La formation théorique au niveau 2

À L'AQUA TEAM KAYSERSBERG





Nous allons voir...

Le matériel du plongeur

La réglementation

Le Club et la formation au Niveau 1 ou 2

Les pressions, les barotraumatismes

L'équilibre, la flottabilité

Dalton et Henry

La désaturation

Le froid, l'essoufflement et les dangers du milieu

L'environnement

Le test de connaissances



Pourquoi ce cours...

Le plongeur autonome se doit de connaître et comprendre les phénomènes physiques qui vont agir sur son organisme.

Ces phénomènes physiques peuvent être à l'origine d'un accident de plongée. Les comprendre, c'est déjà commencer à savoir les éviter.

Quelle forme de « pression » connaissez vous ?



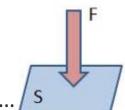


Pour les plongeurs...

La Pression est l'action d'une force appliquée sur une surface.

La force est exprimée en kg ; La surface en cm² ; La pression en bar.

Pour simplifier: 1kg / cm² = 1 bar. D'autres pressions pour les plongeurs...



La pression atmosphérique (P°atm.)

C'est la pression due au poids de l'air au-dessus de nous. Au niveau de la mer, elle est

en moyenne de 1 bar = 1013 hPa = 760 mmHg.

Elle diminue avec l'altitude : environs 0,1 bar tous les 1000 mètres.

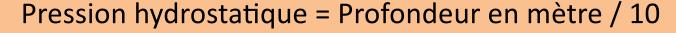
Pour info, un litre d'air pèse : environs 1,293 grammes.

La pression hydrostatique (P°hyd.) ou pression relative

C'est la pression due au poids de l'eau se trouvant au-dessus du plongeur.

Une colonne de 10 mètres d'eau douce * $1 \text{cm}^2 = 1$ litre = 1 kilogramme = 1 bar.

Elle est proportionnelle à la profondeur et augmente d'un bar tous les 10 mètres.



La pression absolue (P°abs.)

C'est la pression réelle à laquelle est soumis le plongeur soit :

Pression absolue = Pression atmosphérique + Pression hydrostatique



Pour voir si vous avez compris...

- Quelle sera la P°abs. à 18 mètres ? 42 mètres ?
- Je suis à quelle profondeur si la P°abs est de 3,3 bars ? 1,6 bars ?
- Quelle est la P°hyd. à 6 mètres ? 27 mètres ?

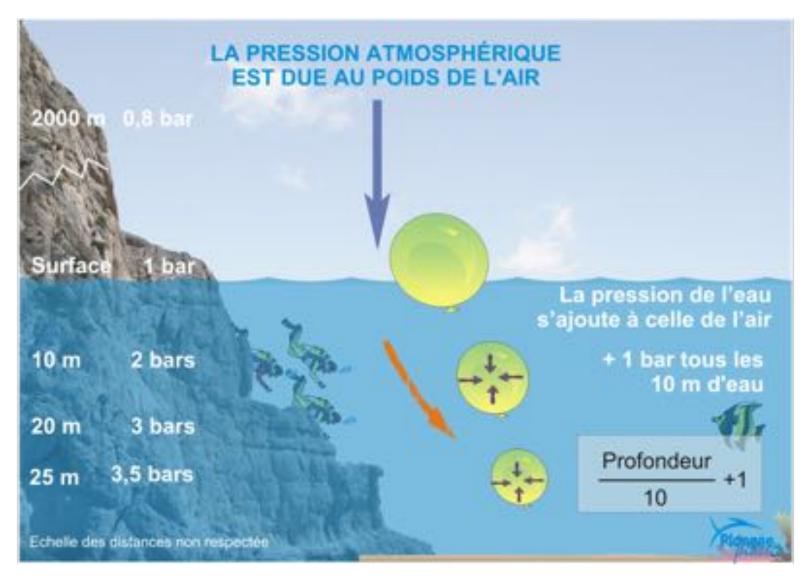
Que pouvez-vous constater dans ce tableau?

	Profondeur	Pression AIR	Pression EAU	Pression ABSOLUE	Variation
	0 mètre	1 bar	0 bar	1 bar	
	5 mètres	1 bar	0,5 bar	1,5 bars	X 1,5
	10 mètres	1 bar	1 bar	2 bars	X 2
	20 mètres	1 bar	2 bars	3 bars	Х3
	40 mètres	1 bar	4 bars	5 bars	X5
	60 mètres	1 bar	6 bars	7 bars	X7

Attention en approchant de la zone des 10 mètres lors de la remontée. Et évitez d'abuser de la bière pression!



Pour résumer...





Compressible ou non...

Les solides et les liquides sont non-compressibles : sous l'effet de la pression, leurs volumes ne varient pas. (ou très peu pour les liquides) Un objet non-compressible conserve un volume constant à l'immersion et à la remontée.

Les gaz, eux peuvent être comprimé ou dilaté, et donc varier de volume.

