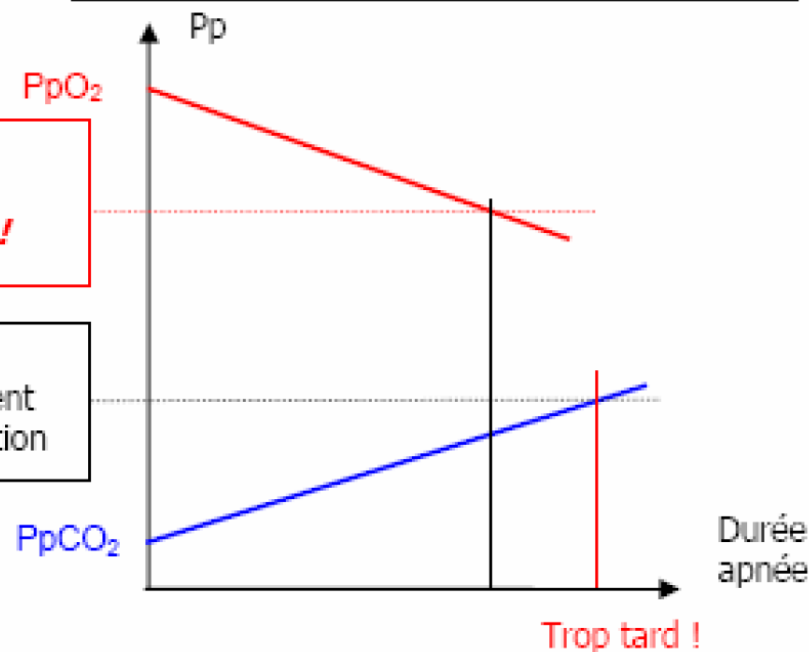
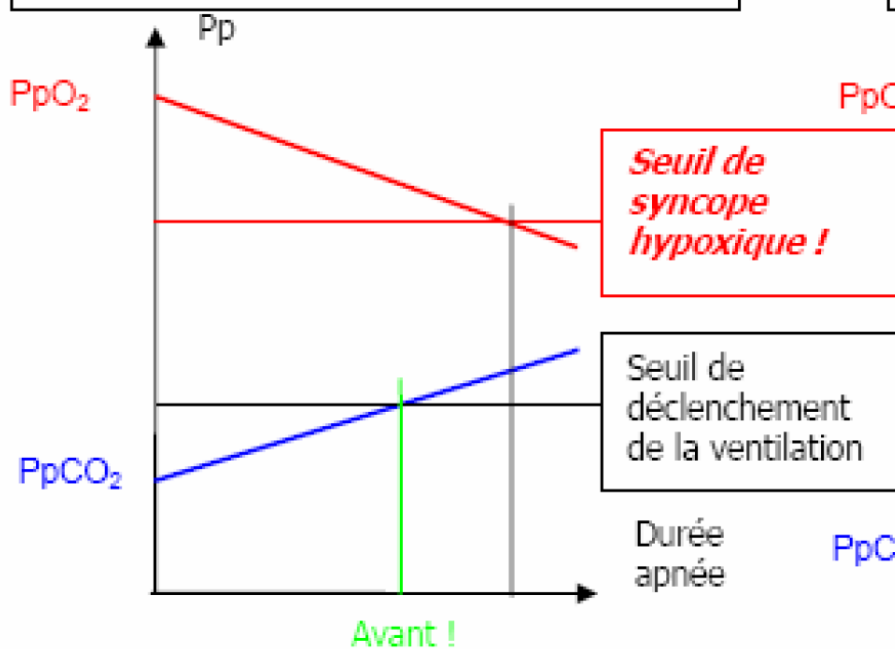
J'inspire
quand j'ai trop
de CO_2



Mais pourquoi ?

Evolution P_pO_2 et P_pCO_2 en fonction de la durée d'apnée.
Sans hyperventilation ou expiration forcée.

Evolution P_pO_2 et P_pCO_2 en fonction de la durée d'apnée.
Avec hyperventilation ou expiration forcée.



L'apnée (hypoxie)

Causes	Mécanismes
ppO ₂ trop basse	Seuil hypoxique atteint avant envie d'inspirer
Symptômes	
Ce que je ressens	Ce que je vois
Contraction du diaphragme	Perte de contrôle moteur, syncope
Conduite à tenir	Secours
Dans l'eau: main sur la bouche et sortir Hors d'eau: dégager voies aériennes	Mise sous O ₂ et évacuation

L'apnée

Facteurs favorisants

Hyperventilation

Stress & anxiété

Prévention

Pas d'hyperventilation

Echauffement hypercapnique

Ne pas buller à la remontée

Entraînement adapté

Pas d'apnée seul

Lestage adapté

Conclusion générale

C'est pas tout ça mais il est temps de conclure...

Quelques considérations



VOUS

Vous êtes être le premier maillon de la prévention et le dernier en cas de secours

Votre rôle est crucial. Maintenez vos acquis...



Adaptabilité

Multitude de situations à analyser et dans lesquelles anticiper

Les choses changent tout le temps et rien n'est totalement prévisible

On n'est pas tous égaux mais on peut plonger ensemble

Et que faire quand...

Prendre la température de la palanquée
Définir des règles (ok pour communiquer)

Vigilance constante
Adapter (conditions, profils)
Anticiper (retour, conso)

Vérifier le matériel
Vigilance à la mise à l'eau
Rassurer

Echanger pour éduquer
Maintenir ses compétences
Ecouter et rester ouvert

An underwater photograph showing a diver on the left and a shark swimming towards the right. The water is clear and blue, with sand visible on the seabed. The word 'Merci' is written in a stylized font at the top.

Merci

**Avec la collaboration
d'Antoine Missoud**

Petit Phoenix