

Les accidents Biochimiques

Formation N4/GP – CODEP92 - Saison 2021

Hervé Munier (ASPN Neuilly-sur-Seine)

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

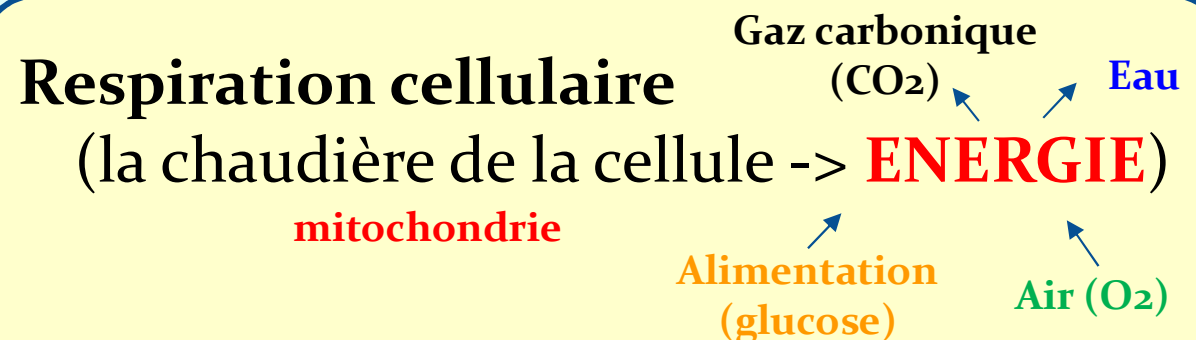


Contrôle et régulation par le système nerveux

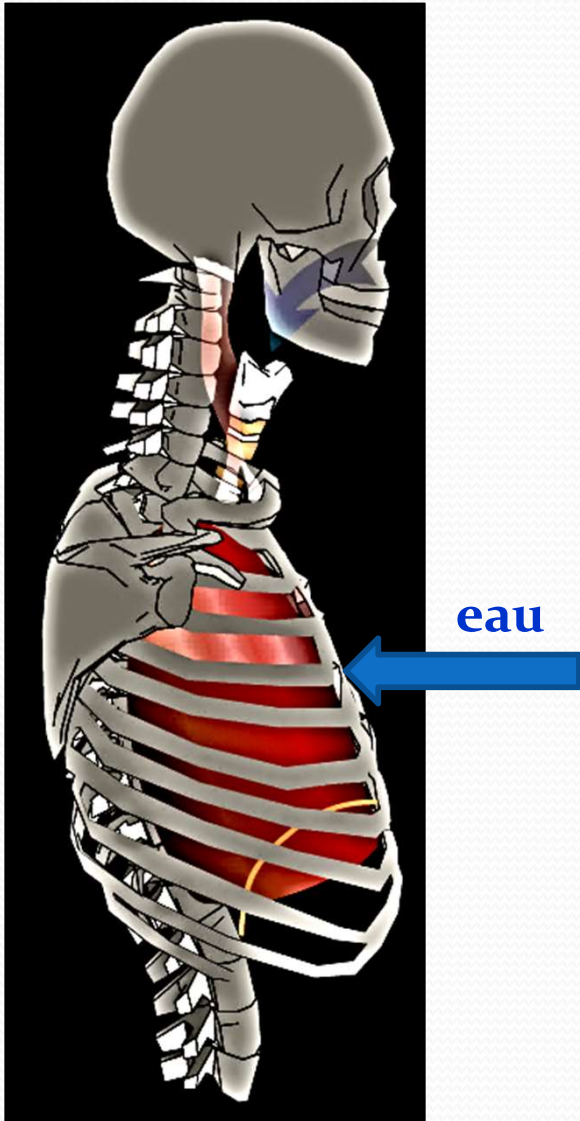
Ventilation pulmonaire
(renouvellement de l'air)

