BCPST 1 : Concours Blanc - PHYSIQUE

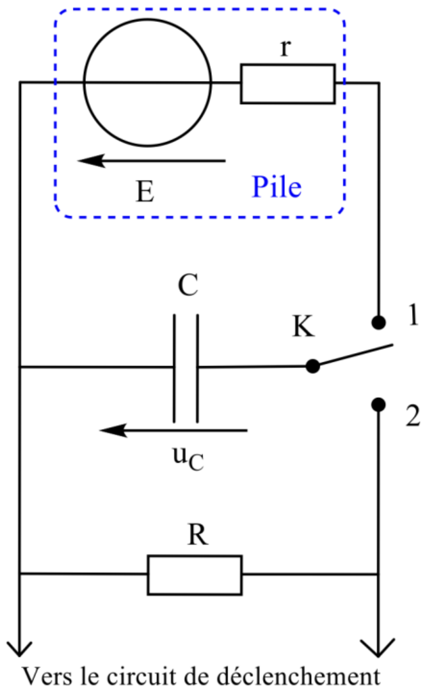
Mardi 29 Avril 2025 – 1h30

Usage de la calculatrice : autorisé

⚠ Les exercices 1 et 2 doivent être rédigés sur <u>DEUX COPIES DIFFERENTES.</u>
Bien noter vos NOM et CLASSE sur chaque copie !

EXERCICE 1 : LE PACEMAKER

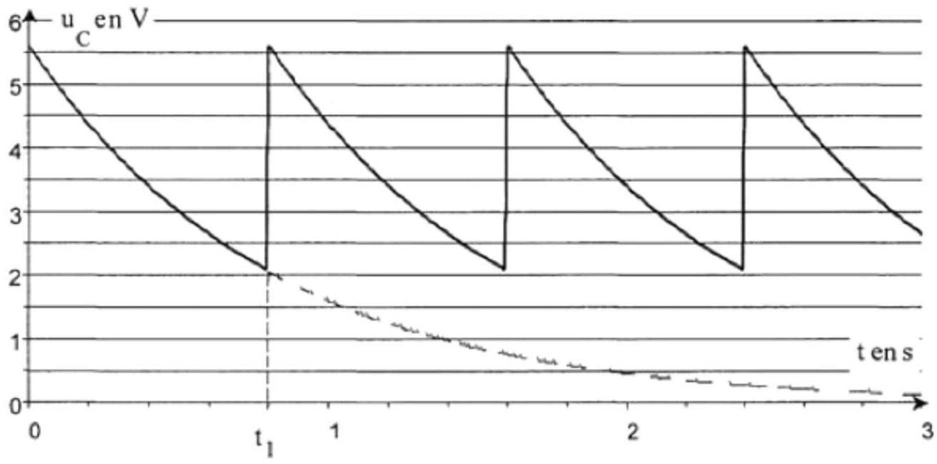
Notre cœur se contracte plus de 100 000 fois par jour. Il bat sans cesse pendant toute notre vie, entre 60 et 80 fois par minute, grâce à un stimulateur naturel : le nœud sinusal.
Lorsque le nœud sinusal ne fonctionne plus correctement, la chirurgie permet aujourd'hui d'implanter dans la cage thoracique un stimulateur cardiaque artificiel (appelé aussi pacemaker) qui va forcer le muscle cardiaque à battre régulièrement en lui envoyant de petites impulsions électriques par l'intermédiaire de sondes.
Ce pacemaker est en fait un générateur d'impulsions ; il peut être modélisé par le circuit électrique en dérivation (***Figure 1*** ci-contre), qui comprend un condensateur de capacité $C = 470\ nF$, un conducteur ohmique de résistance R, une pile spéciale et un transistor qui joue le rôle d'interrupteur, K.
La pile qui apparaît dans ce dispositif peut être modélisée par l'association en série d'une résistance r très faible devant R et d'un générateur idéal de tension à vide E.
Quand l'interrupteur est en position (1) le condensateur se charge de façon quasi-instantanée. Puis, l'interrupteur bascule en position (2), la tension u_c évolue jusqu'à une valeur $u_1 = \frac{E}{e}$ où e est le nombre d'Euler tel que $ln(e) = 1$.



<u>Figure 1</u> **:** circuit électrique du pacemaker

À cet instant, le circuit de déclenchement envoie une impulsion électrique vers les sondes qui la transmettent au cœur : on obtient alors un battement.
Cette dernière opération terminée, l'interrupteur bascule à nouveau en position (1), etc.
La tension u_c aux bornes du condensateur a alors au cours du temps l'allure indiquée sur la ***Figure 2*** ci-dessous.

