

Les exercices qui suivent sont composés du QCM de 2022 et du problème de 2024 des tests de sélection pour les Terminales (équipe française des IPhO). Nous les traiterons/les avons traités pendant la séance de révisions et méthodologie.

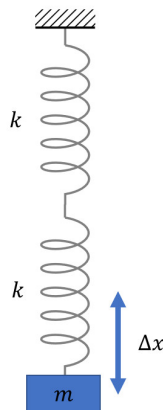
Partie A

Questionnaire à choix multiples

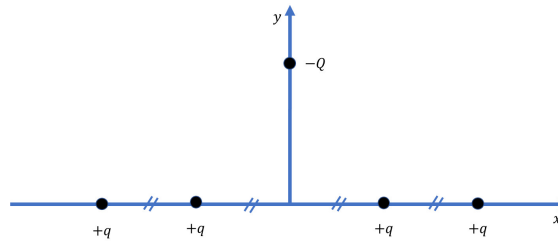
Durée conseillée : 1 heure.

*Pour chaque question, les candidats entoureront la réponse de leur choix sur le document réponse.
Il n'y a qu'une réponse correcte par question.*

- Q1.** On considère deux ressorts idéaux et sans masse, de constante de raideur k , qui sont attachés verticalement en série. À l'extrémité du deuxième ressort, on attache un bloc de masse m , ce qui conduit à l'allongement de l'ensemble des ressorts d'une longueur Δx .
Quelle serait la pulsation des oscillations du bloc de masse m ?

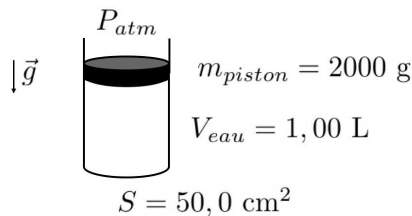


- (a) $\sqrt{\frac{2k}{m}}$; (c) $\sqrt{\frac{k}{2m}}$;
 (b) $\sqrt{\frac{k}{m}}$; (d) $2\pi\sqrt{\frac{k}{\Delta x}}$.
- Q2.** Deux récipients contiennent le même volume initial d'eau. On perce simultanément un trou de diamètre $d_1 = 4$ cm au fond du récipient 1 et deux trous de même diamètre $d_2 = 2$ cm au fond du récipient 2. On suppose que l'écoulement est parfait et que les deux récipients vont se vider totalement.
Que peut-on conclure ?
- (a) Le récipient 1 se vide deux fois plus vite que le récipient 2 ; (c) Les deux récipients seront vides au même instant ;
 (b) Le récipient 1 se vide deux fois moins vite que le récipient 2 ; (d) Cela dépend du volume initial d'eau.
- Q3.** Lors de l'arrivée d'un ouragan, la population est avertie par un signal sonore à la fréquence de 1200 Hz. On considère une personne immobile qui se situe à 1 km du point d'émission de ce signal sonore. Les vents soufflent à 55 m/s et se dirigent de la sirène vers la personne.
Quelle est la fréquence du signal sonore perçu par cette personne ?
On considère que le son se propage à la vitesse de 330 m/s.
- (a) 1200 Hz ; (c) 1000 Hz ;
 (b) 1400 Hz ; (d) 1030 Hz.
- Q4.** On considère la répartition de charges présentée sur la figure ci-dessous. Quatre particules ponctuelles portent une charge $+q > 0$ et sont disposées sur l'axe (Ox) . Une cinquième particule, de charge $-Q < 0$, est placée sur l'axe (Oy) .
Quelle est la direction de la force électrostatique totale qui est exercée par les 4 particules de charge $+q$ sur celle de charge $-Q$?



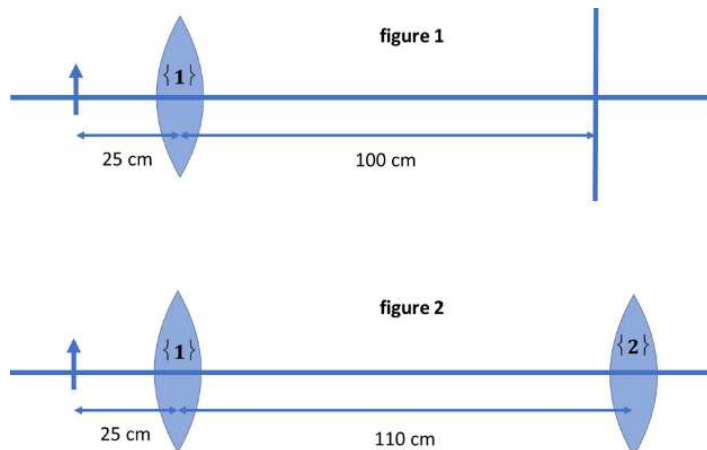
- (a) ↓; (c) ↑;
(b) →; (d) ←.

