

Remarchera-t-on un jour sur la lune?

Autor(en): **Berthet, St.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **53 (1995)**

Heft 271

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-898765>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



Remarchera-t-on un jour sur la Lune?

ST. BERTHET

A. Rappel historique

1. Introduction

Depuis la nuit des temps, la lune éclaire la Terre et fascine l'homme. C'est l'astre qui régit les marées, qui croît, décroît et disparaît, dont la vie est soumise à la loi universelle du devenir, de la naissance et de la mort. Cet éternel retour à ces formes initiales, cette périodicité sans fin font que la lune est par excellence l'astre des rythmes de la vie. Source d'innombrables mythes, légendes et cultes la lune est un symbole cosmique étendu à toutes les époques, depuis des temps immémoriaux jusqu'à nos jours. A travers la mythologie, le folklore, les contes populaires et la poésie, la lune est le symbole du temps qui passe, de la vie nocturne, du rêve, de l'inconscient, de l'humidité et de la fécondité. Tous les peuples de la terre ont projeté leurs rêves sur cet astre de la nuit. Elle est même considérée chez beaucoup d'entre eux comme le lieu du passage de la vie à la mort et de la mort à la vie. La Lune a toujours été le refuge des farfelus, des rêveurs et des utopistes. Les premiers voyageurs sur la Lune ont été les mystiques lunatiques, ceux qui avaient pris un coup de lune, ceux qui avaient perdu la raison sous cette «lumière des Fous» dont parlent les alchimistes. Du baron de Munchhausen à Tintin de Hergé, en passant par Cyrano de Bergerac, Jules Verne et H.G. Wells, nombreux ont été les explorateurs de la Lune. Mais il fallut attendre le 20 juillet 1969 pour que la réalité rattrape la fiction, lorsque des centaines de millions d'auditeurs, assis devant leur radio ou télévision, entendirent la voix de Neil Armstrong annoncé: «*Tranquility Base here. The Eagle has landed*» (Ici Base de la Tranquillité. L'Aigle s'est posé). Ce jour-là une page de l'histoire des hommes s'écrivait à 380'000 kilomètres de la Terre.

Cette aventure du débarquement sur la Lune commence en fait à la fin des années vingt dans la banlieue de Berlin. C'est là, dans un terrain vague, que se réunissaient quelques passionnés d'espace pour y tester leurs fusées primitives. Le père spirituel de ce petit club, Hermann Oberth, fut l'un des premiers à examiner sérieusement les possibilités d'aller un jour sur la Lune et de construire des plates-formes habitées en orbite terrestre. Les activités insolites de ce groupe de passionnés finirent par revenir aux oreilles du général Walter Dornberger. Ce dernier avait une excellente raison de s'intéresser au groupe d'Oberth. Le Traité de Versailles, limitant sévèrement les possibilités de réarmement de l'Allemagne, ne mentionnait évidemment pas les fusées. Profitant de cette lacune, Dornberger proposa à ces visionnaires de les aider financièrement, à condition qu'ils réservent les résultats de leurs expériences à l'armée allemande. Wernher von Braun, l'un des principaux acteurs de ce groupe, savait que les fusées militaires représentaient une occasion unique pour atteindre le seul objectif qui l'intéressait: l'espace. Pendant la guerre, il accepta donc de fermer les yeux sur les milliers de prisonniers utilisés comme esclaves pour construire dans des conditions épouvantables les fameuses V2. «*Grâce au V2, nous irons bientôt sur la Lune, mais il ne faut surtout pas qu'Hitler s'en doute*» disait-il. Le V2, qui vers la fin de la guerre sema la

terreur à Londres et à Anvers, fit prendre conscience au monde des potentialités des fusées. En 1945, au moment de la débâcle, von Braun et son équipe préférèrent prendre les devants plutôt que de tomber aux mains de l'Armée rouge. Ils se rendirent aux forces américaines qui, justement, les recherchaient dans le cadre de la très secrète opération *Paperclip*, visant à récupérer un maximum de savants allemands avec leurs documents. Dans le plus grand secret, von Braun et 126 de ses collaborateurs furent expédiés à White Sands dans le Nouveau-Mexique. Peu de temps après, plusieurs tonnes de matériel retrouvés par les Américains dans des cavernes allemandes les y rejoignaient. Von Braun se remit au travail et ne tarda pas à envoyer des V2 perfectionnées vers la haute atmosphère.

2. La course à la Lune

En 1955, le président Eisenhower annonça que les Etats-Unis procéderaient au lancement d'un satellite à l'occasion de l'année géophysique internationale de 1957-1958, chaque corps d'armée avançait alors son favori. L'armée de l'air proposait sa fusée Atlas, la marine la fusée Vanguard et l'armée de terre le missile Redstone de von Braun. Finalement, c'est la fusée de la marine qui fut choisie pour réaliser cette grande première. Mais le 4 octobre 1957, l'URSS mit l'Amérique en état de choc avec le lancement du Spoutnik 1 (Spoutnik signifiant en russe *compagnon de route*). Ce fut un véritable «*Pearl Harbour technologique*» pour les américains. Le coup fut très dur pour leur prestige d'autant plus que plusieurs essais infructueux et autres échecs eurent lieu à la fin de 1957 en présence de journalistes qui ne se privèrent pas de railler durement les techniciens américains. Dès lors tout s'enchaîna très rapidement. La course à l'espace entre les deux grandes puissances était née. Mais où plaçait-on la ligne d'arrivée?

Le 5 mars 1958, Eisenhower approuvait la création de la *National Aeronautic and Space Administration* (NASA). L'acte du Congrès, oeuvre du sénateur texan Lyndon Johnson, précisait que la NASA devait «*réserver l'espace à des activités pacifiques pour le bien de l'humanité tout entière*». En fait, la NASA, avait deux objectifs non formulés: premièrement, mettre fin aux querelles entre les différents corps d'armée; deuxièmement, donner une façade civile, pour des raisons de prestige et de respectabilité politique, aux activités spatiales américaines à l'heure où elles commençaient à prendre de l'ampleur.

A cette époque, les projets vers la Lune commençaient à prendre forme. Mais, Eisenhower, inquiet de l'émergence de ce qu'il nommait le complexe militaro-industriel, ne voyait pas d'un bon oeil une expédition lunaire. La Lune est là depuis un bout de temps, disait-il. Si nous n'y allons pas demain, elle ne s'en ira pas pour autant. Mais en 1960, en pleine période électorale, la conquête de la Lune devint, poussée par les milieux militaires et industriels, un sujet très chaud. Le candidat John Kennedy se moqua de la mollesse de la politique spatiale d'Eisenhower: «*Si un homme est placé en orbite autour de la Terre cette année, il s'appellera Ivan*». En fait, il s'appela Youri (Gagarine), et son vol historique du 12 avril 1961 mit le feu aux poudres nationalistes. Un mois et demi plus tard, le 25 mai 1961, avant même que le premier américain ait



été placé en orbite, John Kennedy lançait son fameux appel, devant le Congrès américain: «*Je crois que notre nation devrait s'engager à faire atterrir, avant la fin de cette décennie, un homme sur la Lune et à le ramener sur Terre sain et sauf. Ce ne sera pas un homme allant vers la Lune. Ce sera une nation tout entière.*»

Désormais, la ligne d'arrivée était placée sur la Lune.

