

# Formation théorique P3/PA40



Patrick Baptiste  
MF1 n°22108



# Formation théorique P3/PA40

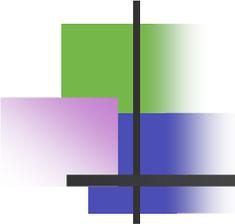
Aujourd'hui ..

- Réglementation
- L' autonomie
- Barotraumatismes
- Accidents de décompression
- **Accidents toxiques**
- Utilisation des tables de plongées
- Procédures particulières de décompression
- Ordinateur de plongée et planification
- Matériel de plongée – le détendeur
- Matériel de plongée – compresseur - bouteille
- Matériel de navigation, de sécurité et matelotage
- Orientation et plonger en sécurité



Patrick Baptiste  
MF1 n°22108





# Formation théorique P3/PA40

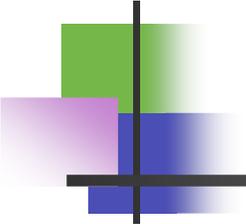
## Préambule

Les accidents toxiques ont pour origines la modification de la pression partielle des gaz que respire le plongeur.

Les accidents toxiques liés à la pratique de la plongée :

- Les accidents dus à l'azote ( $N_2$ )
  - La Narcose
- Les accidents dus à l'oxygène ( $O_2$ )
  - Hyperoxie
  - Hypoxie
- Les accidents dus au gaz carbonique ( $CO_2$ )
  - L'essoufflement
  - L'apnée
- L'intoxication au Monoxyde de carbone (CO)





# Formation théorique P3/PA40

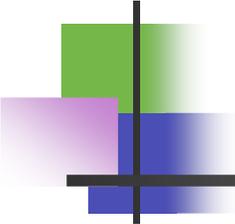
---

## La narcose



Patrick Baptiste  
MF1 n°22108





# Formation théorique P3/PA40

---

## La narcose(\*)

La narcose aussi appelé « ivresse des profondeurs » est un phénomène, bien connu des plongeurs profonds, dû à l'excès d'azote et qui perturbe le fonctionnement du système nerveux, provoque une déstabilisation du comportement et une perte plus ou moins importante de repères.

Les causes de la narcose sont encore mal connues, mais on admet communément qu'elles sont liées à la présence de gaz narcotiques inertes (**azote**, xénon, argon, krypton, hélium) dans le sang.

**Des gaz inertes .. mais pas inactifs !**



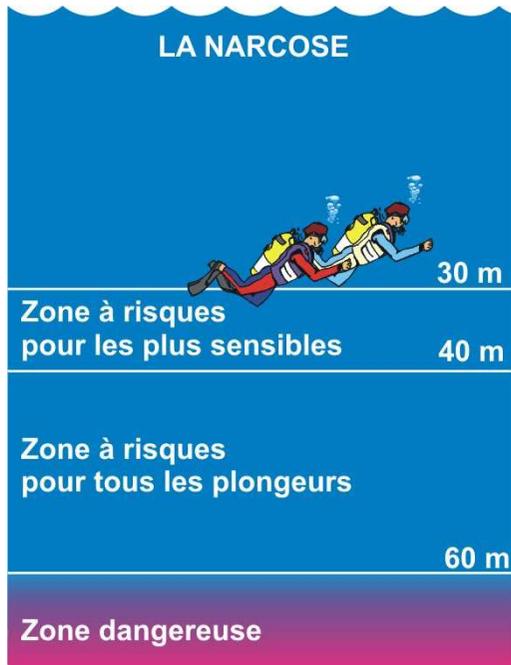
(\*) du grec « narké » qui signifie sommeil



# Formation théorique P3/PA40

## La narcose à l'azote

La plupart des narcoses surviennent lors de plongées profondes. Elles peuvent apparaître à partir de 30 mètres et deviennent systématiques à partir de 60 mètres.



© Alain Foret, Illustration-Pack II

La pression partielle d'azote ( $PpN_2$ ) augmente proportionnellement à la pression absolue (*loi de Dalton*).

Les expériences menées ont permis de déterminer que la  $PpN_2$  maximum admissible par l'être humain était de **5,6 bar**.

L'air en surface (1bar) comprend 80% d'azote, donc la loi de Dalton nous indique que la profondeur maximum est de :

$$5,6 \text{ b} / 0,80 = 7 \text{ bar soit } 60 \text{ mètres}$$

La  $PpN_2$  max et la  $PpO_2$  max sont fixées par le code du sport et définissent les limites de la plongée en France



Patrick Baptiste  
MF1 n°22108

**Au delà de 60 mètres les risques deviennent incontrôlables**



# Formation théorique P3/PA40

## La narcose à l'azote

Certains facteurs sont considérés comme aggravants et favorisants :



© Copyright Pierre Fouillet pour Passion-Plongée.com

- froid,
- consommation d'alcool,
- drogue,
- stress,
- fatigue,
- embonpoint,
- vitesse de descente,
- conditions de plongée,
- médicaments
- etc.



Patrick Baptiste  
MF1 n°22108



# Formation théorique P3/PA40

## Les effets de la narcose à l'azote

La nature est injuste, la sensibilité de chacun est différente et les troubles engendrés par la narcose seront différents d'un individu à l'autre voir entre deux plongées chez un même individu.

