

DS 8* (4 heures)

Mécanique

La calculatrice est autorisée

La plus grande importance sera apportée au soin de la copie ainsi qu'à la clarté des raisonnements. Toute réponse, même qualitative, se doit d'être justifiée. Les affirmations, même justes, mais non justifiées ne seront pas prises en compte. Les résultats doivent être **encadrés**.

En cas de non respect de ces consignes, un malus sera attribué à la copie comme indiqué dans les tableaux suivants qui stipulent les critères et les effets sur la note le cas échéant :

Critère	Indicateur
Lisibilité de l'écriture	L'écriture ne ralentit pas la lecture.
Respect de la langue	La copie ne comporte pas de fautes d'orthographe ni de grammaire.
Clarté de l'expression	La pensée du candidat est compréhensible à la première lecture.
Propreté de la copie	La copie comporte peu de ratures, réalisées avec soin et les parties qui ne doivent pas être prises en compte par le correcteur sont clairement et proprement barrées.
Identification des questions et pagination	Les différentes parties du sujet sont bien identifiées et les réponses sont numérotées avec le numéro de la question. La pagination est correctement effectuée.
Mise en évidence des résultats	Les résultats littéraux et numériques sont clairement mis en évidence.

Nombre de critères non respectés	Palier de Malus	Effet sur la note
0	0	aucun
1–2	1	–3.3%
3–4	2	–6.7%
5–6	3	–10%

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 est amené à prendre.

L'essentiel des données et formules utiles se trouve dans un formulaire en fin d'énoncé.

Certaines questions, repérées par une barre en marge, ne sont pas ou peu guidées. Elles demandent de l'initiative de la part du candidat. Il est alors demandé d'explicitier clairement la démarche, les choix et de les illustrer, le cas échéant, par un schéma. Le barème valorise la prise d'initiative et tient compte du temps nécessaire à la résolution de ces questions.

Exercice 1 : Voyage entre la Terre et Mars

Un demi-siècle après avoir marché sur la Lune, l'exploration spatiale semble se fixer à moyen terme l'objectif de l'exploration de la planète Mars par l'homme. Une telle expédition suppose de résoudre un très grand nombre de problèmes concernant aussi bien les aspects techniques que les aspects humains. Cet exercice propose d'étudier la cohérence de l'un des nombreux scénarios élaborés par la NASA pour un vol habité vers Mars. Cet exercice est accompagné d'un document réponse à rendre avec la copie. Les principales données numériques sont regroupées en fin d'énoncé.

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 – Vitesse de la Terre et de Mars dans le référentiel héliocentrique

- Q.1** Donner les dimensions de la constante gravitationnelle $\mathcal{G}$ 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 associées à la base $(O, \vec{e}_r, \vec{e}_\theta, \vec{e}_z)$ 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 $\mathcal{G}$, 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.

II – Aspect énergétique et troisième loi de Kepler

- Q.5** Dédire 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 $\mathcal{G}$, M_S , r et m .
- Q.6** Exprimer la période de rotation T de l'objet en fonction $\mathcal{G}$, 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.

III – 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** Exprimer en fonction de V_T , a_M et a_T (demi-grands axes des trajectoires de Mars et de la Terre), la vitesse V'_T que doit avoir le vaisseau sur sa trajectoire de transfert lorsqu'il quitte l'orbite de la Terre. 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 (Terre – Soleil – Mars), noté $\alpha_0 = \theta_M(t=0) - \theta_T(t=0)$, 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.

IV – 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 (Terre – Soleil – Mars), noté α_1 , 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 : $\int_0^{\theta_M(\Delta t')} \frac{d\theta}{(1 + e \cos \theta)^2} = 2,15$ avec l'excentricité calculée en **Q.16**.