Tous les éléments du corps du plongeur, et de son équipement renfermant un gaz seront soumis à des variations de volume dues à la pression.

- À la descente, les gaz sont comprimés sous l'effet de la pression.
- Leur volume diminue proportionnellement à la hausse de pression.
- À la remontée, le phénomène inverse se produit : les volumes se dilatent proportionnellement à la diminution de pression.

C'est Robert Boyle (chimiste irlandais 1627/1691) et l'abbé Edme Mariotte (physicien français 1620/1684) qui ont mis en évidence ce phénomène.



La loi de Boyle/Mariotte...

« À température constante, le volume d'un gaz est inversement proportionnel à la pression. »

Résumé par la formule :

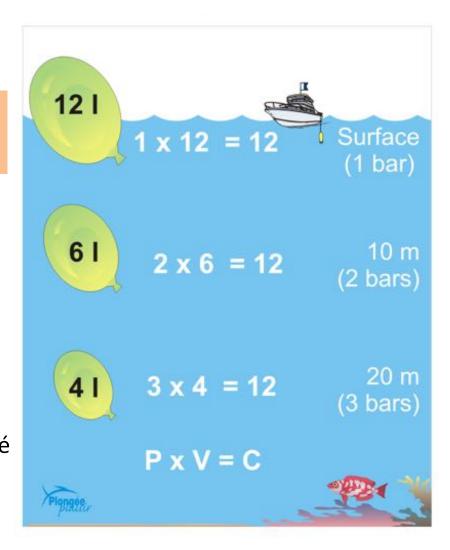
Pression (P) * Volume (V) = Constante

$$P_1 * V_1 = P_2 * V_2 = P_3 * V_3 = Constante$$

Mise en évidence pour la plongée :

Prenons un ballon de baudruche fermé qui a un volume de 12 litres d'air à la surface. Quel sera son volume à une profondeur de 10 et

- 25 mètres ?
 À la surface, la pression est égale à 1 bar, et le volume dans le ballon à 12 litres.
 - P * V donne : 1 bar * 12 litres = 12 litres
- À 10 m, pour trouver le volume du ballon :
 1 bar * 12 l = 2bars (P° à 10m) * le volume cherché donc 1 bar * 12 litres / 2 bars = 6 litres
- À 25 m, le volume sera de ?
 1 bar * 12 litres / 3,5 bars = 3,45 litres





A vous de calculer...

Quelle est la quantité d'air dans une bouteille de 12 litres gonflé à 200 bars ?

Un plongeur consomme 20 litres d'air par minute à la surface. Combien consomme-t-il de litres/min à 30 mètres ?

Quel est le volume en surface d'un ballon déformable ouvert, si son volume était de 3 litres à 30 mètres ?

Un ballon déformable à 30 litres d'air à 20 mètres. À quelle profondeur aura t-il un volume de 20 litres ?

Grâce à votre bouteille de 18 litres à 200 bars, vous équilibrez la bouteille de secours de 4 litres qui se trouve à 85 bars.

Quelle est la pression finale de chacune des bouteilles?



Les réponses...

Quelle est la quantité d'air dans une bouteille de 12 litres gonflé à 200 bars ?

Un plongeur consomme 20 litres d'air par minute à la surface.

Combien consomme-t-il de litres/min à 30 mètres?

$$(1 b * 20 l) / 4 b = 80 litres$$

Quel est le volume en surface d'un ballon déformable ouvert, si son volume était de 3 litres à 30 mètres ?

Comme il est ouvert, son volume restera à 3 litres

Un ballon déformable à 30 litres d'air à 20 mètres.

À quelle profondeur aura t-il un volume de 20 litres?

$$(3 b * 30l) / 20 l * P2 = 4,5 b soit 35 mètres$$

Grâce à votre bouteille de 18 litres à 200 bars, vous équilibrez la bouteille de secours de 4 litres qui se trouve à 85 bars.

Quelle est la pression finale de chacune des bouteilles?

```
((200 b * 18l) + (85 b * 4 l)) = P_2 * (18 l + 4l) = 179.09 bars
```



À quoi ça nous sert ???

Les applications de la loi de Boyle/Mariotte pour la plongée :

- Calcul de volume d'air disponible dans une bouteille.
- Calcul de la capacité d'une bouée pour le levage d'un objet.
- Calcul de gonflage et d'utilisation des bouteilles tampons.
- Calcul des variations de volume d'air avec la pression.
- ...
- Connaître une durée de plongée maximale en fonction de sa consommation en air et selon la profondeur d'évolution.
- Conséquences des variations de volume d'air dans le corps et l'équipement du plongeur : les accidents barotraumatiques. (ou accidents mécaniques)



Consommation...

La quantité d'air consommé en plongée dépend :

• De la profondeur, car la quantité d'air inspirée est proportionnelle à la pression.

