

Compétences : - Mettre en œuvre un protocole expérimental

A l'aide d'un article d'une revue scientifique, on cherche à mettre en évidence expérimentalement quelques phénomènes physiques que se doit de connaître tout plongeur sous-marin.

Le masque se plaque sur le visage ; les oreilles font mal. Toute personne qui a déjà plongé le sait : la pression ambiante augmente à mesure que l'on s'enfonce sous l'eau (d'environ une fois la pression atmosphérique tous les dix mètres). À 20 mètres de profondeur, elle est ainsi le triple de la pression atmosphérique (c'est-à-dire la pression qui règne à la surface de l'eau plus la pression due à la couche d'eau). Les tissus mous qui constituent notre organisme sont à la pression ambiante. Composés pour l'essentiel de matières solides et d'eau, ils sont peu compressibles et ne changent quasiment pas de volume au cours d'une plongée.

En revanche, le comportement de l'air contenu dans le système respiratoire est tout autre. Les gaz sont beaucoup plus compressibles que les liquides (1 000 fois plus que l'eau). Dès le milieu du XVII^e siècle, l'Irlandais Robert Boyle et le Français Edme Mariotte énoncèrent une loi pour décrire leur compressibilité : «Le volume d'un gaz est, à température constante, inversement proportionnel à la pression qu'il subit.» Ainsi, quand la pression double, le volume qu'occupe un gaz est divisé par deux. Ceci explique que dès dix mètres de profondeur, le masque écrase le visage. Pour s'affranchir de cet inconvénient, les plongeurs munis de bouteilles doivent apprendre à insuffler de l'air dans leur masque par le nez à mesure qu'ils descendent. Pour éviter des douleurs dans les oreilles dues à une trop forte pres-

sion sur les tympans, ils soufflent par les voies nasales en se bouchant le nez, de sorte que la pression augmente dans les trompes d'Eustache (de petits conduits qui assurent l'équilibre de la pression sur les tympans).

Les conséquences pratiques de la compressibilité de l'air sont encore plus nombreuses lorsque les plongeurs remontent. Après une expiration normale, la quantité d'air résiduelle dans les poumons est supérieure à trois litres, et elle n'est jamais inférieure à 1,5 litre, même lors d'une expiration profonde. Dans les poumons d'un plongeur qui remonte, cet air résiduel se dilate à mesure que diminue la pression ambiante. Si la remontée est trop rapide, le volume risque d'excéder la capacité maximale des poumons, qui avoisine six litres. Pour cette raison, les plongeurs qui remontent évitent de bloquer leur respiration ; ils expirent en permanence, de façon à éviter que les tissus qui composent leurs poumons ne se distendent jusqu'au point de rupture des membranes des cellules pulmonaires. Cet accident rare, mais redouté, est nommé la surpression pulmonaire.

Notons que la dilatation de l'air touche toutes les cavités intérieures, même celles dont on ne soupçonne pas l'existence! Il arrive, par exemple, qu'un plombage mal réalisé contienne de minuscules cavités pleines d'air. En raison de la petite taille de l'ouverture qui les relie à l'extérieur, plusieurs minutes, voire plusieurs dizaines de minutes sont nécessaires pour que la pression qui règne à l'intérieur de l'une de ces petites bulles atteigne la pression ambiante. Toutefois, au bout d'une plongée de 40 minutes, par exemple, cet équilibre est atteint. Pendant la remontée, la pression dans les cavités n'a pas le temps de s'équilibrer. La surpression qui s'ensuit alors à l'intérieur des dents crée de violentes douleurs, peut faire éclater la dent, ou expulser le plombage. Si vous plongez, ayez un bon dentiste!

dans le sang, jusqu'à une concentration d'équilibre. L'augmentation de la concentration en oxygène dissous dans le sang n'a pas de conséquences physiologiques néfastes, car notre métabolisme en consomme de grandes quantités. La quantité d'oxygène nécessaire est quelque 50 fois supérieure à la quantité totale d'oxygène dissoute dans le sang à pression atmosphérique ; la majeure partie est transportée par l'hémoglobine.