Exercice 2 : Quelques aspects du transport ferroviaire

La première locomotive à vapeur date de 1804, elle a été conçue par un ingénieur des mines anglais Richard Trevithick, comme une application de la machine à vapeur. Depuis, le transport ferroviaire a connu une évolution rapide. Il apparaît aujourd'hui comme une solution écologique au désir et au besoin de mobilité d'une population mondiale qui ne cesse de croître.



FIGURE 1 – Gauche : la locomotive de Trevithick. Droite : train de dernière génération circulant sur la ligne Paris-Lyon.

Partie 1 : La motorisation des trains diesel

Le moteur des locomotives diesel fut inventé en 1892 par l'ingénieur allemand Rudolf Diesel. Les premières locomotives *Diesel-mécanique* où la puissance est transmise par l'intermédiaire d'une boîte de vitesse à pignons furent rapidement remplacées par des locomotives *Diesel-électrique* où le moteur diesel, en tournant, entraîne un alternateur. Ce dernier fournit de l'énergie à plusieurs moteurs électriques de traction.

On modélise le fonctionnement d'un moteur Diesel en considérant un système fermé, constitué de n moles de gaz parfait diatomique, décrivant le cycle réversible dont les caractéristiques sont décrites ci-dessous.

- *Admission A_0A* : la soupape d'arrivée de l'air est ouverte, celles d'arrivée de gasoil et celle d'échappement des gaz sont fermées. La pression est $P_{\text{atm}} = 1,00 \text{ Pa}$ et la température $T_{\text{atm}} = 300 \text{ K}$. Le volume passe de V_{min} à V_{max} de façon isobare.
- *Compression AB* : les soupapes sont fermées. Le volume de l'air admis passe de V_{max} à V_{min} de manière adiabatique et réversible.
- *Injection et combustion BC* : les soupapes sont fermées, sauf celle d'injection du gasoil. Une petite quantité de gasoil est injectée et la combustion se produit. Le volume augmente jusqu'à V_C . On modélise cette phase par une évolution isobare.
- *Détente CD* : les soupapes sont toutes fermées. L'injection cesse en C et le mélange subit une détente adiabatique et réversible jusqu'à atteindre un volume V_{max} .
- *Refroidissement DA* : la soupape d'échappement est ouverte. La pression diminue brutalement jusqu'à P_{atm} , le volume restant constant.
- *Ejection AA_0* : la soupape d'échappement est ouverte, les autres fermées. Le volume passe de V_{max} à V_{min} de façon isobare.

Q.1 Représenter le cycle Diesel $A_0 - A - B - C - D - A - A_0$ dans le diagramme de Watt (P, V).

- Q.2** On définit le rapport volumétrique de compression $x = V_{\max}/V_{\min}$, ainsi que le rapport volumétrique de détente $y = V_{\max}/V_C$. Exprimer les pressions P_B et P_D en fonction de P_{atm} , x , y et du rapport $\gamma = C_{pm}/C_{vm}$ des capacités thermiques molaires à pression et à volume constant du gaz considéré.
- Q.3** Définir le rendement thermodynamique, noté η_D , pour ce moteur et l'exprimer en fonction des températures T_A , T_B , T_C , T_D et du rapport γ .
- Q.4** Exprimer η_D en fonction de x , y et γ puis faire l'application numérique en utilisant les données en fin de sujet. En réalité, le rendement observé est de l'ordre de 0,45. Commenter.
- Q.5** Une locomotive à moteur Diesel roule à la vitesse constante $v = 140 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Le moteur tourne à la vitesse angulaire, elle aussi constante, de 2000 tr/min, un tour correspondant à un cycle du moteur. Calculer la puissance mécanique moyenne du moteur de la locomotive (en utilisant la valeur du rendement observé) ainsi que sa consommation en gasoil pour 100 km. On utilisera les données en fin de sujet.