À 10 m, on consomme 2 fois plus d'air qu'en surface.

À 20 m, on consomme 3 fois plus d'air qu'en surface.

• De la ventilation qui est variable selon les personnes, l'état psychique et la forme, mais surtout selon l'effort physique réalisé.

Pendant un effort moyen, on consomme 2 ou 3 fois plus d'air. Essoufflé, on consomme jusqu'à 10 fois plus d'air.

De la durée de la plongée.

En surface et sans effort physique, la consommation d'air est en moyenne de 15 à 20 litres par minute.



Volume d'air disponible...

Le volume d'air disponible se calcule en multipliant :

- Le volume du bloc, 10, 12, 15 litres.
- Par sa pression de remplissage.
- En retirant la réserve d'air à conserver par sécurité soit ? 50 bars.

Avant de plonger, il faut penser à vérifier la quantité d'air disponible et s'assurer qu'elle est suffisante.

Quel est le volume d'air disponible avec un bloc de 12 litres gonflé à 200 bars en conservant une réserve de 50 bars ?

Air dans la bouteille : P * V = 12 litres x 200 bars = 2400 litres

Réserve à conserver : P * V = 12 litres x 50 bars = 600 litres

Volume d'air disponible : 2400 litres – 600 litres = 1800 litres



Autonomie en air...

L'autonomie en air limite le temps de la plongée et se calcule à partir :

- De la consommation en air. (litre par minute)
- Du volume d'air disponible dans la bouteille. (litres)

Quelle est la durée maximale d'une plongée à 20 mètres pour un plongeur consommant en moyenne 201/min en surface et équipé d'un bloc de 12 litres gonflé à 200 bars ?

Quantité d'air disponible (calculée avant) = 1800 litres Pression absolue à 20 mètres = 3 bars

Consommation d'air à 20 mètres : 20 litres/min x 3 bars = 60 litres

Autonomie: 1800 litres / 60 litres/min = 30 minutes

Pendant la plongée, vérifier régulièrement la quantité d'air restante au manomètre, et estimer la durée d'autonomie restante en fonction de sa consommation.



A faire pour plonger en sécurité...

Communiquer pendant la plongée :



Au départ









Comportement en plongée...

Maitriser sa consommation en air:

- Éviter les efforts inutiles et l'agitation.
- Palmer lentement et efficacement.
- Adapter la capacité de son bloc et de son lestage.
- Respirer normalement et amplement.
- Être en forme et ne pas plonger en situation de stress ou de fatigue.

Rester groupés dans la palanquée :

- À proximité des autres plongeurs et du Guide de Palanquée à 40 m.
- À la même profondeur.

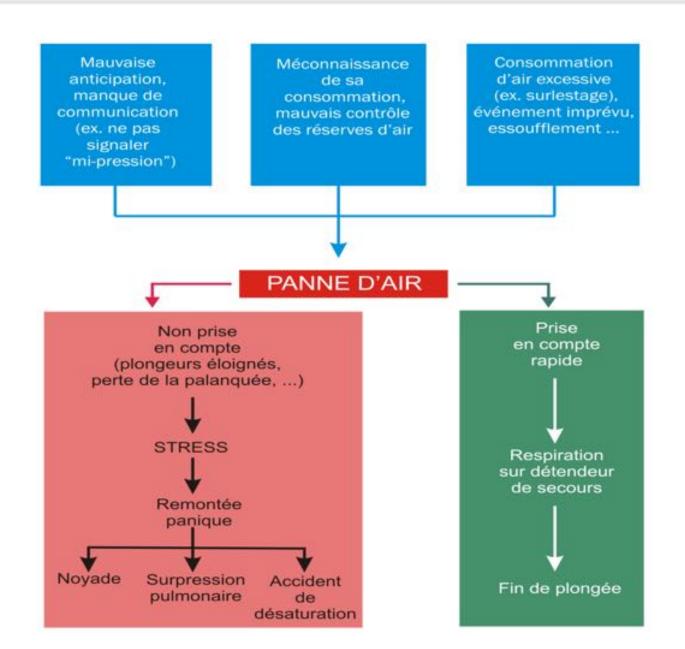
Réagir en cas de panne d'air :

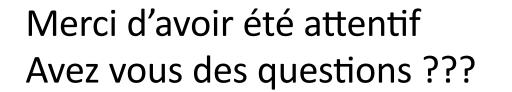
- Signe panne d'air.
- Recevoir ou donner de l'air avec l'octopus.
- Informer les autres plongeurs.





Les risques d'une panne d'air...









Nous allons voir...

Le matériel du plongeur

La réglementation

Le Club et la formation au Niveau 2

Les pressions, les barotraumatismes

L'équilibre, la flottabilité

Dalton et Henry

La désaturation

Le froid, l'essoufflement et les dangers du milieu

L'environnement

Le test de connaissances



À quoi ça nous sert ???