Dés 30 mètres pour certains ou au delà pour d'autres. Mais à 60 mètres TOUT le monde en souffre.



En raison de son apparition progressive, la narcose est quasi impossible à détecter par le plongeur qui en est victime.

Le signe conventionnel n'est donc que très rarement utilisé.

**Bien qu'il ne soit pas possible d'empêcher les effets de la narcose, l'entraînement et les plongées répétées à grandes profondeurs en atténuent et en retardent l'apparition.**



# Formation théorique P3/PA40

## Les effets de la narcose à l'azote

Parmi les effets de la narcose on peut citer :



- euphorie,
- angoisse,
- retournement sur soi,
- discours intérieur,
- troubles de la vision et notamment vision à *effet tunnel*
- disparition de la notion de durée,
- sensation de dialogue intérieur, de solitude,
- lecture répétée des instruments de plongée sans interprétation correcte
- retard de réaction, signes répétitifs.
- troubles de la mémoire, de l'attention, de la perception
- perte de repères
- etc.



Patrick Baptiste  
MF1 n°22108



# Formation théorique P3/PA40

## Les symptômes de la narcose

L'apparition de signes tels que :

- non réponse répétée à un signes
- réponse ou attitude incohérente
- comportements inhabituels
- non respect des consignes (profondeur, direction, objectif, etc.)
- agitation
- passivité

doivent vous alerter et vous pousser à assister immédiatement le plongeur même si celui-ci refuse l'assistance.



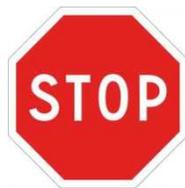
# Formation théorique P3/PA40

## La narcose

**Le plongeur doit être remonter immédiatement  
de quelques mètres**

*(en veillant à ne pas oublier les autres membres de la palanquée).*

Les effets de la narcose disparaissent rapidement dès que la  $PpN_2$  revient à une valeur acceptable.



**Dans tous le cas, la plongée doit être interrompue**  
en respectant la procédure de décompression.

La plupart du temps la narcose provoque une amnésie chez le plongeur qui ne se souviendra de rien après coup.



# Formation théorique P3/PA40

## La narcose

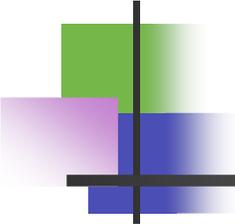


La prévention de la narcose passe par le simple bon sens.

- Un entrainement régulier et une adaptation progressive à la profondeur limite l'apparition de la narcose.
- Limiter la vitesse de descente (30m/minute) et descendre « tête en haut » si besoin.
- Limiter les efforts
- Avoir une bonne forme physique
- Savoir tenir compte des facteurs favorisants

La communication et l'observation régulière entre les membres de la palanquée, pendant la plongée, permettra **d'anticiper une narcose grave** en réagissant aux premiers symptômes





# Formation théorique P3/PA40

---

## L'Hyperoxie



Patrick Baptiste  
MF1 n°22108



# Formation théorique P3/PA40

## Ni trop ni trop peu

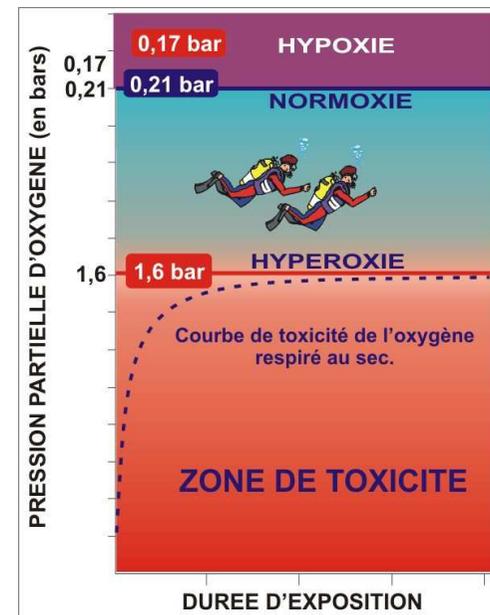
L'air que nous respirons est composé de 79 % d'Azote ( $N_2$ ) de 21% d'Oxygène ( $O_2$ )



L'oxygène est indispensable à la vie mais doit être respiré dans de juste proportion faute de quoi il manque ou devient toxique pour l'organisme.

La pression partielle d'oxygène ( **$PpO_2$** ) **maximum** admise par le corps humain est **de 1,6 bar**, c'est la limite fixée par le code du sport.

**En deçà de 0,16 bar**, le corps ne reçoit plus suffisamment d'oxygène pour fonctionner normalement.



© Alain Foret, Illustration-Pack II



Patrick Baptiste  
MF1 n°22108



# Formation théorique P3/PA40

## L'O<sub>2</sub> en plongée

Lorsque la PpO<sub>2</sub> dépasse 0,5 bar, l'oxygène devient progressivement nocif, on parle alors d'**hyperoxie**.

**Le code du sport fixe le seuil hyperoxique à 1,6 bar de PpO<sub>2</sub>,**  
ce qui représente une profondeur de **66 m**, (1,6 / 0,21= 7,6 bar Pabs)  
Pour une plongée à l'air

Ou

**Une profondeur maximum de 6 m pour une décompression à l'oxygène pur.**  
(pallier à l'O<sub>2</sub>)



Patrick Baptiste  
MF1 n°22108



# Formation théorique P3/PA40



## L'O<sub>2</sub> en plongée

Des troubles apparaissent lorsque le corps est exposé à une PpO<sub>2</sub> supérieure à la normale.

