



Théorie PA-40

Cours n°3
Essoufflement
Désaturation
ADD



S'il te plaît, raconte-moi une histoire !

- Petite plongée sur une épave en pleine eau
- Vous descendez le long du bout
- Arriver à ~36 mètres, vous décidez de lâcher le bout pour rejoindre l'épave
- Il y a un courant important contre vous et vous forcez votre palmage pour rejoindre l'épave
- Une fois arrivé sur l'épave vous vous retournez et ne voyez pas votre binôme, vous levez la tête et vous le voyez remonter rapidement à la surface.

Que s'est-il passé ?



L'Essoufflement – Qu'est-ce que c'est ?

- L'essoufflement (ou hypercapnie) est dû à une élimination insuffisante du CO_2 par la ventilation
- Un essoufflement peut avoir de grave conséquence en plongée et provoquer ou aggraver d'autres accidents.
- **L'essoufflement et ses conséquences sont à l'origine de la plupart des accidents en plongée profonde**

L'Essoufflement – Mécanisme



a) Ventilation et CO2

- La pression partielle de CO2 (PPCO2) dans l'air que nous expirons est de $\sim 0,05$, il est le résultat de notre métabolisme, nous transformons $\sim 0,05$ de PPO2 inspiré en $\sim 0,05$ PPCO2, cela ne varie pas avec la profondeur.
- En cas d'effort, nous consommons plus d'O2 et donc produisons plus de CO2, le corps va donc augmenter le rythme de la ventilation pour apporter plus d'O2 et éliminer le CO2.

b) Ventilation en plongée

- $\uparrow$ espace mort (détendeur) $\Rightarrow \uparrow$ fréquence ventilatoire
- Reflux central de la circulation sanguine (apesanteur en immersion) $\Rightarrow \uparrow$ travail ventilatoire
- $\uparrow$ densité de l'air $\Rightarrow \uparrow$ travail ventilatoire
- $\uparrow$ résistance inspiratoire et expiratoire $\Rightarrow \uparrow$ travail ventilatoire (expiration active)
- $\downarrow$ VEMS (volume expiratoire maximal par seconde) $\Rightarrow$ insuffisance respiratoire à l'effort
- $\uparrow$ stress, surtout chez les débutants $\Rightarrow$ réflexe inspiratoire

La plongée provoque un effort supplémentaire à la ventilation

c) Facteurs augmentant la production de CO2 :

- Efforts :
 - Propulsion
 - Sustentation
 - Ventilation (densité de l'air)
- Froid (air inspiré, eau froide)

d) Facteurs diminuant l'élimination de CO2 :

- Expiration active (moins efficace)
- Stress ($\downarrow$ expiration, $\uparrow$ fréquence, $\downarrow$ amplitude)
- Pneumothorax, OAP

