

# Les accidents Biochimiques

Formation N4/GP – CODEP92 - Saison 2021

Hervé Munier (ASPN Neuilly-sur-Seine)

[rvmunier@gmail.com](mailto:rvmunier@gmail.com)

20 Février 2021

V1.1

# AGENDA

- ❑ **Pourquoi ce cours ?**
- ❑ **Le corps humain, une machine formidable**
- ❑ **Les accidents biochimiques**
  - **Causes**
  - **Mécanismes**
  - **Facteurs favorisants**
  - **Symptômes**
  - **Prévention**
  - **Conduite à tenir**
- ❑ **Conclusion**

# Importance pour vous futur GP

- ❑ **Vous êtes déjà** : plongeur autonome co-responsable jusqu'à 60m (sur décision du Directeur de Plongée)
- ❑ **Vous serez demain** : responsable d'une palanquée encadrée en immersion jusqu'à 40m

La **SECURITE** et le **PLAISIR** pour vous, vos binômes et les personnes que vous emmenez sous l'eau avec une responsabilité pouvant être engagée

**Connaitre** pour mieux :

- ✓ **Respecter** la réglementation (va dans le sens de la sécurité des pratiquants et pour être assuré en cas de problème)
- ✓ **S'entraîner** en conséquence (connaitre ses limites personnelles)
- ✓ **Prévenir**, éviter les situations à risque
- ✓ **Eviter** la mise en danger d'autrui
- ✓ **Réagir** si besoin

# Le corps humain, une machine formidable

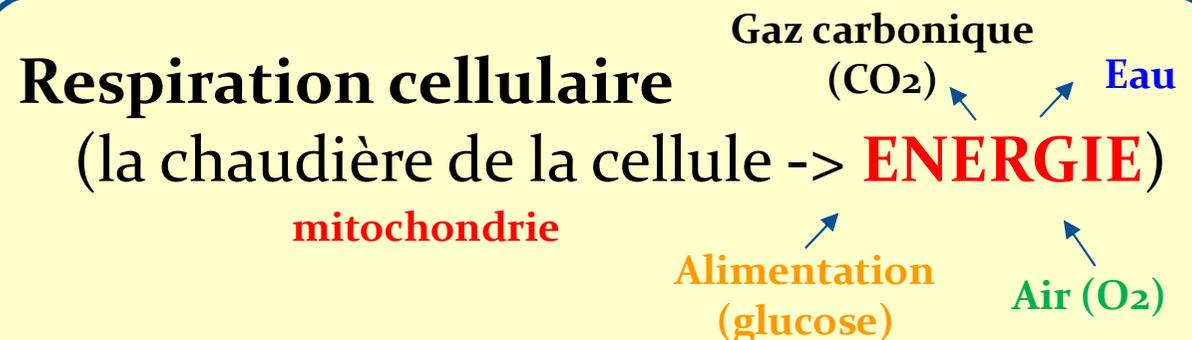


## Contrôle et régulation par le système nerveux

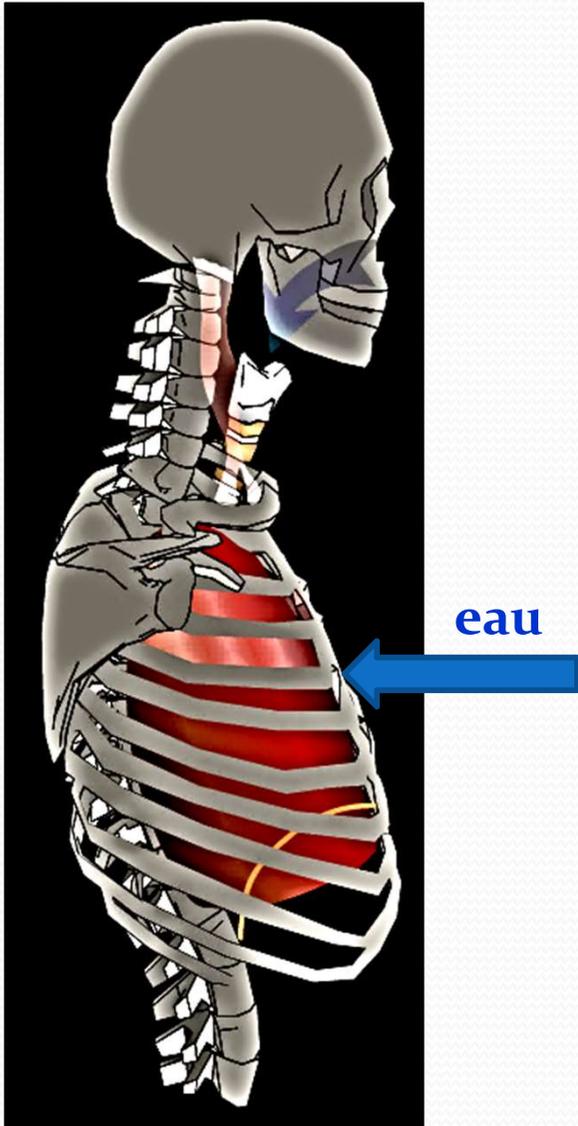
**Ventilation pulmonaire**  
(renouvellement de l'air)

**Hématose**  
(échanges gazeux au niveau des poumons)

**Perfusion tissulaire**  
(transport par le sang)



# La ventilation en plongée



La pression développée par les muscles pour une inspiration est de l'ordre de 40 mbar

Longueur maximale d'un tuba ?

