

L'homme dans l'espace : quel avenir ?

Jacques BLAMONT

Le titre de la conférence qui m'a été demandée m'embarrasse. Il me faut parler de "L'homme dans l'espace : quel avenir ?". Qu'est-ce que cela veut dire, l'homme dans l'espace ? S'agit-il de l'homme physiquement - d'un monsieur ou d'une dame - en orbite, ou s'agit-il du futur des affaires spatiales ? L'ignorant, je ferai une sorte de compromis.

Après avoir présenté rapidement le plan de mon exposé, j'essaierai d'aller comme je pourrai. D'abord, je voudrais définir ce qu'est l'espace, c'est-à-dire à quoi il sert, que croyons-nous qu'on va pouvoir en faire dans le présent, le proche futur et peut-être le futur lointain. Voilà donc ma première partie. Puis ma deuxième partie sera l'homme dans l'espace, aujourd'hui, c'est-à-dire le passé et le

présent. Et ma troisième partie : l'homme a-t-il une adéquation à l'espace, c'est-à-dire, puisqu'on a placé des hommes en orbite, peut-on les utiliser véritablement, cela sert-il à quelque chose, et peut-on faire autrement ? La quatrième partie sera le futur, c'est-à-dire l'occupation du système solaire et, enfin, ma cinquième partie : peut-on penser à quitter le système solaire pour aller vers les étoiles?

Présent et Avenir de l'Espace

Tout d'abord, qu'est-ce que c'est que l'espace ? Distinguons trois parties dans sa définition : le court terme, le long terme et le futur lointain. A court terme, que fait-on dans l'espace ? On s'y livre à trois catégories d'activités : en premier lieu, l'activité scientifique, par exemple l'astronomie, la géophysique, la médecine; en deuxième lieu, les applications, par exemple les télécommunications, la télévision, l'observation de la surface du sol, l'observation de l'atmosphère, la météorologie, les opérations militaires et enfin les opérations politiques. L'importance de ces affaires grandit aujourd'hui. En troisième lieu, on peut parler d'activités intermédiaires entre la science et l'application : elles sont liées à la faiblesse de la pesanteur en orbite et pourraient conduire à la fabrication en orbite de cristaux, de sérums, de vaccins. Nous ne savons pas encore s'il s'agit d'applications vraiment utiles parce que nous n'avons pas été capables jusqu'à présent de montrer qu'on pouvait ainsi obtenir des produits dans des conditions économiques acceptables.

Les affaires spatiales constituent déjà un marché considérable. Appuyons-nous, pour le montrer, sur quelques chiffres relatifs aux satellites lancés par le monde occidental, puisque les chiffres dont nous disposons sur l'activité soviétique ne sont pas très sûrs. Les Etats-Unis, l'Agence spatiale européenne et les pays européens comme la France, etc., ont lancé à peu près 55 charges utiles par an, de 1957 à 1972, et 35 par an, de 1972 à 1980. Dans ce compte, les satellites militaires représentaient 45 %, les satellites de recherche, scientifiques ou technologiques 35 % et les satellites d'application civile, 12 %. Mais la situation se modifie très rapidement. A l'heure

actuelle, le nombre des satellites d'application civile augmente au rythme de 10 % par an, et nous prévoyons (ou, plus exactement, on prévoyait avant la catastrophe de la Navette), pour la période 1985-1988, environ 26 lancements par an de satellites d'application civile. Ces chiffres démontrent l'importance des applications. En supposant que ce taux de 10 % se maintienne, on peut calculer quelques projections financières sur le marché des lanceurs. En 1984, il correspondait à 1,4 milliards de dollars par an. En l'an 2000, il représentera 6 milliards par an, en 2010, 15 milliards par an. Il s'agit bien d'une activité économique réelle. Nous sommes ainsi passés en quelques années d'une activité tout à fait scientifique, désintéressée, à des opérations économiques de grande ampleur.

A long terme, c'est-à-dire d'ici cinquante à cent ans, que peut-on prévoir ? Dans les affaires spatiales, nous savons ce qui va se passer dans les quinze prochaines années; pratiquement presque tout est gelé. Mais ensuite, l'horizon devient naturellement plus obscur. Les idées que l'on peut concevoir ne correspondront pas forcément à la réalité. Ainsi, le concept de centrale électrique en orbite a été longtemps considéré comme la méthode future de produire de l'électricité, du moins par la NASA, jusqu'au moment où l'Académie nationale des Sciences des Etats-Unis a montré que le projet n'était pas raisonnable puisque, avec les crédits qu'aurait exigé la fabrication d'une centrale électrique solaire en orbite géostationnaire, on aurait pu donner à tous les foyers américains un générateur solaire qui aurait rempli 65 % de leurs besoins. Donc visiblement il ne peut en être question aujourd'hui, mais dans cent ans (quand il n'y aura plus de pétrole, etc.) les termes de l'analyse auront changé. Deuxième exemple, l'industrialisation, c'est-à-dire la fabrication de produits en orbite, qui, comme je vous l'ai dit, jusqu'à présent reste dans le domaine du doute. Troisième exemple d'opérations à long terme, ce que j'appellerai l'espace pour l'espace, c'est-à-dire la fabrication en orbite de produits ou de services qui serviraient uniquement à d'autres affaires spatiales. Par exemple, je citerai, à la fin de cette conférence, une idée très futuriste de la manière d'aller jusqu'à une étoile dans laquelle un grand nombre de systèmes doit être fabriqué en orbite. Il est tout à fait possible de concevoir un certain nombre de systèmes de ce genre. Nous en verrons quelques-uns. Enfin, les deux opérations