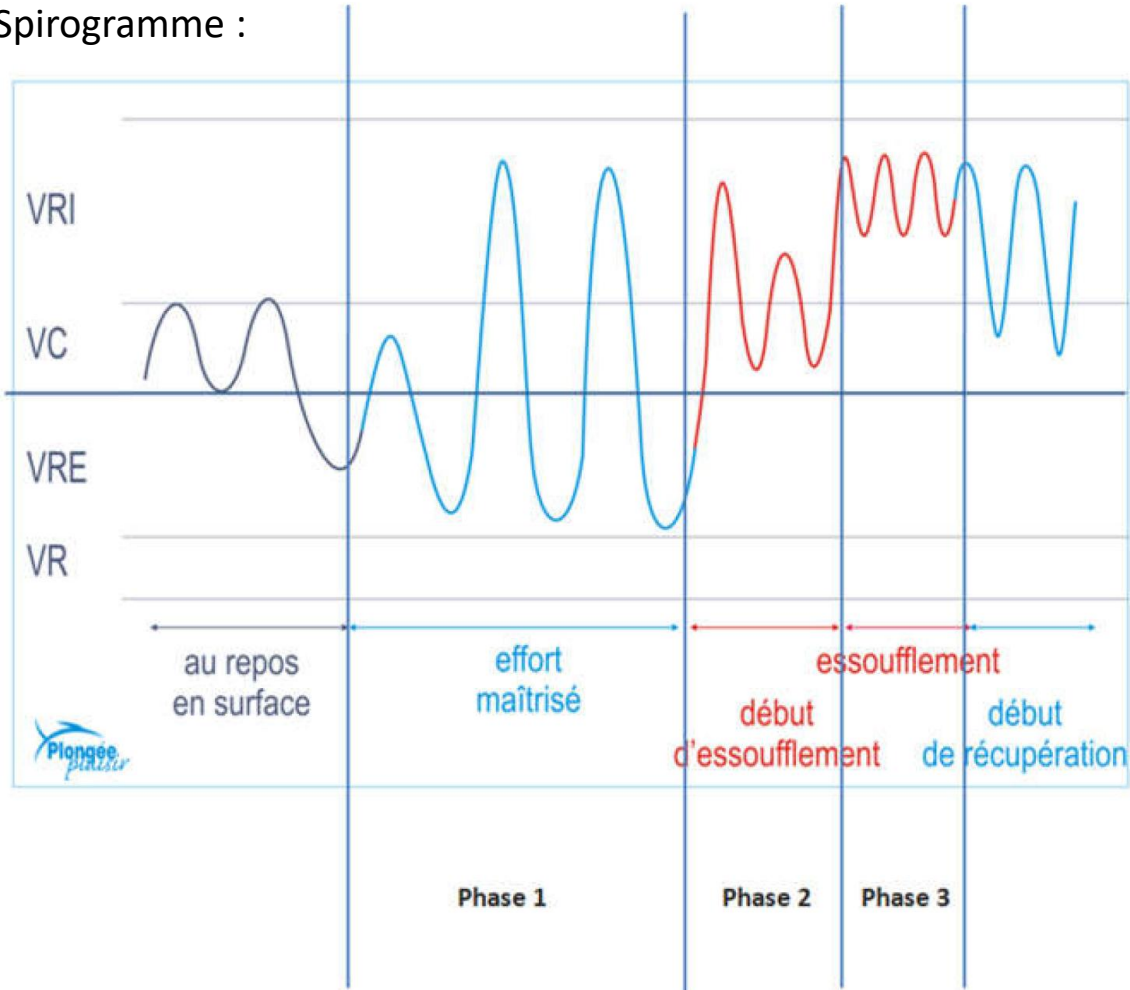
	à la surface			
	Inspiration		expiration	
	%	PP	%	PP
N2	78,08	0,78	78,08	0,78
O2	20,95	0,21	15,98	0,16
CO2	0,0330	0,0003	5,0000	0,0500
Total	99,06	0,99	99,06	0,99

	à 40 m			
	Inspiration		expiration	
	%	PP	%	PP
N2	78,08	3,90	78,08	3,90
O2	20,95	1,05	19,95	1,00
CO2	0,0330	0,0017	1,0264	0,0513
Total	99,06	4,95	99,06	4,95

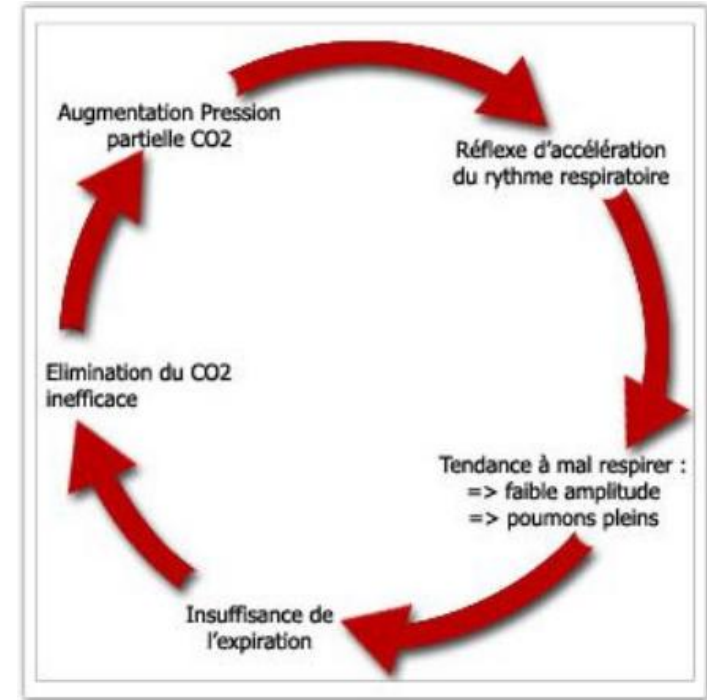
L'Essoufflement – Mécanisme



Spirogramme :



Cercle vicieux :



Lorsque l'essoufflement se manifeste, la respiration devient plus forte, plus rapide, haletante et superficielle due à une intoxication au dioxyde de carbone (CO₂).
La respiration n'évacue pas la totalité des gaz contenus dans les poumons.