C'est phrase marqua véritablement le début de l'aventure. C'est elle qui a officiellement lancé la conquête lunaire, en ouvrant des crédits illimités à la NASA dont la seule mission était dès lors de laver l'honneur technologique américain. Le programme commença à prendre forme et un certain nombre de défis technologiques à relever se présentèrent. Mais à l'image d'un Churchill, qui ne promit à ses compatriotes que «du sang, de la sueur et des larmes», et les mena à la victoire, John Kennedy dit aux siens: «*And we will do it not because it's easy, but because it's hard!*» (Et nous le ferons, non pas parce que c'est facile mais parce que c'est difficile!). Le résultat fut huit ans plus tard la marche triomphale de Neil Armstrong sur la Lune. Néanmoins avant cela, pour vendre le programme Apollo et justifier les dizaines de milliards de dollars nécessaires à une population en majorité opposée à cette entreprise ruineuse, la NASA organisa une gigantesque opération de relations publiques et devint rapidement l'incarnation de l'infailibilité technologique et du dynamisme américains.

Au printemps 1963, les Américains arrêtaient donc les grandes lignes du programme Saturn-Apollo qui devait permettre à des hommes de marcher sur la Lune. Pour atteindre l'objectif d'un alunissage, de nouvelles méthodes et techniques furent développées pour assurer une production de qualité et de haute fiabilité. On avait appris à bien travailler, maintenant il s'agissait de faire encore mieux. La NASA décida que la majorité du développement de ce programme serait assuré par le secteur privé. Elle imposa des spécifications précises et un calendrier rigoureux de livraison à plus de 20'000 compagnies et quelques 420'000 personnes. Ce programme grandiose et complexe, séduisant par son objectif et fécond par ses exigences et ses innovations technologiques, rassembla dans un même effort organes gouvernementaux, industries et universités. D'autre part, la motivation américaine était d'autant plus grande que le programme soviétique se déroulait dans le plus grand secret.

Pendant cette année 1963, l'état d'exaltation spatiale est entretenu par deux hommes que la politique oppose mais qu'une extraordinaire foi en l'espace rapproche. John Kennedy voit en l'espace une nouvelle frontière, une frontière illimitée, où les Américains peuvent exercer là-haut leur activité de pionniers. Il leur appartient, affirme-t-il, de découvrir le système solaire, compte tenu des avantages que l'industrie en retirera et des conséquences scientifiques et humaines à attendre d'une telle entreprise. Chez l'Ukrainien Nikita Krouchtchev alors Premier Soviétique, les projets spatiaux ont trouvé une extraordinaire résonance dans une âme slave sensible à l'idéologie: depuis 1917, l'astronautique est encensée, encouragée officiellement pour des raisons philosophiques et politiques, au point que, le 1er mai 1935, sur la place Rouge, Ziolkowski, l'un des pères de l'astronautique, fut présenté en héros, protagoniste du vol Moscou-Mars. L'avance initiale de l'URSS dans sa capacité à construire de gros lanceurs était due essentiellement à des facteurs militaires. La riposte, en ces temps de guerre froide, à l'encercllement de l'URSS par des bases américaines, avait été la conception de fusées intercontinentales facilement reconvertibles en lanceurs spatiaux.

Dans cette compétition sans merci entre Américains et Soviétiques, l'enjeu était surtout politique plus que technologique. Il s'agissait de démontrer la suprématie d'un système idéologique sur un autre. Pour se faire, les deux grands délèguèrent à leurs astronautes et cosmonautes le pouvoir de dire de qui du capitalisme ou du communisme avait raison. Les premières étapes furent sans discussion remportées par l'Union Soviétique: le satellite artificiel Spoutnik I, lancé le 4 octobre 1957, la chienne Laïka qui avait volé un an plus tard, la sonde Luna 2 en septembre 1959, premier engin fabriqué par l'homme à atteindre le sol lunaire, puis la même année la première photo de la face cachée de la Lune prise par Luna 3 et le vol historique de Youri Gagarine le 12 avril 1961. Face à ces succès que Krouchtchev utilisait à chaque discours pour souligner la suprématie de la technologie soviétique, Kennedy ne pouvait plus que promettre la Lune à ses concitoyens. La seule motivation réelle du programme Apollo était là. Aussitôt entreprise par la NASA sous l'égide de Wernher von Braun, le père des V2 allemandes, cette course aura englouti près de 100 milliards de dollars en valeur d'aujourd'hui. Et lorsque Neil Armstrong pose le pied sur la Lune, dans la nuit du 20 au 21 juillet 1969, en prononçant sa phrase historique «*A small step for man, a giant leap for mankind*» (un petit pas pour l'homme, un bond de géant pour l'humanité), des centaines de millions de téléspectateurs vécurent cet événement comme l'aube d'une ère nouvelle. Mais pour les responsables et les industriels américains, c'était au contraire la fin d'une étape qui menait à la construction de la navette spatiale, seul moyen de réaliser le vieux rêve d'une station habitée en orbite terrestre.

3. Impressions lunaires

Pour les astronautes, acteurs de cette course aux étoiles, qui sont allés dans l'espace et se sont posés sur la Lune, l'expérience fut extraordinaire. Ils ont vu ce que nul homme n'avait jamais vu, se sont approchés des dieux comme aucun grand mystique ne l'avait jamais fait et réalisé le rêve de toute une humanité. Cela ne fut évidemment pas sans effet sur leur psychisme. Beaucoup semblent avoir eu du mal à se réinsérer socialement, à rejoindre les rangs humains après avoir tutoyé les étoiles. John Glenn, le premier Américain sur orbite, s'est étonné sans aucun succès aux élections présidentielles de 1984, les autres croisés de l'épopée lunaire sont retombés dans l'anonymat: c'est à peine si l'on se souvient du nom de Neil Armstrong, le premier homme à mettre le pied sur la Lune; on a généralement oublié le nom de ses coéquipiers (Edwin Aldrin, Michael Collins). Au cours de leur mission, ces hommes ont tous vécu une expérience mystique. «*Plus nous nous éloignons et plus sa taille (la Terre) diminuait. Finalement, elle se trouva réduite à la taille d'une bille de verre, la plus belle bille qui se puisse imaginer. Ce bel objet chaud et vivant paraissait si fragile, si délicat, que si on l'avait effleuré du doigt, il se serait brisé et répandu en miettes. Quand un homme voit cela, il ne peut être que transformé, il ne peut que mesurer ce qu'est la création et l'amour de Dieu*», raconte James Irwin (Apollo 15). «*Je regardais notre planète comme si j'avais vu la divinité même*», précise Edgar Mitchell (Apollo 14). «*Ce fut vraiment la première fois que je ressentis l'insignifiance face à l'immensité de la création divine*», s'émerveille encore Charles Duke Jr. (Apollo 16). Posés sur la Lune, à 380 000 kilomètres du reste de l'humanité, les astronautes ne se lassent pas de regarder cette bonne vieille Terre. La notion de solitude prend alors pour eux sa dimension absolue. «*D'une certaine manière, je ressentais ce qu'Adam et Eve avaient dû ressentir: Etre sur la Terre et se rendre compte qu'ils y étaient seuls. Pour moi, la*



