

LES VOILES SOLAIRES

Comment ça marche? A quoi ça sert?

Le Rêve

Plusions et impulsion
Trois expérimentateurs
La fusée ouvre la voie
L'éclosion des Voiliers

La Réalité

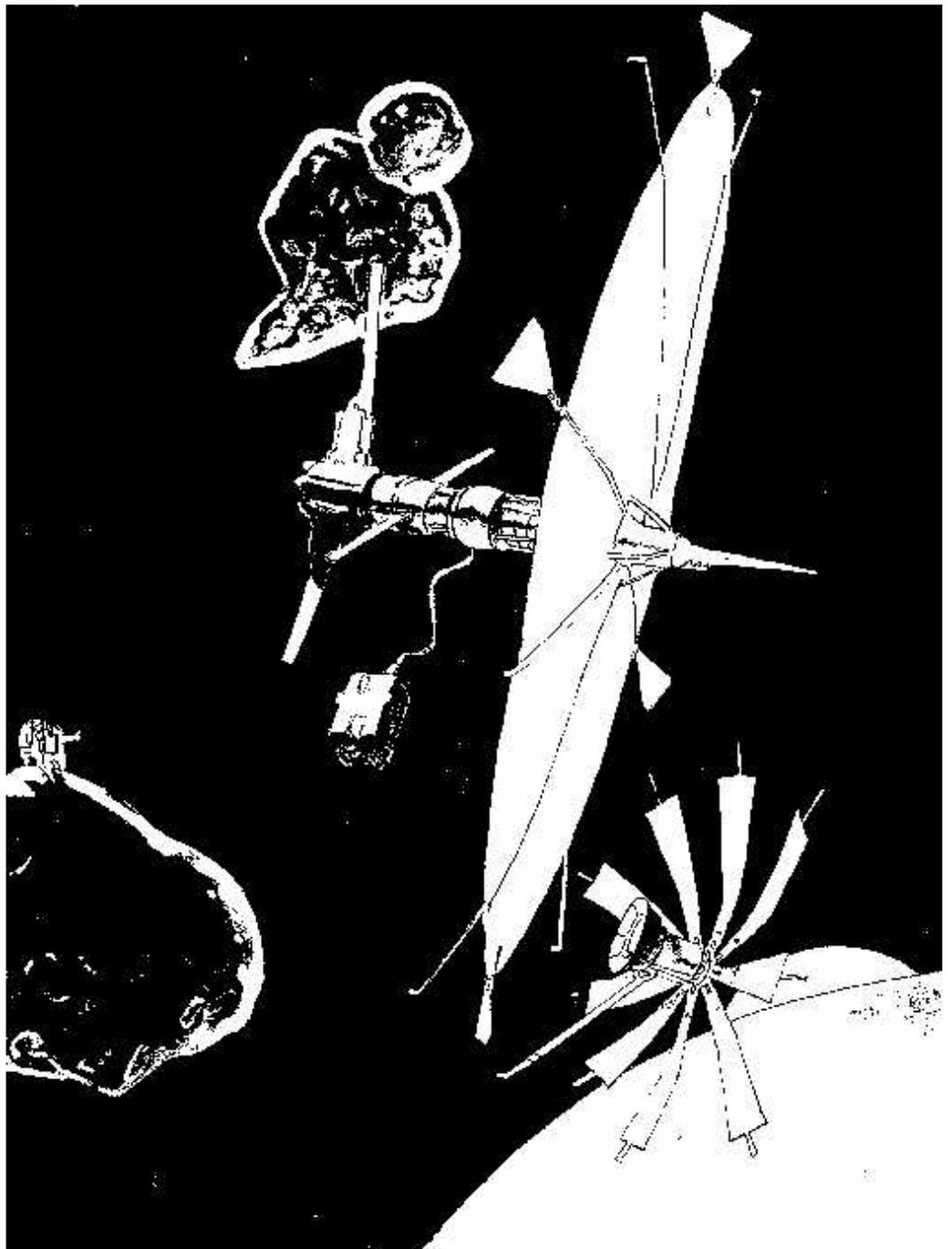
Le système solaire
Bases technologiques
Les contraintes
Les moyens

Les Projets

Les tentatives
Naviguer à la voile
Techniques et pilotage
De la Terre à la Lune

L'Aventure

Les miroirs du futur
L'aventure partagée
La recherche
La renaissance



1982

-

1997

15 ans

de voile solaire !

15 ANS : LA MATURATION

Depuis que de fervents partisans de la Voile Solaire créaient l'Union pour la Promotion de la Propulsion Photonique :



et se réunissaient une première fois à Font-Romeu pour leur première grande rencontre technique.

15 ANS : L'ÂGE DE RAISON

C'est le temps qu'il faut pour qu'un projet spatial devienne majeur et soit repris par les grandes institutions étatiques et professionnelles !

15 ANS : LA PÉRENNITÉ

Dans un monde d'informations éphémères les voiles solaires continuent régulièrement à retenir l'intérêt des médias et s'affirment comme un signe majeur de notre passage vers le XXI^e siècle.

1986 POINTAIT À L'HORIZON, LA COMÈTE DE HALLEY N'ALLAIT PAS TARDER À NOUS RENDRE SA VISITE «PÉRIODIQUE».

La 4^e depuis que Edmond Halley avait calculé son orbite. Elle était attendue de pied ferme mais cette fois-ci ne devait pas être comme les précédentes. Depuis son dernier passage, "l'Homme avait réussi à sortir de son berceau" comme le pressentait Constantin Tsiolkovski et s'apprêtait à lui rendre visite. Les nations spatiales avaient prévu un vaste et ambitieux programme international d'exploration. Parmi tous les projets, le plus audacieux était un projet américain de rendez-vous avec la comète grâce à une sonde propulsée par une voile solaire. Cette voile devait permettre non pas une rencontre furtive mais un vol de conserve avec la comète. Hélas le projet fut abandonné. Mais le virus de la voile solaire avait fait son œuvre sur les équipes qui avaient planché sur le projet, activant durablement chercheurs et rêveurs.

Ce virus fit carrière dans différents organismes : World Space Foundation aux USA en 1979, Union pour la Promotion de la Propulsion Photonique en France en 1981, Solar Sail Union of Japan au Japon en 1982, Space Regatta Consortium en Russie en 1989, Comición Vela Solar en Espagne en 1990, la **Luna Cup** pour les rêveurs en 1992.

Avec le projet de survol de la comète de Halley, la Voile Solaire entrait dans **la grande histoire de la propulsion**, celle qui a permis à l'Homme d'échapper à sa condition de terrien et d'explorer le cosmos, une histoire d'hommes faite de passions et de rêves, d'espoirs et de déceptions, et surtout ... d'attente !

Lors de l'assemblée générale marquant le **15^e anniversaire de l'U3P**, les "U3Piens" et les "U3Piennes" ont décidé d'écrire cette plaquette pour présenter la grande histoire de la propulsion photonique, celles de la Voile Solaire et de la Luna Cup, pour développer les perspectives de la navigation à la voile dans notre système solaire et au delà au cours du XXI^e siècle.

1 - De la pulsion à l'impulsion

La voile solaire n'est pas née de la dernière goutte de rosée chère à Cyrano de Bergerac. Elle est le fruit d'une longue démarche technique et scientifique. Elle correspond aussi aux plus profondes aspirations de l'Homme et s'est développée sur un fond général de conquête de l'espace.

Le hurlement fondateur qui se module comme une prière se distingue déjà du bruit de fond, en remontant les méandres de l'Évolution, dans les parages du loup, proche parent, assis au creux de sa clairière, le nez pointé vers la voûte peuplée d'étoiles, exprimant déjà son angoisse première, en quête de réponse à un impérieux besoin de communion, à la recherche, déjà, d'un lien, entre l'individu qu'il est en marge de sa meute et la totalité qu'il observe.

Ce lien, cette religion, ce rapport souverain entre l'individu et le Tout, donnera naissance, un peu plus tard, au sein d'une espèce un peu plus évoluée, à l'expression de divers mythes **défiant les lois de la pesanteur** (tentative d'Icare, lévitation du moine de Cupertino, trait de Peter Pan chevauchant son rayon de lune) et bientôt, le mythe, l'incantation béate et la pulsion poétique s'épanouiront à leur tour en réalisations pratiques.

Le miracle tient à ce que nous sommes entrés dans un âge de jaillissement qui eut le grand Léonard de Vinci pour chef de file, à la fois artiste et ingénieur, chantre et héros. Dès lors, nous décollons, nous assistons **à une série d'élévations** ; et puis, soudain, venant du fin fond des millénaires, à une véritable extraction. A l'évidence, nous ne sommes plus au creux de la clairière. Depuis dix ou douze décennies, un petit nombre de grands inspirés issus en ligne directe du siècle des Lumières se sont livrés à des calculs savants et vian, d'un coup d'un seul, ont établi un engin sur orbite.

C'était le 4 octobre 1957. Aube de l'ère Spatiale

Ce n'est encore qu'un relais mais il est prometteur.

...en ceci qu'il donne accès à l'Espace hier encore interdit ... en ceci qu'il s'inscrit dans une dynamique irréversible ... en ceci qu'il nous garantit, à brève échéance (quelques siècles à peine), la conquête de l'ensemble du système solaire ... Sans préjudice pour les développements ultérieurs dans les domaines du spatio-temporel et de l'énergie-matière.

Tout un programme !

Qui dépasse le cadre de l'histoire humaine, simple jalon, qui s'inscrit dans un processus d'évolution biologique comparable à celui qui nous a précédé, qui nous projette, cul par dessus tête, hors des sentiers coutumiers.

Ainsi réduite à un raccourci, la chose peut paraître simple. Et pourtant, que de calculs, que d'épures, que de hasardeuses extrapolations ! Que de bras de fer, surtout, au nom du droit d'induire et de déduire sans référence aux dieux !

Dans la phase d'éclosion, printemps riche de promesses, il y eut d'abord **James Clerk Maxwell**, un physicien écossais, qui établit l'identité de l'électricité et de la lumière, et dès 1860, **la réalité des photons**, minuscules particules exerçant une pression. Puis, dans son isba de province, le très modeste et intarissable **Constantin Tsiolkovski** qui utilisa le principe de la fusée pour établir, à partir de 1883 (publication de «L'espace libre»), et sans relâche pendant quarante-huit ans, les bases mêmes de la conquête spatiale. Hanté par le même projet, dès 1912, à Saint-Petersbourg, le Français **Robert Esnault-Pelterie** prit date à son tour par un exposé de principe et, à quelque temps de là, par la création du mot «**astronautique**», nouvelle discipline appelée à mobiliser les générations de la fin du siècle.

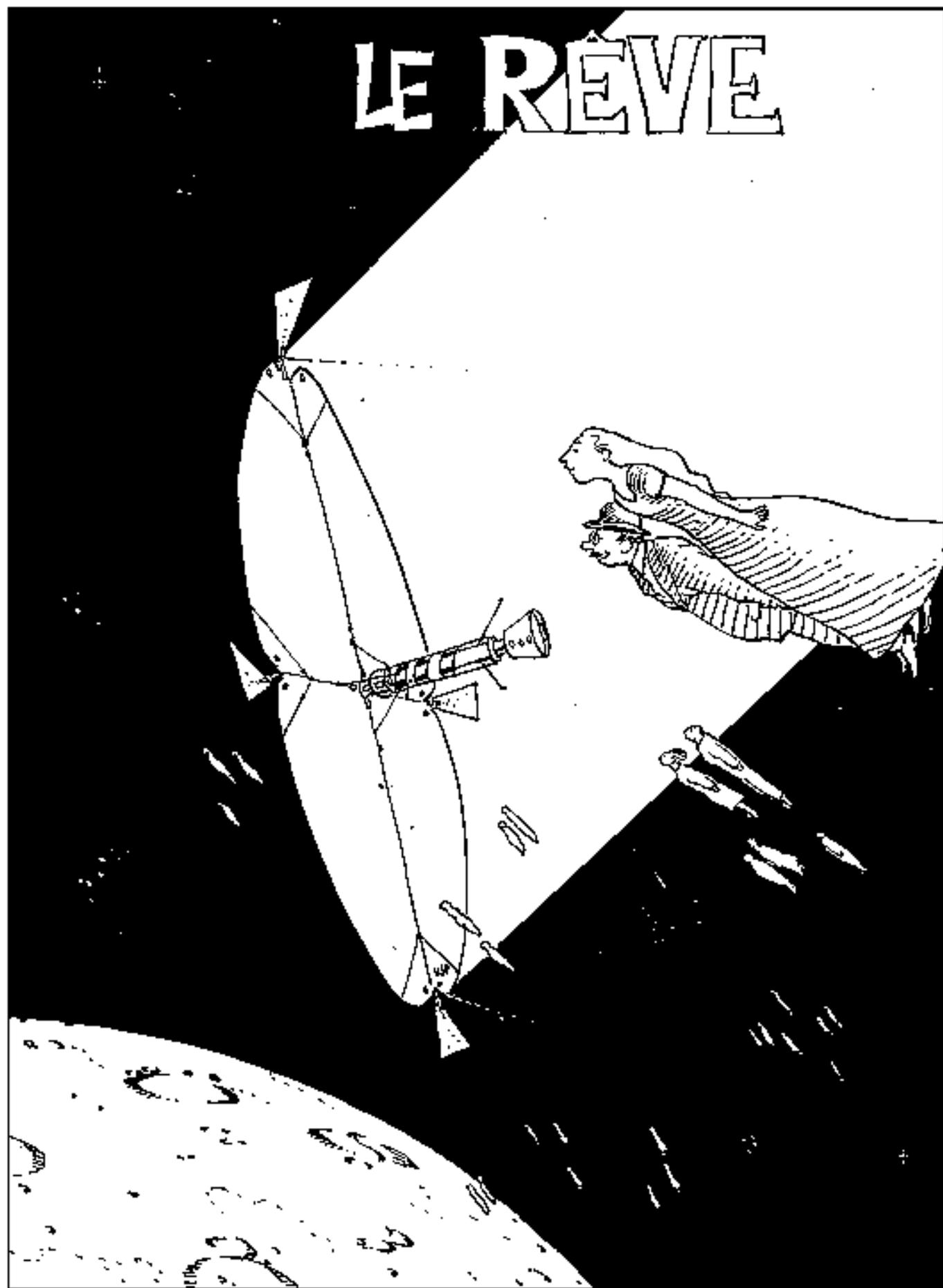
Quatre ans plus tard, en 1916, l'Américain **Robert Goddard**, bon ours replié sur sa recherche, prit rang parmi les promoteurs de l'espace et en 1926 lança la première fusée à propulseur liquide. Dans la foulée, en 1929, l'allemand **Hermann Oberth** développa dans un ouvrage magistral, «La route de la navigation dans l'espace», une théorie très documentée des étages multiples, ce qui lui valut un encouragement de 10.000 francs octroyé par Esnault-Pelterie en personne, co-fondateur d'un Prix dont il venait de jeter les bases avec l'un de ses amis, banquier.

Enfin, sur la trace d'Oberth, son plus brillant élève, Wernher Von Braun, mit en œuvre la bombe-fusée V2 et le programme spatial américain des années soixante, cependant qu'en Union Soviétique, sous l'impulsion de Tsiolkovski, l'équipe du Laboratoire de Dynamique des Gaz (GDL) puis, assurant le relais, celle de Korolev, jalonnaient un cheminement parallèle.

Ainsi, dans le prolongement du devancier Constantin Tsiolkovski (1857-1935), génial théoricien, trois noms dominèrent à ses débuts l'histoire de l'astronautique : Robert Esnault-Pelterie (1881-1957), Robert H. Goddard (1882-1945), et Hermann Oberth (1894-1989). Ils avaient tous trois, à un instant ou à un autre, évoqué la pression photonique comme un moyen de propulsion.

Quelle influence ces trois pionniers eurent-ils les uns sur les autres ? Il est probable que, dans une première phase, en raison de l'aspect peu académique de ce type de recherche et de la défiance habituelle des autorités établies à l'égard des nouveautés, chacun ait été condamné à trouver en lui-même, en marge de toute publicité, les solutions les mieux adaptées. Apparemment, ce que ces grands inspirés eurent en commun, fut la hantise de l'espace, celle du loup déjà cité, celle de **Peter Pan** chevauchant son rayon de lune, ou en plus structuré, ce type de certitude intuitive puisée dans les anticipations de **Jules Verne**, **H.G. Wells** et autres précurseurs endiablés. Que ces trois chefs de file de l'époque intermédiaire aient redécouvert individuellement et pratiquement en tir groupé les formules établies par Constantin Tsiolkovski n'aurait rien de surprenant. L'élément primordial n'était-il pas la **vitesse de libération** déterminée, dès 1881, par l'allemand Hermann Ganswindt (11,2 kilomètres-seconde) ? Nul ne saurait échapper aux lois. Restait, selon la nature de chacun, à découvrir les moyens à mettre en œuvre pour faire aboutir une entreprise aussi téméraire.

