

Devoir sur toute la mécanique Terminale S pour le lundi 23 mars 12h00

Exercice 1 : Lancement d'un satellite par la fusée Ariane

Données :

$$g = 10 \text{ m.s}^{-2} ;$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ uSI} ;$$

$$\text{Masse de la Terre : } M_T = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg} ;$$

$$\text{Rayon de la Terre : } R_T = 6370 \text{ km}$$

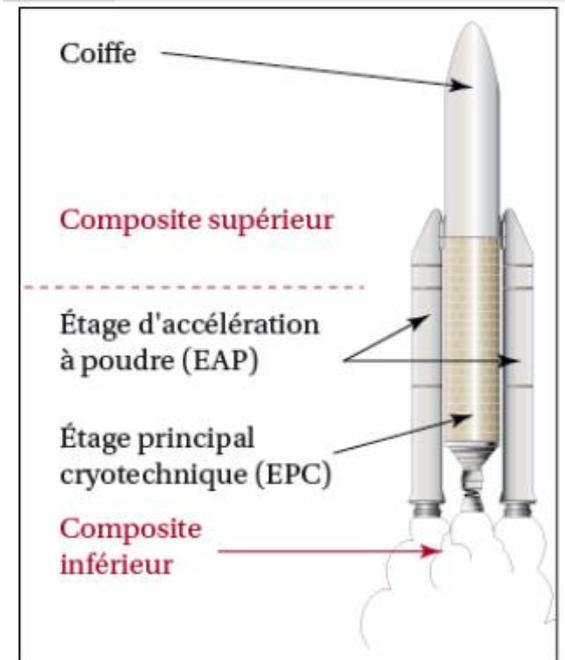
Le 31 Juillet 1973, les ministres chargés des affaires spatiales de dix pays européens décident, pour permettre l'accès de l'Europe à l'espace en toute indépendance, de produire un lanceur de satellites (encore appelé fusée) : ainsi est née la famille Ariane.

Le dernier membre de la famille, Ariane 5, de conception différente des lanceurs précédents, comprend deux éléments (ou composites) principaux, un composite inférieur et un composite supérieur.

Le composite inférieur est constitué de l'étage cryogénique (EPC) et de l'étage d'accélération à poudre (EAP) dont chaque propulseur mesure 3m de diamètre et 31m de hauteur.

Le composite supérieur comprend une case à équipements (le cerveau du lanceur), un étage à propergol stockable et la coiffe qui abrite le ou les satellites.

La masse M_0 d'Ariane 5 au moment du lancement est de 780t dont près de 90% est constituée d'ergols consommés par les moteurs. Le rôle d'un moteur fusée est d'éjecter le plus de matière possible à la plus grande vitesse possible : au décollage, les moteurs d'Ariane 5 éjectent chaque seconde 4 000 kg de matière à une vitesse v_e , ce qui produit une poussée F_0 de 13 000kN.



1. Le décollage

Le décollage de la fusée a été filmé à 25 images par seconde. Le film a été étudié à l'aide d'un logiciel de pointage. L'étalonnage a été effectué à partir de la hauteur de la fusée, puis le pointage a été réalisé toutes les 5 images au niveau de la coiffe. Grâce aux fonctionnalités du logiciel, à partir des coordonnées, on a obtenu les valeurs de la vitesse au cours du temps.

Vous disposez ci-dessous d'un tableau avec les premières valeurs, des courbes $y=f(t)$ et $v_y=g(t)$ figures 1 et 2.

t(s)	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
y(m)	-21,952	-21,89	-21,99	-21,89	-21,99	-21,827	-20,941	-19,992
v_y (m.s^{-1})	0	-0,095	0	0	0,1575	2,6225	4,5875	5,8525

t(s)	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
y(m)	-18,6	-17,335	-15,563	-13,476	-11,261	-8,984	-5,82	-2,531
v_y (m.s^{-1})	6,6425	7,5925	9,6475	10,755	11,23	13,6025	16,1325	17,3975

t(s)	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6
y(m)	1,139	4,808	8,984	13,286	17,967	22,902	27,90	33,467
v_y (m.s ⁻¹)	18,3475	19,6125	21,195	22,4575	24,04	24,8325	26,4125	28,6275