Lune est une sorte de lieu saint», se souvient James Irwin, tandis qu'Alan Bean (Apollo 12) imagine que «les anciennes cultures auraient adoré la Terre en la prenant pour un oeil parce qu'elle passe du bleu au blanc et qu'on voit vraiment quelque chose bouger qui ressemble à un oeil coloré». Pendant que deux astronautes foulèrent le sol vierge les yeux braqués sur la Terre, un troisième orbitait autour de la Lune. Il passait de l'autre côté du satellite, sur «the dark side of the moon»: Disque ténébreux d'un noir absolu caractérisé simplement par l'absence d'étoiles. Pendant vingt-sept minutes, il était seul au monde, personne n'était plus seul que lui, privé de tout contact humain ou radio. Il y avait une sphère de 3476 kilomètres de diamètre entre lui et les autres, tous les autres... De l'autre côté, l'espace infini: «Tout finissait ici, car dans l'autre direction, il y avait Dieu sait quoi rien que moi et le reste de l'Univers», se souvient Michael Collins (Apollo 11). «Cette idée me plut: je faisais partie du reste de l'Univers et non pas simplement de notre système. J'aurais voulu alors que quelqu'un entre en contact avec moi, mais personne ne le fit...». L'image du clair de Terre sur fond de cratères lunaires immortalisée lors des missions Apollo, montrant notre planète flottant dans son écrin cosmique, a sans doute provoqué un effet psychologique dans la conscience collective en éveillant un sentiment d'unité et de fragilité vis-à-vis de notre patrimoine commun la planète Terre. «C'est en techniciens que nous sommes partis pour la Lune, c'est en humanistes que nous en sommes revenus», reconnaît l'astronaute Edgar Mitchell.

L'aventure lunaire a montré que l'homme est encore capable d'élévation. Et tant pis si quelques astronautes ont payé cette constatation d'un «coup de Lune». C'est la vengeance de la Lune.

4. Pourquoi avoir stoppé le programme lunaire ?

Le grand rêve d'exploration spatiale promis par le président Kennedy en mai 1961 est, aujourd'hui, presque évanoui. Cela fait maintenant plus de 25 ans que le pari américain d'aller marcher sur la Lune était gagné. Les aventuriers de l'espace qui ont réalisé ces exploits ont grisonné, pris leur retraite, sont morts, comme James Irwin, ou ont fait de la politique, tel Harrison Schmitt.

L'explication de ce revirement, après Apollo 17, est simple à comprendre si l'on analyse le pourquoi de cette entreprise qui a marqué l'histoire de l'humanité.

L'aventure du siècle fut lancée par John Kennedy, non par esprit de conquête ou par curiosité scientifique, mais pour des raisons purement idéologiques de confrontation Est-Ouest en pleine guerre froide. Les Américains avaient décidé d'aller sur la Lune pour d'abord se prouver - et prouver au monde - qu'ils étaient capables d'un exploit interdit aux Russes. Mais cette épopée lunaire a sans doute été menée trop rapidement et peut-être même maladroitement pour qu'elle débouche sur une véritable exploitation de la Lune comme base spatiale. Puisqu'une fois le pari gagné, la Lune cessa d'intéresser les Américains. Ils avaient, il faut le dire la tête ailleurs. Au Vietnam où s'enlisait une guerre qui coûtait toujours plus. L'horreur des combats prenait alors le pas sur le rêve lunaire qui réapparaissait d'un seul coup très coûteux, et bien peu utile. À cela venait s'ajouter la fin de la croissance dont les dividendes avaient permis de financer sans problème ce programme.

Ainsi, après les alunissages d'Apollo-11, 12, 14, 15, 16 et 17, qui virent douze astronautes fouler le sol lunaire, la NASA devint de moins en moins soutenue par le puissant mouvement

d'opinion qui l'avait conduite sur la Lune. Elle dut donc finalement, faute de moyen, renoncer à poursuivre l'exploration humaine de notre satellite naturel. L'Agence oublia alors les milliards de dollars investis dans l'aventure spatiale comme sa formidable fusée Saturne-V, œuvre de Wernher von Braun. Elle enferma les 382 kilos de pierres lunaires dans un laboratoire chambre forte, et n'en distribua plus que très parcimonieusement des échantillons. Elle mit au musée la capsule Apollo et le fameux LEM (module lunaire).



L'expérience Suisse pour l'étude du vent solaire.

Bien que la science ne fut pas la motivation première des missions vers la Lune, plusieurs scientifiques furent impliqués dans le programme Apollo. Pour ne citer que quelques expériences qui furent débarquées sur la lune, citons l'expérience suisse du professeur J. Geiss de l'université de Berne pour l'étude du vent solaire à l'aide d'une feuille d'aluminium (Apollo 11 à 16) et les multiples expériences de séismologie. À cela, on peut ajouter les investigations géologiques menées par les astronautes. Les données récoltées permirent néanmoins aux scientifiques de progresser rapidement dans la compréhension du système Terre-Lune et du système solaire. Le programme Apollo ne compta qu'un seul astronaute scientifique, un géologue (Harrison Schmitt). Il participa à la mission Apollo 17, la dernière expédition américaine vers la Lune. Ce «geste» de la NASA avait pour but d'apaiser la communauté scientifique, qui lui reprochait de ne pas tirer un maximum de bénéfices du programme lunaire. Plus qu'un programme aux



retombées scientifiques fondamentales, le programme Apollo fut surtout un formidable ballon d'oxygène pour l'industrie américaine. C'est cette course technologique effrénée qui permit aux américains de prendre une fois pour toutes leur distance avec l'URSS dans le domaine du spatial. Elle transforma aussi notre vie en accélérant vertigineusement recherches et développements, notamment dans le domaine de l'électronique qui y joua un rôle essentiel, de la maîtrise des grands froids (la cryogénie), des matériaux nouveaux et des piles solaires, pour ne citer que quelques exemples des retombées du programme lunaire.

