

- Présentation



Systeme Nerveux

Comportement des gaz

Toxicité des gaz





- Introduction

Au cours de nos plongées nous allons respirer de l'air sous pression et cela aura entre autre pour conséquence de solliciter énormément notre système nerveux.

Chacun des gaz respirés dans l'air (N_2 , CO_2 , O_2) peut entraîner certains troubles :

- Effet **narcotique** de l'azote (N_2) au-delà d'une certaine profondeur,
- Problème d'**essoufflement** pour le gaz carbonique (CO_2),
- Risque d'**hyperoxie** (excès) et **anoxie** (manque) pour l'oxygène (O_2).

De plus, l'utilisation en plongée loisirs des mélanges de type « Nitrox » (et éventuellement le « Trimix »), auparavant utilisés essentiellement par des professionnels peuvent eux aussi provoquer des troubles neurologiques.

En tant que futur **responsable de palanquée** vous devez connaître les limites d'utilisation de ces gaz et les incidences sur notre système nerveux pour ne pas mettre votre palanquée en danger.





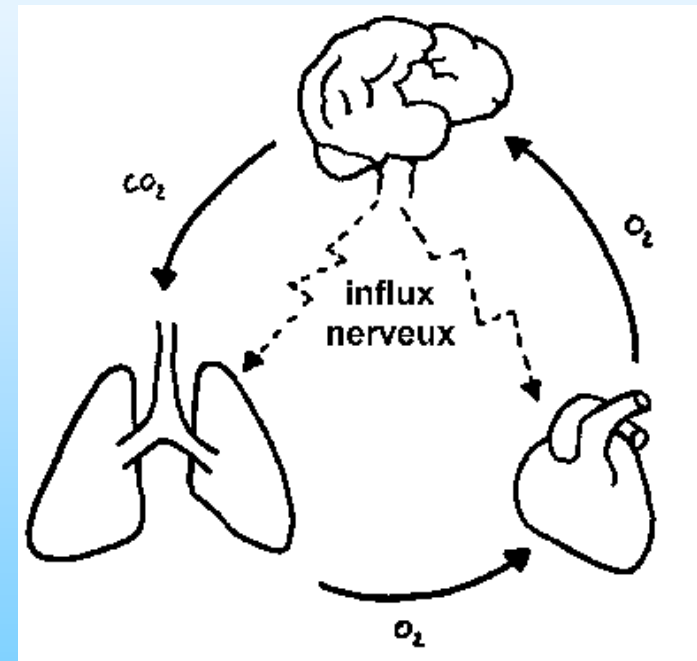
- A quoi sert le système nerveux ?

Description générale

Le système nerveux fonctionne comme un ordinateur: il reçoit des informations du milieu ambiant, les traite et réagit de façon adaptée selon les modes réflexe ou automatique.

Il est composé :

- de **récepteurs** ou **capteurs** situés à la périphérie et à peu près en tout point de notre corps,
- de **voies sensibles afférentes** qui transportent les informations pour analyse sous forme **d'influx nerveux**,
- de **centres nerveux** capables d'analyser ces informations et contrôlant chacun des fonctions propres,
- de **voies efférentes** (moteurs ou végétatives) commandant une réaction immédiate ou une adaptation en fonction des informations traitées
- d'**organes effecteurs** exécutant les ordres en les traduisant par des actions physiques.





- Description et fonctionnement - SNC

Trois systèmes travaillent de concert pour remplir la mission du système nerveux :

- Le système nerveux central,
- Le système nerveux périphérique
- Le système nerveux autonome.

A - Le système nerveux central (SNC)

Il est responsable de l'émission des influx nerveux et de l'analyse des données sensibles.

Il comprend l'**encéphale** (logé dans la boîte crânienne) et la **moelle épinière**.

L'encéphale (cerveau, cervelet et tronc cérébral) est l'organe principal de notre système nerveux (Environ 1.4 kg et 97% du poids de notre système nerveux).

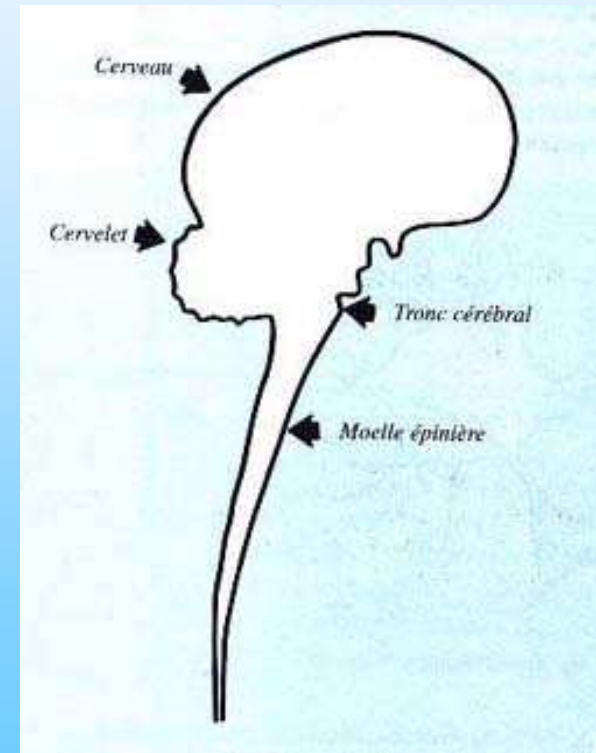
Son Rôle : C'est le haut lieu de la pensée, de l'analyse de l'information et de la commande motrice

La moelle épinière, logée dans le canal rachidien ou colonne vertébrale, se présente sous la forme d'une tige de près de 45 cm avec deux renflements, l'un cervical, l'autre lombaire, qui correspondent au point d'émergence des nerfs destinés aux membres supérieurs et membres inférieurs.

C'est de la moelle épinière que partent les nerfs rachidiens (31 paires)

Elle a le double rôle :

- D'une activité autonome représentée par des actes simples, **les réflexes**.
- De transmettre l'influx nerveux, c'est donc un organe conducteur.



- Description et fonctionnement - SNP

B - Le système nerveux périphérique (SNP)

Il est responsable de la **transmission de ces influx nerveux** vers ou à partir de l'organisme.

Il comprend les **nerfs crâniens** et **spinaux** qui sortent de l'encéphale et de la moelle épinière.

➤ **Les nerfs crâniens**, ils prennent naissance au niveau du tronc cérébral (12 paires), nerf olfactif, oculaire, facial, auditif, etc....

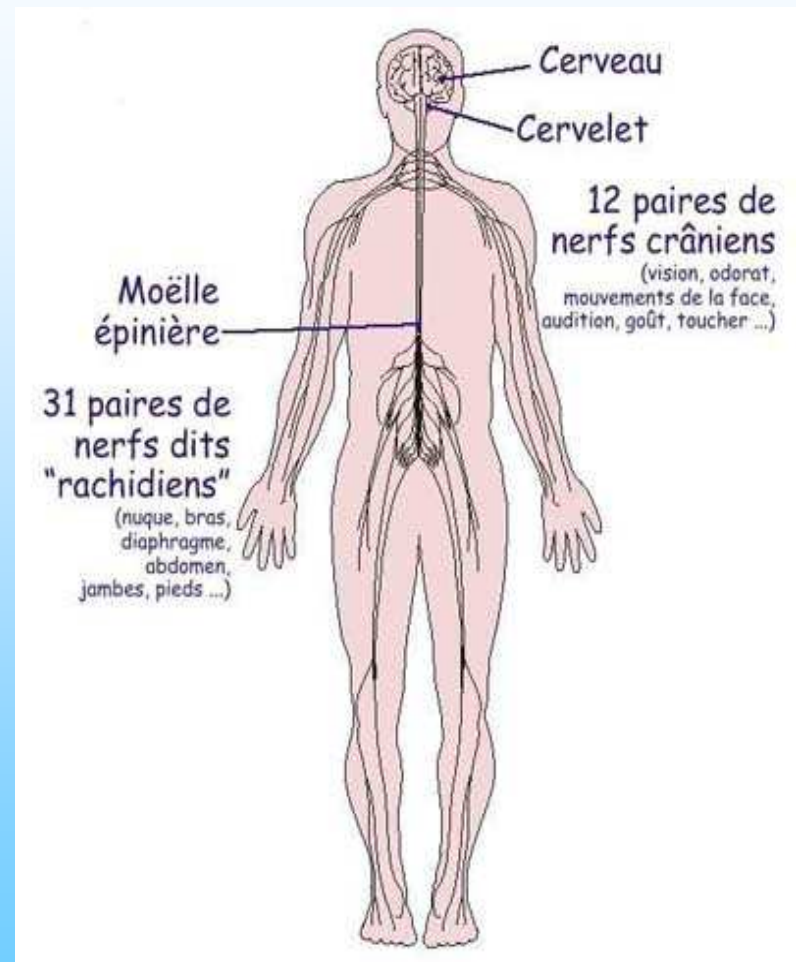
➤ **Les nerfs spinaux (ou rachidiens)**, 31 paires de nerfs naissent au niveau de la moelle épinière et ont le rôle de véhiculer l'influx nerveux (l'information) à l'organisme (action motrice) et inversement de transmettre l'influx nerveux (action sensitive).