Les applications de la loi de Boyle/Mariotte pour la plongée :

- Calcul de volume d'air disponible dans une bouteille.
- Calcul de la capacité d'une bouée pour le levage d'un objet.
- Calcul de gonflage et d'utilisation des bouteilles tampons.
- Calcul des variations de volume d'air avec la pression.
- •
- Connaître une durée de plongée maximale en fonction de sa consommation en air et selon la profondeur d'évolution.
- Conséquences des variations de volume d'air dans le corps et l'équipement du plongeur : les accidents barotraumatiques. (ou accidents mécaniques)



Les Barotraumatismes...

- « Baro » signifie pression et
- « traumatisme » dommage à l'organisme.

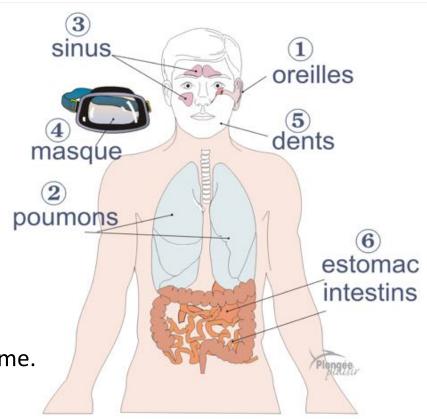
Le corps humain comporte de nombreuses cavités naturelles remplies d'air.

En cas de non-équilibre avec la pression ambiante, elles peuvent subir des dommages :

- Quand on descend, la pression augmente et le volume de l'air dans la cavité diminue.
- Quand on remonte, la pression diminue et le volume de l'air dans la cavité augmente.

Nous aborderons les thèmes suivants :

- Les bases anatomiques simples.
- Les causes et conséquences du barotraumatisme.
- Les symptômes possibles.
- Pour l'éviter, les préventions.
- Une fois déclaré, les conduites à tenir.

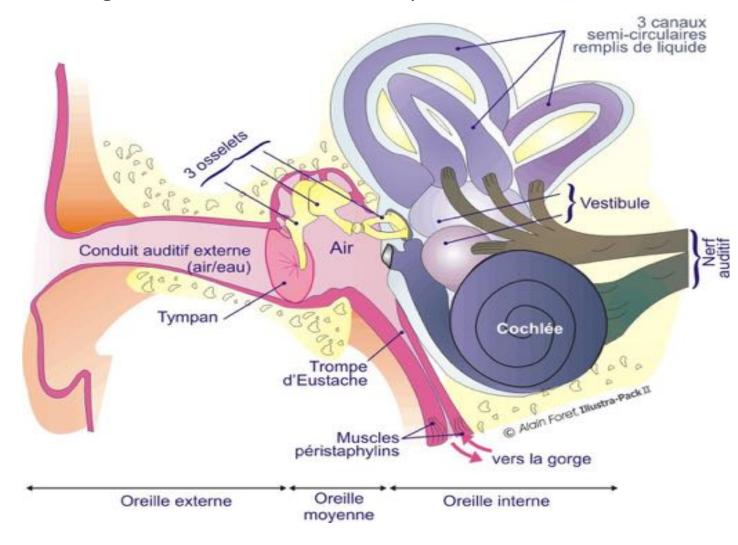








L'oreille : c'est l'organe de l'audition et de l'équilibre.

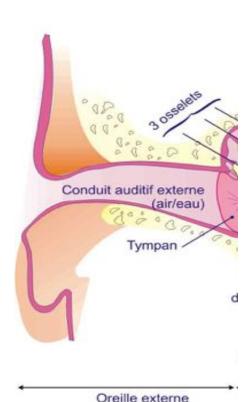




Elle est composée de trois parties :

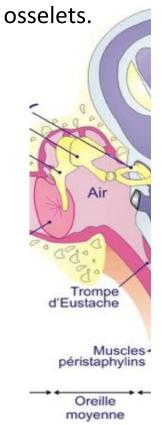
L'oreille externe

transmet les vibrations du milieu externe vers le tympan.

