

# Comment prévenir un accident (ou maladie\*) de décompression notamment en présence d'un foramen ovale perméable

Par Francis Héritier, pneumologue et médecin spécialisé en médecine subaquatique, en collaboration avec Paul Avanzi et Patrik Galley, co-auteurs de l'ouvrage «Plonger en sécurité» éd. Gründ 2000. Vevey, Suisse. L'article peut être librement téléchargé : <http://www.plonger-en-securite.com/>

\* En Suisse, en raison de la législation sur les assurances, l'accident de décompression est le plus souvent considéré comme une maladie.

## Introduction

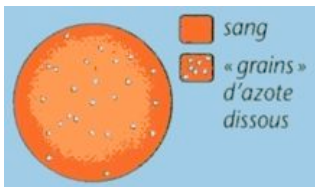
La pratique de la plongée en scaphandre autonome expose le plongeur à un risque avéré mais de gravité difficilement prévisible d'accident de décompression.

Le but de cet article est de rappeler le principe de la saturation et de la désaturation, d'expliquer ce que sont l'accident de décompression et le *foramen ovale perméable (FOP)*, de préciser les conditions où le risque d'accident est négligeable ou au contraire élevé.

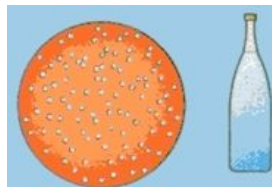
Chacun pourra ainsi se déterminer en fonction de sa réalité, et choisir le type de plongée garante de sa meilleure sécurité.

## Saturation et désaturation

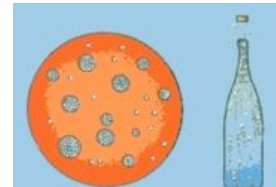
L'air est un gaz constitué essentiellement d'azote (environ 79%) et d'oxygène (environ 21%). L'azote se dissout dans notre corps sans intervenir au niveau du métabolisme, contrairement à l'oxygène qui est utilisé par les cellules, notamment pour libérer l'énergie des aliments <sup>(1)</sup>.



Notre corps est majoritairement constitué d'eau. L'azote s'y dissout en fonction directe de la pression environnante.



Si la pression augmente, la quantité d'azote dissous augmente aussi mais sans former de bulles. C'est le cas pendant une plongée.



Si la pression diminue trop rapidement, les molécules d'azote ont tendance à se regrouper pour former des bulles, comme dans une bouteille d'eau gazeuse au moment de son ouverture.

En plongée, par l'intermédiaire de la circulation sanguine, l'azote se dissout progressivement dans toutes les parties du corps. Plus la plongée est longue et profonde, plus la quantité d'azote dissous dans le corps du plongeur est grande. Une remontée rapide dans de telles conditions provoque l'apparition de bulles d'azote, en particulier dans le sang. Ce phénomène est à l'origine des accidents de décompression car ces bulles peuvent boucher des capillaires sanguins et ainsi priver d'oxygène des parties plus ou moins sensibles de nos tissus, notamment les tissus du système nerveux.

### SATURATION

Pendant la plongée, la pression de l'air respiré augmente avec la profondeur. L'azote contenu dans l'air se dissout dans le sang **au niveau des poumons**. Transporté par le sang qui irrigue l'ensemble du corps, l'azote va pénétrer dans tous les tissus d'autant plus rapidement que le débit de sang qui les traverse est important (par exemple, le système nerveux). Ce phénomène est nommé «saturation des tissus».



### DESATURATION

Lors de la remontée, la pression environnante diminue. L'organisme élimine par la circulation veineuse, puis par les poumons, l'azote excédentaire dissous lors du séjour en profondeur. Ce phénomène est nommé «désaturation des tissus». En cas de désaturation trop rapide, des bulles se forment dans le sang et le risque d'accident de décompression apparaît.



## Accident de décompression

D'après les statistiques du *Divers Alert Network* (DAN) portant sur un échantillon de plus de 100'000 plongées de loisirs, le taux de survenue d'un accident de décompression était de 0.03 %. En d'autres termes, par 10'000 plongées de loisirs, on peut s'attendre à 3 cas d'accident de décompression <sup>(2)</sup>. Ce risque reste donc limité si l'on respecte les consignes de prudence et de sécurité.