Les **nerfs** ont des ramifications qui atteignent tous les points du corps et notamment les **organes récepteurs**, les **terminaisons nerveuses** et les **organes effecteurs** tels que les **muscles**.

Les nerfs sont composés de **cellules nerveuses**, appelés aussi **neurones**.

Ce sont les **neurones** qui véhiculent les informations nécessaires au système nerveux central pour exercer son contrôle.

Ces informations proviennent du milieu extérieur (température, humidité etc...) ou de notre organisme (pression artérielle, pressions partielles de CO₂ dans le sang, etc, ...).





- Description et fonctionnement - Cellule

La cellule de base

Le neurone est l'élément de base du **tissu nerveux**. Il a pour rôle de véhiculer l'influx nerveux depuis ou vers l'organisme.

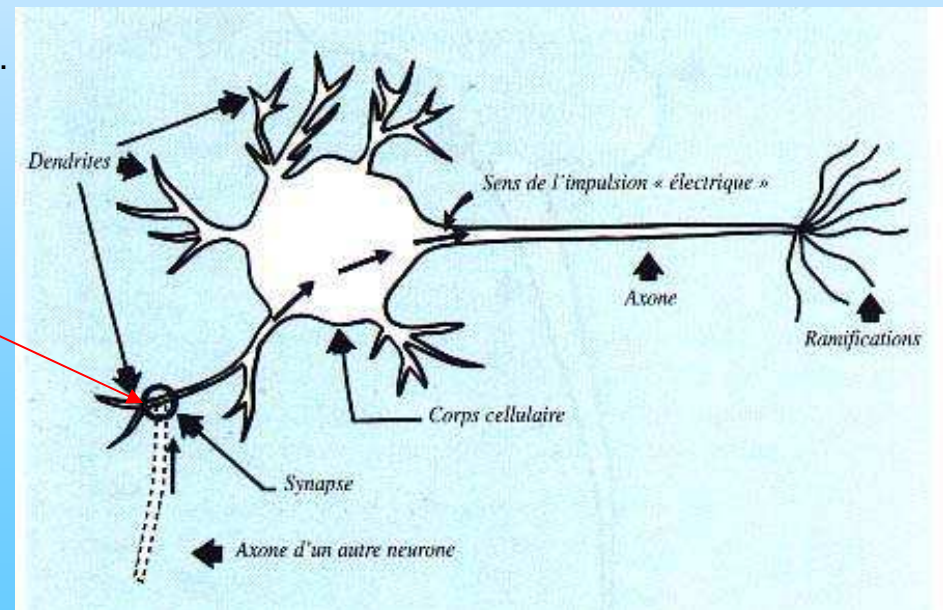
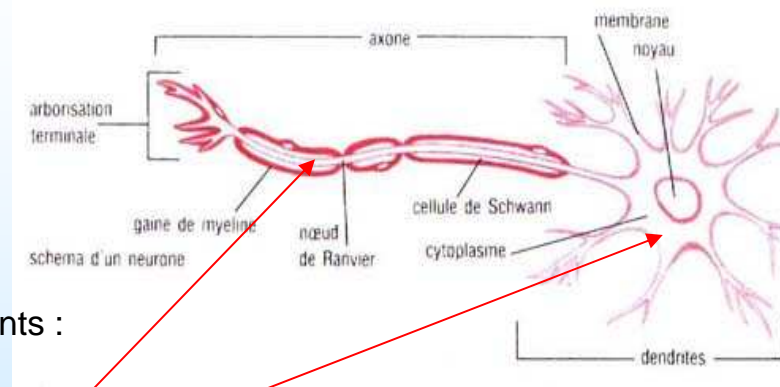
Il est composé d'un corps cellulaire et de prolongements :

- **L'axone** peut être très long et véhicule les influx nerveux.
- **Les dendrites**, ramifications courtes + ou – nombreuses.

Ces neurones consomment beaucoup d'oxygène, autant que les fibres musculaires en pleine action. Un manque d'oxygène prolongé détruit ce neurone en quelques minutes, d'où l'importance de mettre un accidenté (noyade, ADD, SP) **sous oxygène** et **de ne jamais interrompre** cette procédure avant l'arrivée des secours.

Un neurone détruit n'est jamais remplacé.

La synapse, terminaison de l'axone, est la jonction (articulation) entre deux neurones, un muscle, une glande.



- Description et fonctionnement - Le nerf

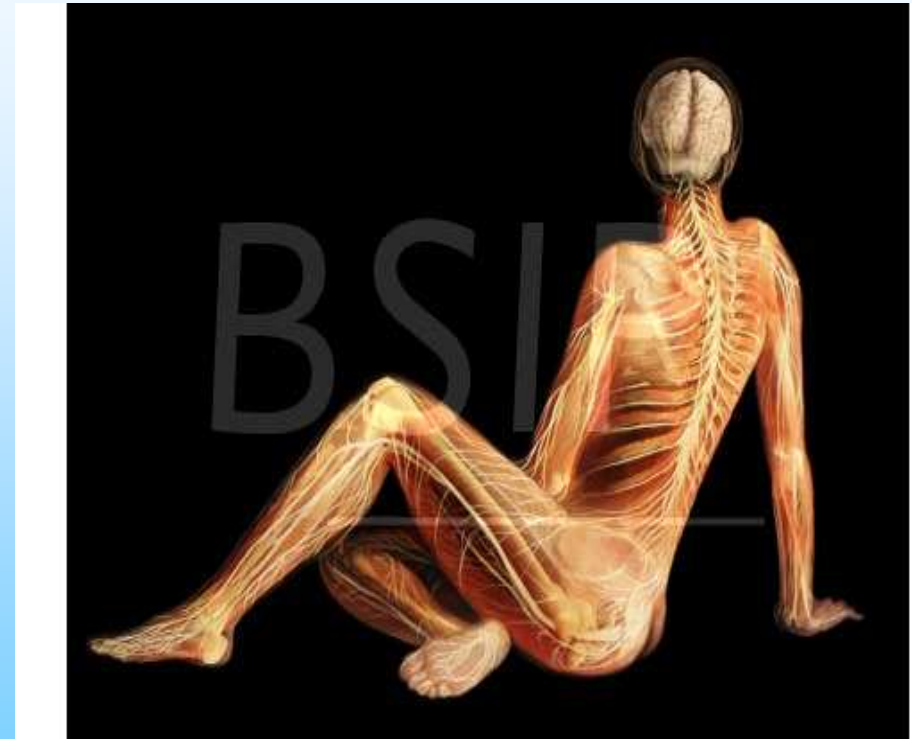
Le nerf C'est la succession de milliers de neurones

La transmission de l'influx nerveux ne s'effectue que dans un sens, il existe donc deux sortes de nerfs :

➤ **Les nerfs « moteurs »** : Ils transmettent l'influx nerveux des centres nerveux vers les organes, ces nerfs permettent les mouvements volontaires en transmettant des ordres aux muscles (marcher, nager, etc....)

➤ **Les nerfs « sensitifs »** : Ils transmettent l'influx nerveux des organes et apportent des renseignements, des sensations (par exemple :le chaud, le froid, la douleur, ...).

Ces nerfs acheminent vers le SNC des informations en provenance des organes (peau,muscles, vaisseaux sanguins, etc).





- Description et fonctionnement - SNA

C - Le système nerveux autonome ou neurovégétatif (SNA ou SNV)

Il est composé des systèmes **sympathique** et **parasympathique**.
 Il est responsable de la régulation et de la coordination des **fonctions vitales** de l'organisme.

Il gère la vie végétative ou viscérale, il est constitué de **deux réseaux** aux actions contraires :

➤ **Le système sympathique** : Les nerfs sympathiques contrôlent la contraction des fibres musculaires lisses involontaires, des viscères et des vaisseaux sanguins. Ils permettent d'accélérer la fréquence cardiaque et de dilater les bronches sous l'effet du stress.
Le système sympathique est excitateur.

➤ **Le système parasympathique** : Les nerfs du système nerveux parasympathique aident le corps à conserver et à régénérer l'énergie après une réaction du système sympathique au stress.
Le système parasympathique est modérateur.

Organes	SN Sympa	SN Parasympa
Cœur	Hausse de la fréquence	Baisse de la fréquence
Poumons : bronches	Dilatation	Constriction
Vaisseaux	constriction	dilatation



- Réflexe et Automatisme

Le réflexe

Le mouvement réflexe est une action qui échappe totalement à notre contrôle, à notre volonté.

En réponse à une information, l'action commandée est immédiate et non réfléchie : elle est dite automatique. **C'est l'action réflexe.**

Un enfant qui se pique la main avec un objet, la retire immédiatement. C'est le réflexe inné où l'activité consciente n'intervient pas.

Que se passe t'il au niveau de notre système nerveux ?

L'information est captée au niveau des cellules nerveuses sensibles, transmise par un nerf sensitif à la moelle épinière qui commande la réponse. A ce niveau, l'information n'est pas communiquée au cerveau pour analyse.

La réponse est donc inconsciente et instantanée.

L'automatisme

En dehors de ces activités réflexes innées, les mouvements de notre corps font appel à une chaîne de décisions.