<u>Figure 2</u> **:** tension électrique aux bornes du condensateur



Le condensateur, initialement chargé, admet à ses bornes une tension $u_0 = E$.

À $t_0 = 0$, l'interrupteur bascule en position (2).

1. Pour $t \geq 0$, établir l'équation différentielle vérifiée par u_c.

2. Résoudre l'équation différentielle pour donner l'expression de $u_c(t)$ pour $t \geq 0$.

3. Donner l'expression littérale de la constante de temps τ_D du circuit. Déterminer graphiquement sa valeur.

4. En déduire la valeur de R.

5. On note t_1 l'instant pour lequel le circuit de déclenchement génère une impulsion électrique. Déterminer l'expression de t_1.

Le condensateur a alors une tension à ses bornes u_1.
À t_1, l'interrupteur bascule en position (1).

6. Pour $t \geq t_1$, établir l'équation différentielle vérifiée par u_c.

7. La résoudre et donner l'expression de $u_c(t)$ pour $t \geq t_1$.

8. Pourquoi le condensateur se charge-t-il de façon quasi-instantanée ?

9. Etablir l'expression de l'énergie emmagasinée dans le condensateur au cours de cette charge. La calculer.

10. Avec ce dispositif, quel est le nombre de battements du cœur par minute ?

⚠ Rédiger l'exercice 2 sur une <u>COPIE DIFFERENTE.</u>
Bien noter vos NOM et CLASSE sur chaque copie !

EXERCICE 2 : CHANT DU RORQUAL COMMUN

A - <u>Propagation du son dans l'océan</u>


Figure 1. Rorqual commun.

Le rorqual commun est un cétacé à fanons d'une longueur moyenne de 20 m et de masse moyenne d'environ 50 $tonnes$ (**Figure 1**).

C'est le plus grand animal au monde après le rorqual bleu. Présent dans toutes les mers du globe, il est capable de plonger à des profondeurs importantes, de l'ordre de plusieurs centaines de mètres. Le rorqual commun communique par des sons puissants de basse fréquence. Il s'agit d'impulsions d'environ une seconde espacées d'une durée de l'ordre d'une dizaine de secondes. L'analyse spectrale montre que ces émissions sonores sont centrées sur une fréquence de 20 Hz avec une largeur de bande de 3 à 4 Hz, ce qui les situe au niveau de la fréquence minimale audible par l'être humain voire en dessous (infrasons).

Ces émissions pourraient être des champs nuptiaux facilitant la rencontre des individus de sexe opposé et favorisant la reproduction.

Ce problème a pour objectif d'étudier la propagation du son dans les océans.

Les angles considérés ne seront pas orientés.

1. Relier l'indice optique n d'un milieu et la vitesse de propagation v de la lumière dans ce milieu. Rappeler les lois de Descartes de la réfraction. Tracer et justifier la marche d'un rayon d'incidence i_1 se réfractant d'un milieu moins réfringent vers un milieu plus réfringent.

2. Donner la définition d'un dioptre acoustique. Dans la suite du problème, le dioptre acoustique sera traité de la même façon qu'un dioptre en optique. Par analogie avec l'optique, définir un indice n de réfraction à partir de la vitesse du son v' dans le milieu et d'une vitesse de référence c_0.

Soient deux couches d'eau de mer à l'intérieur d'un océan, séparées par un dioptre acoustique horizontal. La vitesse du son est différente dans les deux couches. On notera v_1 la vitesse du son dans la couche supérieure et v_2 celle dans la couche inférieure. On traitera ce dioptre comme un dioptre en optique. Une onde sonore arrive sur l'interface avec un angle d'incidence i_2 (par rapport à la normale du dioptre) depuis la couche inférieure.

3. En notant i_1 l'angle de réfraction, montrer que :

$$v_2 \cdot sin(i_1) = v_1 \cdot sin(i_2).$$

4. Si $v_2 < v_1$ établir à quelle condition sur i_2 il y a réflexion totale à l'interface. On donnera le résultat en fonction de v_1 et v_2.

Dans un océan, à l'exception des océans polaires, la vitesse du son dans l'eau passe par une valeur minimale pour une profondeur z_m comprise généralement entre $500\ m$ et $1000\ m$ (**Figure 2**).

On modélise cette situation par un modèle très simple à trois couches : une couche supérieure notée 1 entre la surface et la profondeur z_1, une couche intermédiaire 2 entre les profondeurs z_1 et z_2 et une couche inférieure 3 en dessous de z_2 (**Figure 3**). La vitesse du son est respectivement v_1, v_2 et v_3 dans les couches 1, 2 et 3. On suppose $v_3 = v_1$ et $v_2 < v_1$.

Les deux interfaces entre les couches sont traitées par analogie avec les dioptres optiques.