Cet effet **neurotoxique** de l'oxygène est appelé « **Effet Paul BERT** » du nom du chercheur l'ayant mis en évidence.

**Du fait de la limite à 60 m imposée par la PpN<sub>2</sub> (azote) maximum,  
le plongée à l'air ne subit pas cet effet**



Patrick Baptiste  
MF1 n°22108



# Formation théorique P3/PA40

## Le risque hyperoxique en plongée

Il existe cependant trois cas dans lesquels le risque hyperoxique est présent

- La plongée aux mélanges tel que Nitrox ou Trimix
- L'utilisation de recycleurs
- La réalisation de pallier à l'O<sub>2</sub> pur.

La sensibilité de chaque individu est très différente et peut être conditionnée par un ou plusieurs facteurs favorisant (froid, chaud, stress, fatigue)

l'apparition de la crise hyperoxique peut survenir après une exposition de quelques minutes à une PpO<sub>2</sub> supérieure à 1,6 bar.



# Formation théorique P3/PA40

## La crise Hyperoxique

*Effet Paul BERT*

Les signes avant coureurs peuvent être divers :

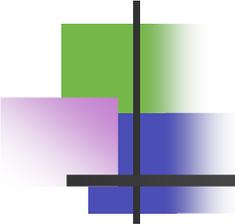
**Spasmes, nausée, anxiété, confusion, troubles de la vue, euphorie,**

ils constituent l'avant garde de la crise hyperoxique. A ce stade la crise est réversible rapidement en diminuant la  $PpO_2$ . Malheureusement **les signes annonciateurs sont rarement visibles** ou ne sont pas perçus par le plongeur.

Puis, la crise intervient et se déroule en générale en 3 Phases :

- Phase d'apnée tonique (30s à 2 mn)
- Phase convulsive ou clonique (2 à 3 mn)
- Phase résolutive (5 à 30 mn)





# Formation théorique P3/PA40

---

## La crise Hyperoxique

*Effet Paul BERT*

Phase d'apnée tonique (30s à 2 mn) :

Contractions musculaires généralisées, arrêt ventilatoire éventuel et/ou une perte de connaissance.

**Il ne faut pas remonter la victime à ce moment sous peine de l'exposer à une surpression pulmonaire due au blocage de la glotte**



Patrick Baptiste  
MF1 n°22108



# Formation théorique P3/PA40

## La crise Hyperoxique

*Effet Paul BERT*

Phase convulsive ou clonique (2 à 3 mn) :

Convulsions similaires à une crise d'épilepsie, ventilation irrégulière.

**on peut alors remonter la victime en ayant une attention particulière sur son expiration**

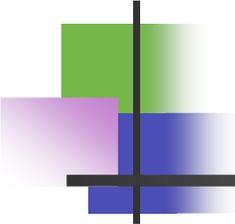


- Risque de Surpression pulmonaire (blocage de la glotte)
- ou de noyade (reprise de la respiration)



Patrick Baptiste  
MF1 n°22108





# Formation théorique P3/PA40

## La crise Hyperoxique

*Effet Paul BERT*

### Phase résolutive (5 à 30 mn) :

relâchement musculaire progressif, reprise progressive de la conscience, signes de confusion, voir d'agitation.

Dans tous les cas il est nécessaire, en raison des **risques de SP**, d'**attendre la phase Clonique** pour débiter l'assistance et la remontée.

**Il est impératif de maintenir l'embout de l'assisté ou l'octopus en bouche pour prévenir tout risque de noyade lors de la reprise de conscience**

Afin d'anticiper l'apparition éventuels de réactions violentes, la prise utilisée doit assurer la sécurité de l'assisté et de l'assistant (prises arrière ou latérales)



# Formation théorique P3/PA40

## La crise Hyperoxique

*Effet Lorrain SMITH*

L'exposition prolongée (> 2 heures) à une pression partielle d'oxygène supérieur à 0,5 bar peut provoquer une inflammation des alvéoles pulmonaires.

Cette crise peut être suivie d'un Œdème aigu du poumon entraînant des difficultés respiratoires importantes



**face rose, difficultés respiratoires, toux, brûlures pulmonaires.**



Patrick Baptiste  
MF1 n°22108



# Formation théorique P3/PA40



## de la crise Hyperoxique

- Dans le cadre de la plongée à l'air avec décompression à l'oxygène pur :

**Ne jamais réaliser de palier à l'O<sub>2</sub> à plus de 6 mètres**

- En cas de plongée profonde nécessitant des paliers à 9 mètres, ou plus , ceux-ci doivent **impérativement être réalisés en totalité à l'air**

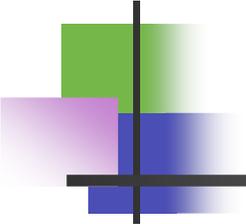
- Dans le cadre de la plongée aux mélanges (Nitrox, trimix, etc.)

