

Conseils :

- Ce devoir comporte 3 exercices indépendants.
- Le correcteur tiendra compte de la **présentation** (soin apporté aux schémas) et de la **ré-daction de votre copie** : justifiez rapidement vos affirmations, donnez la **valeur littérale simplifiée** des résultats en fonction des données de l'énoncé, **vérifiez l'homogénéité et la cohérence** (tout résultat non homogène sera sanctionné).

Les résultats NON ENCADRÉS ne seront pas notés. Laissez une marge à gauche pour le correcteur.

- Numérotez les questions et ajoutez le label de la marge Q1, etc.
- L'usage des **calculatrices est autorisé**.

I. AUTOCOLLIMATION

On dispose d'une lentille \mathcal{L} dont les caractéristiques sont inconnues.

- Q1 1. Quelle relation de conjugaison peut-on écrire lors de l'utilisation du miroir plan, en fonction de la distance objet-miroir \overline{HA} où H est le projeté orthogonal de A sur le miroir plan?
2. On accole le miroir derrière la lentille à une distance suffisamment proche pour que l'on puisse supposer que les centres optiques de la lentille et du miroir sont confondus.
- Q2 (a) On note A_1 l'image d'un point objet A sur l'axe optique à travers la lentille. Donner la relation liant les distances $\overline{OA_1}$ et \overline{OA} .
- Q3 (b) On note A_2 l'image du point A_1 par le miroir. Donner la relation liant les distances $\overline{OA_1}$ et $\overline{OA_2}$.
- Q4 (c) On note A' l'image de A_2 par la lentille. Donner la relation liant les distances $\overline{OA'}$ et $\overline{OA_2}$. On prendra garde au fait que la lumière a changé de sens de propagation après le miroir.
- Q5 (d) En déduire la relation de conjugaison du système optique constitué de la lentille et du miroir.
- (e) Où doit-on placer l'objet pour que son image se forme dans le plan de l'objet?
- Q6 3. Illustrer cette méthode d'autocollimation par un tracé de rayons. On prendra un objet \overline{AB} . On séparera la lentille et le miroir sur le schéma.
- La configuration précédente est atteinte lorsque l'objet est placé sur la graduation « 0 » d'un banc optique gradué par 0,5 mm et la lentille accolée au miroir sur la graduation « 25 » cm. On remarque qu'un déplacement de l'ordre de 1 cm de chaque côté de la position de la lentille accolée au miroir ne modifie pas la netteté de l'image finale.
- Q7 4. (a) Estimer l'incertitude-type sur la position de l'objet sur le banc optique puis celle de la position de la lentille.
- Q8 (b) Estimer la valeur de la focale de la lentille ainsi que son incertitude-type. Justifier.

II. LA PISCINE À VAGUES

On se propose dans ce problème d'étudier différentes techniques utilisées pour produire des vagues dans une piscine.

1 Utilisation d'une plaque oscillante

La première technique consiste à produire des ondes progressives à une extrémité de la piscine par déplacement horizontal d'un panneau métallique. La superposition de cette onde avec l'onde réfléchi à l'autre bout de la piscine produira une onde stationnaire.

- On donne la relation liant la célérité c des vagues à la profondeur H de la piscine, la masse volumique ρ de l'eau, l'accélération de pesanteur g , la longueur d'onde λ et le coefficient de tension superficielle A de l'interface eau – air.

$$c^2 = gH + \frac{4\pi^2 HA}{\rho\lambda^2}$$

- Q9 (a) Quelle est la dimension de ρ ? En déduire celle de A .
 (b) On néglige l'effet de la tension superficielle en posant $A = 0$, en déduire l'expression liant c à g et H .

Q10 Application numérique : calculer H pour obtenir $c = 4,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. On donne $g = 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

- Onde incidente $z_i(x,t)$: les oscillations à la pulsation ω du plateau métallique permettent de produire une variation sinusoïdale de la hauteur $z(-L,t)$ du point de la surface de l'eau situé à l'extrémité gauche de la piscine, en $x = -L$ (Figure 1 ci-dessous). On posera $k = \frac{\omega}{c}$.

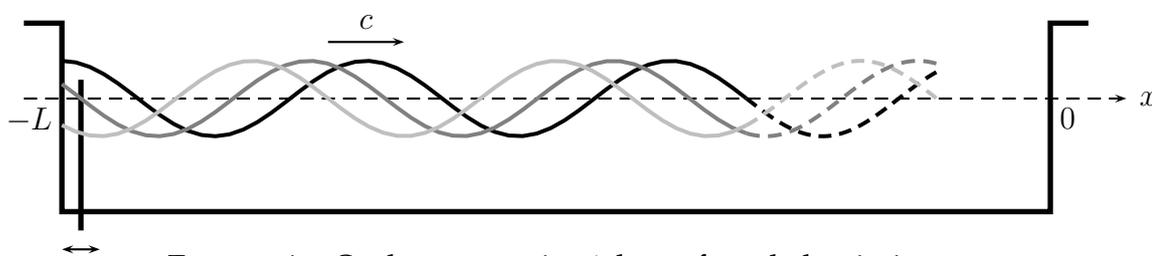


FIGURE 1 – Onde progressive à la surface de la piscine

On prend $z_i(-L,t) = Z_m \cdot \cos(\omega t)$, la hauteur, à l'instant t , de l'eau au point de la piscine d'abscisse $x = -L$.

Il apparaît une onde progressive que l'on supposera sinusoïdale et se déplaçant sans atténuation dans le sens des x croissants à la célérité c .