Partie 2 : Mécanique du transport ferroviaire

I – Démarrage du train de Trevithick

Le premier train qui sera étudié est celui de Trevithick. L'idée de Trevithick a été d'associer la roue pour le transport, à la machine à vapeur pour la force motrice. Au cours d'un essai, la locomotive de Trevithick de masse $M_\ell = 1 \text{ t}$, dont la figure 1 montre une reproduction, a été capable de tracter un ensemble de dix wagons portant un chargement d'acier de masse totale $M_c = 10 \text{ t}$ sur une distance $D = 15 \text{ km}$. Lors de cet essai en ligne droite, conduit sur des rails en fonte horizontaux parallèles à l'axe Ox , le train parvint à atteindre la vitesse $v_0 = 8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, supposée constante après la phase de démarrage.

On étudie ici la phase de démarrage de la locomotive tractant les dix wagons. L'étude est conduite dans le référentiel terrestre supposée galiléen. On envisage un démarrage à accélération constante, et on note $\vec{a}_0$ cette accélération. On définit deux systèmes :

- le système Σ_1 , de masse totale M_c , est constitué de l'ensemble des 10 wagons et de leur charge.
- le système Σ_2 correspond à la locomotive de Trevithick, de masse totale M_ℓ , et qui compte également quatre roues en acier.

On note $\vec{F}_{\Sigma_2/\Sigma_1}$ la force qu'exerce Σ_2 sur Σ_1 ; cette force est supposée horizontale.

On adopte un modèle très simpliste de contact ponctuel entre les roues et les rails et on suppose qu'aucune roue ne glisse sur les rails. On donne pour le contact acier-fonte le coefficient d'adhérence (également appelé coefficient de frottement statique) f_a . Les lois de Coulomb du frottement solide sont rappelées en annexe. On admet qu'une étude dynamique permet d'établir, en considérant les roue de masse négligeable, que la force $\vec{F}_{r1}$ exercée par les rails sur une roue du système Σ_1 est normale au rail. Par la suite, on fera cette approximation pour toutes les roues du système Σ_1 . On note également $\vec{F}_{r2}$ la force qu'exerce le rail sur une des quatre roues de la locomotive, avec $\vec{F}_{r2} = \vec{N}_{r2} + \vec{T}_{r2}$, où $\vec{N}_{r2}$ et $\vec{T}_{r2}$ désignent respectivement les composantes normale et tangentielle de l'action d'un rail sur une roue de la locomotive.

- Q.6** Faire un schéma de la situation et représenter les forces qui s'exercent sur Σ_1 . Exprimer la force $\vec{F}_{\Sigma_2/\Sigma_1}$ en fonction, entre autres, de l'accélération $\vec{a}_0$.
- Q.7** Faire un autre schéma où figurent les forces qui s'exercent sur Σ_2 . On négligera toute force de frottement fluide due à l'air.
- Q.8** Montrer que $\vec{T}_{r2}$ est nécessairement non nulle. On admettra que cette force est identique sur les quatre roues de la locomotive. Exprimer $\vec{T}_{r2}$ en fonction notamment de l'accélération $\vec{a}_0$ et des diverses masses introduites dans l'énoncé.
- Q.9** Calculer le temps qu'a mis le train de Trevithick à atteindre sa vitesse de croisière, en supposant que $\|\vec{T}_{r2}\| = 0,1 f_a \|\vec{N}_{r2}\|$, de sorte que l'absence de glissement est assurée.

II – Circulation des trains à grande vitesse (TGV)

On s'intéresse maintenant aux voies des trains à grande vitesse, dont le tracé est déterminé par diverses contraintes. Une des contraintes essentielles est que le trajet doit être le plus horizontal possible. La morphologie des territoires traversés impose de ce fait des tracés courbes pour les trajets des trains.

II.A Passage en courbe

On envisage ici le problème de la jonction entre deux tronçons rectilignes A_0A et BB_0 formant un angle de 120° (figure 2). On considère pour simplifier que le tracé de la voie entre les points A et B suit une portion du cercle $\mathcal{C}$ tangent aux deux segments de droites en A et B . On note d_{AB} la distance en ligne droite entre ces deux points. Le référentiel terrestre est toujours supposé galiléen.

