PHYSIQUE

Durée : 2 heures

Rappel : l'usage de la calculatrice est autorisé.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

PROMENADE EN MER

Ce problème s'intéresse à quelques aspects de la vie sous-marine dans la Grande Barrière de corail.

*Il comporte de nombreuses parties indépendantes et ne nécessite aucune connaissance particulière en biologie. La valeur de l'**accélération de la pesanteur g** sera prise égale à **9,81 m.s^{-2}**.*

Document N°1 : La Grande Barrière de corail et ses poissons

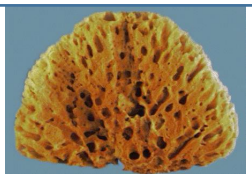
La Grande Barrière de corail est le plus grand récif corallien du monde. Il se situe en Mer de Corail au large du Queensland, en Australie. La salinité de l'eau y est moyenne, avec une masse volumique **ρ_e = 1,025 g/mL**.

La Grande Barrière de corail abrite une multitude de petits poissons très colorés, tels que les poissons-papillons, poissons-clowns, poissons-perroquets et poissons-chirurgiens, ainsi que des crustacés et des éponges de mer (*porifera*).

Espèce de poisson	*Neoniphon Sammara*	*Sargocentron Rubrum*	*Poissons-clowns ou Amphiprioninae*	*Carenx Papuensis*
Masse moyenne (en g)	200	100	50	700

A. Eponges naturelles et plongée sous-marine

Document N°2 : Les éponges naturelles



Les spongiaires ou éponges naturelles représentent environ 9000 espèces réparties dans différents ensembles. Dans la Grande Barrière de corail on trouve de nombreuses éponges (*Porifera Demospongiae*) avec des tailles variant du centimètre au mètre. Celles-ci peuvent être utilisées comme éponges de toilette car elles peuvent retenir des quantités d'eau très importantes.

La rétention d'eau, notée ***R***, est évaluée en mesurant le volume maximal d'eau absorbée par un ensemble d'éponges préalablement séchées puis immergées dans l'eau. On calcule ensuite le volume d'eau absorbée par gramme d'éponge sèche pour obtenir la valeur de ***R***.

Caractéristiques moyennes évaluées pour 120 éponges :

Volume V_{ep} (cm^3) d'une éponge immergée	Masse m_s d'une éponge sèche (g)	Rétention d'eau R (mL/g)
420	21	28

1. Chute d'une éponge

Contrairement à la croyance populaire, les éponges de mer ne sont pas sédentaires. Si elles ne sont pas satisfaites de leur environnement elles peuvent lentement se déplacer à une vitesse de l'ordre de 0,5 cm par jour. L'une d'entre elles se trouve en bordure du récif corallien et, en se déplaçant, tombe dans un trou sous-marin de profondeur H = 2,0 mètres, provoquant la chute simultanée d'une petite pierre de volume V_p = 8,0 cm³ et de masse m_p = 20 g de même ordre de grandeur que celle de l'éponge sèche. On considèrera dans la suite leurs vitesses initiales en début de chute comme étant négligeables. Les mouvements seront décrits à l'aide de l'axe (Oy) ***descendant****, la coordonnée* ***y*** *étant choisie nulle au début de la chute.*

1.1. Déterminer la masse m_{ep} de l'éponge immergée en tenant compte de la rétention d'eau (**document N°2**) sachant que sa masse sèche m_s = 21 g.

1.2. On néglige dans un premier temps la poussée d'Archimède ainsi que les frottements exercés par l'eau. La seule force prise en compte est alors le poids. Etablir l'expression de la durée de la chute de l'éponge et de la pierre dans le trou. Effectuer l'application numérique.

1.3. Donner les expressions de la poussée d'Archimède $\vec{\pi}_p$ s'exerçant sur la pierre et $\vec{\pi}_{ep}$ celle s'exerçant sur l'éponge de volume V_{ep} (toutes deux totalement immergées dans l'eau) en faisant notamment intervenir la masse volumique ρ_e de l'eau de mer et l'accélération $\vec{g}$ de la pesanteur.

