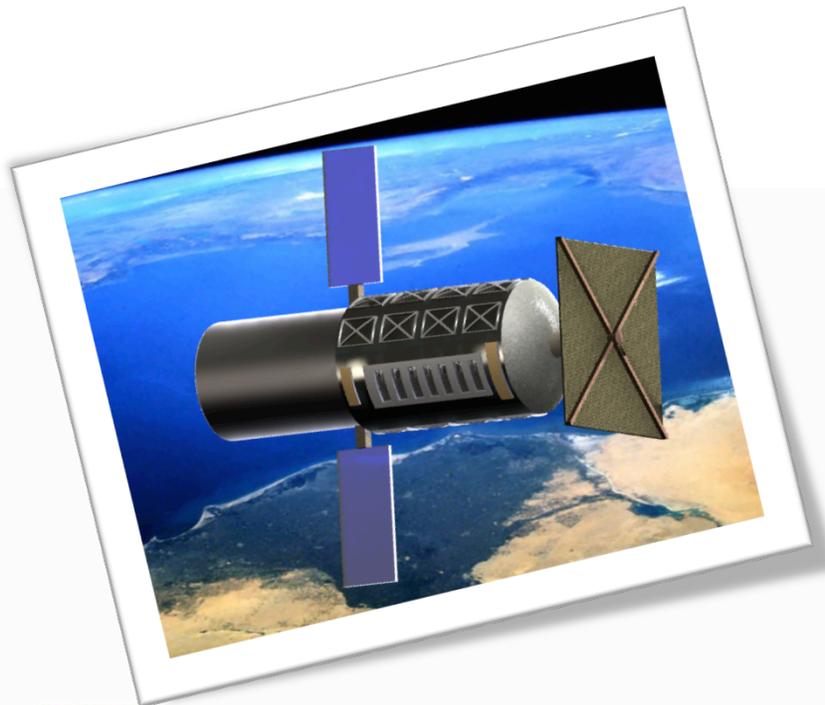


*Projet de Physique P6-3
STPI/P6-3/2011 - 15*

**MISE EN ŒUVRE
D'UN ECRAN SOLAIRE
DANS L'ESPACE**



Etudiants :

**Aurélie BLAIS
Yura CALDERON VERLADE
Claire LEBAS**

**Brice DELAUNAY
Anthony MERIMEE
Jiakun YANG**

**Enseignant responsable du projet :
Didier Vuillamy**

Date de remise du rapport : **17/06/2011**

Référence du projet : **STPI/P6-3/2011 – 15**

Intitulé du projet : **Mise en œuvre d'un écran solaire dans l'espace**

Type de projet : **bibliographique**

Objectifs du projet :

Le projet consiste à trouver des méthodes réalisables de déploiement de voiles ou d'écrans solaires dans l'espace afin de protéger des réservoirs d'ergol contre les rayons du soleil.

Mots-clefs du projet : **déploiement, voile, espace.**

TABLE DES MATIERES

I. Introduction	5
II. Méthodologie / Organisation du travail.....	7
III. Travail réalisé.....	9
1. Matériaux utilisés.....	9
2. Déploiement des voiles de type Cosmos-1	11
a) Principe de fonctionnement : exemple de Cosmos-1.	11
b) Qualités requises des matériaux utilisés.	13
3. Déploiement par rotation	14
a) Principe de fonctionnement : exemple d'IKAROS.	14
b) Matériaux utilisés.	16
c) Expérience réalisée.....	17
4. Le déploiement des voiles mécaniques	18
Conclusion	23
Bibliographie	24
Index des illustrations.....	25
Annexe	26
Calcul de trajectoire avec programme Excel.....	26

I. Introduction

Lors de ce quatrième semestre, nous avons eu à réaliser un projet traitant du déploiement possible d'un écran solaire dans l'espace.

Tout d'abord, il faut savoir que, depuis déjà des dizaines d'années, l'homme s'interroge sur la possibilité de voyager dans l'espace à bord d'un voilier solaire. Ainsi, Faure et Graffigny, romanciers français de science-fiction, imaginent un vaisseau spatial utilisant un miroir pour recueillir la pression de la lumière solaire. C'est en 1973 que la NASA et l'ESA (Agence Spatiale Européenne) engagent des travaux sur les voiliers solaires mais le projet est abandonné en 1977.

Le 21 juin 2005, le premier engin spatial à voile solaire est lancé mais ce fut un échec lors de la mise en orbite. En 2007 naît le projet de la voile solaire IKAROS qui fut lancée le 20 mai 2010 et qui réussit à se déployer. Entre temps, le lancement de la voile Nanosail-D, le 3 août 2008, échoua mais le déploiement de Nanosail-D2 le 20 janvier 2011 fut réussi.

Notre projet consistait à trouver des méthodes de déploiement possible pour un écran solaire adapté à un réservoir d'ergol. L'écran doit permettre de protéger du soleil le réservoir d'environ 8 mètres de long et 4 mètres de diamètre. Ce réservoir doit tourner autour de la Terre. Il y a pour cela deux manières possibles : soit la rotation, soit la translation circulaire. Une translation circulaire serait plus appropriée à notre sujet. En effet, l'écran solaire ne serait donc pas dans l'obligation de bouger autour du réservoir pour bloquer les rayons du soleil selon sa position autour de la Terre, ce qui serait le cas pour une rotation.

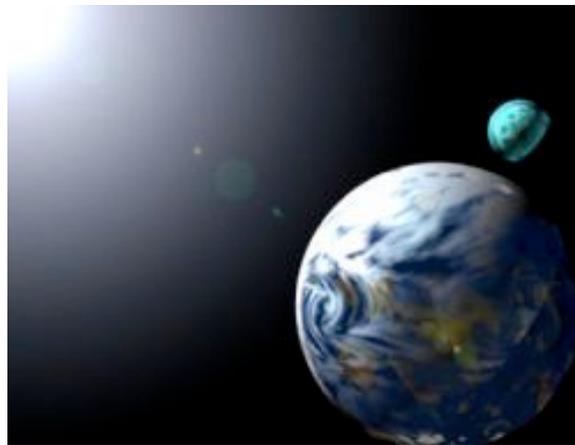


Illustration 1 : La Terre vue de l'espace

Bien entendu au lancement l'écran solaire est replié, et doit ensuite se déployer dans l'espace, c'est pourquoi nous avons cherché différentes formes de déploiement de voiles solaires.

Il faut souligner le fait que nous parlerons surtout de voile solaire, les deux termes sont employés. On peut pourtant remarquer une différence : une voile solaire est un dispositif de propulsion utilisant les photons de la lumière qui viennent la percuter pour avancer tandis que l'écran solaire sera là pour réfléchir cette lumière pour protéger le réservoir. Cependant, c'est le déploiement de la voile ou de l'écran qui nous intéresse et celui-ci se déroule de la même façon sur les deux dispositifs.

Dans notre situation, nous ne tiendrons pas compte du temps de déploiement, cependant il faudra prendre en compte l'encombrement, le poids et la complexité du système. En effet la voile solaire ne doit pas être trop lourde. Elle doit également être assez résistante.

Ce rapport est composé de deux parties.

Dans un premier temps, nous traiterons de la gestion de notre projet, c'est-à-dire de la façon dont nous avons mené notre projet.

La seconde partie sera une partie dans laquelle nous aborderons différents systèmes de déploiement envisageables, ainsi que les principaux matériaux utilisables pour les voiles solaires.