Avec le recul, on peut toutefois se demander si la conquête spatiale n'aurait pas connu une autre destinée si Kennedy et Krouchtchev, qui portaient à bout de bras l'astronautique et avaient stimulé son essor, n'avaient pas disparu soudainement de la scène internationale à onze mois d'écart. Le 22 novembre 1963 Kennedy était assassiné à Dallas et le 14 octobre 1964 Krouchtchev était démis de ses fonctions. D'autre part, en 1966 l'astronautique soviétique connut un autre coup dur avec la mort de Sergei Korolev, l'homme qui avait tout pensé et tout calculé. On le sait maintenant, dès le début des années 60, les russes ont conduit un gigantesque programme qui devait leur permettre d'atteindre la Lune. Ils disposaient de tous les atouts nécessaires pour amener un équipage sur la Lune. Depuis 1959, l'URSS avec son programme Luna qui déposa sur le sol sélène, avec plus ou moins de douceur puisque certains s'y écrasèrent, plusieurs engins automatiques, était une familière des voyages inhabités vers la Lune. En 1970, Luna 16 pu même extraire des échantillons de sol lunaire et les réexpédier sur Terre dans un container sphérique. La même année, Lunakhod-1, une automobile télécommandée, roulait sur la Lune. Cependant, les russes furent handicapés par des querelles internes et surtout par des choix technologiques imposés par la bureaucratie politique qui les empêchèrent de mettre au point leur lanceur N1, l'équivalent de la Saturne V de von Braun. Les quatre essais (4.2.69, 3.7.69, 27.7.71 et 23.12.72), menés à vide, de cette fusée trop complexe furent tous des échecs. Lors du deuxième essai le 3 juillet 1969, deux semaines avant le décollage de la mission Apollo 11, l'explosion de la fusée sur le pas de tir peu après l'allumage des moteurs, provoqua la mort de 160 personnes et détruisit les installations de Baïkonour. C'est finalement, après le quatrième échec que le Kremlin donna l'ordre d'abandonner ce programme, qui depuis le 21 juillet 1969 n'avait plus le même soutien politique. Les russes s'attachèrent alors à une conquête lente et méthodique de la durée des séjours de cosmonautes en orbite autour de la Terre et développèrent une station spatiale habitée en permanence (Saliout, Mir).

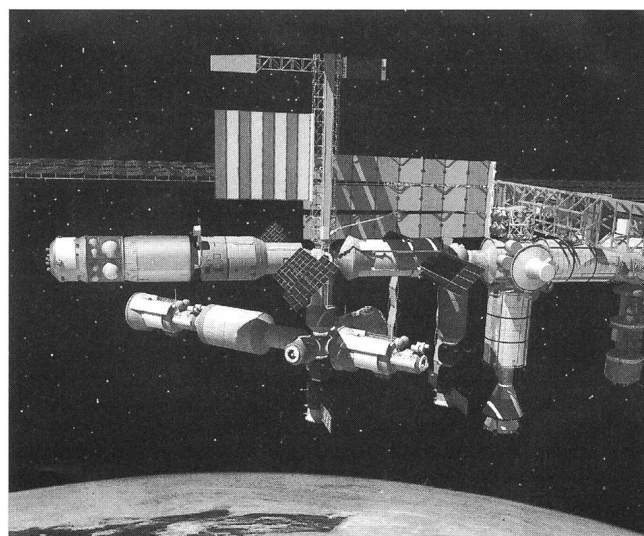
B. Le retour vers la Lune!

1. Introduction

Aujourd'hui les temps ont changé, les défis sont plus budgétaires que techniques. En troquant l'utile contre l'imaginaire, rigueur budgétaire obligé, l'espace a peut-être perdu ce qui lui avait donné son élan: le rêve. Mais une chose est certaine, le 20^e siècle aura marqué la conquête du ciel et de l'espace. Aujourd'hui, le 21^e siècle est à nos portes et la nécessité politique, économique et sociale d'un grand programme, d'envergure globale est devenue plus importante que jamais.

Pendant la deuxième guerre mondiale, puis pendant la guerre froide, les programmes militaires ont joué un rôle majeur en stimulant des activités de recherche et développement dans

divers domaines des sciences et de l'industrie. Aujourd'hui, avec la fin de la guerre froide, les programmes spatiaux, au service de l'humanité (télécommunications, observation de la Terre, exploration de l'Univers), font partie de ces grands projets qui constituent une alternative pacifique au maintien de l'effort de développement des sciences et de la haute-technologie à l'échelle planétaire et qui sont capables de donner un nouvel équilibre au monde. Actuellement, la station spatiale internationale (USA, Russie, Europe, Canada et Japon) est le plus grand programme spatial international en terme de ressources financières et humaines. C'est la première étape vers le développement d'un programme spatial global et la première démonstration d'une coopération internationale à grande échelle. L'étape suivante logique sera sans doute un retour vers la Lune avec une exploration et une exploitation au niveau international. Dans cet enjeu du 21^e siècle, l'Europe a la



La station spatiale internationale.

capacité technique, scientifique et industrielle de jouer un rôle important. C'est pourquoi, sur une idée originale suisse, l'Agence spatiale européenne (ESA) organisa en collaboration avec la Suisse, en mai 1994 à Beatenberg (BE), le premier workshop international sur la stratégie mondiale pour l'exploration et l'utilisation de notre satellite naturel. Lors de cette rencontre, les différentes agences spatiales présentes NASA (USA), NASDA (Japon), CNES (France), Russie et ESA, ayant reconnu le potentiel de la Lune comme station spatiale naturelle à long terme, sont tombées d'accord sur le fait que la situation actuelle, technique et financière, est la bonne pour démarrer la première phase d'un programme lunaire et préparer les étapes suivantes, qui devraient induire une collaboration internationale toujours croissante. Même si la première phase peut être conduite de manière indépendante, une coordination régulière des efforts ne pourra qu'augmenter les bénéfices scientifiques et technologiques des missions futures.

2. La stratégie

Un *come back to the moon* ne saurait se réaliser que par étapes et en visant des objectifs précis. Le retour, cette fois, dépasserait la simple opération commando destinée à braver



l'adversaire de la guerre froide. La Lune, oui, mais pas pour y faire n'importe quoi! Désormais, il s'agit de poursuivre systématiquement l'exploration scientifique de l'astre des nuits, dont on ne connaît finalement encore que peu de chose.