- Q11 (a) Déterminer $z_i(x,t)$ l'expression de l'onde progressive en fonction des données Z_m, ω, c et L , on justifiera avec soin. Vérifier explicitement que votre formule appliquée en $x = -L$ donne bien l'expression proposée par l'énoncé ci-dessus pour $z_i(-L,t)$.

- (b) Donner l'expression $z_i(x, \frac{T}{4})$ et tracer l'allure de l'onde incidente sur la piscine à $t = \frac{T}{4}$ où T est la période (temporelle) d'oscillation de la plaque. On fera apparaître la période

Q12 de $z_i(x, \frac{T}{4})$ sur la figure.

- Onde réfléchi $z_r(x,t)$: à l'extrémité d'abscisse $x = 0$ de la piscine, apparaît une onde réfléchi de même amplitude Z_m et même célérité que l'onde incidente.

- Q13 (a) Quel doit être de déphasage entre $z_i(0,t)$ et $z_r(0,t)$ pour qu'il y ait interférence constructive des deux ondes en $x = 0$?

- Q14 (b) En déduire l'expression du signal $z_r(0,t)$ puis de l'onde progressive $z_r(x,t)$.
4. Onde stationnaire $z(x,t)$: la superposition des deux ondes progressives $z_i(x,t)$ et $z_r(x,t)$ donne naissance à une onde stationnaire $z(x,t) = z_i(x,t) + z_r(x,t)$.
- (a) Donner l'expression de $z(x,t)$ et l'écrire sous la forme $z(x,t) = f(x).g(t)$ où $f(x)$ et $g(t)$ sont des fonctions dont on donnera l'expression.
- Q15 (b) On veut qu'il apparaisse également un nœud de vibration en $x = -L$. En déduire la relation liant λ et L .
- Q16 (c) Représenter l'onde stationnaire à différents instants dans le cas où la condition précédente est respectée et il y a uniquement quatre nœuds à la surface de la piscine.
- Q17 (d) Pour le mode de vibration précédent, quelle devrait être la longueur L de la piscine si on prend $c = 4,0 \text{ m.s}^{-1}$ et une période d'oscillation de la plaque métallique $T = 1,0 \text{ s}$?
- Q18

2 Utilisation d'injecteurs

La seconde technique consiste à utiliser des injecteurs convenablement placés et synchronisés.

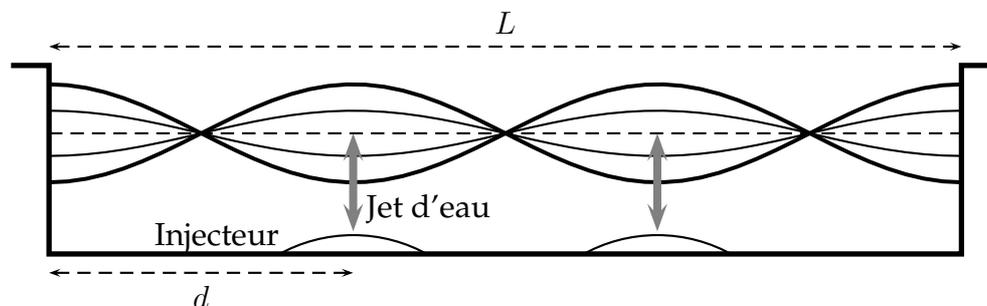


FIGURE 2 – Onde stationnaire à la surface de la piscine

Les injecteurs sont des dispositifs qui pulsent puis aspirent verticalement et alternativement de l'eau. Ils sont placés au fond de la piscine sous les ventres de vibration (Cf figure ci-dessus).

Un capteur de pression situé à une extrémité de la piscine permet de les synchroniser à une fréquence optimale f correspondant à un mode de vibration de l'onde stationnaire.

1. Placement des injecteurs : dans le mode représenté ci-dessus (Figure 2), on peut placer deux injecteurs.
- Q19 À quelle distance d du bord de la piscine de longueur L doivent-ils être placés?
2. Réglage des jets : on considère que les injecteurs sont réglés à la même fréquence f .
- (a) Pour le même mode, exprimer f en fonction de L et de la célérité c des ondes (progressives) à la surface de la piscine. Faire l'application numérique pour $L = 12 \text{ m}$ et $c = 4,0 \text{ m.s}^{-1}$.
- Q20 (b) Les jets doivent-ils être injectés au même instant par les deux injecteurs? Si non, quel doit-être le retard temporel Δt ?
- Q21 3. L'injecteur 2 est dérégulé, sa fréquence f_2 diffère légèrement de f_1 , celle du premier injecteur. On note $\Delta f = |f_2 - f_1|$.
- Q22 Quel phénomène va-t-on observer? Quelle en sera la période?
4. Combien d'injecteurs faudrait-il, où devrait-on les placer et comment devrait-on régler les jets pour obtenir le mode de vibration correspondant à un nœud de plus dans la même piscine?
- Q23

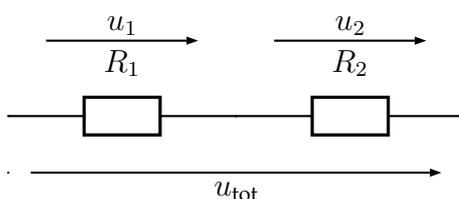
III. PONTS ÉLECTRIQUES

Données :

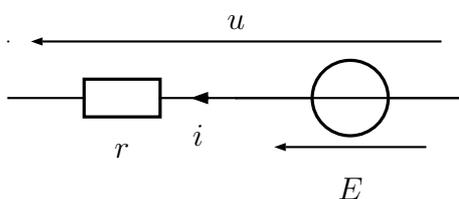
- Un voltmètre est assimilable à une résistance R_v qui affiche la tension à ses bornes. Un voltmètre idéal est tel que $R_v \rightarrow \infty$.
- Un ampèremètre est assimilable à une résistance R_a qui affiche le courant la parcourant. Un ampèremètre idéal est tel que $R_a \rightarrow 0$.