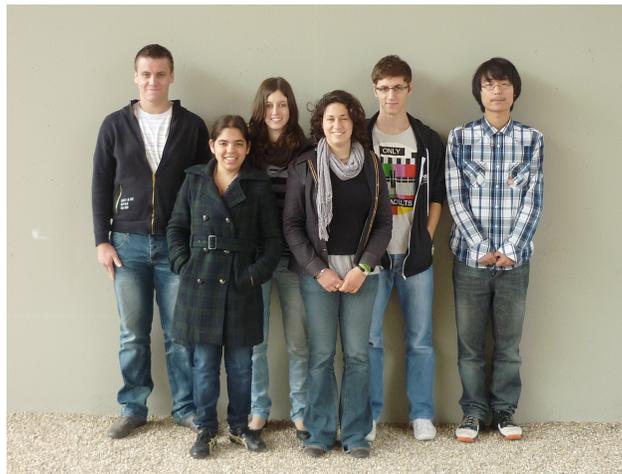
II. Méthodologie / Organisation du travail

Pour ce projet de physique, nous avons mis en place une organisation du travail dès le premier cours. En effet, les projets de mathématique et d'informatique effectués en semestre 3 nous ont permis de réaliser qu'une bonne organisation, donc qu'une bonne communication interne est primordiale pour mener à bien un travail en groupe, d'autant plus que nous étions nombreux.

Nous avons commencé par rassembler nos adresses mail INSA pour nous permettre de communiquer plus facilement, étant donné que nous ne nous connaissions pas tous. Ce moyen est par ailleurs très utile pour informer rapidement l'ensemble d'un groupe sur d'éventuelles remarques sur le projet ou pour quelque information relative à ce dernier.

Nous avons réservé les 3 premières semaines de notre projet à la recherche d'informations sur notre sujet. Les voiliers solaires ne sont pas actuellement exploités (ce ne sont que des essais), ce qui réduit la quantité d'informations disponible sur Internet, donc un temps de recherche assez important. Ce temps passé à nous renseigner de manière générale sur les écrans/voiliers solaires nous a ouvert sur le monde de l'espace et nous a appris ce que ce sont ces voiles solaires, voiles qui étaient inconnues pour la plupart d'entre nous avant le lancement du projet !

Durant les semaines qui ont suivi, nous avons séparé nos recherches sur 3 types de voiliers/déploiements que nous avons retenus comme les plus pertinents : Anthony et Claire se sont intéressés au déploiement de type mécanique, Yura et Aurélie se sont concentrées sur le déploiement par rotation et enfin Jiakun et Brice ont étudié le déploiement pneumatique (voilier type Cosmos-1). Cette répartition nous a permis de centrer nos recherches et de commencer à rédiger le dossier à notre rythme et au fur et à mesure des recherches. De cette manière, chacun contribue à la constitution du dossier de façon équitable.



De gauche à droite : Anthony, Yura, Aurélie, Claire, Brice et Jiakun.

Nous profitons des cours (1h30, 1 vendredi sur 2) pour mettre en commun nos recherches et pour partager avec notre professeur les données que nous avons pu trouver. Ce dernier a été beaucoup présent lors des séances et nous a fait parvenir de la documentation, certes un peu complexe, mais intéressante. Il nous a fait réfléchir entre autre, sur le trajet idéal d'un satellite protégé par un écran solaire autour de la terre, sur les matériaux qui recouvrent les voiles, sur la trajectoire prise par un satellite lancé dans l'espace (à l'aide du logiciel Excel).

Début juin, nous avons finalisé notre dossier écrit et commencé le power point pour notre présentation orale. Les délais que nous avons fixés ont été respectés par l'ensemble du groupe, ce qui est appréciable. La préparation de notre soutenance s'est basée sur nos recherches respectives et nous nous sommes mis d'accord pour se réunir, mettre au point et répéter notre présentation avant notre passage le lundi 27 juin.

Cet organigramme nous a permis de bien diviser le travail ainsi que de nous organiser pour la mise en commun de nos différentes parties :

Mise en page du dossier : Aurélie

Recherches sur les déploiements des voiles
mécaniques : Anthony, Claire.

Recherches sur les déploiements rotatifs : Aurélie,
Yura.

Recherches sur les déploiements de type Cosmos-1 :
Brice, Jiakun.

III. Travail réalisé

Il existe plusieurs sortes de déploiement pour une voile solaire, certains ne sont que des prototypes. Nous allons nous intéresser à 3 d'entre eux qui devraient pouvoir fonctionner dans le futur. Tout d'abord, nous allons expliquer le déploiement des voiles de type Cosmos-1 avec l'exemple de cette même mission. Ensuite, nous allons regarder le déroulement du déploiement circulaire utilisé par Ikaros et enfin nous terminerons sur le déploiement des voiles mécaniques. Mais avant tout, nous allons nous intéresser aux matériaux qui peuvent constituer la voile solaire.

1. Matériaux utilisés

Nous allons d'abord nous intéresser aux 2 matériaux les plus utilisés :

Le Mylar est un polyester : le Polyéthylène Téréphtalate (PET). Il est très utilisé pour la fabrication de bouteilles en plastique.

Ses chaînes s'arrangent sous forme de cristaux et permettent de former des fibres résistantes, d'où une grande aptitude à l'étirage. Sa température de fusion élevée lui confère une bonne stabilité en l'absence de contrainte.

Cela lui permet donc d'avoir une rigidité et une résistance à la rupture élevée à température ambiante et satisfaisante à des températures jusqu'à 150°C.

Il est léger et sert de barrière contre le gaz et l'humidité.

Enfin, il permet de concevoir des voiles d'une épaisseur de l'ordre du micromètre. Il est cependant rapidement dégradé par les rayonnements ultraviolets du Soleil.

Le Kapton fait parti de la famille des polyimides, ces derniers sont un groupe de polymères incroyablement résistants mécaniquement, chimiquement et également thermiquement. Leur résistance est si grande que ces matériaux peuvent remplacer le verre et des métaux comme l'acier : ils supportent la chaleur intense. En effet, le Kapton résiste à des températures de -269 °C à 400 °C.

De plus, il peut être facilement fabriqué par une vaste variété de techniques. D'où son utilisation pour la constitution de la voile.

Cependant, l'épaisseur ne peut être diminuée au-dessous des 8 micromètres, ce qui a pour conséquence de rendre le matériau plus lourd. En effet pour 8 micromètres d'épaisseur on obtient 12 grammes par mètre carré.

A propos, la NASA avait développé en 1978 des voiles en Kapton de 1µm d'épaisseur recouvertes d'une épaisseur de 100nm d'aluminium. Cette voile avait une masse de 1.2g/m² (hors équipement). De nos jours, les technologies plus récentes permettent de recouvrir la voile d'une couche de 20nm d'aluminium seulement, soit 0.03mg/m². On parvient ainsi à développer des voiles pesant environ 0.1g/m². De plus, des propositions existent pour faire perdre du poids à la voile en la perforant de trous plus petits que la longueur d'onde afin qu'il y ait tout de même réflexion de la lumière dessus.

Nous pouvons cependant remarquer que d'autres matériaux peuvent convenir.

La fibre de carbone en maille résiste aux radiations solaires comme aux températures jusqu'à 2500°C. La masse d'une voile qui en serait constituée serait de 5 grammes par mètre carré, ce qui est suffisamment faible. En effet, la densité de la fibre de carbone est faible, entre 1.7 et 1.9.

Elle présente également une résistance à la traction, et à la compression.