Conséquences ?



En plongée, utilisation du détendeur qui délivre de l'air à la pression absolue

Pression absolue de l'air inspiré en Plongée

- ↗ quand on descend
- ↘ quand on remonte

Idem pour la Pression partielle ( $P_p$ ) des gaz composants l'air

**Dissolution**

# Loi de Dalton

## Notion de pression partielle d'un gaz au sein d'un mélange

### Calcul de pression partielle

$$Pp(\text{Gaz}) = \% \text{Gaz} * Pabs$$

### Calcul de profondeur

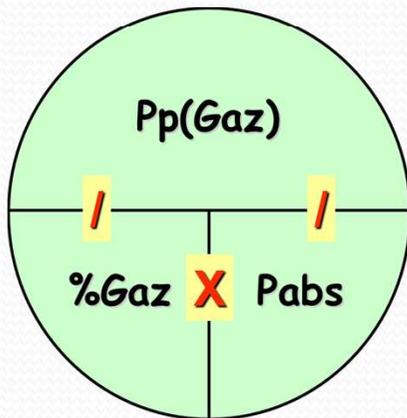
$$Pabs = \frac{Pp(\text{Gaz})}{\% \text{Gaz}}$$

### Teneur en gaz

$$\% \text{Gaz} = \frac{Pp(\text{Gaz})}{Pabs}$$

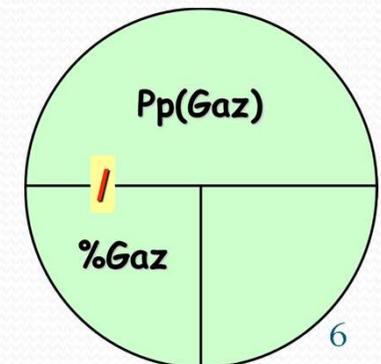
$$Pp(\text{Gaz}) = \% \text{Gaz} * Pabs$$

(b) (b)



Je masque ce que je veux calculer

Exemple : calcul de la profondeur plancher ( $Pabs$ ) =



# Composition de l'air

## L'oxygène (O<sub>2</sub>), un comburant indispensable

| Gaz constituants l'air          |                         | % volume<br>Air sec                   | %<br>Approximation    |    |
|---------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|-----------------------|----|
| Gaz<br>principaux               | Air<br>Sec              | Azote (N <sub>2</sub> )               | 78,09                 | 80 |
|                                 |                         | Oxygène (O <sub>2</sub> )             | 20,95                 | 20 |
|                                 |                         | Argon (Ar)                            | 0,93                  |    |
|                                 |                         | Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> ) | 0,035                 |    |
| Gaz<br>Traces                   |                         | Néon (Ne)                             | 1,8.10 <sup>-3</sup>  |    |
|                                 |                         | Hélium (He)                           | 5,24.10 <sup>-4</sup> |    |
|                                 |                         | Méthane (CH <sub>4</sub> )            | 1,7.10 <sup>-4</sup>  |    |
|                                 |                         | Krypton (Kr)                          | 10 <sup>-4</sup>      |    |
|                                 |                         | Hydrogène (H <sub>2</sub> )           | 5.10 <sup>-5</sup>    |    |
|                                 |                         | Xénon (Xe)                            | 8.10 <sup>-6</sup>    |    |
|                                 | Ozone (O <sub>3</sub> ) | 10 <sup>-6</sup>                      |                       |    |
| Vapeur d'eau (H <sub>2</sub> O) |                         |                                       |                       |    |



+ Gaz indésirables ajoutés par erreur : Monoxyde de carbone (CO), ...



# Les accidents biochimiques

- ❑ **Définition** : accidents provoqués par des gaz (tolérés en surface) qui peuvent avoir un effet nocif sur notre organisme de part l'augmentation ou la diminution de pression partielle par rapport à une plage admissible
- ❑ **Causes** : Dépassement pour un gaz donné d'un seuil limite tolérable par l'organisme

## Les gaz concernés

- ❑ **Oxygène (O<sub>2</sub>)**
  - Hypoxie et Anoxie
  - Hyperoxie
- ❑ **Dioxyde de Carbone (CO<sub>2</sub>)**
  - Essoufflement
- ❑ **Azote (N<sub>2</sub>)**
  - Narcose
- ❑ **Monoxyde de carbone (CO)**
  - Intoxication

- ✓ Mécanismes
- ✓ Facteurs Favorisants
- ✓ Symptômes
- ✓ Prévention
- ✓ Conduite à tenir

# Accidents liés à l'excès ou à l'insuffisance d'O<sub>2</sub>

- ❑ L'Oxygène : un gaz vital pour le fonctionnement de l'organisme (consommé en fonction des besoins)
- ❑ Définition des limites de l'organisme pour les différents stades

