

Plan du cours.

1. La plongée à l'air.
2. Pression partielle et règle de Dalton.
 - 2.1 Expérience de Berthollet.
 - 2.2 Formulation de la loi.
3. Limite liée à l'azote : La narcose.
4. Limite liée à l'Oxygène.
 - 4.1 Crise hyperoxique.
 - 4.2 Syncope hypoxique.

1. La plongée à l'air.

Le Plongeur respire de l'air composé de 79% d'azote (N₂) + 21% d'oxygène (O₂).

Respirés en profondeur (sous pression), l'azote et l'oxygène peuvent être toxiques pour le plongeur. Il risque alors un accident biochimique.

C'est la pression partielle de ces gaz qui nous indique leur toxicité. C'est pourquoi nous allons utiliser une loi physique nous permettant de déterminer facilement la pression partielle d'un gaz.

L'élaboration des procédures de décompression est basée aussi sur cette loi physique. Elle permet également le calcul des mélanges autre que l'air (nitrox, trimix).

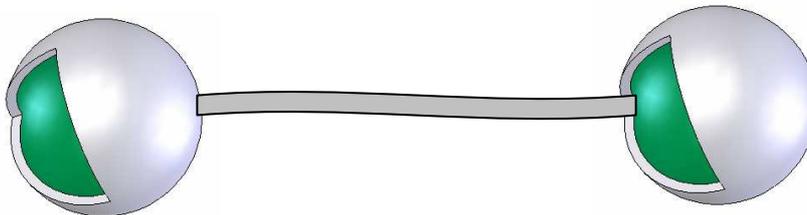
2. Pression partielle et règle de Dalton.

2.1 Mise en évidence : expérience de Berthollet.

Deux sphères de même contenance (même volume). La première contient du gaz carbonique (CO₂), la seconde de l'hydrogène (H₂). Elles sont reliées chacune à un manomètre et sont à la même pression ambiante (1 bar).



Les 2 sphères sont mises en communication. Les indications des 2 manomètres sont vérifiées : ils indiquent toujours la même pression ambiante (1 bar).



La communication est fermée et le contenu de chaque sphère est vérifié : elles contiennent chacune 50% de CO₂ et 50% de H₂.

Chaque gaz occupant la moitié de chaque sphère, il exerce donc la moitié de la pression.

Chaque composant du mélange exerce donc, de part sa proportion, la moitié de la pression ambiante qui s'appelle : **la pression partielle (notée Pp)**.

Dans le cas de cette expérience, le CO₂ exerce la moitié de la pression absolue, soit 0,5 bar. L'H₂ exerce de part sa proportion, 0,5 bar aussi.

| | | | | |
|---------------------------------------|---|--------------------------------------|---|-------------------|
| Pression partielle de CO ₂ | + | Pression partielle de H ₂ | = | Pression ambiante |
| PpCO ₂ | + | PpH ₂ | = | Pression ambiante |

2.2 Formulation de la loi.

John Dalton (1766 – 1844), chimiste anglais, a formulé en 1801 la loi d'addition des pressions partielles dans les mélanges gazeux.

Trois formulations existent :

1ère formulation : *dans un mélange gazeux, la somme des pressions partielles des composants du mélange, est égale à la pression absolue (ambiante) du mélange.*

2ième formulation : *la pression partielle d'un gaz au sein d'un mélange, est la pression qu'aurait ce gaz s'il occupait seul le volume du mélange.*

3ième formulation : *la pression partielle d'un gaz constituant d'un mélange, est égale au produit de la pression absolue par la concentration du gaz considéré (%) au sein du mélange.*

Dans notre exemple :

| | | | | |
|-------------------|---|------------|---|------------------------|
| PpCO ₂ | = | P ambiante | × | %CO ₂ / 100 |
| 0,5 | = | 1 | × | 50 / 100 |

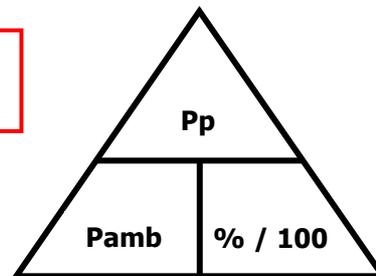
Formule :

$$Pp_{\text{gaz}} = P_{\text{amb}} \times \frac{\% \text{gaz}}{100}$$

Pour s'en souvenir :

$$P_{\text{amb}} = Pp_{\text{gaz}} / \left(\frac{\% \text{gaz}}{100} \right)$$

$$\% \text{gaz} = (100 \times Pp_{\text{gaz}}) / P_{\text{amb}}$$



Exercices :

Calculer la Pp d'O₂ dans nos poumons à -30 m.