LE RÊVE



2 - Trois expérimentateurs acharnés

En ingénieur avisé, **Esnault-Pelterie** se partagea longtemps entre la recherche théorique sur l'espace et des réalisations pratiques dans le domaine de l'aéronautique, plus familier. Son manche à balai à deux dimensions et son moteur en étoile reproduits dans tous les pays industrialisés participèrent largement à la conquête des couches inférieures de l'atmosphère. Un peu plus tard, en lui, c'est le pilote qui se distinguera par l'énoncé de principe de la navigation à inertie ainsi que par l'utilisation de la fusée comme moteur d'appoint. Sa première référence à la propulsion par réaction remonte, en fait, à 1907.

Le théoricien explique, à Paris, en 1912, devant la Société de Physique, après un premier exposé du même sujet à Saint-Petersbourg, que nous aurons bientôt loisir de **nous extraire de notre planète** par le moyen de la fusée. Il alterne volontiers, dans ses développements, entre la fantaisie et la rigueur, la hardiesse du projet et le souci de crédibilité. Dès qu'une anomalie surgit dans l'envolée du visionnaire, l'ingénieur monte au créneau pour étayer, pour structurer. L'homme est prudent. Il sait que les sédentaires sont entravés. En 1927, il confirme ses travaux antérieurs sur le voyage interplanétaire devant la Société Astronomique de France, et en 1930, publie un ouvrage majeur sur le thème de l'Astronautique dans lequel tous les cas de figure sont étudiés, y compris celui du voyage à accélération constante cher aux adeptes de la propulsion photonique. Entre temps, il aura perdu trois doigts à l'occasion d'une expérimentation de fusée.

Pendant cette même période, à la différence de Tsiolkovski qui se cantonna à la recherche théorique, **Goddard**, sur l'autre rive de l'Atlantique, fut un expérimentateur de premier ordre. Fuyant la publicité qui revêt volontiers des aspects parasites, il déposa plus de deux cents brevets durant sa longue recherche consacrée aux fusées.

En 1909, à l'orée de ses premières découvertes, il parvint à la conclusion que l'oxygène et l'hydrogène liquides pourraient donner d'excellents résultats dans l'ordre de la propulsion. En 1916, il préconisa de lancer un engin autour de la Lune et, accessoirement, fut l'un des premiers à imaginer un système de propulsion électrostatique. En 1918, dans «**L'ultime migration**» qui ne sera publié qu'en 1972, il s'accorda, à titre de récréation, une magnifique navigation à propulsion nucléaire sur une trajectoire interstellaire, et, en 1918, proposa dans «Méthode pour atteindre les altitudes extrêmes» d'illuminer un secteur sombre de la Lune par le moyen d'une fusée à poudre équipée d'un pétard luminescent.

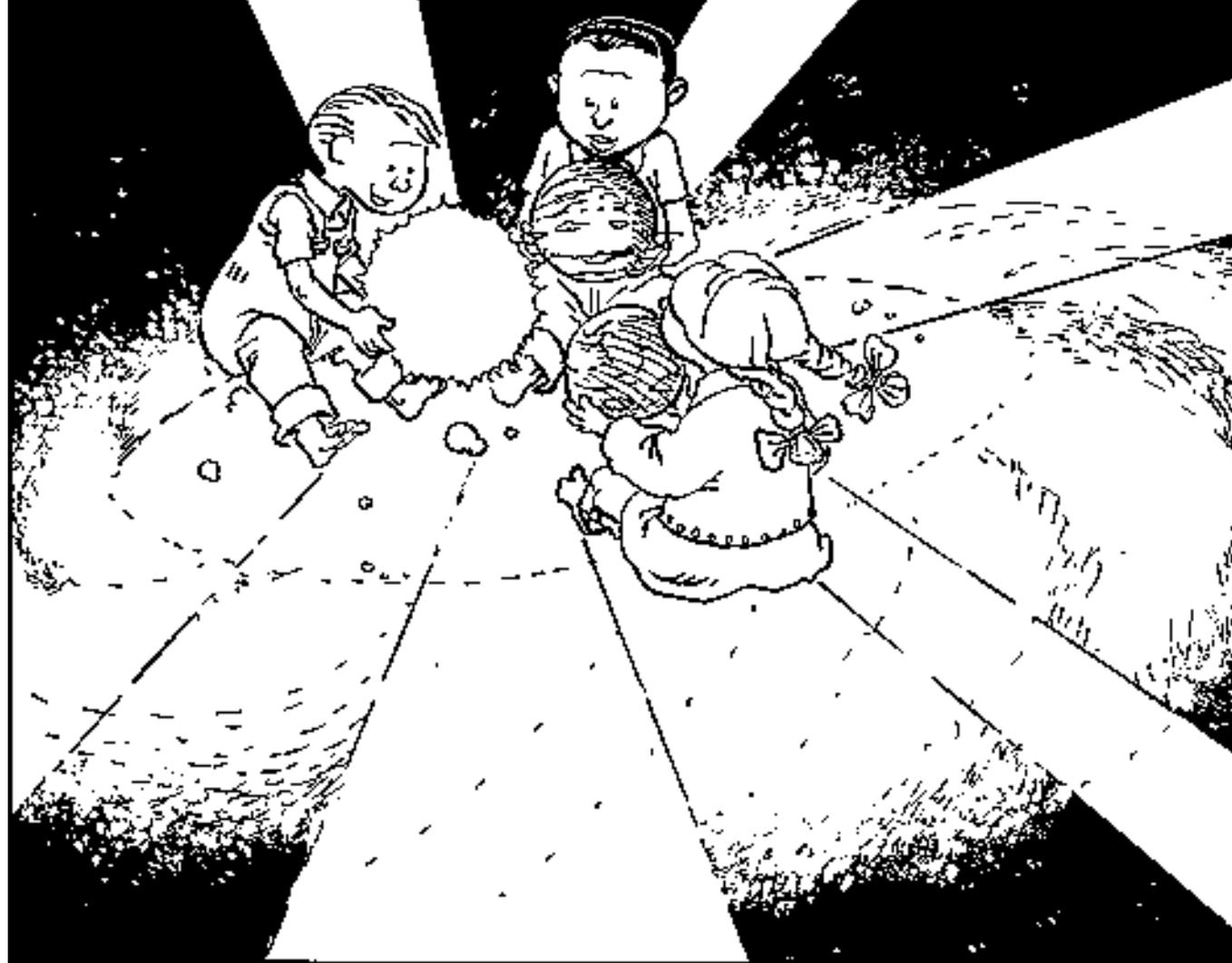
Mais sa recherche essentielle tient aux fusées à propergol liquide qu'il aborde à partir de 1920 et dont il fait une spécialité. En 1923, au banc d'essais, une première expérimentation de fusée alimentée en essence et en oxygène liquide fut couronnée de succès. Le 16 mars 1926, à Auburn, Massachussets, le Professeur Goddard lancera la première fusée propulsée par un mélange de kérosène et d'oxygène liquide qui s'élèvera à 56 mètres. Cette altitude sera portée à 600 mètres en 1930 et à 2300 mètres en 1935. Pendules et gyroscopes contrôlent les trajectoires. L'expérimentateur est efficace. Et le sentier, tracé.

Enfin, au troisième rang de ce brillant aréopage, en 1928, Oberth fit une entrée originale dans le petit monde des fusées issu d'ateliers rudimentaires et de terrains vagues en marge des cités. A l'âge de 34 ans, ce Transylvanien qui fera carrière en Allemagne passe contrat avec Fritz Lang, cinéaste notoire qui s'est mis en tête de relater les aventures d'une femme en partance pour la Lune. On doit assister au lancement d'une vraie fusée mais l'engin explosera.

Dès 1922, au terme de ses études, le jeune homme avait défendu sans succès auprès d'un jury borné une thèse de doctorat sur la navigation interstellaire à l'université de Heidelberg. En 1923, il est sacré Mathématicien et Physicien mais sa thèse lui est restée sur le cœur : il la publiera sous le titre «La fusée vers les espaces interplanétaires». Aux prises avec des interlocuteurs de plus en plus bornés qui réfutent l'évidence de ses démonstrations, phénomène hélas assez courant dans nos rapports coutumiers, il se résigne au repliement sur un collège de province où il enseignera pendant près de dix ans. Pendant ce laps de temps, ses travaux resteront théoriques. Dans l'ignorance où il est des calculs déjà réalisés dans une fascinante chronologie par ses prédécesseurs en projection spatiale (Hermann Ganswindt, Constantin Tsiolkovski, André Bing, Robert Esnault-Pelterie et Robert Goddard pour ne citer que les précurseurs répertoriés), il mettra une nouvelle fois en équation la vitesse de l'objet de ses rêves et préconisera comme il sied fusées-gigognes et ergols liquides, sujets déjà appréhendés depuis plus de vingt ans. Mais à quelque chose malheur est bon : en 1929, à l'issue de son rude labeur, le jeune professeur publiera un ouvrage somptueux (déjà cité) considéré par Esnault-Pelterie comme une véritable «bible de l'astronautique scientifique» et en 1931, cinq ans après celle de Goddard, la fusée «Mirak 2» conçue par la ligue dont il assume la présidence, montera dans le ciel à 1600 mètres.

- | | |
|------|--|
| 1616 | Effets de la lumière sur les trajectoires des corps célestes observés par KEPLER à partir de l'orientation des queues des comètes à l'opposé du Soleil. |
| 1873 | Les travaux de MAXWELL sur l'électromagnétisme permettent d'expliquer ce phénomène. |
| 1889 | FAURE et GRAFFIGNY, romanciers français de science-fiction, imaginent un vaisseau spatial utilisant un immense miroir pour recueillir la pression de la lumière solaire. |
| 1901 | Pietr LEBEDEV met en évidence la pression des radiations. |
| 1915 | Travaux de Yakov PEREELMAN en Russie. |
| 1924 | Travaux de Fridrikh TSANDER en URSS *: «Pour les vols dans l'espace interplanétaire, je travaille sur l'idée d'utiliser de formidables miroirs faits de feuilles extrêmement minces et capables d'obtenir des résultats intéressants». |
| | et du pionnier de l'astronautique Constantin TSIOLKOVSKI qui proférait : «La Terre est le berceau de l'Humanité, mais on ne peut passer toute sa vie dans son berceau». |

POUSSIÈRES D'ÉTOILE



I RÊVE ET HISTORIQUE

3 - La fusée ouvre la voie

Tout au long des trois décennies qui précèdent ces événements, **Tsiolkovski**, lui, s'est appliqué à la tâche dans son isba située à Kalouga où il enseigne les mathématiques. Pour l'essentiel, ses manuscrits, présentés sous le jour d'une étude magistrale, furent publiés en 1903, après cinq ans de lanternage. Aux yeux des autorités établies, le sujet ne présentait que peu d'intérêt. Au fil des ans, toutefois, les productions du chercheur donnaient lieu à des rééditions et publications successives. Sur sa table de travail, une somme, un accomplissement prenait forme. L'équation dont on lui attribua plus tard la paternité conduisait à la nécessité d'accroître la vitesse de la matière éjectée. Qu'à cela ne tienne, en 1903, déjà, sa fusée théorique d'homme de dossier était propulsée par des ergols liquides et le recours à **un système de fusées à étages** apparaissait dans l'épure. Chaque année, il engrangeait une nouvelle récolte sans autre ouverture. Après 1913, toutefois, l'horizon se dégagera ; ses articles toucheront un public de plus en plus large. Attentifs à cette nouvelle approche des corps célestes, les rédacteurs scientifiques travailleront à promouvoir les travaux du visionnaire. À la veille de la révolution d'octobre, le grand œuvre entre en voie d'achèvement.

Pourtant, c'est à partir de 1917 qu'on assistera à une nouvelle éclosion. Dans la jeune Union Soviétique, la promotion de l'espace est en expansion. En 1921, le laboratoire de dynamique des gaz (GDL) s'établit à Leningrad. En 1924, dans le sillage de Tsiolkovski, dorénavant considéré comme un grand patron, **Fridrikh Tsander**, 37 ans, dynamise une «section des communications interplanétaires» au sein de l'Académie des Sciences. En 1929, le GDL se dote d'une section de fusées à liquides dirigée par Pétrovitch Glouchko, 21 ans. En 1930, Tsander, toujours sur la brèche, rassemble les jeunes esprits séduits par le grand œuvre au sein du «Groupe d'étude de la propulsion par réaction» (GIRD). Ils sont près d'un millier à s'enthousiasmer pour cette aventure à la verticale. Dans cette foisonnante promotion, on peut relever les noms de Tsander, en position de chef de file, du Professeur Rynine et du Docteur Palerman, tous deux initiés depuis longtemps, mais aussi ceux de Tikhonravov, metteur au point exigeant, de Korolev, le nouveau venu, et naturellement de Glouchko, spécialiste des moteurs-fusées à liquide.

Au cours des années vingt, la révolution a traversé une phase d'inspiration, d'épanouissement. Tsiolkovski fait l'objet de nominations, d'honneurs et de pensions. Il est élu à titre honorifique à l'Académie des Sciences ainsi qu'à l'Académie de l'Air. Ses travaux sont largement diffusés ; il y mettra bientôt la dernière main et fera don de l'ensemble de sa production aux instances de l'Union Soviétique.

Apparemment, le confinement auquel le réduit sa surdité depuis l'enfance n'aura jamais été vaincu. Tout se déroule comme si les éléments du monde extérieur ne lui parvenaient qu'à travers un filtre réducteur. Finalement, pour s'assurer de n'avoir rien oublié, il aura tout créé ou recréé par lui-même. Qui dressera le bilan des occasions perdues ? Au début des années trente, des hommes neufs ont pris le relais.

En 1932, une fusée à propulsion liquide atteindra l'altitude de 400 mètres. Dès lors, l'Armée Rouge supervisera tous les tirs exécutés, pour le compte du RNII, sous la direction de **Sergueï Korolev**. Le jeune homme a 25 ans.

Au même instant, en Allemagne, on verra se dessiner une évolution parallèle. Dès 1930, un jeune capitaine de la Wehrmacht, Walter Dornberger, reçoit de ses supérieurs mission d'assister les jeunes gens qui, dans le sillage de Hermann Oberth, se réunissent volontiers sur un terrain vague de la capitale pour mettre à feu des fusées à poudre ou à ergols liquides. L'année suivante, l'une de ces fusées montera à 1600 mètres. Il y a là, encadrant plus de huit cents adeptes, Johannes Winkler, Nebel, Willy Ley, le jeune ingénieur Riedel et déjà Von Braun, 18 ans. Quelques mois plus tard, le Capitaine Dornberger proposera à **Wernher Von Braun**, qui se distingue par ses initiatives, une plus large assistance pour concevoir des fusées plus importantes. La cause est entendue. Les jeux sont faits. A Berlin comme à Moscou, la recherche s'orientera vers des applications militaires. Dès l'avènement d'Hitler, le régime se durcira dans les deux camps : Allemands et Soviétiques mettront parallèlement l'aventure spatiale sous haute surveillance jusqu'à son aboutissement historique. Dorénavant, Von Braun et Korolev seront pour l'essentiel aux gouvernes. Ils connaîtront –ô combien– l'un et l'autre des fortunes diverses. Mais l'héritage global nous sera restitué.

- 1951 Publication du premier article scientifique : «**Clipper Ships of Space**» de Carl WILEY dans la revue *Astounding Science Fiction*.
- 1955 Hermann Oberth développe le concept de «**miroir de l'espace**» dans son ouvrage «*Les Hommes dans l'Espace*».
- 1958 Invention du terme «**Voilier Solaire**» par un ingénieur américain, Richard GARWIN, dans une étude détaillée sur le sujet (numéro de mars de «*Jet Propulsion*»).
- 1959 Ted COTTER propose l'idée d'une **voile tournante**.
- 1963 Publication de la nouvelle d'Arthur C. Clarke «**The Wind From the Sun**», qui évoque une course de voiliers solaires de la Terre à la Lune. Il est intéressant de noter que l'U3P a eu la même idée avant d'avoir eu ... vent de cette nouvelle.
- 1963 Pierre BOULLE (auteur du «*Pont de la Rivière Kwäï*») publie «**La Planète des Singes**», roman dans lequel il met en scène des voiliers solaires (absents du film).
- 1970 L'effet de la pression solaire est utilisé pour l'orientation de la sonde **Mariner 10** durant son vol vers Mercure.
- 1973 La NASA et l'ESA engagent des travaux sur les voiliers solaires afin de **rejoindre la comète de Halley** en 1986.
- 1977 Le projet de la NASA et de l'ESA est abandonné, le délai était trop court pour mettre au point cette nouvelle technologie.

LE VENT DU SOLEIL

Sorti de l'ombre de la Terre, le Diana allait entamer sa remontée au Soleil. Si on manœuvrait pour y arriver que le minimum de prise au vent.



Rarement un départ de course aura été aussi calme... L'accélération du voilier est si faible que son poids dans cette capsule ne dépasse pas celui d'une feuille de papier sur Terre!