**Que dit le code du sport en France : Art. A. 322-92.**

– La valeur de la pression partielle minimale d'oxygène inspiré par le plongeur est limitée à 160 hectopascals (**0,16 bar**)

La valeur de la pression partielle maximale d'oxygène inspiré par le plongeur en immersion est limitée à 1 600 hectopascals (**1,6 bar**).

| PpO <sub>2</sub> | Stade     | Risque                     |
|------------------|-----------|----------------------------|
| <b>1,6 b</b>     | Hyperoxie | <b>Effet Paul Bert</b>     |
| 0,5 b            |           | <b>Effet Lorrain-Smith</b> |
| 0,21 b           |           | Normoxie                   |
| <b>0,16 b</b>    | Hypoxie   |                            |
| 0,12 b           | Anoxie    | <b>Syncope</b>             |

# O<sub>2</sub> : Hyperoxie

- ❑ **2 types d'accident Hyperoxique (excès d'oxygène)**
  - **Effet Paul Bert** : provoque des effets neurotoxiques (crise de type épileptique) suite à l'exposition à des pressions élevées d'oxygène ( $PpO_2 > 1,6 \text{ b}$ ) ; accident très compliqué à gérer sous l'eau car plusieurs phases à prendre en compte
  - **Effet Lorrain-Smith** : provoque des lésions pulmonaires (irritations) inflammatoires gênant les échanges gazeux suite à l'inhalation pendant de longues durées d'O<sub>2</sub> entre 0,5 et 1,6 b de Pp

**Nous ne sommes pas concernés en plongée à l'air en circuit ouvert en respectant les profondeurs réglementaires**

**Prévention** : attention lors de la prise des blocs dans les clubs -> ne pas se tromper ! Et respect des profondeurs réglementaires

# L'effet Paul Bert ou la crise Hyperoxique

- ❑ Le principal risque pour la plongée au Nitrox
- ❑ Conditions d'apparition
  - Exposition à  $PpO_2 > 1,6$  b en milieu humide (certaine dose)
  - Susceptibilité variable selon l'individu
  - Susceptibilité variable chez le même individu de manière imprévisible
- ❑ Signes annonciateurs

## Le + souvent pas de signes

- Accélération de la fréquence cardiaque
- Nausées (40%), vertiges (17%)
- Crampes , Convulsion de la face (20%)
- Troubles visuels (vision en tunnel) } 6%
- Troubles auditifs : bourdonnement }
- Trouble du comportement, euphorie (6%)

# L'effet Paul Bert ou la crise Hyperoxique

## □ Déroulement de la crise Hyperoxique

< 1mn

- Phase tonique : contracture généralisée associée à une apnée avec perte de connaissance et arrêt ventilatoire

⚠ • risque de surpression pulmonaire pour l'accidenté

- Phase clonique : convulsions, morsure de la langue, perte d'urine, larynx toujours fermé

2 à 3mn

⚠ • risque de perte d'embout pour l'accidenté

⚠ • risque pour le sauveteur dû à l'agitation de l'accidenté

- Phase de résolution ou de relâchement : retour progressif à la conscience

10 à 15mn

Evacuation



On remonte  
sans faire de palier

# L'effet Paul Bert ou la crise Hyperoxique

## □ Conduite à Tenir

### ■ Remonter (Sauvetage/Assistance)

#### ○ Les risques



- Surpression pulmonaire pour l'accidenté
- Pour le sauveteur dû à l'agitation de l'accidenté
- Perte d'embout pour l'accidenté (-> Noyade)

### ■ A la surface

- Réanimation si nécessaire
- Evacuation

# L'effet Paul Bert ou la crise Hyperoxique

## □ Prévention

- Respect de la limite de  $PpO_2 = 1,6 \text{ b}$
- Diminuer la limite ( $\searrow$  Profondeur) en cas de (Facteurs favorisants) :
  - Froid
  - Fatigue
  - Stress
  - Hypercapnie ( $\nearrow CO_2$  dans le sang dû principalement à une mauvaise ventilation)
- Reconnaître les signes annonciateurs -> remonter immédiatement

# Effet Lorrain-Smith : irritation pulmonaire à l'O<sub>2</sub>

## □ Conditions d'apparition

- A partir d'une PpO<sub>2</sub> >= à 0,5 b
- Apparition lente et progressive
- Durée d'exposition importante (plusieurs heures)
- Ne concerne pas la plongée à l'Air

## □ Signes et symptômes

- Toux d'intensité croissante avec la durée d'exposition
- Diminution de la capacité vitale (réversible pour les irritations bénignes)
- Œdème pulmonaire : Liquide dans les alvéoles des poumons
- Broncho-pneumonie réversible : inflammation des bronches, bronchioles et alvéoles
- Fibrose : formation de cicatrice fibreuse

## □ Prévention

- Limiter la durée de la plongée au Mélange max 2h
- Pas de prise de certains médicaments qui constituent un facteur favorisant (décongestionnant nasal)