Au contraire, le risque augmente considérablement en cas de plongée *stressante* pour l'organisme (durée prolongée, profondeur maximale de plus de 35 - 40 mètres <sup>(3)</sup>, effort physique en profondeur, vitesse de remontée dépassant 9 - 10 m/min <sup>(4)</sup>, profil irrégulier de type *yo-yo* ou inversé, plongées successives, froid pendant la décompression). Par exemple, lors de plongées expérimentales effectuées au sein de la marine américaine, un taux d'accident de décompression dépassant 4% était rapporté <sup>(2)</sup>.

Les caractéristiques physiques et psychiques du plongeur peuvent également influencer le risque de survenue d'un accident de décompression. Tout d'abord et sans explication précise à ce phénomène, certains individus *bullent* spontanément plus que d'autres lors d'une décompression identique. Par ailleurs, pour un même plongeur et un profil d'immersion similaire, ce phénomène peut varier d'une plongée à l'autre.

Malgré l'absence de preuves scientifiques formelles, d'autres facteurs de risque probables sont l'âge (plus de 40 ans), une mauvaise condition physique, l'obésité, la déshydratation, un accident de décompression préalable <sup>(3,5,6)</sup>.

Comme rapporté par une étude américaine, des bulles circulantes sont détectables suite à des plongées très prolongées, dites à *saturation*, à l'air, à faible profondeur. En effet, lors d'une réduction de pression équivalente à la remontée en surface d'une profondeur de 3.5 mètres, des bulles circulantes étaient présentes chez 50 % des sujets examinés <sup>(7)</sup>. La possibilité d'un *dégazage intense* est également signalée par une équipe de Marseille ; ce phénomène était observé lors de remontées en surface après des plongées à *saturation* à l'air en caisson hyperbare à une pression équivalant à la profondeur de 6.5 mètres <sup>(8)</sup>.

Donc, y compris lors d'une remontée respectant les indications de l'ordinateur, une partie de l'azote en excès est susceptible de circuler dans le sang sous forme de microbulles tolérées par l'organisme et qualifiées de *silencieuses*. Même si la notion de bulles circulantes n'est pas directement synonyme d'accident de décompression, le risque de développer une telle atteinte augmente avec leur nombre.

Ainsi, lorsque le nombre de bulles circulantes dépasse la tolérance de l'organisme et la capacité d'élimination par les poumons, elles risquent d'obstruer des vaisseaux sanguins. D'autres bulles peuvent se former directement dans les tissus. Le défaut d'irrigation des organes et leur lésion par les bulles tissulaires sont responsables de l'accident de décompression.

Cette atteinte se développe habituellement de manière progressive, dans un délai de quelques minutes à plusieurs heures après le retour en surface.

Un sentiment de *malaise général*, une *fatigue intense*, l'impression que *quelque chose ne va pas* sont des symptômes qui ne doivent pas être négligés ; ils peuvent annoncer l'apparition de troubles plus graves. La plupart des organes peuvent être touchés de manière isolée ou en association ; cela explique la variabilité des symptômes rencontrés.

Selon les données du DAN qui nous sont rapportées par T.J.R.Francis <sup>(9)</sup> les manifestations d'un accident de décompression peuvent être résumées de la façon suivante :

- Atteinte neurologique : 40%. Dans ce cas, les troubles de la sensibilité sont les plus fréquents. Ils se manifestent par un engourdissement, un picotement, un fourmillement, une sensation anormale dans les bras ou les jambes. Ils peuvent s'accompagner d'une faiblesse ou d'une paralysie d'un ou de plusieurs membres. Parfois, c'est une difficulté à la marche, une baisse de l'état de conscience, un trouble visuel, un défaut d'élocution, une difficulté à uriner qui alertent le plongeur.



- Douleurs : 22 %. Les atteintes des articulations, des os et des muscles (on parle de *bends*, mot anglais qui signifie courbé, plié) se caractérisent par de vives douleurs, le plus souvent dans une grosse articulation, telles que l'épaule, le coude, la hanche ou le genou.

- Symptômes généraux : 15%. Ils comprennent des maux de tête, de la fatigue ou une faiblesse généralisée.
- Troubles de l'audition ou de l'équilibre : 13%. Des vertiges, des nausées et des vomissements en association avec des troubles de l'audition doivent faire suspecter une lésion de l'oreille interne.

- Atteinte cutanée : 3,5%. Elle se manifeste par des démangeaisons localisées ou généralisées (les *puces*) ou par des boursouflures (les *moutons*) associées à une rougeur ou un aspect violacé de la peau ressemblant à un fort coup de soleil, ou à de l'urticaire. Les manifestations cutanées de l'accident de décompression ne sont pas à banaliser ; elles peuvent précéder une atteinte plus sévère, neurologique ou circulatoire.