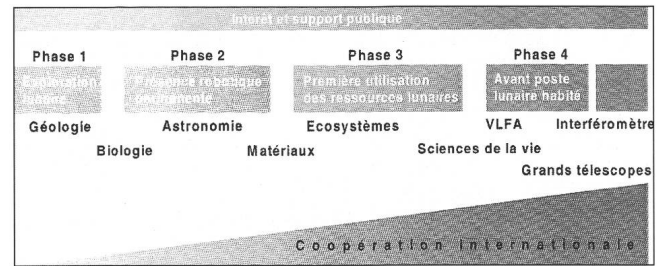
La lune est de loin le corps céleste le plus proche et le plus facile d'accès pour nous terriens. C'est donc après la station spatiale l'étape suivante logique. La Lune est une plate-forme spatiale de 38 millions km² qui peut être vue de tout le monde en permanence et directement. C'est donc une station spatiale idéale dont la structure de base existe déjà et qui a besoin seulement d'être équipée avec une infrastructure évoluée pour permettre la pleine exploitation de ces ressources naturelles et de son potentiel scientifique. C'est aussi un vaste laboratoire naturel, un véritable livre ouvert sur l'histoire et l'évolution de notre système solaire. Elle offre une surface très stable pour les observations astronomiques et son sol recèle d'immenses ressources naturelles qui pourraient être essentielles pour l'expansion future des activités spatiales mais aussi pour nos besoins terrestres. La Lune constituera un terrain d'expérimentation précieux qui nous permettra de développer la capacité nécessaire pour notre expansion dans le système solaire. Notamment dans les sciences de la vie, la gestion de l'environnement, la sécurité, l'opération de systèmes de vaisseaux spatiaux, le suivi et la maintenance d'instruments à distance. En somme la continuation logique de tout ce qui a été ou sera acquis en orbite terrestre.

Le retour sur la lune est basé sur une approche réaliste découpée en 4 phases de missions interdépendantes avec des objectifs visibles à court terme, mais aussi des buts à moyen terme et des perspectives à long terme pour l'activité humaine. Une approche donc fondamentalement différente de celle du programme Apollo. La première fera l'inventaire des caractéristiques de la surface lunaire et de ses ressources par télédétection ou à l'aide de véhicules et de petites stations lunaires automatiques. Cela préparera la seconde phase qui établira une présence robotique permanente sur la lune. Pendant la troisième phase, des robots déploieront des instruments scientifiques et prépareront la venue de l'homme sur la lune en mettant en place des installations, notamment de production d'oxygène, nécessaires à cette objectif.

Cette stratégie proposée par l'Europe, d'une approche progressive réaliste et raisonnable, adaptée au niveau de ressources des nations participantes permettra une transition douce des missions purement robotiques aux missions mixtes robot-homme. Il s'agit donc d'un programme qui peut démarrer sur des bases relativement modestes. Chaque mission conditionnant le concept et la définition des missions suivantes.

3. L'approche échelonnée proposée par l'Europe

La phase I sera construite autour de sondes exploratrices en orbite autour de la Lune, déposées sur la surface lunaire et pouvant même pour certaines s'y déplacer. Son but sera d'augmenter notre savoir global de notre satellite naturel en faisant un inventaire chimique (O, H₂O, C) de même que d'autres ressources lunaires et en acquérant des connaissances complètes et détaillées de la surface lunaire avec la production d'une cartographie à haute résolution de la Lune. Elle permettra aussi de développer et de démontrer les technologies clés pour les phases suivantes. L'Europe (ESA), avec ses moyens et son expertise actuelle, a la capacité de s'embarquer de manière autonome dans cette première phase. Aller sur la Lune, c'est à peu près la même chose que d'atteindre l'orbite géostationnaire et tant qu'il ne s'agira pas de déposer des



Approche échelonnée proposée par l'Europe.

hommes et de construire des infrastructures scientifiques lourdes, les lanceurs tels Ariane 5 suffiront et pourront même couvrir les trois premières phases.

La phase II verra une présence robotique permanente sur la Lune, y compris sur la face cachée et aux pôles. Une connaissance détaillée de l'environnement lunaire et de ses caractéristiques pourra être ainsi acquise. De même des instruments plus complexes pourront être installés (instruments de radioastronomie ou sismologiques par exemple). Une utilisation extensive de la téléprésence et de la téléopération technique facilitera des opérations interactives plus complexes du type de celles requises pour des inspections géologiques ou des analyses chimiques et même l'entretien des instruments en place. L'objectif premier est d'améliorer considérablement l'interface homme-machine de manière à ce qu'un opérateur sur la Terre puisse avoir le plein contrôle d'un engin capable de choisir ramasser et d'examiner des échantillons comme s'il était présent sur la Lune. Ce but ne peut être atteint qu'avec une amélioration de l'acquisition et de la compression d'images et de la manipulation robotique afin que le manipulateur puisse ressentir en quelque sorte les sensations du touché. Ces développements pourront bien entendu avoir de multiples débouchés dans d'autres aspects de l'exploration du système solaire, mais aussi sur Terre.

La phase III focalisera son effort sur la première exploitation des ressources et de l'environnement lunaire. Des techniques pour la production d'oxygène en utilisant les matériaux du site seront examinées en détail et de larges instruments astronomiques (Very Low Frequency Array - VLFA) pourront être déployés. Puis l'installation de bio-laboratoires dédiés aux sciences de la vie faciliteront ce type d'expériences. Cette phase implique des technologies innovatrices pour l'extraction, la liquéfaction et le stockage cryogénique de l'oxygène. D'autres domaines sont le développement de support vie et d'écosystèmes expérimentaux.

La phase IV verra l'installation des premiers postes avancés humains sur la Lune. Pour l'homme, des séjours de longue durée sur la Lune impliquent la construction d'une base et de systèmes autonomes qui rendent viable son environnement, tels que la production d'oxygène et des systèmes de contrôle environnemental.

4. L'intérêt scientifique d'un retour sur la Lune

L'aspect scientifique du programme (histoire du système Terre-Lune, projets astronomiques, sciences de la vie, biologie...) a été placé comme l'un des buts majeurs de ce retour sur la Lune.

La Lune comme objet de recherche scientifique - Science de la Lune: La Terre et la Lune sont probablement liées depuis qu'elles ont été formées, il y a environ 4.5 milliards d'années. De récentes études ont montré le rôle de la Lune dans la



stabilisation de l'axe de rotation de la Terre, rôle qui assure la stabilité à long terme de notre climat et qui a probablement été un facteur déterminant pour le développement et l'évolution de la vie intelligente sur Terre. Du point de vue géologique et planétaire la Lune présente le grand intérêt d'avoir préservé sa croûte primordiale. Celle-ci n'ayant pas subi de transformation de par une activité volcanique persistante ou atmosphérique (pluies, érosion), elle constitue donc un parfait enregistreur des événements passés de l'histoire et de l'évolution de notre Soleil et du système Terre-Lune. Ainsi l'historique des impacts météoriques sur la Lune et la nature des processus d'impacts de même que la formation du regolith (sol lunaire fait de poussières agglomérées) et l'évolution de notre soleil peuvent être étudiés à travers l'étude du sol lunaire. De par sa proximité la Lune est le corps céleste le plus accessible de notre système solaire où il soit possible d'étudier l'évolution d'une planète immédiatement après la phase d'accrétion. C'est donc un élément essentiel pour notre compréhension des premières étapes de l'évolution de notre système solaire et un laboratoire naturel dans lequel des processus géologiques généraux peuvent être étudiés et compris.