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

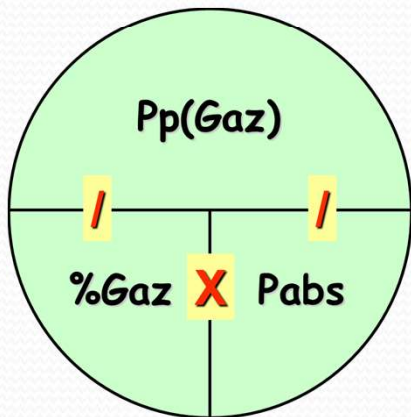
$$Pabs = \frac{Pp(\text{Gaz})}{\% \text{Gaz}}$$

Teneur en gaz

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

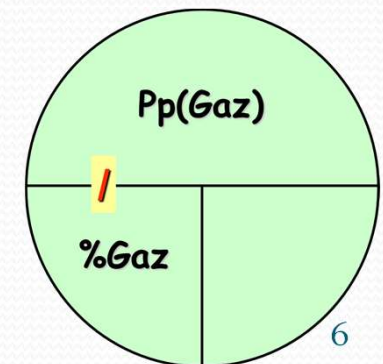
$$Pp(\text{Gaz}) = \% \text{Gaz} * Pabs$$

(b) (b)



Je masque ce que je veux calculer

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



Composition de l'air

L'oxygène (O₂), un comburant indispensable

Gaz constituants l'air		% volume Air sec	% Approximation	
Gaz principaux	Air Sec	Azote (N ₂)	78,09	80
		Oxygène (O ₂)	20,95	20
		Argon (Ar)	0,93	
		Dioxyde de carbone (CO ₂)	0,035	
Gaz Traces		Néon (Ne)	1,8.10 ⁻³	
		Hélium (He)	5,24.10 ⁻⁴	
		Méthane (CH ₄)	1,7.10 ⁻⁴	
		Krypton (Kr)	10 ⁻⁴	
		Hydrogène (H ₂)	5.10 ⁻⁵	
		Xénon (Xe)	8.10 ⁻⁶	
	Ozone (O ₃)	10 ⁻⁶		
Vapeur d'eau (H ₂ 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 (O₂)**
 - Hypoxie et Anoxie
 - Hyperoxie
- ❑ **Dioxyde de Carbone (CO₂)**
 - Essoufflement
- ❑ **Azote (N₂)**
 - Narcose
- ❑ **Monoxyde de carbone (CO)**
 - Intoxication

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

Accidents liés à l'excès ou à l'insuffisance d'O₂

- ❑ 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 ₂	Stade	Risque
1,6 b	Hyperoxie	Effet Paul Bert
0,5 b		Effet Lorrain-Smith
0,21 b		Normoxie
0,16 b	Hypoxie	
0,12 b	Anoxie	Syncope

O₂ : 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'O₂ 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

10 à 15mn

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

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'O₂

□ Conditions d'apparition

- A partir d'une PpO₂ >= 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)

O₂ : 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'O₂ et favoriser certains organes plus que d'autres (cœur, cerveau)
 - Dans les cas extrêmes : arrêt cardiaque et/ou respiratoire