- Atteinte du cœur et des poumons : 2%. Dans les formes très graves, éventualité rare en plongée de loisir, la maladie de décompression se manifeste par une insuffisance cardiaque et respiratoire associée à un trouble de l'état de conscience.

## **Le foramen ovale : définition et diagnostic**

Indispensable au cours de la vie fœtale, le *foramen ovale* est une communication entre l'oreillette droite et l'oreillette gauche du cœur. Elle permet alors à la plus grande partie du sang oxygéné par le placenta d'irriguer directement le corps sans passer par les poumons<sup>(10)</sup>. Cette communication se ferme le plus souvent après la naissance. Néanmoins, à l'âge adulte, un passage persiste chez environ 25 à 30% des personnes, habituellement sans conséquence pour leur santé. Dans ce cas, on parle de *foramen ovale perméable* (FOP). Chez les plongeurs, le FOP gêne une bonne désaturation car cette communication favorise le passage de bulles d'azote des veines directement dans les artères, sans être filtrées par les poumons. Les bulles arrivent alors dans le ventricule gauche qui les propulse dans tout le corps. Depuis 1989, différentes études médicales ont démontré le rôle favorisant d'un FOP dans la survenue d'un accident de décompression avec des atteintes du cerveau, de la moelle épinière, de l'oreille interne et de la peau <sup>(11,12,13,14)</sup>.

Le diagnostic de FOP se fait chez un cardiologue par une échographie. Cette technique consiste à visualiser le cœur par des ultrasons, en plaçant une sonde sur la poitrine. Dans certains cas, la sonde est placée sous sédation dans l'œsophage. On injecte ensuite dans une veine un mélange d'eau physiologique et de microbulles d'air, détectables dans le sang par cette technique. Les microbulles sont injectées lors de la respiration spontanée puis suite à un effort thoracique avec respiration bloquée (par exemple la manœuvre de Valsalva). En l'absence de FOP, les microbulles arrivent dans l'oreillette droite puis le ventricule droit qui les chasse dans les poumons. En présence d'un FOP, des microbulles passent directement dans l'oreillette gauche. En fonction de la taille du FOP, le passage de bulles sera plus ou moins important.

On peut ainsi classer le FOP selon trois degrés <sup>(14)</sup> :

Degré 1 : passage de quelques bulles isolées de l'oreillette droite à l'oreillette gauche.

Degré 3 : passage d'un nuage de bulles entre les deux oreillettes.

Degré 2 : passage de bulles estimé entre le degré 1 et le degré 3.

Le FOP est d'autant plus perméable lorsque le passage de microbulles survient déjà lors de la respiration spontanée. Dans certains cas, le passage des microbulles est uniquement observé lors d'une manœuvre de Valsalva ou d'un effort de toux.

Le passage de bulles au travers d'un FOP, en particulier lors de la respiration spontanée, augmente le risque d'accident de décompression. D'après l'étude effectuée en Suisse et publiée par S.R. Torti, un FOP de degré 1 n'augmentait pas le risque d'accident de décompression. Par contre, le risque augmentait de 4,4 fois pour un FOP de degré 2 et de 6.5 fois pour un FOP de degré 3 <sup>(14)</sup>.

## Trois cas exemplaires

Stéphane, Gérard et Nicolas (prénoms d'emprunt) ont souffert d'un accident de décompression. Comme point commun, les trois étaient porteurs d'un FOP.

*Stéphane, âgé de 30 ans, est en bonne santé. Sportif, il pratique la plongée subaquatique en scaphandre depuis l'âge de 20 ans. Il possède un brevet CMAS\*\*, est à l'aise dans l'eau et plonge régulièrement à une profondeur de 30-40 mètres. Il compte 200 plongées à son actif.*

*Une fatigue intense est parfois ressentie suite aux plongées les plus profondes.*

*La situation se complique malheureusement après une plongée à 40 mètres. Trente minutes après la sortie de l'eau, Stéphane remarque une rougeur de la peau sur son ventre. Cette lésion se transforme ensuite en plaques violacées qui s'étendent aux flancs et aux épaules. Quatre heures après la sortie de l'eau, il ressent une violente douleur abdominale à hauteur de l'ombilic, irradiant dans le dos. Le médecin consulté au téléphone par l'intermédiaire du DAN suspecte une maladie de décompression et propose une hospitalisation immédiate. Le diagnostic est confirmé à l'hôpital. Stéphane bénéficie d'une séance d'oxygénothérapie hyperbare, avec un bon effet sur les lésions cutanées. À la sortie du caisson, les symptômes ont disparu.*