Après les programmes Apollo et Luna notre compréhension de la Lune s'est grandement améliorée. Cependant un grand nombre de thèmes majeurs restent à être explorés en profondeur comme: l'origine du système Terre-Lune, l'évolution thermique et la structure interne de la Lune de même que sa géochimie.

La Lune comme site privilégié d'observation de l'Univers - Science à partir de la Lune: Notre satellite naturel est généralement considéré comme étant un site astronomique unique offrant des conditions d'observation meilleures que n'importe où sur Terre avec un accès à la totalité du spectre électromagnétique. Sur la Lune, il n'y a pas d'écran atmosphérique, pas de pluie, ni oxydation, ni vent, ni pollution lumineuse et radio. On bénéficie de 340 heures de nuit sans nuage. En plus, par rapport à une station spatiale en orbite, elle offre une surface beaucoup plus grande, plus stable avec une rotation lente (pointage plus simple que sur Terre) dont la position et l'orientation dans l'espace sont parfaitement connues. Pas besoin non plus de propulseur pour repositionner la station sur sa bonne orbite. La surface cachée offre la seule place dans le système solaire interne avec un environnement électromagnétique propre qui permet l'accès aux très basses fréquences. La prochaine étape en astronomie sera l'obtention d'une très haute résolution angulaire pour l'imagerie d'étoiles, de galaxies et quasars, de systèmes doubles et finalement de planètes extra système solaire. Cela nécessitera la construction dans l'espace de grandes antennes, de télescopes et de systèmes interférométriques. Deux domaines très intéressants ont déjà été étudiés par l'ESA: la radioastronomie à très basses fréquences (*Very Low Frequency Array-VLFA*) et l'interférométrie des UV au submillimétrique. Un système interférométrique VLFA (<15 MHz) tirera profit de l'environnement électromagnétique propre de la face cachée de la Lune. Ces basses fréquences sont pratiquement inobservables depuis la Terre. D'une part à cause des interférences créées par l'activité radio de l'homme et d'autre part par l'effet d'écran de l'ionosphère. L'interférométrie avec une base de 100 mètres ou plus fournira une résolution spatiale de 3×10^{-4} arcsec dans l'UV à 0.1 arcsec aux longueurs d'ondes submillimétriques, permettant ainsi une imagerie de grande qualité ainsi qu'une haute finesse spectroscopique. De telles possibilités ouvriront de nouvelles fenêtres sur l'Univers qui auront un impact sur l'ensemble des domaines de l'astronomie. Cette révolution sera aussi importante que celle de l'invention des lunettes et télescopes qui nous a permis de découvrir la plus grande partie de ce que l'on connaît

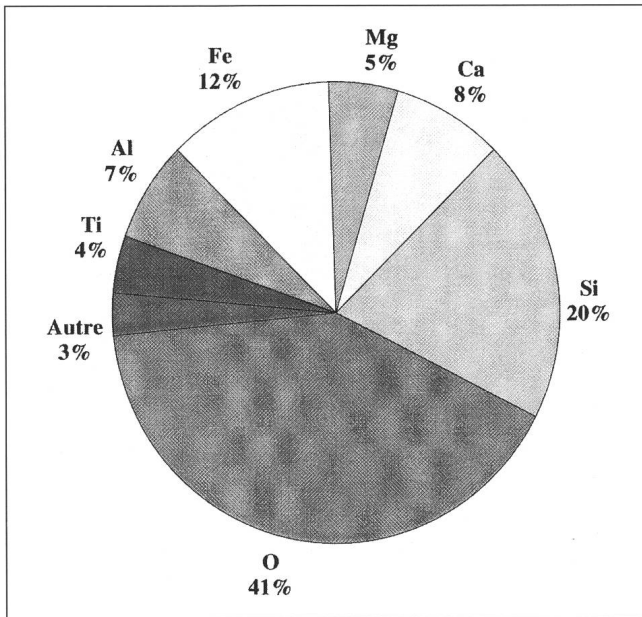
aujourd'hui de l'Univers. Bien que la Lune ne soit pas la seule place dans l'espace où soit possible de telles observations, les installations de l'ordre du kilomètre et plus devront être placées sur la Lune pour des raisons de stabilité sismique. En effet, les mouvements sismiques y sont 100 millions de fois plus faibles que sur la Terre et ne déplacent la croûte lunaire que d'un milliardième de mètre environ. Stabilité idéale pour les interféromètres optiques, qui ne donnent des informations précises que si la distance des paires de télescopes couplés varie de moins de dix-millionième de mètre.

La Lune comme laboratoire de recherche - Science sur la Lune: L'établissement d'une base lunaire permettra de conduire des projets ambitieux dans les sciences de la vie, l'exobiologie, l'écologie et éventuellement la physiologie humaine. En exobiologie, les études sur la Lune contribueront à la compréhension des principes conduisant à l'origine, l'évolution et à la distribution de la vie. Un laboratoire sur la Lune permettra l'analyse d'une large variété d'échantillons et peut-être même du matériel météoritique en condition primitive. La lune fournit un laboratoire unique pour explorer l'importance biologique des différentes composantes des radiations solaires et cosmiques. La Lune n'a pas de champs magnétique qui dévie de sa surface et des alentours, les rayonnements cosmiques et les particules du vent solaire. Bien que les radiations soient 300 fois plus fortes que sur Terre, ce qui pose des problèmes pour les systèmes électroniques, cela n'est pas trop dangereux pour les astronautes qui travailleront sur la Lune. Seuls les flux de protons anormalement élevés lors d'éruptions solaires présentent un risque mortel pour l'homme sur la Lune. Ces événements peuvent être prédits entre 15 minutes (dans le pire des cas) et 60 minutes à l'avance, ce qui signifie que les astronautes devront toujours être à portée d'abris pouvant les protéger de ces radiations. Dans la préparation d'une présence humaine sur la Lune, la surveillance des radiations, les abris de protection et les boucliers contre les éruptions solaires ainsi qu'un système de soutien de vie efficace et performant comprenant un contrôle de santé et un système de soins devront être étudiés. Le challenge écologique sur la Lune sera l'établissement pour la première fois d'un écosystème artificiel sur un corps céleste autre que la Terre. Avec comme retombée terrestre escomptée une meilleure compréhension des processus dynamiques régulant notre écosystème. Le maintien d'un environnement viable, la propagation de la vie à une gravité plus faible avec un taux de radiation plus important mais toutefois limité par des protections est vu comme une science fondamentale.

