

## La plongée sous-marine en fosse (10 points)

Pour finaliser sa formation de niveau 1, un plongeur descend progressivement au fond de la fosse de plongée située à La Teste-De-Buch. La profondeur est le principal critère qui distingue une fosse de plongée d'une simple piscine. Cette fosse est composée d'une colonne d'eau de 20 mètres hors-sol et de 6 m de diamètre. Cette fosse permet aux plongeurs de s'entraîner dans une eau à 28 °C tout au long de l'année, et ce quelle que soit la météo.



<http://lepyla.com>

### La plongée sous-marine

[...] Toute personne qui a déjà plongé le sait : la pression ambiante augmente à mesure que l'on s'enfonce sous l'eau [...]. 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 de notre organisme 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. Dès le milieu du XVII<sup>e</sup> siècle, l'Irlandais R. Boyle et le Français E. Mariotte énoncèrent une loi pour décrire leur compressibilité [...]

Roland Lehoucq et Jean-Michel Courty 01 septembre 2001 [POUR LA SCIENCE N° 287](#)

### Données :

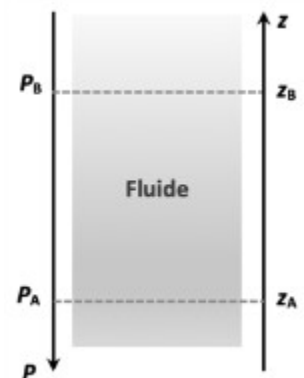
- pression atmosphérique : 1,013 bar ; 1,0 bar =  $1,0 \times 10^5$  Pa ;
- masse volumique de l'eau :  $\rho = 1,0 \times 10^3$  kg.m<sup>-3</sup> ;
- intensité du champ de pesanteur :  $g = 9,81$  N.kg<sup>-1</sup>.

### 1. Pression à une profondeur donnée

On s'intéresse dans cette partie à la loi fondamentale de la statique des fluides pour modéliser l'évolution de la pression atmosphérique en fonction de l'altitude. Cette loi précise que pour un fluide au repos incompressible de masse volumique  $\rho$ , la différence de pression entre deux points, A et B, s'exprime par la relation :  $P_B - P_A = \rho \times g \times (z_A - z_B)$

Dans cette relation :

- la masse volumique  $\rho$  s'exprime en kg · m<sup>-3</sup> ;
- l'intensité de pesanteur  $g$  s'exprime en N · kg<sup>-1</sup> ;
- les altitudes  $z_A$  et  $z_B$  s'expriment en m et sont repérées sur un axe vertical ascendant Oz.



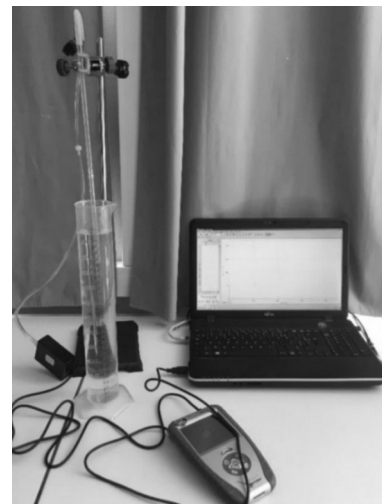
**1.1.** Décrire qualitativement comment la pression dans l'eau évolue lors de la descente du plongeur dans la fosse.

**1.2.** Justifier, à l'aide de la relation de la statique des fluides, la phrase : « 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). »

Il est possible de vérifier la loi fondamentale de la statique des fluides au laboratoire. Pour cela, on réalise une série de mesures de la pression  $P$  au sein d'un liquide en fonction de la profondeur  $h$  à l'aide du dispositif ci-contre.

Le protocole expérimental est le suivant :

- déplacer verticalement, dans une éprouvette contenant un liquide, un tube de verre relié à un tuyau souple branché à un capteur de pression lui-même relié à une interface d'acquisition. Ce capteur mesure la pression en kPa ;
- faire une première mesure de pression à la surface ;
- relever ensuite les valeurs de pression pour des profondeurs croissantes en descendant progressivement le tube en verre dans l'éprouvette ;
- les valeurs mesurées permettent de représenter le graphe  $P$  en fonction de  $h$  à l'aide d'un tableur. On obtient alors une droite modélisée par le tableur par l'équation mathématique suivante :



$$P = 9,771 \times 10^3 \times h + 101,3 \times 10^3 ; P \text{ est exprimée en Pa et } h \text{ en m.}$$

**1.3.** Que représente la valeur de la pression  $P_0$  à la profondeur  $h = 0$  m ?

**1.4.** Expliquer pourquoi les mesures expérimentales sont compatibles avec la loi fondamentale de la statique des fluides.

**1.5.** Citer des sources d'erreurs possibles dans ce protocole expérimental.

## **2. Autonomie d'un plongeur**

Lors de la plongée en bouteille le détendeur permet au plongeur de respirer de l'air à la même pression que la pression à la profondeur où il se trouve. Mais toute plongée en bouteille s'effectue avec une quantité limitée d'air. Il est donc indispensable de savoir contrôler la consommation de cette quantité d'air au cours de la plongée afin de pouvoir effectuer une remontée et d'éventuels paliers. Cela passe par l'évaluation de son autonomie en air en fonction de la profondeur. Il existe différentes méthodes de calcul de l'autonomie, la plus simple consiste à calculer le volume d'air disponible à la profondeur donnée et de tenir compte de l'air consommé par minutes.

