

Espace et environnement

Présentations :

- 1 – Jean-Louis FELLOUS : systèmes spatiaux et environnement terrestre
- 2 – Guy PIGNOLET : le système solaire – un nouvel environnement
- 3 – Jean-François CLERVOY : la biosphère est une enveloppe fragile

Exposé de Guy PIGNOLET (X-61)

Président de Science Sainte Rose

(ancien ingénieur CNES chargé d'études de perspectives, ancien président du Comité Education de la Fédération Internationale d'Astronautique, membre du bureau du Sunsat Energy Council, conseiller spatial régional C22SR)

Note : Cette conférence a également été présentée le vendredi 26 mars 2004, en anglais, dans le cadre du programme « BEST », pour 25 étudiants représentant des meilleures écoles d'ingénieurs de toute l'Europe.

1 – L'ouverture sur la totalité du système solaire

1.1. Spoutnik et Gagarine

Des engins et des hommes

Il y avait la Terre des Hommes, et le ciel des dieux, et puis Aristote, Ptolémée, Erathostène, et Descartes, Newton, Copernic, et encore Tsiolkovski, Von Braun et Korolev. Le 4 octobre 1957, Spoutnik-1 est lancé, et pour la première fois dans l'histoire de l'humanité, cet objet ne retombe pas au sol, enfin du moins pas tout de suite. L'ère spatiale commence. Jules Verne en avait rêvé, Cyrano de Bergerac en avait rêvé, les Chinois en rêvaient depuis quatre mille ans. Dans les jours qui suivirent, il n'y eut pas une seule plainte pour survol illégal d'un territoire ou d'un autre.



Le 12 avril 1961, Youri Gagarine revenait sur Terre après un premier vol cosmique de 90 minutes. Depuis, plus de quatre cents hommes et femmes ont quitté le sol de la planète Terre pour des durées allant de quelques jours à plus d'un an, 27 d'entre eux ont vu de leurs yeux la face cachée de la Lune, et 12 y ont marché ou roulé en voiture.



En moins de cinquante ans, plus de six mille engins sont sortis de la planète Terre, la plupart d'entre eux pour des petits tours à quelques centaines de kilomètres d'altitude seulement, mais près d'une centaine ont quitté l'environnement immédiat de la Terre pour aller jusqu'à l'héliopause, là où la vague d'étrave du vent solaire jaillit à 250 km/s dans le milieu interstellaire de l'un des bras de notre Galaxie.

Même si il y a eu et s'il y a encore des pannes, des accidents et des morts de temps en temps, la capacité d'accès des machines humaines et des hommes eux-mêmes à la totalité du système solaire est aujourd'hui un fait acquis.

1.2. Voyager dans l'Espace

Sortir des puits de gravité

Pour aller dans l'espace extra terrestre, la première chose à faire, c'est de sortir de la Terre. Ce n'est pas facile, car la Terre est une planète massive, entourée d'une atmosphère dense.

La gravitation est universelle et s'exerce en tout point de l'espace. Tout tombe, toujours, partout. Mais la Terre est ronde, et si un corps est lancé parallèlement à sa surface à la vitesse de 8 km/s, la courbure de sa trajectoire de chute est inférieure à celle de la surface de la planète. Le corps tombe, mais il ne touche plus le sol au cours de sa chute, qui pourrait durer indéfiniment s'il n'était pas freiné par l'atmosphère résiduelle.

Un lanceur décolle verticalement, à angle droit avec la direction dans laquelle il doit finalement se mettre sur orbite, parce qu'il doit d'abord sortir des couches les plus denses de l'atmosphère avant de pouvoir accélérer aux vitesses orbitales. Le premier étage d'une fusée ne sert pratiquement qu'à cette montée en altitude, et très peu pour la mise en orbite proprement dite.