4 - l'éclosion des voiliers solaires

Héritage restitué au centuple car, malgré le vacarme et l'abomination, le petit chant de flûte de la voile solaire n'est pas tombé dans l'oubli. La très petite poussée, le doux zéphyr, l'infinitésimale brise imperceptible à fleur de peau, continue de souffler ses dix grammes par hectare dans un petit coin de voie lactée et il suffira de confier à une fusée porteuse le soin de satelliser une charge au grand large pour qu'elle soit aussitôt confiée à la constance de ce flux bénéfique pour les plus lointaines destinées. Alléluia ! Les marins d'antan se réveillent. Place à la manœuvre. Henri le Navigateur et ses lieutenants, qui ont découvert le régime des vents en Atlantique, sont plus que jamais sur le pont. A nous d'utiliser **les alizés de l'espace**. A nous d'imaginer les subtils réglages qui nous permettront de ricocher d'une planète à la suivante. Vingt-quatre heures sur vingt-quatre et à longueur d'années, de décennies, de siècles. Des vitesses inimaginables, des ressources inépuisables ... Le chantier est ouvert. Korolev et Von Braun nous ont mis le pied à l'étrier. Malgré les fracassantes priorités accordées aux militaires et à la propulsion chimique, la voile solaire n'est pas tombée dans l'oubli. Voilà qui est déterminant.

Las, en attendant, on est bien obligé de constater que, malgré les travaux de Tsander qui, dès 1924, en pleine euphorie populaire, projetait de lancer «**des miroirs ultra-légers agissant comme des voiles**», ce type de propulsion était encore à l'état de projet à la fin des années quatre-vingts.

En 1973, toutefois, aux États Unis, une recherche avait été élaborée à l'initiative du «Jet Propulsion Laboratory» (JPL) mais en dépit du génie des protagonistes, l'expérience avait tourné court et l'équipe de **Jerome Wright**, qui mitonnait une recette savante pour chevaucher la comète de Halley, s'était heurtée aux réductions du programme de la NASA.

Enfin, dans le domaine des réalisations, à l'issue de ce long cheminement, l'honneur de développer sur orbite basse la première voile solaire revint au très pragmatique ingénieur russe Vladimir Syromiatnikov, du RKK Energia. Elle vit le jour le 4 février 1993 et fut baptisée «**Znamia**», Le Drapeau.

Verrons-nous un jour des voiles solaires intervenir dans des transports entre corps célestes ? C'est assez probable. L'Union pour la Promotion de la Propulsion Photonique connue sous le sigle U3P, a repris du service après des tentatives diverses et, sous la houlette de **Guy Pignolet**, recherche actuellement une ouverture pour lancer, à l'occasion du centenaire de la création de l'Aéro-Club de France, la dernière version de «Znamia» équipée d'un système de pilotage. On lui souhaite bonne chance, car à l'instar des phares carrés* d'un autre âge, le voilier solaire est conçu pour le grand large et non pour les manœuvres portuaires.

* Terme de marine pour désigner un gréement fait de voile carrées

- 1979 Des chercheurs américains du JPL* (Jet Propulsion Laboratory) décident de poursuivre l'idée de voile solaire en créant la WSF (World Space Foundation).
- 1981 Création en France de l'U3P (Union pour la Promotion de la Propulsion Photonique), dont le but est de construire un voilier solaire et d'organiser une course de la Terre à la Lune.
- 1982 Création au Japon de la SSUJ (Solar Sail Union of Japan) par des ingénieurs de l'ISAS (Institut of Space and Astronautical Science, agence spatiale du Ministère de l'Éducation Nationale).
- 1985 Le Conseil Régional Midi-Pyrénées relève le défi de l'U3P en décidant de financer l'organisation de la course. Après 2 brillantes conférences de presse, à Paris et Stockholm, dans le cadre de l'IAF. Il n'y a malheureusement pas eu d'autre suite.
- 1988 Klaus Heiss, un économiste américain, propose d'organiser à l'occasion du 500^e anniversaire de la découverte de l'Amérique, la régata de voiliers solaires «Colombus 500», de la Terre vers Mars. Le projet est abandonné pour des raisons économiques.
- 1989 Le principe de la course présenté par l'U3P, la WSF et la SSUJ est approuvé par l'IAF (International Astronautical Federation), organisation mondiale regroupant la plupart des professionnels de l'espace.
- 1990 Des ingénieurs spatiaux espagnols créent la CVS (Comición Vela Solar), et s'associent à l'U3P.
Réunies à Paris ces associations décident de se constituer en Comité de Course Terre-Lune, –EMRC (Earth Moon Race Committee)– et d'organiser un lancement simultané de voiles solaires.
L'IAF sera l'arbitre de la course.
- 1991 Création de VSE (le Voilier Solaire Européen), chargé de concevoir un voilier solaire européen.
- 1992 L'IAF crée un groupe de travail «Voile Solaire» (SSWG Solar Sail Working Group) et officialise le règlement de la course Terre-Lune auquel il donne le nom de Luna Cup.
- 1993 Le 4 février, déploiement par les russes du miroir solaire Znamia par le SRC (Space Regatta Consortium), qui préfigure les futures voiles solaires.
- 1995 L'U3P ouvre son site sur Internet :
<http://www.ec-lille.fr/~u3p>.
L'U3P adhère à l'IAF.
- 1997 La voile poursuit son vol avec le lancement de la course virtuelle sur Internet et la création du groupe de travail DAEDALUS à l'ESTEC (centre technique de l'Agence Spatiale Européenne).

*Le JPL a été créé en 1947. Il deviendra le principal laboratoire de recherche spatiale de la NASA, créée en 1958 par le Président Eisenhower. Les sondes les plus fabuleuses ont été conçues par le JPL : Pionner, Voyager, Mariner et plus récemment Galiléo, Mars Pathfinder accompagnée de Sojourner, premier robot martien.

LES PORTEURS DU RÊVE



VLADIMIR S.
SYROMIATNIKOV



CONGRÈS IAF À MALAGA



LUNA CUP

II LA RÉALITÉ

5 - le système solaire

Le Soleil, autour duquel tournent les planètes que l'humanité a commencé à explorer depuis quelques années, émet des **photons**, c'est-à-dire une onde électromagnétique assimilable à des grains de lumière ; il émet également des noyaux lourds, des électrons et des protons, qui constituent le **vent solaire**.

Une erreur commune est d'associer vent solaire et propulsion photonique. Ils n'ont aucun lien. Ce sont les photons qui, par leur réflexion sur la surface d'une voile, lui communiquent une partie, faible mais constante, de leur énergie. Les noyaux lourds du vent solaire se propagent à des vitesses de quelques centaines à quelques milliers de kilomètres par seconde le long des lignes de champ magnétique interplanétaire alors que les photons solaires se déplacent en ligne directe, à la vitesse de la lumière.

Dans l'ensemble de notre système solaire, un véhicule spatial est soumis à l'attraction gravitationnelle du Soleil et des planètes. S'il est à proximité d'une planète, c'est l'attraction gravitationnelle de cette planète qui sera prépondérante. Qu'elle soit en orbite autour du Soleil (comme le sont les planètes elles-mêmes) ou autour d'une planète, une voile solaire est un véhicule spatial qui possède une caractéristique originale par rapport aux satellites habituels : aux différentes forces d'attraction qui s'exercent sur elle et qui déterminent sa trajectoire vient s'ajouter en permanence une force d'origine photonique qui, même d'un ordre de grandeur inférieure à la force d'attraction principale, peut être utilisée pour modifier la trajectoire initiale.

Une Voile Solaire est un miroir qui réfléchit le faisceau lumineux incident. L'action engendre la réaction. La pression photonique exercée par la lumière solaire s'exerce dans une direction perpendiculaire à la surface de la voile. En orientant cette voile, il est donc possible de choisir la direction dans laquelle l'accélération additionnelle va agir et donc de quelle manière l'orbite initiale sera modifiée.

Il faut ici distinguer deux cas simples, selon que l'on considère une orbite héliocentrique (autour du Soleil) ou géocentrique (autour d'une planète la Terre par exemple).

Les orbites autour du Soleil ont des périodes longues (un an pour la Terre, par exemple) en conséquence les variations éventuelles d'orientation pour aboutir à un effet quelconque sur l'orbite n'ont pas besoin d'être rapides.

Autour d'une planète comme la Terre, la vitesse angulaire est bien plus grande (un satellite en orbite basse terrestre fait une révolution en une heure et demie ou en vingt quatre heures à l'altitude géostationnaire soit 36000 km). Pour utiliser la poussée photonique autour de la Terre, il sera donc nécessaire d'être plus précis et plus rapide que dans le cas de l'orbite héliocentrique.

Comètes, Astéroïdes, Météorites sont des petits objets du Système Solaire, qui dans la formation du système solaire par accrétion (accumulation de matériaux) n'ont pas pu s'assembler avec une planète. Ils sont des cibles privilégiées. Plusieurs sondes spatiales ont été envoyées dès le début de la conquête spatiale et déjà de grandes missions sont annoncées pour le XXI^e siècle en particuliers la sonde Rosetta, à lancer en 2003, vers la comète Wirtanen en vue de s'y poser en 2011 et d'y faire des analyses physico-chimistes

Les comètes sont la mémoire de la naissance du système solaire, elles n'ont pas changé depuis leur formation. Cette fin de millénaire a été marquée par la visite de 4 comètes exceptionnelles :

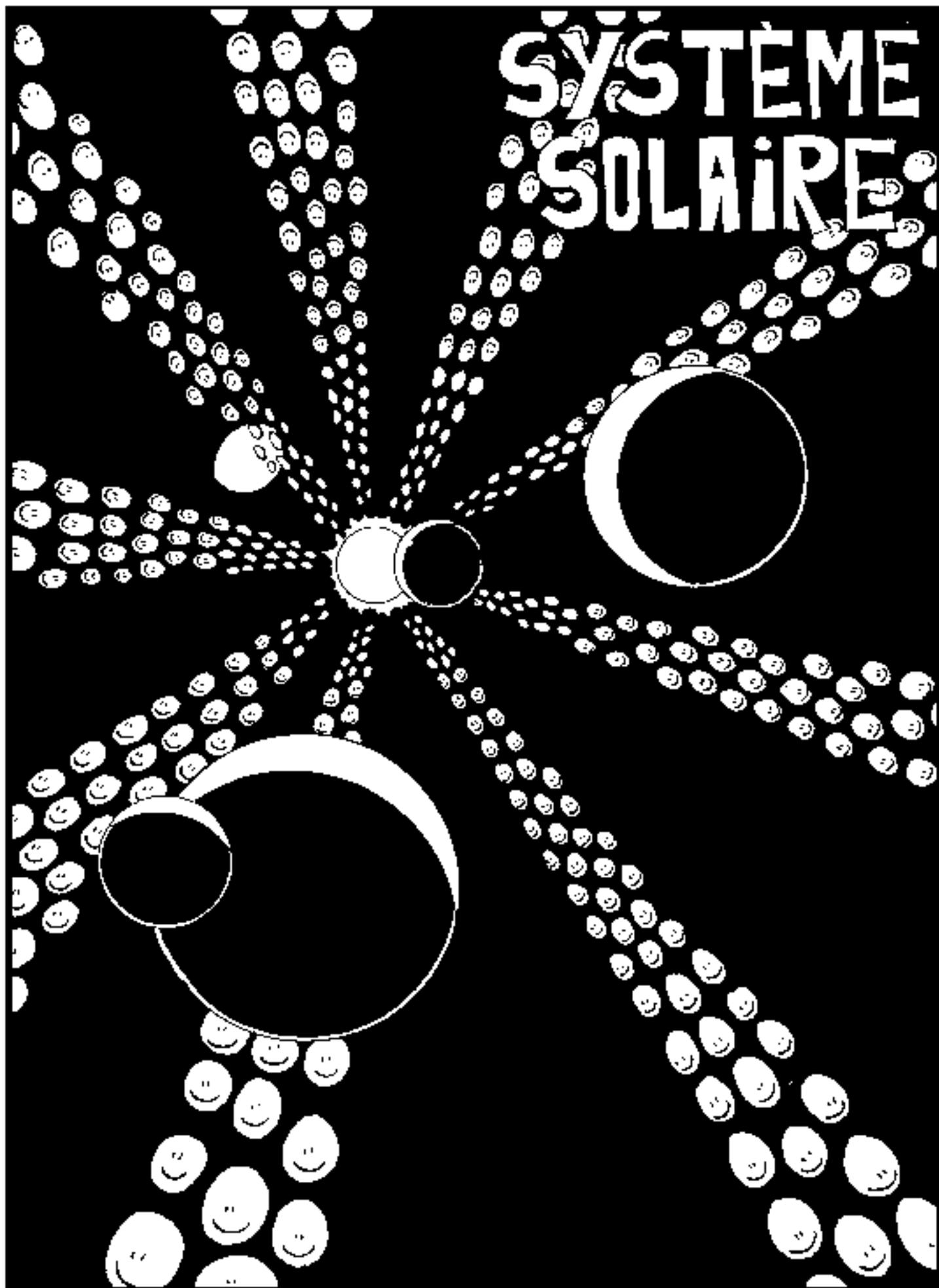
- en 1986, le retour de Halley,
- en 1994, Shoemaker-Levy SL-9 se brisait à l'approche de Jupiter en plus de 20 morceaux sous l'effet des forces gravitationnelles et s'écrasait sur la planète,
- en 1996, Yakutake brille dans le ciel de juin
- en 1997, pendant 3 mois, Hall-Bopp offre un spectacle inoubliable aux terriens..

Les astéroïdes, petites planètes, dont la taille varie de quelques kilomètres à quelques centaines de kilomètres orbitent pour la plupart entre Mars et Jupiter. Ils sont une source inépuisable de matières premières. cf. page 15

Les météorites vont de la poussière la plus fine jusqu'aux astéroïdes. La Terre rencontre chaque année plusieurs milliers de tonnes de poussières de toutes tailles. Une partie se consume dans l'atmosphère sous forme de météores ou étoiles filantes, d'autres arrivent jusqu'au sol à la grande joie des collectionneurs et des scientifiques.

Les météorites sont avec les roches lunaires rapportées lors des missions spatiales les seuls corps extra-terrestres que l'on peut étudier en laboratoire.

SYSTÈME SOLAIRE

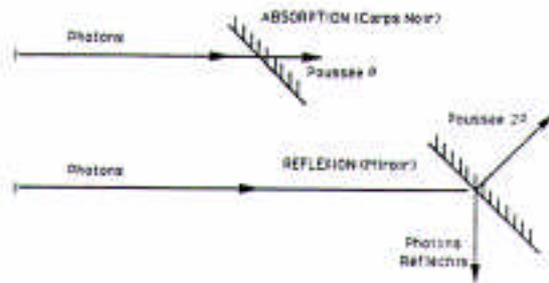


6 - les bases technologiques

Le concept du voilier solaire

Les principes de la voile solaire :

Le **vent solaire** ne joue pratiquement aucun rôle dans le vol à voile solaire. La voile solaire est actionnée par la pression de radiation du soleil, pression produite par la lumière, par les photons, lorsqu'ils «rebondissent» sur la voile, et non par le vent solaire qui n'est qu'un flux de particules (protons et électrons) se déplaçant à une vitesse très inférieure à celle de la lumière. Cette force, cette pression de radiation, est de cent à mille fois plus grande que celle du vent solaire.



La voile solaire est un miroir à haut pouvoir réfléchissant. Lorsque les photons heurtent ce miroir, ils lui impriment une force (l'action engendre la réaction). Plus ce miroir, plus cette voile est grande, plus l'énergie reçue est grande. Plus elle est légère, plus elle est lisse et, du fait de sa texture, plus elle est proche d'un miroir parfait, plus l'accélération est importante. En inclinant la voile, on peut diriger la force et, en conséquence, piloter la voile (changement d'attitude).

Photons et gravitation :

À la surface d'un lac, la combinaison des forces de l'air et de l'eau fait avancer le bateau à voile ; l'air, de faible densité, agit sur la voile, l'eau, mille fois plus dense, réagit sur la partie immergée. De même, c'est la combinaison du flux photonique (faible énergie) et de la gravitation (grande énergie) qui permet à un véhicule à voile solaire de se déplacer librement. Les photons d'origine solaire sont l'équivalent spatial du vent. Le champ gravitationnel est l'équivalent de l'eau. La vitesse orbitale, fruit des effets de la gravitation, représente le support, l'élément sur lequel le véhicule à voile solaire voyage.

Pour se déplacer dans le système solaire, un véhicule spatial doit faire varier sa vitesse orbitale et la direction du plan de son orbite par rapport au soleil.

Tous les objets du système solaire, petits et grands, se déplacent autour du Soleil en décrivant des orbites elliptiques. Découvert par Képler en 1609, ce phénomène et les lois de la gravitation qui en résultent associent étroitement la vitesse d'un objet à sa distance au Soleil. Mercure, la plus proche du Soleil, parcourt son orbite plus vite que toutes les autres planètes. La Terre parcourt tous les ans 940 millions de kilomètres à la vitesse moyenne de 30 km/s. Mars, plus éloignée du soleil, circule à la vitesse de 24 km/s seulement. Pour transférer un objet de la Terre à Mars il faut donc, après une accélération initiale et une trajectoire inertielle qui obéit aux lois de l'astronomie, ramener la vitesse à 24 km/s en approche martienne. C'est ce qui est réalisé dans les fusées à propulsion classique en créant une poussée qui change presque instantanément cette vitesse.