1.4. La force de frottement $\vec{F_{ep}}$ exercée par l'eau sur l'éponge au cours de sa chute a pour expression $\vec{F_{ep}} = -\alpha_{ep}\vec{v_{ep}}$, avec $\vec{v_{ep}}$ la vitesse de l'éponge par rapport à l'eau et α_{ep} un coefficient de frottement (α_{ep} = 7,2 × 10^{-4} USI). Celle exercée par l'eau sur la pierre au cours de sa chute a pour expression $\vec{F_p} = -h_p v_p^2\,\vec{u_y}$, avec v_p la valeur de la vitesse de la pierre par rapport à l'eau et h_p le coefficient de frottement tel que h_p = 0,0496 USI.

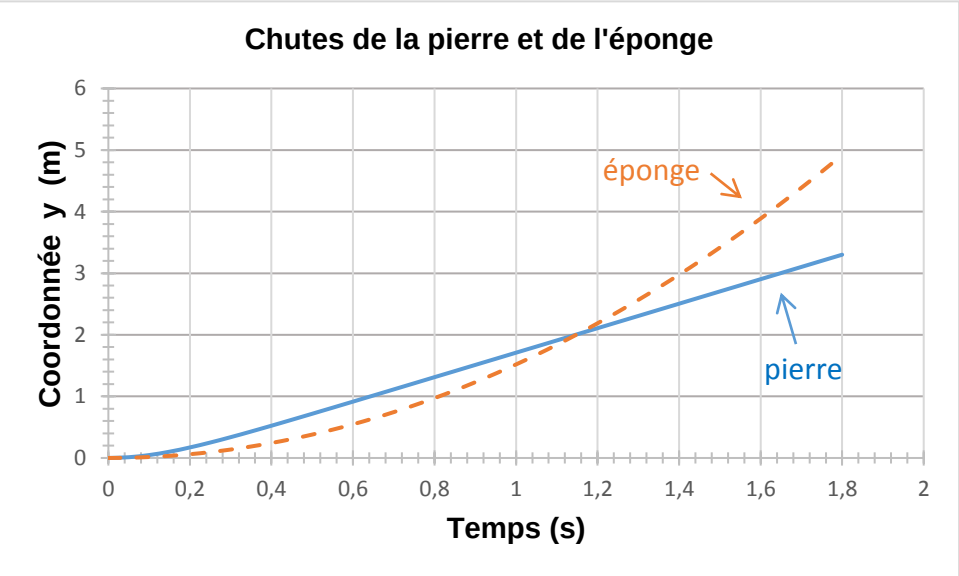
1.4.1. Etablir les dimensions de α_{ep} et h_p et donner leurs unités dans le système international.

1.4.2. Etablir les équations différentielles caractéristiques de la chute de l'éponge et de celle de la pierre en tenant compte des poussées d'Archimède et des frottements.

1.4.3. Dans le cas de l'éponge, établir l'expression de la coordonnée $y(t)$ de l'éponge en fonction du temps t, d'une constante de temps : $\tau = \frac{m_{ep}}{\alpha_{ep}}$, et de la vitesse limite v_{lim} atteinte par l'éponge au cours de sa chute.

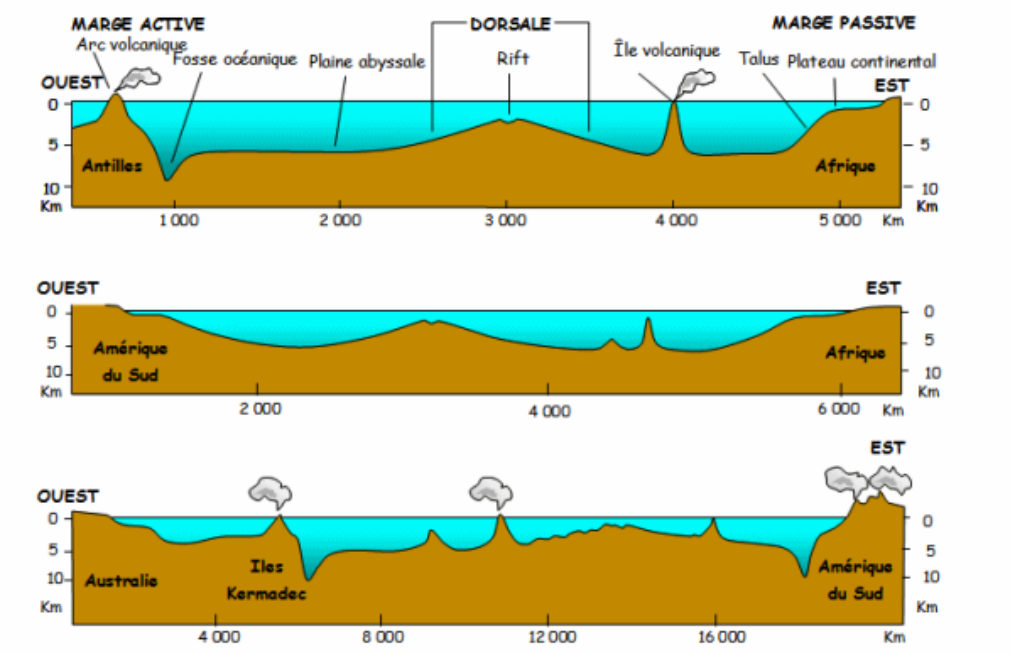
1.4.4. Le graphe ci-contre représente la position y_p de la pierre ainsi que celle y_{ep} de l'éponge en fonction du temps au cours de leurs chutes.