Au départ de la Lune, la vitesse orbitale n'est que de 1,8 km/s, et l'absence d'atmosphère permet dès le départ d'utiliser au maximum une composante propulsive parallèle au sol. Le résultat c'est que pour aller de la Terre à la Lune il faut une fusée dont quelques pour cent à peine sont consacrés à la « charge utile », le reste n'étant que moteurs et ergols, tandis qu'au retour les réservoirs d'ergols sont si petits qu'il peuvent être placés sous le siège du pilote-cosmonaute.



la fusée Saturne 5



le module lunaire (partie haute)

La conclusion évidente de cette histoire, c'est que la conquête majeure du système solaire ne se fera pas à partir de la Planète Terre, ni d'ailleurs à partir de la Planète Mars, mais à partir de la Lune...

Une représentation parlante pour comprendre le fonctionnement des transports spatiaux est celle des « puits de gravité » où l'on peut imaginer une surface souple, élastique, qui se déforme et se creuse sous le poids de billes massives. Au centre il y a le Soleil, et tout autour, les planètes qui tournent en faisant leurs petits creux plus ou moins profonds. Et puis il y a les toutes petites billes que sont les engins spatiaux, qui se déplacent sur ce billard un peu particulier. Les profondeurs se mesurent en km/s, avec une paroi verticale correspondant à la vitesse orbitale autour du corps concerné.



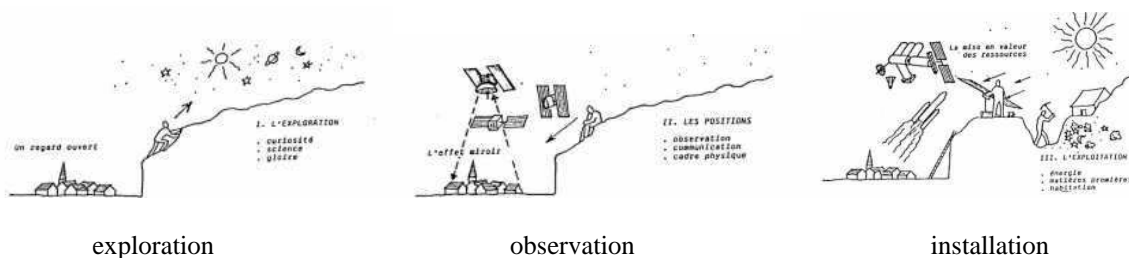
Il y a donc deux types fondamentaux de transports spatiaux : la sortie d'une planète, qui doit se faire, d'un seul coup, en puissance, et le voyage interplanétaire, où les accélérations peuvent être très progressives, sur des durées importantes. Les fusées à propulsion chimique, dont la puissance permet de s'arracher à la Terre se révèlent ainsi très peu efficaces pour le transport dans un milieu interplanétaire où les moteurs ioniques à poussée faible, mais de longue durée, seront plus appropriés, avec des vitesses d'éjection très supérieures à celles que permettent les réactions chimiques. Le rapport entre la masse de la charge utile et la masse totale étant une fonction exponentielle de la vitesse d'éjection, la différence entre propulsion chimique et propulsion ionique est simplement colossale.

1.3. Les trois étapes de la conquête

Explorer – observer – habiter

Après les phases successives de l'exploration du système solaire et de l'utilisation de nouveaux « points de vues » pour l'observation de notre propre planète, le sujet dont Jean-Louis Fellous vous a entretenus, nous entrons, avec bien entendu l'inertie propre aux grandes évolutions humaines, dans la troisième phase du processus des conquêtes de nouveaux territoires, celle de l'installation.

La vision « terrestre » aujourd'hui majoritaire, qui est celle que l'on peut avoir à partir du fond d'un puits, ne saurait rendre compte du potentiel qu'il nous appartient de développer, et que seul une vision « spatiale » nous permettra de réaliser. Avec le recul nécessaire, il apparaîtra que la capacité de sortir de sa planète natale est pour l'humanité un facteur d'évolution aussi important que l'invention de l'agriculture et de l'élevage il y a dix mille ans. Nous pouvons donc nous attendre à voir du changement dans l'organisation de la communauté humaine...