Déterminer la profondeur à laquelle la Pp de N₂ est égale à 3 bars.

Application en plongée : Prévention des accidents biochimiques.

En effet, respirés sous pression, l'azote, l'oxygène et le dioxyde de carbone peuvent être toxiques pour le plongeur. C'est la pression partielle de ces gaz qui nous indique leur toxicité.

3. Limite liée à l'azote : La narcose.

La narcose à l'azote survient pendant la descente ou au fond pour une $PpN_2 \approx 4$ bars (propre à chaque plongeur en fonction de son entraînement).

La narcose apparaît généralement à la profondeur de 40 mètres.

Circonstance d'apparition :

Lors de la descente ou au fond.

Causes, mécanismes :

La gaine de myéline des neurones (voir cours sur système Nerveux), riche en lipide est un lieu de stockage de l'azote. Cet azote dissout, entraîne une difficulté ou interruption du passage de l'influx nerveux. Les capacités de raisonnement, d'attention sont alors diminuées. L'azote a un effet anesthésiant.

Symptômes ressentis par le plongeur :

- Altération du raisonnement : difficulté à organiser les idées.
- Diminution de l'attention : Concentration difficile, dialogue intérieur accentué, impression de flottement.
- Altération de la mémoire courte : Consultation des instruments très fréquente.
- Euphorie ou angoisse.
- Troubles de la perception : Bourdonnements d'oreilles, diminution de l'habileté, "voile noir" devant les yeux.
- Perte de conscience.

Symptômes perçus par le guide de palanquée :

- Réponses inappropriées aux questions posées.
- Non respect des consignes : de direction, de stabilisation...
- Attitude incohérente.

Conduite à tenir :

En remontant de quelques mètres dès l'apparition des premiers symptômes, ceux-ci disparaissent en ne laissant aucune séquelle. Parfois, cette manœuvre doit être faite par le guide de palanquée ! Interrompre ensuite la plongée, en respectant la procédure de décompression. Surveiller sa palanquée. Prévenir le DP.

Prévention :

Il faut être en bonne condition physique et psychologique (pas de stress excessif).

S'adapter progressivement à la profondeur, en plongeant régulièrement de façon à développer des automatismes (pas de place à l'improvisation !). Mais au-delà de 40 mètres, tout le monde est plus ou moins narcosé... En ne plongeant que jusqu'à la "limite technique" des 40 mètres, un plongeur n'est, en principe, pas exposé à l'intoxication par l'azote.

Privilégier une vitesse de descente < 30 m/min, avec des repères visuels (le long du relief ou du mouillage).

Limiter la production de CO_2 par les muscles, donc limiter les efforts.

Communiquer très régulièrement avec les membres de sa palanquée et observer leur comportement.

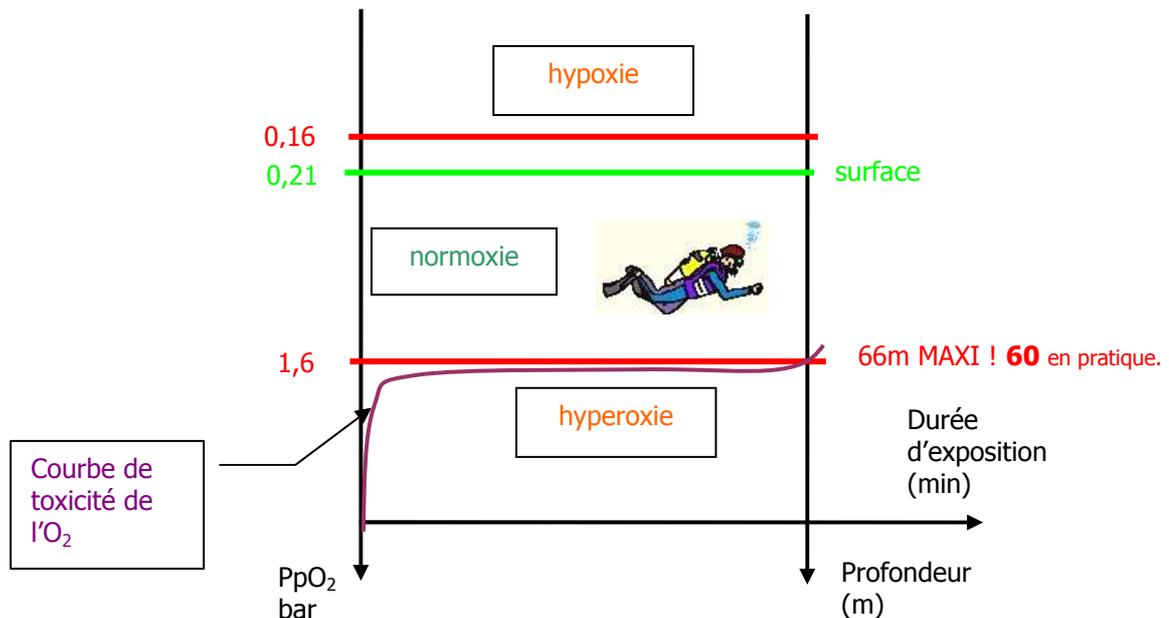
4. Limite liée à l'Oxygène.