# O<sub>2</sub> : Hypoxie et Anoxie

- ❑ **Hypoxie et Anoxie** = insuffisance en oxygène
- ❑ Il n'y a pas de raison que cela arrive :
  - en plongée à l'Air si on surveille sa consommation régulièrement et que l'on révisé régulièrement le matériel
  - pour la plongée libre à 10m ! (entraînement progressif approprié)
- ❑ **La syncope hypoxique ou anoxique**
  - **Cause** : manque d'oxygène au niveau du cerveau
  - **Symptômes** :
    - Accélération du rythme cardiaque (tachycardie)
    - Hallucination
    - Perte de connaissance brutale et transitoire, spontanément résolutive avec un retour rapide à un état de conscience normal. Le cerveau se met en veille pour économiser l'O<sub>2</sub> et favoriser certains organes plus que d'autres (cœur, cerveau)
    - Dans les cas extrêmes : arrêt cardiaque et/ou respiratoire

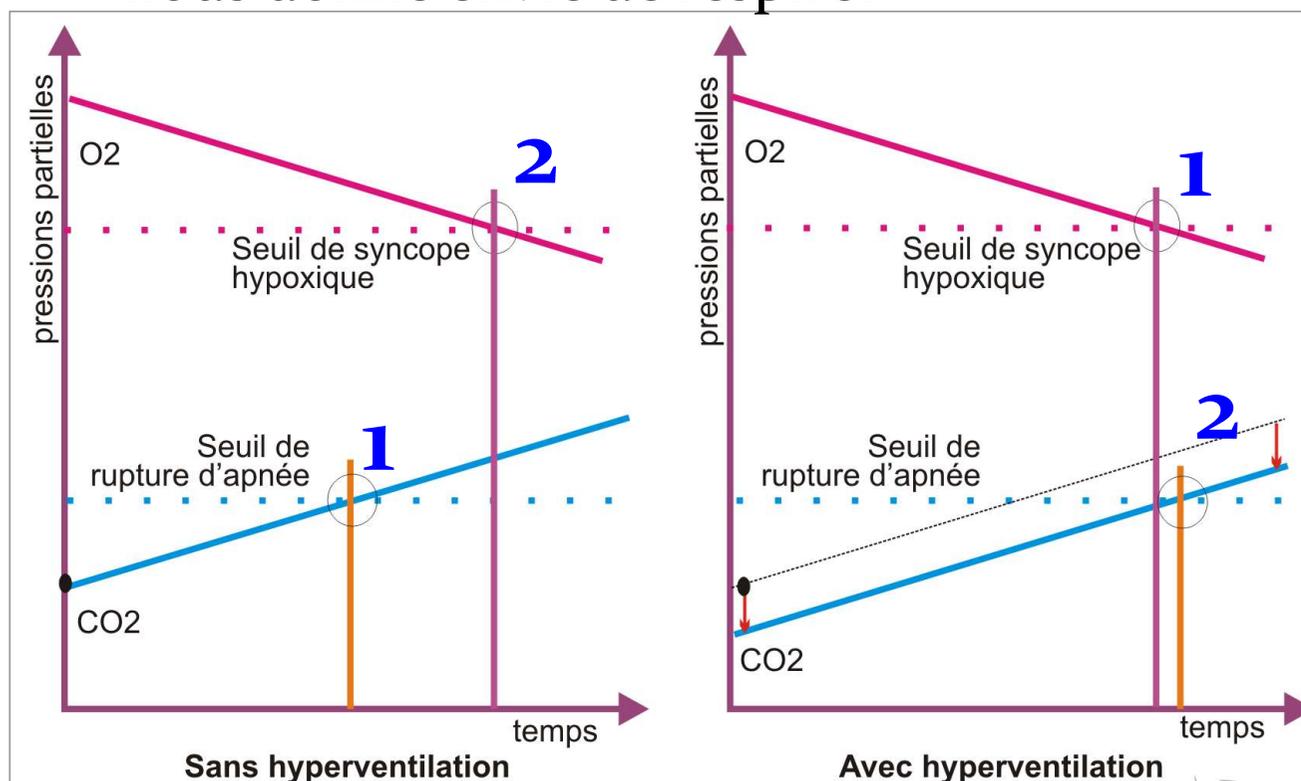
# O<sub>2</sub> : Hypoxie et Anoxie

- **Risque** : noyade si reprise de la ventilation sous l'eau
- **Prévention** :
  - En plongée :
    - On révisé le matériel régulièrement (Bloc et Détendeur)
    - On surveille son autonomie en air
    - On contrôle la qualité de l'air issu du compresseur
  - En Apnée :
    - On s'entraîne avec un apprentissage de la profondeur par palier
    - On s'échauffe pour préparer l'organisme
    - Pas d'hyperventilation ( sinon risque de syncope car le seuil d'anoxie de la PpO<sub>2</sub> est atteint avant le seuil d'hypercapnie de la PpCO<sub>2</sub> qui déclenche l'envie de respirer )
    - On ne tarde pas trop au fond
- **Conduite à tenir** :
  - Secours immédiat : assistance d'un syncopé (plongée ou apnée) RIFAx, maintien du détendeur en bouche en plongée
  - Mise sous oxygène pur en surface
  - Evacuation si besoin

