

DEVOIR N° 0

Pour bien préparer l'année en PC*

Exercice 1.

D'un point de vue optique, un microscope est constitué d'un objectif et d'un oculaire que l'on assimile à des lentilles minces convergentes (L_1) et (L_2) de même axe optique et de focales $f'_1 = 0,4$ cm et $f'_2 = 2,5$ cm. On note $\Delta = \overline{F'_1 F'_2} = 16$ cm l'intervalle optique.

1. Déterminer la position sur l'axe optique d'un objet AB que l'œil voit nettement sans accommoder.
2. Pour cette position de l'objet, réaliser une construction à l'échelle du parcours d'au moins deux rayons lumineux issus de B .

Commercialement, on définit le grossissement d'un instrument d'observation de petits objets par $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ où

- α' désigne l'angle sous lequel on aperçoit l'image à l'infini de l'objet ;
- α désigne l'angle sous lequel on apercevrait à l'œil nu cet objet placé au punctum proximum distant de $\delta = 25$ cm.

Les constructeurs de microscope indiquent généralement sur l'appareil le grandissement associé à l'objectif (par exemple $\times 100$, $\times 50$) et le grossissement associé à l'oculaire (par exemple $\times 10$, $\times 20$).

3. Que vaut ici le grandissement associé à l'objectif γ_{obj} ?
4. Que vaut ici le grossissement associé à l'oculaire G_{pc} ?
5. Quel est le grossissement du microscope dans son ensemble ?
6. Dans cette question, on suppose que l'observateur place son œil en F'_2 et qu'il peut accommoder à volonté. Déterminer la latitude de mise au point, c'est à dire l'extension sur l'axe optique de l'ensemble des points A qu'il peut voir nettement. Commenter.
7. La monture circulaire de l'objectif présente un diamètre $D = 7$ mm. On appelle cercle oculaire l'image de cette monture à travers l'oculaire. Déterminer sa position et son diamètre. Quel est l'intérêt de placer l'œil sur ce cercle pour observer dans le microscope ?

Exercice 2.

Un anneau de masse M et de rayon a , contenu dans un plan vertical, repose sur une table. Deux perles de même masse m , initialement situées au sommet de cet anneau, couissent sans frottement sur son périmètre sous l'effet de la gravité, symétriquement l'une de l'autre par rapport à la verticale. On repère leur mouvement par l'angle θ représenté sur la figure 1.

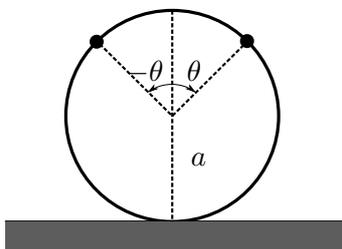


FIGURE 1

1. Trouver, en fonction de g , a et θ , l'expression de la vitesse angulaire $\dot{\theta}$ des perles lorsqu'elles ont atteint la position repérée par l'angle θ .
2. Exprimer, en fonction de m , g et θ , les forces de réaction \vec{F}_d et \vec{F}_g exercées par l'anneau sur la perle située à droite et sur celle située à gauche respectivement.
3. Ici, les perles sont enfilées sur l'anneau, ce qui leur interdit de le quitter. S'il s'agissait de billes *glissant sur l'anneau*, pour quelle valeur de θ le quitteraient-elles ?
4. Pendant ce mouvement, l'anneau reste immobile. Donner l'expression de la réaction R exercée par la table sur l'anneau.

5. Justifier que l'anneau peut décoller et trouver le rapport m/M minimal pour que cela arrive.

Exercice 3.

Une corde homogène inextensible de longueur ℓ , de masse m et de masse linéique $\mu = m/\ell$ repose en partie sur une table alors que l'autre partie pend verticalement dans le vide jusqu'à la cote z_0 (figure 2). Ayant été ainsi disposée, elle est abandonnée sans vitesse initiale.

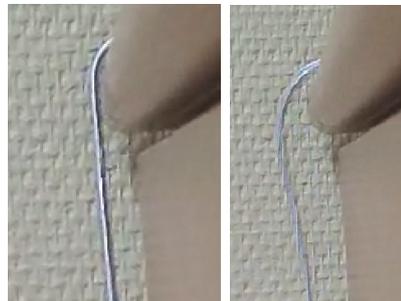
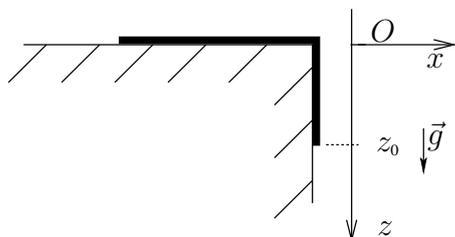


FIGURE 2 – À gauche : modèle de la corde glissant sur le rebord d'une table. À droite : photos montrant le décoller. Sur la première, $t < t_{\text{dec}}$ et sur la seconde, $t > t_{\text{dec}}$.