2 – La connaissance d'un nouvel environnement

2.1. Le vide spatial

Le silence des atomes

La première caractéristique de l'environnement spatial, c'est le vide, un vide beaucoup plus poussé que tout ce que nous pouvons obtenir dans nos laboratoires terrestres. Dans le vide interplanétaire, il n'y a plus que quelques milliers d'atomes par mètre cube, et ponctuellement, neuf planètes, une bonne cinquantaine de gros satellites et des millions de comètes, d'astéroïdes et de météorites. Et un peu partout, des poussières interplanétaires, la Terre en balaie environ cinq tonnes par jour le long de sa trajectoire, ce qui nous donne de belles étoiles filantes. Le vide interplanétaire affecte nos activités dans deux domaines majeurs : la thermique et la mécanique.

Dans le vide, il n'y a ni convection ni conduction, et les échanges de chaleur ne se font que par rayonnement, avec des arrangements subtils à négocier entre l'apport du flux de l'énergie solaire et la dissipation par des radiateurs tournés vers le fonds cosmique après des élévations de température qui doivent être contrôlés.

Dans le vide, il n'y a pas de résistance au mouvement, mais il n'y a pas non plus de points d'appui, et donc la propulsion doit se faire par réaction en éjectant une masse inerte qui fait nécessairement partie des bagages au départ du voyage. A moins bien sûr de déployer des grandes voiles-miroirs pour utiliser la pression photonique du rayonnement solaire.



Dans le vide interplanétaire, il n'y a pas non plus de protection contre les rayonnements ionisants de toutes origines, ce qui demande un certain nombre de précautions, tant pour les voyageurs que pour les équipements. Mais il y a déjà un demi milliard d'années, sur notre planète, notre ancêtre la moule a su sortir de l'océan en se protégeant dans sa coquille.

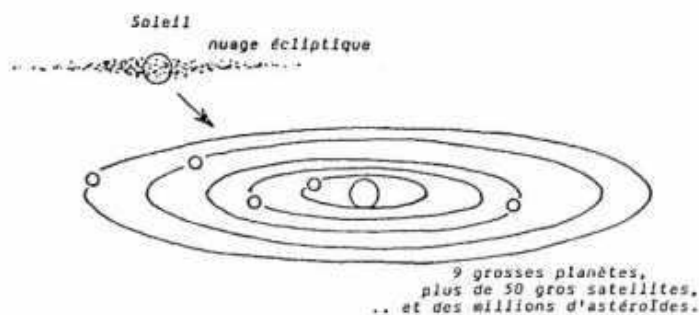
2.2. La formation du système solaire

Les poussières d'une étoile

Il y a un peu plus de cinq milliards d'années, longtemps, bien longtemps après la naissance de l'Univers, notre étoile s'est condensée, s'est allumée, et a rejeté dans son environnement des résidus de réactions nucléaires où l'on retrouve, en diverses proportions, à peu près tous les éléments de la table de Mendeleïev, pour former un disque de poussières.

Par la force de la gravitation, l'essentiel de ces poussières ont subi un phénomène d'accrétion, formant des comètes, des météorites, des astéroïdes et des planètes. Au-delà de dimensions de l'ordre de quelques dizaines de kilomètres, la chaleur dégagée par les processus radioactifs a conduit à une fusion des corps célestes ainsi formés, et à la forme quasi-sphérique qui caractérise les plus importants d'entre eux. Ce processus a été très intense pendant quelques centaines de millions d'années avant de se ralentir considérablement. Puis la vie est apparue dans les océans où elle s'est développée pendant plus de trois milliards d'années, avant de conquérir les terres il y a à peine un demi milliard d'années.

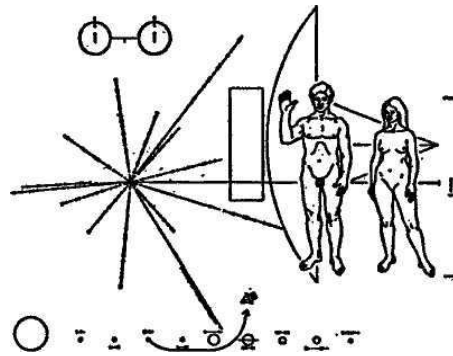
Aujourd'hui nous sommes là, conscients d'exister. Dans cinq milliards d'années, le Soleil explosera et c'en sera fini du système solaire. Si on représente cette histoire en la ramenant à la durée d'une journée, toute l'histoire de l'humanité se résume à quelques secondes autour de midi.



