

Exercice 01 : 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^e 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 :

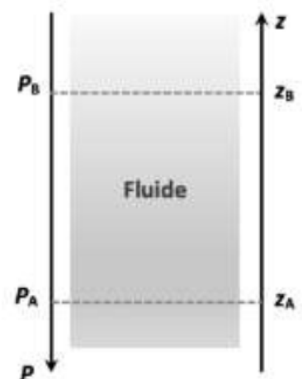
- pression atmosphérique : 1,013 bar ; 1,0 bar = $1,0 \times 10^5$ Pa ;
- masse volumique de l'eau : $\rho = 1,0 \times 10^3$ kg.m⁻³ ;
- intensité du champ de pesanteur : $g = 9,81$ N.kg⁻¹.

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 ρ , 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 ρ s'exprime en kg.m⁻³ ;
- l'intensité de pesanteur g s'exprime en N.kg⁻¹ ;
- les altitudes z_A et z_B s'expriment en m et sont repérées sur un axe vertical ascendant Oz.



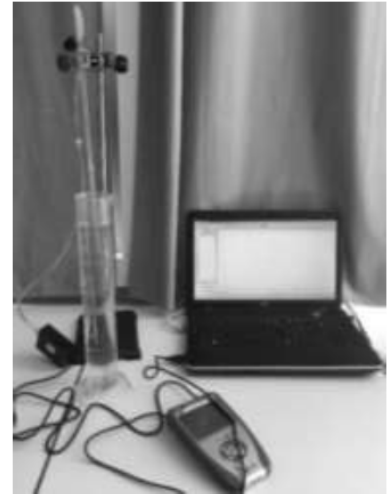
1.1. Décrire qualitativement comment la pression dans l'eau évolue lors de la descente du plongeur dans la fosse.

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

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.

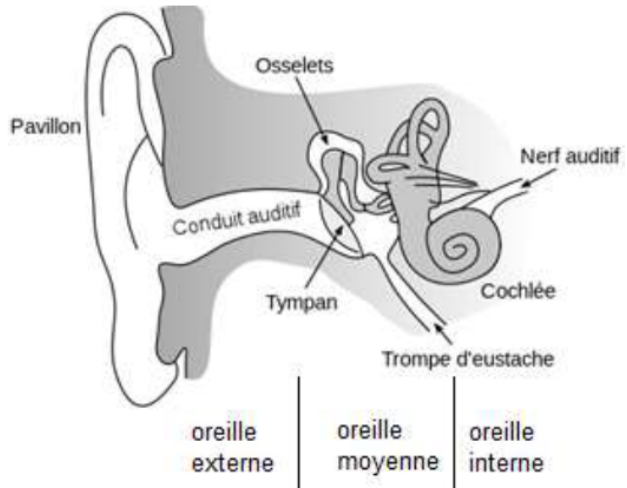
En réalité le plongeur doit toujours calculer son autonomie en tenant compte d'une marge de sécurité. Pour remonter en surface en ayant conservé une pression de 50 bars dans sa bouteille : c'est ce qu'on appelle communément « la réserve ».

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.

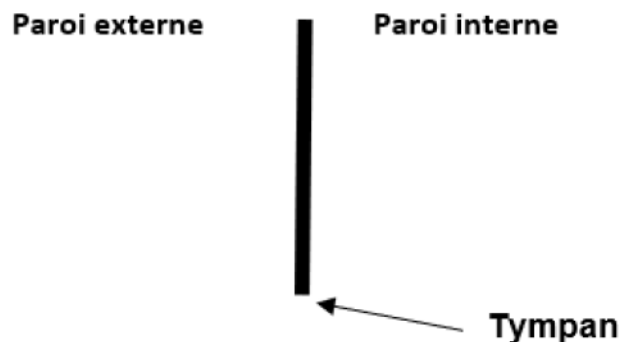
3.2. Évaluer la valeur de la norme de la force pressante F_1 exercée par l'air emprisonné dans l'oreille moyenne à la pression de 1,0 bar sur la paroi interne du tympan dont la surface est de 70 mm^2 .