1. **une perception** (je remonte alors que je veux rester équilibré au même niveau de profondeur que le reste de la planquée)
2. **une analyse** (je dois purger le gilet)
3. **une action** (je purge l'air du gilet)

Ce qui diffère l'action réflexe de l'automatisme, c'est l'analyse.

En effet, **l'information est transmise au cerveau qui va procéder au traitement de cette dernière.**





- Réflexe et Automatisme

Si cette information est inconnue et compliquée à réaliser, l'analyse sera d'autant plus longue, stressante et peut être même inadaptée à l'action souhaitée.

La sécurité avant tout !

Pour ces différentes raisons il est indispensable de **répéter ces mises en situations** avec les réponses adaptées. **On dit que l'on crée des automatismes.**

De cette façon le plongeur va réagir **rapidement** et **efficacement** face à des situations connues du fait de l'apprentissage, de la répétition (expirer lors de la remontée, etc.).

Que se passe t'il au niveau de notre système nerveux ?

L'information est transmise au cerveau pour analyse, qui commande une action à l'organisme.

Le fait de répéter certains gestes, certaines situations, va créer, imprimer au niveau moteur des réponses adaptées.

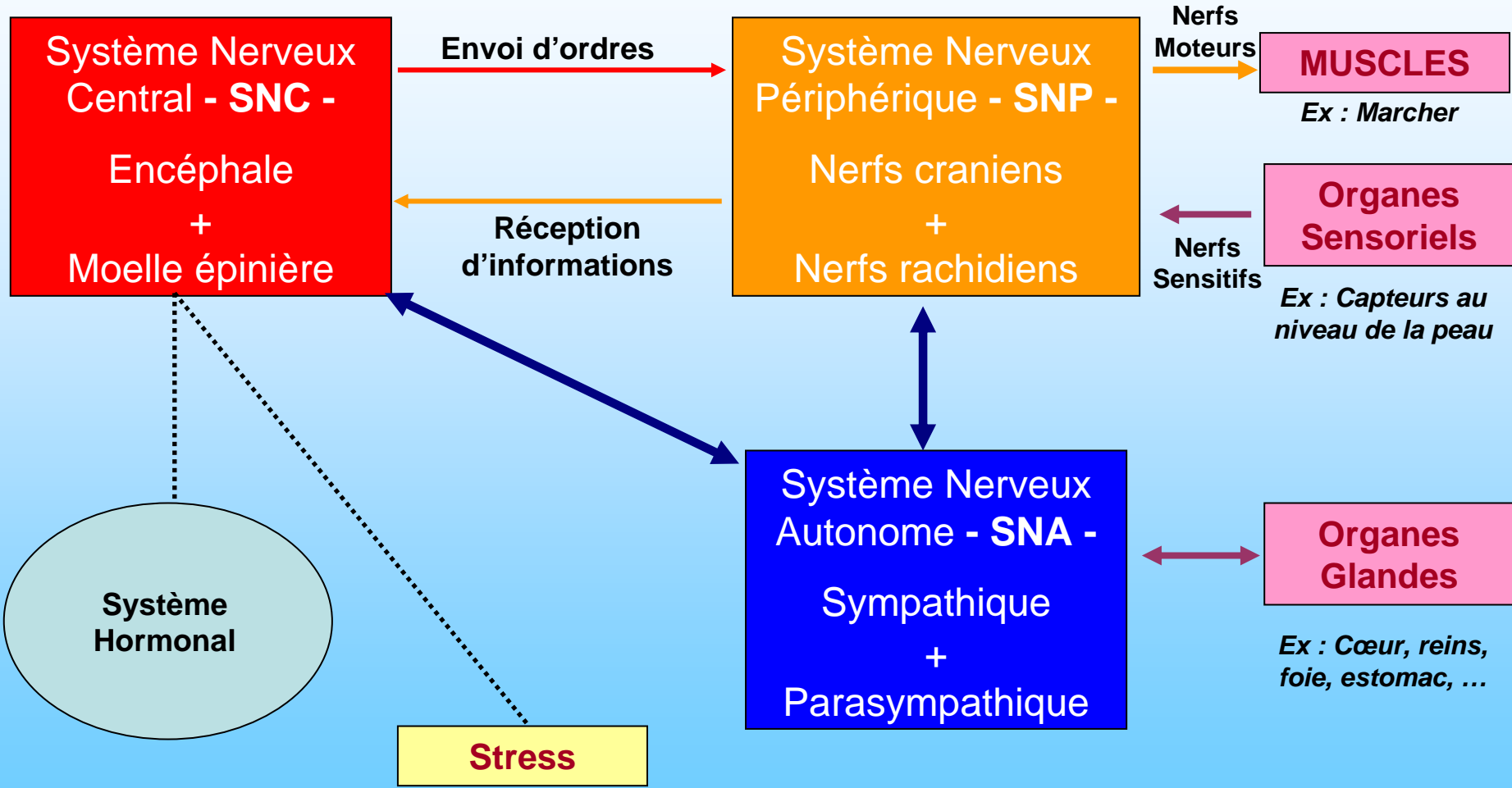
Certaines situations doivent être connues, maîtrisée, notamment lors de plongées profondes notre système nerveux est considérablement perturbé du fait de l'augmentation de la pression partielle (Pp) d'azote (narcose à l'azote).

La vitesse de transmission, l'analyse et la réponse commandée sont diminuées.





- Synthèse système Nerveux



- **Comportement des gaz**



Dans l'air, considérons qu'il y a 80% d'azote et 20% d'oxygène.

La pression atmosphérique est de 1 bar.

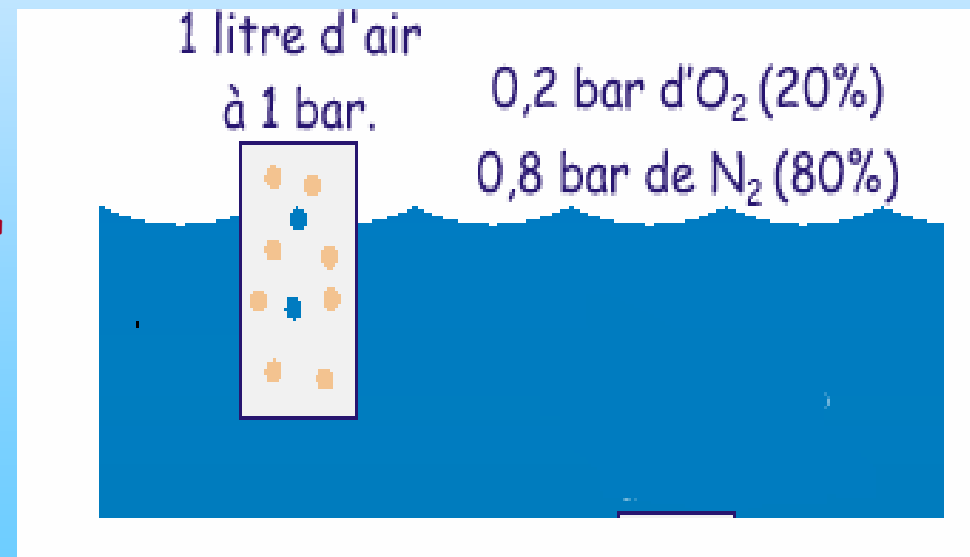
La pression due à l'azote est proportionnelle à sa concentration dans l'air : il participe donc pour 80% à la pression atmosphérique.

On dit que à la pression atmosphérique, la "**pression partielle**" de l'azote dans l'air est de 0,8 bar.

$$1 \times 0,8 \text{ (80\%)} = 0,8 \text{ bar}$$

De la même façon la "**pression partielle**" de l'oxygène dans l'air est de 0,2 bar

$$1 \times 0,2 \text{ (20\%)} = 0,2 \text{ bar}$$



- Description

La loi de Dalton donne la formule de calcul de la pression partielle d'un gaz dans un mélange.

La loi de Dalton régit les accidents dus aux gaz.

Les gaz respirés sous pression peuvent devenir toxiques (Essoufflement, narcose..)

A 10 m, la **pression absolue** est de 2 bars, la pression partielle d'azote sera donc $2 \times 0,8$ (80%) = **1,6 bar**.