Avec une voile solaire, le principe est le même, seule la procédure diffère. On positionne le plan de la voile de façon à obtenir une réaction des photons dans le sens de l'orbite pour accélérer et dans le sens inverse pour ralentir. Ce faisant, on modifie **en continu** la vitesse orbitale sans utiliser le moindre carburant. Tel est le pouvoir, «telle est l'inhérente beauté du vol à la voile solaire. Nous n'avons besoin d'aucun carburant pour nous propulser ; la nature se charge de nous le procurer»*. Du point de vue énergétique, c'est bien la perspective d'une ressource illimitée qui apparaît. Propulsion photonique ! Promesse démesurée !

Mais comment changer de trajectoire ? Tout simplement en modifiant l'attitude, c'est à dire, en modifiant l'angle que fait le plan de la voile solaire et la direction du soleil afin que la voile reçoive le flux photonique sous un angle donné. Une force perpendiculaire à la voile agit alors sur le véhicule spatial et modifie sa vitesse. Il en résulte un changement de distance au soleil, qui a pour conséquence un changement de trajectoire ; si la vitesse augmente, le véhicule s'éloigne du soleil, si elle diminue, il s'en rapproche. cf. 10 Naviguer à la voile.

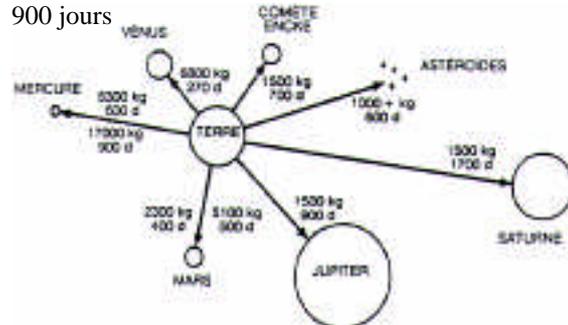
Avec une voile solaire, les variations d'orbite s'obtiennent lentement mais continûment, ce qui conduit à une trajectoire en forme de spirale et non d'ellipse : spirale d'évasion dans le cas d'une accélération, spirale de pénétration dans le cas d'un ralentissement. cf. 10 Naviguer à la voile.

Quelle est la valeur de la force propulsive ?

Le soleil émet une énorme quantité d'énergie qui se disperse avec le carré de la distance. À proximité de la Terre, la poussée exercée par le rayonnement solaire est de l'ordre de 9 grammes par hectare. Il en résulte une accélération très faible mais elle s'exerce à longueur de journées, de mois, d'années.

Pression = $4.5 \cdot 10^{-6}$ pascal à 1UA + unité NEWTON

Dans l'idéal, une voile carrée de 800 mètres de côté et de 2,5 microns d'épaisseur pourrait acheminer une charge de 5 tonnes sur Mars en 500 jours ou de 1,5 tonnes sur Jupiter en 900 jours



Ainsi, bien que le voilier solaire soit un véhicule à faible poussée, l'énergie permanente du soleil lui permet de procéder à des augmentations de vitesse importantes en des temps relativement courts ce qui le destine au déplacement de masses importantes sur des distances considérables. Cette caractéristique lui promet une carrière durable dans le domaine des échanges interplanétaires.

Cependant, l'orbite basse n'est pas son terrain de prédilection. Pour rendre efficace le voilier, c'est à dire pour lui éviter la spirale d'évasion qui durerait près d'un an au départ de l'orbite basse, il est nécessaire de le satelliser initialement sur une orbite élevée.

BASES SCIENTIFIQUES



KEPLER



NEWTON



TSIOLKOVSKI
(1857-1935)

$P_0 = 4,5 \text{ Pascals}$
 $\times 10^{-6} \approx 1 \text{ U.A.}$



MAXWELL



GODDARD
(1882-1945)

ESNAULT
PELETERIE
(1881-1957)



VON BRAUN
(1912-1977)



OBERTH (1894-1988)

GODDARD
(1882-1945)

II LA RÉALITÉ

7 - les contraintes

Une voile solaire aura à subir des contraintes communes à tous les véhicules spatiaux mais aussi des contraintes qui lui sont propres.

L'espace est un milieu violent et hostile pour de multiples raisons :

- les écarts de température sont très importants entre les parties exposées au Soleil et celles situées à l'ombre. Les échanges thermiques avec l'environnement se font uniquement par effet radiatif (pas de conduction possible ni de convection).
- le vide a également pour effet de faire coller les matériaux les uns aux autres. La lubrification des parties mobiles est un problème particulièrement délicat.
- une fois dans l'espace, l'unique moyen d'intervention est la télécommande. Il faut donc avant de déclarer un satellite apte à voler s'être assuré par des modélisations, des essais et la mise à l'épreuve dans des environnements simulés que les chances de succès sont raisonnables. Le choix des stratégies de redondance et de reconfiguration des systèmes de bord est un problème ardu.
- les moyens de communication entre un véhicule spatial et le centre chargé de son contrôle, au sol, sont limités par la distance. Il faut donc a priori opérer une sélection drastique des informations jugées nécessaires : vitesse, attitude, éloignements, perturbations éventuelles, ...
- l'espace n'est pas complètement vide. Il est traversé, de jets de noyaux lourds d'origine solaire (le vent solaire), de particules d'origine terrestre (oxygène atomique), des micrométéorites et même des débris spatiaux. Dans certaines régions de l'environnement terrestre tel que les ceintures de radiations, les doses cumulées de radiation sont très éprouvantes pour l'électronique embarquée, ce qui conditionne le choix de composants durcis aux radiations.

Si l'environnement spatial est sévère, les conditions rencontrées pour l'atteindre, lors du lancement, le sont également :

- l'accélération de la fusée porteuse, dans certaines phases du lancement, est de l'ordre de 5 g, ce qui oblige à dimensionner les équipements de manière qu'ils puissent supporter 5 fois le poids qu'ils supporteraient au sol.
- un lanceur, quel qu'il soit, est un engin puissant. Les vibrations et les chocs dans les diverses phases du vol, ainsi que la pression acoustique subis par le satellite embarqué sont très contraignants.
- pour des raisons économiques, le satellite doit être le plus léger possible : 1 à 2% seulement de la masse quittant le pas de tir sera satellisée.
- dans les premières phases de traversée de l'atmosphère, le satellite doit être protégé par une coiffe. Celle-ci étant forcément de dimensions limitées, antennes et panneaux solaires doivent être repliés. Sur orbite, il faudra les déployer en toute sécurité, l'expérience montre que ce problème est à l'origine de nombreux échecs de missions spatiales.

Certaines de ces contraintes prennent dans le cas d'une voile solaire une ampleur toute particulière :

- le rapport des dimensions entre la configuration repliée, celle du lancement, et la configuration opérationnelle déployée est beaucoup plus important que pour des satellites classiques : il faut passer d'environ 3 mètres de diamètre à près de 100. Le déploiement est assurément la phase cruciale de la mission d'une voile solaire.
- de grande taille et très légère, une voile solaire est un objet relativement souple. Le pilotage d'une voile solaire doit prendre en compte cette grande flexibilité de la structure.
- le choix du matériau supportant la couche métallisée qui assurera la qualité optique de la réflexion du flux lumineux est fondamental. On cherche à obtenir une surface lisse après son déploiement et conserver également ses qualités mécaniques tout au long de la mission (vieillesse modérée sous l'action des particules et du rayonnement ultraviolet en particulier).
- le rapport surface/masse de la voile, élément majeur de sa performance, devra être poussé à la valeur la plus élevée possible par le moyen de la stratification nanométrique (précision de l'ordre du milliardième de millimètre) alors que pour un satellite classique, les dimensions et la masse ne sont que des éléments intervenant dans le coût et les conditions du lancement, sans importance majeure par la suite.

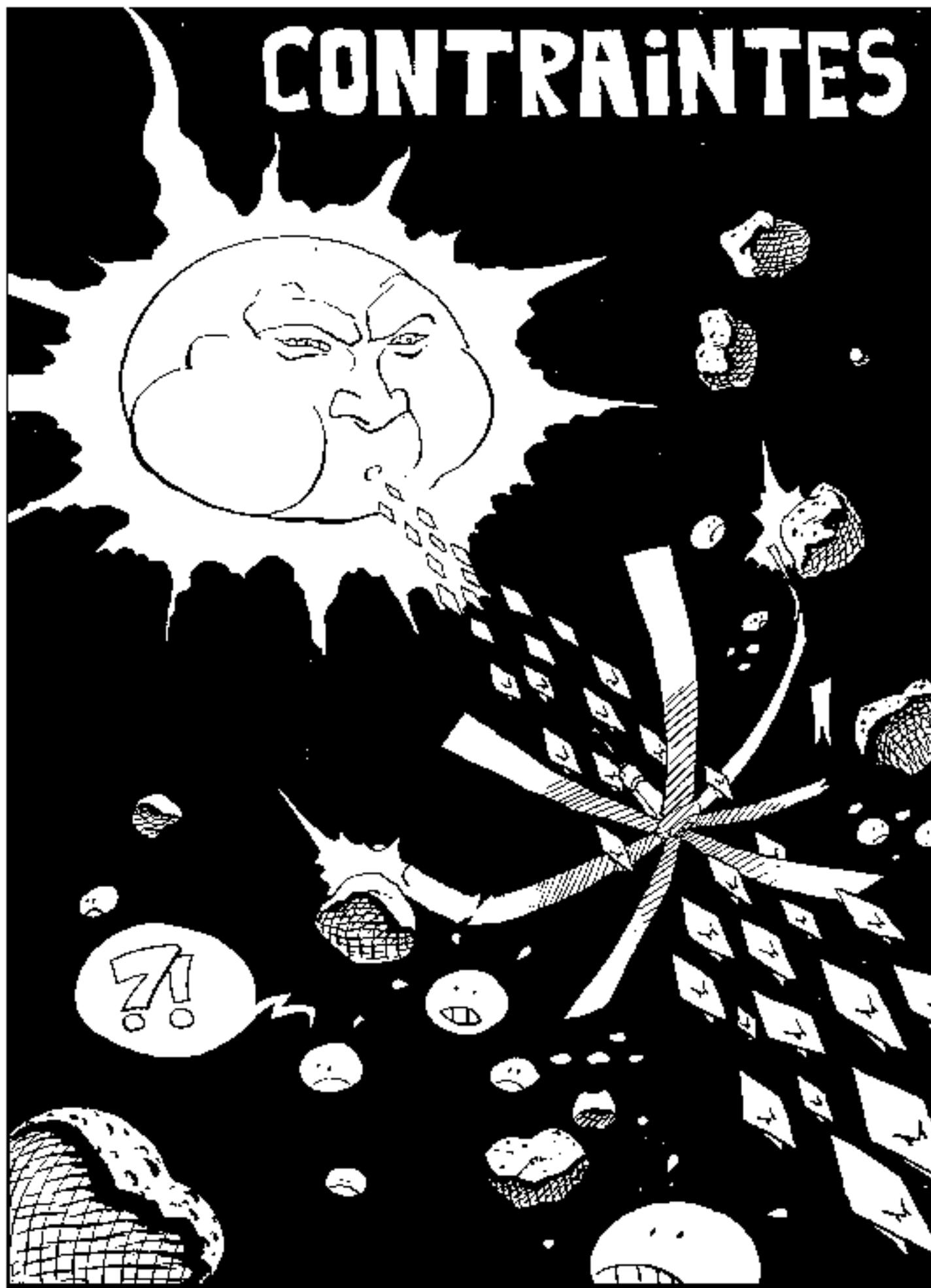
Les techniques évoluent rapidement et ce qui est aujourd'hui un problème complexe sera probablement résolu dans les années à venir.

L'espace milieu violent et hostile

collection BT ESPACE, CNES - PEMF 1994

«...L'atmosphère gazeuse qui enrobe notre planète et son champ magnétique naturel nous épargnent les rigueurs du milieu spatial dont nous ne soupçonnons pas la violence avant que la multitude d'engins spatiaux lancés depuis plus de trente ans nous en rapporte une image effrayante: un vide quasi total, des écarts thermiques redoutables, des flux de particules, des rayonnements et des débris de toutes sortes.....»

CONTRAINTE



II LA RÉALITÉ

8 - les moyens

La voile solaire, c'est un sentier difficile. Elle fut, elle reste une préoccupation de pionniers. C'est pourquoi tout ce qui n'est pas spécifique devra être choisi sur étagère. Il n'y a pas de budget.

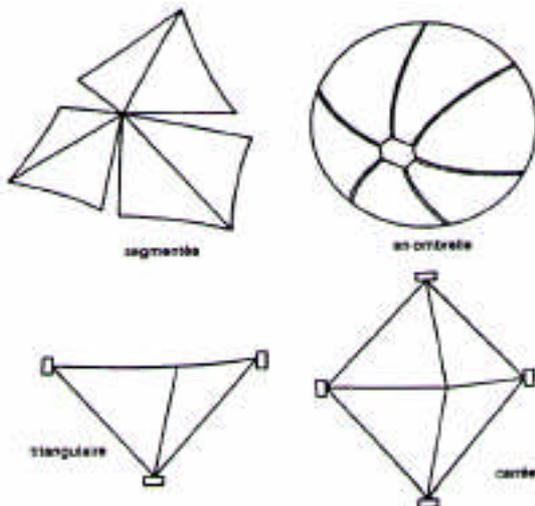
Conception et construction de divers types de voile

Le matériau : feuille d'aluminium et film plastique du type de ceux que nous utilisons en cuisine. Au départ, c'est par cela qu'il faudra commencer. La feuille d'aluminium en rouleau doit être large (6 à 8 mètres), lisse, fine, réfléchissante, légère. Le film plastique tient lieu de support. Dans ses études sur la voile solaire promise au survol de la comète de Halley, l'équipe du JPL avait testé tous les types de polymères. Le nylar et le krypton s'avéraient les meilleurs. Sous une épaisseur de 8 microns, ils pourraient assurer le support d'une voile qui, bien ouvragée pour éviter les charges électrostatiques, les boursoufflures locales, plissement parasites, déchirures et autres points chauds, n'exercerait pas 10 g/m^2 . À un stade ultérieur et pour accroître la charge utile, l'épaisseur devra être réduite à 2 microns grâce à la stratification nanométrique (procédé de pulvérisation sous vide par couches successives de l'ordre du millionième de millimètre). On envisage même de déposer sur le support des stratifications de 0,1 micron (en dessous de 0,02 microns, les photons traverseraient le métal au lieu de rebondir ; plus de réaction).

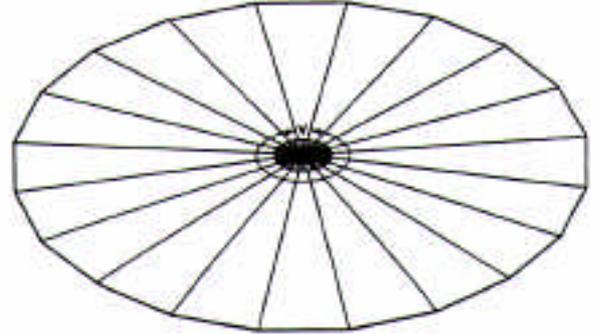
Pour faire face à tous ces écueils ainsi qu'aux ondulations, vibrations, phénomènes de résonance et autres désordres engendrés par les manœuvres de changements d'attitude, on a imaginé divers types de voiles et de gréements.

Les différents types de voiles :

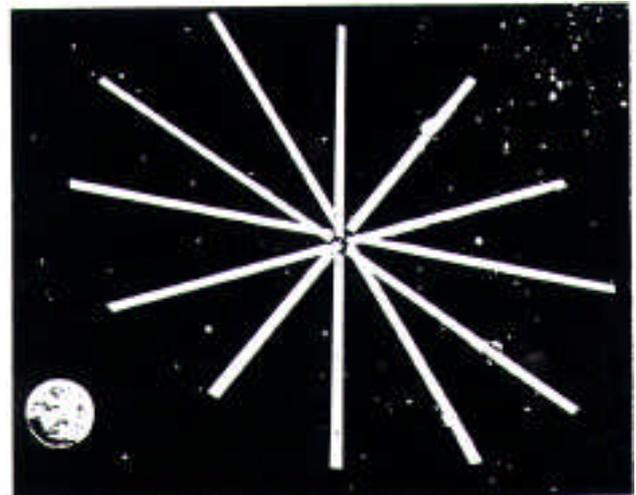
1 La voile carrée (qui pourrait aussi bien être un triangle ou un rectangle) : elle est stable et tenue à poste par le moyen d'un gréement classique (tangons et haubans) mais en raison de sa masse, ses performances ne sont pas extraordinaires.



2 La voile disque déployée par un mouvement de rotation : elle permet de résoudre de nombreux aléas mais son mécanisme de pilotage (création d'un couple par déplacement relatif des centres de gravité et de poussée) est massif et complexe. La seule voile qui ait jamais été déployée à ce jour (Znamia 02, conçue par le russe Vladimir Syromiatnikov) est rotative mais pas pilotée.