Q5. On dispose d'un récipient cylindrique de section S dans l'air, de pression $P_{atm} = 1,013 \cdot 10^5$ Pa, qui contient un volume d'eau V_{eau} (de masse volumique $\rho_{eau} = 1,00 \cdot 10^3$ kg.m⁻³) sur lequel repose un piston mobile verticalement sans frottement de masse m_{piston} . On suppose que l'eau est une phase incompressible et indilatable. Quelle est la pression P_{fond} dans le fond du récipient?



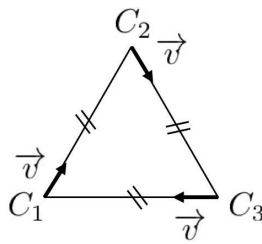
- (a) $P_{fond} = 1,01 \cdot 10^5$ Pa; (c) $P_{fond} = 1,05 \cdot 10^5$ Pa;
(b) $P_{fond} = 1,03 \cdot 10^5$ Pa; (d) $P_{fond} = 1,07 \cdot 10^5$ Pa.

Q6. On considère une lentille mince convergente notée {1}. L'image d'un objet situé à 25 cm de cette lentille se forme 100 cm après la lentille (figure 1). On rajoute une deuxième lentille mince convergente de focale $f' = 20$ cm (notée {2}), située à 110 cm de la première lentille (voir figure 2). Comment peut on caractériser l'image finale de l'objet, formée par l'association des deux lentilles ({1} et {2})?



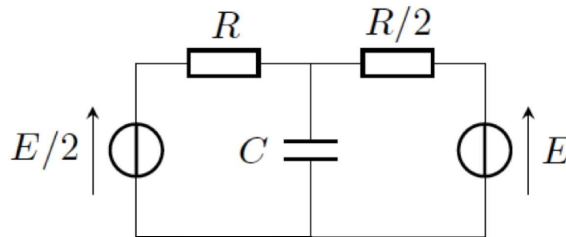
- (a) Elle est réelle et renversée par rapport à l'objet; (c) Elle est réelle et droite par rapport à l'objet;
(b) Elle est virtuelle et renversée par rapport à l'objet; (d) Elle est virtuelle et droite par rapport à l'objet.

Q7. Trois chiens qui courent à vitesse constante identique $v = ||\vec{v}||$ se poursuivent l'un l'autre : le premier chien C_1 court après vers le deuxième chien C_2 qui court après le troisième chien C_3 qui court aussi après le premier chien. À l'instant initial, les chiens sont à la distance D les uns des autres. Que peut-on dire de la longueur L parcourue par chaque chien quand ils se rattraperont?



- (a) L dépend de v ; (c) $L = \frac{2}{3}D$;
 (b) L ne dépend pas de D ; (d) Ils ne se rattraperont jamais.

- Q8.** On considère le circuit électrique suivant constitué de deux alimentations stabilisées de forces électromotrices E et $E/2$ de sens de branchement opposés respectivement en série avec chacun un résistor de résistances $R/2$ et R et reliés par un condensateur idéal de capacité C (voir schéma ci-dessous).
 Quelle est la puissance $\mathcal{P}$ dissipée par ce circuit électrique en régime stationnaire ?



- (a) Le circuit électrique ne dissipe pas de puissance.; (c) $\mathcal{P} = \frac{E^2}{6R}$;
 (b) $\mathcal{P} = \frac{3E^2}{2R}$; (d) $\mathcal{P}$ dépend de C .

- Q9.** Les particules α ou rayons α sont une forme de rayonnement émis par des noyaux instables de grande masse atomique. Elles sont constituées de deux protons et deux neutrons. On s'intéresse ici au bombardement d'un atome d'uranium ($Z = 92$) par une particule α d'énergie 5,6 MeV. La collision est frontale et l'énergie est conservée. La masse de l'atome d'uranium étant si importante devant celle de la particule α , on suppose que le noyau d'uranium reste immobile.
 En négligeant les effets du nuage électronique, à quelle distance minimale d la particule α peut-elle s'approcher du noyau de l'atome ?

- (a) $d \approx 5.10^{-14}$ m; (c) $d \approx 8.10^{-21}$ m;
 (b) $d \approx 5.10^{-10}$ m; (d) $d \approx 8.10^{-10}$ m.

