A quoi peuvent servir l'astronautique et l'exploration spatiale?

Autor(en): **Hartmann, Georges**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Revue économique et sociale : bulletin de la Société d'Etudes Economiques et Sociales**

Band (Jahr): **31 (1973)**

Heft 2

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-137063

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

A quoi peuvent servir l'astronautique et l'exploration spatiale?

Georges Hartmann
Dr ès sciences économiques,
chargé de cours pour l'informatique
à l'Université de Fribourg,
Wabern

« Ce que sont les mondes extra-terrestres, ce qu'est exactement la vie terrestre elle-même, nous l'entrevoyons à peine... L'exploration du cosmos débute... et nous sommes, humanité, comme le jeune oiseau qui ne connaît que son nid et commence à s'élancer pour son premier vol autour de l'arbre natal. »

(Charles-Noël Martin, astrophysicien, 1970*)*

I. LES CONDITIONS DE DÉPART DE L'EXPLORATION SPATIALE

Depuis des millénaires, l'homme est obsédé par l'inconnu du cosmos. Par exemple, déjà Lucrèce, poète latin du Ier siècle avant notre ère, a pressenti, il y a vingt siècles, que « tout cet univers visible n'est pas unique dans la nature, et nous devons croire qu'il y a dans d'autres régions de l'espace, d'autres terres, d'autres êtres et d'autres hommes ».

« L'homme voulait voler, se déplacer instantanément d'un point à un autre, il voulait voir à distance, il voulait le don d'ubiquité, il voulait la puissance de la pensée sur les choses, il voulait la lune et les étoiles... *La technique a été fidèle au rendez-vous de l'anticipation* » [1].

Un voyage aux USA et aux centres spatiaux de la NASA rappelle inévitablement à l'historien, au géographe, à l'économiste, au sociologue que l'Européen, qui avait cantonné ses frontières pendant des millénaires autour de la Méditerranée, se déplaça dès le XVe siècle outre-Atlantique après que l'existence d'un Nouveau Monde lui eût été révélée successivement par Eric le Rouge vers l'an 1000, par Alonzo Sanchez en 1484, par Christophe Colomb en 1492, par Alvares Babral et Amerigo Vespucci en 1500, par Vasco de Balboa en 1513, par Magellan en 1519. Ceci démontre que *dans toute nation, les besoins économiques et la volonté de conquête se sont unies dans les grandes entreprises de colonisation.*

Et lorsqu'on revient d'une visite à l'un et l'autre des 18 centres spatiaux de la NASA [2], comme je l'ai fait, on ne peut s'empêcher de penser à tous ceux qui, depuis des siècles, ont préparé petit à petit les idées, les méthodes, les appareils, les essais pour la victoire moderne de l'homme sur la force de la pesanteur et dans les communications à grande distance (électronique, télémétrie, radio, TV, etc.). En effet, on ne peut s'empêcher de rappeler le souvenir des anticipations ou des réalisations de Bacon (XIIIe siècle), Léonard de Vinci

[1] P. DE LATIL: *Ainsi vivrons-nous demain*, Paris, 1958, p. 9 et 25.
[2] GEORGES HARTMANN: « Notes de voyage aux centres spatiaux de la NASA », *Civitas*, Lucerne, nº 4, décembre 1970, p. 308-322.

(xve siècle), Cyrano de Bergerac, Descartes, Galilée, Goodwin, Leibniz, Neper, Pascal, Schickard, Torricelli (xviie siècle), de Babbage, Kelvin, Newton, Swift, Voltaire (xviiie siècle), de Adler, d'Arlandes, Blanchard, Branly, Edison, Hertz, Jefferie, Lasswitz, Lilienthal, Marconi, Maxwell, des frères Mongolfier, Pilâtre de Rozier, Popoff, Tsiolkowski, Jules Verne, H. G. Wells (xixe siècle). On ne peut non plus se garder d'admirer les réalisations, au xxe siècle, de Blériot, Wernher von Braun, Vannevar Bush, Coxwell, Eckert, Failloubaz, Flammarion, Lee de Forest, Glaisher, Goddard, Howard Hughes, Legagneux, Lindbergh, Mauchley, Oberth, Piccard, Rodgers, Shannon, Turing, des frères Wright, de Wiener, Zuze et de tant d'autres.

Or, aujourd'hui, ainsi que l'écrivait dans le *Figaro*, à la veille de la mission Apollo 17, le philosophe René Poirier, membre de l'Institut, « c'est par le concours discipliné de dizaines de milliers de chercheurs et d'exécutants, dont beaucoup n'avaient sans doute pas de génie particulier, qu'a pu être réalisée cette entreprise étonnante. Ainsi collaborent les abeilles de la ruche ou les cellules du cerveau, et peut-être le comprendrons-nous mieux en nous référant à la construction de cette surprenante organisation de la NASA ». En effet, qu'est-ce que la NASA ? Aux USA, la recherche spatiale ayant été affectée par une concurrence évidente au niveau des activités militaires entre elles (marine, aviation, terre) et entre celles-ci et les initiatives privées, le président John-F. Kennedy, impatient de voir les USA rattraper l'URSS (qui avait déjà lancé deux Sputniks en un mois — oct./nov. 1957), influença largement la coordination nécessaire de toutes les activités spatiales sous l'égide d'une administration civile nationale de l'aéronautique, la « National Aeronautics and Space Administration » (NASA), créée le 1er octobre 1958 et consacrée entreprise nationale officielle avec son quartier général à Washington.

C'est en effet sur l'instigation de leurs trois présidents successifs (Kennedy, Johnson, Nixon) et pour des motifs divers que les USA ont voulu, *par l'expérience spatiale*:

— premièrement, *démontrer que l'homme est capable de naviguer dans un espace inconnu* et se poser sur des planètes dont il ignore en grande partie la véritable nature;

— deuxièmement, donner à l'*orgueil national* une raison de s'affirmer et assouvir un désir de revanche sur les Soviétiques qui avaient, les premiers, réussi les lancements du premier satellite artificiel (Sputnik 1, 1957) et du premier homme sur orbite terrestre (Gagarin, 1961);

— troisièmement, doter le pays d'une *puissante industrie spatiale* et viser, en sous-produit, une certaine *hégémonie militaire* dans ce domaine, doublée du besoin de sécurité nationale.

On résiste difficilement à la tentation d'établir malgré tout un rapprochement entre certains visionnaires des siècles passés et les astronautes américains ou soviétiques actuels; voici quatre déclarations aussi étonnantes que surprenantes:

« Un autre étage s'embrasait, puis un autre... La matière étant usée fit que l'artifice manqua... je sentis mon élévation continuer et ma machine prenant congé de moi, je la vis retomber vers la Terre. »

« En arrivant dans les couches supérieures de l'atmosphère terrestre, la sphère se mit à graviter selon une courbe à peu près parallèle à la surface de la Terre. La température commença immédiatement à s'élever... Enfin notre monde ne m'apparut plus sphérique mais plat... La mer s'élargissait... La sphère frappa la surface des flots avec un énorme éclabous-

sement... Finalement, je me trouvai flottant et balloté à la surface de la mer... Mon voyage dans l'espace était achevé. »

« A environ 300 mètres je regardai par le hublot et vis que nous étions près de l'eau... L'atterrissage fut dur... La capsule s'enfonça dans les flots et... se rétablit lentement dans la position droite. »

« Impact. Le choc fut violent. La capsule entra dans l'eau assez profondément pour que le périscope et le hublot soient submergés... Après avoir donné de la bande à droite et à gauche, l'engin se redressa. »

Ces quatre phrases, qu'on croirait énoncées par l'un ou l'autre des dizaines d'astronautes soviétiques et américains qui ont vécu l'expérience spatiale, ont été en réalité écrites, la première par Cyrano de Bergerac en 1648 [1], la deuxième par Wells en 1901 [2], la troisième par l'astronaute américain Shepard après le premier vol balistique du 5 mai 1961 [3] et la quatrième par l'astronaute américain Glenn au retour du premier vol orbital du 20 février 1962 [4]. *Quelle curieuse et étonnante similitude !* D'ailleurs, après son retour du premier survol de la Lune du 21 décembre 1962 (Apollo 8), l'astronaute américain Borman devait-il déclarer, en parlant de Jules Verne, que ce dernier « avait prévu tout à la fois la merveilleuse aventure que vient de connaître l'humanité et ses détails les plus précis ».

En 1973, le monde entier célébre le 500e anniversaire de la naissance du grand astronome polonais Nicolas Copernic (1473-1543) qui, jugeant tellement révolutionnaire sa découverte que la Terre était non pas le centre du monde mais une planète comme les autres, tournant autour du Soleil, n'osa pas la divulguer: elle ne fut connue qu'après sa mort. A cette occasion, les USA ont baptisé de son nom le satellite OAO-C (Orbiting Astronomical Observatory) qu'ils ont équipé de six télescopes et lancé en août 1972, opération ayant coûté 94,5 millions de dollars. Mais un anniversaire en amène d'autres. Trente et un an après la libération de l'énergie nucléaire (Chicago, 2 décembre 1942), l'*exploration spatiale mondiale commémore en 1973 encore d'autres événements* dont, parmi les plus marquants:

— le 16e anniversaire du lancement du premier satellite artificiel autour de la Terre à la vitesse de 7,9 km/sec., c'est-à-dire à 23,2 Mach (URSS, Sputnik 1, 4.10.57);
— le 14e anniversaire de la première photo de la face cachée de la Lune (URSS, 7.10.59) par Luna 3 qui avait été lancé à 11,2 km/sec. (32,8 Mach);
— le 12e anniversaire du premier homme sur orbite terrestre, Youri Gagarin (URSS, Wostok 1, 12.4.61);
— le 11e anniversaire de la première transmission de messages téléphoniques, radio et TV par ricochets hertziens dans l'espace entre les USA et l'Europe (Telstar, 11.7.62);
— le 8e anniversaire des 17 premières photos de Mars (USA, Mariner 4, 15.7.65);
— le 7e anniversaire du premier atterrissage en douceur d'un satellite terrestre sur la Lune et de la transmission des premières images TV du sol lunaire (URSS, Luna 9, 3.2.66);

---

[1] SAVINION DE CYRANO DE BERGERAC: *L'autre monde ou les Etats et Empires de la Lune*, Ed. sociales, Paris, 1968.
[2] H.-G. WELLS: *Les premiers hommes dans la Lune*, 1901, p. 204.
[3] *Le tour du monde en 80 minutes*, Hachette, Paris, 1962, p. 139.
[4] *Ibid.*, p. 205.

— le 4e anniversaire de l'atterrissage des deux premiers hommes sur la Lune, Armstrong et Aldrin (USA, Apollo 11, 20.7.69);

— le 3e anniversaire de la réception des premières informations scientifiques directement du sol de Vénus (URSS, Venera 7, août 1970);

— le 3e anniversaire de la récupération, par téléguidage et sans intervention directe de l'homme, d'échantillons d'un corps extra-terrestre, soit de 100 g de sable lunaire (URSS, Luna 16, septembre 1970).