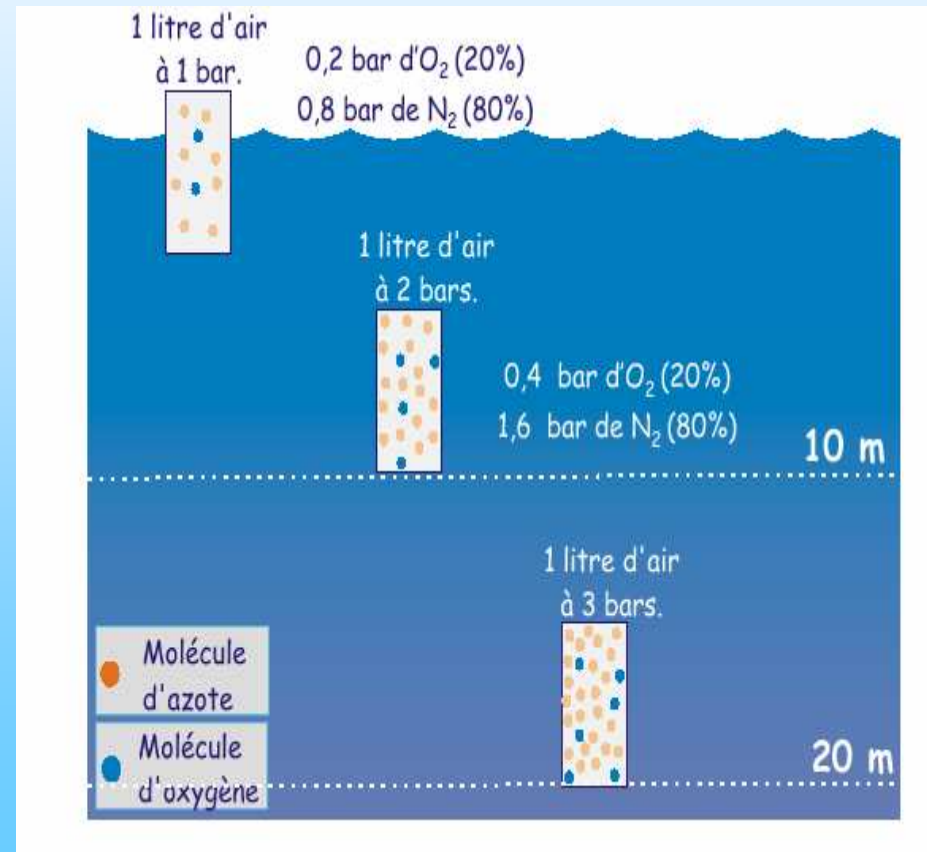
A 20 m, la **pression absolue** est de 3 bars, la pression partielle d'oxygène sera donc $3 \times 0,2$ (20%) = **0,6 bar**.

On écrit respectivement les pressions partielles de l'oxygène et de l'azote **PpO_2** et **PpN_2**

$$P\ Abs = PpO_2 + PpN_2$$

A 10 m 2 bars = 0,4 + 1,6

A 20 m 3 bars = 0,6 + 2,4





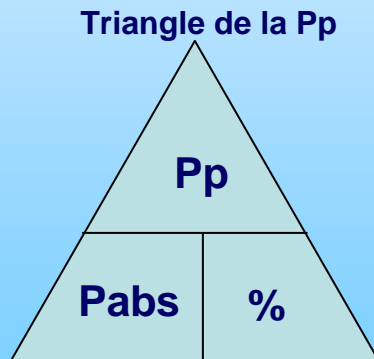
- Loi de Dalton

La pression totale (ou absolue) d'un mélange gazeux se répartie en proportion de chacun des gaz qui le compose :

DALTON 1 $P_p \text{ Gaz} = \text{Pourcentage du Gaz} \times P \text{ absolue}$

DALTON 2 $P \text{ absolue} = P_p \text{ Gaz} / \text{Pourcentage du Gaz}$

DALTON 3 $P \text{ abs} = \Sigma P_p \text{ gaz du mélange} = P_p \text{ O}_2 + P_p \text{ N}_2$



J'ai		Je veux	Je calcule
Données	Valeur	Inconnue	
Profondeur % N2	20 m 80 %	Pp N2 Pp O2	1) $P_p \text{ N}_2 = 3 \times 0.8 = \underline{2.4 \text{ b}}$ 2) $P \text{ abs} = P_p \text{ N}_2 + P_p \text{ O}_2$ soit $P_p \text{ O}_2 = 3 - 2.4 \text{ b} = \underline{0.6 \text{ b}}$
Pp N2 % N2	3 b 80 %	P Abs	$P \text{ abs} = P_p \text{ N}_2 / \% \text{ N}_2$ $P \text{ abs} = 3 / 0.8 = \underline{3.75 \text{ b}}$ soit $P \text{ abs} = 27.5 \text{ m.}$
Pp N2 Profondeur	3,6 b 40 m	% N2	$\% \text{ N}_2 = P_p / P \text{ abs}$ $\% \text{ N}_2 = 3,6 / 5 = \underline{0.72 \text{ b}}$ soit 72 % => NITROX 28





- Comportement des gaz

Les valeurs de tolérance des Pp peuvent être modifiées par la résistance de chacun, le froid, le stress, la vitesse de descente, la fatigue et le matériel.

Comme tous les accidents, les accidents biochimiques peuvent donc être favorisés par :

- **La méforme physique** (fatigue, mal de mer, manque d'entraînement, prise d'alcool, de médicaments, état fébrile.)
- **La méforme psychique** (nervosité, peur, obligation « morale »...)



La pression partielle d'un gaz s'appelle **UNE TENSION** une fois que le gaz est dissous dans un tissu.



- **Toxicité des gaz : Azote**

La narcose, ivresse des profondeurs ...

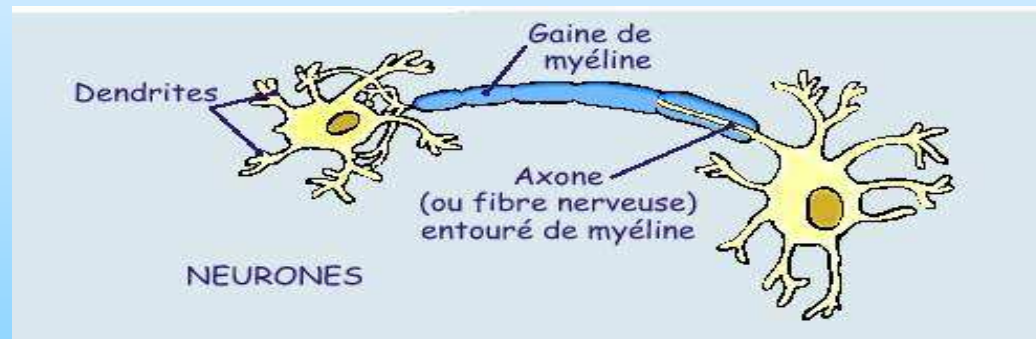
L'azote, simple diluant de l'oxygène n'intervient pas dans le métabolisme tissulaire.

Mais lorsque sa **Pp** augmente, il se révèle toxique pour le système nerveux central selon un processus encore mal connu.



(La **gaine de myéline** entourant l'axone est assimilable à un **corps gras** et lors des phases de saturation en plongée,

l'azote viendrait se fixer dans cette gaine et provoquer divers phénomènes parasites au sein du tissu nerveux (ralentissements des échanges nerveux).



La **nature du gaz** a son importance car l'Helium serait 100 fois moins narcotique que l'azote.



- Toxicité des gaz : Azote

Apparition

La narcose apparaît dès **30m** chez les plus sensibles et plus souvent **dans la zone des 40 à 60m**.

Entre 40 et 60m tout le monde est +/- intoxiqué par l'azote.

État	Normal	1° seuil de la narcose	Narcose pour la majorité des individus
PpN2 (en b)	0,8	≤ 4,0 (- 40m)	≤ 5,6 (- 60m)



L'entraînement crée un certain degré d'adaptation qui retarde et diminue l'intensité des troubles

Au delà de 60m, les risques deviennent incontrôlables, c'est la limite de la plongée à l'air.



- Toxicité des gaz : Azote

Perception du plongeur

Les effets de la narcose peuvent se traduire par :

- Trouble du comportement, avec une baisse de l'attention, de la mémoire, de la coordination et du raisonnement.
- Le bien être laisse place à un malaise, une angoisse,
- Trouble de l'humeur qui peut aller de l'euphorie à la panique,
- Trouble de la perception visuelle, auditive
- Le plongeur ne sait plus se repérer dans l'espace, il ne sait plus s'orienter. Il peut descendre davantage au lieu de remonter



- Toxicité des gaz : Azote

Facteurs Favorisants

Données Physiologiques personnelles

MAUVAIS ETAT PHYSIQUE

STRESS



MANQUE D'HABITUDE

DESCENTE TROP RAPIDE

**EFFORT DANS LA ZONE DES 40 m
(L'augmentation du CO2 est un facteur
favorisant la narcose)**

Médicaments / Alcool





- Toxicité des gaz : Azote

Perception du Guide de palanquée

Un plongeur narcosé a du mal à faire **connaître son état** du simple fait qu'il est narcosé, plus encore si ce plongeur est débutant et qu'il n'a jamais été confronté à ce type de situation.

Ce sera à vous, guide de palanqué de savoir détecter ces troubles du comportement si par mégarde cela devait vous arriver.



Vous devrez savoir observer le plongeur et percevoir :

- Si vous posez une question et que la réponse est inadaptée voir inexistante.
- Si l'attitude de ce plongeur est incohérente
- S'il ne respecte pas les consignes

Vous devrez questionner votre palanquée, observer, anticiper pour ne mettre personne en difficulté.





- Toxicité des gaz : Azote

Intervention du guide de palanquée

Devant un plongeur narcosé, il faut rapidement :

- **Porter assistance** et le remonter doucement (**assistance gilet**) jusqu'à disparition du phénomène.
- **Interrompre** la plongée et poursuivre la remontée en gardant une **vigilance accrue** auprès du plongeur.