# O<sub>2</sub> : La syncope en Apnée

## ■ Mécanisme de l'hyperventilation :

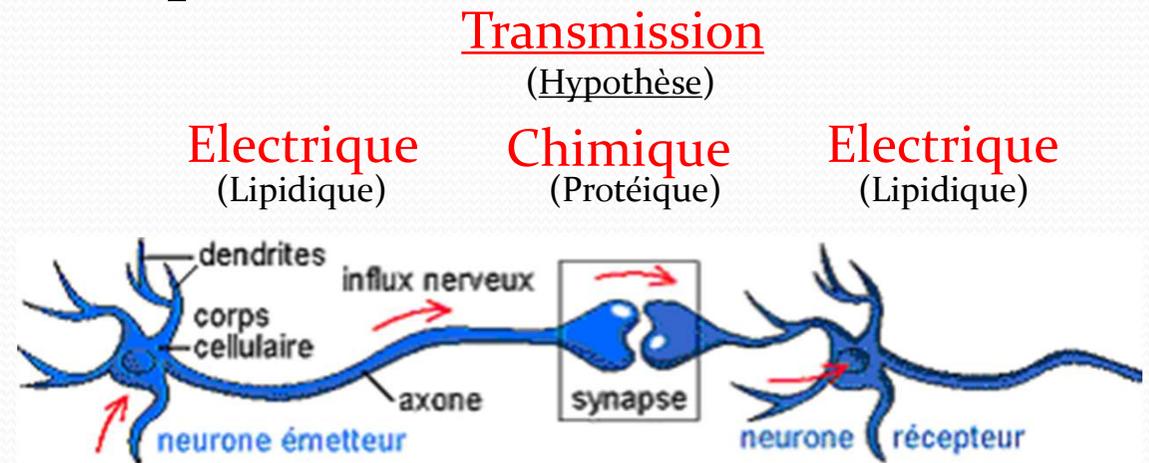
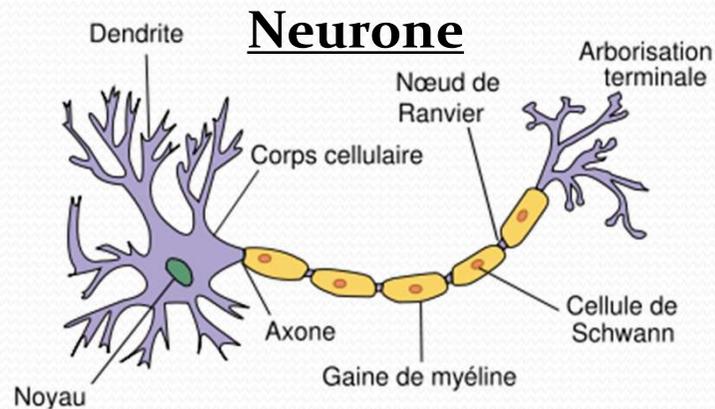
- Diminution en surface de la PpCO<sub>2</sub> par une ventilation préparatoire inappropriée qui va avoir pour conséquence de repousser l'envie de respirer en immersion
- Conséquence en immersion : atteinte du seuil de syncope hypoxique (O<sub>2</sub> concerné) avant le seuil de rupture de l'apnée (CO<sub>2</sub> concerné) qui nous donne envie de respirer



**1** Seuil atteint en premier

**2** Seuil atteint en second

- ❑ **Mécanisme** : perturbation de la transmission nerveuse qui va engendrer des troubles par fixation de l'azote sur les cellules nerveuses



## Troubles qui vont dépendre :

- de la personne (profondeur d'apparition et types de trouble) = susceptibilité individuelle
- de la nature du gaz (azote très narcotique)
- du moment, de l'état du plongeur (variabilité importante d'une plongée à l'autre)



# N<sub>2</sub> : Narcose

## □ Facteurs favorisants :

- Profondeur (Pression)
- Efforts musculaires
- Essoufflement
- Environnement
  - ✓ Perte de repère
  - ✓ Froid
  - ✓ Manque de clarté
- Facteurs individuels
  - ✓ Susceptibilité individuelle
  - ✓ Froid
  - ✓ Fatigue
  - ✓ Prise de médicament
  - ✓ Vitesse de descente, retournement brusque au fond
  - ✓ Etat physique (mauvaise condition physique)
  - ✓ Etat psychique (stress, pas envie de plonger)

# N<sub>2</sub> : Narcose

## Symptômes : *très souvent du déni*

Perception individuelle consciente ou non

### ■ Ressentis par le plongeur

- ✓ Facultés intellectuelles diminuées
- ✓ Troubles de l'attention
- ✓ Troubles de la mémorisation
- ✓ Troubles de l'humeur (angoisse, euphorie, dépression, atonie ...)
- ✓ Troubles de la perception (visuelle, auditive, ...)
- ✓ Pertes de repère (durée, espace, orientation)
- ✓ Troubles psychomoteurs (habileté)
- ✓ ...