3 L'héliogyro enfin : de loin la solution la plus audacieuse, celle qui fut imaginée à Pasadena par Mc Neal et Hedgepath, pour un vol de conserve avec la comète de Halley, aurait 12 pales de 8 mètres de large et 7500 mètres de long maintenues en rotation lente par la force centrifuge. L'inclinaison des pales assurait les changements d'attitude. Avec une charge utile de 100 kilos, le rayon de l'aile pourrait être ramené à 300 mètres.

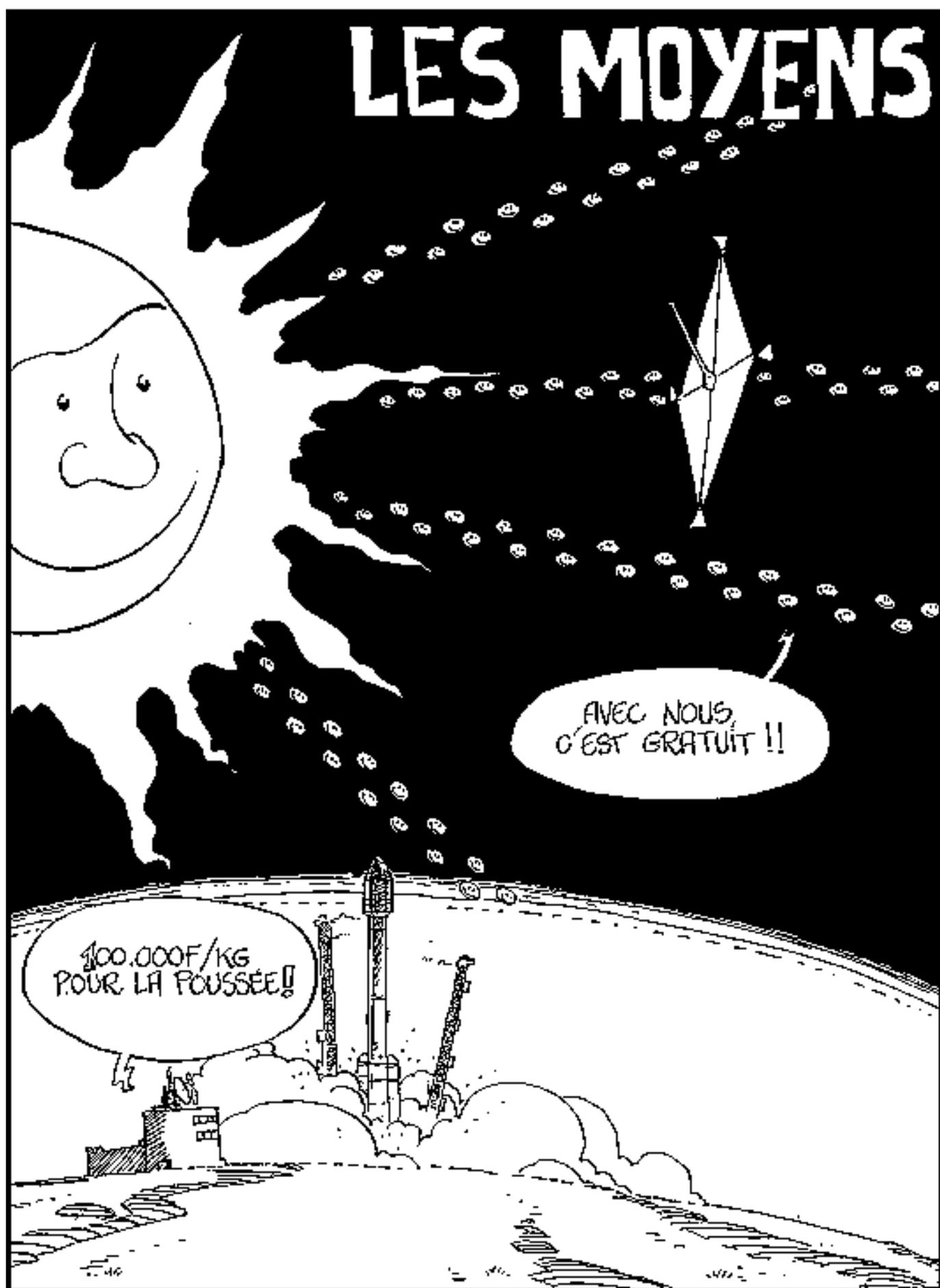


Pour l'instant, le choix se limite à ces 3 possibilités. Que privilégier ? La rigidification de l'ensemble, la stabilisation de l'attitude, la précision du pilotage ? À l'heure du compromis il faudra bien également penser à la charge marchande.

Mais avant de dresser l'inventaire des soutes, ne serait-il pas plus urgent, dans la chronologie, de découvrir le moyen d'empaqueter sous un volume réduit, de ficeler et plus tard de redéployer ces étranges pièces de tissu de plusieurs centaines de mètres de côté ? Rouler en cylindre ou compacter par couches superposées ?

Ce nouveau casse-tête, c'est «l'origami», l'art du pliage ; domaine inédit pour les maîtres-voiliers. À moins de fabriquer le tissu idéal en orbite !

LES MOYENS



III LES PROJETS

9 - les tentatives

La première utilisation du principe de propulsion photonique date des années 70 avec la sonde Mariner 10 lancée le 4 novembre 1973. Le système de contrôle d'attitude de la sonde fonctionnant mal, il entraîne une suconsommation d'azote. Pour éviter l'arrêt de la mission par épuisement de l'azote, les techniciens vont jouer sur l'orientation des panneaux solaires de façon que la pression photonique permette de l'injecter sur une orbite solaire tel que Mercure et Mariner-10 se croiseront indéfiniment tous les 176 jours. Le satellite lui-même n'était pas à proprement parler une voile solaire mais le principe du voilier fut pour la première fois mis en application.

Au Jet Propulsion Laboratory (JPL), en 1973, des ingénieurs de la NASA entreprirent des études sur le sujet dans la perspective d'accompagner la comète de Halley lors de son passage près du Soleil en 1986. Deux concepts virent alors le jour, l'héliogyro, immense voile faite de lamelles tournantes, et la voile carrée, soutenue par des mâts diagonaux. Pour des raisons budgétaires, la NASA ne donna suite à aucun de ces concepts.

À la même époque des études similaires ont été faites par l'ESA pour une voile carrée de un kilomètre de côté.

Vladimir Syromiatnikov

Dans la deuxième moitié des années cinquante, Vladimir Syromiatnikov fut un compagnon de Sergueï Korolev, constructeur principal des lanceurs spatiaux soviétiques, avec qui il participe à la construction de Sputnik 1. Puis il conçut et mit en œuvre le système d'arrimage androgyne utilisé pour la première fois à l'occasion de la jonction d'un vaisseau spatial américain Apollo avec un vaisseau soviétique Soyouz le 17 juillet 1975 ce qui lui valut le Prix Lénine. En 1995, il développa un nouveau système (APAS) pour assurer la jonction entre la navette spatiale américaine et la station spatiale russe MIR ce pour quoi il fut nommé «ingénieur de l'année» par les autorités américaines. Entre temps, le 4 février 1993 ses efforts de concepteur d'une voile solaire avaient été couronnées par le déploiement de Znamia 2.

Mariner

Série de sondes lancées de 1962 à 1974 par les américains à direction des planètes telluriques Vénus, Mars et Mercure parmi elles : Mariner 2, 1^e sonde à survoler Vénus en état de marche le 13/12/62, Mariner 4, 1^e sonde à survoler Mars en état de marche le 17/07/65 avec envoi de 21 photos ; Mariner 10, 1^e utilisation de l'effet gravitationnel en l'occurrence de Vénus pour atteindre Mercure, seule sonde à avoir survolé et photographié Mercure.

En 1981, l'association française Union pour la Promotion de la Propulsion Photonique fut créée dans le but d'organiser une course de voiles solaires entre la Terre et la Lune. Des candidats potentiels américains et japonais se rallièrent à cette idée et constituèrent avec l'U3P l'Earth-Moon Race Committee qui édicta les premières règles d'une course spatiale Terre-Lune.

En 1993, une équipe Russe, conduite par Vladimir Syromiatnikov, déploya une voile nommée **Znamia**, «le drapeau», de 20 mètres de diamètre, à partir d'un vaisseau Progress après son «désaMIRrage».

En mai 1996, depuis la navette spatiale, les astronautes américains effectuèrent l'expérience **Spartan 207**, consistant à déployer par le moyen de mâts gonflables, un réflecteur circulaire de 14 mètres de diamètre.

Aujourd'hui, qu'il s'agisse de voile stabilisée par rotation ou maintenue en forme par des mâts rigides, les technologies sont disponibles. Rien n'empêche plus de passer à l'acte.

Progress

Vaisseau spatial automatique inhabité utilisé pour le ravitaillement de la station spatiale russe MIR en matériel, eau, aliment, carburant,.... Le vaisseau peut être utilisé pour des expériences scientifiques, comme ce fut le cas avec Znamia 2.

En fin de mission le vaisseau est propulsé avec les déchets de la station et le matériel obsolète vers la Terre, le tout se désintègre dans les couches denses de l'atmosphère.

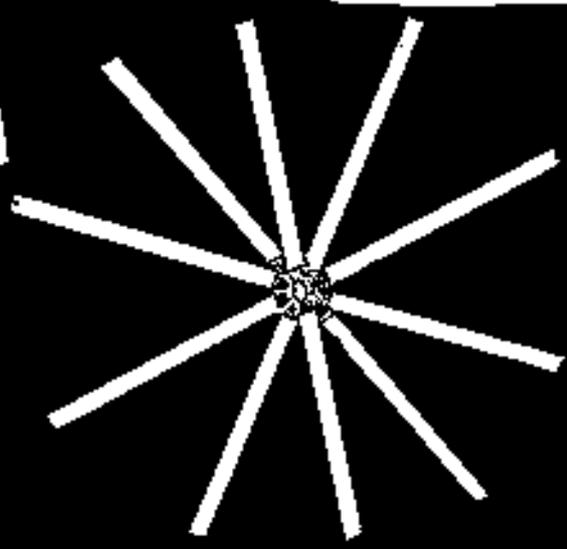
LES TENTATIVES



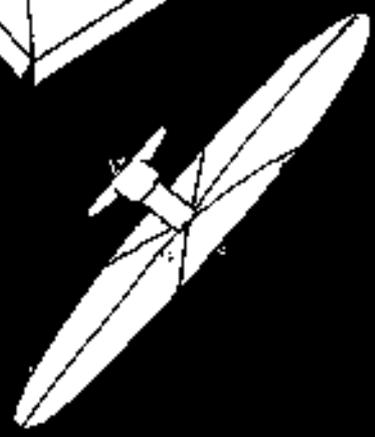
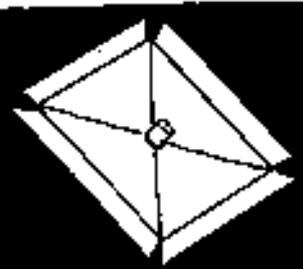
MARINER



HÉLIOGYRO
DU JPL



VOILE CARRÉE
DE L'ESA



ZNAMIA



10 - naviguer avec un voilier solaire

Une poussée dans le sens de la vitesse fait évoluer en spirale vers l'extérieur

Une poussée contre le sens de la vitesse fait évoluer en spirale vers l'intérieur

Une poussée perpendiculaire à la direction de la vitesse fait évoluer le plan de l'orbite.

Pour modifier leur orbite, les satellites classiques sont équipés de tuyères qui expulsent à grande vitesse le gaz produit par une réaction chimique. A l'échelle de la durée de vie du satellite, ces manœuvres peuvent être considérées comme instantanées. Leur effet est de transférer le satellite de son orbite initiale à une orbite nouvelle définie par le point où a eu lieu la manœuvre et le vecteur vitesse résultant de la manœuvre.

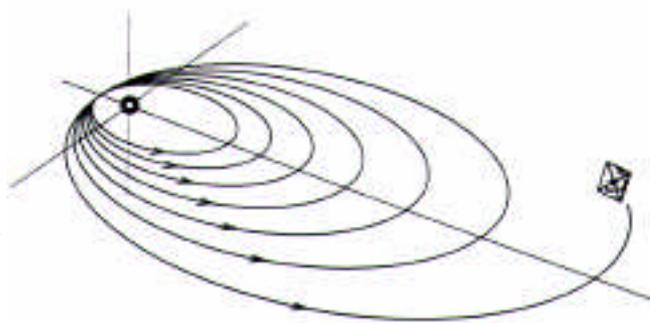
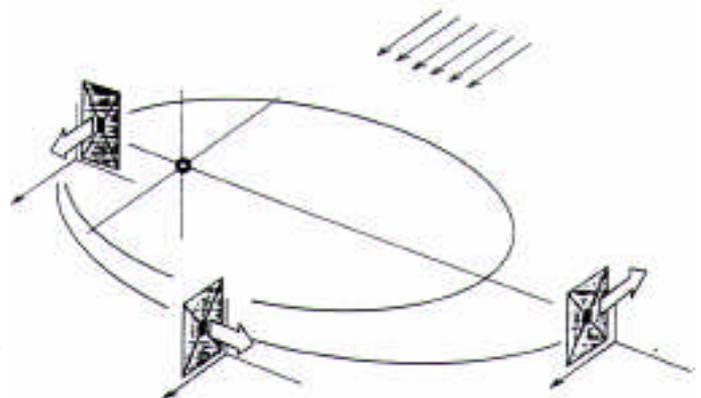
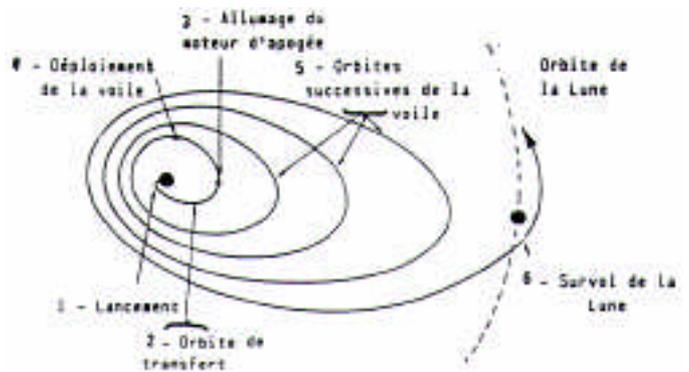
Dans le cas d'une voile solaire, la modification de trajectoire est un processus permanent, dont l'effet sur l'orbite ne peut se mesurer qu'à long terme, en faisant appel à des analyses mathématiques plus complexes. L'élément déterminant pour le contrôle d'orbite d'une voile solaire est l'angle que fait la normale à la voile par rapport à son vecteur vitesse.

Il est intéressant de remarquer que l'accélération gravitationnelle, attractive, et la pression photonique, répulsive, agissent toutes les deux avec une intensité inversement proportionnelle au carré de la distance au Soleil, ce qui induit qu'un dimensionnement quelconque de voile solaire aura des performances identiques où que soit la voile dans le système solaire.