Si la période 1960-1972 a été la décennie lunaire (26 missions spatiales pilotées américaines et 18 soviétiques), les années de 1973 à 1990 seront consacrées à l'exploration de Mars et de Vénus (plusieurs dizaines de millions de kilomètres), puis de l'environnement de Jupiter (778 millions de kilomètres), de Saturne, d'Uranus, de Neptune, de Pluton, ces dernières planètes se trouvant à plusieurs milliards de kilomètres de la Terre. Après la descente en douceur sur Vénus et Mars, entre 1960 et 1972, de sondes soviétiques et américaines ayant pu retransmettre automatiquement des informations scientifiques et même des photographies développées automatiquement, il y aura les *missions américaines «Skylab»* ou stations orbitales [1]. Ce programme prévoit trois longues rondes autour de la Terre dont la première (études psycho-physiologiques) a débuté *le 25 mai 1973* pour 28 jours avec les trois astronautes Conrad, Weitz et Kerwin, la deuxième (études astronomiques) le *8 août 1973* pour 56 jours avec Bean, Garriot et Lousma, la troisième (détection des ressources terrestres) le *9 novembre 1973* pendant 56 jours avec Pogue, Carr et Gibson avec rendez-vous chaque fois de trois astronautes avec l'atelier spatial lancé vide le 14 mai 1973, sur orbite terrestre. Le 15 juillet 1975 aura lieu, selon l'accord Nixon-Kossyguine de juin 1972, une rencontre et un vol orbital commun de trois astronautes américains (Stafford, Slayton, Brand) et de deux cosmonautes soviétiques pendant 48 heures. Puis, c'est alors que débutera *le 4 juillet 1976 l'opération « Viking Orbiter »* [2] *sur Mars* (estafette électronique pouvant s'adapter aux circonstances, recherche de preuves de l'existence de la vie, photos, prélèvements géologiques, analyses automatiques, retransmissions des résultats à la Terre). Et c'est *en 1980 que seront lancées des stations spatiales permanentes sur orbite terrestre* basse, reliées à la Terre par des navettes spatiales comme agents de liaison (construites par la North American Rockwell Corporation). Ces dernières, lancées comme des fusées, comporteront un premier étage propulseur à carburants solides (comparable à un Boeing B-747), qui pourra être utilisé au moins une dizaine de fois, et un deuxième étage, cabine quadriplace qui se propulsera ensuite à l'aide de carburants liquides (comparable à un DC-9), qui sera capable d'effectuer une centaine de vols aller et retour et d'atterrir comme un avion ordinaire (avec cabine pressurisée) [3]. Un quart des missions de la navette spatiale seront de caractère militaire et réalisées par le Département américain de la défense puisque l'équipement nécessaire de la base actuelle de lancement militaire de Vandenberg (Californie), évalué à 500 millions de dollars, sera pris en charge par le Pentagone. Les dossiers de la NASA contiennent encore un *projet pour 1986* si le Congrès américain vote le crédit nécessaire pour une douzaine d'années: 30 à 40 bil'ions de dollars; il s'agirait, avec *atterrissage sur Mars, d'une mission pilotée de trois hommes* pendant 590 jours (5 avril 1985-15 novembre 1986). On peut aussi évoquer Pioneer 10 lancé

[1] Préparées par le Marshall Space Flight Center de Huntsville (Alabama).
[2] Mise au point par le Centre spatial de Pasadena (Californie).
[3] Lancées des rampes de Cap Kennedy vers l'Est et des rampes de Vandenberg vers l'Ouest: premier vol sans équipage en 1976 déjà.

le 2 mars 1972 à plus de 29 km/sec. qui a dépassé l'orbite de Mars et passera relativement près de Jupiter (décembre 1973) et de Saturne (1975) avant de s'enfoncer toujours plus dans l'espace et d'atteindre le voisinage d'Uranus (1979) et celui de Neptune puis Pluton après 1984, son générateur nucléaire devant cesser de fonctionner vers 1982. Pioneer 11 suit le même chemin depuis avril 1973.

Alors que sur terre ferme l'homme ne peut, dans la mine la plus profonde, dépasser 2 km, alors que dans le Pacifique le bathyscaphe de la marine américaine « Trieste » ne peut descendre à plus de 12 km, le programme spatial Apollo a permis aux astronautes de s'éloigner de près de 380.000 km de la surface terrestre et de marcher sur la Lune. D'autres expériences *permettent à certains satellites de survivre très longtemps:* ainsi Vanguard 1 et 2 (1958 et 1959) transmettent encore des signaux et voyageront jusqu'en 2060, le satellite géodésique Transit 4-A (1961) transmettra des informations jusqu'en 2561 tandis que Syncom 3 et Early Bird continueront à tourner sur leur orbite autour de la Terre durant environ 10.000 ans; Pioneer 10 (1972) croisera l'orbite de Pluton après 1984 et quittera définitivement le système solaire, la NASA lui accordant une durée de vie d'environ 100 millions d'années.

Dans une dizaine d'années, plusieurs dizaines de milliers de satellites artificiels scientifiques, de télécommunications ou militaires, téléguidés ou pilotés tourneront autour de la Terre ou d'autres planètes. Si l'espace aérien classique est régi par la Convention (amendée) de Chicago, du 7 décembre 1944, l'espace cosmique est en train de faire l'objet, depuis 1957, d'*études sur la formation d'un droit cosmique* par l'Assemblée générale des Nations Unies, par son sous-comité juridique, par son sous-comité scientifique et technique pour les utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique et par certaines autres institutions de droit international [1].

Pour fixer les idées, il est peut-être utile de résumer les programmes de satellisation des diverses nations du monde (Allemagne fédérale, Chine, USA, France, Italie, Japon, Suède, URSS...) en quatre catégories principales:

— les satellites *de télécommunications*, dotés d'appareils de « réfléchissement des ondes » (p. ex. Echo, Telstar, Relay, Molnija, Syncom...);
— les satellites *de prospections scientifiques*, dotés d'appareils de mesure et de transmission automatique des observations enregistrées et des analyses physiques, chimiques, météorologiques, astronomiques, etc. (p. ex. Explorer, Luna, Pioneer, Tiros, Mars, Mariner, Vénus, Surveyor, Salyout);
— les satellites *militaires* inspecteurs ou destructeurs chargés, à raison d'un tour de la Terre toutes les 85 minutes, d'observer, de guetter, de contrôler, de photographier, d'enregistrer, de retransmettre toutes les constatations concernant le lancement de fusées et de missiles balistiques, les explosions nucléaires, les formations de troupes et les installations militaires au sol (p. ex. Samos, Midas, Cosmos, qui développent leurs clichés et les retransmettent par radio...);
— les satellites *pilotés par des hommes* et revenant sur terre après avoir accompli leurs missions (p. ex. les vaisseaux cosmiques des programmes américains Mercury, Gemini et Apollo et des générations soviétiques Wostok, Woshod et Soyuz).

---

[1] GEORGES HARTMANN: « Quelques aspects de l'exploitation spatiale: nécessité croissante d'une coopération internationale », *Bull. des transports internationaux par chemins de fer*, Berne, n° 9, septembre 1970, p. 137-141.

Dans la réalisation des lancements de tous les satellites, pour qu'ils puissent s'élever à la verticale et atteindre un milieu entièrement différent du milieu terrestre, l'homme a dû *imaginer de nouvelles formes de pensée, de calcul, d'action et inventer* de nouveaux engins, de nouveaux appareils, de nouveaux produits, développer de nouvelles professions, en un mot, procéder à une véritable révolution intellectuelle, scientifique, technique et industrielle. Tout programme spatial implique inévitablement des *conditions de départ sans lesquelles aucune mission n'est possible*, car il faut:

— avoir formé des élites scientifiques et des équipages aéronautiques;
— avoir développé une infrastructure technique et industrielle (industrie métallurgique avancée, industrie électronique d'avant-garde, construction de fusées, de vaisseaux spatiaux, de bases de lancement, etc.);
— connaître à fond les techniques les plus avancées de la cybernétique;
— dominer les problèmes d'équilibrage automatique;
— maîtriser les problèmes de combustion des propergols;
— et disposer d'un immense réseau mondial de poursuite et de contrôle des satellites sur leur trajectoire (radio, radars, télémétrie, TV) ainsi que d'une organisation minutieuse de récupération des satellites et des astronautes, capables de repérer et d'observer la position des engins à 1 m près et de contrôler leur trajectoire grâce à des stations de repérage transmettant en permanence leurs informations, selon les cas:
  — au Commandement de la défense aérienne nord-américain NORAD (l'équivalent du système suisse FLORIDA);
  — ou au Goddard Space Flyght Center de la NASA à Green Belt (Maryland);
  — ou au Centre de défense spatial de Colorado Springs; par exemple ce centre suit dans l'espace la marche de chaque engin lancé de la Terre, quelle que soit sa nationalité: ce qu'il est, où il était auparavant, où il est, où il va, jusqu'au moment de sa mort spatiale (désintégration, atterrissage, amerrissage, disparition dans la galaxie). Ce centre reçoit environ 100 000 relevés de repérage par jour et les traite par ordinateurs électroniques [1].

Si elles sont une véritable école d'organisation en raison de la planification extrêmement précise de toute cette immense machinerie, depuis la commande, les essais, la fabrication et la livraison de tous les équipements et de toutes les installations nécessaires, *la NASA, l'astronautique et l'exploration spatiale sont aussi des éléments moteurs, stimulateurs et accélérateurs de la science, de la technique, de l'économie.* Aussi, après avoir relaté ici les expériences spatiales les plus marquantes, passées et futures, n'est-il pas inutile de souligner le rôle encore peu spectaculaire et souvent mis en doute de certaines conséquences pratiques déjà acquises par l'exploration spatiale dans une quinzaine de domaines.

II. CERTAINES CONSÉQUENCES PRATIQUES DÉJÀ ACQUISES GRÂCE À L'EXPLORATION SPATIALE

Si les lancements de satellites artificiels trouvent une justification originelle dans la sécurité militaire et dans le prestige national de quelques rares nations au monde, ainsi que dans leur développement industriel et l'avance de la science en général, il est difficile de dissocier les unes des autres toutes les considérations en jeu. Cependant, la panoplie des

[1] GEORGES HARTMANN: « Pas d'exploration spatiale sans cybernétique et sans ordinateurs électroniques », *Revue Internationale de Cybernétique*, Namur, n° 1, 1972, p. 5-25.

résultats directement ou indirectement acquis par l'exploration spatiale comporte déjà un certain nombre de découvertes scientifiques, d'applications économiques et d'impacts sociaux.

— 1. Sur le plan *scientifique pur,* l'étude de l'espace est axée sur la recherche d'informations nouvelles concernant l'origine de l'Univers et du système solaire et, partant, de celle de notre Terre et de sa localisation dans le système solaire. Les études et analyses tant du sol et de l'environnement de la Lune, de Mars, de Vénus, etc. que des radiations cosmiques auxquelles toutes les planètes du Soleil sont soumises participent à cette recherche scientifique grandiose.

Des recherches sont poussées dans le domaine des phénomènes physiques de la haute atmosphère (car certains rayonnements ne peuvent pas pénétrer l'écran de vapeur d'eau de l'atmosphère terrestre) grâce à des relevés et des analyses des:

- variations de la pression atmosphérique, des températures et de la composition de l'air selon l'altitude: par exemple les informations transmises par Mariner 5 ont confirmé l'existence d'une ionosphère vénusienne et d'une tranche d'hydrogène de 2900 km d'épaisseur;
- flux des impacts de minuscules météorites sur les parois des satellites, comme ce fut le cas avec Explorer 8;
- des rayonnements non ionisants du Soleil et réfléchis par la Terre (infrarouges, ultraviolets, hertziens) ou émis par la surface de la Terre;
- des radiations ionisantes telles que les:
  - rayons cosmiques (intragalactiques) et rayons X solaires;
  - protons solaires provenant d'éruptions ou taches produites dans la chromosphère du Soleil, qui ont la propriété de dévier les boussoles, de troubler les communications radio et de créer de graves difficultés dans la navigation maritime et aérienne;
  - protons et électrons emprisonnés dans le champ magnétique autour de la Terre (ceinture de Van Allen découverte par le satellite américain Explorer 1 en 1958); l'extension de la magnétosphère terrestre a pu ainsi être mesurée exactement grâce à Pioneer 8 (13 décembre 1967) alors qu'Explorer 10 (25 mars 1961) avait permis de constater que le champ magnétique de la Terre se fond dans celui du Soleil à une altitude de 64.000 km;
  - électrons de haute énergie libérés par l'explosion d'une bombe nucléaire à très haute altitude (anneau artificiel autour de la Terre, dit anneau Chapman-Stormer découvert par un satellite soviétique);
  - vents dits solaires qui se sont fait connaître au grand public depuis les alunissages lors des différentes missions Apollo réussies; depuis celle d'Apollo 14 (1971), il a été installé encore sur la surface lunaire des appareils de détection des particules chargées de l'environnement solaire;
  - électrons et protons des aurores boréales;
  - particules réfléchies par l'atmosphère des planètes;
  - radiations de fuite des anneaux géomagnétiques;
  - conditions de réflexion de la lumière solaire sur les planètes (albédo).