Evaluer pour la pierre et l'éponge la durée de la chute dans le trou. Commenter les différents résultats obtenus.



1.5. En s'aidant notamment des **documents N°2 et N°3**, évaluer **l'ordre de grandeur** du nombre d'éponges naturelles préalablement séchées nécessaires pour éponger toute l'eau des océans qui occupent 70 % de la surface terrestre. On rappelle la valeur du rayon de la Terre : R_T = 6 400 km et l'expression de la surface d'une sphère de rayon R : $S = 4\pi R^2$.

Document N°3 : Quelques profils océaniques



http://svtmarcq.over-blog.com/article-la-mise-en-evidence-de-l-expansion-oceanique-1ere-s-96325577.html=

2. Plongée sous-marine

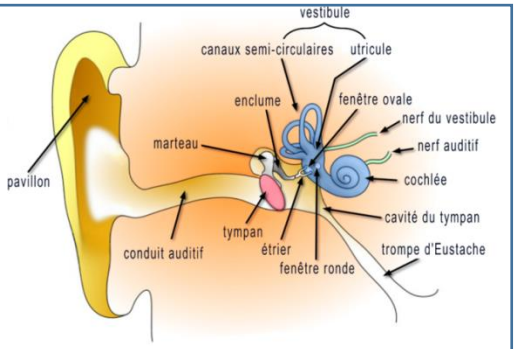
Un plongeur en apnée souhaite photographier des éponges se trouvant à 15 mètres de profondeur.
*L'objectif de cette partie est **d'estimer** une limite théorique de profondeur de plongée en apnée à partir de modèles **simplifiés**.*

Document N°4 : Volume de réserve expiratoire

Le volume V_{RE} de réserve expiratoire (ou V_{RE}) représente le volume d'air qui s'échappe lors d'une expiration forcée. Il correspond à l'ordre de grandeur des réserves en air disponibles dans les poumons pour une plongée en apnée. Il vaut en moyenne 1,5 L à pression atmosphérique *(Mioulane, Oyhenhart, 1993).*
D'après http://tecfa.unige.ch/perso/lombardf/calvin/TM/02/limites-apnee/baudoin-zottos.html

Document N°5 : Manœuvre de Valsalva (d'après https://fr.wikipedia.org/wiki/Man%C5%93uvre_de_Valsalva)

La plongée en apnée peut avoir des conséquences nuisibles pour le plongeur en raison des variations de pression subies au niveau des tympans. Pour les limiter, il peut utiliser la manœuvre de Valsalva, consistant à rétablir l'équilibre entre la pression extérieure (pression de l'eau dans le cas d'un plongeur) et la pression intérieure (pression dans la cavité du tympan située dans l'oreille interne, de **volume considéré fixe V_0** = 0,025 L et à la température T_0 pour le plongeur considéré).



Il suffit pour cela de se boucher le nez et d'insuffler de l'air initialement contenu dans les poumons à la pression atmosphérique P_0 par le biais des trompes d'Eustache (conduit situé entre la cavité du tympan et l'arrière de la gorge). Une fois l'air insufflé, les trompes d'Eustache se referment.