Indispensable à notre organisme et principalement à notre système nerveux, l'O₂ doit être respiré dans de bonnes « proportions » :

En surface le plongeur respire l'O₂ à une PpO₂ de 0,21 bar.

L'organisme tolère une baisse de cette PpO₂ jusqu'à 0,16 bar et un excès jusqu'à 1,6 bar.

A quelle profondeur le plongeur (à l'air) respire t'il une PpO₂ = 1,6 bar ? Réponse : 66 m.
Donc en ne dépassant pas -60 m, le plongeur à l'air ne s'expose pas à un risque hyperoxique.
Résumé :



Effet Paul Bert (physiologiste et homme politique français, 1833 - 1886) : une exposition à une PpO₂ > à 1,6 bar entraîne une détérioration de notre système nerveux (neurotoxicité).

Effet Lorrain Smith : une exposition à une PpO₂ > à 1 bar, pendant une très longue durée, entraîne des lésions pulmonaires (ne se produit pas en plongée loisirs).

Seul risque d'hyperoxie en plongée à l'air : les paliers à l'O₂ pur.

La profondeur maximum d'utilisation d'O₂ pur est 6 m.

La procédure sera étudiée lors du cours sur l'utilisation des tables de décompression.

(Risque d'hyperoxie réel en plongée Nitrox, ce qui est l'objet du cours sur la plongée aux mélanges).

4.1 Crise hyperoxique :

Circonstances :

La crise hyperoxique apparaît lors d'une plongée :

- à l'air, de profondeur supérieur à 65 m,
- à l'O₂ pur, de profondeur supérieur à 6 m (palier),
- au nitrox, de profondeur qui dépend du % O₂ dans le nitrox.

Causes / Mécanismes :

La PpO₂ > 1,6 bar entraîne une stimulation du système nerveux et provoque une crise (ressemblant à une crise épileptique), décomposable en 4 phases :

| Mécanismes : | | |
|--|--|---|
| 1. Phase d'alarme (Phase parfois absente !) | Apparition d'un ou plusieurs symptômes : <ul style="list-style-type: none"> ▪ crampes, ▪ modification du champ visuel, ▪ accélération du pouls, ▪ gêne ventilatoire, ▪ nausée, ▪ secousses musculaires involontaires, ▪ euphorie ou dépression... | Remonter de quelques mètres pour diminuer la PpO ₂ , ou interrompre la plongée. Si la crise est déclanchée, les 3 phases suivantes s'enchaîneront même si le plongeur remonte ! La conduite du guide de palanquée est alors vitale. |
| 2. Phase d'apnée | Contractions musculaires généralisées et incontrôlables. Muscles respiratoires se contractent et fermeture de la glotte, ce qui entraîne une apnée. Risque de surpression pulmonaire si remontée. | Maintenir l'embout en bouche et surveiller la ventilation de l'accidenté. Interrompre la remontée s'il est en apnée. |
| 3. Phase convulsive | Pendant 2 à 3 minutes, les contractions et décontractions musculaires alternent. Convulsions. Risque de noyade. | Remonter progressivement en respectant la procédure de décompression |
| 4. Phase post convulsive | Retour progressif à la normale (si la PpO ₂ a diminuée !). Etat confus et agité. Endormissement. | Déséquiper, sécher, couvrir et coucher l'accidenté. Evacuer vers services médicaux. |
| Conduite à tenir : | | |

Conduite à tenir :

Prévention :

Respecter la profondeur limite (60 m pour la plongée à l'air).
 Identification des bouteilles nitrox pour éviter une utilisation à tort :
 Eviter tout effort en profondeur.
 Etre en forme physique, sans anxiété particulière.
 Plonger profond en eau tempérée seulement.



4.2 Syncope hypoxique :

Les plongeurs nitrox et trimix peuvent être sujet à une syncope hypoxique. Les plongeurs à l'air peuvent y être confrontés lorsqu'ils pratiquent ... l'apnée !

Circonstances :

En apnée. Intervient surtout à la remontée.

Causes / Mécanismes :

Lors de l'activité musculaire, les muscles créent du CO₂ (dioxyde de carbone).