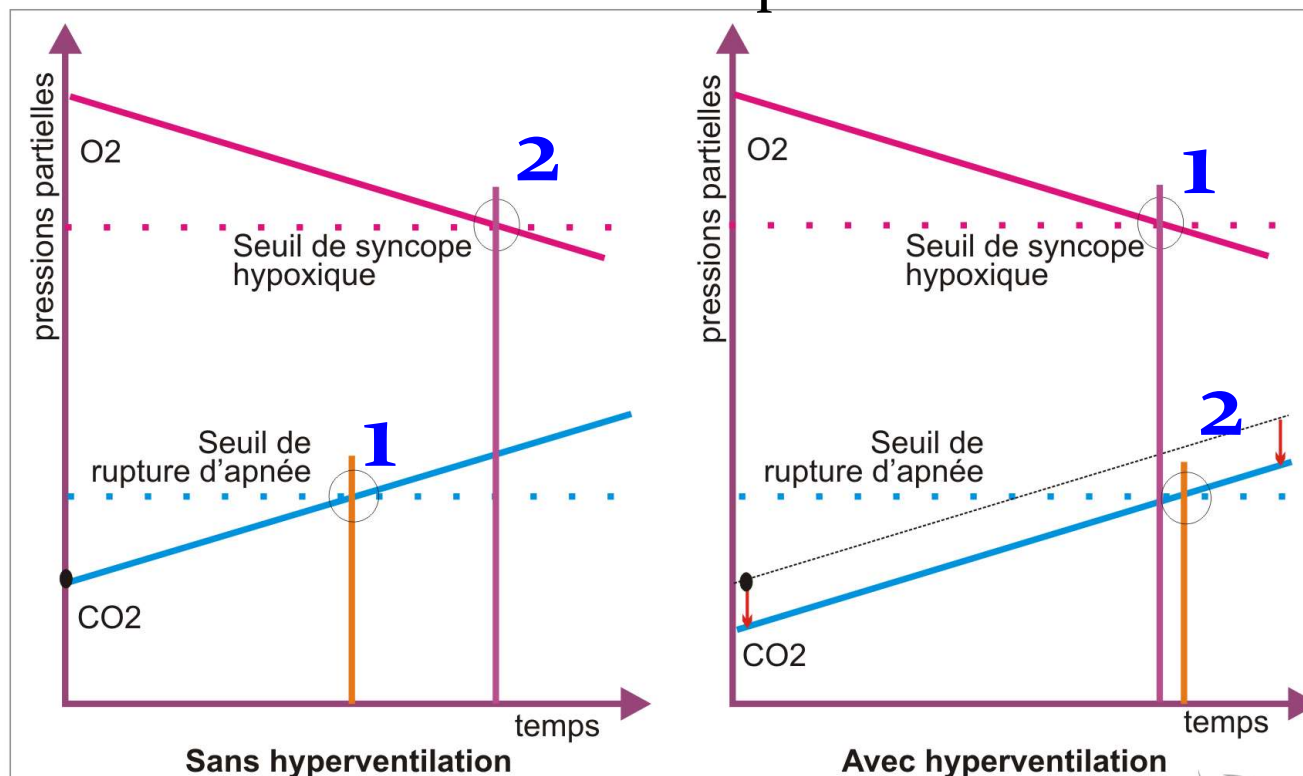
O₂ : Hypoxie et Anoxie

- **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 PpO₂ est atteint avant le seuil d'hypercapnie de la PpCO₂ 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

O₂ : La syncope en Apnée

■ Mécanisme de l'hyperventilation :