1. On repère la position de la corde par la cote $z(t)$ de son point le plus bas. Expliquer pourquoi tous les points de la corde ont, en norme, la même vitesse, puis exprimer son énergie cinétique.
2. On prend l'origine des énergies potentielles à la hauteur du point O . Quelle est la cote z_{G1} de la partie verticale de la corde ? Exprimer son énergie potentielle de pesanteur.
3. On suppose pour l'instant que la corde glisse sans frottement. Trouver une équation différentielle du second ordre régissant l'évolution de $z(t)$.
4. Déterminer la loi horaire $t \mapsto z(t)$ de la glissade de la corde.
5. On suppose désormais que la corde glisse sur la table avec un coefficient de frottement statique μ_s . On admet aussi que le bord légèrement arrondi de la table agit comme une poulie idéale et transmet parfaitement la force de tension dans la corde : la tension à l'extrémité droite de la partie horizontale est égale à la tension à l'extrémité supérieure de la partie verticale. Montrer que la corde, abandonnée à la cote z_0 , restera immobile si $z_0 \leq z_{\text{lim}}$ et donner l'expression de z_{lim} . Pour répondre à cette question, il convient de raisonner séparément sur la partie verticale de la corde d'une part,
6. Pour $\ell = 49,5$ cm, on mesure $z_{\text{lim}} = 11,5$ cm. Calculer μ_s .
7. On suppose dorénavant $z_0 > z_{\text{lim}}$ de sorte que la corde se met à glisser et on note μ_d le coefficient de frottement dynamique. En raisonnant à nouveau sur les deux parties de corde et en supposant toujours le rebord idéal, déterminer l'équation différentielle dont $z(t)$ est solution. puis sur sa partie horizontale d'autre part. On écrira la loi de Newton sous la forme $M\vec{a} = \Sigma \vec{F}_{\text{ext}}$.
8. Retrouver cette équation par un raisonnement énergétique.
9. Déterminer la loi horaire $t \mapsto z(t)$ de la glissade de la corde.
10. On raisonne dans cette question et la suivante sur le système formé de la corde entière. Exprimer sa quantité de mouvement $\vec{p}(t)$ à l'instant t .
11. Déterminer en projection sur la base (\vec{e}_x, \vec{e}_z) la réaction $\vec{R} = R_x \vec{e}_x + R_z \vec{e}_z$ exercée par le coin de la table sur la corde, en fonction de $\mu = m/\ell$, g , z , \dot{z} et \ddot{z} . Vérifier que $|R_z| = R_x$.
12. Trouver l'expression de \dot{z}^2 en fonction de z , z_0 et d'autres paramètres du problème.

L'élimination de \dot{z} et de \ddot{z} dans les résultats précédents conduit à l'expression

$$R_x = -R_z = \mu g \left[z(1 + 3\mu_d) + (1 + \mu_d) \frac{z_0^2}{\ell} - 2 \frac{z^2}{\ell} (1 + \mu_d) - 2\mu_g z_0 \right] .$$

13. Le modèle étudié ici suppose implicitement que toute la partie de la corde qui a quitté la table suit une droite verticale à l'aplomb du rebord de la table. Cependant, une analyse vidéo révèle que cette description est erronée au bout d'un certain temps. À un instant t_{dec} , la corde se décolle du rebord et sa partie pendante n'est plus verticale (observer les photographies de la figure 2). À partir des expressions précédentes, trouver l'expression de $z_{\text{dec}} = z(t_{\text{dec}})$.

14. Pour une chaîne de masse $m = 100$ g et de longueur $\ell = 49,5$ cm, le mouvement est bien reproduit par le modèle si on prend $\mu_d = 0,33$. Calculer numériquement z_{dec} . Pour information, on a mesuré $z_{\text{dec}} = 33$ cm avec une incertitude de 3 cm.

Le modèle développé ici paraît assez satisfaisant mais, pour reproduire les résultats expérimentaux, on doit prendre $\mu_d > \mu_s$, ce qui n'a pas lieu d'être. En réalité, l'hypothèse de rebord idéal est incorrecte et il faudrait étudier les frottements dans la partie de corde qui épouse la forme du rebord.

Exercice 4.

1. On désire réaliser un système électronique linéaire réalisant une fonction retard, c'est à dire telle que l'entrée e et la sortie s soient en régime permanent liées par une relation du type

$$s(t) = e(t - \tau)$$

où τ est le retard, valeur fixée indépendante de la fréquence. En exprimant cette relation en notation complexe, trouver la fonction de transfert $\underline{F}(j\omega)$ de ce système. Tracer le diagramme de Bode.

2. En supposant $\omega\tau \ll 1$, effectuer un développement limité à l'ordre 2 de $\underline{F}(j\omega)$.

3. Pour réaliser cette fonction, on utilise le dispositif schématisé sur la figure 3. La résistance R représente la charge (le dipôle d'utilisation) sur laquelle le retardateur est branché. Déterminer la fonction de transfert \underline{H} de ce système. De quel type de filtre s'agit-il ?