Après le retour à une PpN2 « normale », la narcose s'arrête et ne laisse pas de trace.



- Toxicité des gaz : Azote

Prévention

Les risques viennent de la profondeur, fuyez donc les abysses sans objectif précis : épave / tombant /

....

Toutefois, on peut limiter les risques en :

- **S'entraînant,**
- **Prenant conscience du phénomène,**
- **Réduisant la vitesse de descente (30m/mn),**
- **Plongeant en forme physique et psychique,**
- **Plonger au Nitrox pour les sujets sensibles.**
(dans le limite du mélange !)





- Toxicité des gaz : Le CO2

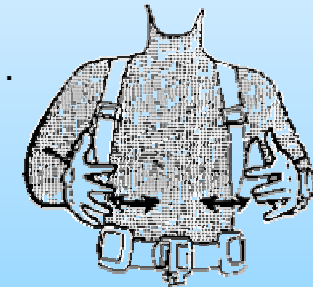
L'essoufflement, intoxication au CO2

L'essoufflement, anodin en surface, peut avoir des conséquences dramatiques en immersion.

Il est donc important de comprendre son fonctionnement.

- L'essoufflement est une intoxication au **CO2** (dioxyde de carbone).
- Le CO2 étant produit par l'organisme, **sa Pp est indépendante de la profondeur** (à effort comparable et sans air vicié).

Cf : Echange gazeux – air alvéolaire / sang «veineux » et sang « artériel ».



Notre organisme réagit à une **Pp CO2 dans le sang** de la façon suivante :

État	Normal			Hypercapnie
PpCO2	0,0002 à 0,0003 b	0,02 à 0,03 b	0,03 à 0,05 b	0,05 à 0,09 b
		Augmentation rythme respiratoire	Seuil de l'essoufflement	Intoxication, Syncope





- Toxicité des gaz : Le CO₂

L'essoufflement, son mécanisme.

Tout effort nécessite un apport en O₂ aux cellules des muscles qui en contrepartie rejette une plus grande quantité de CO₂.

L'augmentation de la PpCO₂ modifie le PH du sang et sollicite les centres respiratoires qui sont informés par les **chémorécepteurs** (bulbe rachidien et vaisseaux), **barorécepteurs** (sinus carotidiens et crosse aortique) centraux.



Les mécanismes de régulation étant prévus pour accroître les quantités de O₂ (et non pour réduire celle de CO₂), alors ils commandent d'**inspirer** davantage au lieu de commander d'**expirer**.

On parlera d'**Hypercapnie** pour décrire le phénomène d'intoxication au CO₂.

L'essoufflement est la **manifestation ventilatoire** de l'hypercapnie.





- Toxicité des gaz : Le CO₂

Incidence respiratoire

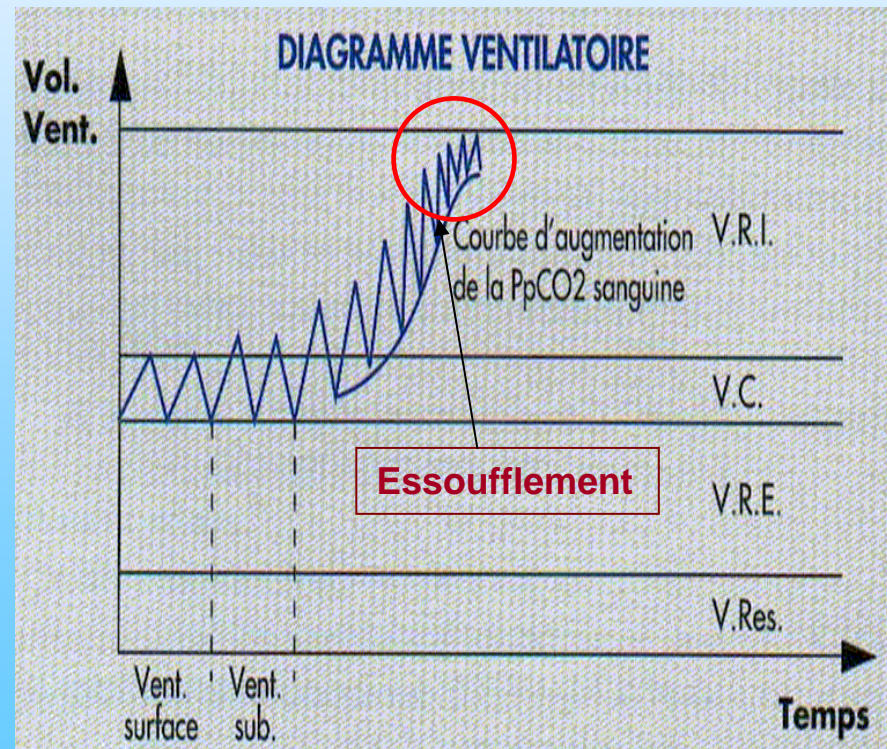
Si la PpCO₂ augmente alors le rythme ventilatoire augmente.



La respiration devient de + en + plus superficielle et haletante : le plongeur a l'impression d'étouffer.