L'étude de tous ces rayonnements doit conduire à *mieux comprendre, pour en corriger autant que possible les effets néfastes*, comment ces radiations perturbent les conditions atmosphériques terrestres, les communications radiophoniques, les télécommunications, la navigation aérienne et maritime. Elle tend aussi à rechercher dans *quelle mesure ces rayonnements peuvent être utiles à l'astronomie et à la radioastronomie.*

Si des expériences scientifiques de navigation sont indispensables pour éprouver le matériel et les installations tant automatiques que non automatiques à terre et dans l'Espace, il est indispensable de procéder à de multiples répétitions de transmissions télémétriques et d'échanges de messages chiffrés ou oraux entre l'Espace et la Terre. Des investigations sont aussi entreprises dans des cas particuliers et isolés: par exemple lors de l'éclipse totale du Soleil du 7 mars 1970, qui a duré 203 secondes, les 33 missiles lancés de Wallops Ispland (Virginie) en même temps par la même fusée durent enregistrer, en liaison avec des avions et des bateaux, toutes les données possibles sur le phénomène et ses conséquences dans le domaine de la physique solaire, de la physique de la haute atmosphère et de la météorologie; ou bien, le satellite Mariner 6, lancé en 1969, et actuellement en orbite autour du Soleil, a permis de vérifier que la théorie de la relativité d'Einstein accuserait une marge d'erreur de 10 % (ondes radio émises par l'antenne de Goldstone et dont la vitesse de propagation aurait été ralentie lors de leur passage à proximité du Soleil).

— 2. L'exploration spatiale ayant aussi l'objectif de découvrir notre propre Terre par des moyens et des méthodes dont nous ne disposons pas au sol, il apparaît que les collections de photographies et d'informations recueillies au niveau de l'Espace intéressent déjà fortement la *géodésie* (Vanguard 1, Explorer 36, Cosmos 332 ont permis d'obtenir des précisions sur la forme de poire de la Terre, sur la distance exacte entre la Terre et la Lune), *la géologie et la minéralogie* (examen de la couleur et de la contexture des terrains, revêtement des sols, nature de la végétation); les irrégularités du mouvement des satellites sur leur orbite révèlent les constituants du sous-sol terrestre parce que la force d'attraction de la Terre accuse des écarts selon les roches contenues dans l'écorce terrestre. Ces observations ont finalement des incidences sur l'économie et l'industrie. Ainsi, les appareils électromagnétiques et gravimétriques de certains satellites ont fait *découvrir des gisements* de nickel dans le Manitoba (Canada), du minerai de fer dans l'Ontario. Vue de l'Espace, la Terre fait mieux connaître son véritable relief et les géologues espèrent pouvoir comprendre comment la croûte terrestre s'est formée, comment les continents se sont modifiés. Grâce aux photographies en couleurs, les cartes géologiques de la Terre ont déjà été corrigées. Grâce à la méthode d'analyse par alpha-activation tous les éléments légers, sauf l'hydrogène, l'hélium et le lithium, sont décelables à distance grâce à un appareil dont était équipé par exemple Surveyor 6 qui a aluni à l'aveuglette en novembre 1966. Comme cela avait déjà été le cas lors des missions précédentes, Apollo 17 largua, au retour, son module lunaire LEM sur la Lune et les vibrations occasionnées par sa percussion, enregistrées par les sismographes déposés antérieurement sur le sol lunaire, puis retransmises par radio à la Terre, durèrent environ 1 heure alors que sur la Terre elles auraient cessé déjà après 5-6 minutes.

Les physiciens, qui ont compris les forces électromagnétiques et les énergies nucléaires, sont encore dans l'incompréhension des forces gravitationnelles. Aussi, pour ne citer que la dernière mission Apollo 17, lors de l'auscultation par ondes hertziennes depuis la capsule spatiale, à 128 km d'altitude, des structures du sol lunaire jusqu'à 1300 m de profondeur, le radar mis au point par RCA, l'enregistreur optique construit par Goodyear comme

aussi le système de sondage radio-électrique à partir du sol, élaboré par le MIT, ne vont-ils pas être tous des promoteurs de la construction de nouveaux instruments et de *nouvelles méthodes de prospection géologique terrestre*? Peut-être en sera-t-il de même pour le radiomètre infrarouge à balayage qui photographiait la chaleur du sol lunaire ou le spectromètre analysant les traces de gaz ou le gravimètre de surface et de profondeur? Ou encore pour les magnétomètres, les caméras tant photogrammétriques (distinguant des objets de 20 m) que panoramiques (distinguant des objets de 2 m), les détecteurs sismographiques et les réflecteurs laser qui permettraient, selon la NASA, de déceler la moindre modification du niveau de la croûte terrestre et par conséquent de *mieux comprendre le mécanisme des secousses telluriques et peut-être même de les prévoir avec une avance appréciable.*

Et que dire du satellite polyvalent EARTS 1 (Earth Ressource Technology Satellite), fabriqué par la General Electric au prix de 87 millions de dollars et lancé de la base de Vandenberg le 23 juillet 1972? Des milliers de savants attendent les centaines de millions d'enregistrements que font ses spectromètres, ses radiomètres, ses caméras (images dix fois meilleures que celles de la TV) pour détecter toutes les ressources de la Terre: non seulement chargé *d'établir une cartographie nouvelle et cette fois complète de la Terre*, EARTS 1, satellite à infrarouges, apparaît précisément comme un véritable *télédétecteur des ressources minérales souterraines* solides, liquides et gazeuses encore inconnues, des éruptions volcaniques imminentes, de la présence de failles et de fractures qu'on ne peut absolument pas observer autrement et qui sont des lignes préférentielles pour le cheminement des eaux souterraines, etc.

— 3. Comme d'autres satellites antérieurs, mais de façon plus continue et plus précise, EARTS 1 opérera des relevés *hydrologiques et glaciologiques* extrêmement *utiles tant à la science qu'à la production d'énergie électrique* (repérage et photographie des champs de neige, du recul des glaciers, etc.) ou aux bateaux brise-glace dont il évitera des déplacements et des dépenses inutiles en les informant sur les dislocations de la banquise.

— 4. L'Espace devient aussi un instrument essentiel *de l'océanographie et de l'exploitation des ressources de la mer.* Avec d'autres satellites, EARTS 1 y intervient efficacement: selon les filtres employés (verts, rouges ou capteurs infrarouges) on obtient des photographies sur la profondeur des océans ou des images découpées du littoral, des courants marins comme aussi des résultats sur les températures, des repères de bancs de poissons: les pêcheurs sont déjà guidés par des signaux émis par le satellite Nimbus 3 lancé le 14 avril 1969. Il n'est pas exclu que soit créé une fois un organisme commun NASA/Agriculture/Commerce pour l'exploitation de toutes ces méthodes au profit de tous les pays du monde. L'exploration spatiale apporte encore des éléments aux travaux de détection des icebergs et des bouées, *contribuant ainsi aux activités économiques de la pêche et de la navigation maritime.*

— 5. *L'agronomie et l'agriculture* bénéficient largement du fruit des observations des satellites d'application et en particulier d'EARTS 1 d'ailleurs suivi du lancement, en 1973, d'EARTS 2 aux expériences duquel *participeront cette fois aussi des savants suisses.* Dans le secteur agricole il faut relever en particulier:

— la différenciation des zones de végétation saines de celles qui ne le sont pas (parce qu'elles sont ravagées par les insectes ou les maladies) ainsi que le stade de maturité des récoltes, grâce à des caméras couleurs photographiant à l'infrarouge, la détection des incendies de forêts, etc.);

— les propriétés fertilisantes de la carotte prélevée en profondeur dans le sol lunaire par l'équipage d'Apollo;

— les possibilités nouvelles, et déjà éprouvées, de cultiver des plantes rigoureusement aseptiques (lors d'expériences sur les maladies des plantes) s'inspirant des techniques de décontamination qui ont assuré l'efficacité de la quarantaine appliquée aux hommes et aux matériaux après le retour d'Apollo 11.

Il a été estimé aux USA que, grâce aux informations du satellite écologique ERTS 1, *une réduction de 1 % seulement des pertes causées aux cultures par les maladies des plantes correspond à une économie de 75 millions de dollars.* On espère que cette réduction atteindra 2 %. Et selon les estimations communes de la NASA, de l'Académie des sciences des USA, de l'Université Cornell, de la General Electric et de Westinghouse, les économies dues à ERTS 1 atteindront aux USA des dizaines de millions de dollars pour des régions limitées *et des dizaines de milliards de dollars pour des territoires plus vastes.*

Il est aussi intéressant de relever que: d'une part, en septembre 1971, à Rome, un rapport de spécialistes de la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) a recommandé l'étude de la surface de la Terre depuis un satellite ou un avion pour faciliter l'expansion de la production agricole et notamment *découvrir des plantations illégales de marijuana*; d'autre part, en juin 1972, à Stockholm, la Conférence des Nations Unies sur l'environnement a développé un système international d'inventorisation et d'observation par satellite ou par avion pour *contrôler à tout instant l'état des zones forestières du monde entier.*

— 6. Dans le domaine de la *zoologie* également, l'étude des migrations animales et *l'aide aux espèces en danger de disparition* sont grandement facilitées par l'exploration spatiale: par exemple, depuis le 1er avril 1970, une expérience écologique patronée par la NASA, le Ministère de l'intérieur et l'Institut Smithsonian permet de percer le mystère des habitudes migratoires de certains grands animaux; un élan femelle, choisi dans un troupeau de sept mille bêtes du Refuge national de l'Etat de Wyoming est équipé d'un « collier électronique » étanche, antichoc (émetteur-récepteur, batterie et cellules solaires, antenne). Des impulsions électroniques traduisant la température ambiante, l'intensité de la lumière, la température de la peau de l'animal, l'altitude du lieu où il se trouve, sont lancées deux fois par jour, à midi et à minuit, et enregistrées par le satellite météorologique Nimbus 3 qui effectue des comparaisons avec une autre série d'interrogations faites deux à trois minutes plus tard puis transmises au Centre spatial Goddard, à Green Belt (Maryland). Une autre expérience intéressante: le zoologue Archie Carr, professeur à l'Université de Floride, a équipé aussi quelques tortues vertes d'un appareil émetteur dont les signaux radio peuvent être captés par un satellite qui révèle ensuite l'itinéraire et les repaires encore secrets de ces tortues qui effectuent en haute mer des voyages de 2000 km. On détecte aussi par satellite les migrations de certaines larves de crustacés.