**Vérifier la teneur en O<sub>2</sub> du mélange utilisé et ne jamais dépasser la profondeur autorisée par celui-ci (PpO<sub>2</sub> max : 1,6 b)**

Limiter les trop longues exposition à l'O<sub>2</sub>

**Toujours plonger sur un fond** dont la profondeur est compatible avec le mélange utilisé.





# Formation théorique P3/PA40

---

## L'hypoxie



Patrick Baptiste  
MF1 n°22108



# Formation théorique P3/PA40

## L'hypoxie

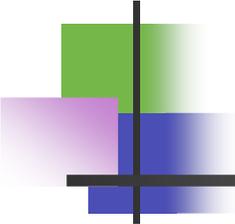
L'oxygène est le carburant du corps, l'hypoxie intervient lorsque la quantité d'O<sub>2</sub> disponible n'est plus suffisant pour son fonctionnement normal.

Il faut distinguer hypoxie d'altitude (**Hypoxie hypobare**) provoquée par la raréfaction de l'air (mais où les proportions d'O<sub>2</sub> et de N<sub>2</sub> sont conservés), de l'**Hypoxie Normobare** qui peut intervenir en plongée.

Dès que l'apport en oxygène cesse (*apnée, panne d'air*) ou diminue (*apnée,  $PpO_2 < 0,16 \text{ bar}$* ) le corps tente de trouver des solutions (*accélération de la ventilation par exemple*).

L'apport insuffisant en O<sub>2</sub> favorise l'essoufflement





# Formation théorique P3/PA40

---

## La syncope hypoxique

En deçà d'une certaine valeur, propre à chacun, le corps déclenche un plan d'urgence dont l'objectif est de préserver les organes essentiels (cerveau et cœur).

La conséquence de ce mécanisme est la perte de connaissance brutale (*syncope*) sans signaux avant coureurs.

Le plongeur ne dispose d'aucun moyen d'action du fait de l'absence de symptôme.

**La prévention et le respect de la réglementation (\*) sont donc les seuls moyens d'éviter cet accident dont la finalité peut être la mort.**



Patrick Baptiste  
MF1 n°22108

(\*) *PpO2 minimum : 0,16b*



## La syncope hypoxique en apnée



# Formation théorique P3/PA40

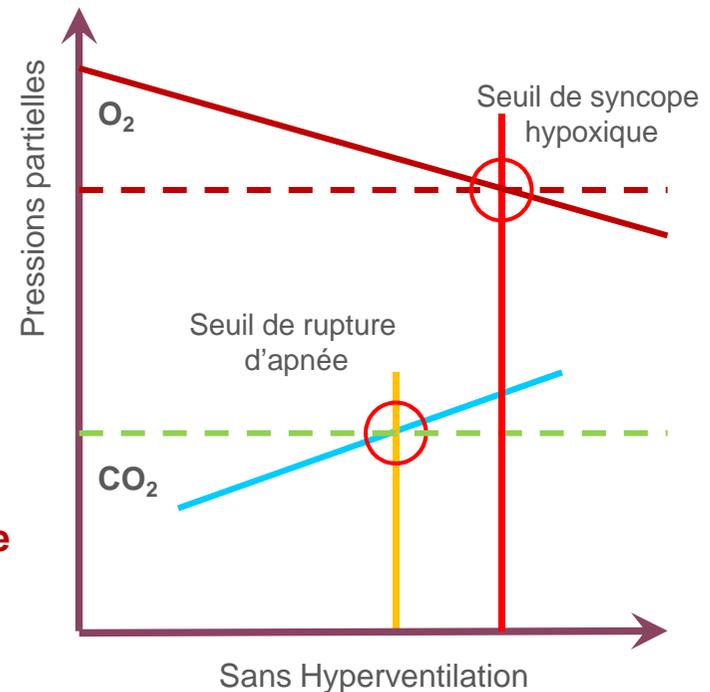
## La syncope hypoxique en apnée

Lors d'une apnée « normale », après une simple inspiration forcée, le taux d'O<sub>2</sub> diminue régulièrement tandis que celui de CO<sub>2</sub> s'accroît.

Quand un certain taux de CO<sub>2</sub> est atteint le plongeur ressent le besoin d'arrêter son apnée.

Dans ces conditions, le taux de CO<sub>2</sub> limite est atteint **AVANT** que le taux d'O<sub>2</sub> soit dangereusement bas.

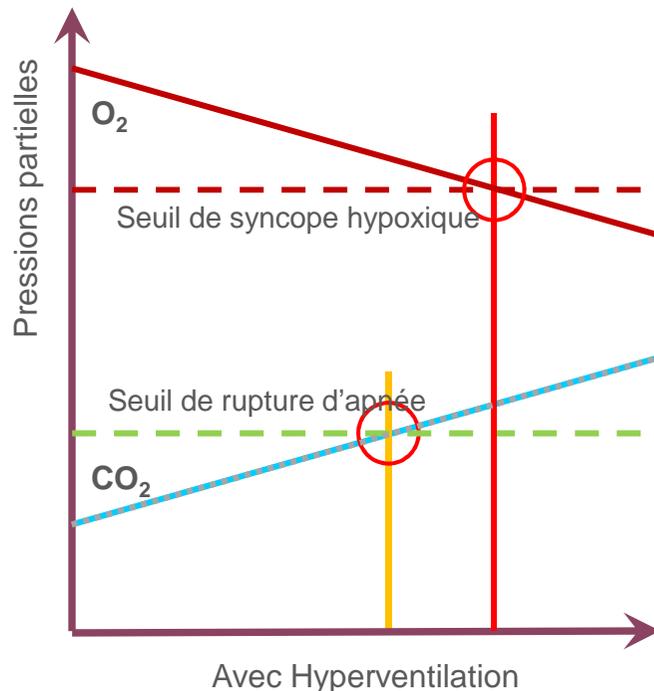
**Dans cette situation le plongeur est « protégé » contre la syncope hypoxique**