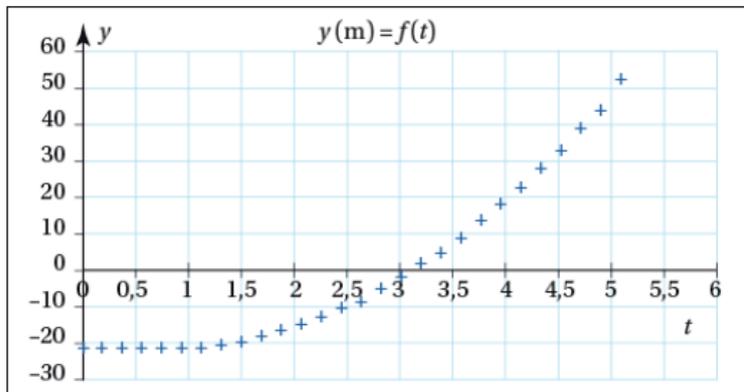


Figure 1

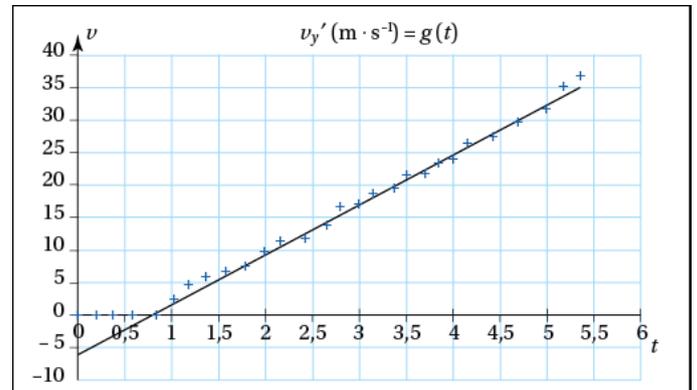


Figure 2

1. Expliquer comment la vitesse a été calculée par le logiciel. Retrouver la valeur pour la date $t=1,6s$.
2. A l'aide des documents fournis, déterminer la date du décollage t_{dec} .
3. Calculer les quantité de mouvement de la fusée 2 puis 3 secondes après le décollage noté p_2 et p_3 respectivement.
4. En déduire la variation de quantité de mouvement pendant cette seconde $\frac{\Delta p}{\Delta t}$.
5. En appliquant la deuxième loi de Newton, déterminer la poussée des moteurs et comparer à la valeur donnée ci-dessus. On prendra $780t$ comme masse de la fusée pour cette question.
6. La vitesse d'éjection \vec{v}_e des gaz issus de la combustion du pergol est donnée par la relation : $\vec{v}_e = \frac{\Delta t}{\Delta M} \vec{F}$ avec $\frac{\Delta M}{\Delta t}$ la variation de masse de la fusée par unité de temps caractérisant la consommation des moteurs.
 - a. Vérifier l'unité de v_e par analyse dimensionnelle.
 - b. Calculer la valeur numérique de v_e .
7. Quel est le signe de $\frac{\Delta t}{\Delta M}$? En déduire le sens de \vec{v}_e . Qu'en pensez vous ?
8. A l'aide d'une loi connue que vous énoncerez, expliquer pourquoi l'éjection des gaz propulse la fusée vers le haut.

2. Mise en orbite basse du satellite

Le centre spatial de Kourou a lancé le 21 décembre 2005, avec la fusée ariane 5, un satellite de météorologie de seconde génération baptisé MSG-2. Tout comme ses prédécesseurs il est placé sur une orbite géostationnaire à 36 000km d'altitude. Opérationnel depuis juillet 2006, il porte maintenant le nom de Météosat 9.

Les satellites de seconde génération sont actuellement les plus performants au monde dans le domaine de l'imagerie météorologique. Ils assureront jusqu'en 2018 la fourniture de données météorologiques, climatiques et environnementales.