— 7. « L'univers est pour l'astrophysicien un laboratoire prodigieux où se trouvent réalisées des conditions physiques qu'on ne peut approcher sur Terre qu'au prix d'énormes difficultés... Les progrès de l'astronautique enrichiront les autres sciences qui, à leur tour, *feront progresser l'astronomie.* De telles études doivent servir l'espèce humaine; elles pourraient aussi être employées de façon nuisible. C'est aux hommes qu'il appartient de choisir et d'imposer le juste usage des moyens prodigieux que la science met maintenant à leur disposition. » Ainsi s'exprimait déjà en 1961 Evry Schatzman, astrophysicien et professeur

d'astronautique à la Faculté des sciences de Paris. En effet, les expériences spatiales ouvrent la voie à une nouvelle astronomie qui conduira peut-être à une revision de certaines de nos conceptions sur l'évolution de l'Univers, telle que nous l'avons imaginée depuis la Terre même avec nos télescopes les plus grands: par exemple les satellites observatoires astronomiques apportent aux astronomes et aux astrophysiciens plus de renseignements que dix ou quinze ans de recherches avec des fusées-sondes. Les savants comptent pouvoir construire sur la Lune des observatoires astronomiques fixes que ne gêneront plus les nombreux rayonnements interceptés par l'atmosphère terrestre opaque à leur pénétration jusqu'à la Terre. Bien plus, si la Maison Blanche et le Congrès américain approuvent le projet (plusieurs centaines de millions de dollars), la NASA espère placer sur orbite terrestre, aussi en 1980, au moyen d'une navette spatiale, un télescope de 10 t ayant une lentille de 2,13 m de diamètre capable d'explorer l'Univers (dont nous sommes moins qu'un grain de poussière anonyme, ne l'oublions pas) et de distinguer des galaxies, ou amas d'étoiles, cent fois moins brillantes que les cent millions de galaxies plus ou moins géantes, plus ou moins lumineuses, plus ou moins pulsantes, que peuvent repérer actuellement les plus puissants observatoires terrestres (notre galaxie comprenant environ trente milliards de systèmes solaires).

« L'humanité, ne possédant sur l'univers qu'un petit nombre de lucarnes qui sont nos sens, ainsi que l'a écrit Maurice Renard dans son roman *Le Péril bleu*, n'aperçoit de lui qu'un recoin dérisoire. » Nous en trouvons une confirmation supplémentaire dans les 7329 photos prises de Mars par Mariner 9 en 1972, qui ont fourni davantage d'informations que trois siècles d'observations au télescope [1]. « Le moment approche où la nature des corps célestes pourra être étudiée directement, d'abord au moyen d'engins automatiques, puis par l'homme lui-même. Il est bon, en conséquence, que celui-ci se tienne prêt à rencontrer de nouvelles formes de vie » [2]. Et « le jour où nous découvrirons la vie ailleurs que sur le globe terrestre la grande question de la vie s'éclairera d'une lumière prodigieusement émouvante » [3].

— 8. L'Espace devient aussi pour le biologiste un vaste laboratoire. Une autre bénéficiaire de l'astronautique est la *médecine* grâce au transfert de la technologie de la recherche spatiale à la science médicale ainsi qu'aux progrès réalisés pour mieux connaître l'homme bien portant dans son milieu terrestre et hors de son cadre naturel.

Pour le corps humain, sensibilisé par la pesanteur et mal adapté à la vitesse, l'Espace ne commence pas à 80 km d'altitude (espace météorologique) mais déjà à 15 km environ au-dessus de la Terre où apparaît le danger de mort par manque d'oxygène, alors que ce n'est qu'à 18 km environ que les fluides du corps humain se vaporisent et à 40 km que les rayons cosmiques primaires deviennent mortels. Jusqu'à ce que le premier homme ait réussi à marcher sur la Lune le 20 juillet 1969 à 21 h. 59, que d'expériences biologiques ont dû être entreprises! Les risques encourus étaient nombreux. La quantité d'énergie que les radiations sont susceptibles de perdre dans la traversée des tissus vivants des astronautes, ou des animaux et des végétaux les accompagnant, le risque du processus néoplasique (type de leucémie), les actions des champs magnétiques élevés sur l'homme (générales, locales, visuelles, gustatives...), les effets physiologiques de l'absence de pesanteur, la tolé-

[1] Mariner 9, lancé sur orbite martienne le 14 novembre 1971, dont les expériences serviront les missions Skylab, est devenu un satellite passif qui s'écrasera sur Mars en l'an 2022.
[2] G.-V. Petrovitch: « Les navires cosmiques satellites de la Terre », *Impact*, Paris, n° 2/1961, p. 116.
[3] Ch.-N. Martin: *Les vingt sens de l'homme devant l'inconnu*, Gallimard, Paris, 1958, p. 129.

rance de l'organisme humain à l'accélération et à la décélération de la fusée porteuse sont, parmi d'autres, *certains tests indispensables des vols spatiaux*. Par exemple, tandis que les muscles résistent le mieux, les tissus durs, comme les os, ne supportent les accélérations que jusqu'à une certaine limite, au-delà de laquelle ils casseront. Dans des accélérations supérieures à 1 seconde, le tissu fluide, le sang, se déplace vers les régions inférieures du corps entraînant, par suite de la diminution de l'irrigation sanguine dans le cerveau, des déficiences visuelles et cérébrales selon le processus « voile gris » (brouillard), « voile noir » (aveugle), « perte de connaissance », à moins que dans le cas contraire, une accumulation de sang dans la tête ne provoque des douleurs intolérables, le « voile rouge » (perte de la vision) et la « perte de connaissance ». En 1 seconde, l'organisme humain peut supporter une accélération de 12 fois ou une décélération de 7,5 fois la force de pesanteur terrestre: c'est pourquoi la position des astronautes dans les cabines des satellites est prévue en fonction de ces constatations: couchée ou semi-couchée sur le dos. Dans la position couchée, où le champ de pesanteur est perpendiculaire à l'axe longitudinal du corps, l'accumulation du sang dans l'abdomen et dans les membres inférieurs ne se produit pas et la pression carotidienne reste normale. Mais, en revanche, le déséquilibre humoral qui affecte transversalement le corps doit être combattu par le port de vêtements agissant par compression de certaines parties du corps. Tous ces problèmes sont si graves que, lors du retour à la station debout au sol, le cœur doit se réadapter à la surcharge provoquée par la colonne sanguine céphalique, ce qui entraîne généralement des troubles passagers: l'astronaute américain Shirra a présenté un véritable état syncopal; le cosmonaute soviétique Nikolaiev a dû rester couché une dizaine de jours.

La pesanteur ou son absence ne joue qu'un rôle secondaire dans tous les processus réflexes de déglutition, de digestion et d'excrétion. En revanche, les bruits et les vibrations, très variables suivant les différentes phases du vol spatial, ont une influence plus marquée sur le corps humain selon son orientation par rapport au sens de la propagation des ondes; aussi les nausées, les hémorragies intestinales, la perte temporaire de l'acuité auditive et visuelle, notamment de la perception des couleurs, les douleurs précordiales du cœur peuvent conduire à des difficultés de lecture des indications du tableau de bord au moment du passage du mur du son. On comprend dès lors pourquoi les astronautes sont maintenus en orbite le plus longtemps possible et pourquoi les pilotes américains de Gemini 7 ont passé 13 jours dans l'espace en décembre 1965 et les pilotes soviétiques de Soyouz 9, 17 jours en juin 1970.

En revanche, une révélation des vols spatiaux a été que l'apesanteur améliore la vue de l'homme: Gordon Cooper d'abord, puis Edward White voyaient mieux le sol (camion sur une route, sillages de bateaux sur l'eau) depuis leur satellite que depuis un avion volant à 13.000 m, tous les tests entrepris dans la suite sur ce point ont confirmé la révélation des aviateurs-astronautes.

Tous les travaux des laboratoires de recherches médicales de la NASA se révéleront extrêmement bénéfiques pour l'humanité. Afin de maintenir scrupuleusement à jour le « profil biologique » de chaque astronaute, à leur retour des vols spatiaux, des prélèvements et des tests complètent les informations télémétriques qui ont déjà été enregistrées à distance pendant les vols.

Les séjours dans l'Espace se traduisent par un nouveau régime de distribution du sang dans le corps, une désorientation du système musculaire, une décalcification des os et une déminéralisation du squelette qui ne sont plus soumis, comme sur Terre, à des pressions

permanentes qui leur valent des charges électriques: une journée passée dans l'Espace est pour le squelette l'équivalent d'une semaine au lit parce qu'il est dispensé de toute réaction et libéré de toute charge électrique.

Le matériel miniaturisé mis au point pour la construction des engins spatiaux et des appareils de contrôle médical à distance des astronautes *va rejaillir dans le domaine de l'électronique médicale terrestre.* Par exemple, des analyseurs de sang, des stimulateurs cardiaques, des sacoches médicales portatives (permettant en 2 minutes de faire connaître la tension artérielle, la température, le rythme respiratoire, le degré de sudation, l'électrocardiogramme, l'électro-encéphalogramme d'un blessé), des blocs opératoires pour ambulances permettant des interventions chirurgicales sur place, des appareils de surveillance à distance des malades graves dans les salles d'hôpital grâce à des capteurs. Tous ces appareils dérivent des installations expérimentées sur les astronautes avant, pendant (radiotélémesures) et après les voyages spatiaux et contribuent déjà à sauver des vies ou à améliorer la santé humaine. Des *malades cardiaques* peuvent être désormais surveillés à distance par leur médecin, aussi bien à domicile ou en clinique que dans la rue, grâce à un petit appareil de la grandeur d'une boîte de cigarettes, qui, fixé à la jambe du malade, communique à distance trois renseignements concernant le cœur, deux sur la température et une autre information sur la pression sanguine. Dans de nombreux hôpitaux de telles indications télétransmises sont centralisées dans une installation électronique programmée, qui est chargée de les enregistrer, de les surveiller en permanence et de déclencher l'alarme et d'attirer l'attention du personnel médical dans les cas où les indications atteignent une valeur limite dangereuse.

Les recherches sur la protection de l'organisme humain contre le froid dans l'Espace améliorent déjà les possibilités de secours en haute montagne ou dans les zones polaires.

Le véhicule lunaire Lunartic, qui a été prévu pour les déplacements sur la Lune au moyen de huit grandes béquilles, a aussi été adapté, en petit, *pour aider des infirmes* à franchir les différences de niveau dans la rue, se déplacer dans la rue, gravir des escaliers.

Bien plus fantastique encore, l'appareil (cellules photo-électriques, amplificateur à transistors, sensibilisateur réglable) conçu à l'origine pour des astronautes ne pouvant mouvoir ni leurs bras ni leurs jambes pendant les fortes accélérations de vitesse, a été incorporé à des branches de lunettes que les infirmes privés de mains ou de bras ou de jambes pourront désormais utiliser; simplement par des mouvements volontaires des globes oculaires, ils pourront actionner ou fermer un commutateur de lumière, de cuisinière électrique, de radio, de TV, ou composer un numéro de téléphone, même commander une machine à tourner les pages d'un livre, ou diriger un fauteuil roulant à moteur.

Les 120 caractères enregistrés à la seconde sur la bande magnétique d'un ordinateur électronique peuvent désormais être transcrits en alphabet Braille grâce à l'obligation dans laquelle s'est trouvée la Société Boeing d'inventer un tel procédé pour le *programmeur aveugle* qu'elle avait engagé lors de la réalisation du programme Saturne V.

Les salles d'opération de certains hôpitaux profitent déjà des techniques mises au point pour la construction de satellites biologiquement stériles grâce à un rideau d'air isolant les bancs de montage et d'essais. Les casques des astronautes américains servent maintenant de modèles comme inhalateurs pour les enfants atteints de troubles de la respiration tandis que les casques des cosmonautes soviétiques ont permis de perfectionner un nouveau procédé d'électro-encéphalographie chez les enfants schizophrènes ou somnambules.

Et grâce à l'astronautique, les laboratoires pharmaceutiques sont évidemment à même de compléter leur *panoplie toujours plus étendue de médicaments*: par exemple, de nouveaux composés à base d'hydrazine (combustible spatial) sont envisagés dans le traitement de la tuberculose et de certaines maladies mentales.