Les problèmes inhérents à une base lunaire tels que la rotation de la Lune, les grandes variations de température (100 - 385 °K, sauf aux pôles), la pollution due à la poussière naturelle ou produite par l'homme, les impacts micrométéoriques et les longues périodes d'éclipse (14 jours) demandant un stockage de l'énergie, représentent une forte motivation pour le développement de nouvelles technologies.

5. Accès aux ressources lunaires

Oxygène: le sol lunaire contient plus de 40% en masse d'oxygène. Plus d'une douzaine de procédés d'extraction ont été étudiés. L'oxygène liquide (LOX) est le comburant (ce qui fait brûler) le plus employé, il constitue environ 85% de la masse du carburant des fusées les plus puissantes. En plaçant ces quantités de carburant à un point intermédiaire entre la Terre et la Lune, on pourrait ainsi diminuer grandement la masse (facteur 3) des véhicules spatiaux au départ de la Terre et donc réduire aussi le coût de telles missions. L'oxygène liquide



Proportion des différents éléments sur la Lune.

lunaire pourrait ainsi devenir une ressource essentielle pour les futures explorations humaines du système solaire.

Matériaux de construction: la Lune pourra fournir les matériaux nécessaires à la construction d'une base lunaire, des grandes structures pour les radiotélescopes, des boucliers et écrans de protection contre les rayons cosmiques et solaires dangereux pour l'homme et les systèmes électroniques et contre les micrométéorites qui pourraient endommager des objets fragiles tels que les miroirs.

Hélium-3: Lorsque la fusion thermonucléaire contrôlée aura été domestiquée, l'hélium 3 pourrait alors devenir la source énergétique préférentielle, la bouée de sauvetage énergétique de l'humanité future. Sur Terre cet élément est extrêmement rare, on en trouve que des traces. Seul, environ 200 kilogrammes, produits par l'homme, sont actuellement disponibles pour conduire les expériences des programmes de recherche sur la fusion. Au contraire sur la Lune qui n'a ni champ magnétique ni atmosphère, le vent solaire a, pendant les quatre milliards d'années passées, déposé sur la surface lunaire de l'Hélium-3 (He-3). Celui-ci s'est accumulé dans le sol jusqu'à une profondeur d'au moins 3 mètres. On estime à un million de tonnes la quantité d'He-3 qui se trouve dans le sol lunaire. Le contenu énergétique de cet He-3 lunaire pourrait satisfaire nos besoins énergétiques pour les mille ans à venir. Cependant avec une concentration d'He-3 lunaire évaluée à 36 grammes par tonne de regolith, il faudra pour extraire des quantités importantes d'He-3 procéder à des extractions massives de regolith. Cela ne sera pas sans conséquence pour l'environnement lunaire. Dès lors que la Lune deviendrait une mine à espace ouvert, elle serait perdue pour les astronomes et les planétologues. Les nuages de poussières produits empêcheraient alors toute observation astronomique. Et les missions Apollo l'ont montré, cette poussière met un temps fou à retomber. Le phénomène est d'ailleurs encore mal compris.

L'eau: la présence de l'eau sur la Lune est encore hypothétique. Mais comme cela a été indiqué par certaines observations faites depuis le sol et par la mission Clementine (NASA), il est vraisemblable que l'on trouve de l'eau aux pôles lunaires.

L'exploitation des ressources lunaires devra donc se faire avec un souci tout particulier de l'environnement en trouvant des solutions qui soient compatibles avec les objectifs scientifiques fixés pour un retour sur la Lune. Sinon des pages entières du livre d'histoire de la Lune risqueraient alors d'être arrachées sans avoir été lues, avertit le professeur R. Bonnet, directeur du programme scientifique de l'ESA.

6. Projets européens - ESA

Une bonne raison pour l'Europe d'être impliquée dans un futur programme lunaire est qu'elle dispose déjà des moyens nécessaires et peut ainsi participer pleinement et efficacement aux premières phases dans le cadre d'un effort à l'échelle mondiale, comme elle participe déjà de plein droit avec les grandes nations spatiales au développement et à l'exploitation future de la station spatiale internationale. Pour préparer la première phase du programme lunaire, l'ESA est actuellement en train de conduire deux études de projet: MORO et LEDA.

MORO (Moon Orbiting Observatory) est proposé par la communauté scientifique européenne dans le cadre du programme scientifique de l'ESA Horizon 2000, comme candidat potentiel pour une mission dite de taille moyenne. Actuellement ce projet est à l'étude et en compétition avec 4 autres dans les domaines de l'astronomie, la planétologie et la physique fondamentale. La sélection définitive aura lieu en 1996. MORO se présente comme une mission scientifique qui a pour but d'établir les caractéristiques globales de la surface lunaire (géologie, morphologie, géochimie, minéralogie, topographie) avec des explorations internes (géodésie et gravimétrie). La sonde NASA Clementine a démontré l'immense potentiel des études multi-fréquences pour le progrès de la science lunaire. MORO devrait être capable de combler certaines questions laissées ouvertes par Clementine. Cette mission a spécialement été conçue pour apporter des réponses aux problèmes concernant l'origine, l'évolution et la future exploration de la Lune. Cette sonde placée sur une orbite polaire à une altitude de 100 kilomètres sera équipée d'un système de prise de vues stéréoscopiques, multi-spectrales et de haute résolution, d'un spectromètre UV-visible-IR, d'un spectromètre gamma, d'un instrument micro-onde et d'un subsatellite qui sera largué pour des mesures de gravimétrie. Les instruments de télédétection sont conçus pour obtenir des images 3-D de haute résolution couplées avec des données topographiques, spectroscopiques UV-visible, IR et gamma particulièrement pour la face cachée. La résolution spatiale de MORO sera de 10 mètres, un ordre de grandeur de mieux que Clementine. Deux ans de mission permettront d'atteindre tous les objectifs fixés.