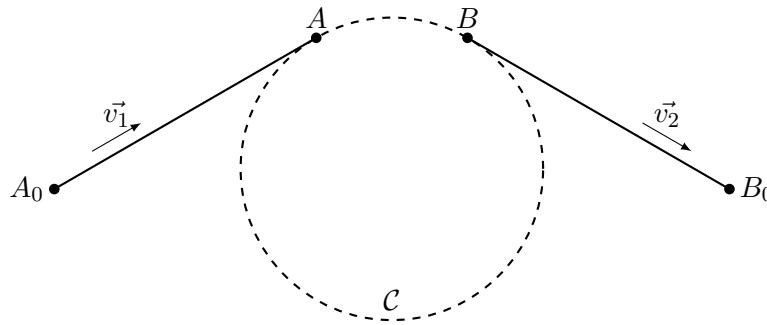


FIGURE 2 – Raccordement circulaire entre deux tronçons rectilignes.

- Q.10** Déterminer le rayon R_C du cercle $\mathcal{C}$ en fonction des données.
- Q.11** En supposant la vitesse du train constante en norme, de valeur notée V_0 (soit $\|\vec{v}_1\| = \|\vec{v}_2\| = V_0$), tracer l'évolution de la norme de l'accélération du train, assimilé à un point matériel, entre l'instant $t = 0$ où il se trouve en A_0 et l'instant t_f où il se trouve en B_0 .
- Q.12** Calculer la valeur numérique de l'accélération a_C entre les points A et B dans le cas où $d_{AB} = 2 \text{ km}$ et $V_0 = 300 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Au niveau d'un tel virage, la voie présente un dévers, c'est-à-dire une différence de hauteur entre les rails intérieur et extérieur qui permet d'incliner le train. Ce dévers est conçu de sorte qu'un passager ne soit pas trop fortement déporté sur le bord de son siège au cours du virage. L'écartement entre les deux rails au niveau des roues est quant à lui fixé à $E_r = 1400 \text{ mm}$.

Lors d'un voyage en TGV, un passager curieux d'étudier ce dévers a placé un pendule simple, constitué d'une masse m_p reliée à un fil inextensible, au dos du siège situé devant lui, vers l'avant du train. Ainsi fixé, ce pendule peut se déplacer librement dans un plan vertical perpendiculaire à la vitesse du train. La figure 3 montre la position d'équilibre du pendule dans le virage indiqué sur la carte, alors que le train roule à $287 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

- Q.13** Estimer la valeur du dévers lors de la réalisation de cette expérience. Préciser à l'aide d'un schéma clair lequel des deux rails, intérieur ou extérieur au virage, est surélevé.



FIGURE 3 – La carte permet d'estimer que le rayon de courbure du virage lors de la réalisation de l'expérience est $R_C = 4$ km. Sur la photo à droite, le segment noir matérialise la verticale lorsque le train est à l'horizontale et immobile.

II.B Usure abrasive des rails sur la ligne de TGV Paris-Lyon

Pour cette sous-partie, et pour celle-ci seulement, on considère que le référentiel terrestre $\mathcal{R}_t$ est non galiléen et que le référentiel géocentrique $\mathcal{R}_g$ est galiléen.

Q.14 Décrire le mouvement du référentiel terrestre $\mathcal{R}_t$ par rapport au référentiel $\mathcal{R}_g$.

On considère la ligne de TGV Paris-Lyon, dont la longueur est approximativement de 500 km, et sur laquelle les trains (FIGURE 1) roulent à la vitesse $V_0 = 300 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ par rapport au référentiel terrestre. La ligne est composée de deux voies : une servant pour le trajet de Paris vers Lyon, l'autre pour le trajet Lyon vers Paris.

On étudie par la suite un TGV allant de Paris à Lyon, sur un tronçon rectiligne horizontal, localement confondu avec une ligne méridienne nord-sud. La FIGURE 4 schématise le contact entre les rails et les roues de ce train.