— 9. Tout le monde sait que les moteurs, les appareils scientifiques ainsi que les émetteurs et récepteurs radio et TV à bord des satellites ou déposés sur une planète ont besoin d'énergie de façon continue ou discontinue selon les cas. Ainsi, le programme de *fourniture d'électricité* dans l'Espace a conduit à l'emploi de plusieurs sources d'énergie:

— les piles solaires ou photo-piles sont constituées par des panneaux de photo-cellules exposées au rayonnement du Soleil: par exemple, tous les satellites de communications sont équipés de cette manière; dans certaines villes des USA, les drugstores vendent déjà pour 1 dollar des piles solaires qui, reliées au circuit électrique des appartements, éteignent automatiquement les lumières dès que le jour se lève;[1]

— les batteries chimiques débitent en vase clos une énergie qu'elles ont emmagasinée au préalable: les Luna soviétiques auraient été dotés de telles batteries;

— les piles à combustibles avec réservoirs d'oxygène et d'hydrogène maintenus à très basse température: l'odyssée d'Apollo 13, en avril 1970, a fait connaître au monde entier ce type de pile dont l'intérêt primordial réside, lors de la combinaison oxygène-hydrogène, dans la production d'eau pure et d'électricité sans résidus nocifs: autrement dit, d'une pierre deux coups! Générateur coûteux, la pile à combustible n'a trouvé d'emploi jusqu'à présent que dans les vols spatiaux; cependant, les chercheurs de la société suédoise Alsthom s'engagent dans une voie qui débouchera sur des réalisations industrielles. Une entreprise américaine a déjà développé un type de voiture automobile propulsée par un moteur utilisant du carbure d'hydrogène et de l'air;

— les générateurs radio-isotopiques, dont le principe consiste à exploiter l'énergie libérée par les corps radio-actifs, par les particules émises par des corps radio-isotopiques (sous-produits de l'industrie atomique), sont montés en général sur des satellites scientifiques. Ces générateurs sont dénommés SNAP impairs (System by Nuclear Assistant Power). La marine américaine a lancé le 29 juin 1961 un satellite d'aide à la navigation Transit 4-B dont les appareils de bord sont alimentés par une batterie radio-isotopique ayant la dimension d'une orange et pesant 2 kg et qui débite la même quantité d'énergie qu'un ensemble d'accumulateurs qui pèseraient 1 t! Un satellite expérimental a été mis sur orbite le 3 avril 1965 et la mise en marche de son générateur radio-isotopique a été télécommandée le lendemain seulement à des fins d'étude du comportement d'une telle pile dans l'espace. Les divers instruments composant l'ALSEP (Apollo Lunar Surface Experiments Package), soit un analyseur de particules solaires, un enregistreur de température du sol, un sismographe et deux mesureurs de poussières et de gaz, que les astronautes américains ont, depuis Apollo 14, déposés sur le sol lunaire, sont alimentés par un nouveau générateur thermonucléaire.

Enfin, telle ou telle de ces sources d'énergie, selon les latitudes, les climats, les pays et les conditions locales, *participe déjà sur terre, dans les airs et sous les eaux, à des réalisations pratiques*: véhicules à moteur, diminution de la pollution de l'atmosphère, télémesure médicale, prothèses, phares, stations météo, relais téléphoniques, oléoducs, puits de pétrole, sous-marins, appareils de navigation.

---

[1] La station orbitale Skylab (1973) est dotée d'un panneau de 312 000 cellules solaires (219 m²) et d'un autre de 41 000 cellules (112 m²).

Et aussi les réussites de pressurisation et de climatisation dans les cabines spatiales ne se limitent plus à l'Espace: elles apparaissent au niveau des applications pratiques dans l'aviation, dans les immeubles locatifs, dans les bureaux, dans les hôpitaux, salles de concert, de théâtre, cinémas.

— 10. Déjà en 1946, c'est-à-dire onze ans avant le lancement du premier satellite artificiel (Sputnik 1, 1957), le savant Arthur C. Clark, président de la Société interplanétaire britannique, avait proposé de *créer des relais artificiels dans l'Espace pour les télécommunications mondiales de l'avenir.*

Les télécommunications devant être comprises dans un sens large, les satellites proprement dits de télécommunications d'un point à un autre point de la Terre sont maintenant complétés par les satellites de télécommunications capables de recevoir des ordres d'un point terrestre et de transmettre les résultats de leurs observations d'un point déterminé de l'Espace extra-atmosphérique à un point terrestre donné: dans les deux catégories, il en est de militaires (p. ex. IDCSP) et de commerciaux. Mais pourquoi des satellites de télécommunications ?

Les relations humaines exigent un volume toujours croissant de communications téléphoniques, télégraphiques, radiophoniques de TV, *auquel les installations* de radio à haute fréquence et les réseaux de câbles sous-marins *ne peuvent plus répondre*; seules les ondes hertziennes courtes permettent d'acheminer un grand nombre de communications. Or, ces ondes courtes peuvent cheminer non pas le long de la rotondité de la Terre, mais en ligne droite: si un message est envoyé en direction d'un satellite de télécommunications sur orbite, celui-ci le réfléchit vers une station réceptrice terrestre se trouvant à des dizaines de milliers de kilomètres.

Grâce aux satellites de télécommunications il est devenu possible de faire face à tous les besoins et même d'abaisser les tarifs. Le premier essai élémentaire a été réalisé avec le satellite Score (18 décembre 1958) et le *premier satellite de télécommunications dans l'Espace fut Explorer* 6 *(7 août* 1959*)*; quant au premier envoi avec succès de satellite de télécommunications à très longues distances dans l'Espace, il fut réalisé avec Luna 3 (4 octobre 1959) qui transmit automatiquement trois jours plus tard les premières photos de la face cachée de la Lune. C'est ensuite grâce à Echo 1 qu'eut lieu le 18 août 1960 la première liaison transatlantique entre Holmdel (New-Jersey) et Issy-les-Moulineaux (France).

Mais le véritable satellite de télécommunications terrestres fut Courier I-B lancé le 4 octobre 1960 par l'armée américaine: il recevait des messages en passant au-dessus de certains points terrestres, les enregistrait sur bande magnétique et réémettait ces mêmes messages amplifiés en passant au-dessus d'un autre point de réception terrestre.

Puis, après les expérimentations de Telstar (Bell-ATT), qui relia dès le 11 juillet 1962 les deux Amériques ainsi que les USA et l'Europe, et de Relay (RCA), tous deux des satellites non stabilisés à passage rapide dans le ciel (½ heure), la NASA lança un satellite stationnaire de 24 heures Syncom (Hughes) qui fut le premier à tourner autour de la Terre à la même vitesse qu'elle, c'est-à-dire un engin pouvant être vu en permanence par des observateurs situés en deux points terrestres fort éloignés. Contrairement aux précédents, sauf Courier B (satellites passifs réfléchissant les ondes comme un miroir), les Syncoms ouvrirent dès 1963 l'ère des *satellites actifs emportant* des relais, des amplificateurs, des récepteurs, des réémetteurs des messages reçus.

D'ailleurs, le satellite américain Vanguard 1 (17.3.1958) a transmis pendant six ans les informations qu'il avait au préalable détectées sur la grosseur et la forme de la Terre puis enregistrées automatiquement sur bande magnétique; en juin 1970 la mission du satellite soviétique Soyouz 9, pendant dix-sept jours sur orbite, devait aussi permettre de perfectionner le système de télécommunications entre l'Espace et la Terre. Il est en effet intéressant et passionnant de pouvoir recevoir et examiner dans son laboratoire ou chez soi des photographies de la Terre prises à quelques centaines de kilomètres de hauteur et de recevoir des images identiques enregistrées au même instant quelque part dans le monde ou dans l'Espace.

Quant aux satellites de télécommunications assurant les liaisons entre les postes de commandement et les troupes en opération (Grande-Bretagne et bases d'outre-mer, USA et Vietnam), qu'il suffise de mentionner qu'une fusée Titan III a procédé le 18 janvier 1967 au premier lancement simultané de huit satellites pour assurer les liaisons entre le Pentagone à Washington et le Haut-Commandement au Vietnam. En Europe aussi, sur décision des ministres de la Défense de l'OTAN, ont été lancés en mars et en juin 1970 OTAN 1 et OTAN 2 pour transmettre des liaisons phoniques ou des textes écrits et compléter le réseau actuel de télétypes.

A l'époque actuelle, où les problèmes sont planétaires, l'établissement d'un réseau mondial de télécommunications et de télévision est devenu de plus en plus nécessaire. Déjà en octobre 1960 le premier satellite américain de télécommunications Courier I-B avait révélé que des radiocommunications à l'échelle mondiale seraient possibles sans limitation de distance au moyen de trois satellites seulement. Or, quelques jours avant que l'URSS eût inauguré son système Orbita en lançant le 23 4. 65 son premier satellite de télécommunication Molnya, *les sociétés Comsat* (Communication Satellite Corporation) *et Intelsat* (Organisation internationale de communications spatiales) commencèrent à fournir *(aujourd'hui 83 pays membres, dont la Suisse)* de *véritables modèles de services publics internationaux de communications* par satellites artificiels dont le premier fut, dès le 6 avril 1965, Early Bird (ou Intelsat-I) avec, dans les deux sens, 240 canaux téléphoniques qui avaient doublé, à l'époque, la capacité des quatre câbles sous-marins transatlantiques. Puis suivirent dès 1967 Atlantic 2 (1200 canaux), Pacific 1 et Pacific 2. De concert avec ses prédécesseurs — respectivement lancés le 26 janvier 1971 pour la couverture du Pacifique, ainsi que le 20 décembre 1971 et le 23 janvier 1972 pour celle de l'Atlantique — Intelsat IV complète le réseau mondial de télécommunications depuis le 14 juin 1972 en restant sur orbite géostationnaire au-dessus de l'océan Indien (acheminement simultané de 9000 communications téléphoniques ou de 12 programmes de télévision en couleurs, ce qui représente plus que la capacité totale de l'ensemble des satellites Intelsat précédents). La conception et la construction des quatre Intelsat ont fait l'objet d'un contrat initial attribué au consortium international Cosmos dont la Hughes Aircraft Company est le maître d'œuvre. Le 9 novembre 1972 le Canada a aussi lancé son premier satellite de télécommunications ANIK sur une orbite géostationnaire au-dessus de l'équateur et du Pacifique oriental pour permettre de faire bénéficier le Canada septentrional de 9600 circuits téléphoniques et d'une dizaine de réseaux de télévision en couleurs en direct au moyen d'antennes spéciales moins coûteuses. Des satellites pour la retransmission directe sur les téléviseurs individuels sont en cours de fabrication. Un satellite de télécommunications coûte au minimum 500 millions de francs suisses et la Canadian Broadcasting Corporation a annoncé qu'elle louera trois réseaux pour la somme de 9 millions de dollars par an. Un satellite expérimental pour TV en couleurs sera lancé par la NASA en 1974.