qui me paraissent, à l'heure actuelle, les plus certaines sont la base lunaire et la colonisation de Mars.

"Long terme", c'est dire "horizons lointains" et "horizons lointains", c'est cent ans, deux cents ans. On peut penser qu'il ne sera pas impossible dans deux cents ans d'envisager des voyages interstellaires. Les lois de la physique ne les interdisent pas. Elles nous fournissent au moins deux manières que je décrirai d'aller jusqu'à une étoile proche. Aujourd'hui, nous ne saurions comment faire. Mais si nous extrapolons nos connaissances à cent ou deux cents ans, la perspective se transforme et les solutions apparaissent assez évidentes.

Après avoir rapidement exposé l'objet des affaires spatiales, passons maintenant à la grande question, celle qui agite tout le monde depuis leur origine, à savoir : doit-on opérer avec des hommes ou sans hommes ? Dès la fin des années cinquante, les spécialistes se sont affrontés sur ce sujet. Nous possédons des avis de l'Académie des Sciences des Etats-Unis s'opposant à l'envoi d'hommes sur la lune; le conseiller scientifique de John Kennedy lui a demandé de ne pas le faire. Les scientifiques ont toujours été opposés à l'homme dans l'espace, et ils se sont battus en perdant toutes leurs batailles. Je me souviens encore avoir entendu Georgi Babakine, qui avait, dans les années 1964 à 1970, le titre de Constructeur en chef des sondes lunaires et planétaires de l'Union Soviétique, m'expliquer qu'il ne fallait absolument pas envoyer des hommes dans l'espace. C'est d'ailleurs lui qui a conçu et construit le Lunakhod, le véhicule robot que l'Union Soviétique a déposé sur la lune. Nous avons vu publier en janvier dernier, dans le "Scientific American", un article tonitruant de James Van Allen qui explique à quel point le programme "homme dans l'espace" a été néfaste pour les Etats-Unis. Il l'accompagnait de la liste de ce qu'il appelle "le massacre des innocents", c'est-à-dire celle de tous les projets, il y en a à peu près douze, qui ont été annulés en 1979-1980 lorsque la Navette spatiale a présenté un déficit de plus d'un milliard de dollars. Parmi les victimes, il y avait deux gros projets qui touchaient la communauté européenne.

Nous sommes donc en présence d'une controverse et cette controverse n'est pas près de s'arrêter parce qu'en effet, la question

posée est très difficile. La voici : les gens qui sont contre l'homme dans l'espace n'ont pas de difficulté à montrer que l'homme est un très mauvais mécanicien, qui coûte très cher, qui a des besoins d'abord de sécurité et aussi des besoins pour vivre et survivre. En plus, dans l'espace, il fonctionne, contrairement à ce qu'on raconte, extrêmement mal. On peut imaginer de le remplacer par un certain nombre de systèmes sur lesquels je reviendrai. Ceux qui sont pour l'homme dans l'espace ne nient pas que l'homme soit un très mauvais système, mais ils estiment, à juste titre d'ailleurs, que le public ne s'intéresse vraiment au fond qu'à la vie. Quand il y a quelque chose qui vit dans la science, le public s'y intéresse. Quand il n'y a rien qui vit, le public ne s'y intéresse pas. On ne peut enthousiasmer personne pour un satellite d'astronomie, pourtant très important. On peut enthousiasmer des millions de spectateurs dès qu'il y a en orbite un monsieur ou une dame. Et même si les coûts sont très élevés, ce raisonnement garde sa vérité parce que c'est le public qui, par une cascade bien connue, agit sur les politiques.

Je vous ai préparé quelques chiffres sur les coûts. Le lancement d'un navette est calculé, à l'heure actuelle, en dollars de 1985, par le G.A.O. (General Accounting Office) aux environs de 400 millions de dollars le lancement. Avec cette somme, on peut lancer quatre satellites de télécommunication de la classe du PAM-D; le PAM est le dernier étage de la Navette. Une Ariane qui peut lancer un PAM-D coûte 30 millions de dollars; multipliant par 4, on obtient une centaine de millions de dollars pour l'équivalent du service précédent rendu par des tirs d'Ariane. Le programme officiel d'un lancement de la Navette tous les quinze jours correspond donc à d'énormes sommes qui sont cachées dans les budgets ! On n'ose l'avouer.