Son principal inconvénient reste sa rigidité. De plus, sa résistance aux chocs et à l'abrasion est faible.

La structure de la voile peut être en **Aluminium** car c'est une matière réfléchissante. L'aluminium présente plusieurs avantages non négligeables tels que son prix, soit 2.53 € par kilogramme, mais également sa faible densité. Or cela convient parfaitement étant donné que la voile doit être la plus légère possible. De plus, l'aluminium possède une résistance à l'oxydation et à la corrosion, grâce à une fine couche de protection qui se forme. Enfin, l'aluminium est le métal le plus abondant de l'enveloppe terrestre.

2. Déploiement des voiles de type Cosmos-1

Les voiliers type Cosmos-1 sont constitués de pales orientables fixées autour d'un axe central, permettant ainsi de nombreuses manœuvres. Elles sont faciles à déployer et à diriger mais elles sont peu rigides, donc plus fragiles.

a) Principe de fonctionnement : exemple de Cosmos-1.

Immergé en mer de Barents (Russie), le sous-marin nucléaire Borisoglebsk lance le 21 juin 2005 la fusée Volna à bord de laquelle a pris place la sonde contenant Cosmos-1. Mais à peine 83 secondes après le décollage, le premier étage de la fusée connaît un incident, empêchant Cosmos-1 de rejoindre son orbite située à 800 km d'altitude.

Le voilier Cosmos I est un prototype développé par « The Planetary Society », une organisation à but non lucratif fondée en 1980 par Carl Sagan, Bruce Murray et Louis Friedman. C'est une voile composée de huit voiles triangulaires faites de Mylar aluminisé de 15 mètres de long et de 5 micromètres d'épaisseur. Chacune de ces voiles est rattachée au module central. Ce voilier atteint ainsi une surface de voile de 600 m². Cosmos 1 est la première voile solaire lancée dans l'espace.

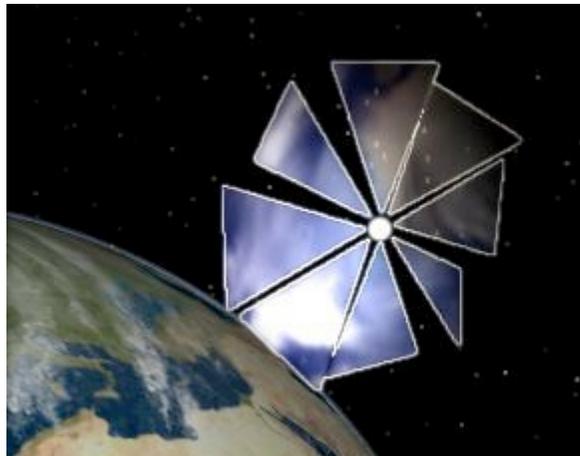


Illustration 2 : Cosmos 1

Tout autour de la voile est attaché un tube gonflable. Pour déployer les voiles une fois le voilier en orbite, un gaz est injecté dans ces tubes et va permettre de dérouler les voiles puis de les déplier dans le sens de la largeur. De plus, ces tubes sont remplis d'une mousse durcissante qui, une fois les voiles déployées, va permettre à ces dernières d'être suffisamment rigides pour éviter que le voilier ne s'effondre sur lui-même. La difficulté majeure d'une mission réside dans le déploiement en vol de la voile. Celle-ci doit être évidemment pliée pour le lancement et la mise en orbite de manière à prendre le moins de place possible et surtout pouvoir se déplier sans se déchirer.

Ce mode de pliage a l'avantage de ne pas utiliser de bras télescopiques ou de mats pour déplier et maintenir la voile évitant ainsi les problèmes mécaniques et minimise la masse de l'ensemble. Le pliage par enroulement permet également de réduire le nombre micro déchirures.



Illustration 3 : Etape de pliage de la voile de Cosmos 1.

Chaque voile est pliée dans le sens de la largeur puis enroulée dans les sens de la longueur.

Cosmos 1 utilisait la pression de radiation induite par le Soleil pour se déplacer dans l'espace. Bien qu'elle soit très faible en comparaison de celle produite par les moyens de propulsion classique (la propulsion chimique), cette pression est continue et dure dans le temps. Comme dans l'espace il n'y a pratiquement aucune résistance aux mouvements des objets, la vitesse ne fait qu'augmenter. Et ainsi pour de longs voyages, le temps mis par une voile solaire est plus court que celle avec un engin à propulsion chimique. Ce mode de propulsion est à mettre en parallèle avec la propulsion ionique, une faible force, mais une force continue et longue dans la durée. Au fil du temps, la sonde aurait pu atteindre des vitesses stupéfiantes : 310 km/h après une journée, 16 000 km/h après 100 jours, 36 000 km/h après une année... à condition bien entendu que la voile ne se soit pas déchirée entre temps.

Pour réduire les coûts, Cosmos 1 a été lancé par une fusée Volna, un ancien missile balistique intercontinental R29R de fabrication russe, reconverti en fusée à bas coût. Il a souvent été avancé dans les médias que le coût d'une telle mission si elle avait été menée par la NASA aurait coûté 15 fois plus cher. Ce surcoût de l'agence spatiale américaine s'explique entre autres par le fait que la NASA effectue de nombreux tests avant tout lancement et les lanceurs utilisés sont plus coûteux, mais bien plus fiables que celui utilisé pour Cosmos 1. C'est ainsi qu'en 2001 les boulons explosifs de la tête du lanceur, qui contenait alors un prototype de Cosmos 1, n'ont pas explosés, entraînant l'échec de la mission. Néanmoins, cet échec ne remet pas en cause le principe de voile solaire.

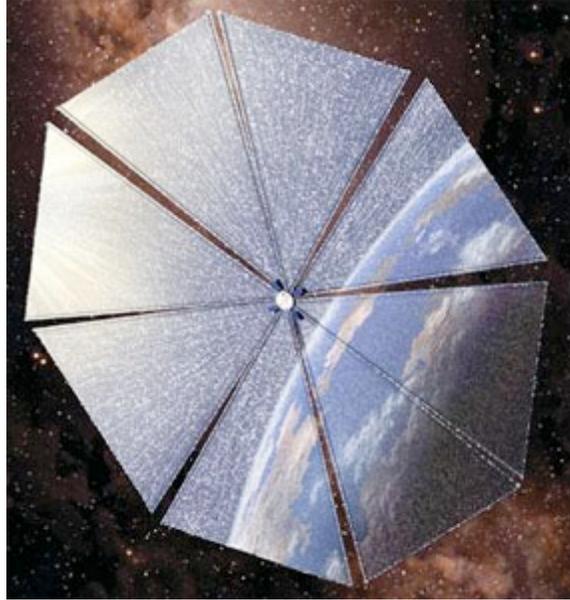


Illustration 4 : Cosmos 2, actuellement en projet

Pour Cosmos 2, un moteur électrique photovoltaïque sera utilisé pour orienter les lames de la voile comme une hélice d'hélicoptère afin de changer leur angle par rapport au soleil. Ce projet de démonstration servira à préparer des voyages interplanétaires et intersidéraux futurs.

b) Qualités requises des matériaux utilisés.

Dans l'espace, la voile doit pouvoir faire face à de nombreuses contraintes et donc être très solide tout en restant très fine et très légère ! Les matériaux utilisés pour la construction de ces voiles doivent posséder certaines qualités, dont voici quelques exemples :

- La légèreté.
- Le pouvoir réfléchissant (possibilité d'aluminiser une ou deux faces).
- La résistance à l'environnement spatial une fois déployée (supporter des variations de température élevées et les radiations par exemple).
- La résistance aux conditions avant et pendant le lancement (conditionnement replié dans une boîte, vibrations).
- La résistance au déploiement (pas de déchirement, pas de pli formé définitif).
- Manipulable au sol.