- Q10.** Le Grand collisionneur de hadrons (LHC) est le plus puissant accélérateur de particules jamais construit. Il accélère des protons à une vitesse proche de celle de la lumière. Il consiste en un anneau de 27 kilomètres de circonférence composé essentiellement d'aimants supraconducteurs et équipé de structures accélératrices qui augmentent l'énergie des particules qui y circulent. Les faisceaux de protons circulent en sens inverse dans l'anneau. Chaque proton du faisceau a une énergie d'environ 7 TeV. Chaque faisceau contient environ 2800 paquets de protons et chaque paquet de protons contient environ $1,2 \cdot 10^{11}$ protons.
 Quelle est l'intensité du courant électrique du faisceau de protons ?

- (a) 5.10^{-9} A; (c) 0,6 A;
 (b) 5.10^{-12} A; (d) 6.10^2 A.

- Q11.** De larges cratères présents à la surface terrestre ont été formés par des impacts de météorites. Le diamètre D d'un cratère dépend de l'énergie cinétique de la météorite E , de la densité ρ de la croûte terrestre et de l'accélération de pesanteur g (la matière étant éjectée). On admet que D s'écrit sous la forme $D = E^\alpha \rho^\beta g^\gamma$.
 Le cratère Barringer, situé en Arizona, a été formé par l'impact d'une météorite il y a environ 50 000 ans. La

collision a dégagé une énergie considérable et a éjecté du sol 175 millions de tonnes de roche. Le diamètre de ce cratère est d'environ 1200 m, la densité de la roche d'environ 3000 kg.m^{-3} et la vitesse d'impact estimée à 15 km/s.

À partir du raisonnement par analyse dimensionnelle proposé, à combien estime-t-on la masse de la météorite qui a provoqué la formation de ce cratère ?

- (a) 4,7 kg; (c) $5,4 \cdot 10^{14} \text{ kg}$;
(b) $4,7 \cdot 10^6 \text{ kg}$; (d) $5,4 \cdot 10^8 \text{ kg}$.

Q12. On embarque deux cellules terrestres à bord d'un vaisseau spatial à destination du Soleil. Le vaisseau se déplace dans le référentiel héliocentrique à une vitesse de $0,850 c$. Le temps de doublement du nombre de cellules est de 10,0 s dans le référentiel propre des cellules.

Combien y aura-t-il de cellules quand la navette arrivera au niveau du Soleil ?

On rappelle que la distance Terre-Soleil est égale à $1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$.

- (a) $\approx 6 \cdot 10^{17}$; (c) $\approx 2 \cdot 10^9$;
(b) $\approx 1 \cdot 10^{18}$; (d) $\approx 3 \cdot 10^8$.

Q13. On fait l'hypothèse que le rayonnement solaire est isotrope. La puissance surfacique du rayonnement solaire au niveau de la Terre est supposée égale à $1,4 \text{ kW/m}^2$.

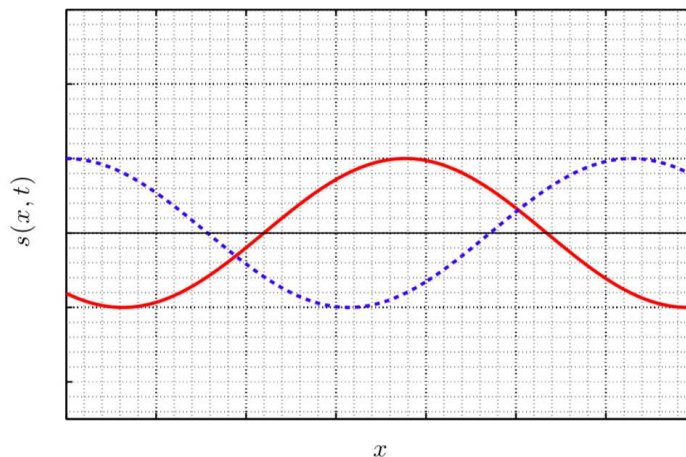
Quelle masse le Soleil perd-il chaque jour en raison de son rayonnement ?

On rappelle que la distance Terre-Soleil est égale à $1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$.

- (a) $9,5 \cdot 10^{13} \text{ kg}$; (c) $3,8 \cdot 10^{14} \text{ kg}$;
(b) $9,5 \cdot 10^{10} \text{ kg}$; (d) $3,8 \cdot 10^{11} \text{ kg}$.

Q14. On donne la représentation graphique d'une onde sinusoïdale $s(x, t)$ en fonction de l'espace x à l'instant t_1 (en trait continu) et à un instant ultérieur $t_2 > t_1$ (en pointillés).