A. Généralités

- Q24 1. On considère le dipôle ci-dessous, formé de l'association série de deux résistors de résistances R_1 et R_2 . Établir l'expression du quotient $\frac{u_2}{u_{tot}}$ en fonction des résistances R_1 et R_2 .

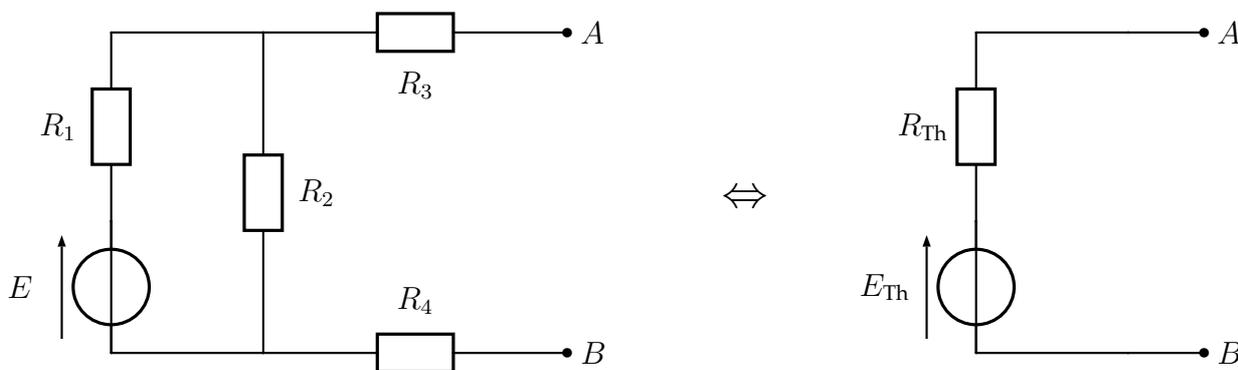


2. On considère le dipôle ci-dessous, formé de l'association série d'un générateur de tension idéal de force électromotrice E et d'un résistor de résistance r (résistance interne du générateur).



- Q25 (a) Tracer sa caractéristique statique courant-tension $i = f(u)$.
 Q26 (b) Donner la tension indiquée par un voltmètre idéal branché à ses bornes.
 Q27 (c) Donner l'intensité indiquée par un ampèremètre idéal branché à ses bornes.
 Q28 (d) On remplace le générateur de force électromotrice E par un fil : quelle est l'indication d'un ohmmètre branché à ses bornes ?

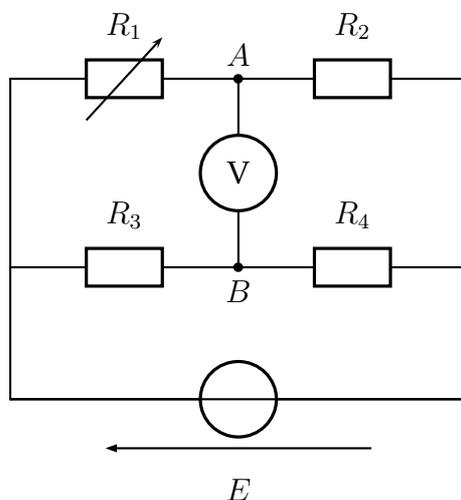
3. On admet que le dipôle ci-dessous à gauche est équivalent au dipôle ci-dessous à droite.



- Q29 En appliquant les résultats de la question précédente, déterminer la force électromotrice E_{Th} et la résistance interne R_{Th} du générateur équivalent ci-dessus à droite.

B. Pont de Wheatstone

On considère le circuit de la figure ci-contre formé d'un générateur idéal de tension, de quatre résistors et d'un voltmètre. On considère dans un premier temps que le voltmètre est idéal. Données : $\theta_0 = 250\text{ }^\circ\text{C}$; $R_2 = R_3 = R_4 = 25\ \Omega$; $E = 6,0\ \text{V}$.



- Q30 1. (a) Déterminer l'expression de la tension U_{AB} en fonction de E et des résistances.
 Q31 (b) En déduire que si $U_{AB} = 0$, les valeurs des résistances vérifient $R_1 R_4 = R_2 R_3$.
 2. La résistance R_1 varie en fonction de la température θ (exprimée en $^\circ\text{C}$) selon la loi :

$$R_1 = R_0 \left(1 + \frac{\theta}{\theta_0} \right)$$

où θ_0 est une constante positive.

- Q32 (a) Déterminer la valeur de R_0 pour que la tension U_{AB} soit nulle pour $\theta = 0^\circ\text{C}$.
 On suppose cette condition vérifiée dans toute la suite.
 Q33 (b) Montrer que, lorsque $\theta \ll \theta_0$, U_{AB} peut se mettre sous la forme :

$$U_{AB} \simeq -\frac{E\theta}{4\theta_0}$$

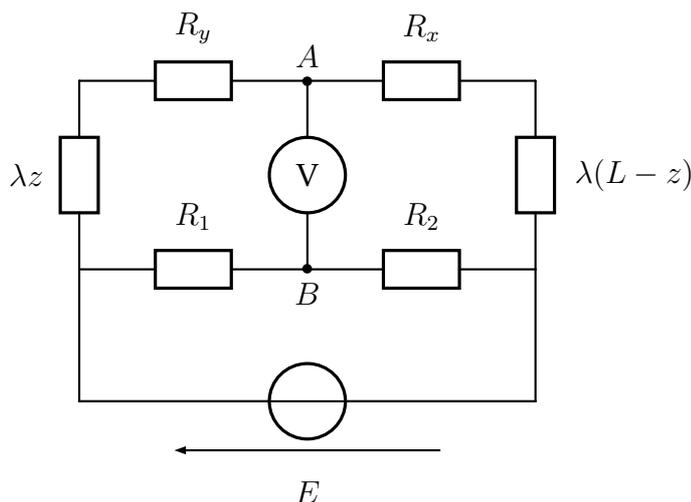
On donne le développement limité pour $x \ll 1$: $(1+x)^\alpha \simeq 1 + \alpha x$.