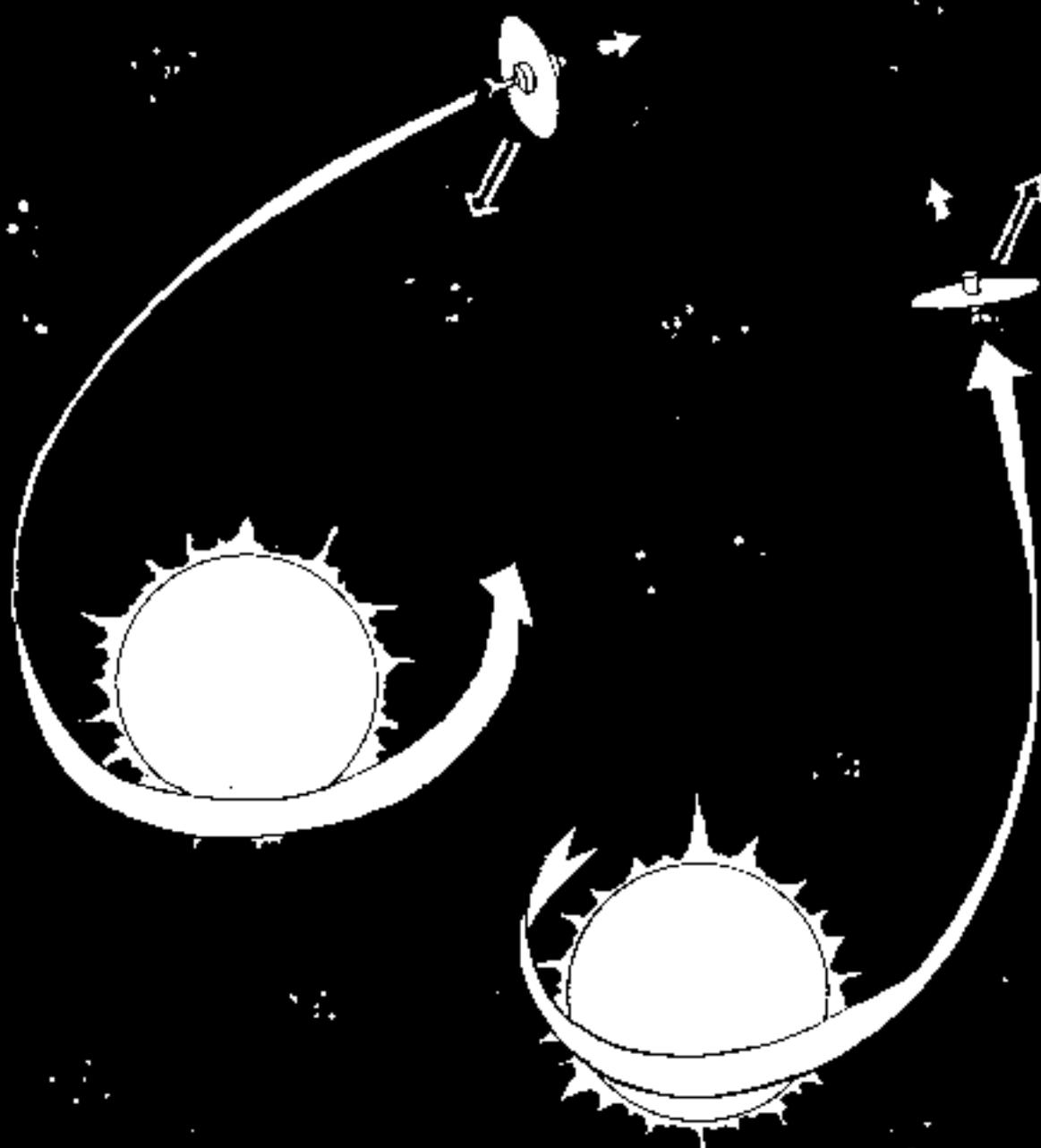
Voyons quelques cas simples :

- une orientation de la normale selon le vecteur vitesse mais dirigée dans le sens du mouvement, conduit à une spirale vers l'extérieur.
- au contraire, si la voile est orientée de telle manière que sa normale est alignée avec le vecteur vitesse, orientée en sens inverse du mouvement, la vitesse de la voile est diminuée en permanence. On a donc une configuration de freinage, amenant la voile à se rapprocher du corps attractif selon une spirale.
- un cas particulièrement intéressant est celui de la «lévitation» des orbites.

Si la voile, sur une orbite héliocentrique, est dirigée en permanence vers le Soleil, la poussée photonique se retranche de l'attraction gravitationnelle du Soleil. Tout se passe alors pour la voile comme si le Soleil était plus léger, ce qui permet d'obtenir des orbites d'une période donnée à une distance du Soleil inférieure à la distance correspondant normalement à cette même période.



NAVIGUER À LA VOÏLE



11 - les technologies de pilotage

Pour maîtriser sa direction poussée et son effet sur l'orbite, une voile solaire doit maîtriser son orientation par rapport au soleil et par rapport à sa trajectoire (vecteur vitesse). Elle doit posséder des capteurs indiquant la direction du soleil et sa propre orientation par rapport par exemple aux étoiles. Ces informations doivent être traitées, soit directement par son calculateur de bord, soit au sol après transmission, pour savoir s'il faut modifier l'orientation. Si cela est nécessaire il faut mettre alors en action des actuateurs capable de faire évoluer l'orientation. Les actuateurs peuvent être de nature très variés comme des système à réaction (jets de gaz), des volets mobiles utilisant eux-mêmes la force photonique, des systèmes passifs ou actifs auto stables (rotation, dièdre). Ils dépendent intimement de la conception de la voile solaire dont les deux aspects les plus critiques sont le système de déploiement et le système de contrôle de l'orientation.

À moins de n'être qu'une feuille d'automne emportée par le vent, une voile solaire possédera des équipements, regroupés dans une structure, le noyau technique, qui assurent au moins les fonctions suivantes nécessaires pendant la croisière :

- communication avec les stations terrestres: émetteur-récepteur, antenne ;
- contrôle d'attitude : senseur solaire, stellaire, terrestre, magnétique ;
- gestion des informations à bord, datation: calculateur, mémoire, horloge ;
- alimentation électrique : cellules solaires, batteries.

D'autres fonctions peuvent également s'avérer nécessaires dans certaines phases du vol telles que l'utilisation de propulseur pour élever l'orbite initiale ou le contrôle du déploiement de la voile.

Deux techniques sont envisagées pour maintenir une voile solaire déployée :

1. l'utilisation d'une grande structure rigide
2. force centrifuge créée par une rotation.

1 Structure rigide :

La force photonique est faible et il suffirait d'une structure très fine et légère en forme de mats ou d'anneau circulaire pour maintenir la voile tendue en tension, mais d'autres effets interviennent comme les forces d'inertie lors des manoeuvres d'orientation, de déformation thermique en fonction de l'angle d'aspect solaire et surtout lors du déploiement de la structure elle-même. Ce sont ces effets là qui conditionnent la structure.

Deux grands types de structure rigides sont possibles : les mats articulés et les structures gonflable-rigidifiable.

Pour ce type de voile, c'est la structure qui limite la dimension

2 Force centrifuge :

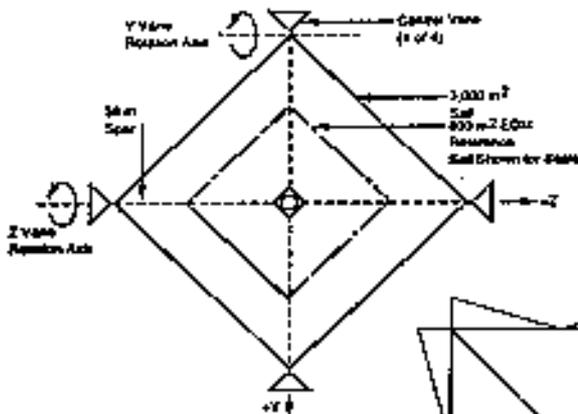
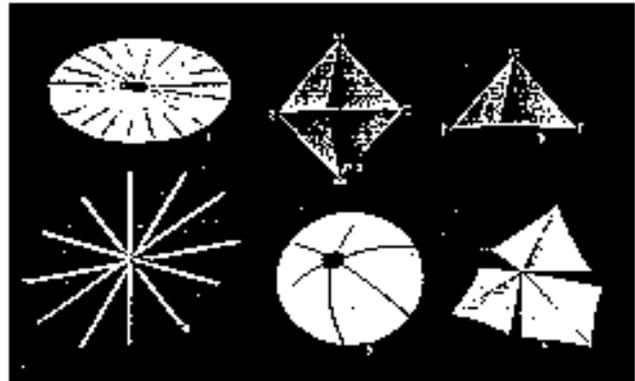
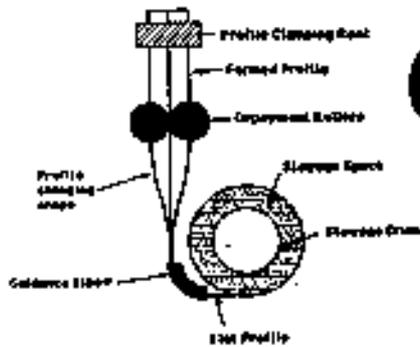
La tension exercée sur le matériau par la force centrifuge d'une voile en rotation le maintient d'autant plus tendu que la rotation est rapide. La voile peut avoir la forme d'un disque (Znamia) ou être formé de longues pales de plusieurs kilomètres.

Pour naviguer, il faut savoir où l'on est, où l'on veut aller et pouvoir faire les modifications de trajectoires pour y arriver

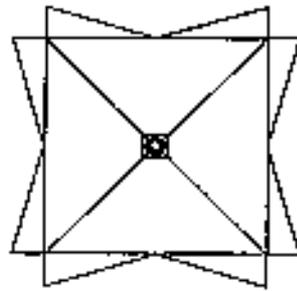
Les techniques de pilotage des voiles solaires présentent des analogies avec la navigation des engins terrestres :

- sur la voile carrée, les volets correspondent à la navigation avec un dériveur léger avec la voile et le foc.
- sur la voile circulaire, le déplacement de masse est analogue au manoeuvre du véliplanchiste qui se déplace sur sa planche à voile.
- sur la voile héliogyro, la torsion des pales de l'héliogyro est analogue au variation du pas de cyclique que l'on retrouve sur les rotors des hélicoptères.

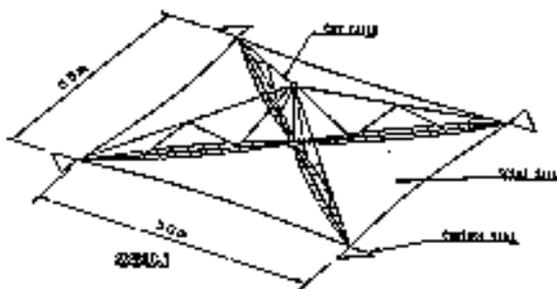
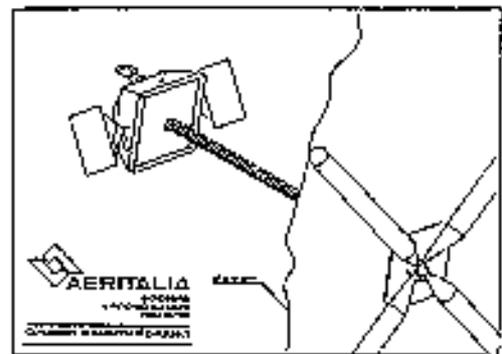
TECHNOLOGIES et PILOTAGE



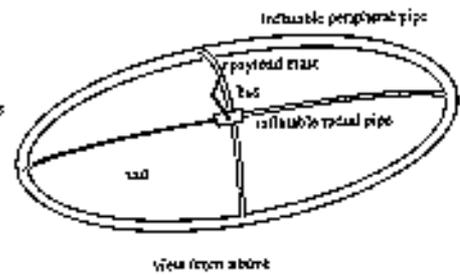
WORLD SPACE FOUNDATION



USP/CVS



side view



view from above

Sail configuration

III LES PROJETS

12 - de la Terre à la Lune

Le XXI^e siècle verra le départ de la **LUNA CUP**, première régate Terre-Lune. Des voiliers, d'abord sans équipage, quitteront la Terre. Ils seront pilotés depuis le sol et navigueront jusqu'à la Lune poussés par la seule force de la lumière. Ils reproduiront symboliquement l'aventure des découvreurs de nouveaux mondes partis à travers les océans et préfigureront... **la conquête pacifique du système solaire, œuvre majeure du XXI^e siècle.**

L'U3P a pour mission d'organiser la course, de superviser le lancement à bord d'une fusée Ariane (européenne) ou Proton (russe), de «skipper» le voilier et d'assurer la promotion de l'épreuve par des actions médiatiques et culturelles dont le centre de navigation mobile et l'exposition de l'Espace seront le fer de lance.

La course sera longue, 10 mois au minimum avec le projet actuel, soit une centaine d'orbites de plus en plus étirées autour de la Terre. À chacune d'elles, les équipages tenteront de gagner quelques milliers de kilomètre jusqu'à ce que la trajectoire passe derrière la Lune.

Le vainqueur sera le premier voilier qui transmettra une photographie du centre de la face cachée de la Lune.

Dans le scénario envisagé en 1992, **le voilier européen**, 45 m de côté, plus de 2000 m² de voile, sera piloté au sol depuis un **centre de navigation mobile**. «L'équipage» recevra et analysera les informations concernant les trajectoires, définira la stratégie de navigation et commandera les manœuvres.

Cet équipage circulera ainsi qu'une Exposition de l'Espace et un village des sponsors dans une cinquantaine de villes de France et d'Europe et, à chaque étape, il créera un événement exceptionnel. Il sera en relation avec le Centre de Contrôle de Toulouse qui assurera toutes les liaisons avec le voilier.

A propos de la Luna Cup

«... La voile solaire est davantage fonctionnelle en espace lointain et sur des distances interplanétaires que dans la banlieue terrestre où elle doit multiplier les manœuvres. La course sera exigeante pour une «première voile» : navigation et guidage sophistiqués, contrôle d'attitude parfait, contrôle de la dynamique et de la stabilité sans faille, manœuvrabilité et précision sont indispensables...».

Louis FRIEDMAN, STARSAILING

Voiliers de l'Espace, éditions L'Étincelle, 1988

«... L'intérêt du Voilier Solaire se situe pour les voyages lointains où les engins spatiaux doivent amener le carburant pour l'aller et pour le retour. Le voilier, qui n'utilise aucun carburant, est un des moyens de s'affranchir en partie de cette contrainte. D'autre part, l'accélération faible mais constante permet d'atteindre des vitesses hors de portée des sondes spatiales actuelles et rend possible le vol de conserve avec des astres tels que les comètes...».

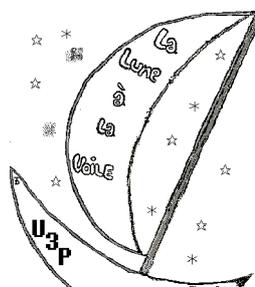
Louis Friedman

En attendant la Luna Cup ...

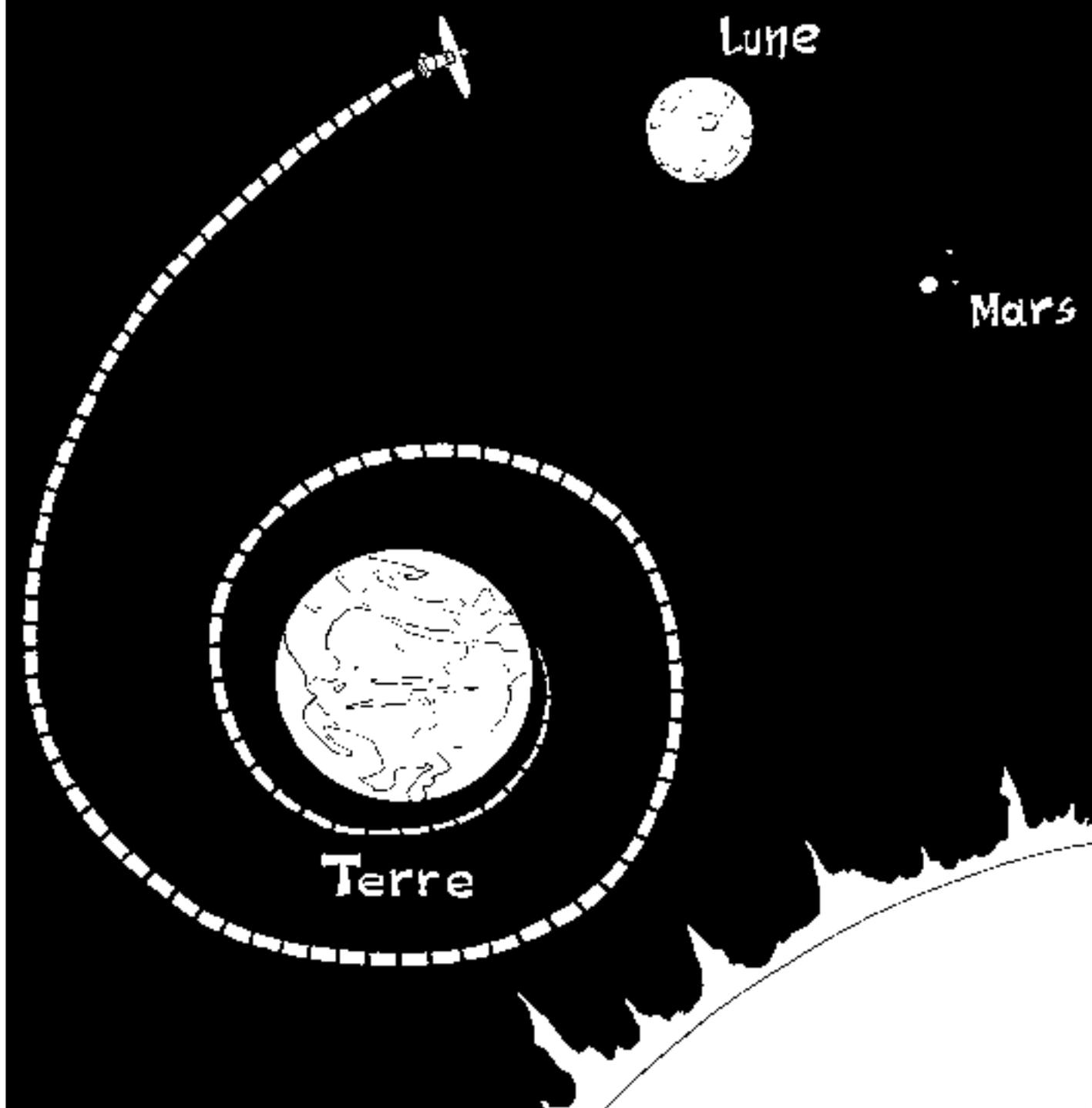
... la course virtuelle

Dès son ouverture en 1995, le serveur **Web** a permis de nombreux et fructueux échanges. C'est ainsi qu'est née l'idée de transposer sur le Web les logiciels de simulation de course Terre-Lune.