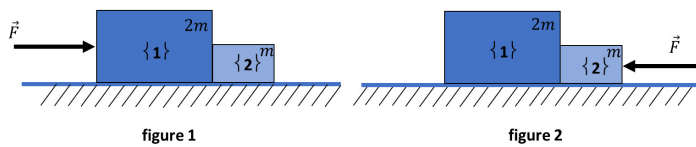
Quelle est l'unique proposition correcte ?



- (a) L'onde est progressive vers les x croissants; (c) L'onde est stationnaire;
(b) L'onde est progressive vers les x décroissants; (d) On ne peut pas conclure.

Q15. On considère deux blocs de masses respectives $2m$ (noté bloc {1}) et m (noté bloc {2}), qui sont en contact. Ils sont placés sur une surface plane et horizontale. On considère que les forces de frottement entre ces blocs et la surface sont négligeables. On exerce une force extérieure $\vec{F}$ (de norme notée F) sur ces blocs, suivant deux configurations présentées sur la figure ci-dessous.

Quelle est la norme (notée F_{12}) de la force exercée par le bloc {1} sur le bloc {2} dans chacune des deux configurations ?



- (a) $F_{12} = \frac{F}{3}$ (fig. 1) et $F_{12} = \frac{F}{3}$ (fig. 2);
- (b) $F_{12} = \frac{F}{3}$ (fig. 1) et $F_{12} = \frac{2F}{3}$ (fig. 2);
- (c) $F_{12} = \frac{2F}{3}$ (fig. 1) et $F_{12} = \frac{F}{3}$ (fig. 2);
- (d) $F_{12} = \frac{2F}{3}$ (fig. 1) et $F_{12} = \frac{2F}{3}$ (fig. 2).

Fin de la partie A

Nom :

Téléphone :

Prénom :

Lycée :



Partie A

QCM — document réponse

Durée conseillée : 1 heure.

Pour chaque question, les candidats **entoureront** la réponse de leur choix sur ce document.
Il n'y a qu'une réponse correcte par question.

Q1. (a) (b) (c) (d)

Q2. (a) (b) (c) (d)

Q3. (a) (b) (c) (d)

Q4. (a) (b) (c) (d)

Q5. (a) (b) (c) (d)

Q6. (a) (b) (c) (d)

Q7. (a) (b) (c) (d)

Q8. (a) (b) (c) (d)

Q9. (a) (b) (c) (d)

Q10. (a) (b) (c) (d)

Q11. (a) (b) (c) (d)

Q12. (a) (b) (c) (d)

Q13. (a) (b) (c) (d)

Q14. (a) (b) (c) (d)

Q15. (a) (b) (c) (d)

Fin de la partie A

Partie D

Problème 1

Le secret de la longévité des sondes Voyager

Durée conseillée : 1 heure.

Voyager 1 et Voyager 2 sont les deux sondes jumelles du programme *Voyager* de l'agence spatiale américaine (NASA). Lancées en 1977, elles ont permis d'explorer de près les géantes gazeuses et leur lunes avant de s'aventurer aux confins du système solaire, qu'elles quittent en 2012. Aujourd'hui, plus de 46 ans après leur lancement, à 24 milliards de km de la Terre, elles continuent¹ de nous envoyer de précieuses informations sur le milieu interstellaire. Ce record de longévité n'aurait pas été possible sans les générateurs thermoélectriques à radioisotope (GTR) qui n'ont jamais cessé d'alimenter les appareils de mesure et de navigation des sondes.

Les sondes *Voyager* embarquent trois GTR (figure 1). Contenu dans une coque cylindrique en béryllium de 50,8 cm de long et de 40,6 cm de diamètre, chaque GTR est constitué d'une source de chaleur à radioisotope et d'un générateur thermoélectrique :

- La source de chaleur est un cylindre confinant 24 sphères de combustible (1) contenant du plutonium 238, puissant émetteur de rayonnement α , sous la forme de dioxyde de plutonium $^{238}\text{PuO}_2$. La chaleur produite par les désintégrations radioactives du plutonium porte la température de la paroi extérieure (2) de l'enceinte de confinement à environ 1000 °C au moment du lancement de la sonde.
- Le générateur thermoélectrique contient 312 thermocouples (3) qui, par effet Seebeck, convertissent en électricité une partie de l'énergie thermique transférée depuis la source de chaleur (4) vers le radiateur (5) maintenu à environ 300 °C, la chaleur excédentaire étant utilisée pour réchauffer la sonde et lui permettre de fonctionner dans le froid de l'espace.