Une voile efficace est constituée de Mylar ou de Kapton d'une épaisseur de quelques micromètres maximum, le tout aluminisé pour que la surface soit réfléchissante.

Pour conclure, la voile type Cosmos-1 semble bien être prometteuse car elle rend le satellite très maniable et présente moins de risques dans le déploiement (il semble plus simple de déployer plusieurs petites voiles, qu'une seule gigantesque).

A défaut d'utiliser ce moyen de propulsion seul, on pourrait l'associer aux propulsions déjà existantes pour diverses missions, ou plus modestement l'utiliser pour corriger la trajectoire des satellites, augmentant ainsi leur durée de vie. De plus cette source est gratuite et écologique !

3. Déploiement par rotation

a) Principe de fonctionnement : exemple d'IKAROS.



Illustration 5 : IKAROS, avant son lancement dans l'espace

IKAROS, un cylindre de 310kg d'un diamètre de 160 centimètres pour une hauteur de 80 centimètres, dans sa configuration de départ, s'est envolé vers l'espace le 21 mai 2010 du Tanegashima Space Center en compagnie d'une autre sonde, AKATSUKI. Il a été développé par l'agence japonaise JAXA.

Dans l'espace, le 10 juin, sa voile solaire s'est déployée.

Ce schéma décrit comment ce déploiement se déroule :

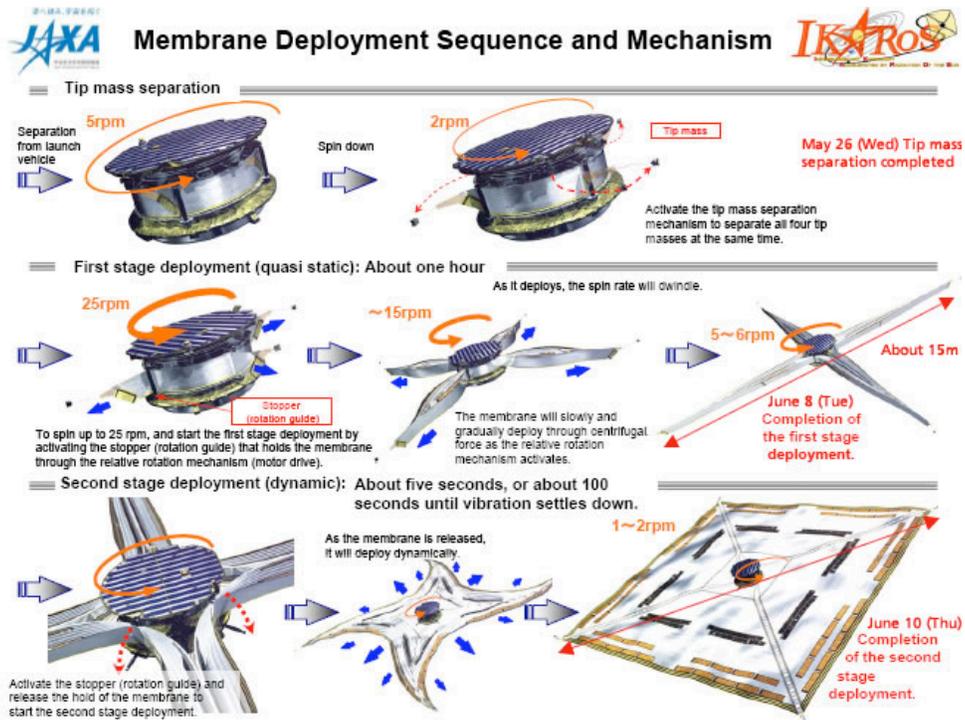


Illustration 6 : Mécanisme de déploiement d'IKAROS

Tout d'abord, le cylindre se met en rotation sur lui-même grâce à la fusée qui l'a lancé. Une fois en rotation, il est expulsé de la fusée afin de permettre à ses bras principaux de se libérer. Une petite masse au bout de ces 4 derniers les amène à se déplier et à prendre leur forme définitive.

Ensuite, des loquets libèrent la voile qui relie les 4 axes et celle-ci se déploie petit à petit grâce au mouvement de rotation du cylindre jusqu'à former la voile carrée.

Nous avons pu remarquer que cette étape posait légèrement problème. En effet, la voile est repliée sur les axes au lancement. Il faudrait donc des matériaux assez élastiques pour permettre le repliement de la voile sur toute la longueur de l'axe. On a pu remarquer dans une vidéo de l'agence spatiale japonaise JAXA que les bras ne se seraient pas totalement dépliés lors de la première phase. Il semblerait qu'une fois la voile dépliée sur cette partie des bras, le reste de ceux-ci se soit déployé ainsi que le reste de la voile. Cependant la force exercée sur la voile est toujours forte.

Maintenant nous allons nous intéresser au temps mis par la voile pour se déployer.

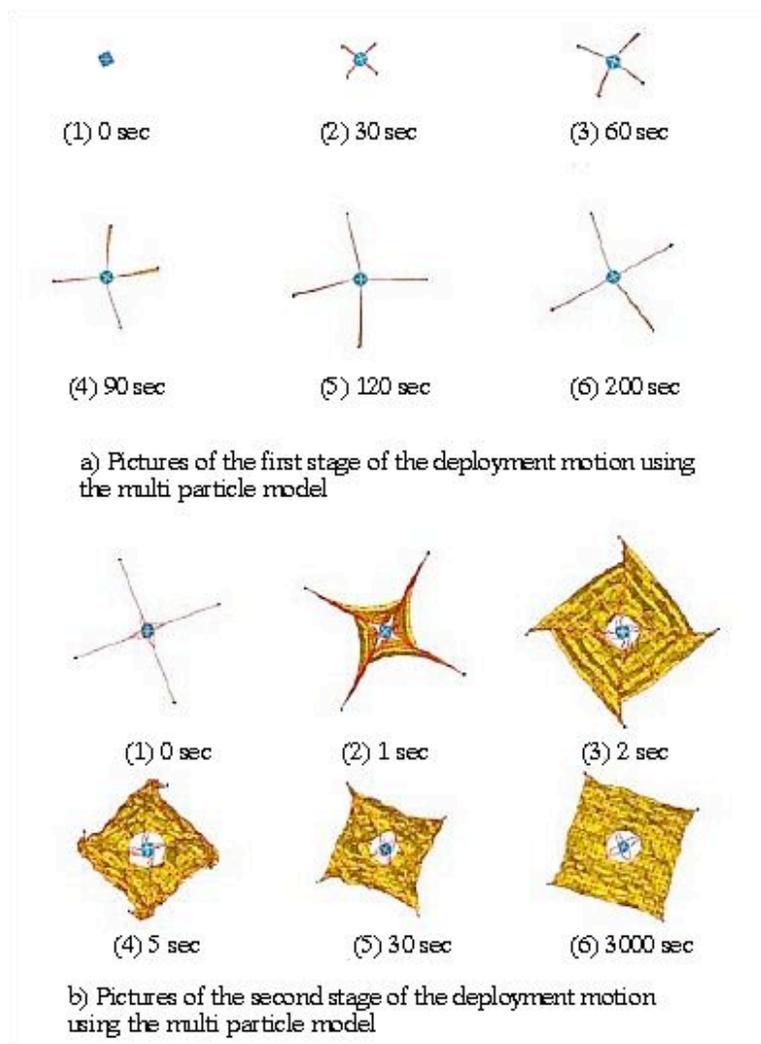


Illustration 7 : Durée de déploiement de la voile

Ce schéma permet de connaître le temps que mettrait la voile solaire pour se déplier. On peut donc constater qu'au bout de 3200 secondes, la toile est complètement dépliée. Cependant, ce schéma décrit le temps mis par IKAROS pour se déplier. Sa voile fait 14,1 mètres de côté donc pour une toile plus grande, le temps pour le déploiement de la voile risque d'être plus élevé mais cela nous permet d'avoir un ordre d'idée sur la durée du déploiement.

b) Matériaux utilisés.