# Formation théorique P3/PA40

## Mécanisme de la syncope hypoxique en apnée

En pratiquant l'**hyperventilation** l'apnéiste **abaisse anormalement** son taux de CO<sub>2</sub>.



Le taux de CO<sub>2</sub> a une progression normale, tout à fait comparable à celle qui se produit lors de l'apnée sans hyper ventilation.

Par contre, comme il part de plus bas et il n'atteindra le seuil de rupture d'apnée que plus tard

Le taux d'O<sub>2</sub> diminue et dans ce cas, il est possible que le seuil minimum d'O<sub>2</sub> provoquant la syncope soit atteint AVANT de ressentir le besoin d'arrêter l'apnée.



# Formation théorique P3/PA40

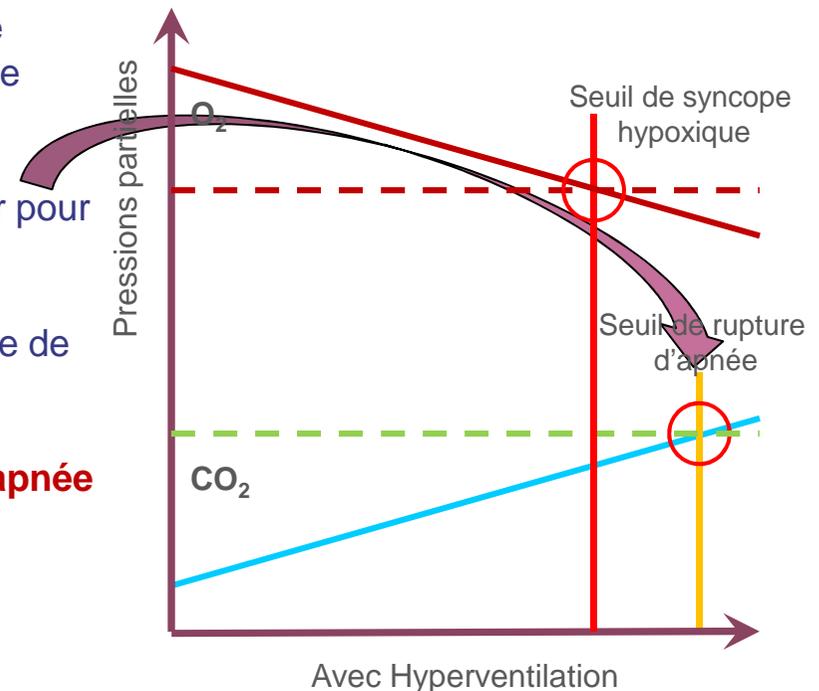
## Mécanisme de la syncope hypoxique en apnée

La syncope anoxique est normalement suivie d'une reprise inspiratoire spontanée quelques secondes après la perte de conscience .

En effet, pendant la syncope, la Pp CO<sub>2</sub> continue à monter pour atteindre le seuil de reprise inspiratoire.

La syncope elle-même ne laisse pas de séquelles, ni même de souvenir.

**Ce mécanisme est la principale cause de noyade en apnée**



# Formation théorique P3/PA40

## La syncope hypoxique en apnée



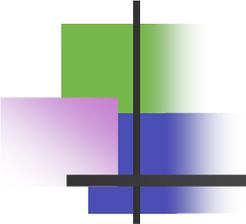
L'envie de respirer provient d'un **EXCES DE CO2**  
qui provoque une « soif d'air »,

**PAS d'un MANQUE d'oxygène !**



Patrick Baptiste  
MF1 n°22108





# Formation théorique P3/PA40

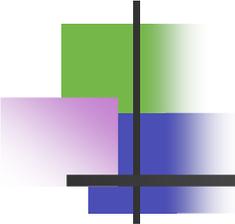
---

## L'essoufflement



Patrick Baptiste  
MF1 n°22108





# Formation théorique P3/PA40

## L'essoufflement

L'essoufflement intervient, lors d'un effort, si l'apport en  $O_2$  est inférieur à la demande.

### *Mécanisme de l'essoufflement*

Au repos et en temps normal, l'expiration a une durée supérieure à l'inspiration.

Lors d'un effort et sous influence de l'augmentation de la concentration en  $CO_2$ , l'expiration se raccourcit et devient égale à l'inspiration puis diminue encore.

On inspire avec facilité mais l'expiration devient de plus en plus difficile.