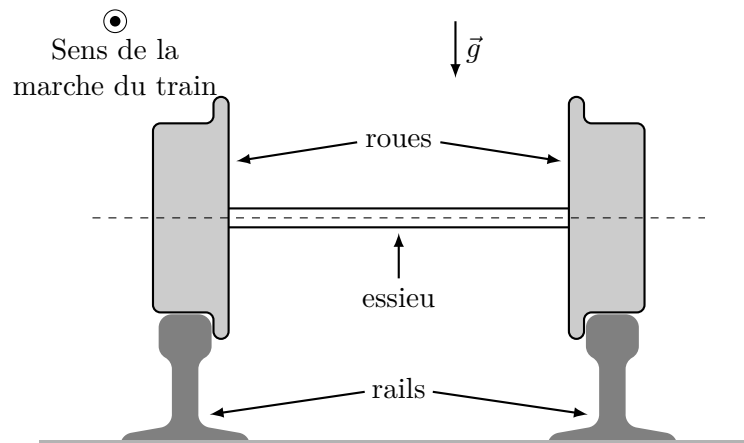


FIGURE 4 – Schéma en coupe du contact entre les rails et les roues du TGV (les échelles de distance ne sont pas respectées).

Q.15 La prise en compte du caractère non galiléen du référentiel terrestre implique l'existence d'une force normale horizontale exercée par l'intérieur d'un des deux rails sur les roues avec lesquelles il est en contact. Identifier, en le justifiant, le rail concerné dans le cas d'un TGV circulant de Paris vers Lyon. Sur un schéma inspiré de celui de la figure 4 faire figurer les forces de contact exercées par les rails sur les roues.

De nos jours, les rails sont réalisés en acier trempé très dur, afin d'en limiter l'usure. Il existe différents types d'usure des rails ; nous n'envisagerons ici que l'usure abrasive, qui a lieu à l'interface entre les roues et le rail. On note que, lorsqu'on étudie l'usure, on prend en compte le fait que le contact roue-rail n'est pas ponctuel : cela implique qu'il y a nécessairement une zone de contact glissant, même en cas d'adhérence. Diverses lois permettent de quantifier cette usure ; nous nous limiterons à la loi d'usure de Preston-Archard selon laquelle le volume de matière usée peut être calculé par la formule

$$V = k \frac{F_n}{H} d$$

où H est la dureté du matériau dont l'unité est $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$, d la distance sur laquelle a eu lieu le glissement, F_n la force normale au glissement et k un coefficient, appelé coefficient d'Archard, qui dépend des conditions expérimentales, matériaux, température, géométrie, etc.

Q.16 Discuter qualitativement la loi de Preston-Archard.

Q.17 Déterminer la dimension du coefficient d'Archard k .

Q.18 Pour le rail identifié dans la **Q.15**, comparer le degré d'usure des faces supérieure et intérieure du rail. Préciser les approximations réalisées.

Données

Constantes fondamentales

Constante des gaz parfaits	$R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
Constante de Faraday	$\mathcal{F} = 9,65 \times 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$
Constante d'Avogadro	$\mathcal{N}_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Champ de pesanteur terrestre	$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Données relatives à l'exercice 1

Masse du Soleil	$M_S = 2,00 \times 10^{30} \text{ kg}$
Masse de la Terre	$M_T = 6,00 \times 10^{24} \text{ kg}$
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	$\mathcal{G} = 6,67 \times 10^{-11} \text{ SI}$
Rayon de la Terre	$R_T = 6,4 \times 10^3 \text{ km}$
Période de révolution de la Terre	$T_T = 365 \text{ jours}$
Période de révolution de Mars	$T_M = 687 \text{ jours}$