La mise en orbite complète du satellite MSG-2 de masse $m=2,0 \cdot 10^3$ kg s'accomplit en 2 étapes. Dans un premier temps, il est placé sur une orbite circulaire à vitesse constante v_s à basse

altitude $h=6,0.10^2$ km autour de la Terre et il n'est soumis qu'à la force gravitationnelle exercée par la Terre.

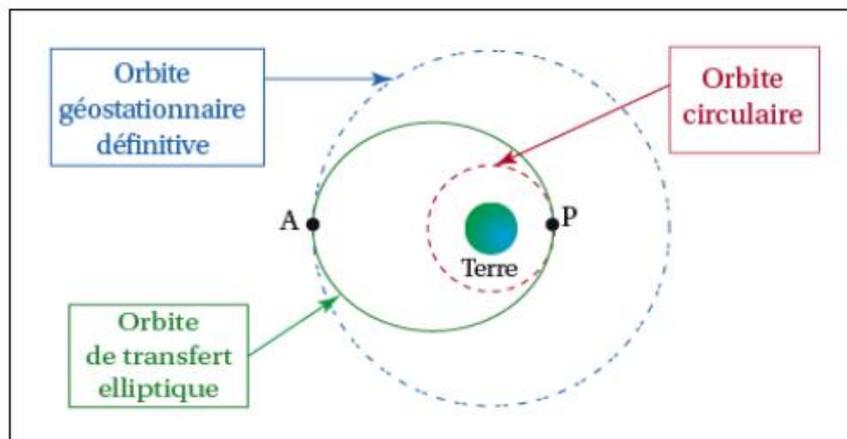
9. Donner l'expression vectorielle de la force gravitationnelle $\vec{F}_{T/S}$ exercée par la Terre sur le satellite en fonction des données.
10. En appliquant la deuxième loi de Newton, trouver l'expression du vecteur accélération \vec{a}_S du centre d'inertie du satellite.
11. Sans soucis d'échelle, représenter sur un schéma à un instant t quelconque, la Terre, le satellite et son vecteur accélération.
12. Déterminer l'expression de la vitesse v_S du centre d'inertie du satellite. Vérifier que sa valeur est de l'ordre de $7,6.10^3$ m.s⁻¹ sur son orbite basse.
13. On note T le temps mis par le satellite pour faire un tour autour de la Terre. Comment appelle-t-on cette grandeur ? Montrer qu'elle vérifie la relation : $T^2 = \frac{4\pi^2(R_T+h)^3}{G.M_T}$

3. Transfert du satellite en orbite géostationnaire.

Une fois le satellite MSG-2 placé sur son orbite circulaire basse, on le fait passer sur une orbite géostationnaire à altitude $h'=3,6.10^4$ km. Ce transit s'opère sur une orbite de transfert qui est elliptique. Le schéma de principe est représenté sur la figure 3.

Le périhélie P est situé sur l'orbite circulaire basse et l'apogée A est sur l'orbite définitive géostationnaire.

A un moment convenu, lorsque le satellite est au point P de son orbite circulaire basse, on augmente sa vitesse de façon bien précise : il décrit ainsi une orbite elliptique de transfert afin que l'apogée A de l'ellipse soit sur l'orbite géostationnaire définitive. On utilise pour cela un petit réacteur qui émet en P , pendant un très court instant, un jet de gaz donnant au satellite l'impulsion nécessaire.



14. Énoncer la deuxième loi de Kepler ou « loi des Aires ».
15. Montrer, en s'aidant éventuellement d'un schéma, que la vitesse du satellite MSG-2 n'est pas constante sur son orbite de transfert. Préciser en quel point de son orbite de transfert sa vitesse est :
 - Maximale
 - Minimale
16. Exprimer la distance AP en fonction de R_T , h et h' . Montrer que $AP=4,9.10^7$ m.
17. Dans le cas de cette orbite elliptique, la durée de révolution pour faire un tour complet vaut $T=10h42min$.
Déterminer la durée minimale Δt du transfert du satellite MSG-2 du point P de son orbite basse au point A de son orbite géostationnaire définitive.