L'Essoufflement – Symptômes

- Pour le plongeur :

- Ventilation difficile
- Augmentation du rythme respiratoire
- Maux de tête, bourdonnements
- Stress

À partir d'une PPCO₂ de 0,02 dans l'air inspiré : augmentation de l'amplitude ventilatoire

À partir d'une PPCO₂ de 0,04 dans l'air inspiré : augmentation de la fréquence ventilatoire

À partir d'une PPCO₂ de 0,10 dans l'air inspiré : trouble visuel, tremblements, sueurs

À partir d'une PPCO₂ de 0,12 dans l'air inspiré : le plongeur peut perdre connaissance

À partir d'une PPCO₂ de 0,25 dans l'air inspiré : le plongeur peut être en arrêt respiratoire

- Pour la palanquée :

- Présence importante de bulles
- Ventilation saccadée
- Agitation



L'Essoufflement – Conduite à tenir

Pour le plongeur essoufflé

- Arrêter tout effort
- Alerter
- Essayer de se calmer et insister sur l'expiration
- Diminuer la profondeur

Pour le binôme

- Saisir, calmer et rassurer le plongeur
- Faire cesser tout effort
- Remonter le plongeur de quelques mètres
- Surveiller la consommation
- Fin de plongée – VOULOIR POURSUIVRE LA PLONGEE APRES ETRE REMONTE DE QUELQUES METRES EST ILLUSOIRE

L'Essoufflement – Risques

- Hypercapnie => perte de connaissance => NOYADE
- Panique => Inondation des voies respiratoires => NOYADE
- Panique => Blocage de l'expiration => SPP
- Panique => remontée trop rapide => SPP/ADD
- Respiration superficielle => Désaturation insuffisante => ADD
- Surconsommation => panne d'air

L'Essoufflement - Facteurs favorisants / Causes et prévention



Causes / Facteurs Favorisants	Prévention
Effort important	Maitriser ses efforts en surface comme en immersion. Eviter tout effort inutile, prendre le temps de récupérer, Utiliser son gilet (stabilisation, remontée)
Mauvaise Ventilation	Avoir un vêtement adapté, Entretien et réglage détendeur Se forcer à expirer pendant l'immersion
Froid	Consommation accrue d'O ² pour se réchauffer Se protéger avant la plongée Avoir un équipement adapté (épaisseur, gants, ...) Boire chaud Réduire le temps de plongée
Accroissement de la viscosité de l'air	Avoir un détendeur adapté à la profondeur
Bouteille Mal ouverte	Contrôler avant immersion
Lestage inadapté, mauvais équilibre	Ajuster, tenir compte d'un éventuel changement d'équipement, utiliser le gilet, mieux vaut faire son palier à 6 m si l'on est trop léger à 3 m que de labourer le fond en se déplaçant à 45°
Vêtement trop serré : Gêne la respiration	Avoir un vêtement correctement ajusté et d'épaisseur adaptée
Mauvaise condition physique : Fatigue, Stress, maladie, ...	Avoir conscience de son état et savoir renoncer à plonger