Non seulement le public s'intéresse à l'homme, mais aussi ce que l'on appelle le complexe militaro-industriel, qu'il s'agisse des Etats-Unis ou de l'Union Soviétique, se tient toujours derrière l'homme dans l'espace parce que ce complexe s'intéresse surtout aux avions : il y a là, en effet, des marchés gigantesques et forcément, les avionneurs, eux, ont des intérêts aussi bien intellectuels que des intérêts financiers dans le vol des hommes. Ce sont les très grands avionneurs américains qui sont les promoteurs principaux de l'homme

dans l'espace. Il s'est produit, lorsque les premiers hommes ont été lancés pour essentiellement chanter "Cocorico" - puisque jamais on n'a fait quoi que ce soit d'intéressant avec un homme dans l'espace du point de vue scientifique, ceci a été décrit et bien des fois par l'Académie des Sciences aux Etats-Unis - il s'est produit, dis-je, un phénomène psychologique très important que je ne songe pas à nier, et que je considère comme favorable à nos affaires : il y a eu identification de l'homme de la rue avec un certain nombre d'opérations volantes. Le XXe siècle, qu'est-ce que c'est pour la NASA ? Il commence par l'invention de l'aviation par les Américains. Du moins sont-ils totalement persuadés qu'ils ont inventé les avions en 1901. Puis le siècle continue par l'homme (américain) sur la lune et donc, après, par la Navette, et enfin par l'utilisation en grand de la Navette. C'est dire qu'on peut identifier l'Amérique, pays de pionniers, avec une activité de pionniers à la frontière. La notion de frontière est extrêmement importante aux Etats-Unis et utilisée par tout le complexe militaro-industriel pour identifier la nation avec l'homme dans l'espace, une frontière dont des gens très haut placés m'ont dit qu'elle était double : une frontière qui est frontière physique, l'extérieur de la terre, mais aussi une frontière intellectuelle parce que l'espace représente une sorte de dépassement pour l'homme. Le même phénomène s'est produit en Union Soviétique où le public se moque véritablement de l'astronautique et de l'homme dans l'espace, mais le gouvernement ne s'en moque pas du tout, et, pour le gouvernement, les affaires spatiales commencent par la présence d'individus dans l'espace, individus soviétiques (le premier homme dans l'espace a été un Soviétique; le premier à se livrer à ce qu'on appelle une activité extra-véhiculaire, c'est-à-dire sortir de la capsule, a été un Soviétique) et il espère bien aujourd'hui que le premier homme sur une planète sera soviétique. Motivations essentiellement politiques.

Nous sommes donc en présence d'un problème majeur qui est posé aux gouvernements des pays développés : faut-il posséder les moyens d'une activité économique qui se développe et qui prend une très grande ampleur ? Faut-il l'asseoir sur des hommes quitte à ce que les coûts augmentent immensément, mais quitte aussi à recevoir un soutien populaire ? Au contraire, faut-il le faire avec des systèmes automa-

tiques quitte à ce qu'il y ait moins de support politique et donc moins de support tout court ? Nous nous trouvons devant un problème majeur et je ne suis pas capable de dire qui a tort ou raison.

L'homme dans l'espace : hier et aujourd'hui

Cet homme orbital, essayons un peu de le discuter. Tout d'abord, une conférence précédente vous a exposé les résultats médicaux obtenus sur le comportement physiologique en orbite. Dépourvu de toute compétence en ce domaine, je tiens seulement à rappeler quelques idées. En premier lieu, nous sommes certains maintenant que l'homme peut exister dans l'espace. Deux hommes sont restés sans arrêt 239 jours dans l'espace, et on vous en a parlé. Dans les premiers temps, lorsque les spationautes revenus sur terre sortaient de leur capsule, il fallait les porter sur une civière; tandis que les champions de durée, trois jours après leurs 239 jours, montaient à bicyclette : s'il est vrai qu'ils étaient encore enfermés dans une combinaison antigravité, ils se livraient à une activité sportive normale. Trois systèmes physiologiques sont perturbés par l'apesanteur : tout d'abord le système neuro-vestibulaire, et on n'y peut rien à l'heure actuelle, mais ce n'est pas grave. Sans doute ces perturbations sont telles que tous les spationautes sont malades dans les premiers jours, mais, en général, ils s'en remettent. En ce qui concerne le système cardio-vasculaire et les fluides, le problème consiste en ce que tous ces fluides remontent dans le corps parce que la pesanteur ne les force plus à descendre, et le système s'engorge vers le haut. Une manière très intéressante de lutter contre cet effet consiste à rappeler à l'organisme de temps en temps qu'il existe quelque chose qui est l'état de pesanteur : tous les deux jours, on fait descendre les fluides du corps en plaçant les spationautes jusqu'à la ceinture dans une petite boîte où l'on fait un vide partiel. Les fluides sont alors attirés vers le bas pendant une demi-heure et le système cardio-vasculaire est remis à "l'heure". Troisième système, muscles et squelette. Il faut, là encore, rappeler à l'organisme qu'il existe quelque chose qui s'appelle l'état de pesanteur et, à cette fin, on fait faire de la gymnastique avec des appa-

reils qui forcent le squelette à subir un effort, et donc il ne s'affaisse pas.