On comprendra peut-être pourquoi les problèmes toujours plus complexes des communications par satellites *préoccupent en permanence l'Union internationale des télécommunications et les directions nationales des PTT.* D'ailleurs, déjà actuellement, l'accroissement des transmissions par satellites entre l'Amérique du Nord et l'Europe *a permis de réduire d'un quart les tarifs des communications.*

Avant l'ère spatiale, jamais une image n'avait franchi en direct les océans. Les satellites de télécommunications ont aussi permis cette performance par le système Mondovision (qui ne se souvient pas en effet des retransmissions des Jeux olympiques de Sapporo et de Munich?): d'ailleurs l'Union européenne de radiodiffusion (UER) a décidé en 1970 d'ouvrir à New York un Bureau de coordination des actualités télévisées. Ces satellites *permettront certainement dans quelques années le téléphone automatique mondial*: se rend-on suffisamment compte qu'on pourra, même d'un continent à l'autre, aussi bien visuellement que verbalement, *consulter presque instantanément un fournisseur ou un client, un partenaire scientifique ou même une documentation nécessaire à l'exercice de sa profession* (photos, textes, archives, etc.)? Tout cela n'exclut pas non plus le *traitement électronique des informations à distance* (Teleprocessing), *immédiatement* (Real-Time) *et en commun avec d'autres usagers* (Time-Sharing) entre ordinateurs électroniques situés sur des continents différents [1]. « L'ordinateur apporte sa prodigieuse mémoire, ses facilités d'accès, ses énormes capacités de calcul; les télécommunications permettent de leur côté d'affranchir l'ordinateur des servitudes de temps et de distance » [2]. Ainsi, par exemple, de grandes firmes pétrolières de Londres et du golfe Persique, la Société SRO/FAG Kugellagerwerke de Schweinfurt, Wuppertal et Zurich, la Société Telemarketing AG de Zoug sont en liaison via le satellite de télécommunications Intelsat IV avec la demi-douzaine d'ordinateurs du grand centre de traitement électronique des informations de Cleveland (Ohio) pour traiter leurs problèmes d'offres, de demandes, de ventes, d'administration, d'entreposage, de transport, de délais de livraison, etc. [3] En effet, grâce aux satellites de télécommunications, ainsi que le déclarait aussi l'astronaute américain Bean (Apollo 12 et Skylab 2), lors de l'inauguration de la station terrienne belge de Lessive, « *les peuples des quatre coins du monde peuvent désormais se voir et s'entendre mutuellement* ».

— 11. L'Espace atmosphérique est aussi un vaste laboratoire météorologique. Par l'observation, la collecte, la transformation et la distribution des constatations, la météorologie a pour mission de fournir les prévisions du temps. Par exemple, une partie des observations météorologiques représente 5 millions de caractères toutes les 24 heures! A part quelques centaines de postes météorologiques « radar » (échos météo) qui décèlent les pluies et les orages, le réseau des stations météorologiques de notre planète groupe 8000 points de mesure dont 500 environ sont capables d'effectuer des sondages verticaux de l'atmosphère. Or, malgré cela, l'Organisation météorologique mondiale (OMM) à Genève estime que *90 % de la surface du globe sont encore insuffisamment desservis par les observations.* L'observation du fait physique atmosphérique est ensuite complétée par son analyse au moyen d'ordinateurs électroniques sur la base, selon les cas et les nécessités, de trois modèles mathématiques prévisionnels: barotrope (un niveau), barocline (deux niveaux) et simulation numérique. Si les calculs étaient effectués par un homme, une prévision de 24 heures demanderait 1000 ans au lieu de 3 minutes pour le premier modèle, 10.000 ans

---

[1] GEORGES HARTMANN: « La place agrandie de l'ordinateur électronique dans le demi-siècle de la cybernétique », *Civitas*, Lucerne, n° 5/6, janvier 1970, p. 425-443.

[2] *L'Observateur de l'OCDE*, n° 61, décembre 1972, p. 36.

[3] « Computerbenützung über Weltraumsatelliten », *Schweizer. Handelszeitung*, n° 39, 28.9.72, p. 57.

au lieu de 20 minutes pour le deuxième cas et 100.000 ans au lieu de 60 minutes pour le troisième. On voit dès lors se dessiner l'intérêt immense, en plus des ordinateurs électroniques, également des *satellites artificiels comme moyen d'investigation météorologique.*

Un satellite météorologique géostationnaire à 36.000 km d'altitude sur l'équateur de la Terre peut tenir dans son champ visuel un tiers de la superficie de notre planète. Et son efficacité est d'autant plus grande qu'il est en mesure de garantir une continuité géographique et de temps, une cohérence et une précision des mesures ainsi qu'une rapidité de la collecte et de la transmission des informations aux stations terrestres.

Si Vanguard 2, lancé le 17 février 1958 pour observer les calottes de nuages qui recouvrent la Terre, et équipé de cellules à infrarouge, d'une mémoire électronique, de batteries au mercure, d'émetteurs radio, aura une durée de vie estimée à plusieurs centaines d'années, le *premier satellite véritablement météorologique* a été *Tiros 1*, mis sur orbite le 1er avril 1960. Depuis ce premier Tiros, transmettant automatiquement par TV des milliers d'images des couches nuageuses de 1300 km de côté, les satellites météorologiques se sont succédés selon un développement croissant: aux USA, les Nymbus, ESSA, ATS, ITOS, et en URSS la série des Cosmos-Météor, suivant tous la trace des dépressions, typhons, ouragans, tempêtes tropicales, et envoyant des centaines de milliers de photos à 140 stations météo réparties à la surface de la Terre. Par exemple, Nymbus 3 (14 avril 1969) fournit la matière de 3000 radiosondages par jour sur toute la surface de la Terre. Ou bien ITOS, après avoir interrogé ballons et bouées océaniques, avions et navires qui recueillent aussi leurs données météorologiques, transmet l'ensemble des informations collectées. Après le lancement de TIROS-M le 23 janvier 1970, la réalisation la plus prometteuse apparaît depuis avril 1970, avec Nymbus 4, qui mesure la température dans toutes les couches de l'atmosphère, la distribution d'ozone et la proportion de vapeur d'eau puis renseigne les météorologistes sur le temps deux fois par 24 heures, une fois le jour, une fois la nuit.

Dans le cadre de la coopération scientifique et technique des 19 pays européens, et grâce aux possibilités d'observation par satellites météorologiques, conjointement avec l'utilisation d'ordinateurs électroniques, permettant la mise au point de nouvelles techniques de prévisions météorologiques, il sera créé un centre européen pour les prévisions à moyen terme: on estime que la *valeur économique des prévisions météorologiques portant sur une période de 4 à 10 jours* (au lieu de 2 ou 3 jours auparavant) s'élèvera en 1980, pour les principaux secteurs économiques des pays européens participant à la fondation de ce centre, à un montant de 400 à 500 millions d'unités de compte [1]. Une étude de la COST (Coopération européenne dans le domaine de la recherche scientifique et technique) estime que des prévisions météorologiques à 10 jours pourraient *faire bénéficier l'Europe d'environ 200 millions de dollars par an* [2].

On comprend dès lors pourquoi le développement des satellites orbitaux météorologiques est *suivi avec grand intérêt par l'Organisation météorologique mondiale.* De nombreuses études ont montré les grandes économies que permettraient des prévisions du temps plus précises et à plus long terme *pour les pêcheries, l'agriculture, les industries alimentaires, les centrales hydroélectriques, les travaux publics*, etc. Les satellites météorologiques permettent déjà aux pêcheurs de rentrer au port avant le mauvais grain qu'ils annoncent.

---

[1] Industrie, recherche et technologie, Commission des Communautés Européennes, Bruxelles, n° 169, 18.12.72, Annexe 2 (1 unité = 4,10 fr.s.).

[2] Message du Conseil fédéral à l'Assemblée fédérale, *Feuille fédérale*, Berne, n° 39, 29 septembre 1972, p. 515.

Prévoir le temps deux semaines à l'avance, cela signifie pour la production agricole de l'Inde, par exemple, un avantage de 1 ½ milliard de dollars par an et pour les USA plus de 2 milliards de dollars (sécurité des avions, des navires, des gens: en 1961 les avertissements du satellite Tiros ont permis l'évacuation de 350.000 personnes des zones qui, aux USA, allaient être ravagées par l'ouragan «Carla»). *Aux USA, on a estimé en 1969 à 20 milliards de dollars l'économie procurée* par les prévisions de satellites météo, dont la moitié dans l'agriculture et l'élevage et un quart dans la construction. Pour ne citer, par exemple, qu'une des dernières réalisations dans ce domaine, l'Organisation mondiale de météorologie (OMM) et le Conseil international des unions scientifiques (CIUS) ont lancé depuis le 15 juin 1972, pour 100 jours, une vaste opération météorologique dans la ceinture tropicale de l'Atlantique depuis la mer Rouge jusqu'à la côte ouest de l'Amérique latine et au moyen de navires, d'avions, d'un satellite géostationnaire au-dessus de l'Atlantique et de quatre satellites à orbite polaire (2 américains et 2 soviétiques). Les observations recueillies, qui intéressent directement la météorologie en Europe, seront traitées par ordinateur électronique au Royaume-Uni. Cette expérience sera même suivie en 1977 d'une seconde opération identique qui intéressera cette fois l'ensemble du globe et au moyen de cinq satellites géostationnaires.

— 12. La création d'un système de navigation par satellites a aussi retenu, depuis quelques années, l'attention de l'Organisation consultative de navigation maritime et l'Organisation de l'aviation civile internationale. La série des *satellites de navigation* a été ouverte par le lancement de l'engin américain Transit I au printemps 1960, puis par des engins soviétiques Cosmos; le 25 avril 1970, huit engins ont été mis simultanément sur orbite pour créer un réseau opérationnel de navigation: Cosmos 336 à 343. Par exemple, grâce à Transit II et Piggy Back (juin 1960) *les sous-marins* pouvaient faire le point en surface avec 150 m d'erreur. Ou bien, à l'aéroport de New York, *les pilotes des lignes transocéaniques* reçoivent, transmises automatiquement par satellites de communications, des photos du ciel qu'ils traverseront. Mais, grâce aux satellites de navigation gravitant sur une orbite parfaitement connue et dotés d'émetteurs ultrastables, *les navires* pourront désormais, au moyen d'appareils spéciaux, de jour et de nuit et quel que soit le temps, faire le point en captant les signaux radio de ces satellites et lisant en clair la longitude et la latitude sur un cadran du tableau de bord, alors qu'avec compas et sextant, un bateau ne pouvait naguère se guider qu'à 300 m environ.

En 1966, la croisière du navire océanique « Vema » a vérifié l'extrême précision de cette nouvelle possibilité de localisation.

En tout cas, le système de navigation par satellites pour les avions et les navires permettra de rendre les voyages plus sûrs et meilleur marché; selon les estimations de la NASA, *si l'économie de l'essence et de la main-d'œuvre qui en résultera ne représentait que 1 %, l'industrie navale économiserait 150 millions de dollars par an.*

— 13. Dans la pensée de son promoteur, le président John Kennedy en 1961, le développement d'un programme spatial visait aussi à doter les USA d'une puissante *industrie spatiale.* Etant donné qu'il faut actuellement construire 100 t de fusée porteuse pour lancer 2 t de cabine spatiale à satelliser et que 88 % de tout cet équipement est électronique, on comprend que tout doit être entrepris pour minimiser le poids des engins devant être mis sur orbite: d'où la recherche de la plus grande qualité sous le plus petit poids et même sous le plus petit volume. Par conséquent, l'exploration spatiale est incontestablement à l'origine de l'évolution technique et industrielle d'une gamme inimaginable de *matériaux, produits,*

appareils et outillages améliorés ou nouveaux et de leur rapide commercialisation. La NASA a annoncé qu'il existait près de *4000 innovations* techniques ayant une valeur potentielle *dans des domaines étrangers à la technique spatiale*, qu'il s'agisse de procédés de production et de fabrication ou de produits proprement dits.

D'abord les besoins alimentaires des astronautes ne diffèrent pas de ceux de l'homme normal resté à terre. Mais les limites imposées par la cabine spatiale quant au poids et au volume ont conduit non seulement à construire des installations et appareils miniaturisés, *mais aussi à préparer des aliments* déshydratés sous forme de tablettes, sous forme de produits lyophilisés en tubes étanches (café, poulet, bœuf, langoustine, légumes, etc.) pour notre consommation quotidienne mais surtout *comme ration de survie* pour les troupes militaires isolées, pour les alpinistes, pour les explorateurs, etc., et pour certains malades de la gorge ou de l'œsophage.