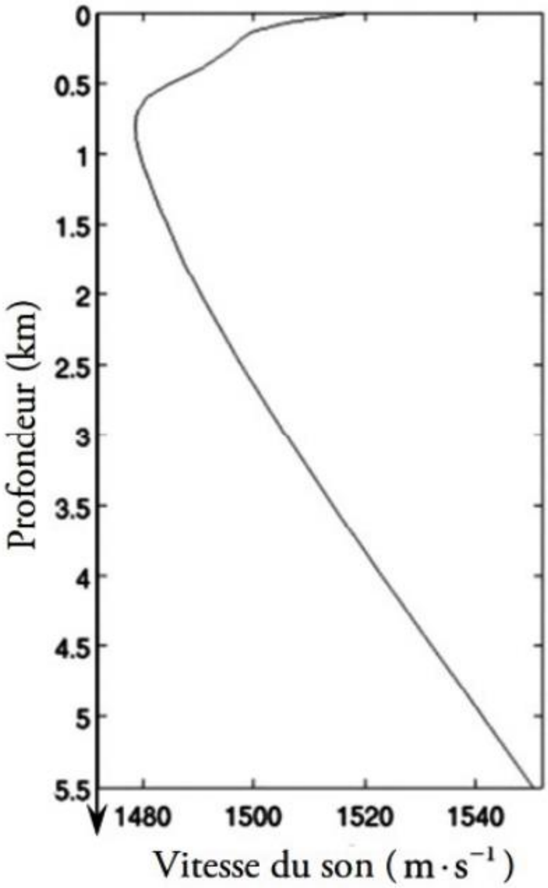


Figure 2. Variation de la vitesse du son avec la profondeur dans un océan.

5. Une source en un point O de la couche intermédiaire émet une onde sonore dans une direction faisant un angle θ (compris entre 0 et $\pi/2$) avec l'horizontale (voir **Figure 3**). Expliquer pourquoi l'onde émise en O reste confinée dans la couche intermédiaire pour certaines valeurs de l'angle θ. Déterminer en fonction de v_1 et v_2 l'intervalle des valeurs de θ pour que ce soit le cas. Calculer les valeurs limites de cet intervalle en degré et tracer la marche d'un rayon illustrant ce confinement.

Données : $v_1 = v_3 = 1{,}51 \cdot 10^3\ m \cdot s^{-1}$; $v_2 = 1{,}48 \cdot 10^3\ m \cdot s^{-1}$

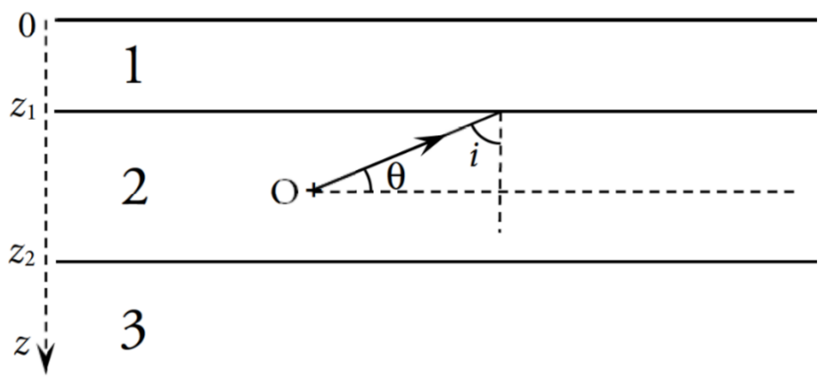


Figure 3. Modèle à trois couches.

On considère un modèle un peu moins simple comportant cinq couches notées 1, 2, 3, 4 et 5 où la vitesse du son est respectivement v_1, v_2, v_3, v_4 et v_5 avec $v_4 = v_2$ et $v_5 = v_1$ ainsi que $v_1 > v_2 > v_3$. La couche 4 est nettement plus épaisse que la couche 2 (**Figure 4**). La source O est dans la couche 3.