La désaturation

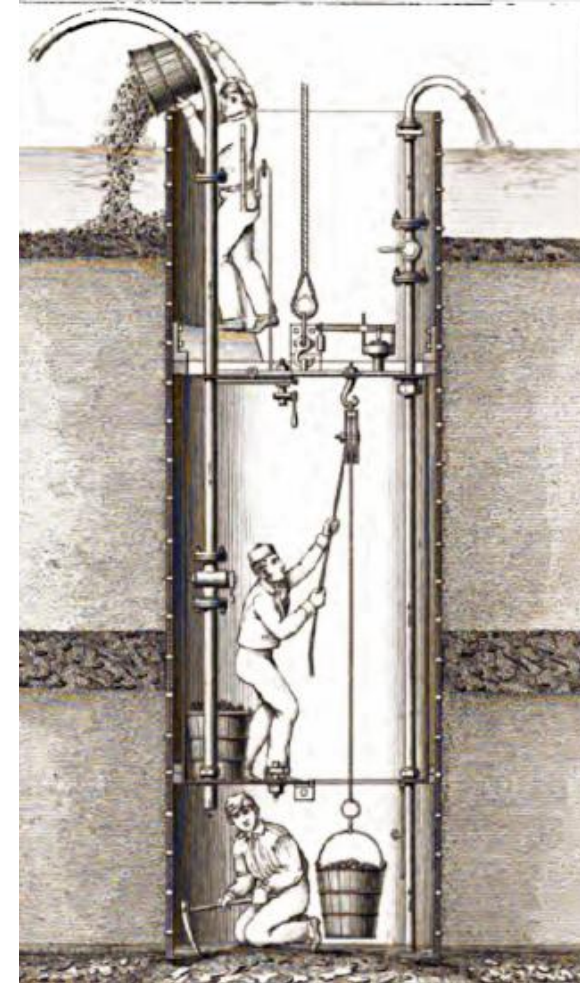
Au cours du 19ème siècle, des techniques de travail à l'aide d'air comprimé se développent, mais les ouvriers développent des symptômes inconnus.

Des protocoles de désaturation empiriques (vitesse de remontée lente, durée d'exposition limitée...) et des travaux de recherche mettent en évidence le rôle spécifique de l'azote.

Mais les solutions proposées ne convainquent pas et les accidents persistent.

John Scott Haldane propose un modèle de désaturation et en déduit une table de remontée par paliers (1908).

Depuis, ces modèles n'ont cessé d'évoluer et de s'affiner.



**appareil à air
comprimé Triger**



La désaturation - modèles

Un modèle est la représentation simplifiée d'un phénomène complexe.

En plongée, les modèles de désaturation simplifient les réactions du corps humain face à la charge et à la décharge d'azote (et plus globalement des gaz inertes), sans pour autant en connaître tous les tenants et aboutissants, mais avec des résultats suffisamment fiables.

S'ils fournissent des résultats satisfaisants dans une utilisation « classique », ils ne peuvent assurer une désaturation sûre à 100% des individus dans 100% des cas.



Exemple pour un modèle de désaturation à 12 compartiments



La désaturation - modèles

La saturation et la désaturation sont symétriques : un même tissu sature et désature à la même vitesse.

Le seuil de sursaturation critique est le rapport entre la tension de d'azote tolérable par le tissu (sa saturation maximale supportable) et la pression absolue :

$$Sc \times P_{abs} = TN2 \text{ max}$$

Le seuil de sursaturation critique d'un compartiment est la tension de l'azote au-delà de laquelle il reprend sa forme gazeuse

- Tant que la saturation est sous le seuil, pas de palier.
- Dès que la saturation atteint le seuil, le palier est obligatoire
- Si la saturation dépasse le seuil, un dégazage anarchique peut se produire, la désaturation n'est plus contrôlée par l'organisme.