*À la recherche d'un facteur favorisante, une échocardiographie est pratiquée. Cet examen met en évidence un foramen ovale perméable avec passage de microbulles entre l'oreillette droite et l'oreillette gauche, modéré au repos et important pendant une manœuvre de Valsalva.*

*Gérard, âgé de 42 ans, est un homme sportif en bonne santé. Il plonge depuis 3 ans (brevet CMAS\*\*\*), souvent à une profondeur de 40 – 50 mètres.*

*À la suite d'une plongée à 48 mètres en eau froide dans un lac, avec un exercice de sauvetage puis un profil «yo-yo», il ressent, 20 minutes après le retour en surface, des brûlures, des picotements et des engourdissements au niveau des jambes. La marche n'est pas perturbée, mais il a quelques difficultés à uriner. Les symptômes des membres inférieurs disparaissent spontanément en une heure. De ce fait, il renonce à consulter un médecin. Le lendemain, en bonne forme, il pratique son exercice physique habituel (fitness).*

*Le mois suivant, en vacances, en mer chaude et à faible profondeur, il effectue douze plongées sans aucun problème.*

*De retour en Suisse, suite à une plongée à 45 mètres sans incident, il rentre à son domicile situé à 700 mètres d'altitude au-dessus du lieu de plongée et ressent pendant quelques heures des picotements au flanc droit. À nouveau, il renonce à consulter un médecin.*

*Quelques jours plus tard, il plonge sur une épave à une profondeur de 48 mètres. Quinze à vingt minutes après la sortie de l'eau, il ressent à la jambe droite des picotements au niveau du pied et du mollet. Ces symptômes disparaissent spontanément en 30 minutes.*

*Ces différents problèmes l'amènent à consulter un médecin qui identifie ces événements comme des accidents de décompression. Une échocardiographie avec test aux microbulles est effectuée. Cet examen révèle un foramen ovale légèrement perméable au repos et largement perméable lors de la manœuvre de Valsalva et lors de la toux.*

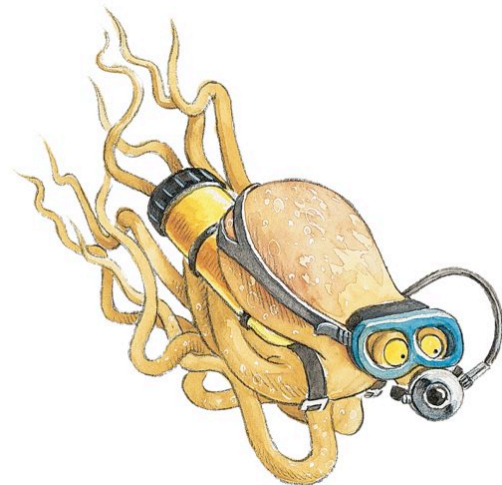
*Nicolas, âgé de 35 ans, pratique régulièrement des sports d'endurance. Après 400 plongées en 12 ans de pratique, il plonge fréquemment à une profondeur située entre 40 et 50 mètres. Il prépare son brevet de moniteur CMAS\*\*.*

*Après un exercice de sauvetage (remontée depuis 40 mètres), il présente des fourmillements dans la jambe gauche. Il respire de l'oxygène et les symptômes disparaissent en quelques minutes.*

*Deux ans auparavant, suite à deux plongées, la première à 60 mètres et une successive à 50 mètres, il avait présenté une fatigue associée à un fourmillement des deux jambes, puis un trouble de l'audition de l'oreille droite.*

*En raison d'une forte probabilité de deux épisodes d'accidents de décompression avec atteinte neurologique, les investigations sont complétées par une échocardiographie avec test aux microbulles. Cet examen témoigne d'un foramen ovale très perméable, aussi bien au repos que lors de la manœuvre de Valsalva.*

**Si le FOP est un facteur de risque objectif d'accident de décompression, il y en a beaucoup d'autres dont il faut tenir compte pour plonger en sécurité.**



## Sécurité et risque

Comme précédemment discuté, le risque d'accident de décompression inhérent à la pratique de la plongée subaquatique en scaphandre autonome est conditionné par le profil du plongeur et celui de la plongée.