4. En se plaçant dans la limite des basses pulsations, effectuer un développement au second ordre de \underline{H} en puissances de ω .

5. Montrer que si l'on choisit convenablement R , ce filtre réalise de manière approchée le retardateur envisagé dans la première question. Que vaut alors τ ?

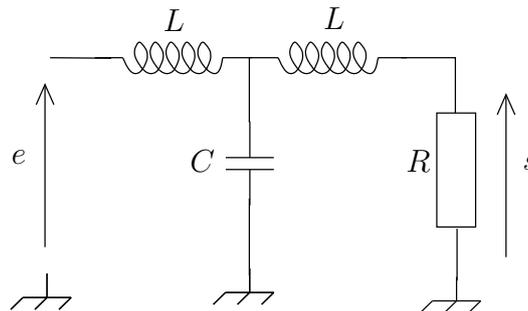


FIGURE 3

Exercice 5.

Un hémisphère de masse M de rayon R est posé sur un plan horizontal. À son sommet, on a pratiqué un petit orifice qui le fait communiquer avec l'air ambiant de pression P_0 et par lequel on introduit très progressivement de l'eau de masse volumique ρ jusqu'à une hauteur h qui s'élève peu à peu (figure 4).

1. Exprimer la pression de l'eau en un point de la surface repéré par sa colatitude θ .
2. Exprimer en fonction de ρ , g et h la résultante des forces de pression que l'eau et l'air ambiant exercent sur l'hémisphère.
3. Trouver la hauteur h pour laquelle l'hémisphère se décolle du support.

Exercice 6.

On suppose l'atmosphère en équilibre à la température uniforme $T = 270$, K et on la traite comme un gaz parfait diatomique de masse molaire $M = 29$ g.mol⁻¹. Établir l'expression de la pression et de la masse volumique en fonction de l'altitude en notant P_0 et ρ_0 leurs valeurs au niveau du sol. À quelle altitude la pression est-elle divisée par 2 par rapport à la valeur au sol ?

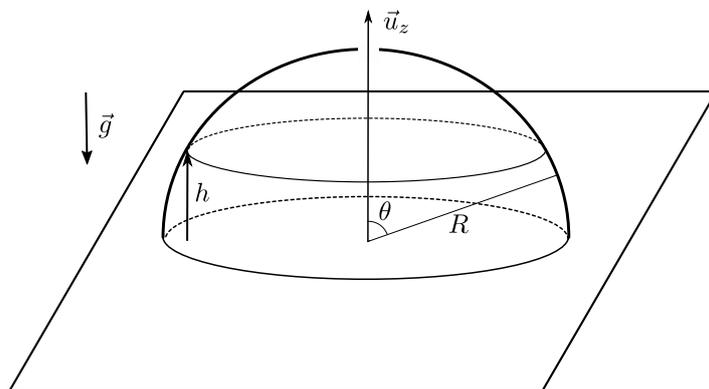


FIGURE 4

Exercice 7.

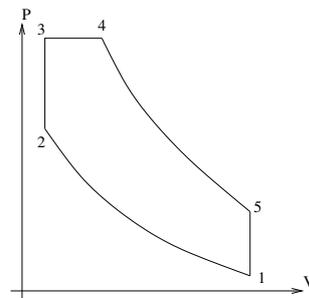
Soit une pompe à chaleur cyclique destinée à chauffer une maison de température constante égale à 20°C en exploitant l'air extérieur de température égale à 10°C . Majorer son efficacité et la comparer à celle d'une machine commerciale (à rechercher en ligne). Commenter l'écart des deux valeurs.

Exercice 8.

On modélise les transformations de l'air dans un moteur à explosion par un cycle de Sabathe (figure ci-contre). Les étapes $1 \rightarrow 2$ et $4 \rightarrow 5$, adiabatiques et réversibles, correspondent aux mouvements du piston. La combustion de l'essence s'effectue pendant les étapes $2 \rightarrow 3$ et $3 \rightarrow 4$. On note $a = V_1/V_2$ le rapport volumétrique de compression, $b = P_3/P_2$ la surpression et $s = V_4/V_3$ le rapport de surchauffe. L'air est assimilé à un gaz parfait diatomique.

1. On rappelle que l'entropie d'un gaz parfait s'exprime à une constante près par

$$S = nC_{vm} \ln T + nR \ln V \quad S = nC_{pm} \ln T - nR \ln P \quad .$$



Représenter ce cycle dans un diagramme ayant l'entropie S en abscisse et la température T en ordonnée.

2. Exprimer le rendement en fonction des températures T_i ($i \in \{1..5\}$), puis en fonction de a , b , r et γ .
3. Application numérique : $a = 9$, $b = 2,5$, $s = 1,5$. Comparer le rendement à la valeur maximale théorique pour un cycle ditherme dont la source froide et la source chaude posséderaient respectivement les températures minimales et maximales de l'air dans le cycle de Sabathe.