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.

Exercice 02 : Étude de différents carburants – (10 points)

Lorsque l'on s'intéresse à l'impact sur l'environnement d'une voiture, on peut se poser deux types de questions :

- Quel carburant utilise cette voiture ? Ce carburant impacte-t-il les ressources fossiles ?
- Combien de gaz à effet de serre (CO_2 par exemple) cette voiture émet-elle ? Aura-t-elle un malus écologique (taxe sur les véhicules fortement émetteurs de CO_2) ?

Nous allons étudier deux carburants différents :

- Le **E85** est un carburant qui correspond à un mélange de 85 % en volume d'éthanol d'origine agricole, **bioéthanol**, et de 15 % en volume d'essence SP95. Le bioéthanol est produit à partir des sucres présents dans la betterave ou dans les céréales. Ces sucres proviennent de la photosynthèse utilisant le dioxyde de carbone de l'air. L'utilisation du bioéthanol d'origine agricole permet donc de limiter l'impact de la consommation de carburant sur le bilan carbone de la planète sans puiser dans les ressources d'énergie fossiles.
- Le **E0** est un carburant qui correspond à de l'essence SP95 contenant 0 % d'éthanol, donc du SP95 pur.

Données :

Masse volumique de l'éthanol à 25 °C : $0,789 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$

Masses molaires atomiques (en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$) : $M(\text{H}) = 1,0$; $M(\text{C}) = 12,0$; $M(\text{O}) = 16,0$.

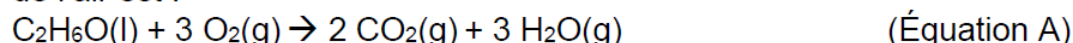
La combustion des carburants

- La combustion de l'essence SP95

1. Écrire l'équation de la réaction modélisant la combustion complète de l'essence SP95, qu'on assimile à de l'octane $\text{C}_8\text{H}_{18}(\text{l})$, dans le dioxygène $\text{O}_2(\text{g})$ de l'air.

- La combustion de l'éthanol

L'équation de la réaction modélisant la combustion complète de l'éthanol dans le dioxygène de l'air est :



Comme toute réaction de combustion, elle peut être assimilée à une réaction d'oxydoréduction mettant en jeu deux couples oxydant / réducteur :

- le couple : $\text{CO}_2(\text{g}) / \text{C}_2\text{H}_6\text{O}(\text{l})$;
- le couple : $\text{O}_2(\text{g}) / \text{H}_2\text{O}(\text{g})$, associé à la demi-équation électronique :
 $\text{O}_2(\text{g}) + 4 \text{H}^+(\text{aq}) + 4 \text{e}^- = 2 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$.

2. Écrire la demi-équation électronique associée au couple : $\text{CO}_2(\text{g}) / \text{C}_2\text{H}_6\text{O}(\text{l})$.
3. Retrouver l'équation de la réaction modélisant la combustion de l'éthanol dans le dioxygène de l'air (Équation A), à l'aide des demi-équations électroniques.
4. Définir ce qu'est un oxydant puis déterminer le caractère oxydant ou réducteur de l'éthanol.

Dans la suite de l'exercice, nous allons étudier un véhicule dont les caractéristiques techniques sont les suivantes :