2.3. La question de la vie

L'émergence de la complexité

Avant de revenir aux pouièmes de secondes qui concernent « notre » avenir immédiat, à l'échelle d'une génération humaine, il est bon de se pencher un instant sur ce « nous », qui sommes nous, et sommes nous seuls... Les certitudes du passé s'évanouissent dans une démarche copernicienne de recentrage des concepts, et à l'image de l'homme sommet de la création, se substitue peu à peu celle d'une espèce vivante qui, dans ce coin de la Galaxie, serait la première à avoir atteint un nouveau sommet de l'évolution, une formulation sensiblement différente de la précédente.



Vous comprendrez que je n'aie pas encore parlé ni d'argent ni de finances, qui dans ce contexte apparaissent comme des modélisations scalaires un peu simples, trop simples pour rendre compte d'une réalité de plus en plus complexe. Nous avons certainement mieux à faire, à commencer par un inventaire des ressources effectives de notre nouvel environnement, maintenant étendu aux dimensions de tout un système stellaire.

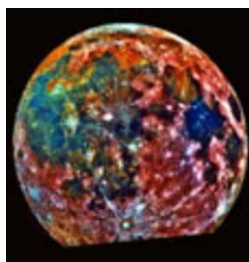
3 – Les ressources de la Lune et des astéroïdes

3.1. La Lune, à moins de 400 000 kilomètres

Carburer à l'oxygène lunaire

La Lune était à quelques jours de voyage de la Terre au temps des missions Apollo. Elle sera à quelques heures seulement avec les propulseurs ioniques, dans une économie spatiale basée non plus au départ de la Terre, au fond du puits de gravité, mais en orbite ou sur la Lune elle-même, l'absence d'atmosphère lunaire étant un élément facilitant pour les transports au départ de notre voisine.

Que peut nous offrir la Lune : essentiellement son sol, composé principalement de basaltes c'est-à-dire de silicium, et d'aluminium, avec des proportions de titane importantes... et surtout une grande quantité d'oxygène, pour près de la moitié de la masse.



On pourrait être tenté, et on le fera sûrement, d'extraire les métaux de construction que sont l'aluminium et le titane, mais il faut sans doute reconsidérer quels sont les besoins que l'on veut satisfaire avec ces produits. Dans bien des cas, tenu compte de l'environnement lunaire, différent de celui de la Terre, et de l'évolution des technologies, c'est peut-être vers la production de verres ou de céramiques qu'il faudra s'orienter ? Quant au silicium, il peut être à la base d'une production massive de panneaux solaires. Une production lunaire préférée à une production terrestre prend tout son sens eu égard à la facilité qu'il y a de sortir de la Lune, et cela tout particulièrement pour la construction des centrales solaires spatiales dont il sera question un peu plus loin.

Sur Terre, la tradition chimique veut que l'on extraie l'oxygène à partir de l'atmosphère. Mais sur la Lune, il n'y a pas de difficulté à l'extraire des roches et plusieurs prototypes d'usines d'extraction ont déjà été construits, en particulier par des chercheurs américains. L'avantage premier de l'oxygène est d'être un fluide, facilement stockable et transportable sous forme liquide, et il pourrait devenir le « carburant » de base pour les propulseurs ioniques des futurs vaisseaux de transport interplanétaires.