En liaison avec les industries et les universités, la NASA a poursuivi depuis de nombreuses années ses recherches pour la fabrication des matériaux et des produits indispensables à la réussite des vols spatiaux. Et *des « retombées » sont déjà apparues* dans la construction, dans la métallurgie, la mécanique de précision, l'électronique industrielle, les plastiques, les textiles, etc. Voici *quelques exemples typiques de leur utilisation pratique:*

Applications dans l'exploration spatiale	**Produits nouveaux commercialisés**
– pattes tripodes des Surveyors (Aero Space Products Ltd, Toronto);	– tubes rigides extensibles pour antennes de navire, mâts mobiles de caméras de TV, piquets de tentes;
– pyrocéramiques à coefficient nul de dilatation;	– produits pour turbines, pour vaisselle de cuisine, fours, réfrigérateurs, etc.;
– matériau transparent de construction;	– aussi résistant que l'acier et pouvant s'intégrer dans les structures (maison, machine, véhicule) à la place du verre qui s'insère dans les structures.
– produit ignifuge recherché après l'incendie de la cabine Apollo en 1967.	– nouvelle peinture ignifuge 45 B 3 se décomposant au contact du feu en une mousse grisâtre (mousse d'extincteur).
Métallurgie :	
– rocaloy 270;	– têtes de frappes des machines à écrire IBM;
– niobium;	– tuyaux spéciaux pour substances chimiques corrosives;
– alliages tantale-hafnium;	– produits devant supporter des températures de +2200 degrés;
– alliages très légers;	– fraiseuses ultra-rapides au service de l'art dentaire;
– revêtements de téflon pour protéger les câbles électriques;	– poêles Teflon ou Tefal;
– bouclier thermique des cabines Gemini et Apollo (coquilles intérieure d'aluminium et extérieure d'acier séparées par un isolant de fibre de verre) constitué par 370.000 alvéoles hexagonales « nid d'abeille » de 6 cm de profondeur (flexible, insensible aux vibrations, meilleur rapport résistance/poids).	– demi-coquilles de choc thermique destinées à être retournées derrière les réacteurs des avions supersoniques pour dévier le jet de gaz vers le bas et vers le haut et ainsi inverser la poussée; – panneaux thermiques, antichocs, isolants; – matériel de base pour véhicules isothermes, soutes de bateaux et d'avions.

Applications dans l'exploration spatiale	Produits nouveaux commercialisés
Résines et plastiques :	
– résine epoxy introduite à la seringue (Sté Avco) dans les alvéoles du bouclier thermique des cabines spatiales pour qu'elles puissent résister à la température de 10.000 degrés qui se produit à 11 km/sec. lors de la rentrée dans l'atmosphère (évacuation des calories par évaporation de la résine;	– nouveau conducteur de l'électricité facile à manipuler par la combinaison de résine expoxy et d'or (pour connexions de micro-circuits électriques, Sté de Watertown);
– résine synthétique suisse renforcée par des filaments de carbone de l'industrie britannique;	– produits de remplacement du métal et du ciment dans la construction;
– minuscules fibres de cristal de bore enrobées dans une résine de plastique;	– corps composé remplaçant l'aluminium (2 fois plus solide, 2 ½ fois plus résistant, 25 % plus léger, moins cher); – plus solide que l'aluminium,
– plastique renforcé par un revêtement de verre et laminé, résistant aux hautes températures (Westinghouse Electric Corp.);	– pour éléments de bobinages électriques et de construction d'avions, – pour collages à chaud (résistance 80 kg/cm²);
– plastique aluminisé: 1/800e de cm d'épaisseur (comme superisolant spatial);	– propriétés de solidité, d'imperméabilité, de souplesse,
– mousse de plastique expansé dans matériau sandwich aluminium;	– pour couvertures, abris, réservoirs, brancards, etc.; – aussi rigide que l'acier,
– mastic contenant 80 % d'acier et 20 % de résine epoxy (Plastic Steel SF) ayant une résistance max. de 560 kg/cm² (Devcon Ltd. à Theale, Berkshire).	– pour skis, panneaux de maisons préfabriquées, etc.; – pour travaux d'assemblage et de réparations, pouvant être perforé, fileté, usiné.
Textiles :	
– combinaisons spatiales des astronautes;	– adaptations aux besoins des malades ou des explorateurs polaires (—60 degrés pendant des heures);
– parachutes de récupération des cabines spatiales à leur retour;	– grands progrès techniques dont bénéficie la fabrication des parachutes pour l'aviation militaire et civile;
– textile à structure tridimensionnelle (3-D) pour la climatisation des bottes des astronautes de la Lune;	– isolant thermique léger à usages divers;
– mortier plastique constitué par des fibres de verre.	– produit léger, résistant, invariable, bon marché, non corrosif pour les conduits d'eau, de drainage, d'irrigation, d'égout.
Energie :	
– panneaux de cellules photogalvaniques déployables (Fairchild Hiller Corp.) convertissant la chaleur solaire en électricité;	– batteries solaires miniatures pour appareils électroniques, radio, téléphone, moteurs dans les régions tropicales;
– accumulateurs au nickel cadmium pouvant être rechargés des dizaines de milliers de fois;	– petites batteries pour appareils de correction auditive, pour caméras de TV, pour installations de contrôle de processus industriels;

Applications dans l'exploration spatiale	Produits nouveaux commercialisés
– pile nucléaire de satellite;	– batteries nucléaires miniaturisées (dimensions d'une pièce de 50 cts) produisant sans recharge pendant 5 ans de l'électricité en millièmes de watt pour alimenter: – des montres, – des appareils auditifs, – des détecteurs-émetteurs radio, de surveillance des malades, – des stations météo (URSS), – des balises (GB), – des stimulateurs cardiaques dans le corps des malades, ou « pacemakers » (générateur minuscule Isomite (Isotope Miniature Thermionic Electric de la McDonnel Douglas Corp.);
– fusées hybrides (United Aircraft Corp.).	– sources de plasma pour générateurs magnétohydrodynamiques (MHD).
Installations électroniques :	
– reconnaissance photographique de la Lune;	– cassettes d'enregistreur électronique vidéo (image enregistrée sur bande magnétique comme le son) destinées à être introduites dans des postes récepteurs de TV;
– télécommunications Terre-Espace;	– magnétophones automatiques dont le moteur et l'enregistrement fonctionnent seulement lorsque le microphone capte le son;
– viseurs à rayons infrarouges;	– mesureurs d'épaisseur des tôles dans l'industrie;
– magnétomètre lunaire à rubidium;	– magnétomètre pour la prospection géologique terrestre;
– ordinateur électronique réduit des cabines spatiales.	– petit ordinateur électronique silencieux de 1 ½ kg (Japan's Hazawa Electric Company) pour travaux administratifs et de gestion; – petit ordinateur de poche (EU) devant servir d'aide aux pilotes de lignes sur les avions longs-courriers.

La recherche et l'exploration spatiales *ont fait bénéficier, par exemple, en Suisse* [1], l'industrie horlogère (miniaturisation d'instruments de mesure précis, lubrification), l'industrie chimique (résine thermo-durcissable), les machines textiles (composants légers, mais résistants), l'industrie du ski (ski en plastique renforcé par fibres), une nouvelle méthode de construction de structures en aluminium, etc. Les entreprises suisses ont eu l'occasion d'acquérir un savoir-faire extrêmement intéressant.

— 14. L'exploration spatiale n'est pas moins étrangère que d'autres techniques avancées aux progrès et rendements supérieurs acquis ces dernières années dans les télécommunications (radio, TV), le guidage et la navigation (radar), l'électronique médicale et industrielle ainsi que dans la construction des ordinateurs électroniques (traitement direct simultané, traitement des informations à distance, travail en temps partagé). Selon Tho-

[1] Message du Conseil fédéral à l'Assemblée fédérale, du 30 août 1972, sur la participation de la Suisse à des programmes de satellites d'application du CERS, *Feuille fédérale,* Berne, 29 septembre 1972, p. 511.

mas O. Paine, ancien directeur des vols spatiaux de la NASA, *l'industrie des ordinateurs électroniques n'aurait jamais gagné une telle avance sans les impératifs de l'exploration spatiale.* Aux dires de l'astronaute Shepard (premier vol balistique en 1961 et Apollo 14 en 1971), « nous ne serions jamais entrés dans l'âge spatial si l'industrie électronique n'était pas survenue avec des machines pouvant penser à notre place et plus rapidement que le cerveau humain. Nous n'aurions pas réussi non plus sans la télémétrie ». Le Français Georges Elgozy a aussi affirmé en 1968 que « la technologie spatiale reste le fer de lance du progrès, mais ni le fer ni la lance ne se fabriquent plus sans automatisme ni ordinateur»[1].

D'ailleurs l'astronautique a contribué aux efforts des industries de l'électronique dans leur recherche de miniaturisation toujours plus poussée afin de répondre aux exigences de la diminution de place et de l'allègement des appareillages: en dépassant la micro-électronique (époque des transistors) et en passant à la nano-électronique, grâce du reste au microscope électronique et à un outillage spécialisé et le plus souvent automatique, les constructeurs sont-ils parvenus ainsi à intégrer des circuits réunissant plus de 1000 composants sur une surface de 1 millimètre carré.

La North American Rockwell Corporation (Illinois), constructrice des fusées Saturne V, vient d'annoncer qu'une application de sa technique réalisée pour les turbopompes des moteurs-fusées Apollo *permettra aux cargos*, par propulsion hydraulique (donc sans hélice), *de traverser l'Atlantique en 30 heures* au lieu de 10 jours avec augmentation de la rentabilité, de la fiabilité et de la sécurité.

Se fondant sur des théories scientifiques valables, des savants de la NASA pensent même développer *de nouveaux progrès techniques qui seraient possibles grâce à la création d'usines dans l'Espace* dans un état d'apesanteur: dans le vide absolu où règnent l'apesanteur et de très basses températures, les forces molléculaires deviendront des facteurs essentiels de la fabrication industrielle de certaines matières: création d'alliages de métaux de densités différentes, mousses d'acier aussi légères que du liège, moulages à couches multiples, sphéricité parfaite des billes et des boules, formation de cristaux exempts de toutes dislocations, nouvelle variété de verre impossible à fabriquer sur terre, cultures de vaccins, séparation des molécules de certaines substances complexes chimiques et pharmaceutiques au moyen de centrifugeuses à roulement sans friction, fabrication de barres de métal et de verre de 15 à 20 km de long destinées à la fabrication de gigantesques stations spatiales.

— 15. Cette brève description d'un exemple spectaculaire de l'exploration spatiale, parmi d'autres, ne suffit cependant pas à permettre d'estimer *les quantités immenses de matières et de produits employés* depuis des années pour les recherches, pour les essais, pour les prototypes, pour les constructions définitives ni à évaluer les innombrables heures de travail depuis la planche à dessin, la mine ou le puits de pétrole jusqu'à la récupération des astronautes et jusqu'aux résultats des analyses en passant par toutes les activités des universités, des laboratoires, des usines de transformation, des ateliers de montage, des halles d'essais, etc. D'ailleurs, *des centaines de nouveaux métiers et professions sont nés.* A l'apogée du programme spatial, vers 1966, *200 universités, 20.000 entreprises et laboratoires étaient chargés de recherches ou d'adjudications et 420.000 personnes s'y employaient en plus des 32.000 fonctionnaires civils de la NASA.* Ces chiffres ont diminué depuis en même temps que la réduction des crédits affectés à l'exploration spatiale.

Seulement, en ce qui concerne le réseau d'informations qu'exigeait l'exploration spatiale (tests, simulations, contrôles, etc.), pendant dix ans, 4000 personnes, des centaines de

[1] Voir note 1, page 156.

sociétés et plusieurs millions de dollars y ont été affectés. Le travail de déchiffrage et d'analyse des résultats communiqués par le satellite écologique ERTS 1 va requérir le travail d'au moins 3000 spécialistes. La réalisation du programme Skylab (1973) a occupé plusieurs milliers de personnes dont 4400 seulement pour la construction du sas, qui a été confié à l'industrie américaine (250 millions de dollars). Si l'on pense que les sociétés américaines de télédétection « écologique » des ressources terrestres ont un chiffre d'affaires annuel d'environ 150 millions de dollars, on estime aux USA que la télédétection par le satellite ERTS 1 permettra d'atteindre un chiffre d'affaires six fois plus grand. Il ne fait aucun doute non plus que l'opération « navettes spatiales » de 1980 va occuper près de 50.000 personnes.