La respiration se déplace dans le VRI et ne permet plus l'élimination du CO₂

Le spirogramme

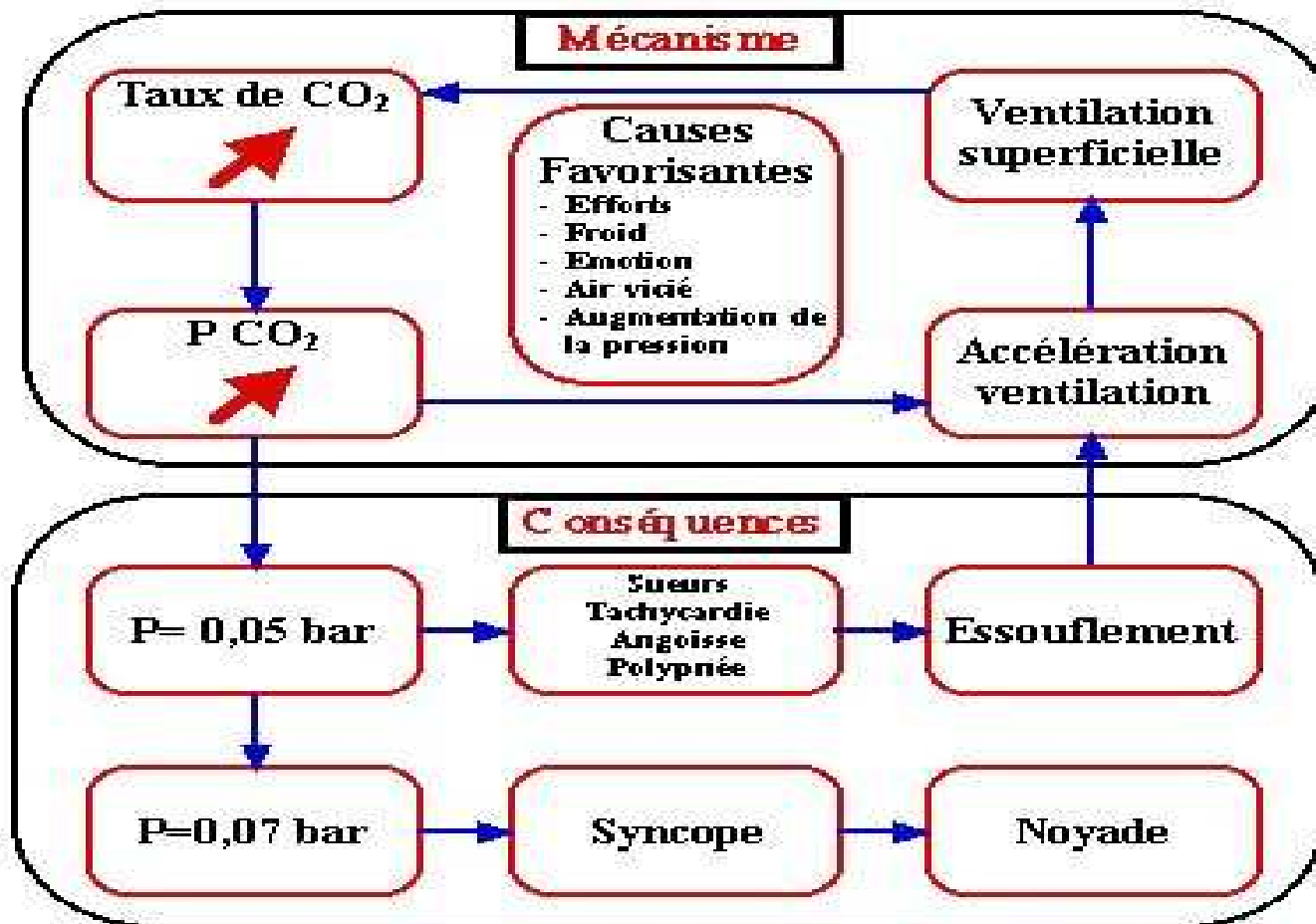




- Toxicité des gaz : Le CO₂

Le cycle vicieux

Intoxication par le gaz carbonique CO₂

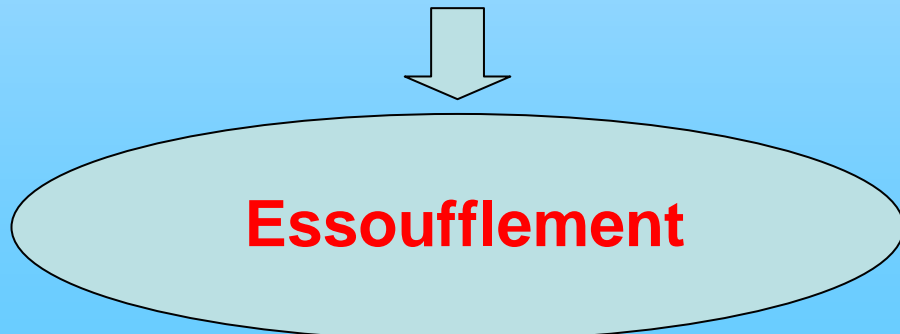
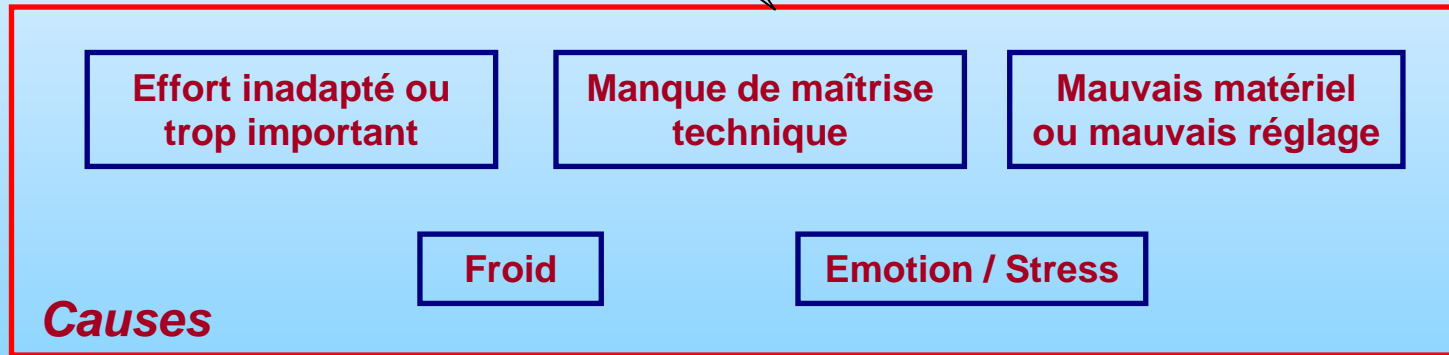
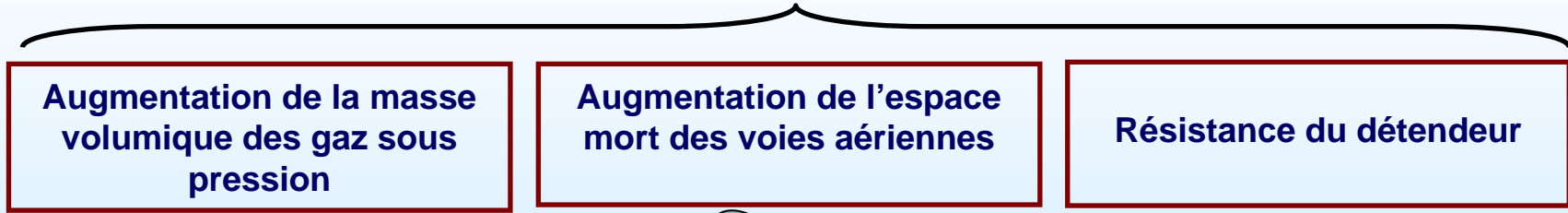




- Toxicité des gaz : Le CO2

Facteurs favorisants

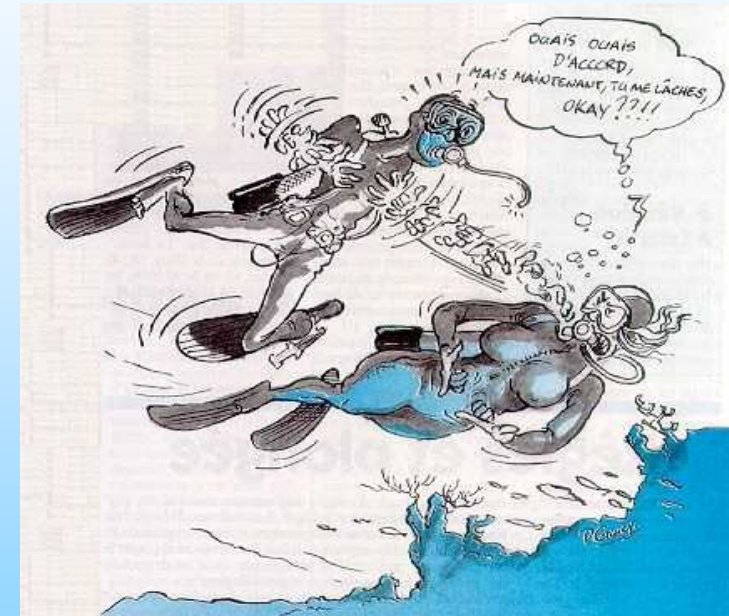
Origines



- Toxicité des gaz : Le CO2

Intervention du guide de palanquée

- Faire cesser tout effort
- Extraire de la profondeur
Chercher des points d'appuis.
- Assistance gilet prioritaire si + de 20 m
- Calmer et rassurer le plongeur.
- Mettre fin à la plongée.
- Augmenter le temps de palier
Oxygénothérapie si essoufflement sévère





- Toxicité des gaz : Le CO2

Prévention

Pour le guide de palanquée

PHASE MISE A L'EAU = PHASE ESSOUFFLEMENT (Stress/ Bloodshift¹ / Courant / froid)

Soigner départ + mise à l'eau + immersion + descente.

- Attention au courant / Adapter votre palmage.
- Suivre consommation d'air / Attentif à la quantité de bulles expirées.

Pour les plongeurs

- Maîtrise de la ventilation et **EXPIRATION ACTIVE**
- S'entraîner / Pas d'effort inconsidérés surtout en profondeur
- Pas d'apnée d'économie
- Bon lestage / combinaison adaptée aux conditions
- Détendeur bien réglé / Ventilation adaptée à la profondeur



¹ Le phénomène du BLOODSHIFT à l'immersion réduit la surface d'échange



- Toxicité des gaz : l'O₂

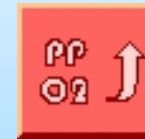
L'oxygène : gare aux excès (trop ou pas assez) !

L'oxygène est indispensable à la vie.

Il est consommé par le corps humain en fonction de son métabolisme.

Il est apporté par la ventilation pulmonaire régulée par la consommation en oxygène au cours du travail musculaire.

En surface O₂ = 21% ce qui fait une PpO₂ de 0,21 bar.



En deçà on parle d'**HYPOXIE** et au-delà d'**HYPEROXIE** qui devient dangereuse à partir de 1,6 bar car elle peut troubler le fonctionnement du S.N.C (neurotoxicité).

Les risques d'hyperoxie sont absents dans la plongée à l'air limitée à 60 m (possible à partir de 66m).

Les risques d'hyperoxie concernent les plongées Nitrox (profondeur plancher) et les décompressions avec palier à l'O₂





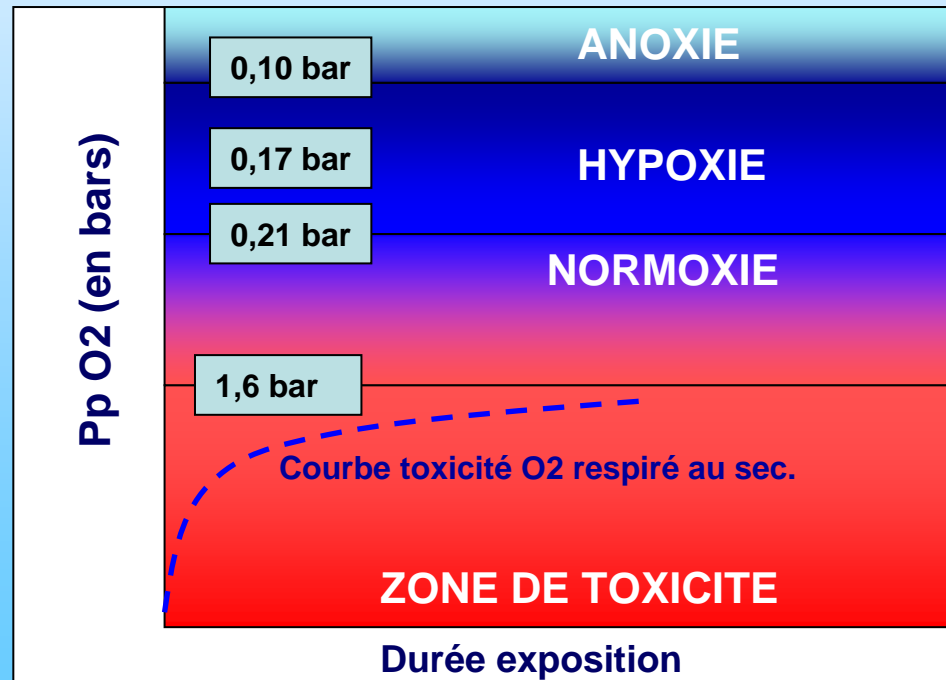
- Toxicité des gaz : l'O2

Seuil de toxicité de l'O2

Notre organisme réagit à PpO2 dans le sang de la façon suivante :

État	Anoxie	Hypoxie	Normoxie	Hyperoxie	Hyperoxie aiguë
PpO2	<0,10 b	<0,17 b	0,21 b	>= 0,5 b 2 à 3 heures	>= 1,7 b
				Effet Lorrain Smith - Lésions pulmonaires (surfactant)	Effet Paul BERT - Intoxication cellules nerveuses

Seuil de toxicité
(Plongée Plaisir – Page 107)





- Toxicité des gaz : l'hyperoxie

L'hyperoxie

L'HYPEROXIE se manifeste de 2 façons :

- **L'EFFET LORRAIN SMITH** : Survient en caisson ou au plongeur professionnel.