A partir de données scientifiques et de notre expérience, nous avons listé ci-dessous dans les colonnes de gauche (**couleur verte = sécurité**), un ensemble de conditions où le risque d'accident de décompression est négligeable.

A l'inverse, le risque est potentiellement élevé lorsque le profil du plongeur et/ou de la plongée correspondent à une ou plusieurs conditions formulées dans les colonnes de droite (**couleur rouge = danger**).

Chacun pourra se situer par rapport à ces critères et choisir une plongée adaptée rendant acceptable, ou mieux négligeable, le risque d'accident de décompression.

### Conditions où la sécurité est élevée

#### Profil du plongeur

- Âge inférieur 40 ans.
- Bonne santé et bonne forme physique (pratique régulière d'exercices de type endurance comme jogging, marche rapide, natation, vélo..., 40 à 60 minutes trois à quatre fois par semaine).
- Poids normal.
- Personne reposée, non stressée, normalement nourrie et hydratée.
- Absence d'accident de décompression préalable.
- Absence de FOP (sans accident de décompression préalable, cette donnée n'est habituellement pas disponible).

### Conditions où le risque est élevé

#### Profil du plongeur

- Âge supérieur à 60 ans.
- Présence de maladies et/ou prise de médicaments.
- Mauvaise forme physique et/ou surpoids.
- État de fatigue et/ou de stress.
- État de déshydratation et/ou de jeûne.
- Accident de décompression préalable.
- Présence avérée d'un FOP.



## Conditions où la sécurité est élevée

### Profil de la plongée

- Profondeur maximale de 20 mètres.
- Profondeur maximale atteinte en début de plongée, en évitant les profils irréguliers de type yo-yo.
- Séjour en profondeur d'une durée limitée (moins de 30 minutes à 20 mètres).
- Vitesse de remontée 9 - 10 mètres / min. maximum.
- Absence d'effort avec respiration bloquée pendant la remontée ou immédiatement après la sortie de l'eau.
- Palier de sécurité de 5 à 10 minutes entre 3 et 5 mètres.
- Plongée calme et détendue sans grands efforts physiques (un léger palmage pendant le palier de sécurité est toutefois conseillé).
- Sentiment de confort thermique, pour toute la durée de la plongée.
- Absence d'effort physique important en fin de plongée et pendant les 3 à 6 heures suivant l'émersion (ne pas remonter sur le bateau avec lestage et scaphandre, ne pas remonter le mouillage ou transporter du matériel lourd, ne pas pratiquer du sport la même journée).
- Plongée unique (pas de successive, pas d'apnée).

## Conditions où le risque est élevé

### Profil de la plongée

- Profondeur maximale de plus de 40 mètres.
- Profil irrégulier de type yo-yo ou profil inversé (profondeur maximale en fin de plongée).
- Plongée hors courbe de sécurité.
- Vitesse de remontée dépassant 9-10 mètres / min.
- Sentiment de froid.
- Effort physique important pendant et après la plongée.
- Plongée consécutive (intervalle de surface inférieur à 15 minutes).
- Plongée successive.

## Suite à un accident de décompression

Qu'en est-il de l'aptitude à replonger après un accident de décompression? La réponse n'est pas univoque. Elle pourra être formulée de façon individuelle par un médecin spécialisé en médecine subaquatique. Au préalable, ce dernier évaluera de façon détaillée l'état actuel du plongeur, recherchera la présence de séquelles de l'accident ou d'autres maladies, s'intéressera à l'historique des plongées. Les circonstances et les manifestations de l'accident seront détaillées pour mieux en comprendre les causes. L'indication à dépister un FOP par une échocardiographie sera discutée.



En particulier dans les suites d'un accident avec atteinte neurologique, une attitude prudente et circonstanciée sera adoptée. En effet, le risque de récurrence apparaît multiplié par huit si on n'adopte pas un profil de plongée plus sécuritaire <sup>(5,15)</sup>.

Lorsque la reprise de l'activité est souhaitée, une modification du style de plongée sera fortement conseillée, en suivant, par exemple, les consignes des colonnes vertes. De plus, afin de limiter la survenue de microbulles, la respiration d'un mélange de gaz enrichi en oxygène (par exemple *Nitrox 40/60*) sera préconisée, tout en maintenant le réglage de l'ordinateur sur *air*.