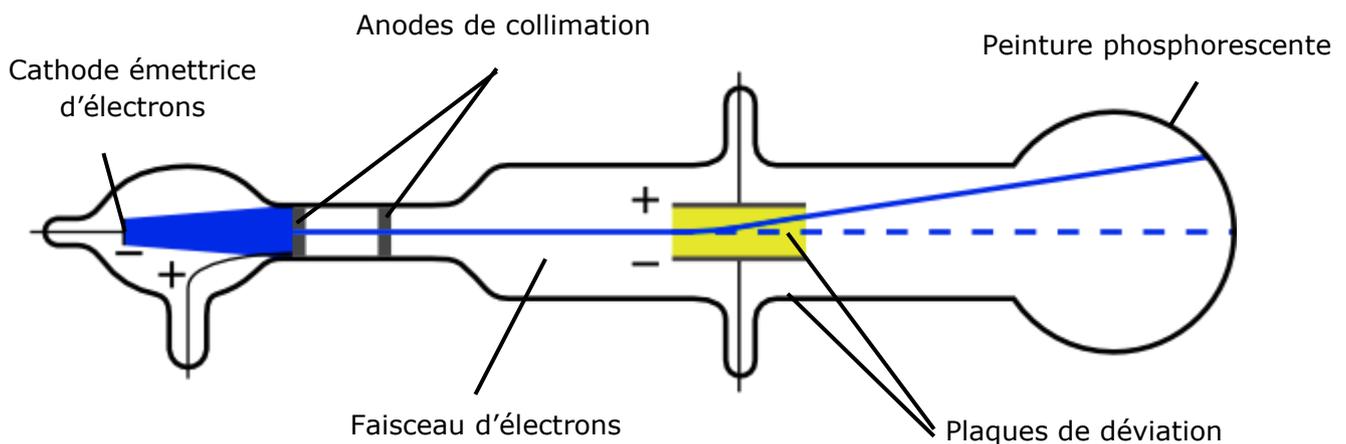
18. Le satellite étant arrivé au point A, on augmente à nouveau sa vitesse pour qu'il décrive ensuite son orbite géostationnaire définitive.
Le lancement complet du satellite est alors achevé et le processus permettant de le rendre opérationnel peut débuter.
- Qu'est-ce qu'un satellite géostationnaire ?
 - Expliquer pourquoi il est judicieux de lancer les satellites géostationnaires d'un lieu proche de l'équateur comme Kourou en Guyane.

Exercice 2

Document 1 : La deuxième expérience de Thomson

Le physicien anglais Joseph John Thomson utilisa un tube à vide, dans lequel une cathode émet des électrons. Ceux-ci sont accélérés dans un champ électrostatique créé par des anodes de collimation. À la sortie de ces anodes, les électrons forment un faisceau très étroit. Ce faisceau passe ensuite entre deux plaques métalliques de charges opposées. Les électrons, soumis à un nouveau champ électrostatique, sont alors déviés de leur trajectoire et viennent frapper un écran constitué d'une couche de peinture phosphorescente.

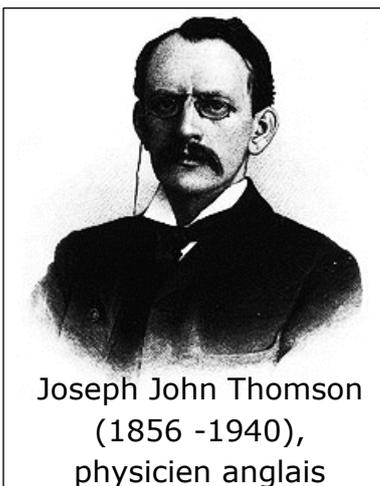
Tube utilisé par Thomson pour montrer la déviation de particules chargées par un champ électrostatique :



Document 2 : Création d'un champ électrostatique

Deux plaques métalliques horizontales portant des charges opposées possèdent entre elles un champ électrostatique uniforme \vec{E} caractérisé par :

- sa direction : perpendiculaire aux plaques
- son sens : de la plaque chargée positivement vers la plaque chargée négativement.



