Document 1 : Un ruban vers les étoiles

L'ascenseur spatial est un type de transport spatial entre la surface et une orbite autour de la Terre (ou une autre planète). Il se fonde sur l'idée d'un câble maintenu tendu par la force centrifuge due à la rotation de la Terre sur elle-même. Pour être en équilibre, le câble doit s'allonger au-delà de l'orbite géostationnaire (36 000 km), à partir de laquelle la force centrifuge dépasse la force de gravitation. Une fois en place, des nacelles montant le long du câble permettraient de rejoindre l'orbite de façon plus économique qu'avec un lanceur spatial classique comme une fusée.

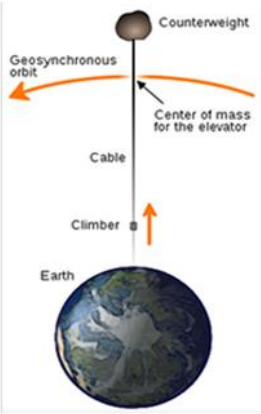
L'idée développée dans les années 1950 s'est heurtée à de nombreuses contraintes technologiques, et en premier lieu à l'inexistence d'un matériau à la fois suffisamment léger et résistant pour résister à la tension engendrée par le propre poids du câble. La découverte dans les années 1980-90 des nanotubes de carbone, dont les propriétés mécaniques théoriques pourraient être suffisantes, a relancé un certain intérêt pour cette idée, qui reste cependant pour l'instant du domaine de l'utopie ou de la science fiction.

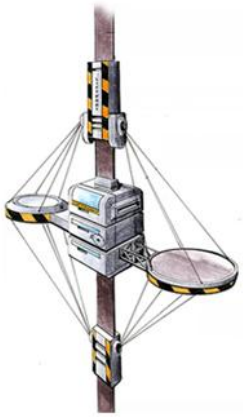
En 1979, l'écrivain américain Arthur C. CLARKE popularise le concept d'ascenseur spatial dans son roman de science fiction intitulé : << The Fountains of Paradise >>.

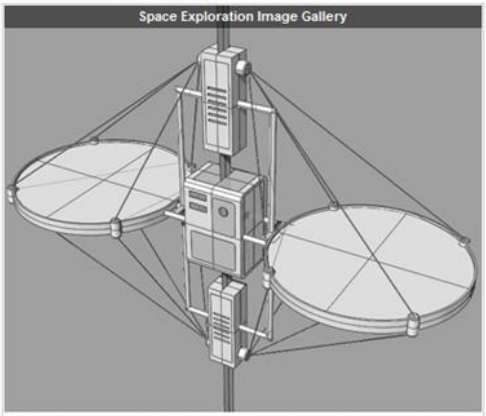
Fig. 1.1: Scale drawing of the Earth with a space elevator.

Intérêt

➢Réduire environ 10 000 fois les coûts de lancement et de mise en orbite des satellites,
➢Éliminer les risques d'échec lors des lancements.

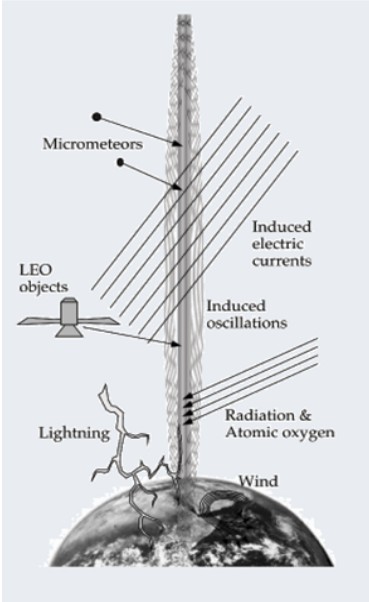


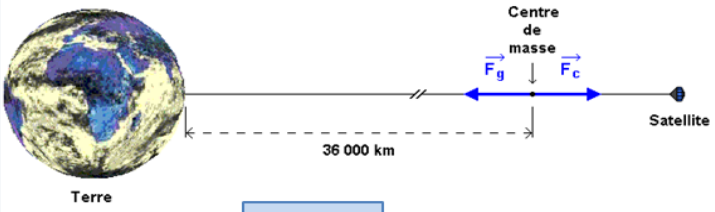




The lifter, seen in this artist's concept, will be able to carry as much as 13 tons of cargo into space, propelled by laser beams. See more space exploration pictures.
Photo courtesy LiftPort Group