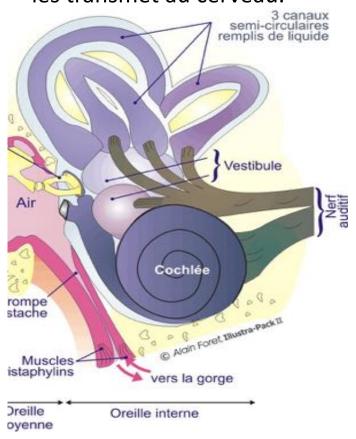


L'oreille moyenne

transmet les vibrations issues du tympan à l'oreille interne par les

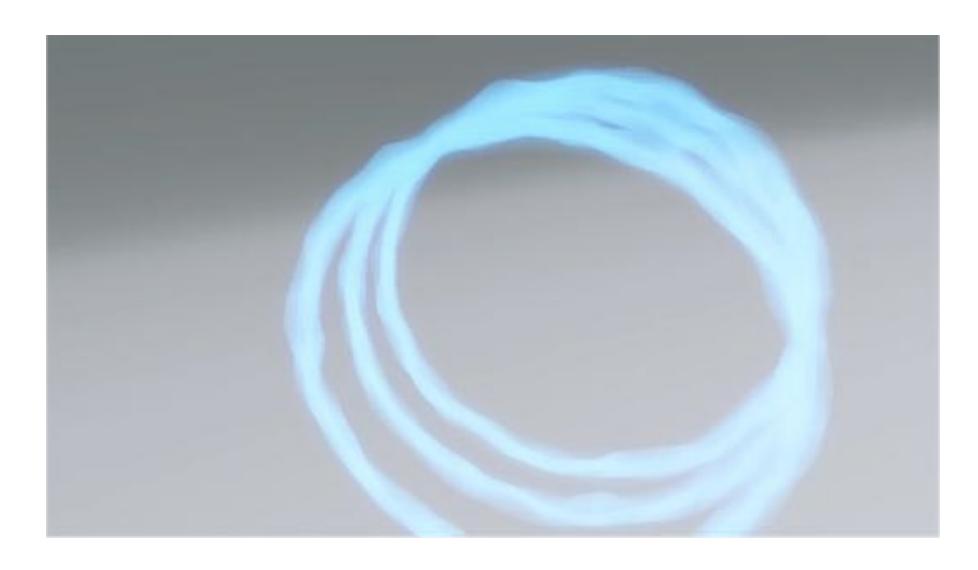


L'oreille interne transforme les informations mécaniques en informations électrique et les transmet au cerveau.



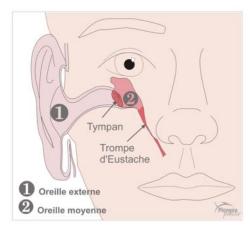


En images...





« Baro » des oreilles...



Les causes et conséquences du barotraumatisme :

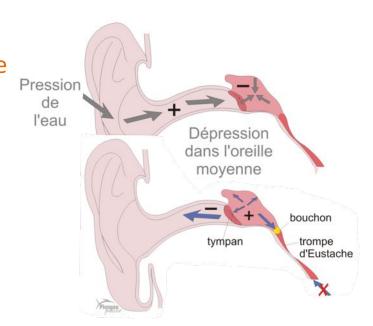
La trompe d'Eustache est un canal qui relie la cavité de l'oreille moyenne à l'arrière-gorge.

Si elle ne s'ouvre pas pendant la descente, l'air ne circule pas, et la pression de l'oreille moyenne ne s'équilibre pas avec la pression ambiante qui augmente.

Ce déséquilibre déforme le tympan vers l'intérieur à la descente ou l'extérieur à la remontée, avec un risque de perforation de la membrane pouvant évoluer en cas de surinfection vers une otite chronique.

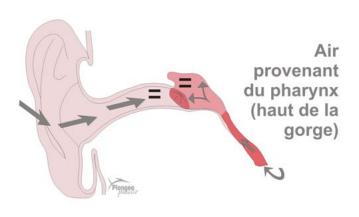
Les symptômes possibles :

- Douleurs violentes à une ou aux deux oreilles,
- Sensation d'oreilles bouchées,
- Troubles auditifs, acouphènes, crépitements,
- Saignements ou perforation du tympan,
- Vertiges, nausées, syncope.





« Baro » des oreilles...



<u>Pour éviter, les préventions</u> :

À la descente : Ne forcez pas, cessez la descente, informez les membres de la palanquée et remontez de quelques mètres.

Pratiquez une manœuvre de compensation telle que Valsalva, régulièrement et avant toute gêne. Attendez et redescendez lentement si la gêne est passée. Si l'équilibre ne se réalise pas... Remontez et annulez la plongée.

À la remontée : Généralement, les pressions s'équilibrent d'elles même à la remontée sans manœuvre de compensation. Si cela devait arriver, interromprez la remontée, informez les membres de la palanquée et redescendez de quelques mètres, attendez avant de remonter très lentement.

Conseils complémentaires :

- Attention ne pratiquez JAMAIS de VALSALVA à la remontée.
- Ne plongez jamais enrhumé ou en cas d'infection O.R.L.
- N'utilisez pas de vasodilatateur (aérosol nasal).

Et si quand même... les conduites à tenir :

Consultez un O.R.L. pour un avis médical.



Pour info, les autres techniques...

Méthode		Commentaire	Facilité	Sécurité
VALSALVA	8	Nez pincé / bouche fermé / souffler par le nez	****	*
LOWRY		Nez pincé / Souffler par le nez en déglutissant	***	***
DEGLUTITION &		Ne marche pas chez tout le monde	•	•••
FRENZEL &		Nez pincé / Glotte fermée / Langue plaquée vers le haut / Contracter les muscles du cou et prononcer le son KEE		**
BTV	8	Bailler / Nécessite entrainement	*	***
EDMONDS	8	Mâchoire en avant avec un Valsalva ou Frenzel	**	••
TOYNBEE	3	Inverse Valsalva	***	**



Un peu de physique...