Exercice 9.

À pression ambiante, un récipient calorifugé contient 1kg l'eau liquide à une température T_0 inférieure à sa température de fusion $T_f = 273\text{ K}$.

1. Comment s'appelle ce phénomène ?
2. Par un léger choc, on provoque le passage d'une partie (ou de toute) l'eau liquide à l'état de glace. Quelle doit être T_0 pour que dans l'état final, 50 % de l'eau soit solidifiée ? À quelle condition peut-elle se solidifier entièrement ?
3. Dans le cas où l'eau se solidifie entièrement, exprimer la température finale T_1 en fonction de T_0 , c_ℓ , c_g et l_f . Calculer T_1 pour $T_0 = -100^\circ\text{C}$.

Données : enthalpie de fusion de l'eau $l_f = 330\text{ kJ.kg}^{-1}$, capacité calorifique de l'eau liquide $c_\ell = 4,18\text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, capacité calorifique de la glace : $c_g = 2,09\text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Exercice 10.

L'espace est divisé en deux régions par le plan d'équation $y = 0$. L'une d'elles ($y > 0$) est le siège d'un champ magnétique $\vec{B}_1 = B_1 \vec{u}_z$, l'autre ($y < 0$) d'un champ magnétique $\vec{B}_2 = B_2 \vec{u}_z$, avec $B_2 > B_1 > 0$. À $t = 0$, un électron de masse m et de charge $-e$ est émis depuis l'origine des coordonnées avec un vecteur vitesse $\vec{v}_0 = v_0 \vec{u}_y$ ($v_0 > 0$) et pénètre dans la région où règne \vec{B}_1 .

- a) Quel est le mouvement de l'électron durant les premiers instants? Le représenter par un dessin et démontrer l'expression d'une longueur caractérisant la trajectoire.
- b) À quelle date l'électron pénètre-t-il dans la région où règne \vec{B}_2 ? Quel son mouvement tant qu'il reste dans cette seconde région?
- c) Représenter par un dessin son mouvement ultérieur puis définir une vitesse de dérive caractérisant le mouvement moyen. L'exprimer en fonction de B_1 , B_2 , e , m et v_0 .

Pour les exercices d'induction qui suivent, on prendra soin de préciser sur un schéma les orientations choisies pour le calcul flux, la fem induite et l'intensité.

Exercice 11.

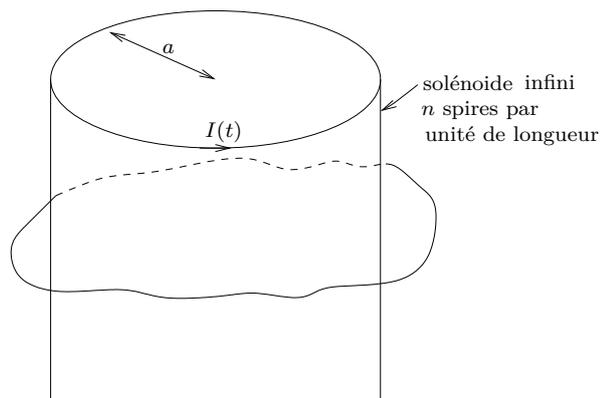
1. Un solénoïde infini de rayon a comportant n spires par unité de longueur est parcouru par un courant d'intensité $I = I_0 \cos(\omega t)$. Décrire le champ magnétique qu'il produit et donner son expression.

2. Ce solénoïde est entouré par un fil électrique de résistance totale r formant un circuit fermé. Pourquoi un courant circule-t-il dans ce fil? Quelle est son intensité i ?

3. Un autre fil de même résistance, formant une boucle circulaire de rayon $r < a$, est placé à l'intérieur du solénoïde, de sorte que son axe de symétrie soit parallèle celui du solénoïde. Même question.

4. Dans chacun des deux cas précédents, donner l'expression du coefficient de mutuelle induction entre le fil et le solénoïde.

5. C'est maintenant le fil qui est alimenté par un générateur assurant l'intensité $i(t) = i_0 \cos \omega t$. Les bornes du solénoïde sont connectées entre elles en court-circuit et il présente une résistance R . Exprimer dans chacun des deux cas l'intensité qui circule dans le solénoïde.



Exercice 12.

Deux barres identiques de longueur ℓ et de masse m sont disposées orthogonalement à deux rails conducteurs horizontaux sur lesquelles elles peuvent se translater sans frottement (figure 5).