- Q34 (c) Calculer la valeur de U_{AB} pour $\theta = 15,0\text{ }^\circ\text{C}$.
 Q35 3. (a) Utiliser les résultats de la question 2. pour déterminer la force électromotrice E_{eq} et la résistance interne R_{eq} du dipôle entre les noeuds A et B , formé par le générateur et les résistors R_1 , R_2 , R_3 et R_4 .
 Q36 (b) On utilise un voltmètre analogique dont la résistance vaut $R_V = 2,0\ \text{k}\Omega$. Établir l'expression de la tension U_{AB} en fonction des résistances R_{eq} , R_V et la tension E_{eq} .

C. Pont de Wheatstone

Le voltmètre utilisé est de nouveau considéré idéal.

On étudie une variation du pont de Wheatstone adaptée à la mesure de faibles différences entre deux résistances. Le montage est représenté ci-dessous :



Il utilise un potentiomètre dont la position z du curseur entre $z = 0$ et $z = L$ définit les résistances λz et $\lambda(L - z)$, avec λ la résistance par unité de longueur. On cherche cette fois à mesurer la différence $R_x - R_y$.

- Q37 1. Déterminer l'expression de z en fonction des résistances pour laquelle la tension U_{AB} est nulle. On la note z_1 .
- Q38 2. On intervertit ensuite les résistors R_x et R_y . On note z_2 la nouvelle expression de z pour laquelle la tension U_{AB} est nulle. En déduire que la mesure de $z_1 - z_2$ donne accès à $R_x - R_y$. Quelle est la plus grande valeur de $R_x - R_y$ mesurable ?

I. AUTOCOLLIMATION

Q1 1. Soit A' l'image de A par le miroir plan. A' est le symétrique de A par rapport au miroir d'où la relation de conjugaison : $\overline{HA} = -\overline{HA'}$

Q2 2. (a) En notant A_1 l'image de A , la relation de conjugaison pour la lentille est : $\frac{1}{\overline{OA_1}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$

Q3 (b) En notant A_2 l'image du point A_1 par le miroir (confondu avec O , la relation de conjugaison du miroir plan est : $\overline{OA_1} = -\overline{OA_2}$

Q4 (c) La lumière étant réfléchi par le miroir, le sens de propagation se fait en sens inverse de l'axe optique : les rôles de foyers F et F' sont inversés. On peut donc écrire la relation de conjugaison mais avec $\overline{OF'} = -f' < 0$. A' est l'image de A_2 d'où : $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA_2}} = \frac{1}{\overline{OF'}} = -\frac{1}{f'}$

(autre façon de voir : on garde une focale positive mais on change les signes des grandeurs algébriques car le sens de propagation est changé.)

Q6 (d) Résumons les images intermédiaires : $A - (\mathcal{L}) \rightarrow A_1 - (\mathcal{M}) \rightarrow A_2 - (\mathcal{L}^{-1}) \rightarrow A'$.

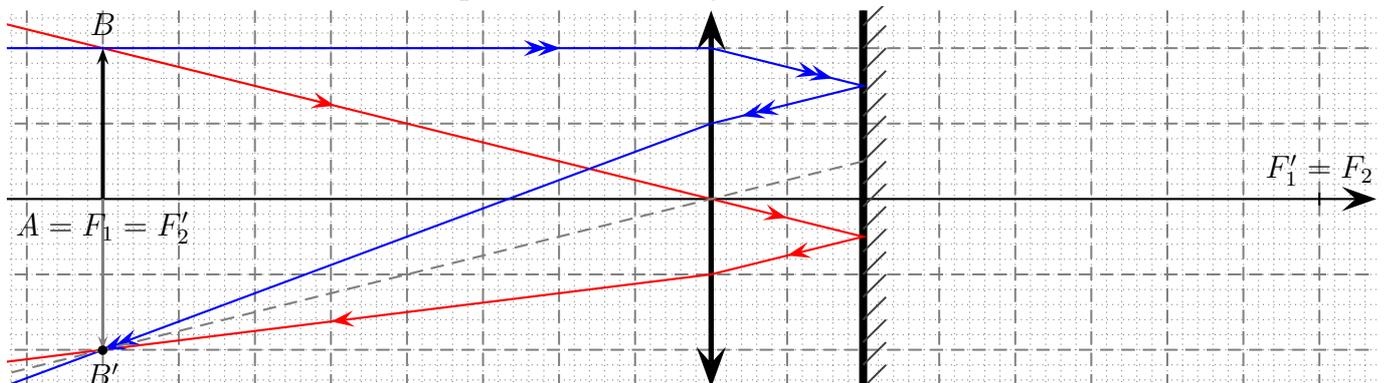
En combinant les relations ci-dessus, on obtient :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} + \frac{1}{\overline{OA}} = -\frac{2}{f'}$$

Q7 (e) Pour que l'image se forme dans le plan objet, il faut $\overline{OA'} = \overline{OA}$. La relation ci-dessus donne donc $\overline{OA'} = -f'$.