Concluons que nous savons maintenir actifs des spationautes pendant six mois. Saurions-nous y parvenir plus longtemps ? C'est vraisemblable. Rien ne s'y oppose à première vue, sauf peut-être le rayonnement cosmique dont l'énergie n'est pas nulle et qui agit sur le corps. Pour une longue durée, la dose de rayonnement pourrait atteindre un niveau inacceptable en cas de tempête solaire. Le phénomène reste peu connu et, surtout, peu étudié parce qu'il pourrait se révéler gênant, et donc on le passe sous silence. Sans doute une durée deux fois plus longue que six mois ne devrait pas poser de difficulté.

Du bon usage et de l'utilité de l'homme dans l'espace

Il faut tout de même se demander ce qu'on fait de cet homme dans l'espace, quelles sont les fonctions qu'on peut lui confier ? Et je dois avouer que je suis exaspéré par la littérature fort abondante que répand le lobby des gens qui veulent pousser l'homme dans l'espace, où l'on dit : "l'homme est indispensable". C'est le point de départ. Indispensable : faisons la liste des fonctions qu'il pourrait remplir. D'abord pilotage, rendez-vous et accostage. Dans le cas bien connu du vol de Jean-Loup Chrétien, l'accostage s'est fait manuellement car une petite difficulté a empêché l'accostage automatique bien que, en principe, les Soviétiques fassent la plupart de leurs accostages automatiquement, sans homme. On peut dire qu'il y a là un rôle identifié. Le deuxième rôle est celui d'explorateur. Par exemple, l'explorateur d'Apollo sur la lune : il se promène, il fait des bonds, il ramasse des cailloux, etc. Troisième catégorie d'activité : la manipulation d'instruments scientifiques ou industriels. Quatrièmement : entretien du matériel de bord, réparation et maintenance. Cinquièmement : assemblage de grandes structures. Et voyez, j'en suis déjà à la sixième possibilité : pompiste. En effet, quand on aura accosté avec, par exemple, un vaisseau qui contient des liquides cryogéniques en général, il va falloir les transvaser d'un vaisseau dans un autre. L'opération n'est pas très facile, elle exige peut-être la

présence de quelqu'un qui joue le rôle intelligent du pompiste. Autre possibilité : la desserte de charges utiles autonomes. Nous en avons vu l'exemple récemment : la Navette a permis de s'approcher du satellite de recherche solaire SMS en panne, et un spationaute a changé un module, à la suite de quoi le satellite a fonctionné correctement. Autre exemple, sur le télescope astronomique qui devait être lancé par la Navette cette année, supposons qu'il y ait une boîte avec des plaques photos; il faudra aller chercher les plaques photos, ou changer un instrument contre un autre. Enfin, récupération de débris ou de satellites en panne. Ainsi, le satellite Palapa, qui avait été lancé par la Navette et dont le dernier étage ne s'était pas allumé, a été récupéré par un équipage qui est allé le chercher et qui l'a rapporté à terre. Dans ce cas, d'ailleurs, on peut se demander si cette opération, bien que spectaculaire, était extrêmement astucieuse. Le lancement de la Navette a coûté 400 millions de dollars pour récupérer un satellite de 100 millions de dollars. Je vous laisse le soin de faire la soustraction.

Nous venons d'identifier une série de fonctions que l'homme peut remplir dans l'espace. Personnellement, je suis absolument convaincu que toutes ces fonctions, sans aucune exception, peuvent être remplies par des systèmes automatiques. Prenons un exemple qui m'est cher : il y a deux mois, le satellite Voyager a pu, alors qu'il était derrière Uranus, à trois milliards de kilomètres de la terre, pointer une étoile avec une précision d'une minute d'arc et la suivre lorsqu'elle était occultée par les anneaux successifs de la planète: à 3 milliards de kilomètres de distance, un système automatique a permis d'obtenir une précision de pointé d'une minute d'arc. Quelques jours auparavant, le dernier vol réussi de la Navette portait un spationaute chargé de faire une photographie de la comète de Halley; ce n'est pas très difficile de pointer un appareil avec un grand champ d'au moins 10 degrés, et puis d'appuyer sur un bouton. Et pourtant cela n'a pas marché. L'homme n'a pas réussi à trouver la comète de Halley dans le ciel. Excellente comparaison, car le point important c'est qu'il n'y avait aucun microprocesseur à bord de Voyager, puisque la technologie de Voyager remonte à 1972. Si nous devions aujourd'hui refaire Voyager, nous utiliserions des composants bien plus performants. Depuis 1972, nous avons assisté à une explosion de tous les