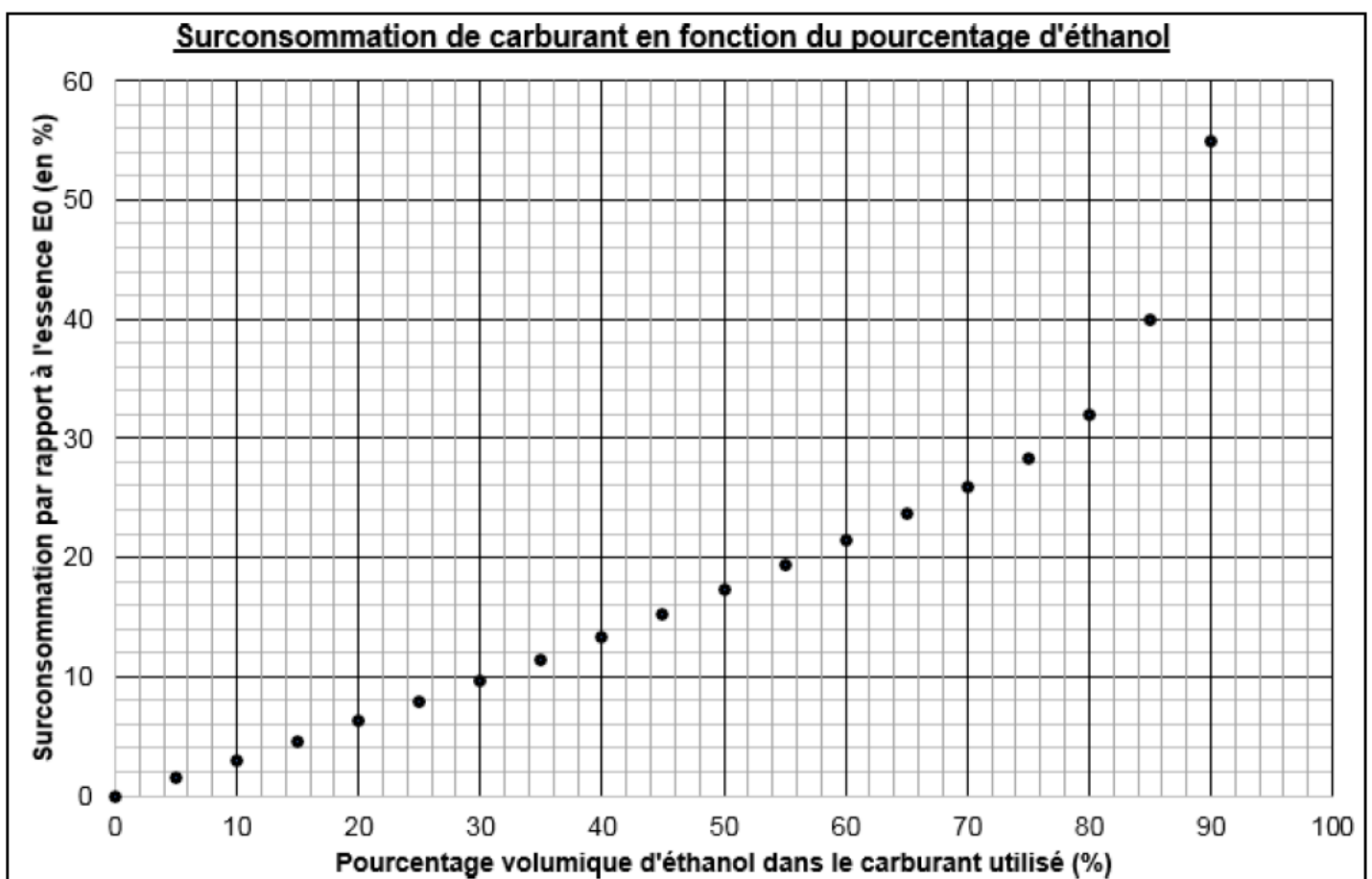
- consommation du carburant E0 (Essence SP95 pur sans éthanol) : 8,28 L pour 100 km ;
- consommation du carburant E85 : 11,6 L pour 100 km.

L'objectif de cet exercice est d'étudier si le choix du conducteur de consommer du carburant E85 lui permet de ne pas être soumis au malus écologique.