D'après [www.cdp-plongee.com](http://www.cdp-plongee.com)

**2.1.** On note  $V_1$  le volume d'air disponible dans la bouteille de plongée lorsqu'elle est mise sous pression à la pression  $P_1$  et  $V_2$  celui d'air disponible pour le plongeur lorsque qu'il est à la pression  $P_2$ . Les températures sont supposées identiques dans les deux situations.

En utilisant la loi de Mariotte, écrire la relation liant  $V_1$ ,  $P_1$ ,  $V_2$  et  $P_2$ .

**2.2.** En supposant que la consommation en volume d'air du plongeur reste toujours la même au cours de la plongée, expliquer sans calcul comment l'autonomie en air du plongeur évolue avec la profondeur.

**2.3.** Le plongeur dispose d'une bouteille de plongée d'une capacité de 12 litres mise sous pression à la pression initiale de 200 bars.

En utilisant la loi de Mariotte, calculer la durée durant laquelle le plongeur peut rester dans la fosse à 20 m de profondeur sachant qu'il consomme 15 litres d'air par minute.

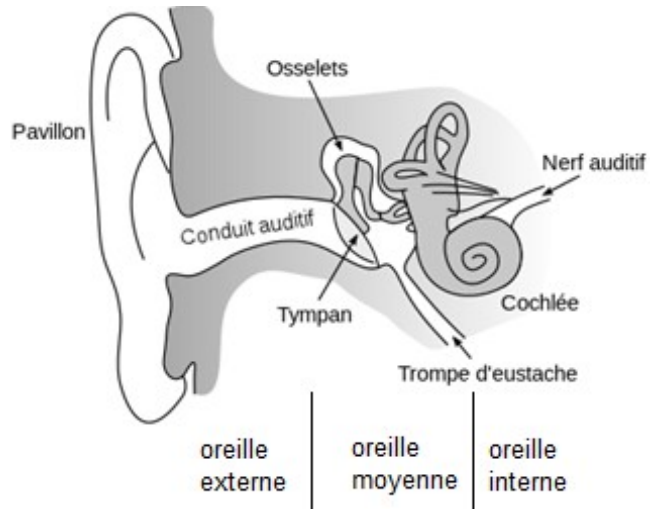
En réalité le plongeur doit toujours calculer son autonomie en tenant compte d'une marge de sécurité. Pour remonter en surface en ayant conservé une pression de 50 bars dans sa bouteille : c'est ce qu'on appelle communément « la réserve ».

**2.4.** La prise en compte de cette réserve réduit-elle ou augmente-t-elle la durée de la plongée ? Justifier sans calcul.

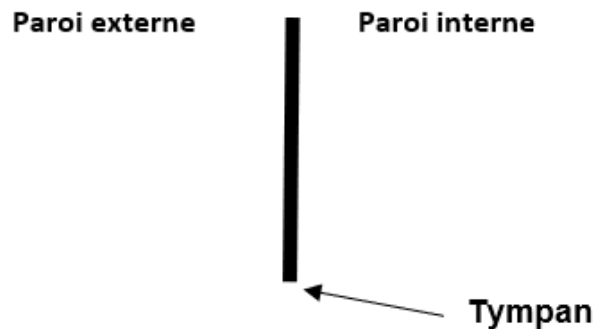
### 3. La manœuvre de Valsalva

En plongée, la différence de pression de part et d'autre du tympan peut provoquer une vive douleur. La manœuvre de Valsalva consiste à souffler par le nez, bouche fermée et nez pincé afin de faire pénétrer de l'air dans l'oreille moyenne. L'air extérieur passe par la trompe d'Eustache.

<https://fr.wikibooks.org>



- 3.1.** Rappeler la relation entre la pression  $P$ , la norme  $F$  de la force pressante et l'aire  $S$  de la surface sur laquelle elle s'exerce.
- 3.2.** Évaluer la valeur de la norme de la force pressante  $F_1$  exercée par l'air emprisonné dans l'oreille moyenne à la pression de 1,0 bar sur la paroi interne du tympan dont la surface est de  $70 \text{ mm}^2$ .
- 3.3.** La valeur de la norme de la force pressante  $F_2$  exercée par l'eau sur la paroi externe du tympan pour un plongeur situé à 20 m de profondeur est de 21 N.
- 3.4.** Reproduire sur la copie et compléter le schéma ci-dessous, en représentant les forces pressantes exercées sur le tympan :
  - $\vec{F}_1$  la force pressante exercée par l'air emprisonné dans l'oreille moyenne ;
  - $\vec{F}_2$  la force pressante exercée par l'eau sur la paroi externe du tympan.
 Échelle : 1 cm pour 7 N.



En déduire pourquoi le plongeur ressent une vive douleur lors de la descente.

**3.5.** Expliquer pourquoi la manœuvre de Valsalva permet de compenser la pression de l'eau introduite dans le conduit auditif.