Donc la distance entre l'objet et la lentille est égale à la distance focale.

Q8 3. Méthode d'autocollimation par un tracé de rayons :



Remarque : on peut aussi interpréter cette question sans calculs. Si l'objet est dans le plan focal objet de la lentille, son image se forme à l'infini. Après réflexion par le miroir, les rayons semblent à nouveau provenir de l'infini donc l'image se forme dans le plan image de la lentille, confondu avec l'ancien plan objet (en tenant compte du changement de sens de la lumière).

Q9 4. (a) Les incertitudes sont réalisées sur une mesure unique, ce sont des incertitudes de type B. L'objet est repéré sur un banc optique gradué par 0,5 mm. L'incertitude provient de la lecture sur le banc. La largeur de l'intervalle où se trouve la valeur vraie avec une probabilité uniforme peut se prendre à $2\Delta = \text{une graduation}$ d'où $u(x) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = \frac{\text{une graduation}}{2\sqrt{3}}$ d'où $u_{obj}(x) = 0,15 \text{ mm}$

Remarque : si on estime que l'on s'est placé « pile » sur zéro, on peut même réduire l'intervalle et prendre $2\Delta = \frac{\text{une graduation}}{2}$. De toutes façons, on va voir que cette incertitude est négligeable de celle de la position de la lentille.

L'incertitude sur la position de la lentille provient de la latitude de netteté de $\Delta = 1 \text{ cm}$. Toujours avec la formule $u(x) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}}$ on trouve $u_{lent} = 5,8 \text{ mm}$.

- (b) La distance focale est donnée par $f' = x_{lent} - x_{obj} = 250,0 \text{ mm}$. On obtient l'incertitude avec la formule des incertitudes composées : $u(f') = \sqrt{u_{lent}^2 + u_{obj}^2} \simeq u_{lent}$ car $u_{obj} \ll u_{lent}$. Finalement on a : $f' = 250,0 \text{ mm} (u(f') = 5,8 \text{ mm})$.

II. LA PISCINE À VAGUES

1 Utilisation d'une plaque oscillante

1. Exploitation de la relation $c^2 = gH + \frac{4\pi^2 HA}{\rho\lambda^2}$.

- (a) ρ est une masse volumique, ainsi $[\rho] = \frac{[m]}{[V]} = \text{M.L}^{-3}$.

Il y a eu trop de confusions entre unité et dimension pour les longueurs : bonne dimension pour ρ mais ensuite lorsque l'on rencontre une distance, il faut bien mettre L et non M (probablement en pensant à mètre j'imagine). Si vous voulez utiliser les unités vous pouvez (bien que je recommande de ne pas le faire), mais il faut être cohérent et le faire partout sinon vous risquez de mélanger Masse et Mètre.

D'après la relation précédente,

Q10

$$[c]^2 = \frac{[4\pi^2][H][A]}{[\rho][\lambda]^2} \Rightarrow \text{L}^2 \cdot \text{T}^{-2} = \frac{\text{L} \cdot [A]}{\text{M} \cdot \text{L}^{-3} \cdot \text{L}^2} \Rightarrow [A] = \text{M} \cdot \text{T}^{-2}$$

La dimension de la différence de deux grandeurs homogènes n'est pas sans dimension. On pouvait utiliser $[c]^2$ ou $[gH]$ mais il est inutile de faire les deux.

Remarque : Attention, si $a = b + c$, alors pour les dimensions on a $[a] = [b] = [c]$ et non $[a] = [b] + [c]$.

- (b) En posant $A = 0$, on a simplement $c^2 = gH \Rightarrow c = \sqrt{gH}$.

Q11

Application numérique : $H = \frac{c^2}{g} = \frac{4^2}{9,8} \simeq 1,6 \text{ m}$

Est-ce raisonnable de perdre des points sur cette question ?

2. Onde incidente $z_i(x,t)$:

- (a) Pour une onde progressive dans le sens des x croissants,

$$z_i(x,t) = z_i\left(-L, t - \frac{x}{c}\right) = Z_m \cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{c}\right) + \varphi\right] = Z_m \cos\left[\omega\left(t - \frac{x+L}{c}\right)\right]$$

Q12

$$\Rightarrow z_i(x,t) = Z_m \cos\left(\omega t - \frac{\omega}{c}(x+L)\right)$$

On choisit la phase de façon à ce que l'expression corresponde en $x = -L$.

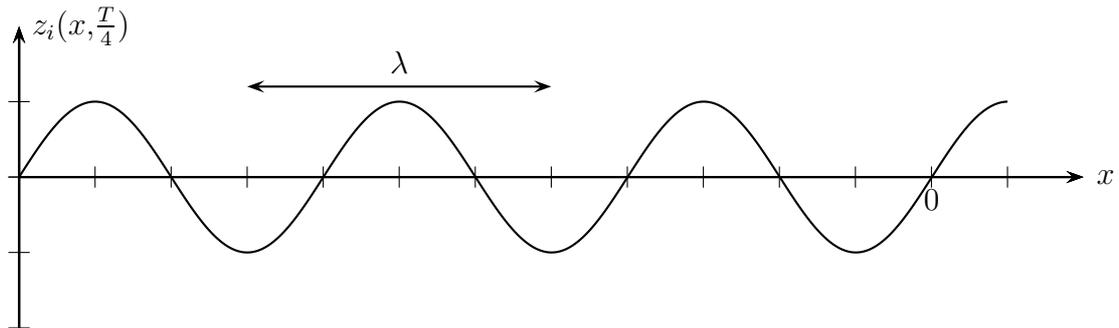
Justifiez l'expression de $z_i(x,t)$.

