# L’ASCENSEUR SPATIAL

**Document 1. Présentation de l’ascenseur spatial**

|  |
| --- |
| L’ascenseur spatial a été envisagé dans les années 1970 comme alternative aux lanceurs classiques de satellites que sont les fusées et navettes spatiales.  Dans certains ouvrages, l’ascenseur culminerait à l’altitude de 36 000 kilomètres au-dessus du sol. Cette hauteur n’est pas due au hasard. En effet, un satellite en orbite équatoriale à cette altitude apparait immobile au-dessus d’un point de l’équateur : c’est un satellite géostationnaire.  La particularité de l’orbite géostationnaire suggère une façon de relier le sol et l’espace : il suffit de laisser pendre un câble d’un satellite géostationnaire. Ce dernier restera toujours à l’aplomb du même point de la surface terrestre d’où l’on pourra construire une base de départ de cabines qui escaladeront le câble, transportant des satellites directement jusqu’à l’orbite géostationnaire en quelques jours, environ cinq selon certaines hypothèses retenues.  Et inversement les satellites en fin de vie pourraient être redescendus par l’ascenseur et récupérés sur Terre. Comment déployer le câble depuis l’espace ? La réponse semble simple : il suffit de dérouler une bobine de câbles préalablement mise en orbite géostationnaire.  *Dessin d’artiste représentant un ascenseur spatial*  Mais il y a un problème. Sur la partie basse du câble l’attraction terrestre dépasse la force centrifuge due à son mouvement de rotation autour de la Terre. Conséquence : le câble est irrémédiablement tiré vers la Terre et ne peut maintenir sa position initiale. Pour pallier ce problème, il suffit de déployer le câble simultanément dans deux directions opposées, c’est-à-dire vers la Terre et vers l’espace.  Dans ce cas, l’astuce consiste à ce que la partie supérieure du câble « retienne » la partie inférieure.  L’ascenseur spatial permettrait aussi d’utiliser l’énergie de rotation de la Terre pour lancer des sondes depuis l’orbite géostationnaire vers des orbites plus hautes. La vitesse orbitale tout en haut de l’ascenseur serait si grande qu’un satellite qui y serait largué n’aurait pas besoin de moteur pour échapper à l’attraction terrestre. Vénus, Mars, Jupiter et même la sortie du système solaire seraient accessibles sans énergie supplémentaire que celle requise pour atteindre l’orbite géostationnaire.  *D’après “The orbital tower : a spacecraft launcher using the Earth’s rotational energy”, article original de Jérôme PEARSON en 1975 et* [*http://blog.belial.fr/post/2010/04/18/Ascenseur-vers-l-espace*](http://blog.belial.fr/post/2010/04/18/Ascenseur-vers-l-espace)*, article de R. LEHOUCQ*  Ascenseur 2.jpg  *Schéma de principe de*  *l’ascenseur spatial* |

**Document 2. Vitesse de libération et vitesse orbitale**

**Vitesse de libération *V*L** : vitesse minimale à communiquer à un projectile non motorisé dans le référentiel géocentrique (référentiel lié au solide imaginaire contenant le centre de la Terre et 3 étoiles éloignées) pour qu’il puisse s’échapper de l’attraction terrestre. Elle dépend de son altitude initiale *z*.

**Vitesse orbitale *VO*** d’un point de l’ascenseur spatial : vitesse, par rapport au référentiel géocentrique, qu’il possède sur son orbite dans une direction perpendiculaire au fil de l’ascenseur.



Graphe représentant la vitesse de libération *VL* et la vitesse orbitale *VO* d’un point de l’ascenseur spatial

(en km.s-1) en fonction de l’altitude *z*.

1. **Pourquoi utiliser un satellite géostationnaire pour ce projet ?**

### À partir des documents et sans faire de calcul, définir un satellite géostationnaire puis donner les valeurs de sa vitesse et de sa période dans le référentiel terrestre et dans le référentiel géocentrique.

### Dans le référentiel géocentrique, supposé galiléen, le satellite géostationnaire a une trajectoire circulaire. À partir de la deuxième loi de Kepler (ou des aires), montrer que le mouvement de ce satellite est uniforme.

### En faisant référence à la question précédente, donner la direction et le sens du vecteur accélération du satellite géostationnaire dans le référentiel géocentrique. Montrer que ces résultats sont en conformité avec la deuxième loi de Newton.

### Établir l’expression de la vitesse *v* du satellite géostationnaire dans le référentiel géocentrique en fonction de sa période *T*Géo, du rayon de la Terre *R*T (*R*T = 6,4 x 103 km)  et de son altitude *h* puis calculer sa valeur.