systèmes logiques. Ce que nous faisons aujourd'hui n'a aucune commune mesure avec ce que nous faisons en 1972 aussi bien au laboratoire que dans les industries ou dans l'espace, en ce qui concerne les calculateurs de bord, c'est-à-dire l'ensemble des systèmes intelligents. Les satellites que nous fabriquons à l'heure actuelle, comme Spot, qui n'est pas non plus le dernier cri, mais qui dispose pourtant de sept cent cinquante mille ordres de télécommandes possibles, sont des systèmes d'une énorme complexité, que nous pouvons sans doute construire assez intelligents pour leur faire remplir l'ensemble de toutes les fonctions dont j'ai fait la liste. Le produit resterait coûteux parce que le développement d'équipements raffinés exige beaucoup de moyens. Mais les frais de fonctionnement seraient très inférieurs : souvenez-vous du chiffre de 400 millions de dollars pour le lancement d'une navette...

Ce problème va grandir. En effet, l'amélioration des systèmes logiques est, à l'heure actuelle, exponentielle, et, dans vingt ans, nous disposerons de systèmes beaucoup plus intelligents que ceux que nous avons maintenant : je vois arriver rapidement un moment où nous serons capables de faire des systèmes qui seront aussi intelligents que l'homme. On n'a pas besoin qu'ils soient intelligents; on a besoin qu'ils remplissent des fonctions. Le dernier rempart des partisans de la présence de l'homme dans l'espace est la notion de réaction devant une situation inattendue. Or la réaction des spationautes en orbite se révèle lente, difficile, inefficace et dépendant entièrement d'un soutien au sol. Il sera facile de disposer à bord de nombreux capteurs et de renvoyer les décisions aux contrôleurs sur la terre ferme.

Après avoir brièvement discuté de ce qu'on peut faire faire à l'homme, parlons de l'avenir. Je vais vous brosser un tableau des événements actuels, et vous jugerez les décisions qui ont été prises et qui vont être prises; vous imaginerez le futur en fonction des quelques idées que je vous ai présentées. Nous savons que cette tendance à placer des hommes dans l'espace est en augmentation. En dépit de ce que je vous ai indiqué, nous passons peut-être, dans les années précédentes, par le maximum de possibilités pour l'homme : en effet,

les logiciels et les calculateurs augmentent de capacité très rapidement, alors que l'homme, lui, est limité; pour l'instant nous n'avons pas encore la possibilité de faire la même chose qu'un homme; en conséquence donc, dans les dix prochaines années, on peut concevoir que l'homme sera encore utile, mais après il devra disparaître. Et c'est peut-être la raison pour laquelle les deux grandes agences mondiales, celle de l'Union Soviétique et celle des Etats-Unis, ont adopté des programmes où l'homme joue un rôle important, appelés grandes stations. La station américaine est prévue pour "1992", mais vraisemblablement son lancement sera reculé de quatre ou cinq ans, si tout se passe bien; elle doit être, en principe, constituée d'une série de modules, chacun étant lancé par la Navette. On mettra ces modules les uns à côté des autres et des hommes les assembleront avec des écrous et des boulons. On parle beaucoup de cette grande station à l'Ouest : il y aura à peu près une dizaine d'hommes à bord (dix ou douze) qui feront les très belles choses que je viens d'indiquer : ils auront des télescopes, et ils mettront l'oeil à leur télescope. Mais nos amis soviétiques, eux, en sont déjà loin. En fait, ils disposent déjà d'une grande station. Ils ont lancé, il y a un mois de cela, la station MIR, un module de vingt tonnes qui est un appartement. Cet appartement possède six attaches et on peut y attacher six stations Soyouz qui pèsent chacune une vingtaine de tonnes. Donc les Soviétiques disposent d'une grande station qui va peser, quand elle sera assemblée, pas loin de 150 à 160 tonnes et qui permettra à une quinzaine de gens de vivre.

En 1978-1979, lors des négociations spatiales entre les Soviétiques et les Américains que le drame de l'Afghanistan a interrompues, les Soviétiques ont exposé aux Américains que dans leur station habitée Saliout, les spationautes (ils étaient deux à l'époque) ne travaillaient que pendant 11 % du temps (c'est-à-dire que pendant 89 % du temps ils ne savaient pas quoi faire), et ils ont demandé aux Américains de leur fournir des instruments. Maintenant, nous ne sommes plus en présence de vingt tonnes et de deux hommes, nous sommes en présence de 160 tonnes avec quinze à vingt hommes : que vont-ils faire, sinon de la musculation ? Quelles que soient les justifications, quel que soit l'intérêt réel de ces opérations, on nous racontera toujours qu'elles présentent de l'intérêt; nous allons voir beaucoup de gens dans l'espace dans les quinze prochaines années. Il y aura la station