La membrane utilisée pour IKAROS est en résine polyimide d'épaisseur 7,5 micros. Sur celle-ci ont été collées des cellules solaires épaisses de 25 micros. Ci-dessous, vous pouvez voir les deux matériaux utilisés pour IKAROS et leurs propriétés.

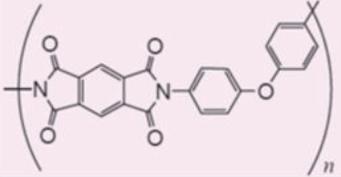
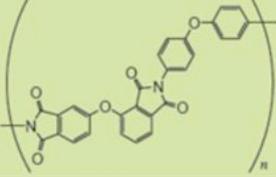
	Polyimide1	Polyimide2
Material	APICAL-AH 7.5 PMDA/4,4' ODA(株カネカ製)	ISAS-TPI熱可塑性ポリイミド a-ODPA/4,4'-ODA(ISAS開発)
Chemical formula		
Elasticity	3.8 GPa	3.2 GPa
Breaking strength	263 MPa	132 MPa
Breaking elongation	74%	90%
Thickness [μm]	7.5-8.5	7.5-8.5
Area	154.28(m ²)(膜面の88.9%)	19.35(m ²)(膜面の11.1%)
Weight	1.643 kg	0.206 kg
Al deposition	80 nm	80 nm<

Illustration 8 : Matériaux utilisés pour IKAROS

Le Polyimide 1 est en réalité le Kapton.

Ci-dessous, vous pouvez voir la voile d'IKAROS avec la répartition des deux polyimides, créant ainsi une voile résistante et capable de se déployer :

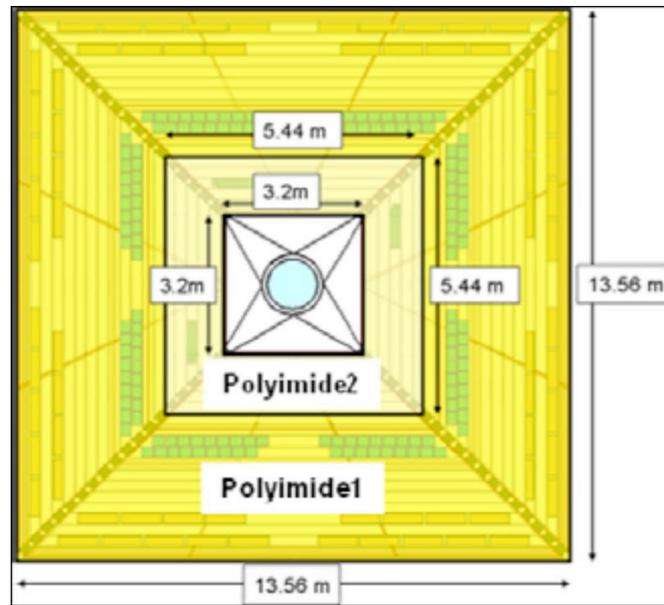


Illustration 9 : Matériaux composant la voile d'IKAROS

c) Expérience réalisée.

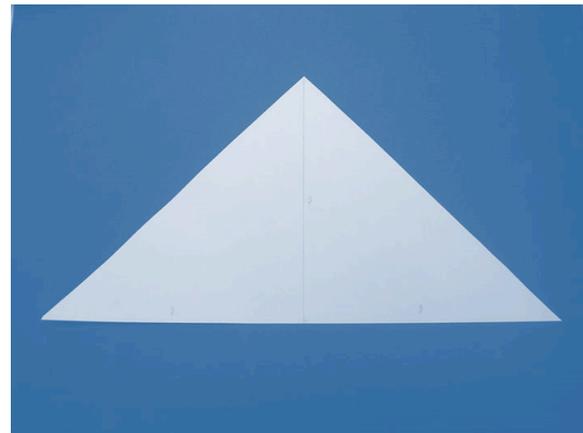
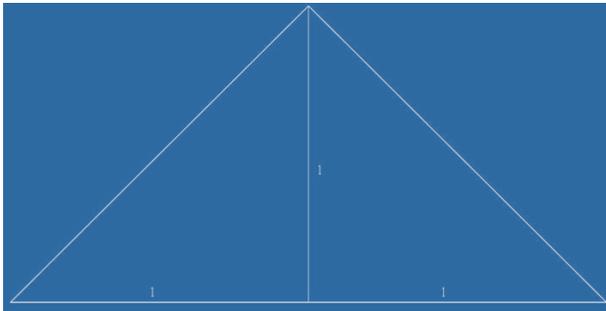
Pendant nos cours de P6-3, nous avons souhaité voir si nous pouvions réaliser nous-mêmes un déploiement par rotation. Nous avons donc réuni le fond d'une bouteille en plastique, une perceuse électrique, du fil d'une certaine longueur, du savon et des glaçons. Tout d'abord, nous avons créé un glaçon dans lequel le fil était pris. Ensuite nous avons attaché le fil à la bouteille dans laquelle nous avons placé un joint de la perceuse et nous avons entouré la bouteille avec. Pour finir, nous avons étalé le savon sur le sol afin de limiter les frottements du glaçon sur le sol et nous avons mis la perceuse dans son joint avant de l'enclencher.

Nous avons alors vu le fil se dérouler très rapidement grâce à la force exercée par le glaçon et la vitesse de rotation de la bouteille. Nous en avons conclu que c'était facilement réalisable dans l'espace puisqu'il y a moins de frottements même si nous avons cherché à les limiter.

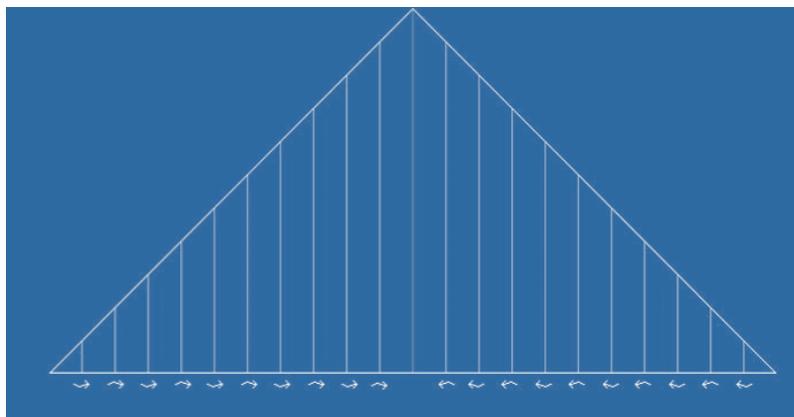
4. Le déploiement des voiles mécaniques

Le dernier type de déploiement des voiles solaires est le déploiement des voiles mécaniques. Celles-ci sont solides et faciles à diriger mais leur surface est relativement restreinte et leur déploiement est difficile. Une voile mécanique se compose de quatre triangles isocèles fixés au moyen de bras articulés, que l'on peut actionner afin de modifier la surface de voile offerte aux radiations. Ces triangles (qui sont des morceaux de voile) sont pliés en accordéon suivant deux sens différents. D'abord dans le sens de la largeur puis dans le sens de la longueur.