Causes : Respirer pendant au moins 3H une $PpO_2 \geq 0,5$ b.

Oxygénothérapie prolongée

- **L'EFFET PAUL BERT** : Survient chez le plongeur en scaphandre autonome à + de 60 m ou à faible profondeur en respirant des mélanges enrichis en O_2 .

Plongée au NITROX / palier de décompression à O_2 pur - max 6m

Cf: Arrêté du 28/08/2000 fixant le PpO_2 au max 1,6b (mélange)

Cet effet apparaît après un **temps de latence** variable qui dépend :

- De la **PpO_2** donc de la profondeur et du mélange respiré,
- De la **sensibilité individuelle** et les **circonstances** (effort, froid, fatigue, hypercapnie...)



Ce temps peut varier de 7min à 2h30 pour une même personne.

- Toxicité des gaz : l'hyperoxie

Phases de toxicité

L'oxygène en excès **stimule les centres nerveux** et provoque une **crise type épileptique**.

On distingue **4 phases** :

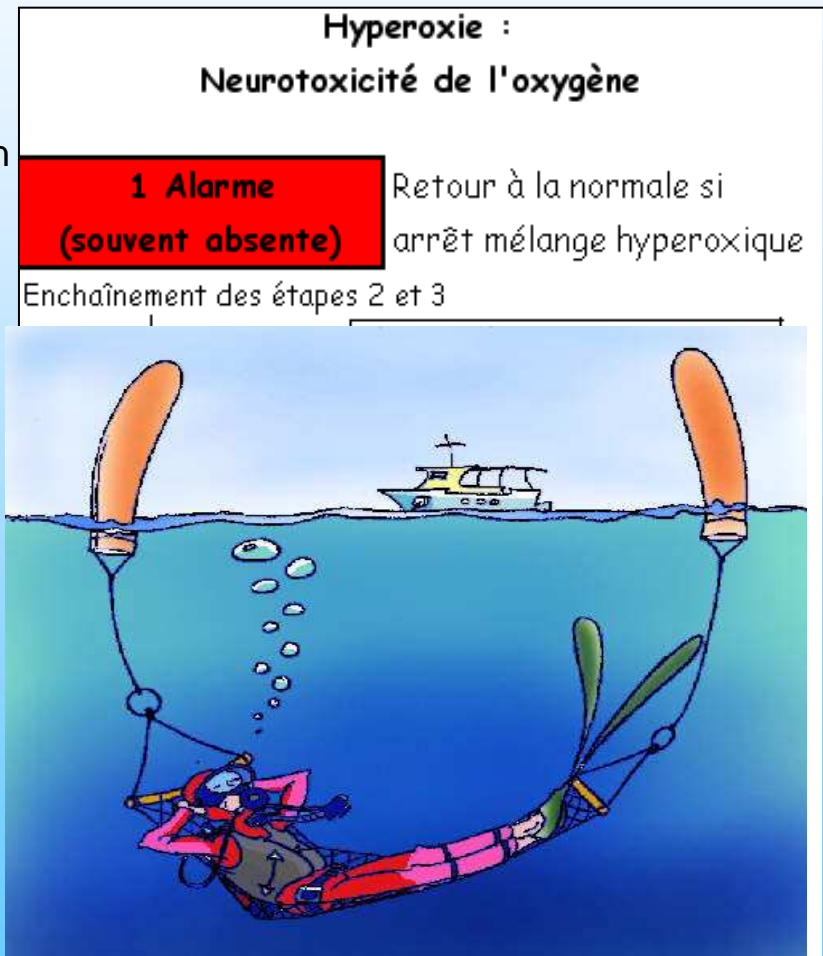
1.Phase d'alarme : crampes, diminution champs visuel (effet tunnel), gêne ventilatoire, accélération pouls, modification de l'humeur (euphorie, dépression), secousses musculaires, nausée.

Phase réversible - Remonter ou diminuer PpO₂.

2.Phase d'apnée : Contractions musculaires généralisées et incontrôlables – Spasmes et fermeture de la glotte (apnée).

3. Phase convulsive : 2 à 3 min - Alternances des contractions et décontractions musculaires.

4.Phase post-convulsive : 10 à 15min - Retour progressif à la normal si diminution de la PpO₂.
Pas de souvenir de la crise – Fatigue – Endormissement.



- Toxicité des gaz : l'hyperoxie

Intervention du guide de palanquée

Prévenir le risque de noyade !!

- Maintenir embout en bouche.
- Rejoindre progressivement la surface en respectant la décompression.
(Attention à la ventilation : Risque SP !!)
- Evacuation vers équipe médicale spécialisée.





- Toxicité des gaz : l'hyperoxie

Prévention

AVANT

- **Contrôle** de O₂ dans mélange (NITROX).
- **Identification** précise des blocs.
- Strict **respect** de la profondeur.
- Bonne forme physique et mentale.

PENDANT

- Etre à l'écoute de son corps (alarme).
- Vérifier sa profondeur et remonter si nécessaire.
- Rester à l'écoute des autres.





- Toxicité des gaz : l'hyperoxie

Cas particuliers

Paliers à O₂ pur (*Réduire le temps de paliers*)

- Profondeur des paliers : Ne pas dépasser 6 mètres (P_p O₂ = 1,6 bars).

Plongée au NITROX (Air enrichi en O₂)

But : Limiter les risques d'ADD et de diminuer la fatigue.

C'est la quantité de O₂ du mélange qui impose la profondeur maximum.

En tant que GdP il faut savoir déterminer :

- **la profondeur maximum admissible pour le mélange.**
- **le mélange à utiliser en fonction de la prof. max prévue.**
- **la profondeur équivalente pour des plongées à l'air.**





- Toxicité des gaz : l'hyperoxie

Cas particuliers

Mélange NITROX

Profondeur Plancher : $P_{abs} = P_{pO_2 \max} / \%O_2$

Nitrox 32/68 – Profondeur ?

$$P_{abs} = 1.6 / 0,32 = \mathbf{5 \text{ bars}} \text{ soit } \mathbf{40 \text{ m.}}$$

Teneur en O2 du NITROX : $\%O_2 = P_{pO_2 \max} / P_{abs}$

Prof. Maxi = 34 m - NITROX ?

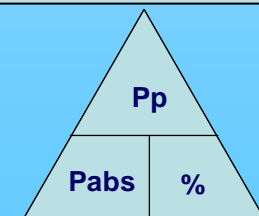
$$\% O_2 = 1,6 / 4,4 = \mathbf{0,36} \text{ soit } \mathbf{NITROX 36/64}$$

Profondeur Equivalente : $P_{abs \text{ Air}} = P_{pN_2 \max \text{ Nitrox}} / 0,79$

NITROX 36/64 / Prof mer = 35m - Prof. Equiv. ?

1 - **Calcul Pp N2** $P_{p N_2} = P_{abs} \times \%N_2$ soit $P_{p N_2} = 4,5 \times 0,64 = \mathbf{2,88 \text{ bars}}$

2 - **Calcul Pabs Air** $P_{abs \text{ Air}} = P_{p N_2 \max \text{ NITROX}} / 0,79$ soit $P_{abs \text{ air}} = \mathbf{2,88} / \mathbf{0,79}$
 $= \mathbf{3,64 \text{ bars}}$ soit équivalence à une plongée à l'air à **26 m.**





- Toxicité des gaz : l'hypoxie ou Anoxie

Hypoxie

Recycleurs



Concerne les appareils à circuits fermés ou semi fermés et la plongée militaire.

La respiration d'un gaz appauvri en O₂ favorise l'essoufflement et peut conduire à une perte de connaissance.

Si un apport en O₂ n'est pas possible (gaz appauvri en O₂), les ressources en O₂ baissent progressivement et conduisent à une syncope (fonctionnement à minima) pour réserver l'O₂ aux organes essentiels (cerveau, cœur,..) .





- **Toxicité des gaz : Syncope hypoxique**

Syncope hypoxique en apnée

Se produit après une apnée prolongée avec efforts et lorsque l'on a pratiqué l'**Hyperventilation**.