américaine et il y aura la station soviétique. Et les Européens ? Jusqu'à présent, ils ont montré un grand bon sens. En effet, je vous ai indiqué que la justification principale de l'homme dans l'espace ressortissait du besoin de "Cocorico"; c'est une motivation nationaliste. Or, il n'y a pas de nation européenne et les Européens ont évité de se lancer dans cette affaire aussi coûteuse qu'inutile. Lors de la création de l'Agence spatiale européenne, en 1973, nous avons dû financer le programme Spacelab qui nous a coûté un milliard de dollars de l'époque, mais nous avons fait attention que ce soit tout de même un petit morceau de la construction américaine. Nos investissements n'étaient pas trop lourds. Mais, une fois que Spacelab a été construit, on s'est aperçu que son fonctionnement coûtait tellement cher qu'on ne pouvait pas l'utiliser très souvent, et qu'en particulier les programmes scientifiques, aussi bien que les programmes de développement, avaient beaucoup de mal à trouver l'argent pour le faire voler : aux gouvernements, pour des raisons particulières, de forcer leur emploi, avec des résultats, hélas ! disproportionnés aux dépenses.

L'occupation du système solaire

Répetons donc que, quelle que soit la justification, il y aura beaucoup de gens dans l'espace dans les quinze prochaines années. Mais ce système baroque, je ne suis pas tout à fait sûr qu'on pourra le maintenir très longtemps. Il va falloir trouver quelque chose d'autre. Il y a deux grandes opérations qui sont, à l'heure actuelle, en projet et qui n'ont pas encore dépassé le niveau du verbe, d'une part les bases lunaires, et d'autre part la colonisation de Mars. Je me contenterai de vous parler de Mars. Dans les derniers mois, il est apparu clairement que l'Union Soviétique allait s'orienter vers l'organisation d'un très grand programme qui amènera le débarquement d'hommes sur Mars dans les premières années du XXI^e siècle. Nous en sommes à peu près certains, et on a prononcé des dates. Cela signifie une option nationale importante, mais pas tant qu'on le croit. En effet, la plupart des investissements sont déjà faits, les lanceurs et la plupart des vaisseaux existent en Union Soviétique pour cette mission. Et pour aboutir, il ne faut que prendre son temps. Si vous vous souve-

nez que l'opération Apollo a coûté à peu près 27 milliards de dollars en 1960, c'est-à-dire 80 milliards d'aujourd'hui, il est vraisemblable que le dépôt, pendant quelques jours, d'un équipage sur Mars coûterait aux environs de 100 milliards de dollars d'aujourd'hui. Donc c'est une mission qui est faisable. Vous demanderez : "Mais pourquoi un homme sur Mars ? Où en sera-t-on, en 2010, du point de vue des systèmes robotiques ?" A mon avis, on ne sera pas assez avancé pour empêcher le "Cocorico" du complexe militaro-industriel. Je pense qu'il y aura un homme sur Mars en 2010 ou 2020. Cette vue de l'avenir est confortée par les conclusions qui viennent d'être publiées la semaine dernière, et qui vont être rendues officielles le 11 avril, par la commission présidée par Tom Paine que le président Reagan a chargé de lui dire ce que les Etats-Unis devaient faire au XXIe siècle dans l'espace. Cette commission a répondu : "On colonise le système solaire, on établit une base sur la lune, et on envoie des hommes sur Mars". A partir du moment où les deux grandes puissances ont une position voisine, un effort coordonné, peut-être commun, pourrait s'envisager. Nous sommes un certain nombre à espérer qu'il y aura des missions communes américano-soviétiques sur Mars en 2010; c'est certainement l'avis du gouvernement soviétique à l'heure actuelle.

Je dois avouer que c'est une des rares missions "Homme dans l'espace" à laquelle je crois que les scientifiques doivent apporter leur concours. En effet, si les scientifiques n'ont pas aimé Apollo, ils ont eu tort parce que la conquête de la lune représente, quoi qu'on dise, un exploit qu'il fallait absolument accomplir. Et Kennedy, à ce moment-là, a eu raison contre tous les scientifiques; et Mars se présente de la même manière. La question touche à des motivations très profondes. Personnellement, je crois que Mars représente un grand intérêt pour l'humanité parce que c'est la seule planète du système solaire où on trouve des matériaux utilisables. Beaucoup de gens se fatiguent pour montrer qu'une base lunaire pourrait servir à des mines, qu'on y trouverait des matériaux. Rien n'est moins certain. Peut-être les verrons-nous, mais l'on peut douter que ce soit très rentable. Mars n'est pas du tout pareil parce que, sur Mars, nous sommes absolument sûrs qu'il y a une atmosphère de CO₂, donc du carbone et de l'oxygène très facilement accessibles, et nous sommes aussi absolument sûrs