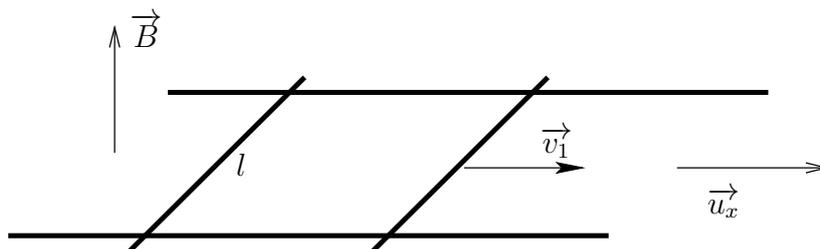


FIGURE 5

L'ensemble forme un circuit fermé de résistance R et se trouve plongé dans un champ magnétique constant uniforme $\vec{B} = B \vec{u}_z$. La première barre est manœuvrée par un expérimentateur qui impose sa vitesse $\vec{v}_1(t) = v_1(t) \vec{u}_x$. La seconde, préalablement bloquée, est libérée à $t = 0$.

- a) Expliquer pourquoi la seconde barre se met en mouvement. On note $v_2(t)$ sa vitesse.
- b) Établir, en fonction notamment de $v_1(t)$ et $v_2(t)$, l'expression de l'intensité $i(t)$ dans le circuit formé par les rails et les barres.
- c) Étudier le mouvement de la seconde barre et obtenir une équation différentielle satisfaite par v_2 .
- d) Trouver v_2 dans le cas où v_1 est constante.
- e) Trouver v_2 dans le cas où $v_1(t) = v_0 \cos \omega t$.

Exercice 13.

On réalise le montage de la figure 6, dans lequel l'AO est idéal et fonctionne en régime linéaire et où $C = 100 \text{ nF}$. La bobine est formée de $N = 100$ tours de fil, présente une surface $S = 19,6 \text{ cm}^2$, une auto-inductance L et une résistance électrique $R = 220 \Omega$. Au départ, la tension de sortie v_s est nulle. Puis on retourne la spire face pour face et on mesure une tension $v_s = 0,7 \text{ V}$. En étudiant l'évolution de v_s pendant le retournement de la spire, montrer que ce montage permet la mesure de la composante verticale B_z du champ magnétique terrestre. Quelle valeur obtient-on ?

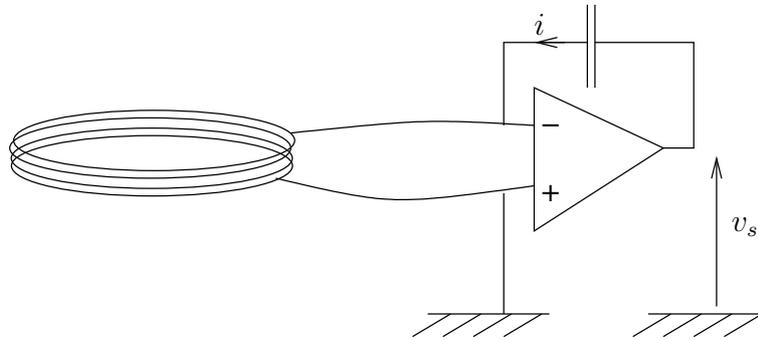


FIGURE 6 – Dispositif pour la mesure du champ magnétique terrestre

Voyage entre la Terre et Mars

Centrale-Supélec

Cet extrait de problème est accompagné d'un document réponse à rendre avec la copie.

Dans toute cette partie du problème, les orbites des planètes autour du Soleil sont assimilées à des cercles de rayon égal au demi-grand axe a des ellipses. On se place dans le référentiel héliocentrique supposé galiléen.

I.A – Vitesse de la Terre et de Mars dans le référentiel héliocentrique

Q 1. Donner les dimensions de la constante gravitationnelle G ainsi que son unité dans le système international.

Q 2. Montrer que le moment cinétique \vec{L}_O en O , centre du Soleil, d'un objet de masse m est une constante du mouvement.

Q 3. On utilise les coordonnées cylindriques $(O, \vec{e}_r, \vec{e}_\theta, \vec{e}_z)$ avec \vec{e}_z tel que $\vec{L}_O = L_O \vec{e}_z$. Justifier que le mouvement est plan et exprimer $C = r^2 \frac{d\theta}{dt}$ en fonction de L_O et m . Quel est le nom de cette grandeur ?

Q 4. Déterminer, dans le cas d'une orbite circulaire de rayon R , la vitesse V de l'objet en fonction de G , M_S , R et m . Calculer les valeurs numériques de V_T , la vitesse orbitale de la Terre et de V_M , celle de Mars, dans le référentiel héliocentrique.

I.B – Aspect énergétique et troisième loi de Kepler

Q 5. Dédurre l'expression de l'énergie cinétique, puis de l'énergie mécanique de l'objet de masse m sur son orbite circulaire autour du Soleil en fonction de G , M_S , R et m .

Q 6. Exprimer la période de rotation T de l'objet en fonction G , M_S et R (troisième loi de Kepler).

Il est rappelé que les expressions de l'énergie mécanique et de la troisième loi de Kepler obtenues pour un mouvement circulaire peuvent être généralisées au cas d'une orbite elliptique en remplaçant le rayon R par le demi-grand axe de la trajectoire.