Document N°6 : Extrait du magazine Géo Extra spécial "Océans" (n°3, août-octobre 2015)

Le 6 juin 2012, l'Autrichien Herbert Nitsch, âgé de 42 ans, a repoussé les limites de ce que le corps peut supporter, atteignant, en apnée, 253 mètres de profondeur (record du monde actuel).

"Une fois dans l'eau je n'ai plus pensé qu'à garder mon calme, égaliser (ndlr : se boucher le nez puis souffler pour équilibrer la pression dans les oreilles), rester attentif à ma vitesse".

2.1. En supposant que la pression atmosphérique à la surface de l'eau a pour valeur P_0 = 1 atm = $1{,}013 \times 10^5$ Pa, établir l'expression de la pression dans l'eau à une profondeur z. Effectuer l'application numérique pour z = 15 m.

On supposera dans les questions suivantes que pendant les transformations liées à la manœuvre de Valsalva, l'air se comporte comme un gaz parfait de température constante.

2.2. Déterminer l'expression de la quantité de matière n_0 d'air (à la pression P_0) initialement contenu dans la cavité du tympan (zone située entre le tympan et les trompes d'Eustache).

2.3. Déterminer l'expression de la quantité de matière n_f d'air contenu dans cette même cavité une fois la manœuvre de Valsalva réalisée à une profondeur z.

2.4. En déduire, pour une profondeur z donnée, l'expression du volume d'air $V_a(z)$, considéré à la pression atmosphérique P_0, qu'il faut insuffler dans les deux oreilles à partir des poumons pour rétablir l'équilibre des pressions de part et d'autre du tympan. On exprimera $V_a(z)$ en fonction de la masse volumique ρ_e de l'eau de mer, de l'accélération de la pesanteur g, de la profondeur z, de la pression atmosphérique P_0 et du volume V_0 de la cavité du tympan. Effectuer l'application numérique pour une plongée à 15 mètres de profondeur.

2.5. On cherche à présent à estimer une limite théorique de profondeur de plongée en apnée liée à la possibilité de mettre en œuvre la manœuvre de Valsalva. Si l'on suppose que tous les autres problèmes liés à une apnée en grande profondeur n'interviennent pas, et que tout le volume V_{RE} de réserve expiratoire est insufflé dans les trompes d'Eustache, déterminer la profondeur maximale de plongée alors envisageable. Commenter le résultat obtenu.

B. Petit poisson à la dérive

3. Etude mécanique

Document N°7 : Ressac et courants marins

La partie du récif barrière côté lagon accumule des dépôts de sable, qui sont souvent parsemés de « patates » de corail (espèces massives à croissance lente) et descendent en pente douce vers le lagon ; le courant en creuse davantage le bord.

Au niveau de ces bancs de sable, il existe en général un ressac, c'est à dire une agitation de la surface marine, résultant de l'interférence de la houle créée par le vent et de sa réflexion sur la barrière.

Ce ressac peut être modélisé par un mouvement horizontal de l'eau par rapport au sol de vitesse $\vec{v}_{Mer/Sol}$ telle que $\vec{v}_{Mer/Sol} = v_0 \cos(\omega t)\, \vec{u}_x$, avec $\vec{u}_x$ le vecteur unitaire de l'axe horizontal (Ox) appartenant au référentiel lié au sol, et $v_0 = 2{,}0\ m.s^{-1}$.

On se propose d'étudier le mouvement d'un poisson Neoniphon Sammara qui nage pour arriver dans la zone du ressac puis s'y laisse porter (ou dériver) sans faire d'efforts. Le point O correspond à sa position initiale, le point M sa position à l'instant t et on note x l'abscisse du poisson dans le référentiel lié au sol telle que $x = \overline{OM}$. La poussée d'Archimède exercée par l'eau sur lui compense alors son poids.

Document N°8 : Frottement exercé par l'eau sur le poisson dans la zone de ressac

La mer exerce alors une force de frottement proportionnelle à la vitesse relative $\vec{v}_{poisson/mer}$ du poisson par rapport à l'eau, telle que $\vec{v}_{poisson/mer} = \vec{v}_{poisson/sol} - \vec{v}_{Mer/Sol}$. En notant α le coefficient de frottement, on a : $\vec{f} = -\alpha\, \vec{v}_{poisson/mer}$, avec α = 4,0 × 10^{-2} USI.