### ■ Détectables *par le GP*

- ✓ Réponse du plongeur anormale
- ✓ Mauvaise stabilisation
- ✓ Non respect des consignes
- ✓ Tout comportement anormal

Questionnement lors du briefing si plongée profonde, es-tu sujet à ...

# N<sub>2</sub> : Narcose

## □ Prévention :

- Limiter les facteurs favorisant (avant/briefing et conduite sous l'eau) pour soi et les plongeurs encadrés
- En tant que GP, se connaître et s'entraîner à la plongée profonde (adaptation progressive) et rester concentrer sur son rôle
- Plongée aux mélanges

## □ Conduite à tenir :

- **Remonter**
- Assister si besoin
- Débriefer pour analyser la situation (comprendre les causes et en tirer des conséquences pour soi et le plongeur encadré concerné)

***Les conséquences peuvent être très graves***

*(mauvaise gestion de la palanquée, mauvaise gestion de la plongée = autonomie en air, orientation, décompression, ... : panique, noyade, ADD, ...)*

*Les encadrants sont aussi concernés !!*

# CO<sub>2</sub> : Hypercapnie <-> Essoufflement

## □ Causes :

- Externe (exogène) : air de la bouteille polluée avec dépassement du seuil acceptable lors de la plongée avec l'augmentation de la profondeur
- Mais principalement Interne (endogène) :
  - **Augmentation de la production de CO<sub>2</sub>**
    - ✓ effort ventilatoire (densité de l'air respiré) supérieure en profondeur
    - ✓ Détendeur mal réglé ou avec des performances ventilatoires insuffisantes
    - ✓ Efforts non maîtrisés (palmage, lestage inapproprié, mauvais choix de parcours contre le courant, ...)

## ET

- **Mauvaise ventilation et en particulier une expiration inappropriée !**

# CO<sub>2</sub> : Hypercapnie <-> Essoufflement

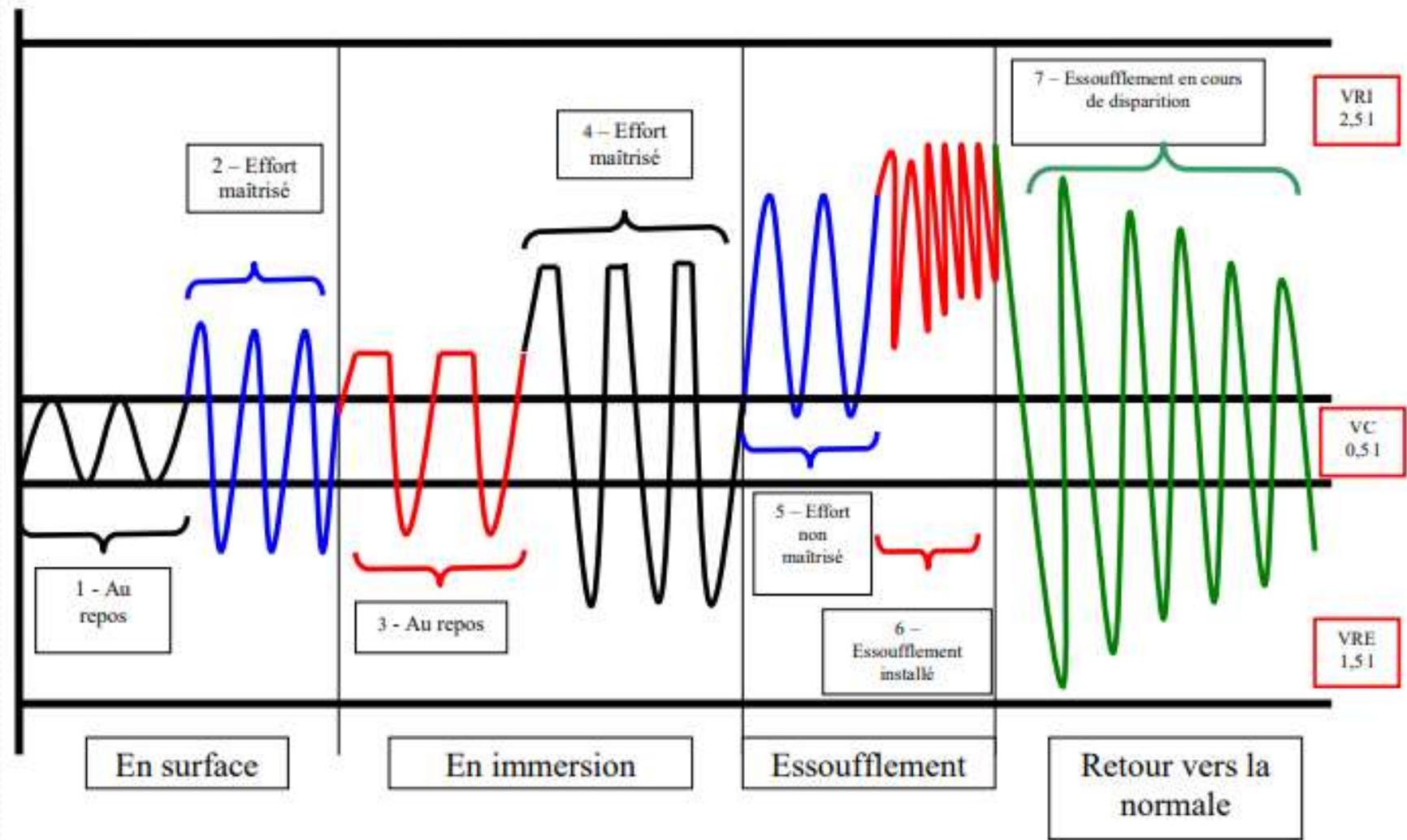
## □ Mécanismes :