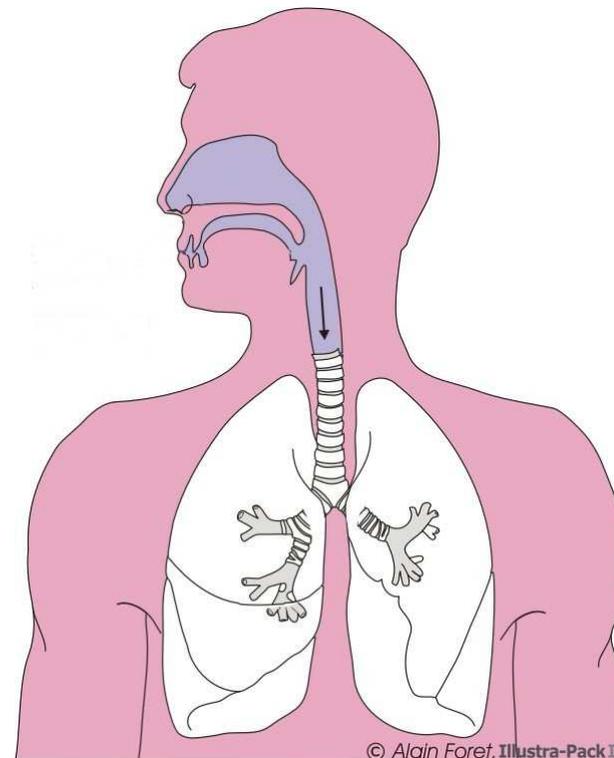
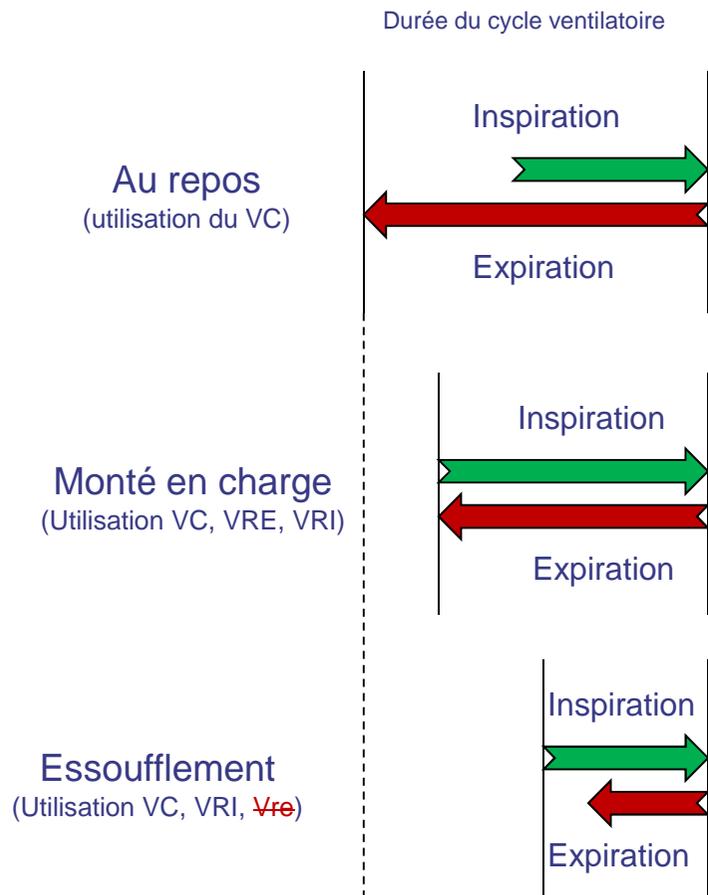
Il en résulte que l'on vide mal nos poumons et le  $CO_2$  s'accumule.

**Plus l'essoufflement s'installe et plus l'expiration devient difficile.**



# Formation théorique P3/PA40

## Mécanisme de l' essoufflement



# Formation théorique P3/PA40

## La ventilation

Au cours d'un effort, la ventilation pulmonaire s'adapte aux besoins du plongeur

**Elle assure l'apport en O<sub>2</sub> mais aussi l'élimination du Co<sub>2</sub> produit par l'organisme.**

Les mécanisme de régulation sont prévus, en cas d'effort, pour accroître la quantité d'O<sub>2</sub> **et non pour réduire la quantité de CO<sub>2</sub>.**

Si l'apport en O<sub>2</sub> est insuffisant ces mécanismes commandent une **augmentation de l'inspiration** alors qu'il faudrait au contraire **forcer l'expiration pour éliminer le CO<sub>2</sub>**