### D’après le texte, que faut-il « rajouter » à un satellite géostationnaire pour réaliser un ascenseur spatial ? Pour quelle raison est-il essentiel de placer un satellite à 36 000 km ?

## L’ascenseur spatial

### Sans souci d’échelle, représenter sur un schéma :

* la Terre de rayon équatorial *R*T = 6,4 x 103 km ;
* le satellite géostationnaire en orbite à l’altitude *h* de « 36 000 km » ;
* le câble reliant le satellite géostationnaire à la Terre ;
* la cabine de l’ascenseur à une altitude *h’* = 20 000 km ;
* le vecteur vitesse ascensionnelle  de la cabine le long du fil ainsi que son vecteur vitesse   
  orbitale .

### Un point de l’ascenseur spatial situé à l’altitude *z* possède dans le référentiel géocentrique la vitesse orbitale *V*O*(z)* =. Montrer que cette expression est cohérente avec l’allure de la courbe de la vitesse orbitale présentée dans le document 2.

### En faisant référence au document 1, calculer la valeur de sa vitesse moyenne ascensionnelle.

### Comparer la vitesse moyenne ascensionnelle à la vitesse orbitale à l’altitude *h’.*

### « La vitesse tout en haut de l’ascenseur serait si grande qu’un satellite qui y serait largué n’aurait pas besoin de moteur pour échapper à l’attraction terrestre ».

#### Estimer l’altitude minimale de l’ascenseur spatial pour que le satellite s’échappe de l’attraction terrestre.

#### Estimer l’énergie cinétique à communiquer à un satellite de masse *m* = 1,5 x 103 kg, en orbite géostationnaire, pour qu’il s’échappe de l’attraction terrestre. Comment cette énergie peut-elle lui être communiquée ?

**STATION SPATIALE ISS**

*La station spatiale internationale ISS (International Space Station) est à ce jour le plus grand des objets artificiels placé en orbite terrestre à une altitude de 400 km.*

*Elle est occupée en permanence par un équipage international qui se consacre à la recherche scientifique dans l’environnement spatial. Jusqu’à présent, trois vaisseaux cargos ATV ont permis de ravitailler la station ISS.*

**Les parties A et B de cet exercice sont indépendantes.**

**PARTIE A : Étude du mouvement de la station spatiale ISS**

La station spatiale internationale, supposée ponctuelle et notée S, évolue sur une orbite qu’on admettra circulaire, dont le plan est incliné de 51,6° par rapport au plan de l’équateur. Son altitude est environ égale à 400 km.

**Données :**

* rayon de la Terre : R = 6380 km
* masse de la station : m = 435 tonnes
* masse de la Terre, supposée ponctuelle : M = 5,98 ×1024 kg
* constante de gravitation universelle : G = 6,67×10-11 m3.kg–1.s–2
* altitude de la station ISS : h
* expression de la valeur de la force d’interaction gravitationnelle F entre deux corps A et B ponctuels de masses respectives mA et mB, distants de d = AB :



1. Représenter sur un schéma :

- la Terre et la station S, supposée ponctuelle ;

- un vecteur unitaire  orienté de la station S vers la Terre (T) ;

- la force d’interaction gravitationnelle exercée par la Terre sur la station S.

Donner l’expression vectorielle de cette force en fonction du vecteur unitaire .

2. En considérant la seule action de la Terre, établir l’expression vectorielle de l’accélération  de la station dans le référentiel géocentrique, supposé galiléen, en fonction de G, M, h, R et du vecteur unitaire .

3. Vitesse du satellite.

3.1. Montrer que, dans le cas d’un mouvement circulaire, la valeur de la vitesse du satellite de la station a pour expression : .

3.2. Calculer la valeur de la vitesse de la station en m.s–1.

4. Combien de révolutions autour de la Terre un astronaute présent à bord de la station spatiale internationale fait-il en 24h ?

**PARTIE B : Ravitaillement de la station ISS**



*Le 23 mars 2012, un lanceur Ariane 5 a décollé du port spatial de l’Europe à Kourou (Guyane), emportant à son bord le véhicule de transfert automatique (ATV) qui permet de ravitailler la station spatiale internationale (ISS).*

*Au moment du décollage, la masse de la fusée est égale à 7,8*×*102 tonnes, dont environ 3,5 tonnes de cargaison : ergols, oxygène, air, eau potable, équipements scientifiques, vivres et vêtements pour l’équipage à bord de l’ATV.*

On se propose dans cette partie d’étudier le décollage de la fusée.

Pour ce faire, on se place dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

À la date t = 0 s, le système est immobile.

À t = 1 s, la fusée a éjecté une masse de gaz notée mg, à la vitesse . Sa masse est alors notée mf et sa vitesse .