Données relatives à l'exercice 2

Volume maximal du gaz dans le cycle diesel	$V_{\max} = 57 \text{ L}$
Rapports des volumes dans le cycle diesel	$x = V_{\max}/V_{\min} = 20$; et $y = V_{\max}/V_C = 7$
Rapport des capacités thermiques	$\gamma = C_{pm}/C_{vm} = 1,4$
Capacités thermiques molaires :	$C_{vm} = \frac{R}{\gamma-1}$ et $C_{pm} = \frac{R\gamma}{\gamma-1}$
Enthalpie de combustion massique du gasoil	$\Delta_{\text{comb}}h = 46,8 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
Coefficient d'adhérence fonte acier	$f_a = 0,12$
Latitude des villes citées	Lyon = $45,8^\circ \text{Nord}$; Paris = $48,9^\circ \text{Nord}$

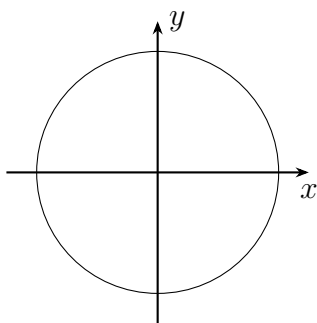
Formulaire

Coniques

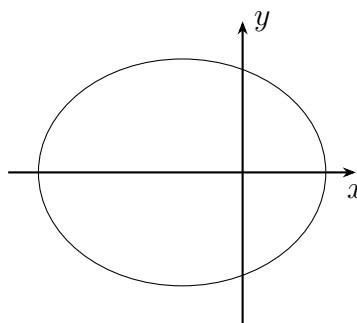
L'équation polaire d'une conique d'axe focal (Ox) , de paramètre p et d'excentricité e s'écrit :

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

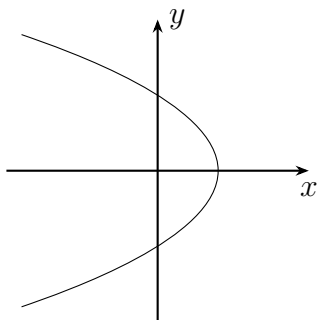
La nature de la courbe dépend de l'excentricité. On distingue 4 cas :



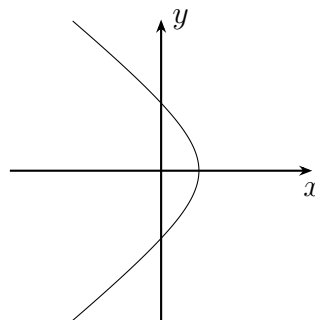
$e = 0$, la courbe est un cercle



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



$e = 1$, la courbe est une parabole



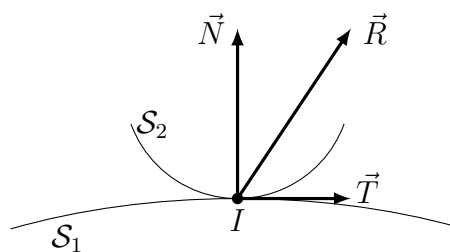
$e > 1$, la courbe est une hyperbole

Lois de Coulomb

Soient deux solides $\mathcal{S}_1$ et $\mathcal{S}_2$ en mouvement par rapport au référentiel d'étude $\mathcal{R}_0$, en contact au point I . Sans glissement, $v_{I \in \mathcal{S}_1 / \mathcal{R}_0} = v_{I \in \mathcal{S}_2 / \mathcal{R}_0}$, il y a adhérence. La force $\vec{R}$ qu'exerce $\mathcal{S}_1$ sur $\mathcal{S}_2$ a une composante normale $\vec{N}$ et une composante tangentielle $\vec{T}$ ($\vec{R} = \vec{N} + \vec{T}$) telles que

$$\|\vec{T}\| < f_a \|\vec{N}\|$$

où f_a est le coefficient d'adhérence entre les deux solides.