- C'est la PpCO<sub>2</sub> qui constitue le principal stimulus de la ventilation
- Gradient faible de Pp CO<sub>2</sub> entre l'alvéole et l'artère pulmonaire (40 mm Hg / 46 mm Hg) ce qui ne facilite pas l'élimination
- De très faibles variations de la PpCO<sub>2</sub> artérielle entraînent une stimulation des chémorécepteurs et donc :
  - Une augmentation de l'activité cardiaque en fréquence et en amplitude pour augmenter le débit cardiaque afin d'acheminer le CO<sub>2</sub> aux alvéoles
  - une augmentation de la ventilation en fréquence et en amplitude afin d'éliminer le CO<sub>2</sub> en excès
- Si le CO<sub>2</sub> n'est pas suffisamment éliminé alors on rentre dans un cercle vicieux au niveau de la ventilation qui conduit à l'essoufflement



# CO<sub>2</sub> : Hypercapnie <-> Essoufflement

## ❑ Mécanismes :



# CO<sub>2</sub> : Hypercapnie <-> Essoufflement

## ❑ Facteurs favorisants :

- Froid
- Anxiété, Stress
- Mauvaise forme physique
- En tant que GP : mauvais choix en surface ou sous l'eau

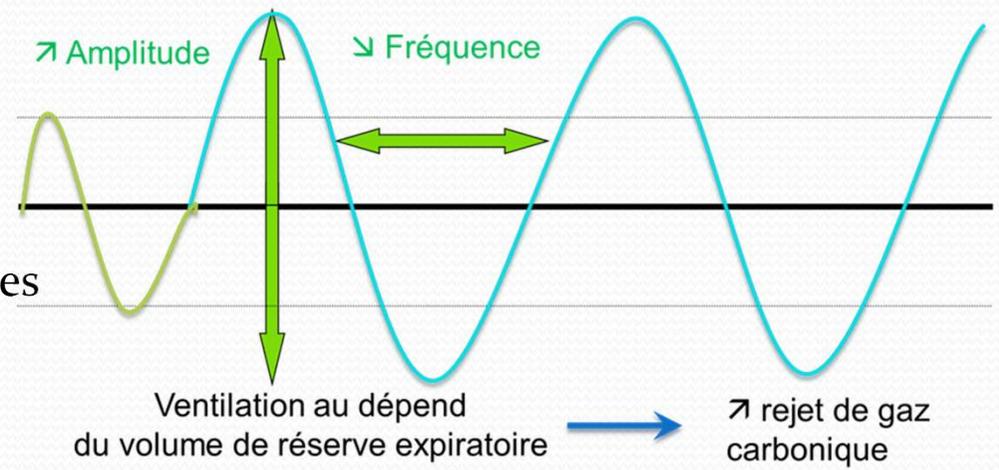
## ❑ Symptômes :

- Augmentation de la fréquence ventilatoire (risque : panne d'air)
- Maux de tête, nausée
- Incapacité à tenir une apnée expiratoire
- Ventilation superficielle (risque : ADD)
- Suffocation, sensation de manque d'air (risque : panique -> surpression pulmonaire, noyade, ADD)
- Syncope
- Mort

# CO<sub>2</sub> : Hypercapnie <-> Essoufflement

## ❑ Prévention :

- Vérifier la prise d'air du compresseur
- Avoir du matériel adapté (réglé, vérifié)
- Entraînement en endurance
- Etre correctement lesté
- Limiter les efforts
- Se forcer à insister sur l'expiration
- Surveiller les autres membres de la palanquée (bulles)
- Vérifier sa situation personnelle par des petites apnées expiratoires (2 s)
- Faire de bons choix sous l'eau (par rapport au courant, à la profondeur, à la température de l'eau)
- Apprendre à maîtriser sa ventilation
  - ✓ Inspiration plus profonde et plus lente
  - ✓ Expiration plus profonde au dépend du VRE
  - ✓ Active avec utilisation des muscles ventilatoires



# CO<sub>2</sub> : Hypercapnie <-> Essoufflement

## ❑ Conduite à tenir :

### ■ *Plongeur*

- Prévenir
- Cesser les efforts sans redescendre (et en s'accrochant si besoin en faisant attention)
- Se forcer à expirer
- Engager la remontée en signalant à la palanquée