L'ascenseur spatial pourrait prendre la forme d'un long câble sur lequel circuleraient des navettes.
Chaque portion du câble est soumise d'une part à l'**attraction gravitationnelle terrestre**, et d'autre part à **l'accélération d'entraînement** (la force centrifuge), qui s'équilibrent à l'altitude de l'orbite géostationnaire. La pesanteur domine en dessous de cette altitude, et il faut donc une longueur suffisante de câble (ou une masse suffisante, par exemple constituée du lanceur ayant lancé initialement le câble, ce qui permettrait de raccourcir ce dernier) au-dessus, pour assurer une tension vers le haut.
En dehors de celle à l'altitude de l'orbite géostationnaire, les sections du câble ont une vitesse de rotation différente de celle qu'elles auraient si elles étaient en orbite libre : plus lente en dessous et plus rapide au dessus.





Difficultés

➢Fabrication d'un long câble léger et résistant *(non encore résolue)*,
➢Déploiement du câble *(compliqué par sa très grande taille)*,
➢Maîtrise des oscillations du câble *(vents, tempêtes, cyclones...)*,
➢Ancrage du câble *(sur une plate-forme marine style plate-forme pétrolière...)*
➢ Dégâts causés au câble par les météorites naturelles et artificielles
➢ Dégâts causés au câble par les radiations provenant du Soleil et de l'espace,
➢ Risque de collision (avion, satellite...),
➢Terrorisme...

La NASA a organisé un concours ayant pour objectif la conception d'un câble en nanotubes, le Tether Challenge. Ce concours a offert en 2008 un prix d'un million de dollars à l'équipe qui proposera le câble en nanotubes le plus résistant, pourvu qu'il le soit au moins deux fois plus que le meilleur câble sur le marché

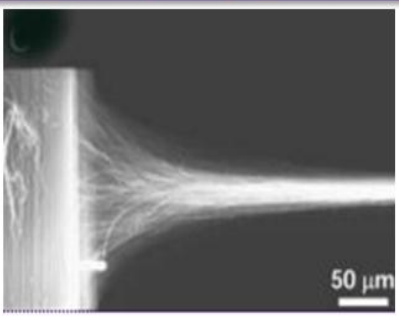
Document 2 : propriétés et problème avec les nanotubes de carbone

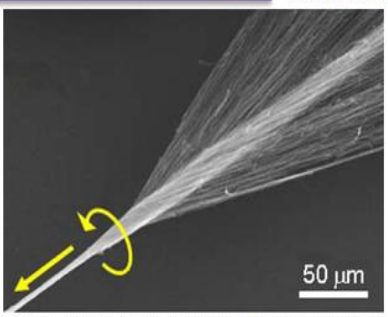
- Propriétés exceptionnelles
- Des centaines de fois plus résistants que l'acier pour un poids 6 fois moindre (à section équivalente)
- Certains nanotubes sont plus durs que le diamant
- La limite de rupture : aux alentours des **150 GPa**
- Très flexibles en raison de leur grande longueur(courbure réversible jusqu'à un angle critique qui atteint 110° pour un tube monofeuillet)

1 Gpa ↔ 10 tonnes/cm²

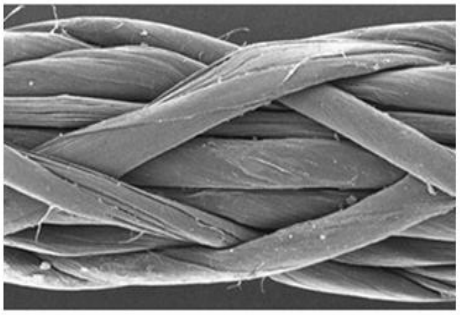
Reste à trouver maintenant les moyens de conserver ces propriétés mécaniques de rigidité et de résistance à la rupture à l'échelle macroscopique

Propriétés finales dépendantes de la longueur des nanotubes assemblés, de la perfection de leur alignement et de la manière dont on arrivera à les lier





Mei Zhang, Ken R. Atkinson, and Ray H. Baughman, Science, 19 November 2004, 1358-1361.