L'eau est un milieu incompressible, le son s'y propage donc très vite et de très loin : environ 1500m/s dans l'eau, contre 330m/s dans l'air.

En surface, notre cerveau est capable d'intégrer la différence de temps entre une oreille et l'autre, et de transformer ce décalage en direction d'origine du son. Comme dans l'eau le son se déplace plus vite, le cerveau est perdu et ne sait plus faire la différence, donc n'arrive plus a déterminer d'où il provient.

Attention à la remontée à bien réaliser un tour d'horizon complet avant de faire surface pour vérifier qu'il n'y a pas d'obstacle.





À vous de calculer...

Exemple 1:

Un bâtiment explose à 4950 mètres d'un bateau. Combien de temps les plongeurs au palier sous le navire l'entendront-ils avant le marin resté à bord ? Réponse: 11,7 secondes. (4950m / 330m/s = 15) - (4950m / 1500m/s = 3,3)

Exemple 2:

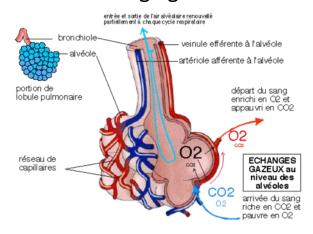
Un sondeur émet une onde sonore vers le fond et en reçoit l'écho un dixième de seconde après l'émission. A quelle distance se trouve le fond ?

Réponse : 75 mètres (0,1 seconde * 1500m/s /2 (aller-retour))

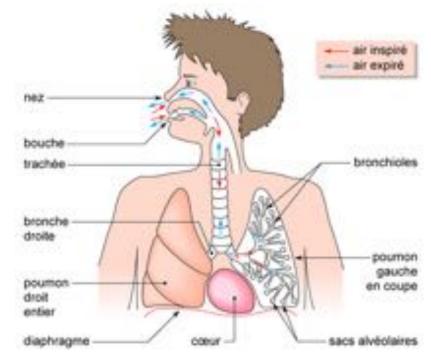


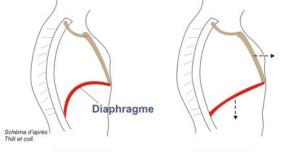
L'appareil respiratoire...

L'appareil respiratoire a pour mission principale d'acheminer l'air vers le lieu d'échange pour alimenter l'organisme via un système d'échange gazeux.



Il est formé par plusieurs organes...





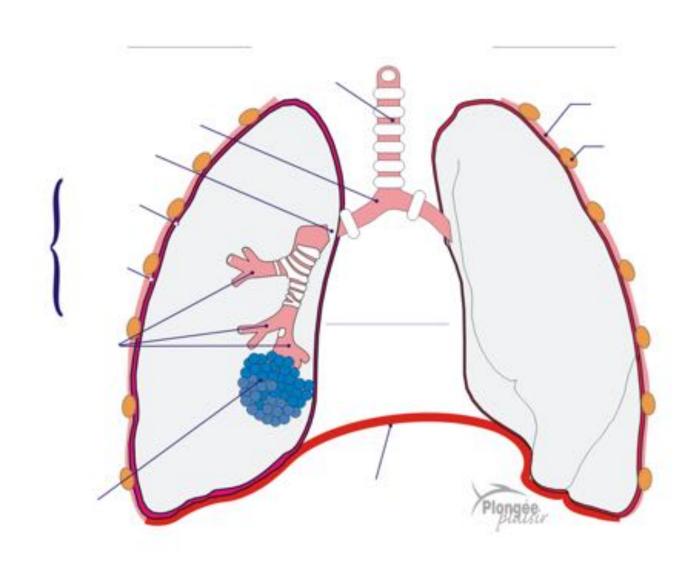
EXPIRATION
(diminution du volume,
l'air est expulsé par la pression
intra-pulmonaire)

INSPIRATION
(augmentation de volume,
l'air est aspiré par la dépression
intra-pulmonaire)