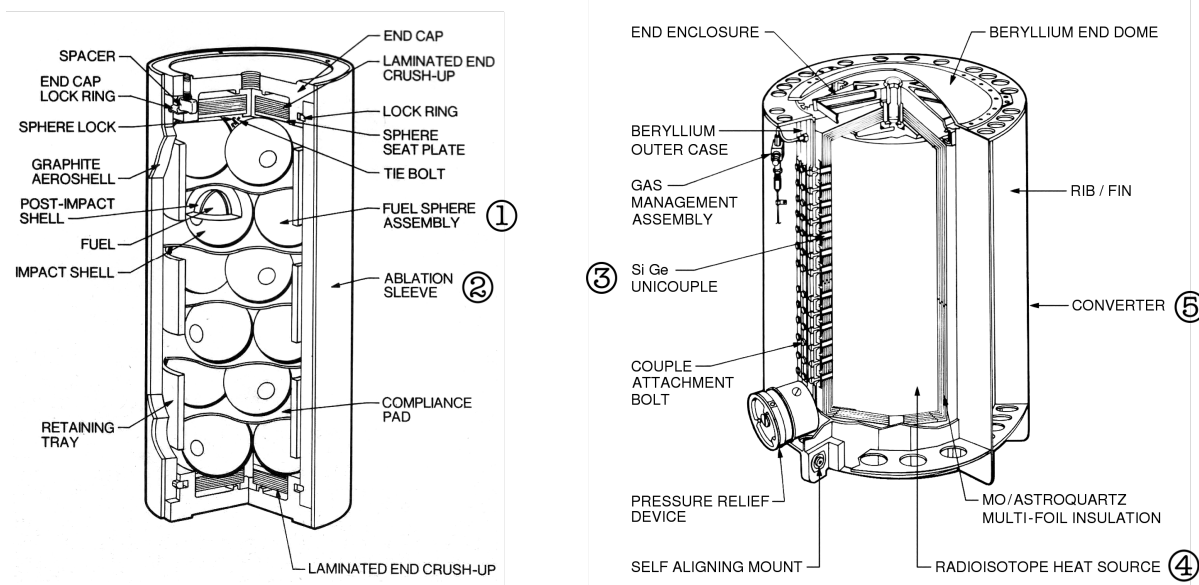


FIGURE 1 – Schémas en coupe de la source de chaleur (gauche) et du générateur thermoélectrique (droite) d'un GTR de la sonde *Voyager*. Source : Raymond L. Heacock, "The Voyager Spacecraft" (1980). *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*. Volume 194

1. Depuis décembre 2023, l'un des ordinateurs de la sonde *Voyager 1* qui commande les instruments scientifiques ne répond plus correctement. La NASA travaille encore actuellement à résoudre ce problème.

Les deux premières parties de ce problème sont indépendantes et se consacrent à l'étude de la source de chaleur à radioisotope et du générateur thermoélectrique des GTR équipant les sondes Voyager. L'objectif de la dernière partie est d'estimer la durée de vie de la mission à partir des spécifications techniques présentées ci-dessus.

1 Étude de la source de chaleur à radioisotope

Dans cette partie, on modélise la puissance thermique $\mathcal{P}_{\text{th}}(t)$ libérée par une sphère de combustible nucléaire à l'instant t . Au lancement de la sonde, pris comme origine des temps $t = 0$, chaque sphère contient $m_0 = 176 \text{ g}$ de noyaux de plutonium 238.

On note $N(t)$ le nombre de noyaux de plutonium 238 dans une sphère de combustible à l'instant t et $A(t)$ l'activité radioactive de la sphère. On rappelle que, la radioactivité étant un phénomène aléatoire et sans mémoire,

$$A(t) = -\frac{dN}{dt} = \lambda N(t) \quad \text{avec} \quad \lambda = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}},$$

où $t_{1/2} = 87,74 \text{ ans}$ est la période radioactive (ou demi-vie) du plutonium 238.

Q1. Exprimer le nombre N_0 de noyaux de plutonium 238 au lancement de la sonde en fonction de m_0 et de la masse $m(^{238}\text{Pu})$ d'un noyau de plutonium 238.

Q2. Résoudre l'équation différentielle vérifiée par N pour exprimer $N(t)$ en fonction de N_0 et λ .

L'enveloppe extérieure d'une sphère étant conçue pour absorber l'énergie cinétique des particules α , on considère que l'intégralité de l'énergie libérée par la désintégration du plutonium 238 est convertie en énergie d'agitation thermique.