En revanche, l'augmentation de la concentration en azote dans le sang pose davantage de difficultés. Ce gaz se concentre dans le sang et dans tous les tissus de l'organisme, riches en eau. Quand une plongée dure longtemps, un équilibre s'établit entre la pression de l'azote dans les poumons et la quantité d'azote dissous dans les différents tissus. Lorsque le plongeur remonte, l'azote en excès repasse progressivement à l'état gazeux. Il est évacué petit à petit lors du passage du sang dans les poumons. L'évacuation est progressive et n'est possible que par les poumons : elle est longue. Lors des remontées trop rapides, l'azote dissous dans le sang et dans les tissus n'a pas le temps d'être éliminé. Des bulles de gaz restent piégées dans le sang et dans les tissus. Elles risquent de détériorer les tissus, créant des nécroses, voire, plus grave encore, de rester bloquées dans des vaisseaux sanguins, empêchant le sang de s'écouler et provoquant des embolies. On peut imaginer les dégâts causés par ce type de décompression trop rapide en examinant le volume de gaz libéré par une bouteille de champagne que l'on sabre. Maintenu sous une pression de six atmosphères, le champagne (0,75 litre) contient environ 10 grammes de dioxyde de carbone et peut libérer plus de cinq litres de ce gaz dès qu'il est à pression ambiante.

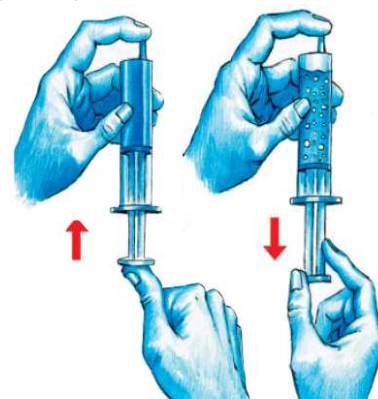


Extrait de *Pour la science* - n°287 - 09/2001
Auteurs : R. Lehoucq et J-M Courty

DISSOLUTION DES GAZ

Les gaz ne se logent pas seulement dans les cavités, mais se dissolvent aussi dans les liquides. On trouve ainsi dans le sang tous les gaz que contient l'air. En 1803, le Britannique William Henry remarqua que la quantité de gaz qui se dissout dans un liquide est proportionnelle à la pression que ce gaz exerce sur le liquide, et que la quantité de gaz qui se dissout dans un liquide donné à une pression donnée dépend de la nature de ce gaz et de celle du liquide. De l'eau en contact avec de l'air contient des proportions d'azote et d'oxygène différentes de leurs proportions dans l'air.

Un litre d'eau à la pression atmosphérique contient ainsi quelque 15 milligrammes d'azote et 8 milligrammes d'oxygène, alors que sous la même pression, l'air contient quatre fois moins d'oxygène que d'azote. L'air qu'un plongeur respire sort des bouteilles, puis passe par le détendeur, qui le met à la pression ambiante. Puisque la pression augmente au cours de la descente, de plus en plus d'oxygène et d'azote se dissolvent



↳ Découvrir la notion de pression

↳ Observer l'image et dire de quels paramètres dépend l'enfoncement dans la neige.

En physique, on introduit une grandeur que l'on appelle **pression**, notée *p* (unité : le Pascal Pa), liée à deux autres grandeurs : - la force, de valeur *F* (unité : le Newton N), exercée ici par chaque personnage sur la neige

- la surface *S* (unité : le mètre carré m²) sur laquelle s'exerce cette force, c'est-à-dire la surface de contact entre chacun des personnages et la neige

Dans la situation précédente, la grandeur pression est supposée traduire l'enfoncement dans la neige : plus la pression exercée sur la neige est grande, plus l'enfoncement est grand.