3.2. Rendez-vous avec les astéroïdes

L'or, le nickel et le platine du 21^{ème} siècle

En dehors de la Lune, les astéroïdes et les noyaux cométaires sont la deuxième source de matières premières dans le système solaire. Même si la masse totale des astéroïdes tournant dans le système n'est que de l'ordre d'environ un vingtième de celle de la Terre, on estime à près d'un million le nombre d'astéroïdes qui ont un diamètre supérieur au kilomètre. L'avantage principal des astéroïdes est la quasi-absence de puits de gravité, qui permet de les aborder au moyen de manœuvres de rendez-vous qui ne diffèrent pas de ceux que l'on peut faire entre des engins spatiaux. L'aspect négatif, c'est la distance, avec des orbites héliocentriques qui nécessitent des temps de transit allant de plusieurs mois à quelques années.

Les astéroïdes métalliques offrent en particulier toute la gamme des métaux lourds qui sur Terre sont essentiellement rassemblés au cœur d'un noyau inaccessible. Les exploitations terrestres de nickel ou de platine correspondent à des impacts d'astéroïdes sur la croûte terrestre. A partir du moment où l'on disposera d'une infrastructure de transport interplanétaire adéquate, il sera plus intéressant d'extraire les métaux précieux directement sur les astéroïdes plutôt que d'aller déterrer des minerais en Nouvelle Calédonie ou dans la région de Sudbury au Canada. Quant aux noyaux cométaires, ils seront la grande source d'eau, et donc d'hydrogène, nécessaire à un certain nombre de processus pour l'extension des activités humaines dans la totalité du système solaire.



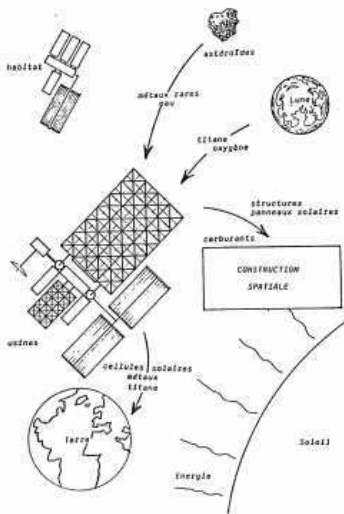
l'astéroïde Gaspra

3.3. Le concept de la « Grande Terre »

Mettre les industries dans la banlieue

Comme on peut parler d'un « Grand Paris », débordant de l'île de la Cité pour inclure toutes les banlieues, on peut imaginer un concept d'une « Grande Terre », qui inclut la Lune, les orbites opérationnelles, et tout un volume de dimensions de l'ordre du million de kilomètres, aujourd'hui accessible en quelques dizaines d'heures à partir de n'importe quel point de ce système.

Cette accessibilité, principalement à partir de bases lunaires ou de cités orbitales, à la fois par des hommes et des robots, permet d'envisager le déploiement en orbite d'industries « lourdes » supportées par des ressources minières exo terrestres, principalement lunaires, et une énergie solaire, un gigawatt et demi par kilomètre carré de collecteurs, disponible dans l'excellentes conditions.



4 – L'énergie du Soleil est l'élément central

4.1. Le vaisseau spatial « Planète Terre »

Les lumières de la vie



Sur cette extraordinaire image composite, on voit la surface de notre planète, brillant dans la nuit de toutes ses lumières. Les images ont été prises depuis les stations spatiales MIR et ISS, et depuis des satellites d'observation. Révélatrice d'une activité intense, liée peut-être à un certain gaspillage, cette image très « parlante » est significative de notre dépendance des ressources énergétiques, et plus encore, de la transformation, de la mutation de l'évolution de la vie sur notre planète en l'espace d'une petite centaine de révolutions autour de l'étoile centrale.

4.2. Les Centrales Solaires Spatiales

Une énergie propre et durable

Lors des tempêtes ou des éruptions volcaniques, des énergies considérables sont déployées, sans commune mesure avec les énergies que nous contrôlons. La question de l'énergie est en fait celle d'une énergie bien maîtrisée, tant du point de vue de la génération que de celui de la distribution, où les hydrocarbures et l'électricité jouent des rôles primordiaux. Mais d'autres fluides, comme l'hydrogène, sont appelés à jouer également un rôle capital. Nous savons que les ressources fossiles terrestres sont limitées et que leur disponibilité ne dépassera pas un nombre très limité de générations. D'où l'intérêt pour l'énergie solaire sous toutes ses formes.