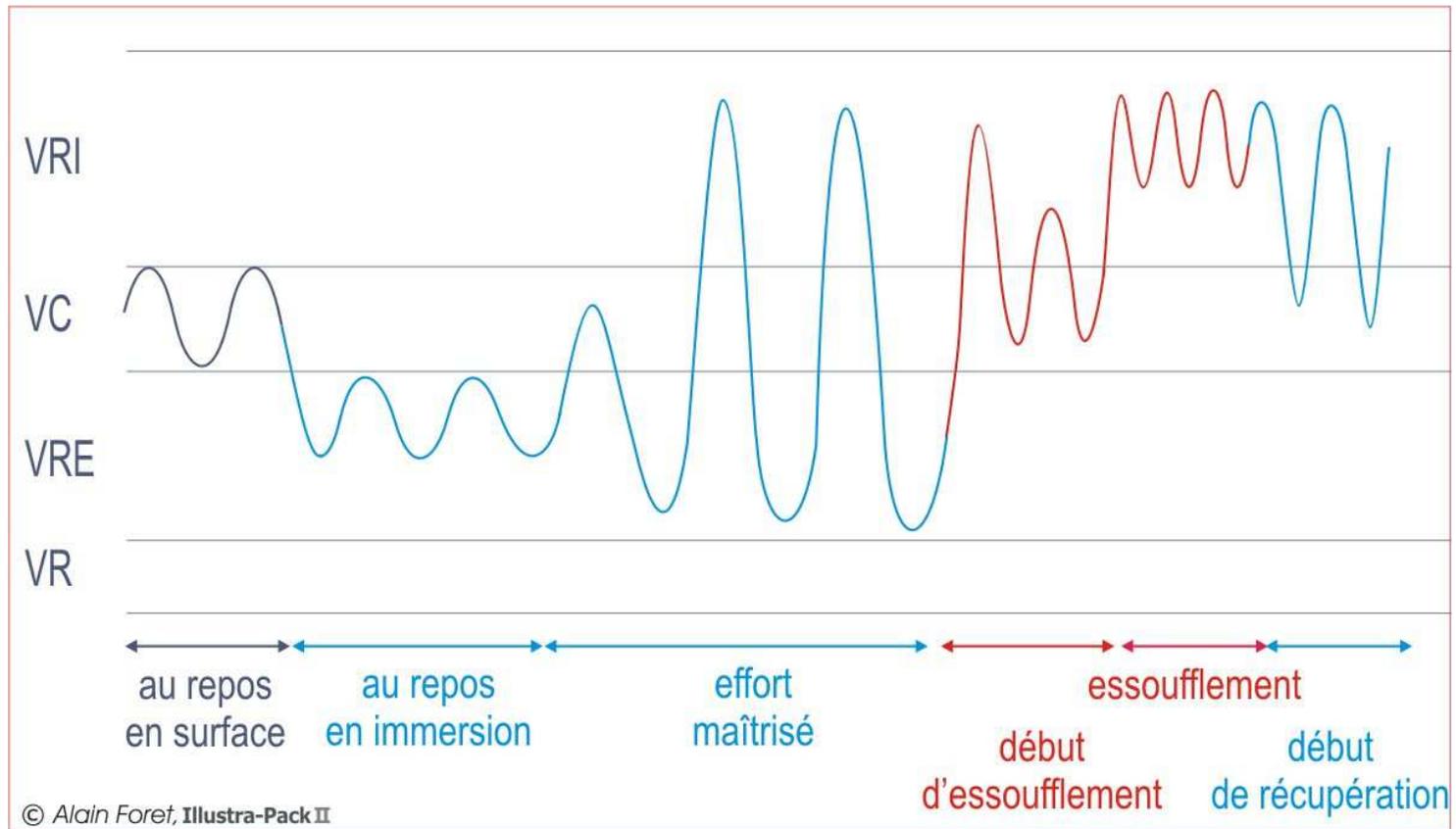
La ventilation devient inefficace , on dit qu'il y a **hypercapnie** (intoxication par augmentation de la teneur en Co<sub>2</sub> dans le sang artériel).

En plongée, le problème se trouve aggravé par le fait que la respiration au moyen d'un détendeur, est plus difficile qu'à l'air libre.



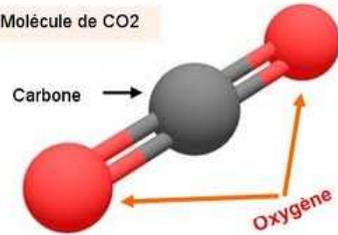
# Formation théorique P3/PA40

## La ventilation



# Formation théorique P3/PA40

Molécule de CO<sub>2</sub>



La tolérance à certains gaz par l'organisme varie selon la pression à la quelle ils sont respirés.

Le Co<sub>2</sub> devient toxique pour l'homme à partir de 0,02 bar.

Pression Partielle	Symptômes
< 0,02 b	néant
0,02 b	augmentation de l'amplitude ventilatoire
0,04 b	augmentation de la fréquence ventilatoire
0,10b	Trouble visuel, tremblements, sueurs
0,15 b	Perte de connaissance brutale
0,25 b	Arrêt respiratoire



# Formation théorique P3/PA40

## Les facteurs favorisants



- La profondeur: l'augmentation de la **viscosité de l'air**
- Le détendeur : la résistance mécanique à l'inspiration et à l'expiration du détendeur favorise l'accumulation du Co2.
- Un effort inadapté ou trop important
- Le froid
- l'angoisse, le stress, la peur panique
- Le manque de technique
- le matériel (détendeur mal réglé ou défectueux)

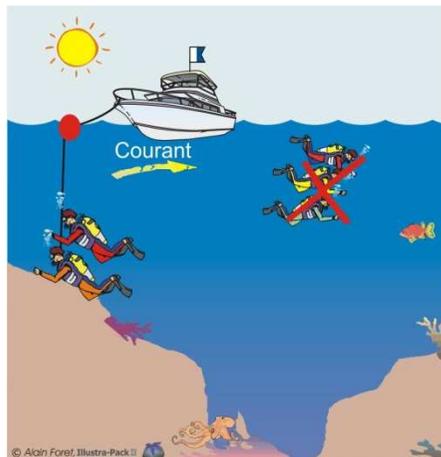


# Formation théorique P3/PA40



Le plongeur doit veiller à éviter l'essoufflement et en prévenir les causes.