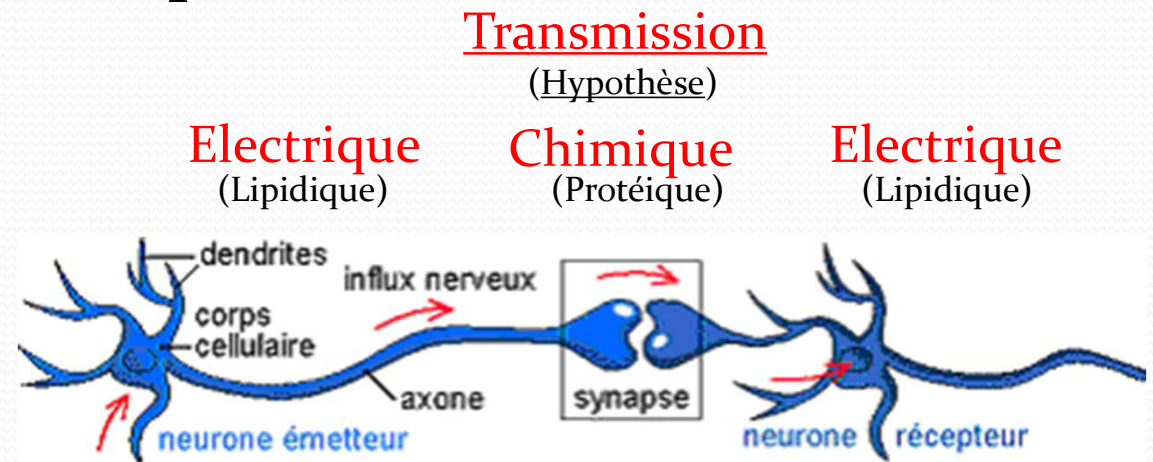
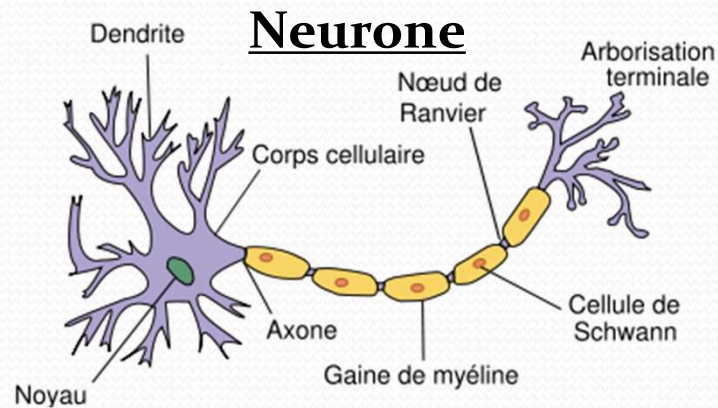
- Diminution en surface de la PpCO₂ par une ventilation préparatoire inappropriée qui va avoir pour conséquence de repousser l'envie de respirer en immersion
- Conséquence en immersion : atteinte du seuil de syncope hypoxique (O₂ concerné) avant le seuil de rupture de l'apnée (CO₂ concerné) qui nous 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)



N₂ : 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)

N₂ : 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 ...

N₂ : 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 !!

CO₂ : 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 CO₂**
 - ✓ 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, ...)