Q3. Écrire l'équation de la réaction de désintégration radioactive du plutonium 238 ($Z(\text{Pu}) = 94$), sachant qu'elle produit de l'uranium ($Z(\text{U}) = 92$) par désintégration α .

Q4. Calculer le défaut de masse Δm de la réaction, puis en déduire la valeur de l'énergie $\mathcal{E}$ libérée par la désintégration d'un noyau de plutonium 238. Données utiles :

- célérité de la lumière : $c = 299\,792\,458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- unité de masse atomique : $u = 1,660\,538\,921 \times 10^{-27} \text{ kg}$
- masse d'un noyau de plutonium 238 : $m(^{238}\text{Pu}) = 238,049\,558 \text{ u}$
- masse d'un noyau d'uranium 234 : $m(^{234}\text{U}) = 234,040\,950 \text{ u}$
- masse d'une particule α : $m(\alpha) = 4,002\,603 \text{ u}$

Nom :

Téléphone :

Prénom :

Lycée :



Q 5. Exprimer la quantité infinitésimale d'énergie thermique δQ libérée par la sphère entre l'instant t et $t + dt$ en fonction de $\mathcal{E}$ et de la quantité infinitésimale $dN = N(t + dt) - N(t)$, puis montrer que

$$\mathcal{P}_{\text{th}}(t) = \mathcal{E} A(t).$$

Q 6. Exprimer puis calculer la puissance thermique $\mathcal{P}_{\text{th},0}$ libérée par une sphère au lancement de la sonde.

Q7. Exprimer la puissance thermique $\mathcal{P}_{\text{th}}(t)$ en fonction de t , $\mathcal{P}_{\text{th},0}$ et λ .

2 Étude du générateur thermoélectrique

Dans cette partie, on propose une modélisation électrique des générateurs équipant les sondes *Voyager* afin d'estimer la puissance électrique produite par l'ensemble des trois GTR à l'instant du décollage.

Les thermocouples équipant les GTR (figure 2), appelés par la suite « modules Seebeck », sont constitués de deux barreaux de matériaux semi-conducteurs (alliages silicium-germanium SiGe) :

- l'un dopé P et noté p-SiGe, dans lequel les porteurs de charge sont positifs ;
- l'autre dopé N et noté n-SiGe, dans lequel les porteurs de charge sont négatifs.

Ils sont placés entre la source de chaleur à radioisotope (source chaude de température T_c) et le radiateur (source froide de température T_f) et sont reliés par des conducteurs métalliques parfaits de résistance électrique considérée comme nulle (en vert sur la figure 2). Les transferts thermiques entre la source chaude et la source froide provoquent le déplacement des porteurs de charge dans les barreaux à l'origine d'un courant électrique d'intensité I à travers le module.

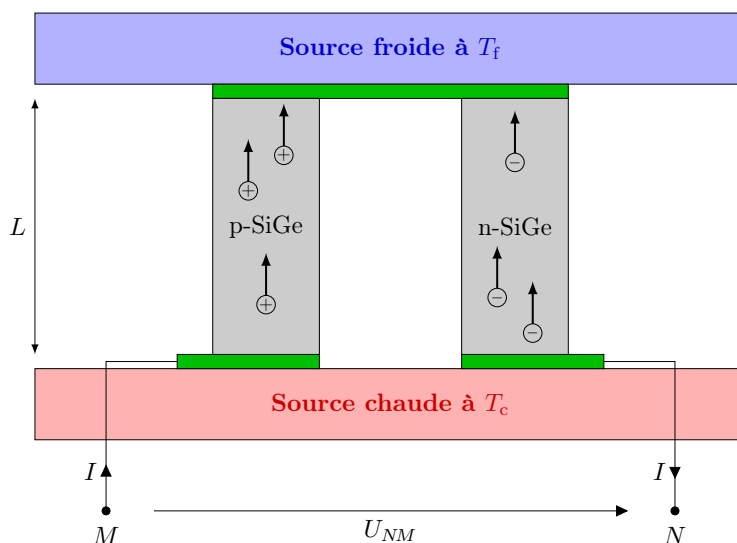


FIGURE 2 – Schéma de principe d'un module Seebeck

Entre les points M et N , on modélise un module Seebeck par un générateur de Thévenin (figure 3) associant en série une source idéale de tension E et un conducteur ohmique de résistance r .