I.C – Voyage aller Terre – Mars, orbite de transfert

D'un point de vue énergétique, la méthode la plus efficace pour envoyer un vaisseau d'une orbite circulaire à une autre orbite circulaire coplanaire est de le placer sur une trajectoire de transfert elliptique tangente aux deux orbites circulaires, donc ici aux orbites de Mars et de la Terre (ellipse de Hohmann). On admet que seule l'attraction solaire agit sur le vaisseau pendant son mouvement.

Q 7. Représenter, sur la figure A du document réponse, montrant les orbites de la Terre et de Mars, l'allure de l'orbite de transfert (trajectoire de Hohmann).

La position de la Terre au temps $t = 0$ du départ du vaisseau est prise comme origine angulaire ($\theta_T(t = 0) = 0$).

Q 8. Au départ de l'orbite de la Terre, exprimer en fonction de V_T , a_M et a_T la vitesse V'_T que doit avoir le vaisseau sur sa trajectoire de transfert. En déduire la variation de vitesse $\Delta V_T = V'_T - V_T$. Calculer la valeur numérique de ΔV_T .

En pratique, la variation de vitesse requise est plus importante en raison de la nécessité de se libérer de l'attraction de la planète à partir d'une orbite basse.

Q 9. Exprimer puis calculer la durée Δt du voyage jusqu'à l'orbite de Mars.

Q 10. Quel doit être l'angle $\alpha_0 = \theta_M(t=0) - \theta_T(t=0)$ (Terre - Soleil - Mars) formé par les directions de Mars et de la Terre, vus du Soleil, au moment du lancement afin que Mars soit au rendez-vous à l'arrivée du vaisseau ? Calculer la valeur numérique de α_0 et indiquer la position de Mars au moment du lancement sur la figure A du document réponse.

Q 11. Dans l'hypothèse d'un problème survenu pendant le voyage aller nécessitant de ne pas explorer la planète, le vaisseau ne modifie pas sa vitesse lors du passage de l'orbite de Mars. Déterminer la position angulaire de la Terre au bout d'une révolution complète de celui-ci sur son orbite de transfert. Commenter.

I.D – Durée de la mission

Toujours pour minimiser le cout énergétique, le voyage retour emprunte le même type d'orbite de transfert qu'à l'aller.

Q 12. Déterminer l'angle α_1 (Terre - Soleil - Mars) au moment du départ de Mars.

Q 13. En déduire le nombre de jours que les astronautes vont pouvoir passer sur la planète rouge, la durée totale de la mission (en jours) et la période entre deux fenêtres de lancement depuis la Terre.

Moyennant une plus grande dépense énergétique, il est possible de modifier ce scénario de mission, et ce en fonction des objectifs voulus (réduction du temps de trajet aller ou retour, modification du temps global de mission en sont des exemples). Ainsi, une variation de vitesse $\Delta \vec{V}_T$ colinéaire à \vec{V}_T plus importante au départ permet de réduire le temps du voyage aller.

Dans la suite, on cherche une réduction de 25 % de l'angle balayé par le vaisseau pour atteindre l'orbite de Mars autour du Soleil. On se place de nouveau avec la position de la Terre au lancement prise comme origine angulaire ($\theta_T(t=0) = 0$) et on souhaite que le vaisseau atteigne Mars à un instant $\Delta t'$ tel que $\theta_M(\Delta t') = 3\pi/4$. On admet que la nouvelle trajectoire du vaisseau est une conique dont l'un des foyers est le Soleil et d'équation polaire $r(\theta) = \frac{p}{1 + e \cos \theta}$ où p est appelé paramètre de la conique et e son excentricité.

Q 14. Placer sur la figure B du document réponse la position de Mars à l'arrivée du vaisseau.

Q 15. Justifier que r_P , le périhélie de la trajectoire du vaisseau (distance minimale du Soleil au vaisseau), vérifie $r_P = a_T$.

Q 16. Montrer que l'excentricité s'écrit $e = \frac{a_M - a_T}{\frac{1}{\sqrt{2}}a_M + a_T}$ et calculer sa valeur numérique. Tracer sur la figure B l'allure de la trajectoire.

Q 17. Exprimer l'énergie mécanique E_M du vaisseau sur cette trajectoire en fonction de m , V_T et e .

Q 18. En déduire la vitesse V_T'' que doit avoir le vaisseau au départ pour se placer sur sa nouvelle orbite, toujours en fonction de V_T et e .

Q 19. Donner, en fonction de V_T et e , la variation de vitesse $\Delta V_T' = V_T'' - V_T$ qu'il faut communiquer au vaisseau pour le mettre sur sa nouvelle trajectoire de transfert. Calculer la valeur numérique de $\Delta V_T'$.

Q 20. Exprimer $C = r^2 \frac{d\theta}{dt}$ en fonction de a_T et V_T'' .

Q 21. Évaluer le temps $\Delta t'$ du transfert entre la Terre et Mars.

On donne : $\int_0^{\theta_M(\Delta t')} \frac{1}{(1 + e \cos \theta)^2} d\theta = 2,15$ avec l'excentricité calculée en question 16.