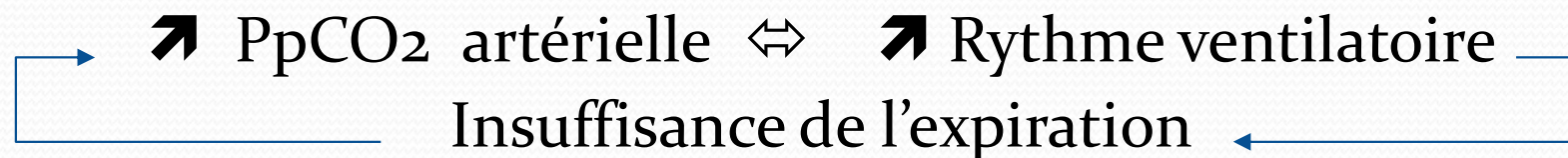
ET

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

CO₂ : Hypercapnie <-> Essoufflement

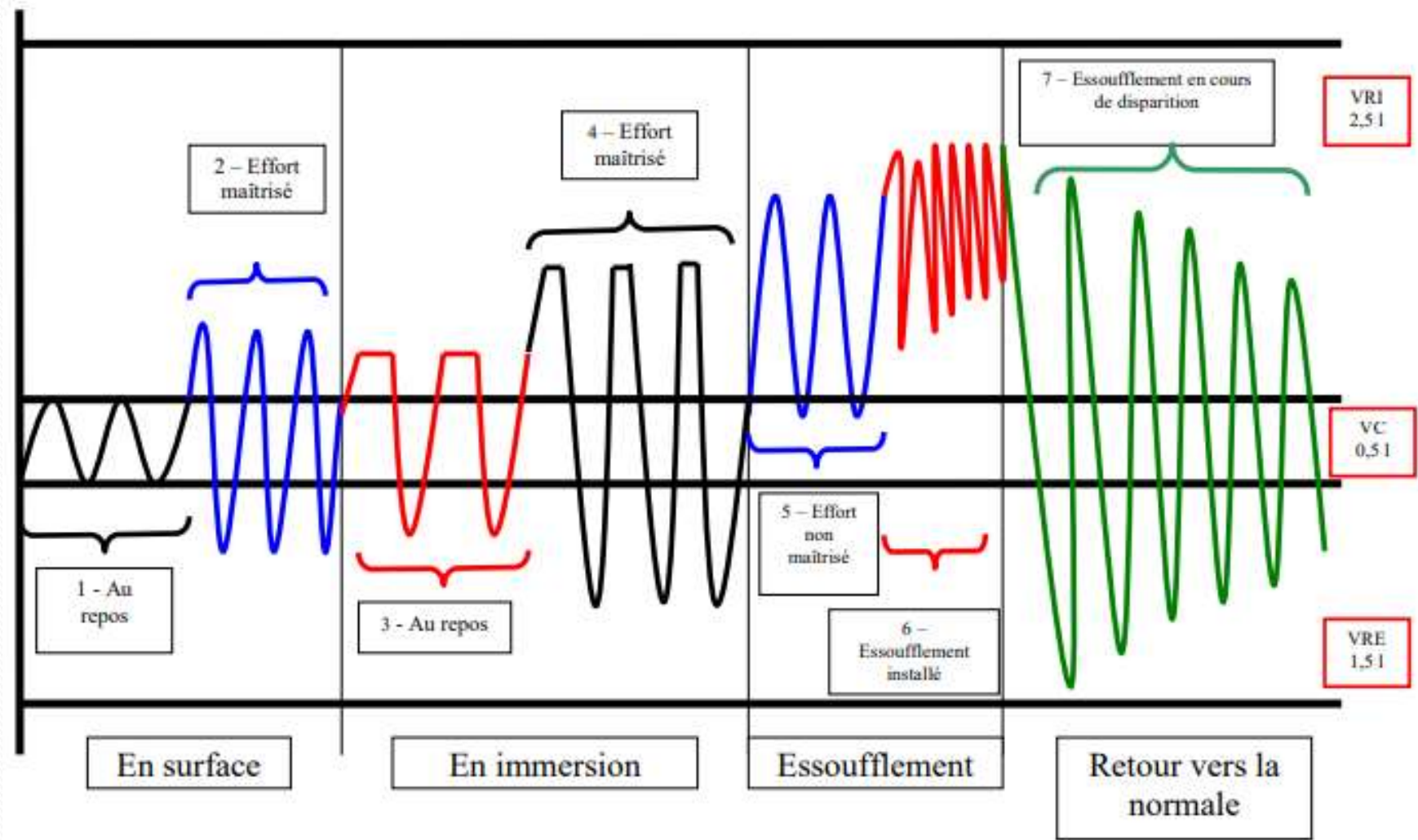
□ Mécanismes :

- C'est la PpCO₂ qui constitue le principal stimulus de la ventilation
- Gradient faible de Pp CO₂ 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 PpCO₂ 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 CO₂ aux alvéoles
 - une augmentation de la ventilation en fréquence et en amplitude afin d'éliminer le CO₂ en excès
- Si le CO₂ n'est pas suffisamment éliminé alors on rentre dans un cercle vicieux au niveau de la ventilation qui conduit à l'essoufflement



CO₂ : Hypercapnie <-> Essoufflement

❑ Mécanismes :



CO₂ : Hypercapnie <-> Essoufflement

❑ Facteurs favorisants :