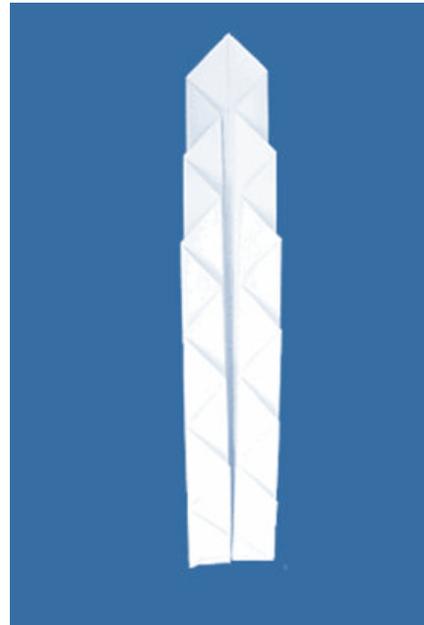
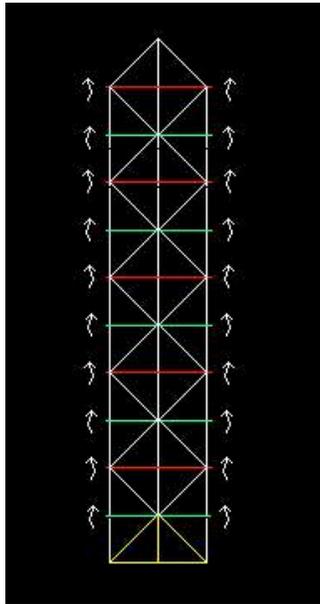
Le pliage de la voile est illustré par les schémas suivants (dans la mesure où les quatre triangles constituant la voile sont identiques, nous allons nous limiter au pliage d'un seul) :



Ce triangle est ensuite partagé en un nombre impair de segments de chaque côté de sa hauteur :



Puis, il s'agit de plier en accordéon chacun de ces segments, de manière à ce que les deux angles de la base du triangle initiale soient pliés vers l'extérieur :



Enfin, il faut de nouveau plier la voile en accordéon suivant les traits verts et rouges de la figure précédente pour obtenir le confinement finale en pavé droit :



A gauche, vous pouvez voir une vue de dessus en schéma et à droite la voile pliée vue de dessus.

La voile est ensuite déployée par quatre bras mécaniques qui se déroulent. D'autres techniques de mats (gonflables) peuvent également permettre de déployer ce type de voile. Le schéma suivant illustre parfaitement le déploiement de la voile :

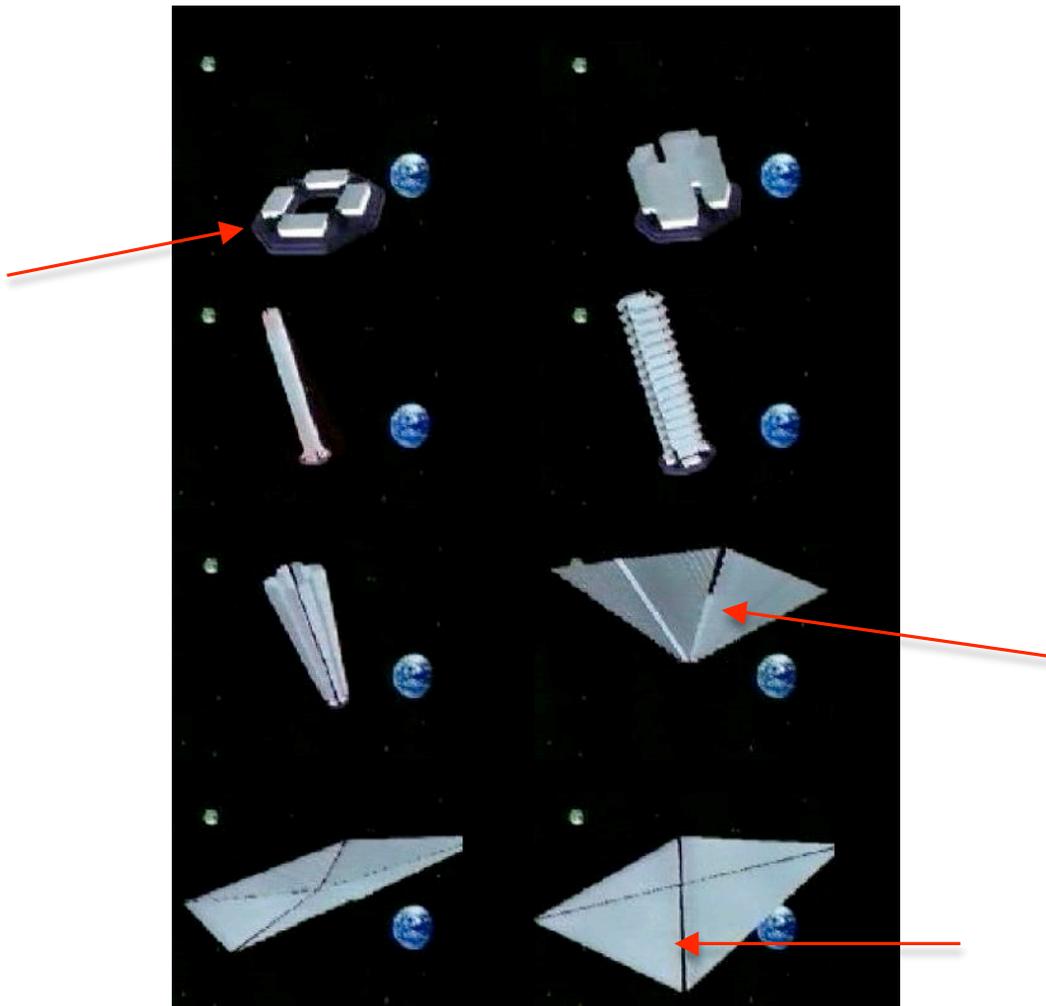


Illustration 10 : Déploiement de la voile (à lire de gauche à droite et de haut en bas)

Les flèches rouges indiquent l'emplacement des mâts métalliques. Ceux-ci sont absents sur cette représentation.

Ce type de déploiement a été expérimenté pour la première fois le 17 décembre 1999 par l'ESA (Agence Spatiale Européenne) et la DLR (Agence Spatiale Allemande). Le déploiement s'est déroulé en deux phases : d'abord, les quatre mâts ont été déployés à la vitesse de 1 m/min. Ensuite, les quatre segments de la voile sont sortis du module central grâce à un système de câble. Le déploiement complet a duré quarante minutes. L'apesanteur était simulée grâce à plusieurs ballons d'hélium fixés aux mâts pour en compenser le poids. Les segments de la voile étaient recouverts d'aluminium et avaient une épaisseur comprise entre 0,014 mm et 0,012 mm. La construction des mâts s'est faite sur la base de fibres de carbone pré plastifiées de 0,01mm d'épaisseur.