qu'il y existe un permafrost au moins jusqu'à un kilomètre de profondeur, c'est-à-dire que toute la croûte de la planète est imprégnée de glace. Donc on peut trouver H_2O et CO_2 et fabriquer toutes les matières organiques que l'on veut, puisque le soleil fournit une énergie quasi illimitée. La notion même d'utilisation de la planète est certainement à retenir, et, si vous me permettez d'avoir des idées extrêmes, je crois qu'il est possible que dans le prochain siècle (et j'espère que mon confrère, M. Dausset, me pardonnera de sortir de mon domaine), notre activité économique ne repose pas sur les matériaux dont nous disposons aujourd'hui. Je me souviens encore, lorsque j'étais à l'Ecole normale en 1950, de l'étonnement que nous avons ressenti lorsqu'à un séminaire, un conférencier nous a dit : "Les Américains ont remplacé les pentodes par des cristaux". Nous avons tous été surpris, et, pourtant, nous étions tous des physiciens. Depuis, vous savez bien que le silicium a envahi notre vie, et, aujourd'hui, l'ensemble de tous les systèmes électroniques fonctionnent avec des cristaux de silicium. Donc, en trente ans, nous avons vu une modification extrêmement profonde des matériaux sur lesquels repose notre civilisation. Si j'extrapole encore sur une cinquantaine d'années, et c'est ce que vous m'avez demandé de faire, je crois que les matériaux que nous utiliserons seront des matériaux d'origine vivante, c'est-à-dire que notre industrie reposera sur une utilisation massive de bactéries, de champignons, de virus, et que c'est avec ces éléments que l'on fabriquera un grand nombre, un très grand nombre, des équipements que nous utiliserons. Par exemple, nous savons que si nous voulons faire des calculateurs de grande vitesse, des grands calculateurs beaucoup plus puissants que ceux dont nous disposons déjà, nous serons rapidement limités par le fait que, pour que la vitesse de calcul soit plus rapide, il faut que les électrons se déplacent le moins loin possible. Au lieu de se promener dans le réseau, ils devront rester à l'intérieur d'une grande molécule. Les calculateurs seront faits avec des protéines. Je crois que c'est une des voies de recherches d'IBM à l'heure actuelle : l'idée n'est pas tellement futuriste. Suivant cet exemple, notre activité économique va reposer sur une utilisation massive de l'ingénierie génétique qui va devenir très puissante. Or, tout ce qui est puissant est dangereux. Ainsi, l'atome est puissant. Comme la langue d'Esope, c'est la meilleure et la pire des choses. Avec l'atome, on fait des bombes, on fait des centrales thermiques. Quand on manipulera

des bactéries, des gènes, un danger naîtra, je ne sais pas lequel. On en viendra à penser qu'il ne faudrait pas aller trop loin dans cette direction sur notre Terre. C'est sur Mars que l'on fera les grandes mises au point dangereuses, où on fera vraiment de la recherche de pointe. Et c'est la raison pour laquelle je crois que Mars est un objectif, et que cet objectif peu à peu va grandir. Je ne suis pas du tout surpris de voir la commission Paine, aussi bien que M. Gorbatchev, s'enthousiasmer pour le projet de l'homme sur Mars, parce qu'à mon sens, là réside l'avenir de l'homme dans l'espace et, peut-être même, l'avenir de notre civilisation pour les raisons que j'ai très brièvement indiquées. Vous demanderez : "Mais est-ce que vous utiliserez des hommes ou des robots ?" Il est clair que l'exploration de Mars exigera peut-être plus que des robots. Il y aura certainement des véhicules automatiques. Nous y travaillons, nous espérons bien en avoir très bientôt et avant la fin de ce siècle. Mais puisqu'il s'agit d'une grande entreprise de l'humanité, il faudra brandir un drapeau, et ce drapeau, comme pour Apollo, ce seront des hommes et des femmes qui le poseront.

Et au-delà du système solaire ?

Voilà ce que je voulais indiquer sur le futur relativement proche, le XXI^e siècle, et je voudrais terminer en creusant un peu le thème : Est-ce que l'homme peut sortir de la Terre ? Je vous ai dit : "Mars". Pourquoi Mars ? Parce que Mars est la seule planète habitable. Nous savons que Vénus ne l'est pas, ni Jupiter et ses environs. Donc il ne reste que Mars. Mais voulons-nous aller plus loin et sortir du système solaire ? Il n'est pas absurde de penser que l'on peut fabriquer des systèmes qui permettent d'aller d'étoile en étoile. Voyager a mis huit ans pour faire 5 milliards de kilomètres; il faut comparer ces chiffres à la distance de l'étoile la plus proche, environ 10 années de lumière. Une année de lumière, c'est 10^{13} kilomètres. Donc nous avons 10^{14} divisé par $5 \cdot 10^9$: il y a un facteur 20 000 à trouver dans la vitesse. On ne peut donc pas opérer de la même manière que nous l'avons fait jusqu'à présent.