La course virtuelle sur Internet, en offrant une configuration standard d'interface va permettre à n'importe quel simulateur de voilier d'évoluer dans l'espace avec n'importe quel logiciel de navigation. Cette course virtuelle accessible au grand public facilitera les recherches des écoles et des universités et permettra de lancer des défis.



DE LA TERRE À LA LUNE



13 - les miroirs du futur

La vocation d'une voile solaire est de se déplacer sur des trajectoires interplanétaires voire interstellaires. Elle devrait donc trouver normalement sa place dans l'exploration du Système Solaire qui, commencée dans les années 60, se poursuivra au XXI^e siècle avec des objectifs scientifiques et économiques de toute nature.

Des voiliers transporteront des sondes scientifiques chargées d'étudier le Système Solaire et ramèneront vers la Terre le matériel et les échantillons.

Parmi les objets à explorer, les astéroïdes suscitent un vif intérêt sur le plan scientifique, car ils sont, comme les comètes, les témoins naissant du Système Solaire, et sur le plan économique, ils constituent un gigantesque réservoir de matières premières qui feront défaut sur Terre dans quelques décennies.

Le 4 février 1993 Znamia-2, le «drapeau», la première voile solaire a été déployée dans l'espace. Le but était d'obtenir un miroir spatial plan afin de réfléchir la lumière du Soleil vers la Terre.

Znamia-2 est la première voile du projet Novy Sviet, la Lumière Nouvelle-Nouveau Monde.

Vladimir Syromiatnikov, son concepteur, prévoit, à plus long terme, une centaine de réflecteurs solaires, constituant un essaim entre 1500 et 5500 km d'altitude pour fournir du Soleil à la demande : ville plongée dans la nuit polaire, secours de nuit en cas de catastrophe, spectacle, ... Il faut préciser que ce projet séduisant a des opposants : les astronomes, qui craignent une augmentation de la pollution lumineuse qui contrarie leurs observations, et les écologistes, qui craignent des bouleversements pour la vie des animaux et pour la végétation. Mais il peut aussi contribuer à résoudre de manière élégante et économique le problème de l'éclairage urbain dans la périphérie des grandes mégapoles.

Naviguer à la voile est une idée romantique, en harmonie avec la nature. Naviguer dans l'espace avec des miroirs engendre des idées similaires. Peter Pan voyageant sur un rayon de Lune, Icare montant vers le Soleil, ...

La littérature photonique est, pour l'instant, réservée aux auteurs de fiction, aux poètes et aux ingénieurs visionnaires. Mais dès que les premiers voiliers solaires auront pris leur essor, gageons, que des skippers intrépides, comme Florence Arthaud qui s'est déjà portée volontaire, n'hésiteront pas à se lancer des défis vers la Lune en attendant d'aller taquiner les planètes. À quand les premiers récits vécus ?

Thomas, 7 ans,

écolier à St-Joseph-de-Rivière (Isère), 1993

Un chien sur un vélo

Ca n'existe pas ca n'existe pas

Un chat sur un bateau

Ca n'existe pas ca n'existe pas

Une souris sur une baleine

Ca n'existe pas

Mais un Thomas

Sur un trois-mâts

Voguant vers la lune

Ca existera

Croyez-moi !

«Le Vent qui vient du Soleil»

Arthur C. Clarke, 1963

«... l'émotion soulevée par les voiliers de jadis renaîtra, plus vive et plus profonde encore, si un jour de nouveaux voiliers sillonnent l'espace...»

«... Il pourrait alors mettre le cap sur la Lune avec toute la force du Soleil derrière lui.

Toute la force du Soleil ... Il eut une sourire désabusé en se rappelant tous ses efforts pour expliquer la navigation solaire au public des conférences ... «Tendez les mains vers le Soleil, que ressentez vous ? De la chaleur, bien sûr. Mais il y a aussi de la pression, bien que vous ne l'ayez jamais remarquée tant elle est tenue. Sur toute la surface de vos mains, elle ne représente seulement une vingtaine de microgrammes. Mais dans l'espace»

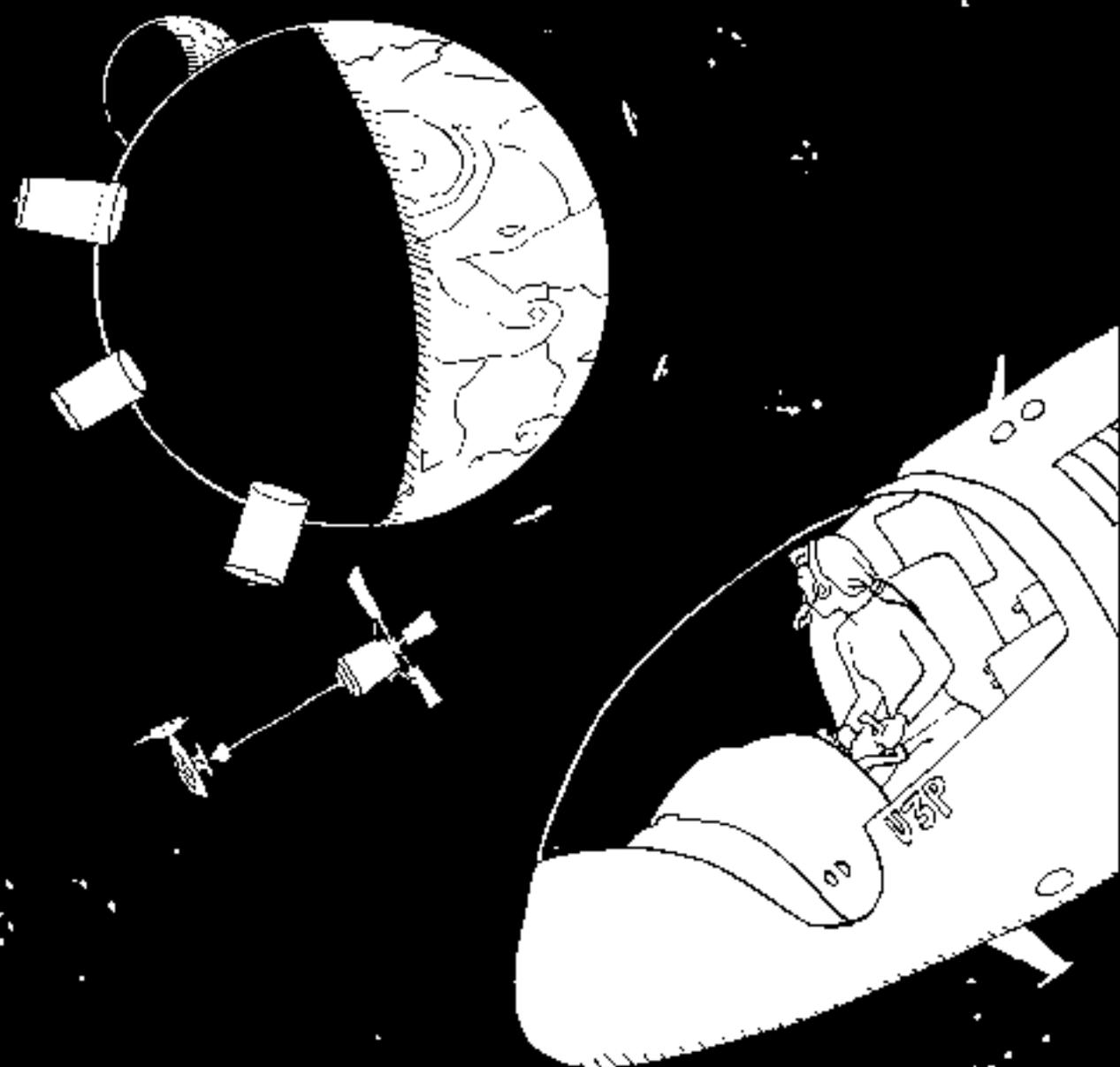
«Comme des bateaux poussés par les vents, de grands voiliers solaires prendront un jour leur envol dans l'espace. Avec leur fine voile réfléchissante, ils profiteront de la faible, très faible poussée qu'exerce la lumière solaire sur tout objet qu'elle croise sur sa course. Ce mode de propulsion aux ressources inépuisables leur permettra de naviguer dans l'espace pour croiser la Lune d'abord, puis poursuivre leur route sans limite à travers le système solaire».

«La planète des singes»

Pierre Boulle, 1963

Chapitre 1 : «... Jinn et Phyllis passaient des vacances merveilleuses dans l'espace, le plus loin possible des astres habités. ... Leur navire était une sphère dont l'enveloppe –la voile– miraculeusement fine et légère, se déplaçait dans l'espace, poussée par la pression des radiations lumineuses.»

MIROIRS DU FUTUR



14 - l'aventure partagée

6 000 000 000 de spectateurs

Hilaire BELLOC 1870-1959, écrivain anglais

«Ce n'est pas par hasard si les grands voiliers ont à toutes les époques tant attiré le regard de l'homme et paru si magnifiques....».

Arthur C. Clarke,

«Le vent qui vient du Soleil».

«... l'émotion soulevée par les voiliers de jadis renaîtra, plus vive et plus profonde encore, si un jour de nouveaux voiliers sillonnent l'espace...»

De par l'engouement qu'elle soulèvera, le départ de la Luna Cup sera un événement planétaire. Les moyens de communication et d'information audiovisuelles permettront de faire partager l'aventure aux 6 000 000 000 de terriens : départ de la fusée, déploiement, départ de la course, principales phases, arrivée,... Mais la course sera longue : une centaine d'orbites, des manœuvres complexes réservées aux initiés,... pendant une dizaine de mois, il faudra maintenir l'intérêt de l'épreuve.

D'entrée de jeu, les inventeurs de la Luna Cup se sont fixés pour objectif de profiter de l'impact de la course pour sensibiliser les terriens à l'exploration du Système Solaire. Des contacts avec les médias furent établis et le projet souleva l'enthousiasme, de nombreuses chroniques furent consacrées, ... Puis plusieurs grandes idées virent le jour : en 1990, le centre de navigation itinérant ; en 1994, le pacquage commun de documentation pour tous les enfants du monde ; en 1995, toute la propulsion photonique sur Internet ; en 1996, la course virtuelle sur Internet.

À l'approche de la Luna Cup, des supports médiatiques seront créés pour maintenir l'intérêt et permettre de suivre la Luna Cup : articles de presse, émissions de radio et de télévision, création de jeux, de slogans, d'objets associés, simulateur de pilotage, ...

La grande idée de fin 1990, faire circuler le centre de contrôle du voilier européen dans une cinquantaine de métropole de France et d'Europe. L'idée est d'en faire un événement régional en mobilisant les médias et les personnalités, de faire participer un maximum de lycéens à l'aventure et d'assurer le caractère populaire de la course.

Imaginez un semi-remorque rempli d'écrans et d'ordinateurs qui permettent de suivre les évolutions du voilier européen et d'envoyer les instructions à l'ordinateur de bord. C'est le poste de pilotage.

À côté un camion relais avec une antenne satellite permet de communiquer avec le centre de contrôle permanent de Toulouse d'où partent, par le relais du réseau CNES, les ordres vers le voilier.

À proximité, une exposition sous chapiteau présente aux côtés des applications futures des voiles solaires les grands projets spatiaux du XXI^e siècle.

La caravane reste une semaine sur chaque site. Deux grands tours sont prévus : le premier pendant la construction du voilier, pour suivre l'aventure de cette fabrication, répéter les simulations de navigation avec des équipes de «skipper» régionaux et, pendant le second la course en direct...

En 1994, lors d'un Forum Éducation sur l'Utilisation Pédagogique de la Luna Cup la décision de créer une documentation unique à destination des enfants du monde entier pour suivre la Luna Cup a été prise.

Imaginez des écoles de tous les continents se jumelant pour suivre et partager les émotions que la Luna Cup ne manquera de procurer.

L'U3P a joué un rôle essentiel dans l'évolution des projets de voiliers solaires, elle est à l'origine du règlement officiel de la «Luna Cup», elle joue un rôle moteur au sein du Solar Sail Working Group de l'IAF, elle participe régulièrement à des Congrès, Expositions,... qu'ils s'adressent aux «rêveurs» ou aux «techniciens».

Avec l'avènement du WEB en 1995, des portes nouvelles s'ouvrent pour la propulsion photonique. Les contacts ont été rapides, nombreux, fructueux. C'est ainsi qu'est née la course virtuelle.

La course virtuelle sur Internet

Il s'agit de définir une interface standard entre voiliers virtuels et stratégies de navigation.

Un voilier virtuel est une modélisation mathématique de l'architecture et du comportement d'un voilier solaire qui pourrait être réel. Le voilier sera caractérisé par un certain nombre de paramètres physiques fixes. Les données de sortie vers l'interface standard seront un certain nombre de paramètres dynamiques calculés en réponse à un certain nombre d'ordres de pilotage reçus en entrée depuis l'interface standard.

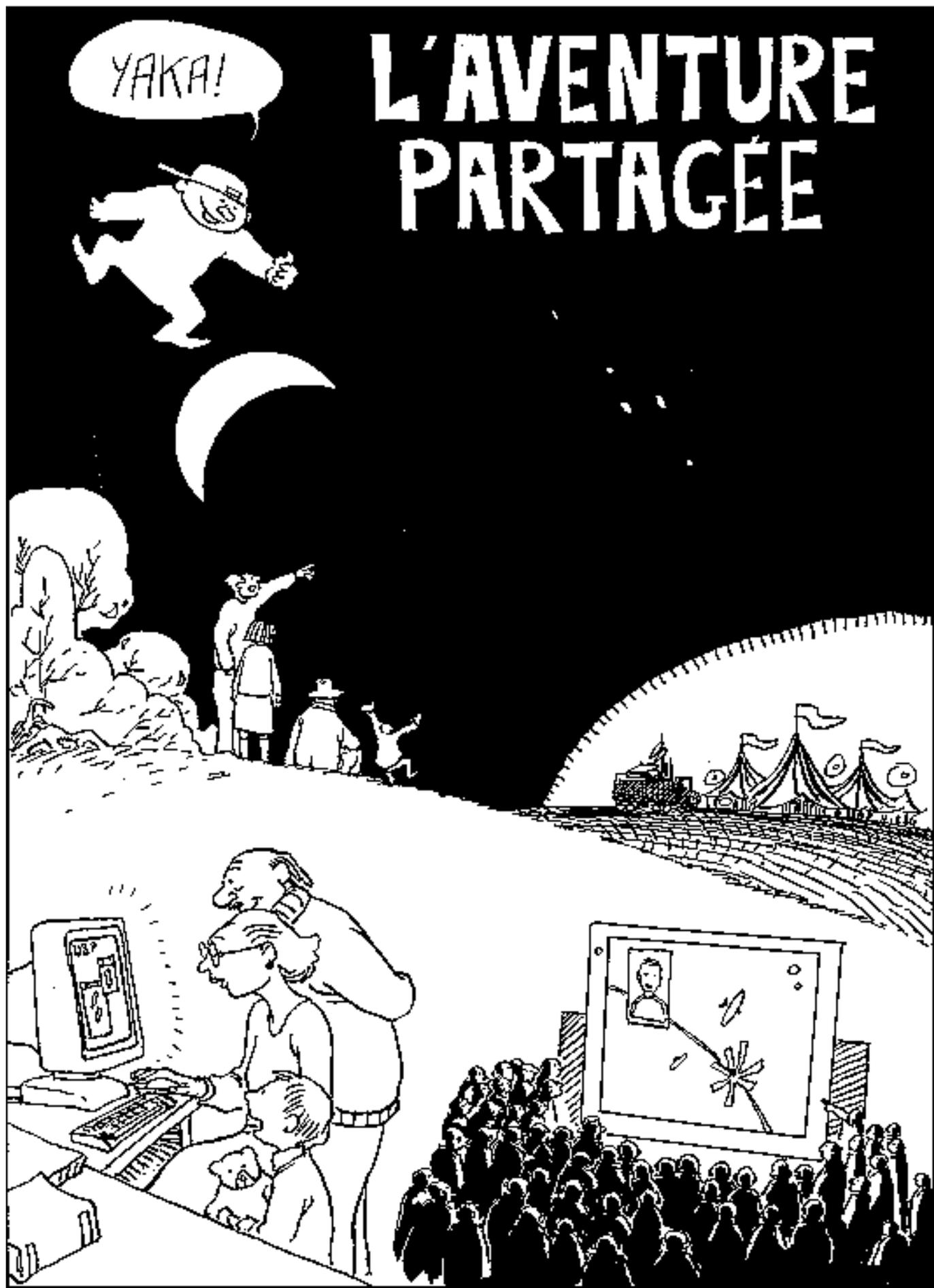
Une stratégie de navigation est un logiciel de trajectographie qui simule l'évolution dans l'espace Terre-Lune d'un voilier solaire caractérisé par certains paramètres physiques, qui donne en sortie vers l'interface standard un certain nombre d'ordres de pilotages et qui calcule une trajectoire en retour à partir des paramètres dynamiques reçus en entrée depuis l'interface standard.