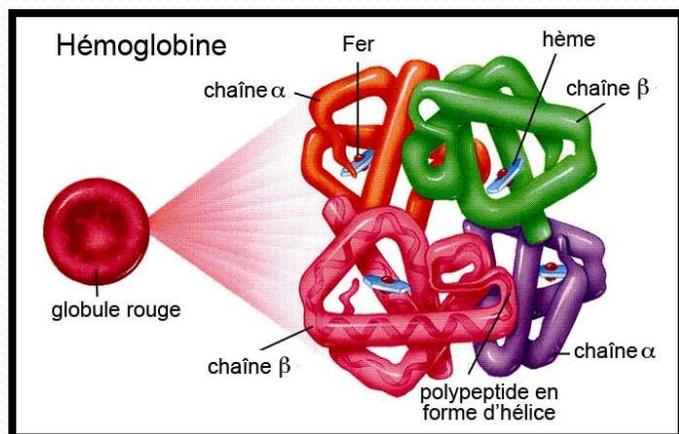
### ■ *Encadrant*

- Intervenir si besoin (assistance)
- Remonter (faire baisser les efforts ventilatoires et préserver son autonomie en air) et fin de plongée si incident sévère
- Majorer les paliers (risque augmenté d'ADD)
- Mettre sous surveillance sur le bateau
- Administration d'O<sub>2</sub> si persistance de maux de tête
- Prévenir le Directeur de Plongée



# CO : Intoxication au monoxyde de carbone

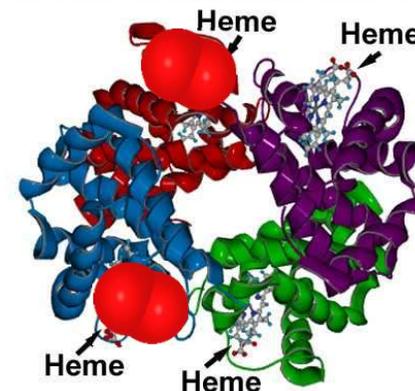
- ❑ **Mécanisme** : le monoxyde de carbone (CO) est un gaz asphyxiant indétectable (invisible, inodore et non irritant)
  - Il est issu d'une combustion incomplète
  - Il se diffuse très vite dans l'environnement et peut être mortel en moins d'une heure
  - L'intoxication au monoxyde de carbone se produit après l'inhalation de ce gaz principalement en plongée après gonflage des blocs (compresseur défectueux ou prise d'air inadapté)
  - Il y a fixation sur l'hémoglobine (contenu dans les globules rouges) en perturbant le transport de l'oxygène (forte affinité : 250 x / O<sub>2</sub>)



CO



O<sub>2</sub>



Hémoglobine  
(Hb)

# CO : Intoxication au monoxyde de carbone

## □ Symptômes :

| CO (ppm) | % CO dans l'air | Symptômes  |
|----------|-----------------|--|
| 100      | 0,01            | Maux de tête   |
| 200      | 0,02            | Maux de tête, vertiges, nausées, fatigue   |
| 400      | 0,04            | Maux de tête intenses<br>Danger de mort après 3 heures                                       |
| 800      | 0,08            | Maux de tête, vertiges, nausées<br>Perte de connaissance en 45 min<br>Décès après 2-3 heures |
| 1600     | 0,16            | Symptômes sévères après 20 min<br>Décès dans l'heure   |
| 3200     | 0,32            | Maux de tête, vertiges, nausées après 5 min<br>Perte de connaissance après 30 min            |
| 6400     | 0,64            | Céphalées et vertiges après 1 à 2 min<br>Perte de connaissance après 10-15 min               |
| 12800    | 1,28            | Perte de connaissance immédiate<br>Décès en 1 à 3 minutes                                    |

ppm = partie par million (fraction)

# CO : Intoxication au monoxyde de carbone

## □ Prévention :

- Attention au gonflage des blocs
- Cigarette avant la plongée !

## □ Conduite à tenir :

- Soustraction à l'ambiance toxique
- La liaison entre l'Hb et le CO est réversible en :
  - ✓ 6 heures à l'air
  - ✓ 90 minutes sous O<sub>2</sub> pur
  - ✓ 20 minutes en oxygénothérapie hyperbare
- Prise en charge médicale (urgence) : Oxygénothérapie hyperbare dans les cas les plus critiques
- Il peut y avoir des séquelles

# Conclusion

- ❑ Vous avez un **rôle fondamental** pour prévenir ce type d'accident pour les membres de la palanquée que vous encadrez (et en premier pour vous-même ...)
- ❑ Les éléments à prendre en compte pour y parvenir :
  - Une connaissance des limites autorisées (Règlementation)
  - Un matériel en parfait état, le vôtre et celui des membres de la palanquée
  - Des choix concernant le déroulement de l'activité (en surface et sous l'eau) en adéquation (pertinence) avec le niveau des membres de la palanquée et des conditions de plongée
  - Une condition physique et psychique à la hauteur et un niveau technique suffisant, **entraînez-vous !**

# Merci