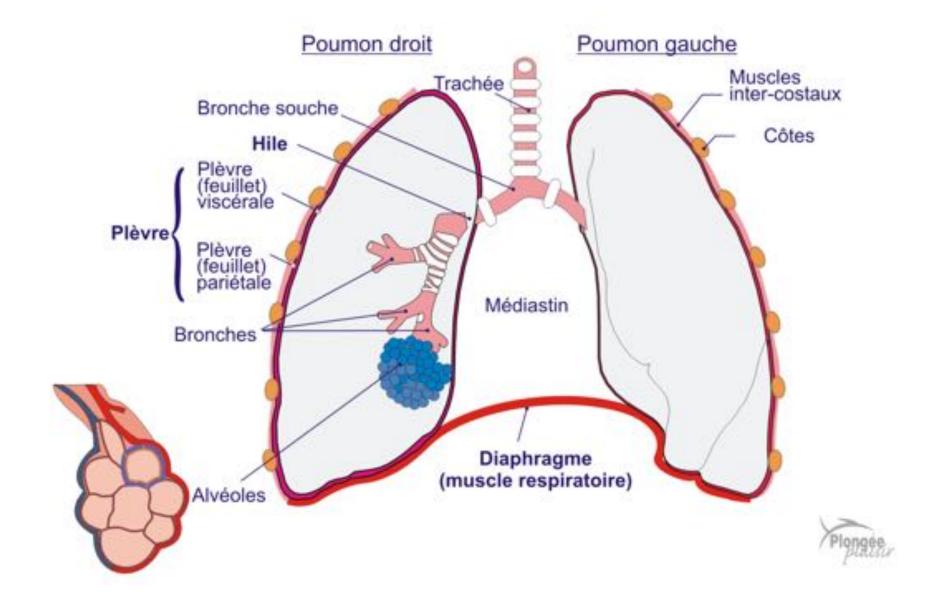
La respiration est un phénomène mécanique en deux étapes :

- Phase active, l'inspiration
- Phase passive, l'expiration.











« Baro » des poumons...

Les causes et conséquences du barotraumatisme :

À la remontée, la diminution de pression entraîne une augmentation du volume de l'air dans les poumons.

En cas de blocage de l'expiration, ou si l'expiration est insuffisante, la dilatation de l'air peut distendre les alvéoles au-delà de leur limite d'élasticité.

Les causes probables du blocage :

- Mauvaise utilisation du gilet.
- Panique, remontée rapide, blocage de la glotte.
- Noyade ou inhalation d'eau.
- Valsalva à la remontée...

Une expiration insuffisante:

- Efforts, essoufflement.
- Vitesse de remontée trop rapide lors d'exercices.
- Détendeur mal réglé, trop dur.
- Détendeur en débit continu : givrage.
- Combinaison trop serrée...



« Baro » des poumons...

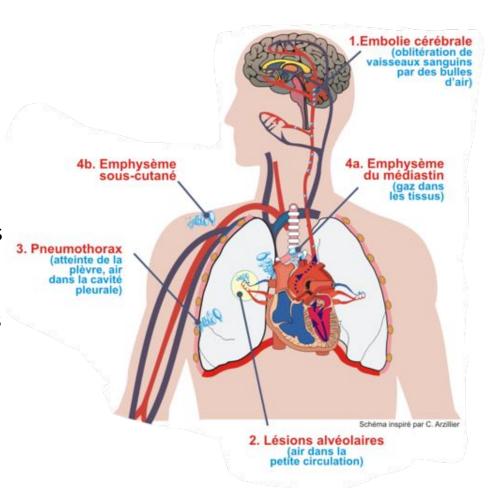
Il peut y avoir plusieurs **conséquences** neurologiques ou mécaniques si l'expiration est bloquée ou insuffisante lors de la remontée.

Neurologique:

 L'embolie cérébrale : passage d'air dans le circuit artériel, remonté jusqu'au cerveau et obstruction de celui-ci.

Mécaniques :

- Des lésions alvéolaires : distension jusqu'à rupture des alvéoles, l'air passe dans la petite circulation.
- Un pneumothorax : infiltration d'air dans les deux feuillets de la plèvre, désolidarisation du poumon et de la cage thoracique.
- L'emphysème du médiastin : l'air passe dans les tissus cellulaires et pénètre dans le médiastin.
- L'emphysème sous-cutané : l'air s'échappe à cause de la rupture du deuxième feuillet de la plèvre, surtout au niveau du cou.





« Baro » des poumons...

Les symptômes possibles :

- Douleurs violentes au thorax, difficultés respiratoires.
- Bave, toux, crachats de sang.
- Fatigue, vertige, pâleur, vomissement.
- Disparition de la sensibilité, de la motricité, paralysie.
- Perte de connaissance, arrêt respiratoire et cardiaque.

Pour éviter, les préventions :

- Ne jamais bloquer son expiration, souffler et basculer légèrement la tête, et regarder vers la surface lors de la remontée.
- Surveiller sa consommation pour éviter la panne d'air synonyme de remontée panique.
- Pas de manœuvre de Valsalva à la remontée.

Et si quand même... les conduites à tenir :

- Déséquiper, mettre au sec, réchauffer et réconforter.
- Réaliser les gestes du CAFSAN.



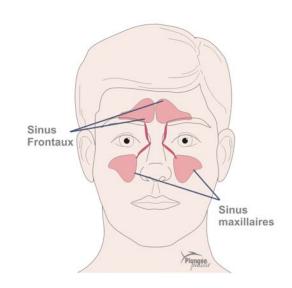


« Baro » des sinus...