(b) On en déduit, à $t = \frac{T}{4}$ avec $\omega = \frac{2\pi}{T}$,

$$z_i\left(x, \frac{T}{4}\right) = Z_m \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{4} - \frac{\omega}{c}(x+L)\right) = Z_m \cos\left(\frac{\pi}{2} - k(x+L)\right)$$

Q13

$$\Rightarrow z_i\left(x, \frac{T}{4}\right) = Z_m \sin(k(x+L)) = Z_m \sin \frac{2\pi(x+L)}{\lambda}$$



Simplifiez l'expression : $\cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = \sin \alpha$. Vous tracez $z_i(x)$ à $t = \frac{\pi}{4}$ donc la période est une période spatiale, λ .

3. Onde réfléchie $z_r(x,t)$:

Q14

(a) Le déphasage entre $z_i(0,t)$ et $z_r(0,t)$ doit être nul modulo 2π pour qu'il y ait interférence constructive des deux ondes en $x = 0$.

(b) $z_r(0,t)$ a la même amplitude, la même pulsation et la même phase à l'origine que $z_i(0,t)$, on a donc $z_r(0,t) = z_i(0,t) = Z_m \cos\left(\omega t - \frac{\omega \times (0+L)}{c}\right) \Rightarrow z_r(0,t) = Z_m \cos(\omega t - kL)$.

Comme il s'agit d'une onde progressive dans le sens des x décroissants, on a

Q15

$$z_r(x,t) = z_r\left(0, t + \frac{x}{c}\right) = Z_m \cos\left[\omega\left(t + \frac{x-L}{c}\right)\right] \Rightarrow z_r(x,t) = Z_m \cos\left(\omega t + \omega \frac{x-L}{c}\right)$$

Répondez en fonction des paramètres de l'énoncé, en particulier k n'était pas défini.

4. Onde stationnaire $z(x,t) = z_i(x,t) + z_r(x,t)$:

(a) On calcule $z(x,t) = Z_m \cos(\omega t - k(x+L)) + Z_m \cos(\omega t + k(x-L))$

$$\Rightarrow z(x,t) = 2Z_m \cos\left(\frac{\omega t - kx - kL + \omega t + kx - kL}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\omega t - kx - kL - (\omega t + kx - kL)}{2}\right)$$

Q16

$$\Rightarrow z(x,t) = 2Z_m \cos(\omega t - kL) \cos(kx) = f(x) \cdot g(t) \text{ avec } f(x) = 2Z_m \cos kx \text{ et } g(t) = \cos(\omega t - kL)$$

La constante pouvait être mise dans n'importe quelle fonction.

- (b) Pour qu'il apparaisse un nœud de vibration en $x = -L$, il faut que $\forall t \quad z(x = -L, t) = 0$. Puisque $g(t)$ ne s'annule pas pour tout t , c'est que soit $Z_m = 0$ (auquel cas il n'y a pas d'onde), soit $f(x)$ s'annule en $x = -L$. Ce sera le cas si $\cos(-kL) = \cos(kL) = 0 \Rightarrow kL = \frac{\pi}{2} + n\pi$ avec n entier avec $kL = \frac{\omega L}{c} = \frac{2\pi L}{cT} = \frac{2\pi L}{\lambda}$

On en déduit la condition pour que des ondes puissent se propager : $\frac{2\pi L}{\lambda} = n\pi + \frac{\pi}{2} \Rightarrow$

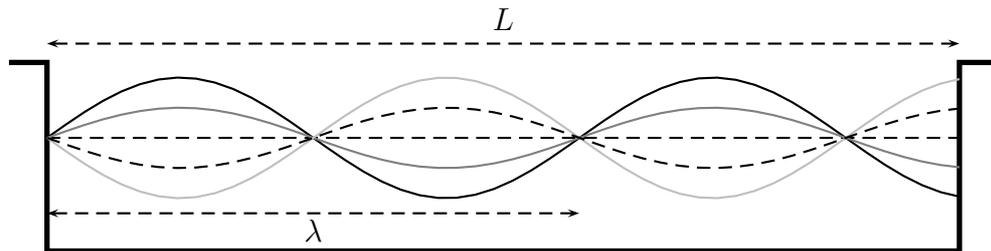
Q17

$$L = n \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{4} \text{ avec } n \text{ entier.}$$

Lisez bien l'énoncé, commencez par tracer la figure au brouillon.

- (c) On dessine la piscine et l'onde stationnaire dans le cas où il y a un ventre à droite et un nœud à gauche et 4 nœuds.