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

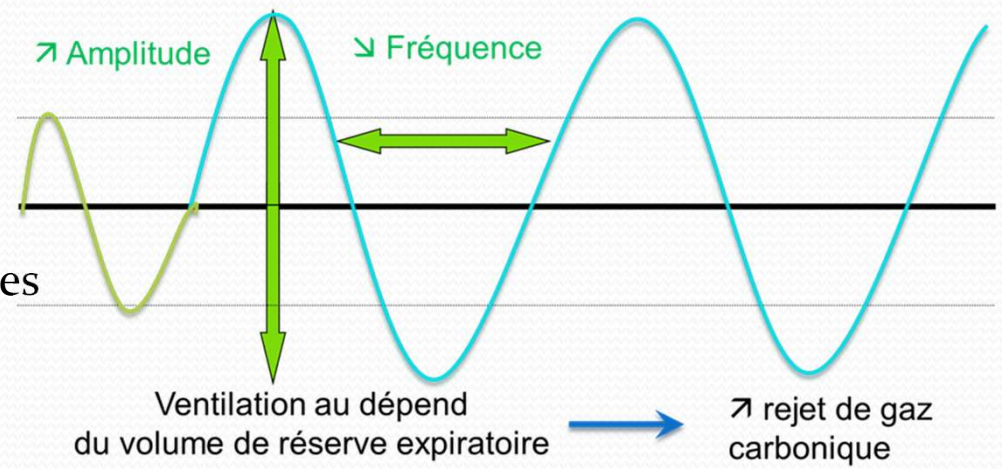
❑ Symptômes :

- 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

CO₂ : 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



CO₂ : 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

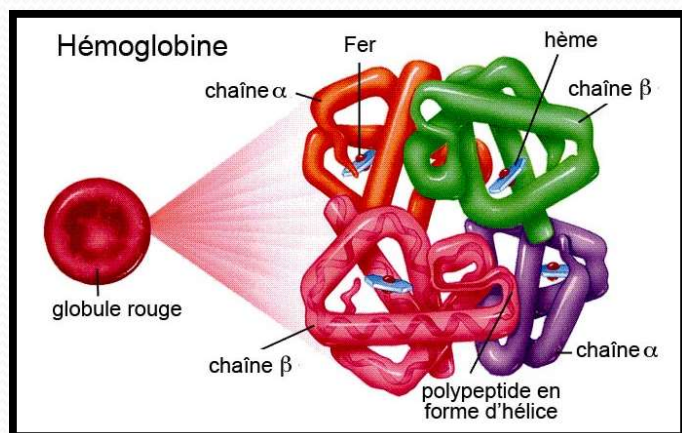
■ *Encadrant*

- 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'O₂ si persistance de maux de tête
- Prévenir le Directeur de Plongée



CO : Intoxication au monoxyde de carbone

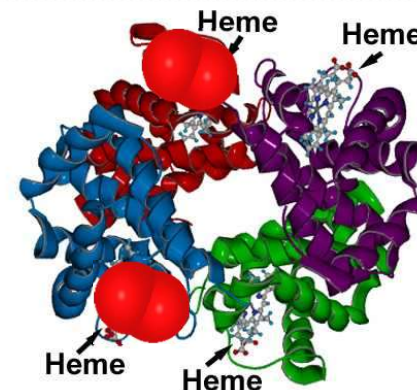
- ❑ **Mécanisme** : le monoxyde de carbone (CO) est un gaz asphyxiant indétectable (invisible, inodore et non irritant)
 - Il est issu d'une combustion incomplète
 - Il se diffuse très vite dans l'environnement et peut être mortel en moins d'une heure
 - L'intoxication au monoxyde de carbone se produit 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 / O₂)



CO



O₂



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 Danger de mort après 3 heures
800	0,08	Maux de tête, vertiges, nausées Perte de connaissance en 45 min Décès après 2-3 heures
1600	0,16	Symptômes sévères après 20 min Décès dans l'heure
3200	0,32	Maux de tête, vertiges, nausées après 5 min Perte de connaissance après 30 min
6400	0,64	Céphalées et vertiges après 1 à 2 min Perte de connaissance après 10-15 min
12800	1,28	Perte de connaissance immédiate 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 O₂ 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