Les sinus frontaux et maxillaires sont des cavités creusées dans le crâne et reliées aux fosses nasales par de fins canaux.

Les causes et conséquences du barotraumatisme :

En cas d'obstruction de ces canaux, la pression dans les sinus ne s'équilibre pas par rapport à la pression extérieure qui évolue à la descente ou à la remontée, et crée ainsi une dépression ou une surpression.



<u>Les symptômes possibles</u> :

- Douleurs violentes (front, mâchoire supérieure, arcade sourcilière...).
- Saignements ...

Pour éviter, les préventions :

- Ne jamais plonger enrhumé ou en cas de sinusite.
- Ne jamais utiliser de vasodilatateur (aérosol nasal) avant une plongée.
- Il n'existe pas de manœuvre d'équilibrage.
- Ne pas forcer à la descente ou à la remontée.

<u>Une fois déclaré, les conduites à tenir</u> :

Réaliser les gestes du CAFSAN et consulter un médecin O.R.L.



« Baro » du masque...

À la descente, la pression plaque le masque sur le visage.

Les causes et conséquences du barotraumatisme : Le volume d'air à l'intérieur lu masque diminue. Lorsque l'élasticité de la jupe atteint sa limite, le volume d'air à l'intérieur du masque ne peut plus diminuer. Il se retrouve ainsi en dépression par rapport à la pression ambiante, ce qui crée un effet de ventouse sur le visage.

<u>Les symptômes possibles</u>:

- Douleurs et troubles oculaires.
- Saignement oculaire ou nasal.
- Hématomes. (œil au beurre noir)

Pour éviter, les préventions :

- À la descente, souffler de l'air par le nez pour équilibrer la pression à l'intérieur du masque.
- Ne pas trop serrer la sangle du masque.

Une fois déclaré, les conduites à tenir :

Réaliser les gestes du CAFSAN et consulter un ophtalmologue.





« Baro » des dents ...

Les dents permettent de mâcher les aliments afin de les avaler et les digérer plus facilement... et pour nous plongeur à maintenir le tuba ou le détendeur en bouche.

Les causes et conséquences du barotraumatisme :

Des fissures ou caries mal soignées peuvent être à l'origine de cavités ou l'air peut s'infiltrer dans la dent.

À la remontée, si l'air reste piégé et ne s'évacue pas assez vite, une surpression se crée à l'intérieur de la dent.

À la descente, c'est une dépression qui peut s'y créer.

Les symptômes possibles :

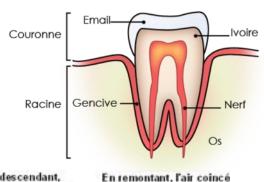
- Douleurs violentes,
- Éclatement ou fissure de la dent,
- Éjection de plombage...

Pour éviter, les préventions :

- À la descente, stoppez, avertir et annuler ; À la, stoppez, avertir et remontez lentement.
- Hygiène dentaire, consulter régulièrement un dentiste,
- Ne pas plonger avec une ou plusieurs dents infectées ou mal soignées.

<u>Une fois déclaré, les conduites à tenir</u> :

Réaliser les gestes du CAFSAN et consulter votre dentiste.









« Baro » de l'estomac ...

L'appareil digestif, c'est l'ensemble des organes ayant pour fonctic l'assimilation des aliments destinés à apporter les molécules nécessaires au fonctionnement des cellules.

Les causes et conséquences du barotraumatisme :

Les gaz provenant de la fermentation des aliments (digestion) ou de l'air avalé (déglutition) peuvent s'accumuler pendant la plongé et se dilater à la remontée.

S'ils ne s'échappent pas par voie orale ou anale, ils peuvent provoquer une surpression de l'estomac ou des intestins.

Les symptômes possibles :

Douleurs et distensions abdominales.

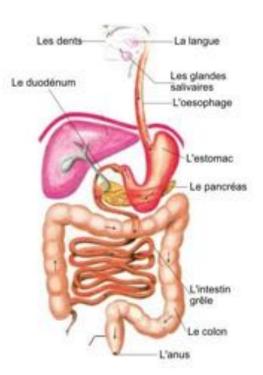
Pour éviter, les préventions :

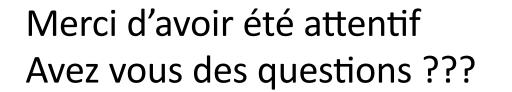
Sous l'eau, stoppez, avertir et essayer d'évacuer les gaz par voie buccale ou rectale.

Ayez une alimentation équilibrée et adaptée, éviter de boire des boissons gazeuse ou de manger des féculents avant la plongée.

Une fois déclaré, les conduites à tenir :

Réaliser les gestes du CAFSAN et consulter un médecin.









Cette fois c'est la fin!
Des questions?
La semaine prochaine...

L'équilibre et la flottabilité