Document 3 : Force électrostatique subie par une particule chargée dans champ électrique \vec{E}

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

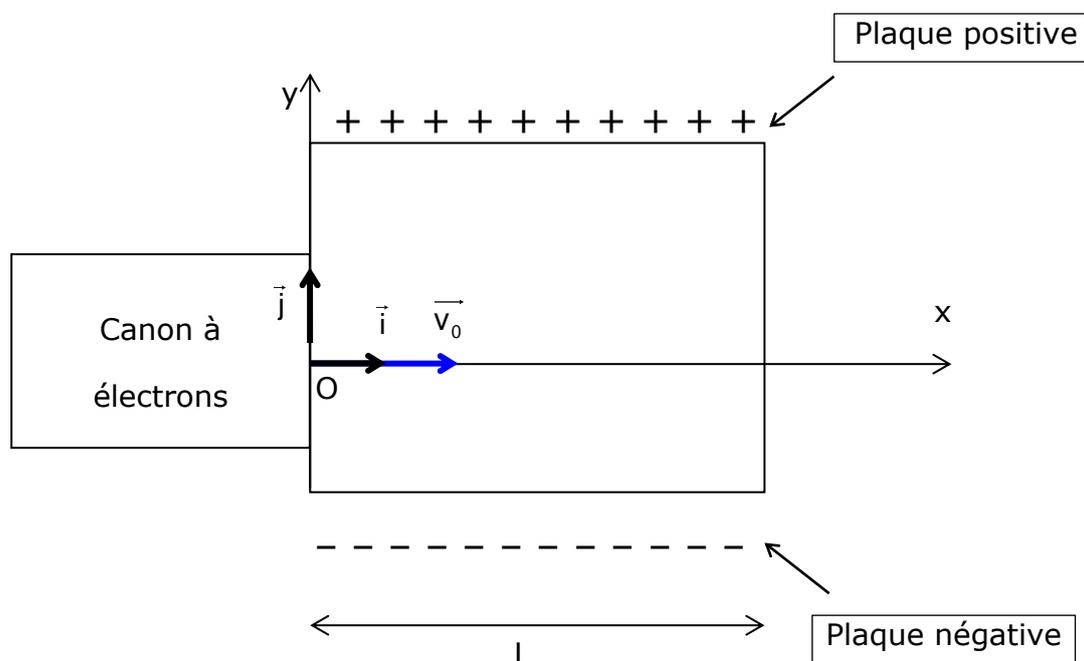
Force subie par la particule chargée

Chargé de la particule

Champ électrostatique

Document 4 : Expérience de laboratoire ; détermination du rapport e/m pour l'électron

Le montage ci-dessous reprend le principe de la deuxième expérience de Thomson. Il comporte un tube à vide dans lequel un faisceau d'électrons est dévié entre deux plaques de charges opposées. On mesure la déviation verticale du faisceau d'électrons lors de la traversée des plaques sur une longueur L , afin de déterminer la valeur du rapport e/m .



Données de l'expérience :

Charge d'un électron : $q = -e$; e étant la charge élémentaire.

Les électrons sortent du canon à électrons avec une vitesse $v_0 = 2,27 \times 10^7 \text{ m.s}^{-1}$.

Le faisceau d'électrons passe entre les deux plaques chargées et est dévié d'une hauteur h quand il sort des plaques.

L'intensité du champ électrostatique entre les deux plaques est : $E = 15,0 \text{ kV.m}^{-1}$.

La longueur des plaques est : $L = 8,50 \text{ cm}$.

On fait l'hypothèse que le poids des électrons est négligeable par rapport à la force électrostatique \vec{F} .

1. Détermination du caractère négatif de la charge de l'électron par J.J. Thomson.

1. À l'aide du document 2, représenter sur L'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE (dernière page du sujet) le vecteur correspondant au champ électrostatique \vec{E} .

On prendra l'échelle suivante : $1,0 \text{ cm}$ pour $5,0 \text{ kV.m}^{-1}$.

2. *J.J. Thomson a observé une déviation du faisceau d'électrons vers la plaque métallique chargée positivement (voir document 1).*

Expliquer comment J.J. Thomson en a déduit que les électrons sont chargés négativement.