Ce système permettra de faire courir n'importe quel voilier sur n'importe quel stratégie et donc de simuler des courses.

Le règlement et l'interface standard sont supervisés par un comité d'expert de l'IAF. Imaginons la suite, des écoles et universités mais aussi des participants individuels passionnés d'informatiques et d'espace se lançant des défis pour une «Luna Cup» virtuelle.

YAKA!

L'AVENTURE PARTAGÉE



IV L'AVENTURE

15 - la recherche

La Voile Solaire apporte un élément nouveau dans le domaine des missions lointaines au sein du Système Solaire et plus loin encore. La capacité d'emmagasiner de l'énergie cinétique par des passages à proximité du Soleil permet d'atteindre rapidement n'importe quelle destination de l'héliopause et même au delà.

Au sein du Système Solaire, la voile permet des missions qui seraient irréalisable par le moyen de la propulsion chimique. Plus de combustible. La notion même de durée d'autonomie disparaît ou, plus précisément, se réduit à la durée de vie des équipements.

Dans un tel contexte, la miniaturisation des équipements devient un élément primordial.

De même, pour ce qui est la structure des voiles, la recherche devra figurer au chapitre de l'hyper-résistant et de l'ultra-léger sans jamais perdre de vue le milieu très particulier dans lequel les matériaux seront utilisés : densité infinitésimale, micro-gravité, agression du milieu spatial.

Les systèmes conduisant à des modifications de l'orientation de la voile n'ont en pratique jamais été réalisés. Une modélisation s'impose. La mise en œuvre de tels moyens suppose une recherche théorique préalable.

Les sondes traditionnelles, avec des durées de missions très longues, limitent la recherche scientifique. La réalisation de certains projets de recherche passe par des vaisseaux à poussée faible mais continue. Les projets fleurissent : projets **Aurora**, **VigiWind**, l'exploration des astéroïdes, ... Tous ces projets rendent quasiment indispensable le développement de la propulsion photonique.

Le projet Aurora est un projet de mission pour étudier les structures de l'héliopause, limite supposée de l'héliosphère, où le vent solaire rencontre le milieu interstellaire. Ce projet est autofinancé par l'Italie, le Royaume Uni et la Suisse. Il a pour ambition de créer une voile solaire métallique de 0,1 km² soit 316 mètres de côté, comportant bôme, mât, vergue métallique, écoutes, haubans et drisses en plastique, fibre de carbone et fil d'acier. Cette voile serait construite en orbite et lancée au delà des planètes du Système Solaire pour atteindre une vitesse de 12 UA par an, soit 57 km/s. L'étude a commencée en 1992, elle devrait aboutir au début des années 2000.

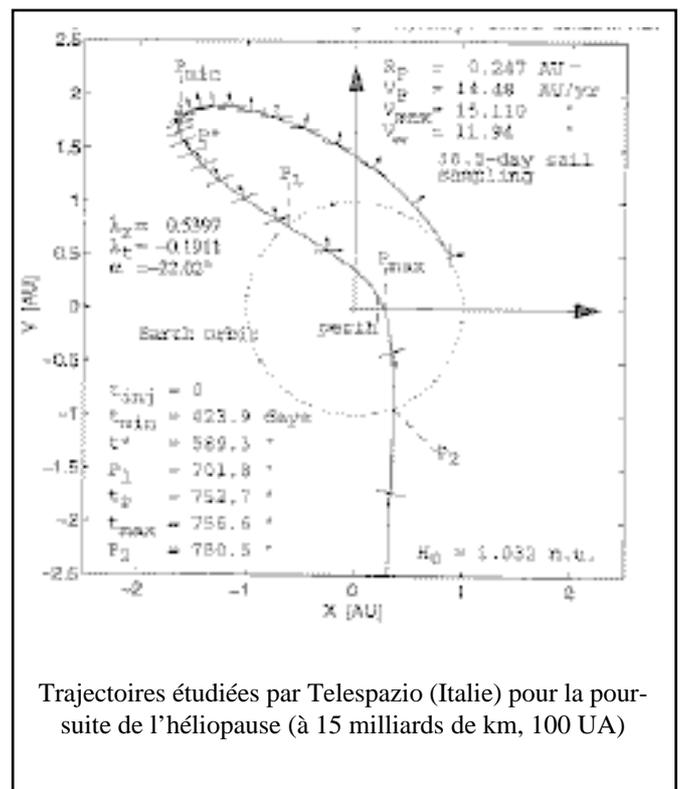
Le projet VigiWind consiste à envoyer une voile solaire vers un point situé sur la ligne Terre-Soleil, à une distance de 3 millions de km, en amont du point de Lagrange L1, pour y placer un satellite d'alerte pour les tempêtes de solaire et l'alerte avancée. La pression photonique est le seul moyen de maintenir un vaisseau spatial à ce poste pendant une longue durée. Ce satellite d'alerte offrira un supplément de temps précieux pour protéger les spatonautes, les satellites et les installations terrestres des bulles de particules énergétiques émises par le soleil lors de ces éruptions.

La réalisation du projet VigiWind permettrait à l'Europe de se doter d'un ensemble de compétences nouvelles, pour lui permettre d'envisager des missions futures encore plus ambitieuses.

Exploration à l'aide de Voiles Solaires

projet présenté par Philippe Martimort au concours «L'Espace à l'horizon 2025" Toulouse 1994

- Il y a plus d'un million d'objets de diamètre supérieur à 1 km dans la ceinture d'astéroïdes. Les voiliers solaires semblent être adaptés à des missions de prospection de ces astéroïdes.
- Le départ d'une sonde se fera d'une orbite basse à l'aide d'un navette spécialisée qui permettra de l'amener jusqu'au voilier et de les injecter sur une trajectoire de libération.
- Le voilier décrira une trajectoire en forme de spirale qui l'amènera au voisinage de l'astéroïde. À proximité, la sonde se libérera du voilier et celui-ci reviendra se placer sur une orbite terrestre d'attente.
- La sonde freinée par un propulseur chimique se posera en douceur sur l'astéroïde.
- Lorsque la mission de collecte sera terminée la sonde décollera à l'aide un propulseur chimique et s'arrimera à un autre voilier qui la ramènera vers la Terre.



Héliopause : limite de l'héliosphère, où le vent solaire crée une onde de choc à la rencontre du milieu interstellaire.

Héliosphère : région de l'espace où la densité d'énergie du vent solaire est supérieure à celle du milieu interstellaire.

Unité Astronomique -UA- : Unité de distance égale à la distance moyenne entre le Soleil et la Terre environ 150 millions de km.

LA RECHERCHE



IV L'AVENTURE

16 - renaissance

Après Spoutnik, Youri Gagarine, Neil Amstrong, Voyager, le départ du premier voilier solaire sera l'un des événements les plus marquants de la Conquête Spatiale. Piloté depuis la Terre, il naviguera poussé par la seule force de la lumière. Il permettra de retrouver le souffle novateur qui avait conduit vers l'aventure les grands découvreurs d'antan.

La montée en puissance des activités astronautiques vers l'exploration de la Lune et de Mars, vers l'élaboration de très grandes structures en orbite ou vers le développement de nouveaux moyens de propulsion en milieu interplanétaire suppose des sauts technologiques sans précédent. L'étude, la fabrication et le lancement d'une voile solaire par l'Europe représentent un pas important dans cette voie.

Les travaux sur un voilier solaire procurent aux centres de recherche et aux industries européennes un objectif concret, motivant et ouvert sur le développement de très nombreuses technologies du futur : navigation à faible poussée, dynamique des grandes structures, miniaturisation des équipements, programmes de gestion autonomes,...

Dans les perspectives d'actions significatives pour l'ouverture du 3^e millénaire, l'ESA, en partie soutenue par le CNES, joue un rôle moteur pour structurer cette démarche avec les industriels, les scientifiques et les autres organisations spatiales.

Aujourd'hui, les projets qui prévoient l'utilisation d'une voile solaire sont de plus en plus concrets ; désormais la voile solaire fait partie de la panoplie des propulseurs envisagés pour les projets spatiaux. Pour certains d'entre eux, il n'y a pas d'alternative à moyen terme. Les projets **VigiWind**, dans un premier temps, **AURORA** et la prospection des astéroïdes, plus tard, sont sortis du domaine de la science-fiction pour entrer dans la réalité raisonnable.

À un moment où la conjoncture économique est difficile, un des grands avantages d'un projet de voiler solaire est d'être porteur auprès du public sur lequel il aura un impact fort. L'intérêt scientifique et utilitaire des missions peut être compris par tous et l'imaginaire dont parle Arthur C. Clarke peut rendre passionnant ces projets pour les citoyens de l'Europe. Comme Ariane l'a fait dans le début des années 80, le voilier solaire peut être un atout majeur pour relancer l'intérêt dans l'exploration du Système Solaire.

Dans un environnement économique difficile où les partenaires se cherchent souvent, la voile solaire a une image de marque incomparable et peut être un excellent projet fédérateur.

Des projets scientifiques ambitieux utilisant des voiles solaires ont de grandes chances d'être un jour validés, le but de l'U3P sera alors atteint. Gageons qu'un jour viendra où, comme pour tout nouveau moyen de déplacement, les **en-jeux** seront devenus évidents. Des compétiteurs s'empareront de la voile solaire et se lanceront de grands défis vers la Lune et au delà. Ils trouveront chez les U3Piens de solides soutiens et de fervents supporters.

ADHÉSION U3P, CASSETTE ZNAMIA

L'U3P – Union pour la Promotion de la Propulsion Photonique – est une association loi 1901 créée en 1981. L'U3P a joué un rôle essentiel dans l'évolution des projets de voiliers solaires. L'U3P est à l'origine du règlement officiel de la «Luna Cup» reconnu par l'IAF – Fédération Astronautique Internationale – en 1992 et elle joue un rôle moteur au sein du SSWG – Solar Sail Working Group de l'IAF.

Une AG annuelle permet de faire le bilan des activités de l'U3P et des avancées «photoniques» mondiales.

Le bureau se réunit régulièrement pour faire le point sur les actions en cours – Congrès, Exposition, Science en Fête, ...–.

Le poste de Président est traditionnellement occupé par un ingénieur aérospatial mais les membres du bureau sont des passionnés qui viennent de tous les horizons.

Toute personne intéressée peut adhérer soit pour travailler au sein d'une commission soit pour être tenue informée des activités et des avancées par l'intermédiaire d'un bulletin de liaison.

Des documents vidéo sur Znamia-2 et des images de synthèses sur les voiles solaires et la Luna Cup sont disponibles à l'U3P.

Les activités étant très variées (réalisation de cette plaquette, recherche d'informations, participation aux congrès, expositions, conférences, ...) les «rêveurs» trouvent leur place autant que les «techniciens».

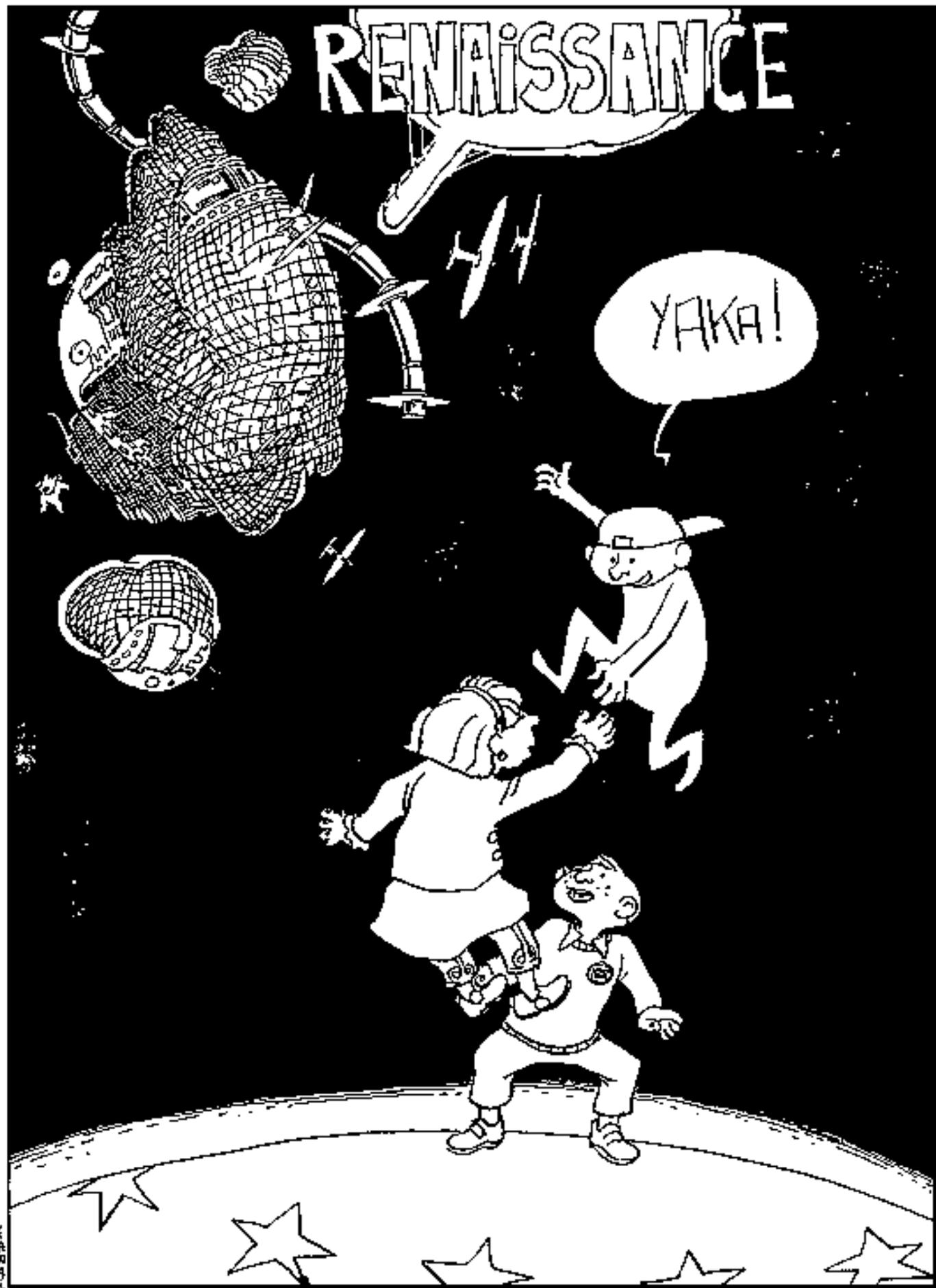
U3P

**53, rue Amélie Vincendeau
37530 Nazelles Negron**

<http://www.u3p.net>

RENAISSANCE

YAKA!



REPERES BIBLIOGRAPHIQUES

STARSAILING (Voilier de l'Espace)

Louis FRIEDMAN - Édition L'Étincelle - 1988

SPACE SAILING (Naviguer à la voile dans l'Espace)

Jerome WRIGHT - Gordon et Breach - 1992

Le vent venu du Soleil

Arthur C. CLARKE - Presse Pocket - 1983

La planète des singes

Pierre Boule - Presse Pocket - 1963

L'ESPACE

À QUOI ÇA SERT ?

COMMENT ÇA MARCHE ?

cnes - sep - Palais de la Découverte

Le système solaire

Palais de la Découverte

L'ESPACE milieu violent et hostile

BT espace - cnes - pemp - 1994

AÉROFRANCE

SPECIAL ESPACE - N° 76

Étapes et techniques de l'Astronautique

J-P OEHMICHEN - Les compacts - Bordas - 1993

Les sciences du Ciel

Flammarion

Dictionnaire de l'Espace

Larousse

La lumière

Bernard MAITTE - Points Sciences - 1981

Le grand atlas de l'Espace

Universalis

AUTEURS

Georges BALLINI

Éric DUTET

Alain PERRET

Guy PIGNOLET

Jean-Yves PRADO

avec la collaboration de :

*Cyril BAZIN, Myriam BELMIHOUB, Alexandre BESTOUGEFF, Olivier BOISARD, Bernard CHARLES,
Marie-Louise DUTET, Chantal MONTEILLET, Paul NICOLAS, Roland PAISANT, Carolyne WESLEY*

en remerciant particulièrement

Georges BALLINI

pour la recherche historique de la première partie

ainsi que

Vladimir SYROMIATNIKOV et Kirill SIMON

pour les documents ZNAMIA

et

Louis FRIEDMAN

dont le livre Starsailing reste la référence en matière de voile solaire

ILLUSTRATIONS

Jean-Michel MEYER (Li An)

avec la collaboration de :

Pierre-Louis MANGÉARD

du Cri du Margouillat

(La Réunion)

SCHÉMAS

Olivier BOISARD

Thomas DUTET

Starsailing

Louis FRIEDMAN

Phillipe WILLERS

RÉALISATION

U3P

53, rue Amélie Vincendeau

37530 Nazelles Négron

Juillet 1997

Cette plaquette accompagne l'exposition : " La voile solaire : Comment ça marche ? À quoi ça sert ? "