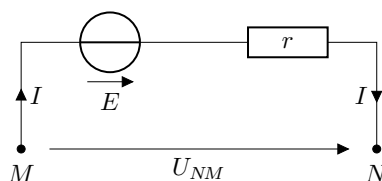


FIGURE 3 – Modèle électrique d'un module Seebeck

Nom :

Téléphone :

Prénom :

Lycée :

Les caractéristiques de ce générateur s'expriment par les relations

$$E = (\varepsilon_p - \varepsilon_n) (T_c - T_f) \quad \text{et} \quad r = (\rho_n + \rho_p) \frac{L}{S},$$

où :

- $\rho_p = 2,4 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ et $\rho_n = 2,1 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ sont les résistivités électriques de p-SiGe et n-SiGe ;
- $\varepsilon_p = 210 \mu\text{V} \cdot \text{K}^{-1}$ et $\varepsilon_n = -250 \mu\text{V} \cdot \text{K}^{-1}$ sont les coefficients Seebeck de p-SiGe et n-SiGe ;
- $L = 20,3 \text{ mm}$ est la longueur des barreaux ;
- $S = 2,74 \text{ mm} \times 6,50 \text{ mm}$ est la section des barreaux ;
- T_c et T_f sont les températures des sources chaude et froide estimées au décollage à 1275 K et 575 K.

Sources :

- G. L. Bennett, C. W. Whitmore et W. R. Amos, "On the Development of the Power Sources for the Ulysses and Galileo Missions" (1989). *Proceedings of the European Space Power Conference*. Volume 1.
- Thomson Daniel, "Thermoelectric Properties of Silicon Germanium : An In-depth Study to the Reduction of Lattice Thermal Conductivity" (2012). *All Dissertations*. Paper 984.

Q8. Vérifier l'homogénéité des expressions de E et de r .

Q9. Calculer E et r .

Dans les générateurs thermoélectriques des sondes *Voyager*, 2×156 modules Seebeck identiques sont associés selon un câblage série/parallèle, dont le schéma électrique équivalent est représenté sur la figure 4.

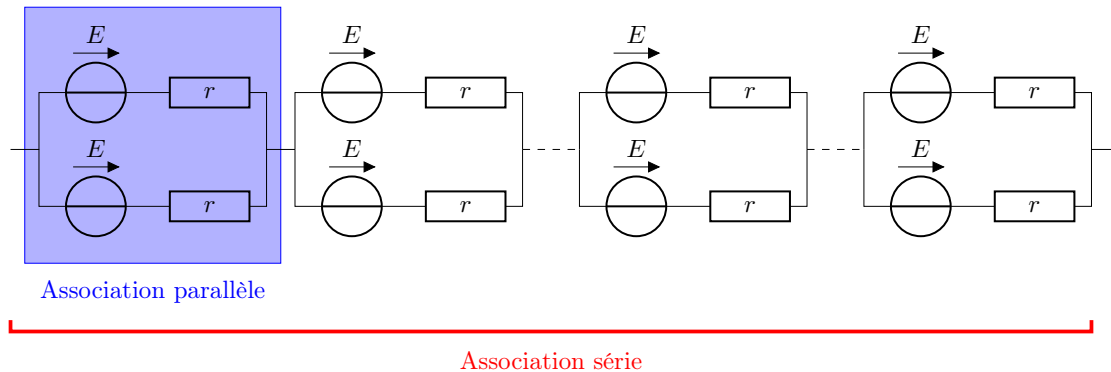
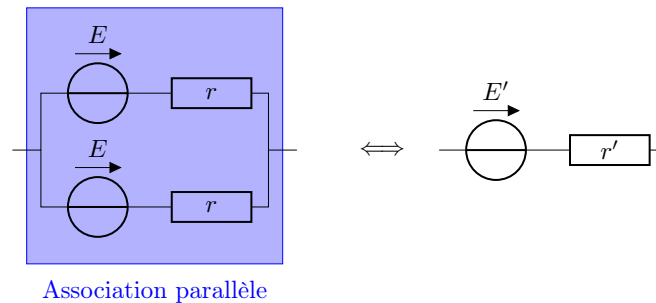


FIGURE 4 – Modèle électrique de l'association des modules Seebeck dans un GTR des sondes *Voyager*

Q 10. Montrer que l'association parallèle de deux générateurs de Thévenin identiques de tension E et de résistance r est équivalente à un unique générateur de Thévenin de tension E' et de résistance r' telles que

$$E' = E \quad \text{et} \quad r' = \frac{r}{2}.$$



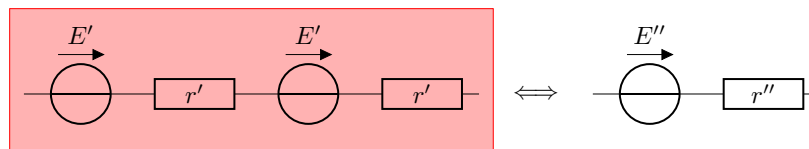
Nom :

Téléphone :

Prénom :

Lycée :

Q 11. Montrer que l'association série de deux générateurs de Thévenin identiques de tension E' et de résistance r' est équivalente à un unique générateur de Thévenin de tension E'' et de résistance r'' qu'on exprimera en fonction de E' et r' .