2. Détermination du rapport e/m pour l'électron.

3. En appliquant la deuxième loi de Newton à l'électron, montrer que les relations donnant les coordonnées de son vecteur accélération sont :

$$a_x = 0 \quad \text{et} \quad a_y = \frac{eE}{m}$$

4. Etablir les équations horaires du mouvement $x(t)$ et $y(t)$, en justifiant tout le raisonnement.
5. Montrer que la courbe décrite par les électrons entre les plaques admet pour équation :

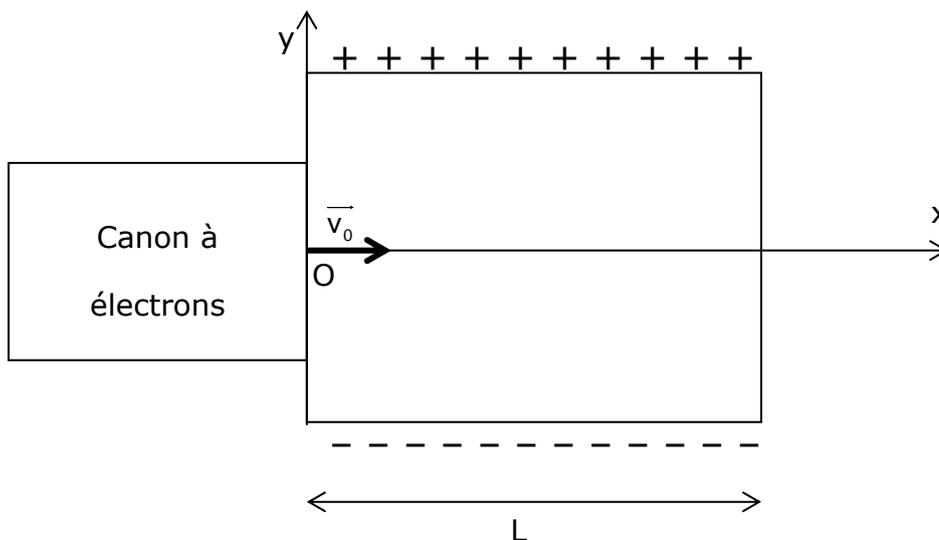
$$y = \frac{eE}{2mv_0^2} x^2$$

À la sortie des plaques, en $x = L$, la déviation verticale du faisceau d'électrons par rapport à l'axe (Ox) a une valeur $h = 1,85 \text{ cm}$.

6. En déduire l'expression du rapport $\frac{e}{m}$ en fonction de E , L , h et v_0 .
7. Donner la valeur du rapport $\frac{e}{m}$.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

L'intensité du champ électrique entre les deux plaques est $E = 15,0 \text{ kV.m}^{-1}$.



Exercice 3 A propos d'énergie

Un jouet de fête foraine est constitué d'un chariot de masse m pouvant glisser avec frottements le long d'un rail qui comporte une partie [OA] horizontale et une partie [AB] inclinée d'un angle α par rapport à l'horizontale.



Le chariot lancé avec une vitesse initiale de valeur v_0 parvient au point B, redescend et s'arrête en un point C situé sur la partie horizontale. Les frottements sont équivalents à une force constante \vec{f} tout au long du trajet.

Données

$V_0=6,0$ m/s, $m=5,0$ kg, $OA=8,0$ m, $AB=3,0$ m, $\alpha=30^\circ$, $f=10$ N, $g=9,81$ m/s².

1. Exprimer le travail du poids entre O et A puis calculer sa valeur.
2. Exprimer le travail du poids entre A et B puis calculer sa valeur. Quelle est la nature de ce travail ?
3. Exprimer l'énergie mécanique en A en fonction de la vitesse en A v_A .
4. Qu'est-ce qu'une force non conservative ? Donner un exemple.
5. A quoi est égale la variation d'énergie mécanique entre O et A ?
6. En déduire l'expression de la vitesse en A puis calculer v_A .
7. Quelle forme d'énergie possède le chariot en B ? En déduire l'expression de son énergie mécanique $E_{m,B}$ en fonction des données du problème.
8. Que peut-on dire de l'énergie mécanique en C ?
9. Déterminer la distance BC parcourue par le chariot au retour.