Sur Terre, l'utilisation directe de l'énergie solaire est limitée par le cycle des jours et des nuits, ainsi que par la couverture nuageuse, et la nécessité de suivre mécaniquement le mouvement apparent du Soleil. Dans l'espace, ces limitations disparaissent et le flux d'énergie solaire, environ 1,4 kW par m², est disponible pratiquement en continu. D'où l'idée, popularisée en 1968 par le Dr Peter Glaser, d'installer des centrales électriques en orbite, et de transporter l'énergie collectée vers les mégapoles terrestres au moyen de faisceaux micro-ondes.



Ces systèmes, d'une puissance unitaire de plusieurs gigawatts, auraient beaucoup de caractéristiques attrayantes, comme une densité de puissance répartie compatible avec la sécurité des êtres vivants et des installations, une double utilisation des sols à la fois pour la collecte de l'énergie et l'agriculture, la capacité d'une production massive d'hydrogène en complément de la charge variable des besoins instantanés en électricité. La construction de centrales solaires orbitales est une affaire de méga ingénierie, faisant vraisemblablement intervenir l'exploitation de ressources lunaires, mais à ce jour, toutes les technologies essentielles sont maîtrisées. Au Japon, le METI envisage une alimentation des quatre plus grandes mégapoles du pays par des Centrales Spatiales Solaires à partir de 2040.



Dans le monde, environ 200 chercheurs travaillent sur des études pour les Centrales Solaires Spatiales, principalement au Japon et aux Etats-Unis, mais aussi en Europe, à l'Agence Spatiale Européenne et, dans le sud de la France, à l'Université de La Réunion.

Plusieurs démonstrateurs fonctionnels ont été construits. Ils sont actuellement disponibles pour des présentations aux institutions et aux administrations.

4.3. Les Terriens sont des Solariens

Changer de civilisation

Avec ce recadrage copernicien qui met l'étoile Soleil a centre du système s'achève ce bref aperçu de notre nouvel environnement vital, un jardin de découvertes s'étendant sur quelques milliards de kilomètres dont nous prenons progressivement conscience et qui nous offre tout un registre de nouvelles potentialités, de nouvelles ressources matérielles et énergétiques.

Je voudrais, avant de finir, modérer l'enthousiasme qui pourrait être le vôtre après ce petit tour au-delà des horizons. L'abus des langages complexes et de l'exercice d'une intelligence dont l'émergence a suivi un cours explosif depuis l'apparition de l'espèce humaine peuvent être nuisibles à la survie de cette espèce, et nous devons nous questionner sur les comportements qui seront les nôtres en réponse à l'ouverture spatiale. L'accès à l'éternité ne nous est pas garanti.



Depuis tout juste une quarantaine de révolutions, depuis la première photo globale prise par une fusée soviétique en route pour faire le tour de la Lune, nous savons que nous vivons à la surface d'une Planète Bleue, au regard de nos yeux. La troisième planète du système solaire n'est plus qu'un seul pays où nous sommes tout à la fois Français, Européens et Terriens. Il nous appartient aujourd'hui de réaliser intimement que nous sommes tout autant les citoyens d'un système stellaire, confinés dans la peau extérieure d'une étoile de moyenne grandeur. Nous sommes maintenant des Solariens.

Notre ouverture sur la totalité du système solaire est une éclosion qui s'accompagne d'un changement, d'une extension de la propre perception que nous pouvons avoir de nous-mêmes. L'environnement est une affaire de coévolution.

Et pour terminer, voici une image que nous devons au cosmonaute Jean-François Clervoy, une image de notre étoile, de notre Soleil, au travers de cette fine pellicule biosphérique qui est le berceau de notre humanité.





Le livre « Les Enfants de l'Espace – Guide pour la deuxième génération de la conquête du Système Solaire » est téléchargeable (350K) à l'adresse « http://www.grandbassin.net/documents/downloads/Conquete_Zenfants.pdf »