Des recommandations identiques peuvent être formulées aux porteurs d'un FOP avéré (degré 2-3), même en l'absence préalable d'accident de décompression.

Dans des cas particuliers, lorsque le rôle du FOP apparaît prépondérant et que le plongeur désire malgré tout poursuivre cette activité sans restriction, la fermeture du *foramen* est envisageable. Un double disque est alors inséré entre les deux oreillettes par un cathéter introduit dans une veine à travers la peau <sup>(13)</sup>. La discussion à ce sujet reste cependant ouverte au sein de la communauté médicale <sup>(16)</sup>.

## **Conclusion**

L'accident de décompression n'est pas à banaliser. Il peut se manifester par une atteinte sévère et parfois permanente de la santé. Le FOP est un facteur de risque, mais ce n'est de loin pas le seul.

Un plongeur qui souhaite minimiser le risque d'accident de décompression tiendra compte de multiples facteurs tels son âge, son état physique, son état de stress ou de fatigue, ...

Le choix d'une plongée chaque fois adaptée permettra la pratique de cette activité de loisir avec du plaisir et un risque limité.

## Références :

1. Avanzi P, Galley P, Héritier F. Plonger en sécurité. 2000 Editions Gründ, Paris.
2. Vann RD, Butler FK, Mitchell SJ, Moon RE. Decompression illness. Lancet 2011;377:153-64
3. Blatteau J-E, Gempp E, Simon O, et al. Facteurs pronostiques des accidents de décompression médullaires en plongée de loisir ; analyse rétrospective multicentrique de 279 cas. Bull Medsubhyp 2009 ;19 (supp) :119-127.
4. Carturan D, Boussuges A, Vanuxem P, et al. Influence de la vitesse de remontée et des facteurs individuels sur la production de bulles circulantes intravasculaires chez les plongeurs sportifs. Bull Medsubhyp 1999;9 (1) :1-12.
5. Gempp E, Louge P, Hugon M, Blatteau J.-E. Facteurs de risque de récurrence d'un accident de désaturation neurologique chez le plongeur de loisir : étude cas-témoins. Bull Medsubhyp 2012;22 (1) :13-21.
6. Blatteau J-E, Huel J-D, Marengo P, et al. Accidents de décompression médullaires cervicaux avec évolution paradoxale. Rôle de facteurs compressifs locaux médullaires et du shunt droite-gauche. A propos de 2 observations. Bull Medsubhyp 2012;22 (2) :135-144.
7. Eckenhoff RG, Olstad CS, Carrod G. Human dose-response relationship for decompression and endogenous bubble formation. J Appl Physiol 1990;69 (3) : 914 – 918.
8. Carturan D., Longobardi P., Gardette B. À propos d'un cas de bulles circulantes lors de remontées en surface pendant une plongée à saturation à l'air en caisson hyperbare à 1,65 ATA. Bull Medsubhyp 2002 ;12 (1) : 7 – 10.
9. Francis TJR, Mitchell SJ. Manifestations of decompression disorders. Bennett and Elliott's. Physiology and Medicine of Diving. 5th Edition. Saunders 2003.
10. Recherche par Google «Circulation embryonnaire et fœtale» (embryology.ch).
11. Moon RE, Camporesi EM, Kisslo JA. Patent foramen ovale and decompression sickness in divers. Lancet 1989;I:513-514.
12. Wilmschurst PT, Byrne JC, Webb-Peploe MM. Relation between interatrial shunts and decompression sickness in divers. Lancet 1989;II:1302-1306.
13. Cartoni D, De Castro S, Valente G, et al. Identification of professional scuba divers with patent foramen ovale at risk for decompression illness. Am J Cardiol 2004;94:270-273.
14. Rea Torti S, Billinger M, Schwerzmann M, et al. Risk of decompression illness among 230 divers in relation to the presence and size of patent foramen ovale. European Heart Journal 2004;25:1014-1020.
15. Klingmann C, Rathmann N, Hausmann D, et al. Lower risk of decompression sickness after recommendation of conservative decompression practices in divers with and without vascular right-to-left shunt. Diving and Hyperbaric Medicine 2012 ;42 :146-150.
16. Fermeture du foramen ovale perméable, par voie veineuse transcutanée (2005). [www.has-sante.fr](http://www.has-sante.fr).

*Les illustrations proviennent de l'édition du livre «Plonger en sécurité», 2000 éd. Gründ, Paris.*