Document 3 : vitesses et accélérations

Après le déploiement complet du câble spatial, le satellite peut servir de contrepoids. La force d'inertie centrifuge FC (concept valide dans un référentiel en rotation) dirigée vers « l'extérieur » et la force gravitationnelle Fg dirigée vers « l'intérieur » s'équilibrent au centre de masse de l'ensemble

vitesses — Référentiel géocentrique

Vitesse d'un satellite en orbite circulaire suivant son altitude z $V_{sat} = \sqrt{\frac{G.M_T}{r}}$

Vitesse d'un point du câble par rapport au centre de la Terre. $V_{asc} = \omega.r$

Constante de gravitation : $G = 6.67 \times 10^{-11}$ SI
Masse de la Terre : $M_T = 5.98 \times 10^{24}$ kg
Période de rotation de la Terre : T= 23h 56min 4s
$r = R_T + z$ (R_T rayon de la terre : 6400 km, z : altitude)
ω (rad/s) : vitesse angulaire de la Terre

accélération

Le champ gravitationnel apparent g est du à 2 accélérations :
1- le champ gravitationnel terrestre qui diminue avec l'altitude : $g1 = - G.M_T / r^2$ (vers la bas)
2- le champ du à la rotation de la Terre : $g2 = \omega^2 . r$ (vers le haut)

Donc $g = g1 + g2$
$g = - G.M_T / r^2 + \omega^2 . r$

Graphiques

- Calculer la vitesse angulaire de la Terre en radians par seconde (rad/s)
- Tracer dans Excel sur le même graphique Vsat et Vasc en fonction de l'altitude z (0km < z < 144 000 km)
- Tracer le graphe g = f(altitude)

Extraits de « L'odyssée du temps »

- A l'aide des documents 1 et 3 ou des graphiques tracés, commenter et justifier les contenus des 6 extraits du roman (document 4). Des raisonnements précis et des calculs seront parfois nécessaires.

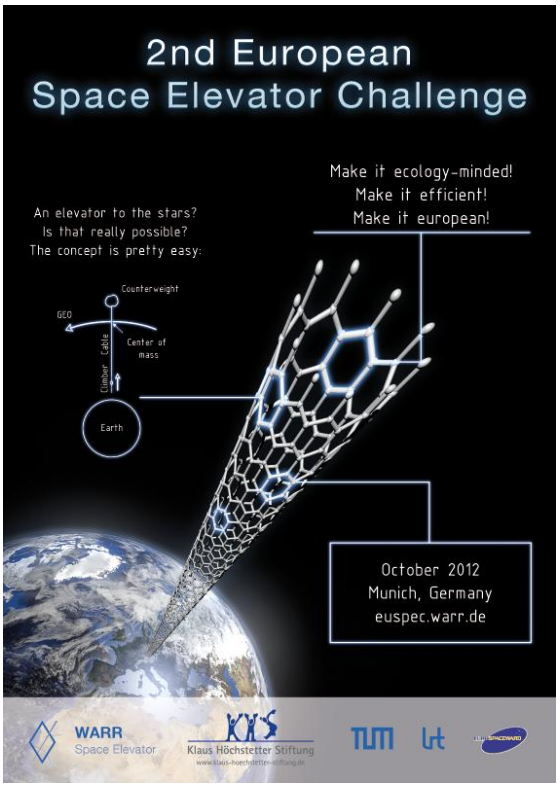
Problématique de la réalisation d'un ascenseur spatial

- Quels sont les problèmes à résoudre pour finir par réaliser un ascenseur spatial.