Q18



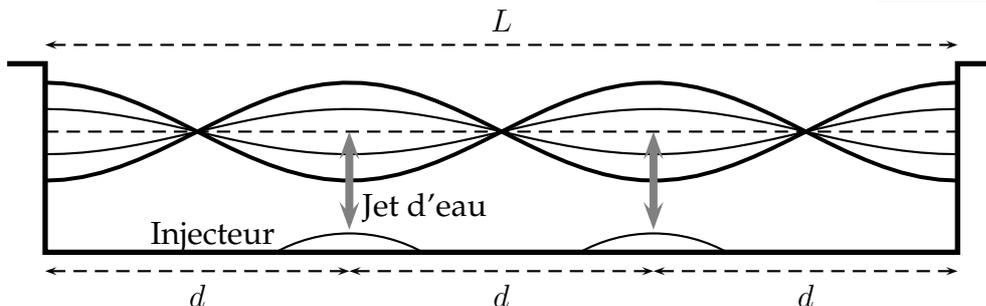
Q19

- (d) Dans le mode précédent, $L = 3 \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{4} = \frac{7}{4} cT = \frac{7}{4} \times 4,0 \times 1,0 = 7,0 \text{ m}$

2 Utilisation d'injecteurs

Q20

1. Les injecteurs se situent sous les ventres, on remarque sur la figure, que $L = 3d \Rightarrow d = \frac{L}{3}$.



2. Réglage des jets :

- (a) Les jets doivent être synchrones avec les ondes progressives de longueur d'onde λ qui composent l'onde stationnaire. Dans ce mode de vibration on a

Q21

$$L = \frac{3\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = \frac{2L}{3} \Rightarrow \frac{c}{f} = \frac{2}{3}L \Rightarrow f = \frac{3c}{2L} = 0,50 \text{ Hz}$$

- (b) Les jets sont distants de $\frac{\lambda}{2}$, ils doivent donc être en opposition de phase (un jet monte pendant que l'autre descend) ce qui correspond à un retard temporel $\Delta t = \frac{T}{2} = \frac{1}{2f} = 1 \text{ s}$

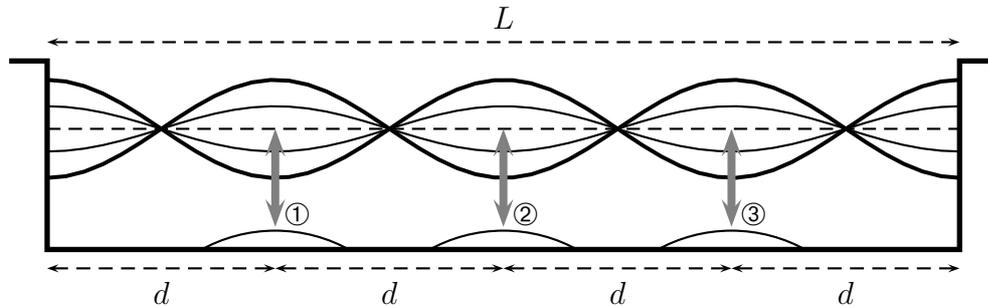
Q22

3. Si les deux injecteurs ont des fréquences proches mais différentes, c'est à dire si $|f_2 - f_1| \ll f_1 \simeq f_2$, la superposition des deux ondes progressives asynchrones va donner naissance au phénomène des **battements**.

Q23

La période des battements est $T_{\text{bat}} = \frac{1}{|f_2 - f_1|}$.

4. Pour observer 4 noeuds au lieu de 3 dans la même piscine on peut utiliser le dispositif suivant :



Il faudrait **3 injecteurs** placés à $d = \frac{\lambda}{4}$ les uns des autres avec $L = 2\lambda$ soit $d = \frac{L}{4} = 3,0 \text{ m}$.

La fréquence des jets devrait être f telle que $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{L}{2} \Rightarrow f = \frac{2c}{L} = 0,67 \text{ Hz}$ et enfin, les injecteurs ① et ③ devraient être en phase, l'injecteur ② quant à lui devrait être en opposition de phase.

Q24

Il y a en fait d'autres possibilités. Certains ont dit qu'il faut un retard d'une période. Cela correspond à pas de retard du tout puisque l'on considère des signaux périodiques.

III. PONTS ÉLECTRIQUES

A. Généralités

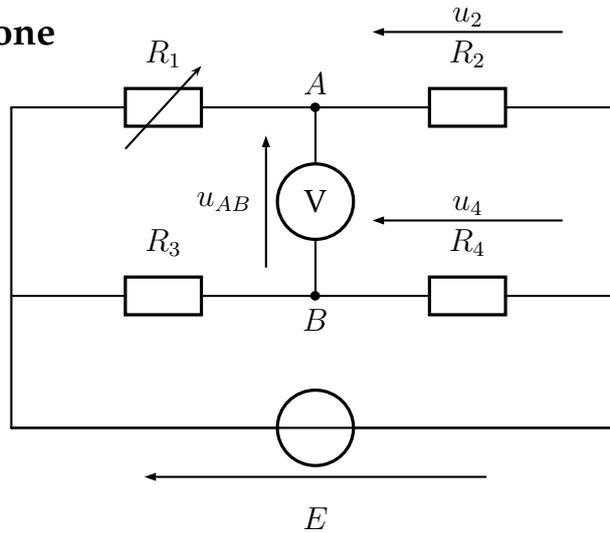
- Q25 1. On utilise directement le diviseur de tensions car il s'agit de **résistors en série** (ne pas oublier de citer les hypothèses : résistances R_1 et R_2 : $\frac{u_2}{u_{\text{tot}}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$). Puis qu'il était demandé d'établir, on peut redémontrer le résultat : $u_2 = R_2 i$ (schéma à faire pour représenter i), $u_{\text{tot}} = (R_1 + R_2) i$ avec le même i car les résistors sont en série, et on fait le quotient pour avoir le résultat.
- Q26 2. (a) On écrit la relation donnant la tension $u = -ri + E$. Ce qui donne caractéristique statique courant-tension $i = \frac{E-u}{r}$.
- Q27 (b) Un voltmètre idéal ayant une résistance infinie, le courant débité par le générateur sera donc nul et on aura $u = R \times 0 + E$ donc la tension à ses bornes vaut $u = E$. (Ne pas hésiter à faire un schéma où l'on a branché seulement un voltmètre à ses bornes).
- Q28 (c) Un ampèremètre idéal ayant une résistance nulle, le courant débité par le générateur sera donc le courant électromoteur $\eta = \frac{E}{r}$.
- Q29 (d) Si on remplace le générateur de force électromotrice E par un fil, l'ohmmètre est branché sur le résistor : il indique la valeur de **r la résistance interne**.