Données

Masse du Soleil

$$M_S = 2,00 \times 10^{30} \text{ kg}$$

Demi-grand axe de l'orbite de la Terre

$$a_T = 150 \times 10^6 \text{ km}$$

Demi-grand axe de l'orbite de Mars

$$a_M = 228 \times 10^6 \text{ km}$$

Constante gravitationnelle

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ SI}$$

Champ de pesanteur terrestre

$$g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$$

Période de révolution de la Terre

$$T_T = 365 \text{ jours}$$

Période de révolution de Mars

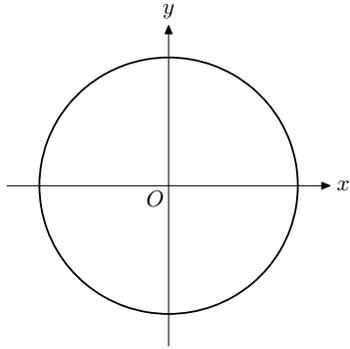
$$T_M = 687 \text{ jours}$$

Formulaire

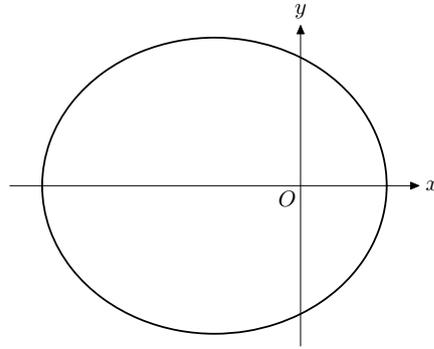
L'équation polaire d'une conique d'axe focal (Ox), de paramètre p et d'excentricité e s'écrit

$$r(\theta) = \frac{p}{1 + e \cos \theta}$$

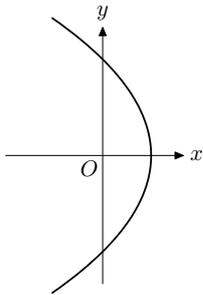
La nature de la courbe dépend de l'excentricité. On distingue 4 cas.