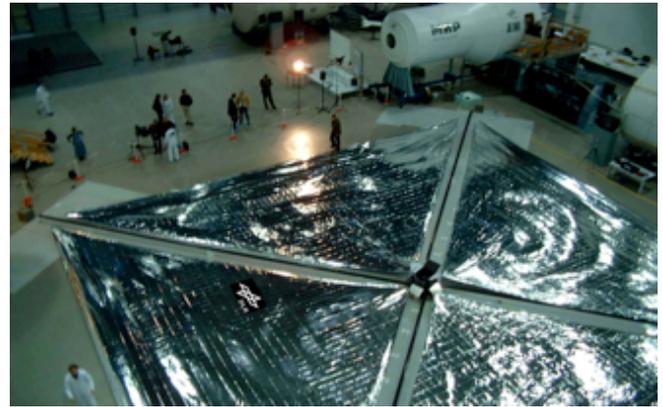


Illustration 11 : Déploiement de la voile en 1999

Cette technique de déploiement a été reprise quelques années plus tard, en novembre 2010 par la Nasa avec l'envoi dans l'espace de la voile solaire NanoSail-D. Celle-ci était logée à l'intérieur du satellite FastSat, satellite qui avait également pour mission de réaliser cinq autres expériences de démonstration atmosphérique et technologique une fois en orbite dans l'espace. Lorsque le 6 décembre 2010, la Nasa déclenche l'éjection de NanoSail-D, la porte de FastSat s'ouvre... mais rien ne se produit. Cependant, à la surprise générale, l'engin s'extrait tout seul du satellite le 17 janvier 2011 et trois jours plus tard, la voile solaire NanoSail-D se déploie et entreprenait sa mission.



Illustration 12 : Le satellite FastSat

La surface de cette voile solaire est de 10 m² et le déploiement a duré seulement 5 secondes. De plus, la masse totale de l'ensemble (voile + mâts + module central) est de seulement 4 kg. La voile a été conçue avec un polymère ultra-mince réfléchissant, appelé CP-1,

ce qui lui donnait une épaisseur de 7,5 microns. NanoSail-D a été mis en orbite à faible altitude, en moyenne à 638 km et à une inclinaison de 72°. Il a tourné pendant environ 110 jours autour de la Terre avant de finir sa course dans l'atmosphère terrestre où il s'est consumé.

Pour les chercheurs et étudiants associés au projet, l'objectif premier était de suivre ce processus de désorbitation dans l'idée d'utiliser à plus grande échelle des voiles solaires pour désorbiter des satellites en fin de vie. En allant se détruire dans l'atmosphère, les satellites ne deviendront pas des débris spatiaux.

Cette mission s'appelle en réalité NanoSail-D2. En effet, la mission NanoSail-D qui devait avoir lieu en août 2008 a échoué en raison d'un incident technique qui a eu lieu lors du décollage de la fusée contenant la voile solaire et qui a entraîné l'explosion de l'ensemble.

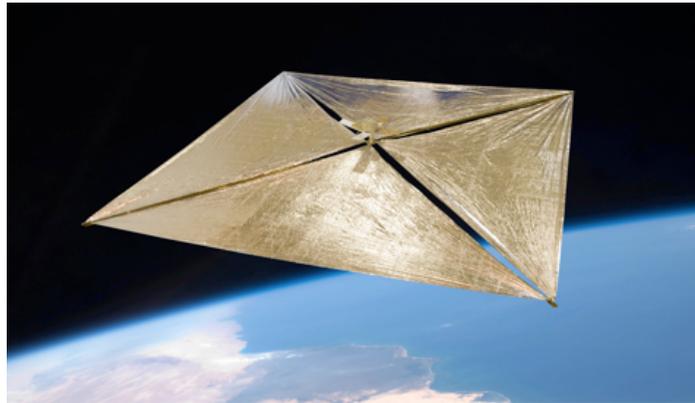


Illustration 13 : NanoSail-D2

Conclusion

Nous avons donc pu distinguer 3 types de déploiement réalisable de voiles solaires dans l'espace : le déploiement type Cosmos-1, le déploiement par rotation et le déploiement mécanique. Nous avons pu remarquer que la méthode de déploiement différait, cependant, les voiles sont réalisées dans les mêmes matériaux. On peut donc dire que le déploiement d'un écran solaire ne va pas être choisi en fonction de sa composition. De plus, on a pu observer que ces déploiements avaient été testés récemment avec plus ou moins de succès.

Ce projet nous a donc permis de découvrir un nouveau domaine encore très peu connu de la population, à savoir les écrans solaires dans l'espace. Nous avons ainsi pu observer différents systèmes de déploiement de voiles solaires, possédant chacun leurs avantages et leurs inconvénients. Parmi les 3 systèmes de déploiement étudiés, seuls 2 ont déjà été expérimenté et ont fonctionné avec succès : le déploiement par rotation et le déploiement mécanique. Certains progrès peuvent donc encore être faits. De plus, les 2 systèmes ont été envoyés dans l'espace en 2010, nous ne pouvons donc pas encore juger si ces systèmes feront leurs preuves dans les années à venir car, théoriquement, ces voiles solaires doivent pouvoir tenir plusieurs années dans l'espace.

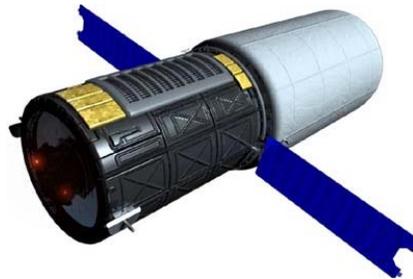


Illustration 14 : Modèle d'écran solaire avec son réservoir

A l'origine, nous ne nous attendions pas à ce type de projet. Nous ne nous étions même pas posés la question de savoir comment se déployaient les voiles solaires. A vrai dire, la notion d'écran solaire nous évoquait celle des panneaux solaires: par là, nous pensions qu'un écran solaire permettait de récupérer de l'énergie dans l'espace et de la renvoyer sur Terre.

Pour finir, ce projet nous a apporté de nombreuses connaissances sur un sujet que nous connaissions à peine. Il nous a permis de nous rendre compte que l'aérospatial ne se résume pas uniquement à la conception de fusées. La réalisation de voiles solaires, par exemple, va permettre par le futur, d'envoyer des satellites n'utilisant pas de carburant et ayant donc la possibilité de rester indéfiniment en orbite (sauf en cas de déficience de la voile solaire). Ce projet nous a donc permis d'étendre nos connaissances sur l'aérospatial.