Association série

Q 12. En déduire que l'association globale des 2×156 modules Seebeck dans un générateur thermoélectrique des sondes *Voyager* peut être modélisé par un unique générateur de Thévenin de tension E_G et de résistance r_G qu'on exprimera en fonction de E et r .

Nom :

Téléphone :

Prénom :

Lycée :

Q 13. Calculer E_G et r_G .

Q 14. Expliquer l'intérêt d'associer les modules Seebeck de la façon représentée sur la figure 4. Pourquoi n'ont-ils pas été associés simplement en série ?

On assimile les instruments de commande et de mesure des sondes à un conducteur ohmique de résistance R appelé « résistance de charge ». Le circuit électrique modélisant les transferts de puissance entre les trois générateurs thermoélectriques et les instruments embarqués est représenté sur la figure 5 avec $E_{eq} = E_G$ et $r_{eq} = r_G/3$.

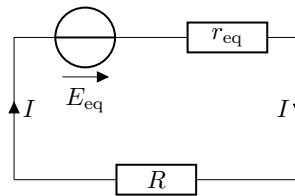


FIGURE 5 – Modèle du circuit électrique des sondes *Voyager*

Q 15. Exprimer l'intensité I en fonction de E_{eq} , r_{eq} et R .

Nom :

Téléphone :

Prénom :

Lycée :



Q 16. Rappeler l'expression de la puissance dissipée par effet Joule dans un composant de résistance R traversé par un courant d'intensité I . En déduire l'expression de la puissance électrique $\mathcal{P}_{\text{elec}}$ disponible pour les instruments en fonction de E_{eq} , r_{eq} et R .

Q 17. En admettant que la puissance électrique disponible pour les instruments est maximale quand $R = r_{\text{eq}}$, exprimer sa valeur maximale $\mathcal{P}_{\text{max}}$ en fonction de E_{eq} et r_{eq} .

Q 18. Calculer $\mathcal{P}_{\text{max}}$. Comparer cette valeur avec les 470 W obtenus au décollage des sondes *Voyager* (Source : Raymond L. Heacock, "The Voyager Spacecraft" (1980). *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*. Volume 194).

3 Durée de la mission *Voyager*

Pour estimer la durée de la mission *Voyager*, il est nécessaire de modéliser dans le temps la puissance électrique disponible pour les instruments de bord.

Les sondes *Voyager* embarquant avec elles un régulateur de puissance, on admet que la puissance électrique $\mathcal{P}(t)$ disponible est toujours proportionnelle au carré de la tension à vide E_{eq} développée par les trois générateurs thermoélectriques (2). Cette tension est proportionnelle à l'écart de température entre la source de chaleur et le radiateur, lui-même proportionnel à la puissance thermique $\mathcal{P}_{\text{th}}(t)$ produite par les sphères de combustible nucléaire (1). L'instant $t = 0$ est choisi au lancement des sondes et on prend $\mathcal{P}(t = 0) = \mathcal{P}_0 = 470 \text{ W}$.

Nom :

Téléphone :

Prénom :

Lycée :



Q 19. Montrer que l'expression de la puissance électrique $\mathcal{P}(t)$ disponible à l'instant t est

$$\mathcal{P}(t) = \mathcal{P}_0 e^{-2\lambda t}.$$

Q 20. On estime que la puissance minimale nécessaire à l'envoi d'informations depuis les sondes jusqu'à la Terre est de 185 W. En quelle année perdrons-nous définitivement le contact avec les sondes *Voyager* ?

Même si nous ne pourrions plus communiquer avec elles, la mission des sondes *Voyager* ne s'arrêtera pas cette année-là. En effet, elles transportent une sorte de bouteille à la mer interstellaire destinée à communiquer l'histoire de l'humanité à d'éventuelles formes de vie extraterrestres. Ce message est gravé sur un disque d'or et contient des sons et des images sélectionnés pour représenter la diversité de la vie et de la culture sur Terre. La NASA estime que le disque (et les sondes elles-mêmes) survivront plus longtemps que la Terre et le Soleil.

Fin de la partie D