- éviter le stress en surface (dialogue, explications),
- laisser les plongeurs reprendre leur souffle après la mise à l'eau,
- ne pas plonger si un plongeur est essoufflé en surface,
- utilisation d'une ligne de vie en cas de courant,
- immersion rapide si présence de courant,
- descente au mouillage,
- surveillance de la consommation des plongeurs.



Patrick Baptiste  
MF1 n°22108



# Formation théorique P3/PA40

## Conduite à tenir

Si malgré les précautions prises un essoufflement survient il est essentiel de réagir rapidement.

- L'actions prioritaire consiste à remonter sans attendre le plongeur de quelques mètres et de lui faire cesser tout effort.
  - Calmer le plongeur et lui demander de forcer son expiration,
  - Mettre fin à la plongée,
  - Vérifier les réserves d'air,
  - être attentif à la vitesse de remontée (attention à la zone des 10m)
  - augmenter le temps de pallier (pallier de sécurité en l'absence de pallier)
- de retour au bateau, en cas d'essoufflement important (maux de tête, nausée), mettre le plongeur sous O2 (15l/mn) procéder en son évacuation si nécessaire.



- **L'essoufflement peut favoriser l'accident de décompression**
- **L'essoufflement est une des principale cause de noyade en plongée**



Patrick Baptiste  
MF1 n°22108

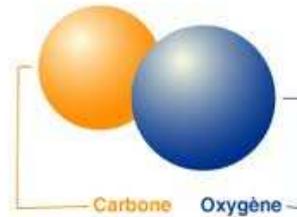


## L'intoxication au monoxyde de carbone



# Formation théorique P3/PA40

## Le monoxyde de carbone (CO)



*Attention ne pas confondre :*

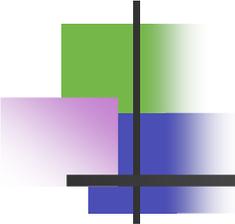
- CO<sub>2</sub> = gaz carbonique ou dioxyde de carbone
- CO = monoxyde de carbone

**Le monoxyde de carbone est un gaz inodore, incolore et très toxique.**

Il est, entre autre, présent dans les gaz d'échappement ou dans les résidus de combustion.

L'intoxication due au Monoxyde de carbone est une intoxication grave.





# Formation théorique P3/PA40

---

## Le monoxyde de carbone (CO)

Le CO s'introduit de la même manière que l'oxygène dans l'organisme, mais son affinité est 250 fois plus élevée que celui de l'oxygène à l'hémoglobine, ce qui rend l'oxygène incapable de se lier à l'hémoglobine

**Il se fixe sur les globules rouges et bloque le transport de l'O<sub>2</sub>**

Le CO est un gaz qui se dissout dans le sang de façon d'autant plus importante que la profondeur est grande (*loi de Henry*).

Cela veut dire qu'une même concentration provoquant une intoxication légère à la surface peut provoquer une intoxication grave au fond ! ...



# Formation théorique P3/PA40

## Le monoxyde de carbone (CO)

En ce qui concerne la plongée, la source majeure du CO est souvent le compresseur à combustion interne.

La localisation de l'entrée d'air du compresseur doit être à une hauteur suffisante

Même si ces précautions sont suivies à la lettre, le compresseur peut quand même émettre du CO dans l'air comprimé.

L'entretien de celui-ci est très important, par exemple, en cas d'usure excessive ou de mauvais entretien, les hydrocarbures (lubrifiants) utilisés peuvent devenir une source de CO

%	Symptômes
< 0,0035%	néant
>= 0,0035%	Maux de tête et étourdissements
>= 0,08%	Étourdissements, nausées, convulsions
>= 0,16%	Maux de tête, vertiges, nausées, Mort 20mn à 2h
>= 0,64%	Maux de tête, étourdissements et nausées, Mort < 20mn
>= 1,28%	Perte de connaissance après 2 à 3 respirations. Mort moins de trois minutes



# Formation théorique P3/PA40



Les symptômes sont variables en fonction de la quantité de CO présente dans le sang :

- maux de tête, nausée et vomissements, Faiblesse généralisée, trouble de la concentration, troubles du rythme cardiaque.



- La localisation de l'entrée d'air du compresseur doit être à une hauteur suffisante et doit faire face au vent en amont du compresseur.
- Bon entretien du compresseur



Traitements:

- administrer de l'oxygène pur à 15 litres / minute.
- évacuation en milieu hospitalier, avec parfois oxygénothérapie (caisson hyperbare).



Patrick Baptiste  
MF1 n°22108



# Formation théorique P3/PA40

La prochaine fois ...

- Réglementation
- L' autonomie
- Barotraumatismes
- Accidents de décompression
- Accidents toxiques
- **Utilisation des tables de plongées**
- Procédures particulières de décompression
- Ordinateur de plongée et planification
- Matériel de plongée – le détendeur
- Matériel de plongée – compresseur - bouteille
- Matériel de navigation, de sécurité et matelotage
- Orientation et plonger en sécurité



Patrick Baptiste  
MF1 n°22108



# Formation théorique P3/PA40

## Des questions ?



Patrick Baptiste  
MF1 n°22108