L'**hyperventilation** ne permet pas de s'oxygéner plus, mais au contraire de diminuer la tension de CO₂ dans les tissus, le sang et les alvéoles pulmonaires.

En apnée atténuation du stimulus respiratoire (bulbe rachidien) et besoin de respirer retardé.

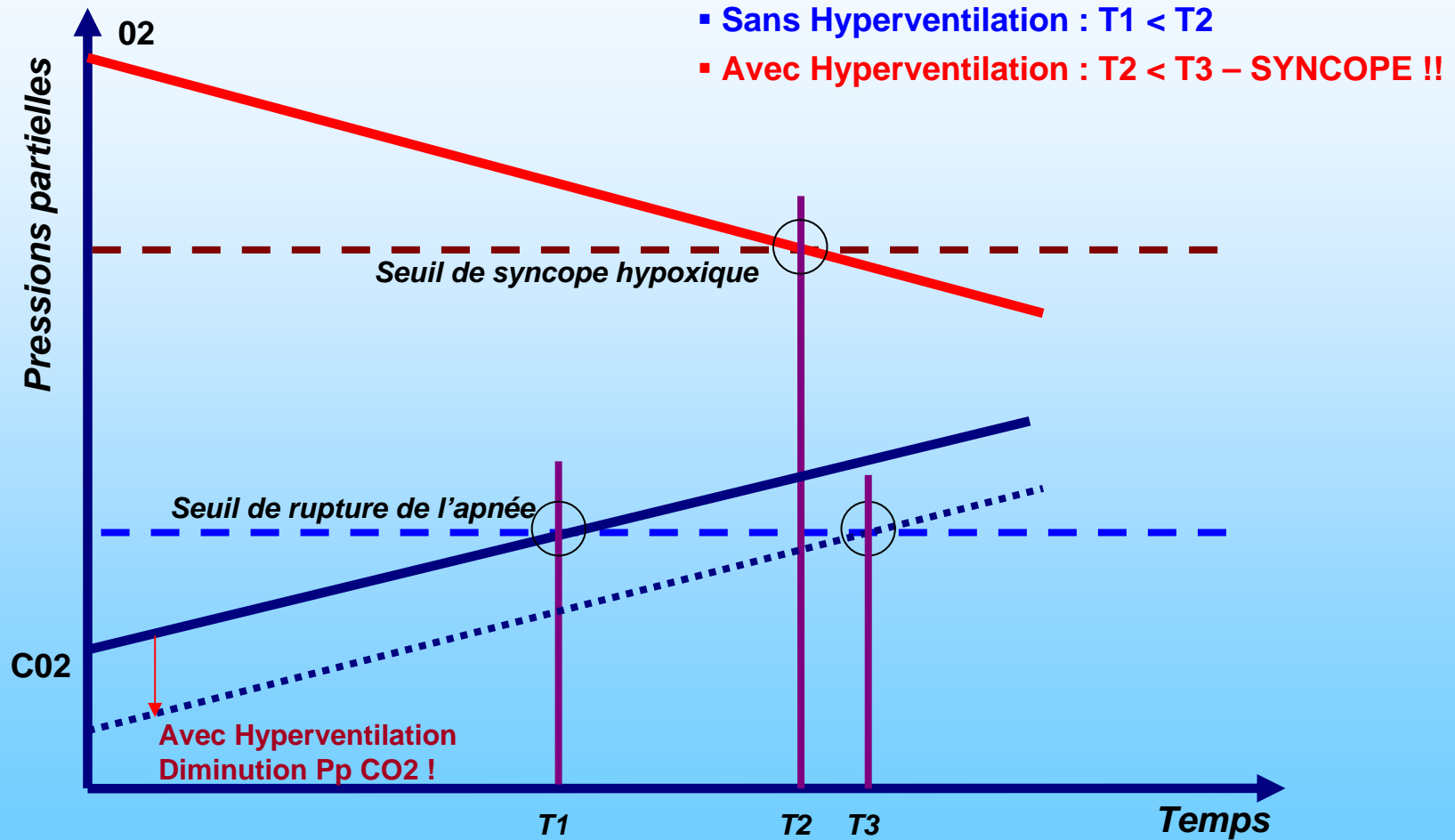
- A la descente PpO₂ augmente avec sensation de bien être et prolongation de l'apnée.
- Au fond O₂ est consommé et CO₂ reste relativement stable. Le taux de O₂ baisse dangereusement.





- Toxicité des gaz : Syncope hypoxique

Approche schématique de l'hyperventilation





- Toxicité des gaz : Syncope hypoxique

l'hyperventilation

La physiologie nous indique les troubles rencontrés en fonction de la pression artérielle (ou alvéolaire) :

PaO₂ = 100 mm Hg

PaO₂ < 50 mm Hg

PaO₂ < 40 mm Hg

PaO₂ < 30 mm Hg

Pression normale en surface

Trouble de la mémoire

Trouble du jugement critique

Troubles visuels et perte de connaissance

Ces différentes valeurs expliquent que l'apnéiste, dans un premier temps, a tendance à nier la syncope puisqu'il a été victime avant celle-ci de troubles de la mémoire et d'une perte de jugement critique.

Symptômes : Après hyperventilation : étoiles, vertiges/ Au fond : euphorie, bien être / A la remontée : palmage excessivement lent / pas de tour d'horizon.

Prévention : PAS D'HYPERVENTILATION, Pratiquer le 1/3 temps / connaître ses limites / Etre surveillé / avoir un bon lestage.





- Toxicité des gaz : Syncope hypoxique

Rendez-vous syncopal des 7 mètres.

Perte de connaissance par arrêt cardio-circulatoire entre 10 et 5 m chez l'apnéiste à la remontée.

A la surface, l'échange de CO₂ et d'O₂ se fait comme suit :

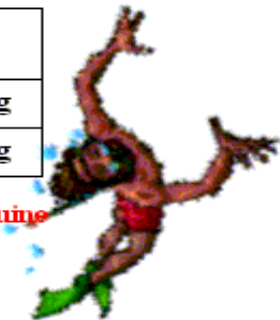
	Pression alvéolaire	Echange	Pression Veineuse
PO ₂	100 mm Hg	↘↘	40 mm Hg
PCO ₂	40 mm Hg	↗↗	46 mm Hg

En résumé, la perte de connaissance se produit donc dans les derniers mètres lors de la remontée, voir même après le retour en surface ou dans les secondes qui suivent puisqu'il faut plusieurs secondes pour que l'oxygène de l'air inspiré parvienne au cerveau.

Dans notre exemple, à 5 mètres de profondeur, les pressions auront pour valeur :

	Pression alvéolaire	Echange	Pression sanguine
PO ₂	30 mm Hg	↗↗	40 mm Hg
PCO ₂	40 mm Hg	↘↘	46 mm Hg

A ce stade, l'échange d'O₂ est inversé et la pression sanguine va diminuer



20 m de profondeur, les pressions donnent (Boyle Mariotte) :

	Pression alvéolaire	Echange	Pression sanguine
PO ₂	300 mm Hg	↘↘	40 mm Hg
PCO ₂	120 mm Hg	↘↘	46 mm Hg

	Pression alvéolaire	Echange	Pression sanguine
PO ₂	60 mm Hg	↘↘	40 mm Hg
PCO ₂	80 mm Hg	↘↘	46 mm Hg

Le superoxyde ressentie au niveau des cellules cérébrales, entraîne un état d'euphorie, l'apnéiste se sent bien. Il va donc rester plus longtemps au fond et va risquer une consommation excessive de son oxygène jusqu'à obtenir une PaO₂ de 60mmHg et une PaCO₂ de 80mmHg à 20m. A la remontée, la pression alvéolaire va diminuer fortement. Le risque d'avoir une PaO₂ inférieur à la pression sanguine durant la remontée est important





- Toxicité des gaz : Syncope hypoxique

Les 10 commandements de l'Apnée

1. Ne jamais faire d'apnée seul.
2. S'entraîner avec un apnéiste du même niveau.
3. Toujours garder un contact avec l'équipier et être à portée afin de pouvoir l'assister rapidement en cas de besoin.
4. Etre attentif aux signes indicateurs de syncope (lèvres violettes, regard vide, visage pâle...)
5. Toujours annoncer l'exercice avant le départ et le respecter. Pas de dépassement non prévu de la distance, du temps ou de la profondeur.
6. Proscrire l'hyperventilation.
7. Utiliser la règle du 1/3 temps.
8. Bien maîtriser une performance avant de tenter de l'améliorer.
9. Laisser le temps à l'organisme de s'habituer à une profondeur avant d'aller plus profond (risque d'œdème pulmonaire).
10. En apnée, rien n'est acquis, tout se travaille.



Systeme Nerveux, Comportement des gaz, Toxicité des gaz :

Maintenant, plus aucun secret pour un Super N4



Merci de votre attention !





Bibliographie :

- Système nerveux 1ère partie – Formation N4 – CDH – Tony Martinez – Olivier Nicolas – Eric Bahuet
- Alain FORET - Plongée Plaisir – Niveau 4
- Séverine Coutel / Jean-François Gandrez – Préparation MF1 – HGC 2005