**Données :**

* Intensité de la pesanteur à Kourou : g = 9,78 N.kg-1
* Débit d’éjection des gaz au décollage : D = 2,9×103 kg.s-1
* Vitesse d’éjection des gaz au décollage : vg= 4,0 km.s–1

1. Modèle simplifié du décollage

Dans ce modèle simplifié, on suppose que le système {fusée + gaz} est isolé.

1.1. En comparant la quantité de mouvement du système considéré aux dates t = 0 s et   
t = 1 s, montrer que :



Quelle est la conséquence de l’éjection de ces gaz sur le mouvement de la fusée ?

1.2. Après avoir montré numériquement que la variation de la masse de la fusée est négligeable au bout d’une seconde après le décollage, calculer la valeur de la vitesse de la fusée à cet instant.

2. Étude plus réaliste du décollage

2.1. En réalité la vitesse vf est très inférieure à celle calculée à la question 1.2.. En supposant que le système {fusée + gaz} est isolé, quelle force n’aurait-on pas dû négliger ?

2.2. On considère désormais le système {fusée}. Il est soumis à son poids  et à la force de poussée  définie par où D est la masse de gaz éjecté par seconde.

2.2.1. Montrer que le produit (D.vg) est homogène à une force.

2.2.2. Vérifier par une application numérique que la fusée peut effectivement décoller.

**DÉTERMINATION DU RAPPORT e / m POUR L’ÉLECTRON**

**Document 1 : La deuxième expérience de Thomson**

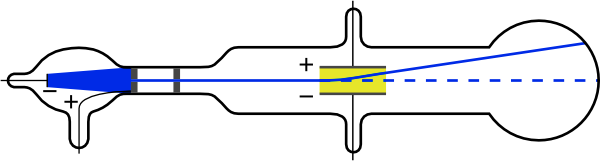
Le physicien anglais Joseph John Thomson utilisa un tube à vide, dans lequel une cathode émet des électrons. Ceux-ci sont accélérés dans un champ électrostatique créé par des anodes de collimation. À la sortie de ces anodes, les électrons forment un faisceau très étroit. Ce faisceau passe ensuite entre 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 :***

Anodes de collimation

Cathode émettrice d’électrons

Peinture phosphorescente



Faisceau d’électrons

Plaques de déviation

**Document 2 : Création d'un champ électrostatique**

Deux plaques métalliques horizontales portant des charges opposées possèdent entre elles un champ électrostatique uniforme  caractérisé par :

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



Joseph John Thomson

(1856 -1940),

physicien anglais

**Document 3 : Force électrostatique subie par une particule chargée dans champ électrique** 

Champ électrostatique



Force subie par la

particule chargée

Charge de la particule

Pour un électron : q = - e ; e étant la

charge élémentaire.

**Document 4 :** **Interactions entre particules chargées**

Deux particules de charges de même signe se repoussent ; deux particules de charges opposées s'attirent.

**Document 5 : 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.

Plaque positive

y

+ + + + + + + + + + + + +



Canon à

électrons







x

O

– – – – – – – – – – – – –

Plaque négative

L

**Données de l'expérience :**

Les électrons sortent du canon à électrons avec une vitesse v0 = 2,27 × 107 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 kV.m−1.

La longueur des plaques est : L = 8,50 cm.

On fait l'hypothèse que le poids des électrons est négligeable par rapport à la force électrostatique .

**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** le vecteur correspondant au champ électrostatique .

On prendra l'échelle suivante : 1,0 cm pour 5,0 kV.m−1.

1. *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.

1. À l'aide du **document 3**, donner la relation entre la force électrostatique  subie par un électron, la charge élémentaire e et le champ électrostatique  . Montrer que le sens de déviation du faisceau d'électrons est cohérent avec le sens de .

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

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

ax = 0 et ay = 

1. On montre que la courbe décrite par les électrons entre les plaques admet pour   
   équation :



*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 cm.*

1. En déduire l'expression du rapport  en fonction de E, L, h et v0.
2. Donner la valeur du rapport .
3. *On donne ci-dessous les valeurs des grandeurs utilisées, avec les incertitudes associées :*

*v0 = (2,27 ± 0,02) × 107 m.s−1;*

*E = (15,0 ± 0,1) kV.m−1 ;*

*L = (8,50 ± 0,05) cm ;*

*h = (1,85 ± 0,05) cm ;*

*L'incertitude du rapport* *, notée*  *, s'exprime par la formule suivante :*



Calculer l'incertitude , puis exprimer le résultat de  avec cette incertitude.

**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**

L’intensité du champ électrique entre les deux plaques est E = 15,0 kV.m−1.



Canon à

électrons

x

O

L

y

+ + + + + + + + + + + + +

– – – – – – – – – – – – –

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………