Un ascenseur spatial sur la Lune ?

LUNE : Rayon équatorial : 1 737,4 km (0,273 Terre) ; Masse : $7{,}3477 \times 10^{22}$ kg (0,0123 Terre) ; Gravité de surface : 1,622 m/s^2 (0,1654 g) ; Période de rotation (jour sidéral) : 27,321582 jours.

- Pourquoi serait-il plus simple de construire un ascenseur spatial sur la Lune que sur la Terre.
- A quelle altitude un satellite est-il géosynchrone ?



Document 4 : Extrait d'un roman de science-fiction

Extrait 1

— Avec quoi est-il fabriqué, ce ruban ?

— Des fullerènes. Des nanotubes de carbone. De petits cylindres d'atomes de carbone assemblés en torons. Extrêmement robustes. Tout le ruban est soumis à une tension ; la rotation de la Terre essaie de balancer le contrepoids au loin, comme un gamin qui fait tourner un caillou au bout d'une corde. Aucun matériau classique n'y résisterait. Alors, des araignées vont et viennent en tissant des bandes supplémentaires et en liant le tout avec un adhésif.

Des araignées mécaniques, qui tissaient sans fin une toile dans le ciel.

Extrait 2

— Et le cas le plus mauvais ?

— Notre araignée se détache complètement du ruban. Vous avez compris qu'un point précis de l'ascenseur se trouve en « géosync » : l'orbite géosynchrone, tournant autour de la Terre en exactement vingt-quatre heures. C'est la seule altitude que l'on peut qualifier à proprement parler d'orbitale. En dessous, on se déplace trop lentement pour rester en orbite, et au-dessus, trop rapidement.

— Donc, si l'araignée perd prise…

— En dessous de la géosync, nous retomberions sur Terre. (Il tapota la coque transparente.) On ne dirait pas, mais elle est conçue pour résister à une rentrée atmosphérique à basse vélocité.

— Et au-delà de la géosync ? Nous nous éloignerions de la Terre pour de bon, exact ?

Extrait 3

Une heure et demie plus tard, la précipitation des événements au début de l'ascension n'était plus qu'un souvenir. À trois cents kilomètres et quelques d'altitude, Bisesa pouvait déjà voir le globe terrestre dans son intégralité, avec le ruban qui descendait tout droit vers la forme familière des continents américains, loin en dessous. Même si les étoiles tournaient autour d'elle au cours de cette extraordinaire ascension, la Terre resterait toujours à la même place, se rendit-elle compte. C'était comme si elle avait été transportée dans un univers moyenâgeux, le cosmos de Dante, représenté par une Terre fixe entourée d'étoiles tournoyantes.

Extrait 4

Deux heures après le « lancement », le ruban changea de nouveau, s'élargissant jusqu'à deux fois sa taille standard : de deux mètres seulement, et légèrement recourbé.

— Pourquoi avoir augmenté la largeur ? s'enquit Bisesa.

— Les débris spatiaux, répondit Alexei. Je veux dire, des morceaux de vieux vaisseaux spatiaux, des blocs d'urine d'astronaute congelée, ce genre de truc. Entre cinq cents et mille sept cents kilomètres, nous sommes exposés à un risque critique. La largeur supplémentaire permet d'encaisser n'importe quel impact.

— Et si nous sommes frappés par quelque chose de… ?