• • • FIN • • •

Annexe du DS 8*
(À détacher et à rendre avec la copie)

Exercice 1, Questions 7 et 10

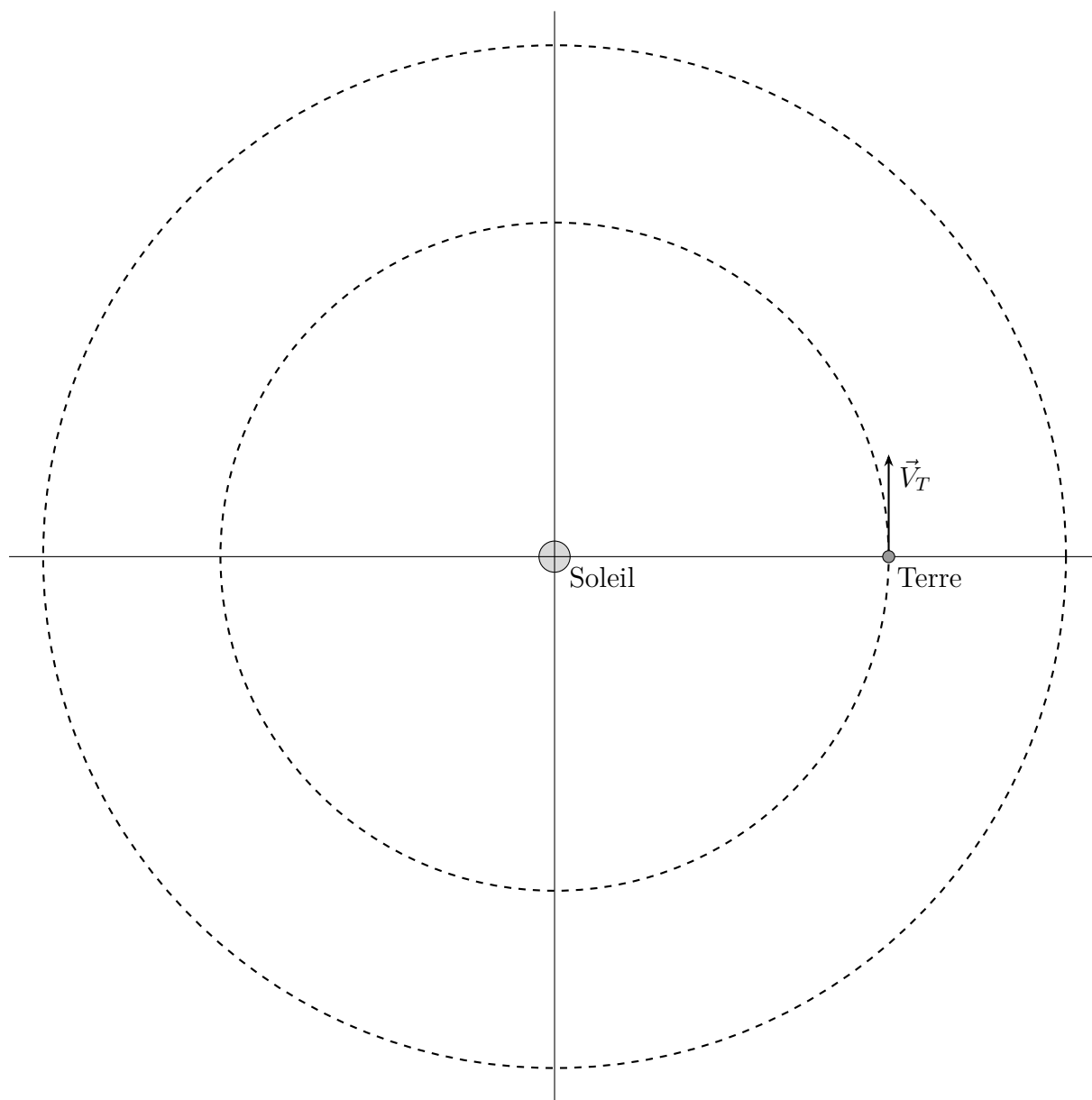


FIGURE A

Exercice 1, Questions 14 et 16

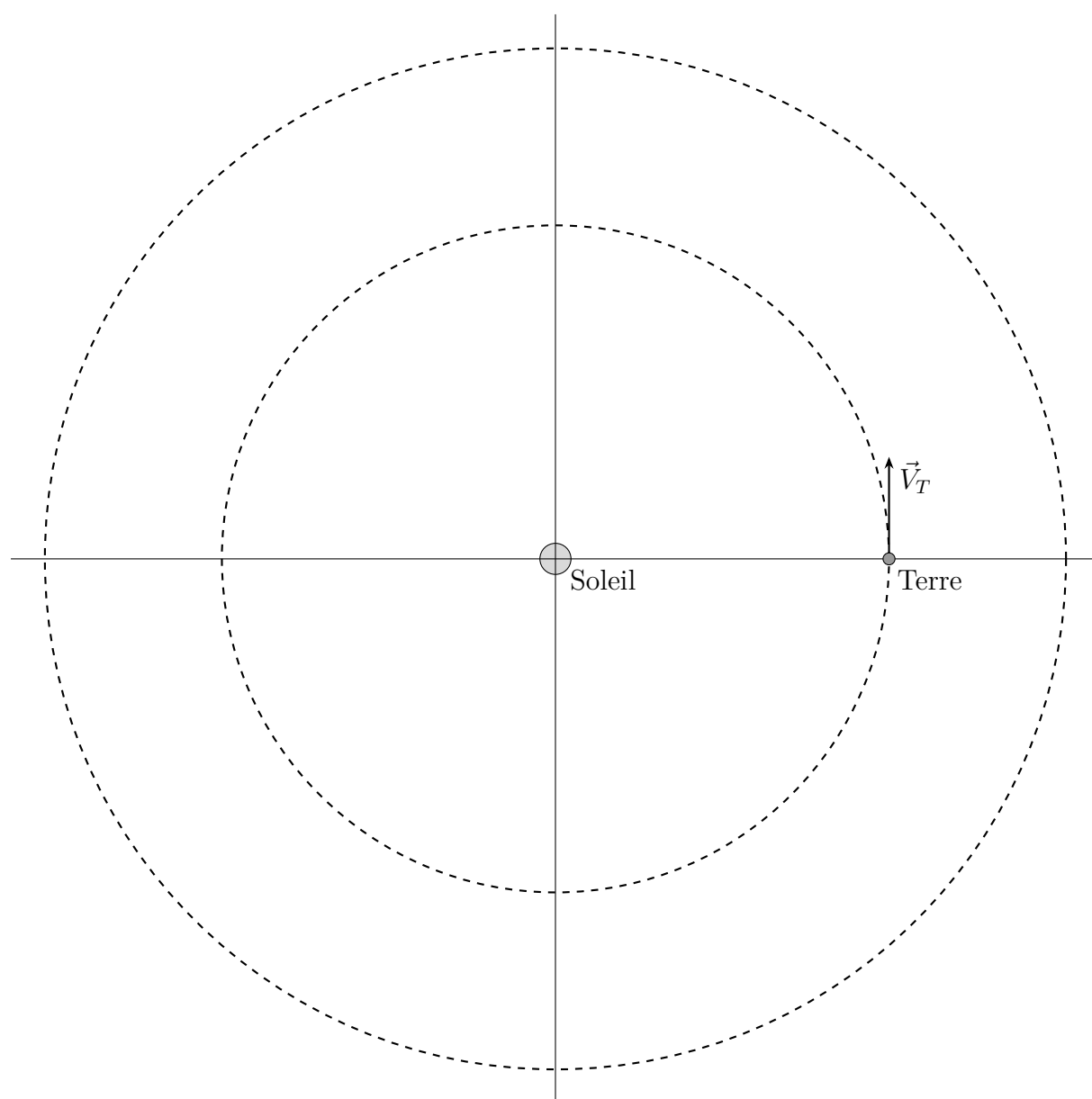


FIGURE B