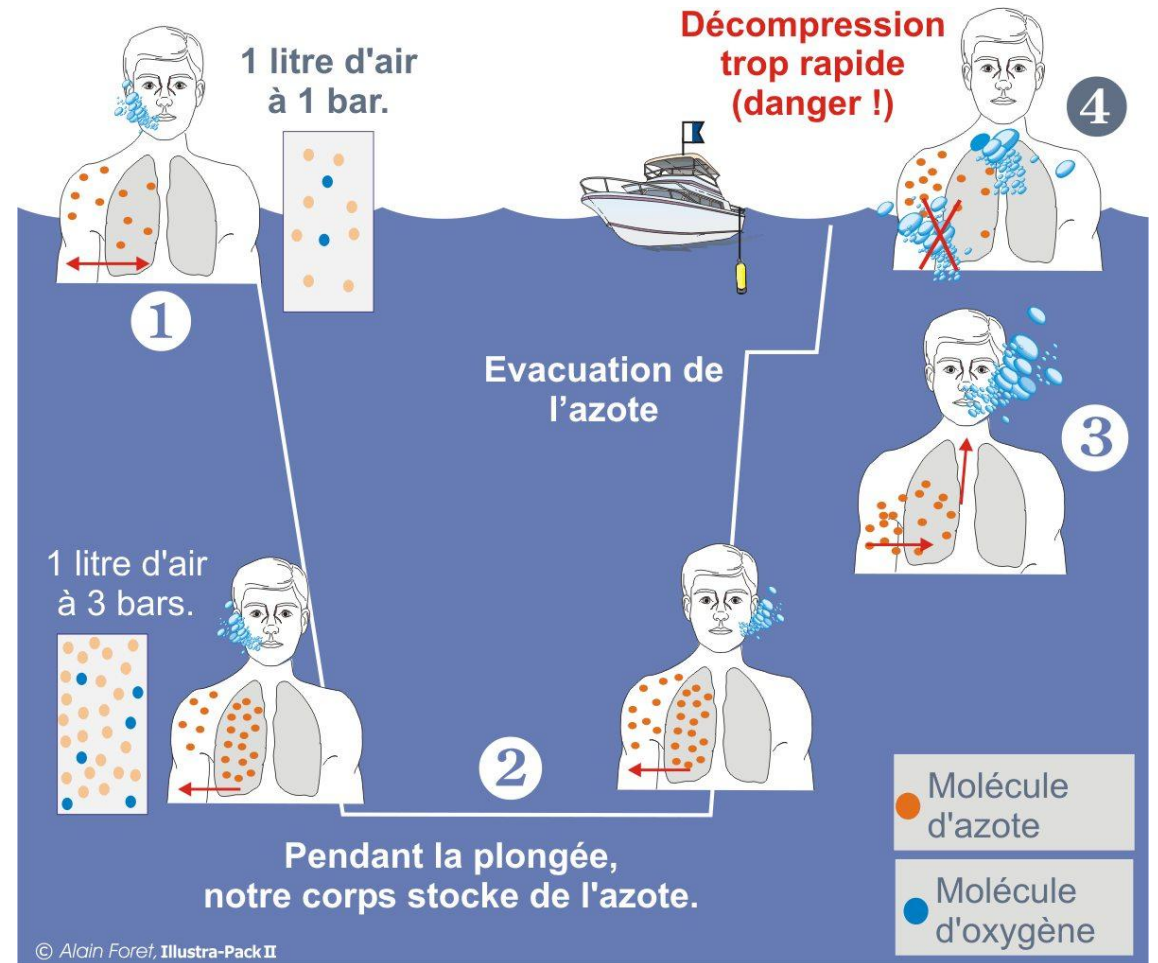
C _x	Périodes	Sc
C ₅	5 min	2,72
C ₇	7 min	2,54
C ₁₀	10 min	2,38
C ₁₅	15 min	2,20
C ₂₀	20 min	2,04
C ₃₀	30 min	1,82
C ₄₀	40 min	1,68
C ₅₀	50 min	1,61
C ₆₀	60 min	1,58
C ₈₀	80 min	1,56
C ₁₀₀	100 min	1,55
C ₁₂₀	120 min	1,54