LEDA (princesse légendaire de la mythologie grecque, mère de Clytemnestre et Castor par son époux Tyndare et de Pollux et Hélène par son union avec Zeus) contrairement à MORO est planifié comme programme optionnel dont l'approbation dépend actuellement d'une décision du Conseil de l'ESA pour le courant 1996. Sa phase de réalisation devrait débuter en 1998 avec un objectif de lancement vers 2001-2002. LEDA (Lunar European Demonstration Approach) est une mission de démonstration de technologie et d'utilisation de la Lune en vue des phases suivantes du programme. Pour l'Europe, l'objectif principal est, à l'aide d'Ariane 5, de déposer en douceur sur la Lune une sonde munie d'instruments permettant une exploration essentielle pour les futures phases. Ces investigations à partir de la sonde ou d'un véhicule seront orientées vers: le flux météoritique, le bruit sismique, les propriétés thermiques de la surface, la caractérisation du sol, une imagerie stéréoscopique, une mesure des gaz et des particules de poussière en



suspension, une mesure du fond de ciel dans tout le domaine spectral et finalement une mesure des doses de radiations. A cela s'ajoute un ensemble d'objectifs technologiques visant à démontrer le transport et l'alunissage d'une charge utile avec suffisamment de précision et d'assurance pour atteindre les exigences techniques et scientifiques de la mission, démontrer la capacité d'analyser l'environnement du site d'alunissage et la transmission des résultats vers la Terre, démontrer l'opérabilité d'une sonde dans différentes conditions, préparer et démontrer la capacité requise pour aborder la deuxième phase du programme, celle qui doit installer une présence permanente de robots sur la Lune et enfin démontrer et promouvoir les technologies avancées d'un intérêt particulier pour l'Europe. L'alunissage est prévu proche du pôle sud sur un site peu accidenté, favorable par son ensoleillement et pour les communications avec la Terre, mais permettant à un véhicule d'accéder à la zone d'ombre permanente du pôle avec pour objectif la recherche de la présence d'eau.

7. Conclusion

La proximité de la Lune et son environnement, la désigne comme une étape test qui devrait permettre à l'homme de développer la capacité nécessaire pour les voyages interplanétaires et l'exploration du système solaire. La Lune pourra servir de «planète modèle» en vue des futures missions vers Mars, au niveau des engins d'exploration, de l'environnement, des

systèmes de support vie, de la protection contre les radiations, des sources d'énergie, de la téléprésence et du contrôle en réalité virtuelle, des laboratoires à distance qui sont autant de domaines directement applicables à Mars. Mais la Lune ne devra pas seulement produire un ensemble d'outils sophistiqués au seul bénéfice d'une petite élite de spécialistes. Elle devra être accessible à tout le monde sur Terre quelque soit son niveau technique et non pas seulement aux astronautes qui auront la chance d'être sélectionnés un jour pour ces voyages. Le développement des systèmes de téléprésence et de réalité virtuelle devrait permettre d'atteindre cet objectif. Pour l'Europe, le programme lunaire est une vision à long terme qui peut servir de motivation pour accélérer les réalisations et les succès de ses activités spatiales dans divers secteurs comme la science, la propulsion, les télécommunications, la téléprésence et la haute technologie en générale. Cela nécessitera de développer de nouvelles méthodes de gestion et d'opération qui sont aussi des buts en soi. La Lune est l'enjeu du 21^e siècle. Elle devrait permettre d'affirmer une coopération internationale globale et stimuler pacifiquement une plus forte créativité scientifique et industrielle qui devrait nous conduire vers de nouvelles découvertes scientifiques et innovations technologiques, repoussant ainsi les limites de notre savoir et du savoir-faire.

DR. ST. BERTHET

Délégué suisse à l'Agence spatiale européenne
Office fédéral de l'éducation et de la science

Récapitulatif des missions Apollo

Mission/équipage ¹	Véhicule/date/durée	Mission/équipage ¹	Véhicule/date/durée
Apollo 7 W. M. Schirra, D. F. Eisele, R. W. Cunningham	Saturn IB du 11 au 22 oct. 1968 260h8m58s	Apollo 13 J. A. Lovell, J. L. Swigert, F. W. Haise	Saturn V du 11 au 17 avr. 1970 142h54m41s
<i>Premier essai du vaisseau avec équipage; premier essai du vaisseau amélioré; première utilisation des combinaisons Apollo; premières émissions télévisées en direct de l'espace.</i>		<i>A la suite d'une explosion dans le module de service, le module lunaire est utilisé comme «embarcation de sauvetage» pour le retour vers la Terre.</i>	
Apollo 8 F. Borman J. A. Lovell, W. A. Anders	Saturn V du 21 au 27 déc. 1968 147h00m42s	Apollo 14 A. B. Shepard, S. A. Roosa, E. D. Mitchell	Saturn V du 31 jan. au 9 fév. 1971 216h1m59s
<i>Premier vol habité ayant échappé à l'attraction terrestre; premier vol habité jusqu'à la Lune; premier lancement de Saturn V avec un équipage.</i>		<i>Premier alunissage d'un équipage dans une région montagneuse de la Lune; activités extravéhiculaires importantes sur la Lune.</i>	
Apollo 9 J. A. McDivitt D. R. Scott, R. L. Schweickart	Saturn V du 3 au 13 mars 1969 241h00m54s	Apollo 15 D. R. Scott, A. M. Worden, J. B. Irwin	Saturn V du 27 juill. au 7 août 1971 295h11m53s
<i>Premier vol du véhicule en configuration lunaire; première activité Apollo extravéhiculaire; premier arrimage actif du module lunaire.</i>		<i>Première exploration d'une zone montagneuse et d'une rainure lunaire; première utilisation du véhicule d'exploration; premier lancement d'un sous-satellite en orbite lunaire.</i>	
Apollo 10 T. P. Stafford J. W. Young, E. A. Cernan	Saturn V du 18 au 26 mai 1969 192h3m23s	Apollo 16 J. W. Young, T. K. Mattingly, C. M. Duke	Saturn V du 16 au 27 avr. 1972 265h51m5s
<i>Séparation et arrimage du module lunaire et du module de commande et de service en orbite lunaire; évaluation visuelle et photographique à basse altitude des sites d'alunissage possibles.</i>		<i>Exploration de montagnes lunaires et de la formation Cayley; première utilisation de la Lune comme laboratoire astronomique.</i>	
Apollo 11 N. A. Armstrong M. Collins, E. E. Aldrin	Saturn V du 16 au 24 juil 1969 195h18m35s	Apollo 17 E. A. Cernan, R. E. Evans, H. H. Schmitt	Saturn V du 7 au 19 déc. 1972 301h51m59s
<i>Premier alunissage d'un équipage et premières activités extravéhiculaires sur la Lune; première collecte d'échantillons du sol lunaire.</i>		<i>La plus longue des missions Apollo; plus long séjour sur la Lune; plus long temps cumulé d'activités extravéhiculaires sur la Lune; plus longue distance parcourue avec le véhicule d'exploration en une seule sortie; plus grande quantité d'échantillons lunaires rapportés; plus long temps en orbite lunaire; première participation d'un scientifique à une mission spatiale.</i>	
Apollo 12 C. C. Conrad, R. F. Gordon, A. L. Bean	Saturn V du 14 au 24 nov. 1969 244h36m25s		
<i>Alunissage de précision; premier déploiement d'instruments scientifiques importants; premier recueil d'éléments provenant d'une sonde spatiale (Surveyor-3)</i>			

¹Dans l'ordre: commandant de la mission, pilote du module de commande, pilote du module lunaire