↳ Une seule des relations suivantes est correcte. Laquelle ? Justifier.
 $p = F/S$; $p = S/F$; $p = 1/(SF)$; $p = SF$

↳ Compte tenu de la formule, quelle pression exerce Tintin sur la neige sachant qu'il pèse 80 kg et que ses chaussures ont une surface au sol de 100 cm² ?

↳ Quel est alors l'intérêt pour lui de porter des raquettes ?

↳ Observer et schématiser l'expérience n° 1 réalisée au bureau.

↳ Interpréter en termes de forces pressantes.



exp

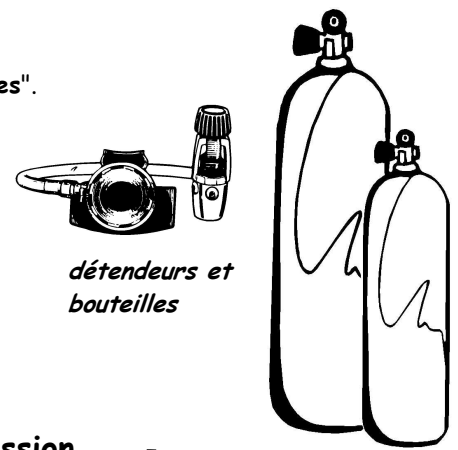
↳ Expérience sur la compressibilité d'un gaz

Dans le texte, on peut lire : "Les gaz sont beaucoup plus compressibles que les liquides".

↳ Que signifie "compressible" ?

↳ Pour vérifier cette affirmation, proposer une expérience et la réaliser en utilisant la seringue disponible.

↳ Application : expliquer le principe des bouteilles d'air comprimé et le rôle du détendeur en plongée.



détendeurs et bouteilles

↳ Expérience sur l'influence de la profondeur sur la pression

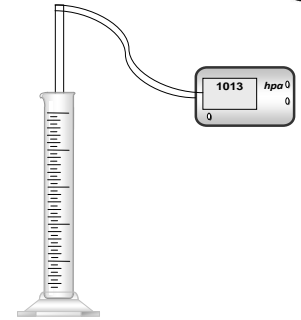
Dans le texte, on peut lire : "la pression augmente à mesure que l'on s'enfonce sous l'eau (d'environ une fois tous les dix mètres)".

↳ Avec quel appareil peut-on mesurer la pression d'un gaz ?

↳ Pour vérifier cette affirmation, proposer une expérience et la réaliser en utilisant une éprouvette graduée remplie d'eau, une règle graduée en cm et l'appareil de mesure de pression.

↳ Astuce : s'aider du schéma ci-contre et consigner ses mesures dans un tableau.

↳ Application : expliquer pourquoi on a mal aux oreilles quand on plonge en apnée à quelques mètres sous la surface.



↳ Expérience sur la loi de Boyle-Mariotte

Dans le texte, on peut lire : "quand la pression double, le volume qu'occupe un gaz est divisé par deux".

↳ Pour vérifier cette affirmation, proposer une expérience et la réaliser en utilisant la seringue disponible et l'appareil de mesure de pression.

↳ Une phrase du texte exprime de façon générale l'affirmation précédente. Il s'agit de la loi de Boyle-Mariotte. Retrouver cette phrase dans le texte et exprimer la loi de Boyle-Mariotte en utilisant les grandeurs pression P et volume V d'un gaz.

↳ Application : expliquer ce qu'on appelle "accident de surpression pulmonaire" et qui arrive lorsqu'un plongeur bloque sa respiration à la remontée en surface.

↳ Expérience sur l'influence de la profondeur sur la pression

Dans le texte, on peut lire : "la quantité de gaz qui se dissous dans un liquide est proportionnelle à la pression que ce gaz exerce sur le liquide".

↳ Observer et schématiser l'expérience réalisée au bureau.

↳ Expliquer pourquoi cette expérience vérifie l'affirmation précédente, appelée loi de Henry.

↳ Application : regarder le court extrait de la série "Dr House" et expliquer ce qu'on appelle "accident de décompression".

exp

↳ Conclusions

↳ Rédiger avec le professeur une conclusion-bilan de ce TP.