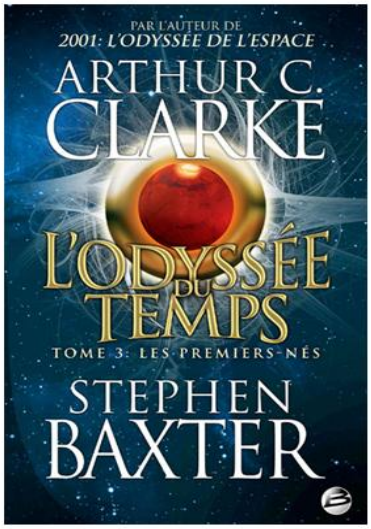
— On suit à la trace tout objet assez gros pour couper le ruban, et on se contente d'écarter de sa trajectoire tout le bastringue à partir du sol, au moyen du crawler-transporter. Les éléments plus petits perceront un trou dans le ruban, mais son matériau est assez intelligent pour s'autoréparer. Le seul problème, c'est si, par malchance, un objet frappe sa surface par la tranche.

— Ce qui explique la courbure du ruban, devina Bisesa.

— Oui. De la sorte, il ne peut pas être sectionné. Ne vous inquiétez pas.

Extrait 5

Il y avait treize heures qu'ils voyageaient, et ils se trouvaient à deux mille six cents kilomètres. Quand Bisesa remua, elle eut la sensation qu'elle allait flotter dans les airs. La pesanteur s'était reduite à moins de la moitié de celle qui régnait à la surface de la mer. La Terre était devenue insignifiante, une simple boule pendillant au bout d'une corde d'argent.



L'odyssée du temps , T3 Les premiers nés Stephen Baxter (Auteur) - Roman (broché). Paru en 06/2012

Extrait 6

Le huitième jour, ils traversèrent le point géosynchrone. L'espace d'un instant, ils se retrouvèrent en apesanteur, orbitant autour de la Terre comme n'importe quel satellite digne de ce nom, bien que pendant des jours, la force de la gravitation ait été si basse que cela ne fit aucune différence pratique.

Au point géosync flottait une autre structure, une immense roue dont le moyeu avait le ruban pour centre. Elle n'était pas terminée. Bisesa aperçut un petit appareil qui évoluait lentement sur la gigantesque armature, au milieu d'étincelles de soudures. Plus loin, elle distingua d'immenses baies vitrées derrière lesquelles luisaient, verdâtres, des choses vivantes.

La station s'éloigna derrière eux, rétrécit puis disparut, et pendant tout ce temps ils la contemplèrent.

Une fois passé cette étape, le sens de la pesanteur à l'intérieur de l'araignée se renversa tandis que la force centripète, compensée au point d'équilibre, prenait le relais pour tenter de les projeter loin de la Terre. À présent, le « bas » pointait du côté opposé à la Terre grosse comme un petit pois. Ils durent réarranger leur cabine afin de transformer le plafond en sol et *vice versa*. Alexei leur révéla que les cabines conçues pour les passagers opéraient cette volte-face de façon automatique.

Document 5 : lune

Un ascenseur lunaire avant l'ascenseur terrestre (L'usine nouvelle ,article aout 2012)

L'un des groupes les plus impliqués dans la construction d'un ascenseur spatial, l'américain LiftPort, vient de passer à la vitesse supérieure en lançant un appel au don sur le site web Kickstarter dédié au financement collaboratif de projets.

La première étape que le groupe s'est fixée - "créer une plateforme flottante portée par un ballon et reliée au sol, pour faire grimper le robot-ascenseur jusqu'à 2 km d'altitude" -, estimée à 8 000 dollars, vient d'être largement franchie. A l'heure où nous écrivons ces lignes, le projet peut se targuer de 1 059 donateurs, pour un montant provisoire de 32 242 dollars.

"Il y a environ six mois, nous avons eu une avancée fondamentale, qui est en mesure de nous permettre aujourd'hui de construire un ascenseur sur la Lune. C'est moins cher et plus simple, et nous pouvons faire ça rapidement", a récemment déclaré Michael Laine, président du groupe LiftPort. Il fixe son objectif d'installation de l'ascenseur lunaire à 2020.

"Nous avons de nombreux soutiens et cela nous encourage. Nous souhaitons atteindre le palier de 100 000 dollars pour réaliser des tests pendant un an, puis réunir 3 millions de dollars pour le mettre sur pied", s'enthousiasme l'ex-collaborateur de la Nasa.