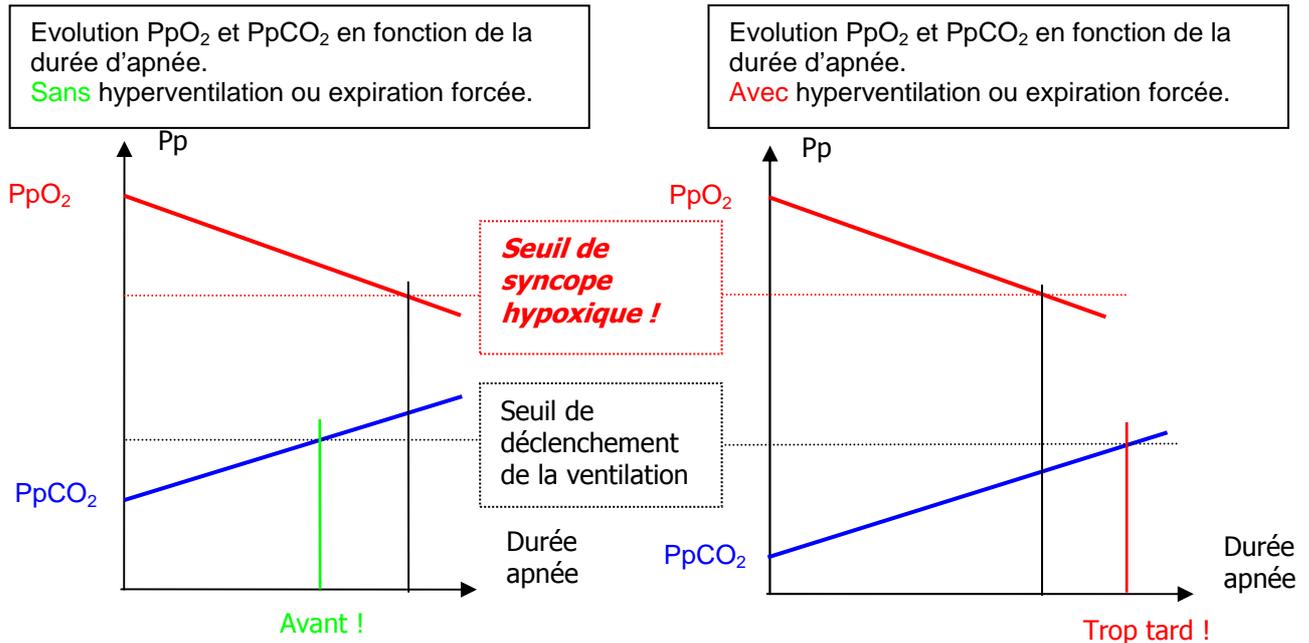
L'excès de CO₂ dans le sang provoque alors l'envie de respirer.

Ce n'est pas le manque d'oxygène dans le sang et dans le corps qui déclenche le besoin de respirer.

Avant une apnée, certains apnéistes accélèrent et amplifient leur ventilation (hyperventilation). Ou bien, ils ventilent en forçant beaucoup sur l'expiration.

Ainsi, ils abaissent anormalement la quantité de CO₂ dans leur sang, sans pour autant augmenter la quantité d'O₂ (ceci est impossible ou dans des quantités négligeables).

Pendant leur apnée, l'O₂ de leur sang est consommé par leurs muscles et organismes. Le CO₂ est produit mais le besoin de respirer risque d'intervenir trop tard par rapport au manque réel d'O₂ dans le corps ! Celui-ci attribue alors le peu d'oxygène au cerveau et au cœur, ce qui entraîne une syncope hypoxique (perte de connaissance) qui entraîne à son tour une noyade.



Conduite à tenir :

Le binôme doit le plus rapidement possible : remonter l'apnéiste, lui maintenir les voies aériennes (bouche et nez) hors de l'eau, prévenir les secours :

Le binôme doit intervenir avant la noyade (avant la reprise ventilatoire qui entraîne une inhalation d'eau).

Une fois au sec, il faut favoriser la reprise de conscience de l'accidenté en le stimulant.



Prévention :

Avant une apnée, il ne faut pas « mentir » à son corps : pas d'hyperventilation, pas d'expiration forcée. Pratiquer toujours en binôme de même niveau, avec une surveillance de chaque instant.

Adopter un lestage permettant une flottabilité positive, ainsi, même dans les *pommes* (j'aime bien cette expression... !) l'apnéiste remonte sans efforts. Ne pas souffler d'air durant l'apnée et surtout lors de la remontée. Etre relaxé. Respecter un temps de récupération avant une deuxième apnée égal à 2 fois la durée de la première au minimum. Ne pas chercher la performance.