L'émission de CO₂ par le véhicule étudié

L'éthanol est un carburant qui produit moins d'énergie que l'essence SP95. Son introduction dans la composition du carburant nécessite de consommer davantage pour obtenir une même quantité d'énergie : on parle de **surconsommation** occasionnée par l'utilisation d'éthanol.

Le graphique ci-dessous représente la surconsommation en fonction du pourcentage volumique d'éthanol introduit dans le carburant utilisé.



Le E0 correspond à du SP95 contenant 0 % d'éthanol, donc du SP95 pur. On voit que sa surconsommation est naturellement de 0 %.

D'après <http://turbo-moteurs.cnam.fr/enseignement/conferences/>
Consulté le 7/9/20

5. Justifier que les consommations données en carburants E0 (8,28 L pour 100 km) et E85 (11,6 L pour 100 km) sont cohérentes avec la surconsommation obtenue grâce au graphique.

Émission de CO₂ liée à l'essence SP95 contenue dans le carburant E85

6. Déterminer le volume d'essence SP95 contenu dans le volume nécessaire de carburant E85 pour que le véhicule étudié parcourt 100 km.
7. Déterminer la masse de dioxyde de carbone (CO₂) émis par la combustion de l'essence SP95 contenu dans le carburant E85, pendant que le véhicule étudié parcourt 100 km, sachant que la combustion de 1 L d'essence SP95 émet 2,09 kg de CO₂.

Émission de CO₂ liée à l'éthanol contenu dans le carburant E85

8. Calculer le volume d'éthanol consommé lorsque le véhicule étudié parcourt 100 km avec le carburant E85.
9. Vérifier que la quantité de matière en éthanol nécessaire pour parcourir ces 100 km est $n_{\text{net}} = 169 \text{ mol}$.
10. Déterminer la quantité de matière de CO₂ émis par la combustion de l'éthanol lorsque le véhicule étudié parcourt 100 km. En déduire la masse de CO₂ émis.
11. Vérifier que la masse totale de CO₂ émis par la combustion du carburant E85 pour 1 km est de 185 g.

Calcul du malus écologique

Le malus écologique est une taxe sur les véhicules fortement émetteurs de CO₂ : son objectif est d'orienter la consommation vers l'achat de véhicules moins polluants.

La taxe sur un véhicule est calculée en fonction du nombre de grammes de dioxyde de carbone (CO₂) émis par kilomètre (g/km).

Taux d'émission de CO ₂	Montant
Inférieur à 138 g/km	0 €
Supérieur à 138 g/km	50 €
Supérieur à 148 g/km	260 €
Supérieur à 158 g/km	818 €
Supérieur à 168 g/km	1 901 €
Supérieur à 178 g/km	3 784 €
Supérieur à 188 g/km	6 724 €

D'après <https://www.legifrance.gouv.fr/>
(Consulté le 7/9/20)

Un véhicule équipé pour fonctionner au carburant E85 bénéficie d'un abattement de 40 % sur les taux d'émission de CO₂. Cet abattement ne s'applique pas aux véhicules dont les émissions de CO₂ dépassent 250 g/km.

Exemple :

Un véhicule neuf roulant au carburant E85 émet 180 g de CO₂ par km. Un abattement de 40 % s'applique sur son taux de CO₂, soit $180 \times 40 \% = 72 \text{ g/km}$. Le taux retenu pour calculer le malus vaut : $180 - 72 = 108 \text{ g/km}$. Ce véhicule n'est donc pas soumis au malus.

D'après service-public.fr/particuliers/vosdroits
(Consulté le 7/9/20)

12. Déterminer le malus écologique à appliquer à un véhicule consommant de l'essence SP95 et émettant 173 g de CO₂ émis par km.
13. Démontrer que le véhicule étudié, consommant du carburant E85, n'est pas soumis au malus écologique.
14. Commenter l'abattement sur les émissions de dioxyde de carbone pour les véhicules roulant au carburant E85, constitué de 85 % de bioéthanol.