Pour atteindre une étoile, il faut se déplacer à une vitesse comparable à celle de la lumière, d'environ un tiers ou un quart de cette dernière. Des concepts permettent d'imaginer sur le papier que l'on pourrait faire un voyage de ce genre en environ cent ans. Supposons un laser en orbite dans l'espace interplanétaire (déjà, vous rencontrez un problème difficile : l'ouverture du laser doit mesurer déjà un certain nombre de kilomètres pour que le pinceau de diffraction soit très étroit; nous ne savons pas le construire); par devant, on met une lentille de Fresnel constituée de morceaux de plastique d'environ 1 000 kilomètres de diamètre; le faisceau atteint un miroir qui est un morceau de plastique réfléchissant, et dont le diamètre mesure lui aussi plusieurs centaines de kilomètres; le satellite à accélérer lui est attaché; la pression de radiation du laser pousse le miroir et lui donne une accélération qui lui permet d'atteindre environ 0,2 ou 0,3 fois la vitesse de la lumière assez rapidement. Un tel système avec une puissance de l'ordre de 7 térawatts, à comparer avec la puissance électrique totale utilisée par l'humanité qui est de l'ordre de 1 térawatt, fournit une pression de radiation suffisante pour qu'on arrive à l'étoile la plus proche en environ 40 ans.

Un tel accélérateur ne sera pas utilisé, mais il est très intéressant de constater qu'il est compatible avec les lois de la physique. Un autre système aussi futuriste que celui-là consiste à utiliser l'antimatière. Nous savons fabriquer l'antimatière, à l'heure actuelle, avec des antiprotons, et on peut calculer qu'une vingtaine de milligrammes d'antiprotons nous permettent une mission de ce type. La difficulté consiste à les stocker et le stockage des antiprotons n'est pas quelque chose que nous sachions faire du tout, surtout pendant cent ans.

Il y a quelques années, nous ne voyions pas de système compatible avec les lois de la physique qui nous permet d'atteindre une vitesse assez proche de la vitesse de la lumière, mais aujourd'hui, nous pouvons en concevoir. On n'en veut pas plus; il y a cent ans, on en était à peu près au même point pour simplement se placer en orbite terrestre. On savait bien que les principes de la physique

permettraient avec des fusées multi-étages de quitter la terre. Mais on était incapable de construire les équipements nécessaires qui auraient paru monstrueux, même cinquante ans plus tard. J'ai peut-être tort de dire cela, parce qu'il y avait quelques centaines de personnes dans un coin de la mer Baltique qui, elles, avaient construit des fusées qui marchaient. En 1939, quelque chose qui nous paraît aujourd'hui aussi trivial qu'Ariane aurait paru un monstre impossible à construire. Il n'a fallu que cinquante ans pour que nous passions du stade de l'impossibilité au stade de la trivialité. Un point très important là-dedans, c'est que ce laser, c'est de l'énergie dirigée, c'est le fait de pouvoir envoyer de l'énergie à distance dans un angle très faible. Avant 1960, personne n'avait pensé à ce genre de chose. Aujourd'hui, nous savons comment nous y prendre, non avec une grande puissance, mais on peut très bien imaginer que nos engins augmentent de taille.

Il y a quelques années, j'ai participé à un séminaire à Jet Propulsion Laboratory, le laboratoire de la NASA qui s'occupe d'affaires interplanétaires, où nous avons étudié pendant une semaine le thème suivant : "Comment peut-on quitter le système solaire ?". Et nous avons conclu que la plus grande vitesse que nous pourrions atteindre avoisinait 200 kilomètres par seconde. Je vous ai parlé de 20 kilomètres par seconde pour Voyager, et puis de 20 000 kilomètres par seconde pour aller à une étoile. Nous avons l'impression, il y a quelques années, qu'on ne pouvait pas faire mieux, et c'était déjà très compliqué. Il fallait prendre, par exemple, une grande voile solaire qu'on fabriquerait en orbite, constituée d'un voile d'aluminium de mille Angströms d'épaisseur; enfin, des choses impossibles ! On déployait cette voile solaire, on descendait en spirale jusqu'au soleil; à son voisinage, on déployait complètement la voile parce que c'est au périhélie que l'accélération permet d'obtenir la plus grande vitesse d'échappement et on obtenait 200 kilomètres par seconde. On quittait le système solaire. Il fallait encore 5 000 ans pour atteindre le but ! Il y avait une vingtaine de physiciens parmi nous, et nous n'avons pas réussi à trouver autre chose. Et pourtant, depuis, d'autres idées, comme le laser interplanétaire, nous montrent

J. BLAMONT

que l'imagination humaine n'a pas atteint ses limites. Si je me donne deux cents ans, je crois que des vaisseaux spatiaux pourront quitter le système solaire, visiter des étoiles dans le temps d'une vie. Y aura-t-il des hommes à bord, y trouvera-t-on autre chose que des systèmes automatiques ? C'est douteux. Mais je me garderai bien d'extrapoler jusque-là.

Jacques BLAMONT
MEMBRE DE L'INSTITUT
CONSEILLER AUPRÈS DE LA DIRECTION GÉNÉRALE DU CNES
PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ PARIS VI