3.1. Etablir l'équation différentielle vérifiée par la position x du poisson de masse m (donnée dans le **document 1**), puis celle vérifiée par la vitesse $v = \dot{x}$ du poisson et montrer qu'elle peut se mettre sous la forme suivante en identifiant les grandeurs τ et λ :

$$\dot{v} + \frac{1}{\tau} v = \lambda \cos(\omega t)$$

3.2. Déterminer la dimension de la grandeur τ. Quelle est sa signification physique ? Effectuer l'application numérique.

On suppose que le ressac est établi depuis un temps suffisamment long pour pouvoir négliger le régime transitoire et se placer en régime permanent.

3.3. Justifier **brièvement** que l'équation horaire $x(t)$ s'écrit sous la forme :

$$x(t) = X_m \cos(\omega t + \varphi).$$

Quelles sont les dimensions et les significations physiques des grandeurs X_m et φ ?

4. Etude électrique : Recherche d'un circuit électrique modélisant le mouvement du poisson

Avertissement : Dans cette partie, afin d'alléger l'écriture des relations utilisées, les notations : e, i, i_1 et i_2, écrites en minuscules, désignent les valeurs instantanées des grandeurs désignées.

Dans le but de modéliser le mouvement du poisson sous l'effet du ressac, on se propose de déterminer un système électrique équivalent. On envisage pour cela les deux circuits électriques suivants alimentés par le même générateur électrique modélisé par une source idéale de tension de f.é.m : e.

- ***Circuit N°1 :*** *dipôle R_0C série, constitué d'une résistance R_0 en série avec un condensateur de capacité C.*

4.1. Schématiser le circuit électrique et y faire figurer l'intensité i du courant électrique.

4.2. Établir l'équation différentielle vérifiée par i et la mettre sous la forme suivante :

$\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + \frac{i}{\tau_1} = \frac{i_1}{\tau_1}$. Préciser les expressions des grandeurs associées τ_1 et i_1.

- ***Circuit N°2 :*** *dipôle R_0L série, constitué d'une résistance R_0 en série avec une bobine d'inductance L et de résistance négligeable devant R_0.*

4.3. Schématiser le circuit électrique et y faire figurer l'intensité i du courant électrique.

4.4. Pour ce circuit on obtient l'équation différentielle suivante : $e = R_0 i + L\frac{di}{dt}$, la mettre également sous la forme $\frac{di}{dt} + \frac{i}{\tau_2} = \frac{i_2}{\tau_2}$ en précisant les expressions des grandeurs associées τ_2 et i_2.

4.5. Analogie électromécanique

Sans aucune justification, indiquer l'équivalent mécanique de chacune des grandeurs électriques suivantes : intensité i, inductance L, capacité C.

4.6. En comparant les expressions des temps caractéristiques électriques τ_1 et τ_2 avec celle du temps caractéristique mécanique de la question 3.1. et en vous appuyant sur l'analogie électromécanique, justifier que c'est le **circuit N°2** qui permet de modéliser électriquement le mouvement du petit poisson. Quelle doit-être alors l'expression mathématique de la f.é.m e de la source ?

5. Expression de la vitesse du poisson

*L'équation différentielle mécanique, établie à la **question 3.1.**, vérifiée par la valeur $v(t)$ de la vitesse du poisson dans le référentiel lié au sol, a une solution de la forme :*

$$v(t) = v_m \cos(\omega t + \varphi)$$

5.1. En utilisant la notation complexe, établir les expressions de l'amplitude v_m de la vitesse et de sa phase à l'origine φ en fonction de v_0, α, m *et* ω .

5.2. Déterminer l'expression approchée de l'amplitude de la vitesse du poisson dans le cas où la période des vagues du ressac est très élevée.

5.3. Même question si elle est très faible.

5.4. La valeur de la vitesse du poisson présente-t-elle un maximum pour une période de vague donnée ? Tracer l'allure de la courbe représentative de v_m en fonction de la fréquence des vagues.

5.5. Indiquer et justifier l'influence de la masse du poisson sur les caractéristiques de son mouvement.

5.6. Calculer les valeurs de v_m et de φ pour une période des vagues du ressac égale à 16 secondes.