Bibliographie

Documents :

Solar Concentrator Demonstrator for Lunar Regolith Processing de John C. Fikes (NASA) ;

Orbital Aggregation & Space Infrastructure Systems (OASIS) de Pat Troutman (NASA) (2001);

Sites internet:

- sur les matériaux :

<http://astronautique.actifforum.com/t10163p165-la-voile-solaire-ikaros>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Kapton>

[http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_\(fiber\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_(fiber))

http://en.wikipedia.org/wiki/Polyethylene_terephthalate

<http://www.motojournalweb.com/articles/1829/>

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Aluminium>

- sur le déploiement type Cosmos-1 :

<http://membres.multimania.fr/voilessolaires/page4.htm>

<http://tsesa.e-monsite.com/rubrique,les-concepts-de-propulsion,1039156.html>

<http://240plan.ovh.net/~upngmmxw/projets/contrib/Rapport100603.pdf>

<http://www.universcience.fr/fr/science-actualites/>

<http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/4104282.stm>

http://fr.wikipedia.org/wiki/Cosmos_1

Vidéo : <http://www.youtube.com/watch?v=FPIZ0MNHeww>

- sur le déploiement par rotation :

<http://legnome.net/2010/06/17/ikaros-une-voile-solaire-se-deploie-dans-lespace>

http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/astronautique/d/le-japon-lance-une-voile-solaire_23761/

<http://www.forum-conquete-spatiale.fr/t10163p135-la-voile-solaire-ikaros>

<http://www.forum-conquete-spatiale.fr>

- sur le déploiement mécanique :

http://www.cidehom.com/science_at_nasa.php?_a_id=376

http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/astronautique/d/nanosail-d-toutes-voiles-dehors-mais-autour-de-la-terre_27717/

http://www.nasa.gov/mission_pages/smallsats/nanosaild.html

http://membres.multimania.fr/voilessolaires/page4.htm#_Toc98479700

<http://www.energine.com/1/5501+la-nasa-va-tester-une-voile-solaire-dans-lespace+.html>

<http://www.airshipvision.eu/dossierpresse/naviguer%20dans%20l%27espace.pdf>

http://fr.wikipedia.org/wiki/Voile_solaire

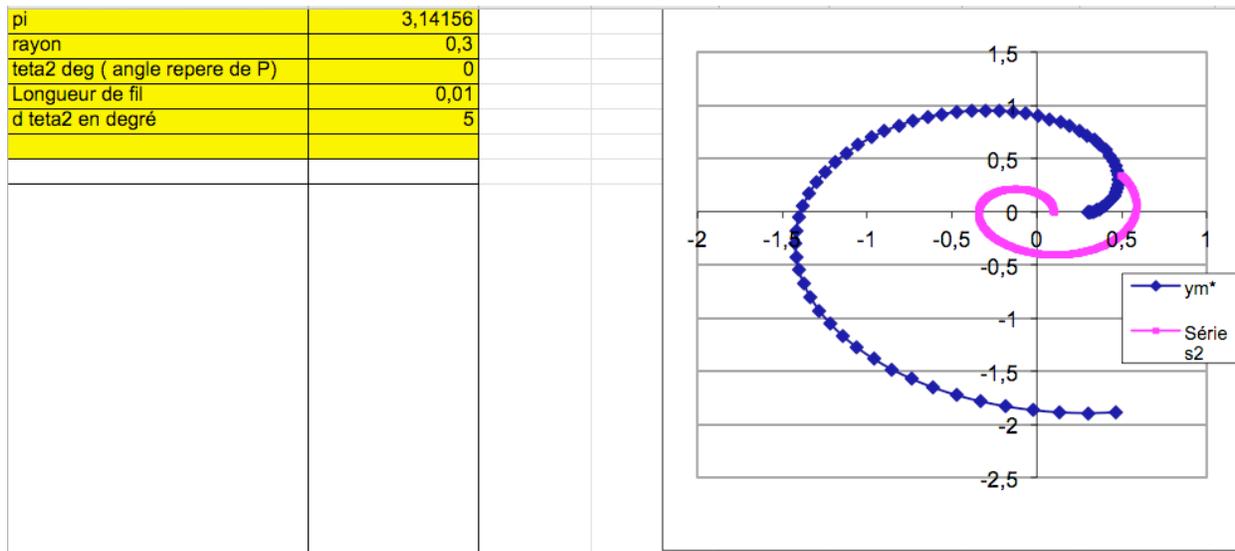
Index des illustrations

Illustration 1 : La Terre vue de l'espace	5
http://www.labo-microsoft.org/fonds/6430/	
Illustration 2 : Cosmos 1	11
http://www.cosmosfrontier.com/files/Cosmos_1_solar_sail.jpg	
Illustration 3 : Etape de pliage de la voile de Cosmos 1	12
http://membres.multimania.fr/voilessolaires/page4.htm	
Illustration 4 : Cosmos-2, actuellement en projet	12
http://space.skyrocket.de/img_sat/cosmos-1__1.jpg	
Illustration 5 : IKAROS, avant son lancement dans l'espace	14
http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/astronautique/d/le-japon-lance-une-voile-solaire_23761/	
Illustration 6 : Mécanisme de déploiement d'IKAROS	14
http://legnome.net/2010/06/17/ikaros-une-voile-solaire-se-deploie-dans-lespace	
Illustration 7 : Durée de déploiement de la voile	15
http://www.forum-conquete-spatiale.fr	
Illustration 8 : Matériaux utilisés pour IKAROS	16
Illustration 9 : Matériaux composant la voile d'IKAROS	17
Illustration 10 : Déploiement de la voile	20
http://membres.multimania.fr/voilessolaires/page4.htm#_Toc98479700	
Illustration 11 : Déploiement de la voile en 1999	21
http://www.airshipvision.eu/dossierpresse/naviguer%20dans%20l%27espace.pdf	
Illustration 12 : Le satellite FastSat	21
http://www.asf.alaska.edu/sites/all/files/images/satellites/fastsat.png	
Illustration 13 : NanoSail-D2	22
http://i65.servimg.com/u/f65/13/95/50/73/nanosa10.jpg	
Illustration 14 : Modèle d'écran solaire avec son réservoir	23
Orbital Aggregation & Space Infrastructure Systems (OASIS)	

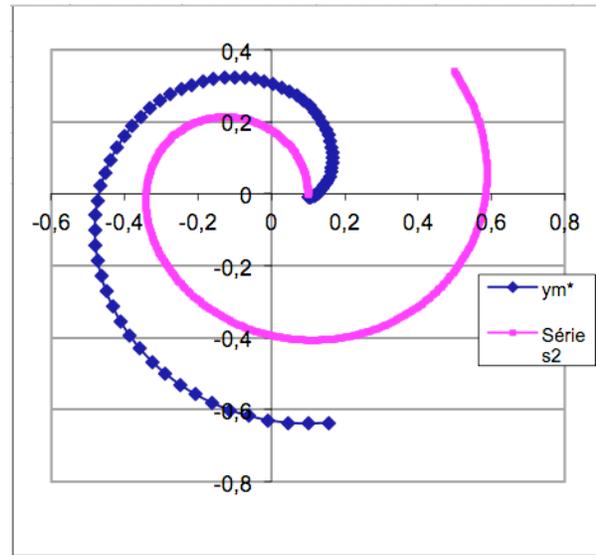
Annexe

Calcul de trajectoire avec programme Excel

Dans le cadre de l'étude des déploiements rotatifs, notre professeur nous a fait parvenir un programme Excel qui permet de calculer des trajectoires de déploiement de fil enroulé autour d'un cylindre. En changeant les données dans les cellules jaunes, nous pouvions modifier le rayon du cylindre, la longueur du fil ou encore son angle par rapport au repère. Le logiciel utilise des équations physiques entrées au préalable et affiche le résultat sous forme de courbe. Voici par exemple 2 courbes obtenues à partir de deux rayons de cylindre légèrement différents :



pi	3,14156
rayon	0,1
teta2 deg (angle repère de P)	0
Longueur de fil	0,001
Tension (Newton)	1
masse (kg)	1
omega tr/mn	3
dt	0,01



Nous avons eu la démonstration des équations utilisées dans ce programme par un fichier PDF que M. Vuillamy nous a fait parvenir. Le programme calcule en fait la position de l'extrémité du fil à des intervalles de temps très proches. Par ailleurs, d'autres feuilles de ce programme étaient encore plus précises, puisqu'il était possible de modifier en plus tous les angles de position du fil, la vitesse de rotation du cylindre, la masse du fil, etc.