3. La question 2. indique qu'on obtient la résistance interne du générateur lorsqu'on remplace le générateur par un fil. En opérant de même avec le circuit proposé entre A et B, on se retrouve avec l'association suivante : $R_{Th} = (R_1 \parallel R_2) + R_3 + R_4$ d'où

$$R_{Th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3 + R_4$$

La question 2. indique qu'on obtient la f.é.m du générateur lorsqu'on branche un voltmètre idéal à ses bornes. En branchant un voltmètre idéal entre A et B, il n'y a de courant ni dans R_3 ni dans R_4 . Avec un diviseur de tension, on obtient : $E_{Th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E$

B. Pont de Wheatstone



1. (a) On peut faire cela de différentes façons, le plus simple est de faire des ponts diviseurs de tensions. En effet, le voltmètre étant idéal, il se comporte comme un interrupteur ouvert et donc R_1 et R_2 sont en série. D'où $u_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E$ (voir schéma pour la définition de u_2). De même $u_4 = \frac{R_4}{R_4 + R_3} E$. De plus, d'après la loi des mailles (ou additivité des tensions),

Q30 $u_{AB} = -u_4 + u_2$ d'où $u_{AB} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_4 + R_3} \right) E$

- (b) Si $U_{AB} = 0$, les valeurs des résistances vérifient $\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_4 + R_3} = 0$ soit $\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_4}{R_4 + R_3}$ et donc $R_2 R_4 + R_3 R_2 = R_4 R_1 + R_4 R_2$. On obtient bien $R_1 R_4 = R_2 R_3$.

- Q32 2. (a) D'après la question précédente, $R_1 = R_2 R_3 / R_4$, à $\theta = 0^\circ\text{C}$, $R_1 = R_0$, d'où $R_0 = 25 \Omega$.

- (b) On a vu au début de la partie que $u_{AB} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_4 + R_3} \right) E$. En remplaçant les résistances R_2, R_3, R_4 par R_0 puisqu'elles ont toutes la même valeurs et R_1 par son expression, on obtient : $u_{AB} = \left(\frac{1}{1 + \frac{\theta}{\theta_0} + 1} - \frac{1}{1 + 1} \right) E$.

Q33 On factorise par $\frac{1}{2}$ pour faire apparaître l'approximation suggérée par l'énoncée :

$$u_{AB} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{1 + \frac{\theta}{2\theta_0}} - 1 \right) E \simeq \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\theta}{2\theta_0} - 1 \right) \simeq -\frac{E \theta}{4\theta_0}$$

- Q34 (c) Numériquement en utilisant l'approximation on trouve la valeur de U_{AB} pour $\theta = 15,0^\circ\text{C}$: -90 mV . (sans approximation on a plutôt -87 mV je crois)

3. (a) La f.é.m. du générateur équivalent est directement la tension U_{AB} des questions précédentes puisque d'après la partie précédente, un voltmètre idéal branchée sur le dipôle directement la f.é.m. $E_{eq} = -\frac{E \theta}{4\theta_0}$.

Pour déterminer sa résistance équivalente, on a vu qu'il fallait brancher un ohmmètre et donner la résistance équivalente entre les deux bornes de l'ohmmètre en remplaçant la

- fém par 0 (par un fil). Le dipôle est alors équivalent à l'association série des associations
- Q35 parallèles R_1/R_2 et R_3/R_4 soit : $R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}$.
- (b) Pour cette question, il faut utiliser le modèle équivalent et faire le schéma. Un pont
- Q36 diviseur de tension donne $U_{AB} = \frac{R_V}{R_V + R_{eq}} E_{eq}$.

C. Pont de Wheatstone

1. Les résistances R_y et λz sont en série, et de même pour R_x et $\lambda(L - z)$ d'où on se retrouve avec le même circuit que précédemment et il faut donc appliquer directement les résultats. On avait vu qu'il fallait $R_1 R_4 = R_2 R_3$ avec les notations précédentes. En adaptant les
- Q37 notations : $(R_y + \lambda z_1) \times R_2 = (R_x + \lambda(L - z_1)) R_1$ d'où $z_1 = \frac{R_1(R_x + \lambda L) - R_2 R_y}{\lambda(R_1 + R_2)}$.
2. Puisque l'on intervertit ensuite les résistors R_x et R_y , il suffit d'échanger R_x et R_y dans les calculs précédent, on trouve donc $z_2 = \frac{R_1(R_y + \lambda L) - R_2 R_x}{\lambda(R_1 + R_2)}$. On peut faire la différence $z_1 - z_2 =$
- Q38 $\frac{R_1(R_x + \lambda L) - R_2 R_y - R_1(R_y + \lambda L) + R_2 R_x}{\lambda(R_1 + R_2)} = \frac{R_1 R_x - R_2 R_y - R_1 R_y + R_2 R_x}{\lambda(R_1 + R_2)} = \frac{(R_1 + R_2)R_x - (R_1 + R_2)R_y}{\lambda(R_1 + R_2)} = \frac{R_x - R_y}{\lambda}$.
- Ainsi $z_1 - z_2$ donne accès à $R_x - R_y$ au facteur $1/\lambda$ près.
- Puisque $z_1 - z_2 < L$ alors la plus grande valeur de $R_x - R_y$ mesurable est λL .