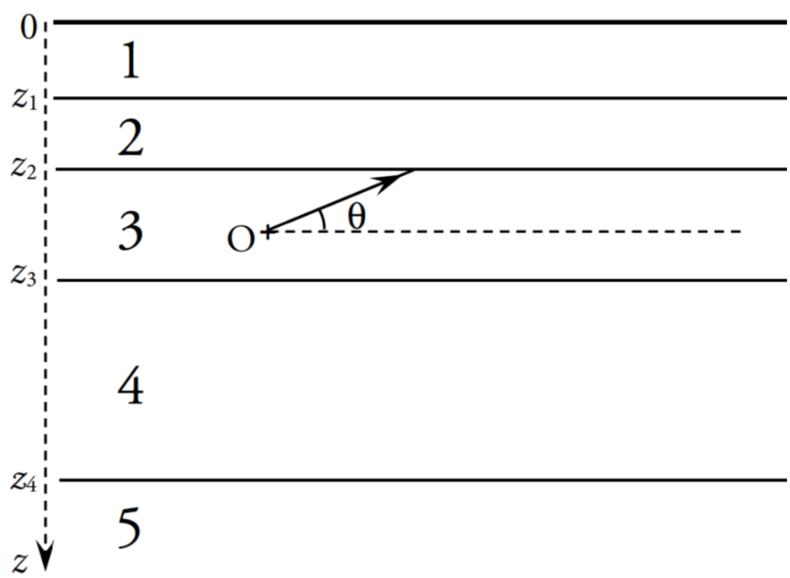


Figure 4. Modèle à cinq couches.

6. Établir l'intervalle d'angle θ pour que les rayons émis en O restent confinés dans la couche 3. Calculer numériquement en degré les valeurs limites de cet intervalle.

7. Etablir l'intervalle d'angle θ pour lequel les rayons émis en O restent confinés dans les couches 2, 3 et 4. Calculer numériquement en degré les valeurs limites de cet intervalle. Tracer la marche d'un rayon confiné dans les couches 2, 3 et 4 mais pas uniquement dans la couche 3.

<u>*Données*</u> : $v_1 = v_5 = 1{,}51 \cdot 10^3\ m \cdot s^{-1}$; $v_2 = v_4 = 1{,}49 \cdot 10^3\ m \cdot s^{-1}$; $v_3 = 1{,}48 \cdot 10^3\ m \cdot s^{-1}$

En prenant des couches de plus en plus nombreuses et de plus en plus fines, on se rapproche de la variation continue de la vitesse du son avec la profondeur illustrée sur la **Figure 2**.

8. A partir des résultats des deux questions précédentes, tracer qualitativement et sans aucun calcul, l'allure de la marche d'un rayon confiné, c'est-à-dire n'atteignant jamais ni la surface de l'océan ni le fond, pour une variation continue de la vitesse du son.

B - <u>A l'écoute d'un rorqual</u>

Une équipe de biologistes étudie le rorqual commun. Le radar de leur bateau leur mentionne la présence d'un animal situé à une distance $D = 850\ m$ et s'éloignant d'eux à une vitesse constante $v_R = 2{,}0\ m \cdot s^{-1}$. Leur bateau, initialement à l'arrêt, démarre à l'instant $t = 0$ avec une accélération constante $a_B = 3{,}0\ m \cdot s^{-2}$. On suppose que le bateau et le rorqual se déplacent selon le même axe (Ox) et dans le même sens que celui-ci, l'origine de cet axe étant confondu avec la position initiale du bateau.

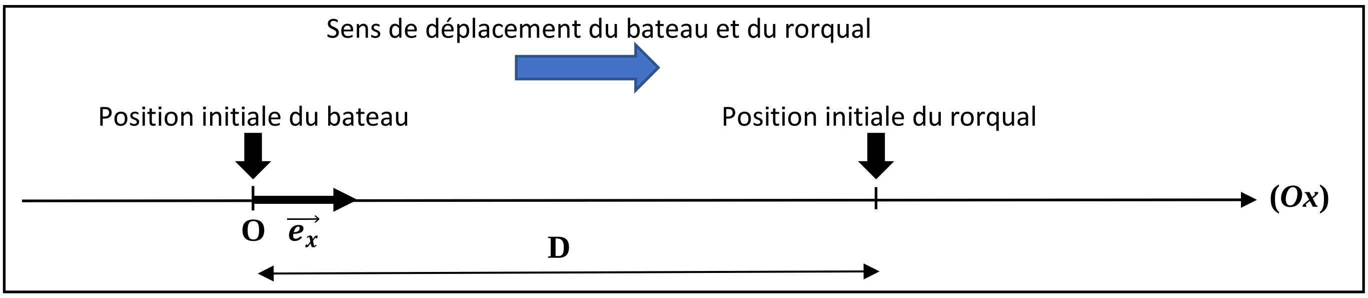


Figure 5 : Positions du bateau et du rorqual à l'instant t = 0

9. Etablir l'équation horaire $x_R(t)$ caractérisant l'abscisse du rorqual au cours du temps.

10. Etablir l'équation horaire $x_B(t)$ caractérisant l'abscisse du bateau au cours du temps.

11. Pour ne pas perturber le rorqual, le bateau coupe son moteur quand il arrive à une distance $d = 50\ m$ derrière l'animal. En déduire la durée Δt au bout de laquelle le moteur sera coupé.