Exemple pour un modèle de désaturation à 12 compartiments



Saturation

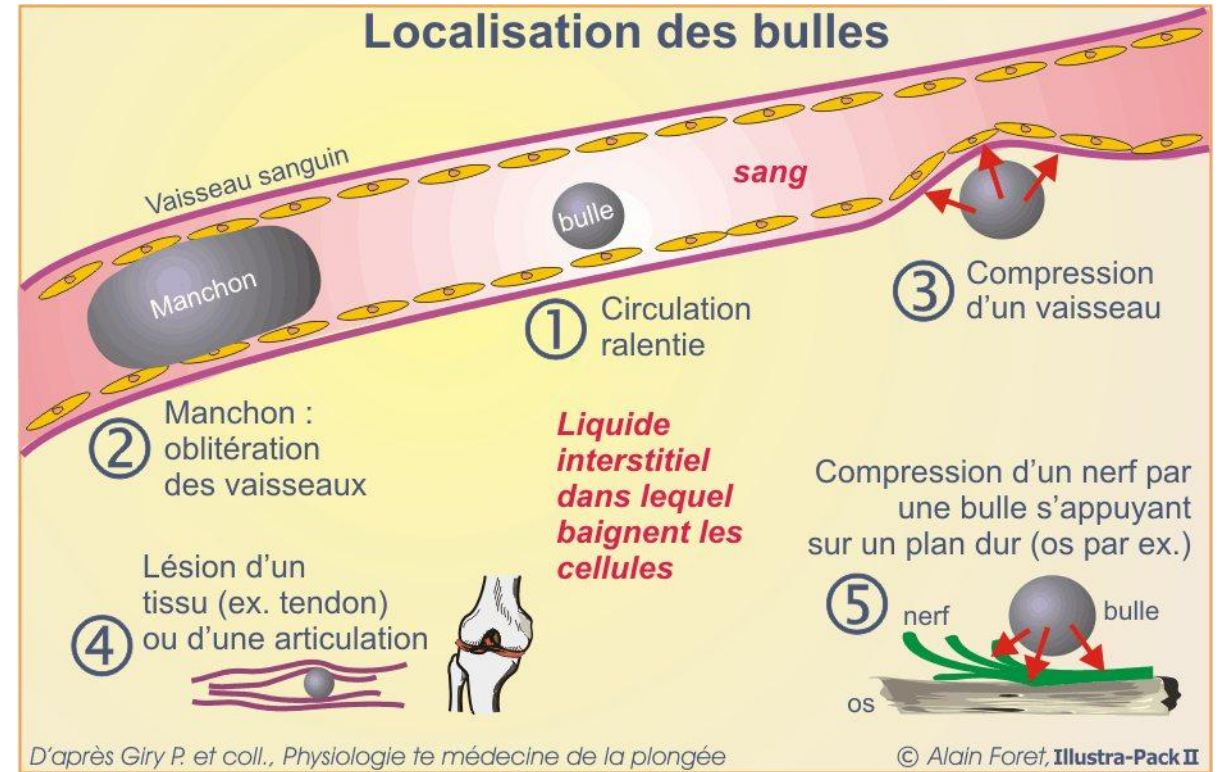
- Quand la pression de l'air inspiré augmente, la quantité de gaz dissous dans l'organisme augmente.
- L'oxygène ne reste pas à l'état dissout mais est fixé à l'hémoglobine dans les globules rouges et transporté jusque dans les cellules où il est utilisé pour la production d'énergie.
- L'azote, quant à lui, est simplement dissous dans le sang, qui le transporte passivement dans tout l'organisme. On dit que l'azote est un **gaz neutre** pour la respiration. Suivant la loi de Henry, il passe dans le sang en plus grande quantité que lorsque le plongeur est en surface. Par osmose, il est ensuite dissous dans tous les tissus, dans des proportions plus ou moins grandes et à une vitesse variable selon les tissus.





Désaturation

- Lorsque la pression ambiante diminue, l'azote dissous dans l'organisme a tendance à retrouver sa forme gazeuse. Des bulles minuscules se forment alors dans tous les tissus et en particulier dans le sang.
- En temps normal (bonne condition physique, respect des procédures...), ces microbulles sont éliminées par la respiration.
- Ces microbulles peuvent grossir, s'accumuler, fusionner, former des amas et se fixer, elles peuvent empêcher la circulation sanguine et endommager des tissus. **C'est l'accident de désaturation.**





ADD - Symptômes

- Démangeaisons, rougeurs
- Comportement (introversion, mutisme...)
- Malaise
- Vertiges, vomissement
- Douleurs aux articulations, migraine, difficulté à parler
- Douleurs vives dans le bas du dos
- Incapacités ou difficultés motrice
- Difficulté d'uriner
- Troubles cardio-respiratoires



ADD - Conduite à tenir

- Prévenir le DP
- Placer sous oxygène
- Appeler les secours
- Hydrater
- Réchauffer
- Surveiller les autres membres de la palanquée



ADD - Prévention

- Bonne condition physique et psychique
- Hydratation
- Respect de la procédure de remontée (vitesses, durée des paliers)
- Accroître les paliers en cas de facteurs favorisants
- Equipement adapté et maîtrisé (gilet, lestage)
- Eviter les profils et comportements à risque (yoyo, profil inversé)
- Pas d'effort violent, pas d'apnée après une plongée
- Ne pas de monter en altitude ou prendre l'avion après une plongée

FOP, un facteur favorisant

Le foramen ovale est un passage entre les oreillettes court-circuitant la petite circulation pendant la vie fœtale. Après la naissance ce passage se ferme du fait de la différence de pression entre les oreillettes provoquée par la respiration. Après quelques mois, le passage est, normalement, définitivement fermé, mais certaines personnes ont une fragilité du foramen. Sous l'effet d'un effort important, il peut alors se rouvrir et permettre le passage de bulles d'air, réintroduites dans la grande circulation au lieu d'être évacuées par les poumons.