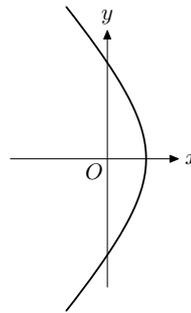
$e = 0$, la courbe est un cercle



$0 < e < 1$, la courbe est une ellipse



$e = 1$, la courbe est une parabole



$e > 1$, la courbe est une hyperbole

DOCUMENT RÉPONSE

Questions 7 et 10

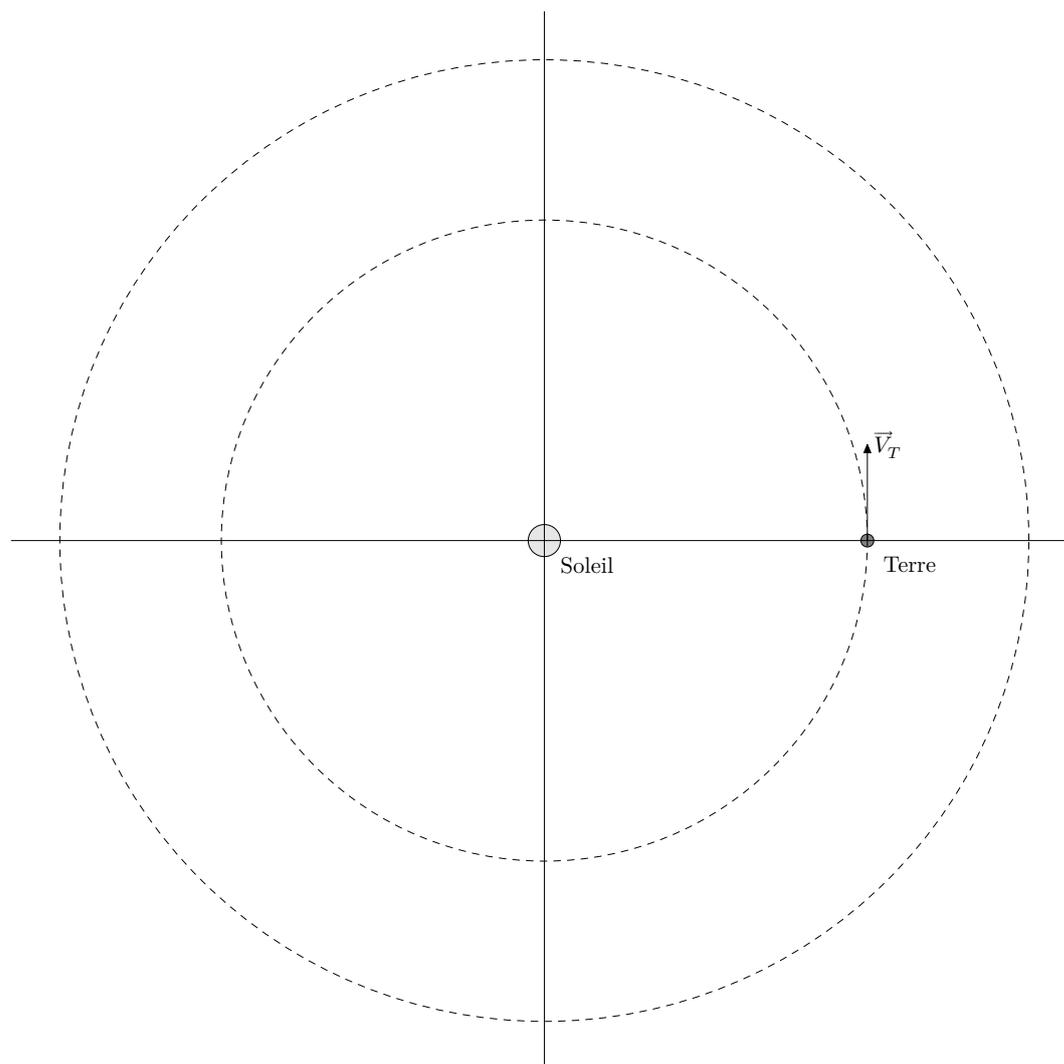


Figure A

Questions 14 et 16

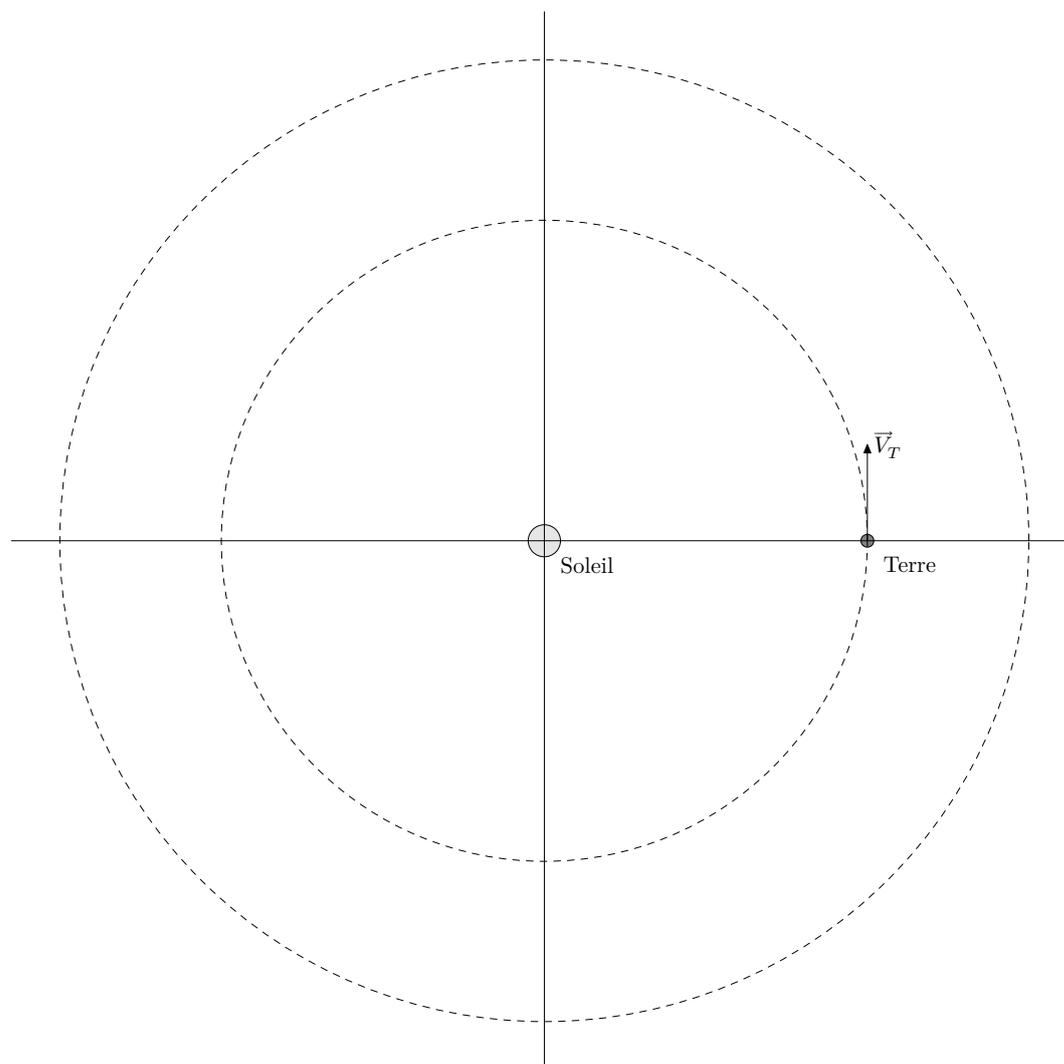


Figure B