Un bureau de la NASA, à Washington, dirigé par le Dr Lesher, est chargé de faire bénéficier tout utilisateur éventuel des techniques spatiales. *Tous les programmes conçus et mis au point par la NASA* et ses 20.000 sous-traitants sont conservés, complétés, classés par le COSMIC (Computer Software Management and Information Center) que la NASA a créé et dont elle a confié l'administration à l'Université de Géorgie: environ *20.000 demandes ont déjà été présentées par des utilisateurs de l'industrie, du commerce et des universités qui, grâce à ces programmes préfabriqués, gagnent du temps et de l'argent.*

Si un satellite Mariner comporte 18.000 éléments, un Surveyor 82.000 composants, la fusée Saturne V avec sa cabine Apollo réunissait 56 millions de pièces. Chacun peut dès lors imaginer ce que cela implique comme préparation professionnelle, comme *commande de fournitures, comme redistribution de salaires dans la population et de capitaux dans l'industrie et le commerce.*

On ne pense peut-être pas assez aux exigences énormes de la préparation, au cours de la décennie 1960-1970, des lancements de diverses catégories de satellites artificiels qui ont eu lieu même ces dernières années seulement: l'assemblage de milliards de matériaux et de pièces détachées par des techniciens et des ouvriers, pièces qui ont dû être conçues par des ingénieurs et des savants de toutes les disciplines scientifiques, puis livrées à des essais très rigoureux après que furent imposés, pour leur fabrication, de nouveaux critères de qualité et de fiabilité. On se souvient que chaque lancement de fusée Saturne V nécessite 3 millions de litres d'hydrogène et d'oxygène liquides et près de 1 million de litres de kérosène. Tout a donc exigé une préparation extrêmement approfondie et détaillée dans toutes les usines de production puis dans les centres d'essais, d'entraînement, en un mot, une quantité énorme d'emplois ont dû être créés pour concevoir, préparer, programmer, assurer, maintenir, réaliser les réussites spatiales. On s'en rend peut-être mieux compte au travers de certains chiffres: une fusée Saturne V pèse 2900 t et 1 g de fusée coûte 40 dollars (130 fr.s.).

Le coût total du programme Apollo a atteint 26 milliards de dollars, dont 4,9 milliards pour la mise au point et la fabrication de Saturne V et 1,3 milliard pour la réalisation des installations et des équipements nécessaires.

S'il a fallu, pour ne parler que des trois derniers projets spatiaux, consacrer 390 millions de dollars au projet Mercury (avec cabine à une place), 1,35 milliard au projet Gemini (avec cabine biplace) et 26 milliards au projet Apollo (avec cabine triplace), on se représente la masse énorme de capitaux engagés puis redistribués aux fournisseurs de matières premières, qui à leur tour ont payé aussi des mineurs et des transporteurs, aux fabricants de machines et d'appareils, qui ont payé aussi des fournisseurs de métaux et des transporteurs, aux chercheurs, savants, techniciens, employés et ouvriers de toutes formations professionnelles, aux vendeurs de carburants qui ont payé des raffineries après que leurs exploitants

eurent payé des foreurs de puits et des surveillants de pipe-lines, aux transporteurs par bateaux, par chemins de fer, par camions qui à leur tour impliquent la nécessité de renter des investissements, de payer des véhicules, d'honorer des travailleurs, de recourir aux instituts de crédit, aux assurances, etc. En un mot, cela dut être un *fantastique arrosage capillaire de dollars qui a contribué à faire vivre des centaines de milliers de familles et des millions d'individus.* Près d'un demi-million de personnes ont travaillé à une époque ou à une autre pour plus de 20.000 entreprises ayant participé au programme Apollo seulement.

Cinquième grosse partenaire de la NASA, la société américaine General Electric Corporation a dû créer un département spécial occupant 6000 personnes (Apollo System Department). Dans les environs de Houston, le quartier général du Centre spatial de la NASA a fait surgir une ville de 150.000 habitants qui travaillent, gagnent, dépensent, redistribuent leurs revenus au fisc, au commerce, aux transports, aux assurances, aux banques, aux fabricants de loisirs, etc. Un autre exemple est celui de l'Alabama, dont le Centre spatial (Marschall Space Flight Center) est à Huntsville et qui était avant l'ère spatiale une contrée produisant du coton, des céréales et du tabac. Depuis, elle produit ou transforme du fer, de l'acier, du bois, du papier, du charbon, des textiles, des produits chimiques, du ciment, des engrais, des appareils mécaniques ou électroniques, etc. Derrière ces productions se cachent des milliers d'activités de tous genres dans des milliers d'entreprises de toutes dimensions et chez des centaines de sous-traitants.

III. L'EXPLORATION SPATIALE ET L'EUROPE

En plus de la volonté de coopération réelle qui est en train de caractériser les missions spatiales américaines et soviétiques pour découvrir comment est né le système solaire et son complexe de planètes, il faut aussi souligner les efforts de l'Europe dans la recherche spatiale.

En marge de l'Organisation européenne pour la mise au point et la construction de lanceurs d'engins spatiaux (ELDO), l'Organisation européenne de recherches spatiales (CERS/ESRO), le Comité pour les recherches spatiales (COSPAR), l'Installation européenne pour le lancement de fusées à Kiruna en Suède (ESRANGE) [1], l'Institut européen de recherches spatiales, à Frascati, pour la recherche dans la chimie et la physique spatiales (ESRIN), le Centre européen de technologie spatiale (ESTEC), il y a encore l'ESOC (Centre européen d'opérations spatiales) dont le siège est à Paris, pour la conception et les décisions concernant les expériences, le Centre de réalisation et de montage des satellites et des équipements à Noordwijk (Pays-Bas) et le Centre de calcul et de contrôle à Darmstadt (République fédérale allemande). L'Organisation CERS, entre autres, dont les *buts sont d'assurer et de développer à des fins exclusivement pacifiques la collaboration entre Etats européens dans le domaine de la recherche et de la technologie spatiales,* groupe les pays membres suivants: République fédérale allemande, Belgique, Danemark, Espagne, France, Italie, Pays-Bas, Royaume-Uni, Suède *et Suisse.*

Ainsi que le précise dans son introduction un message [2] du Conseil fédéral à l'Assemblée fédérale, les moyens modestes de l'Europe, en ressources financières, en personnel et en techniques, comparés à ceux des grandes puissances spatiales, excluent d'emblée des

[1] La propriété de cette installation sera transférée à la Suède le 1er juillet 1977.

[2] Message du Conseil fédéral à l'Assemblée fédérale, du 30 août 1972, sur la participation de la Suisse à des programmes de satellites d'application du CERS, *Feuille fédérale*, Berne, 29 septembre 1972, p. 501-539.

projets spectaculaires: cependant, un programme de recherches, dans le cadre duquel plus de 170 fusées-sondes et 6 satellites scientifiques ont été lancés, a permis de créer — avec les programmes spatiaux nationaux des principaux Etats membres de la CERS — des bases solides pour la science et la technologie spatiales européennes. Malgré les accords conclus entre la NASA et la CERS pour le lancement de satellites européens depuis les centres américains de Vandenberg et de Cap Kennedy, la CERS a déjà lancé avec succès les satellites de recherches scientifiques Iris, Aurore et Heos A-1 (1968), Boreas (1969), Heos A-2, TD 1-A et ESRO IV (novembre 1972) et ce programme scientifique *a permis aux chercheurs européens de présenter des travaux d'une très haute qualité scientifique*, soutenant la comparaison avec ceux de leurs collègues des USA et de l'URSS.

En décembre 1972, la Conférence spatiale européenne (CSE) a décidé:

— de fusionner la CERS/ESRO et l'ELDO (Organisation européenne pour la mise au point et la construction de lanceurs et d'engins spatiaux) *en une nouvelle Agence spatiale européenne* (AES) qui, sous l'égide de trois ténors (République fédérale allemande, Royaume- Uni et France) devra dès le 1er janvier 1974 *unifier les programmes spatiaux nationaux pour former un programme spatial européen*;

— *de coopérer au programme américain post-Apollo (Skylab)*: on sait que le président Nixon a aussi décidé d'étendre à tous les pays du monde l'assistance technique des USA pour le lancement de satellites à des fins pacifiques (3-20 millions de dollars par lancement, selon les types de fusées nécessaires);

— *de participer à la réalisation d'un lanceur européen L-3 S* (lanceur de troisième génération de substitution) au développement duquel la France aurait offert de participer forfaitairement à raison de 60 % (= 2,2 milliards de francs français pendant 8 ans, soit 3 fr. par citoyen et par an) et dont la maîtrise d'œuvre serait assumée par l'industrie française [1].

Dans cette nouvelle ère spatiale européenne, plusieurs projets de satellites d'application ont été mis plus ou moins à l'étude: *COS-B* pour l'étude du rayonnement gamma dans l'Univers (automne 1974), *GEOS* pour les recherches sur la magnétosphère (été 1976). Et les satellites à venir relèveront de l'astrophysique des hautes énergies, de la vérification de théories relativistes de la gravitation, de la physique de la magnétosphère, des rayons cosmiques, de l'exploration de la planète Vénus. Une collaboration avec la NASA permettra à l'Europe de disposer du tiers d'observation d'un *satellite astronomique américain (SAS-D)* moyennant participation de 10 % du coût total. Selon l'Agence française de presse, le premier contrat pour l'étude et la définition du satellite européen GEOS (3 millions de francs français) aurait été attribué au consortium STAR qui groupe, avec la British Aircraft Corporation comme maître-d'œuvre, 14 sociétés industrielles de 9 pays européens [2]. La mise en orbite est aussi prévue, en 1976 ou 1977, d'un *satellite météorologique géostationnaire (Meteosat)* dont la phase préopérationnelle du projet coûterait environ 470 millions de francs et qui donnerait ainsi à l'Europe le moyen de contribuer le mieux possible à la première expérience GARP (Global Atmospheric Research Program) de

[1] Les Etats membres viennent de renoncer à ce projet.

[2] Outre le Groupement industriel européen d'études spatiales Eurospace un autre groupement, STAR (Satellites de télécommunications, d'applications et de recherches), qui voit figurer au nombre de ses firmes affiliées la *société suisse* Contraves SA.

Près de 50 firmes européennes, *dont une banque et deux sociétés industrielles suisses*, ont créé en janvier 1972 Eurosat SA (Genève) pour promouvoir aussi la réalisation et l'exploitation de satellites de service.

l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et du Conseil international des unions scientifiques (CIUS) tout en améliorant le réseau de satellites météorologiques de l'OMM, en permettant d'interroger des stations automatiques éloignées ou inaccessibles, en transmettant en temps réel les sondages de température, etc. Si elles permettent l'émission d'avertissements de phénomènes dangereux imminents, tels que tempêtes, gel, grêle, crues, avalanches, pollution, pour sauvegarder des vies humaines et éviter des souffrances — ce qui ne se mesure pas en termes économiques — les informations météorologiques sont essentielles à l'agriculture, à la construction, au tourisme, à la production énergétique, aux transports et à la protection de denrées alimentaires périssables, à la navigation maritime, fluviale et aérienne. En raison, en particulier, de l'accroissement du trafic aérien international et de la nécessité d'améliorer les moyens de navigation des aéronefs ainsi que les liaisons radio entre ceux-ci et les centres de direction du trafic aérien, souvent troublées sur de grandes distances par des influences atmosphériques (ce qui provoque des retards et réduit les marges de sécurité), l'Organisation aérienne civile internationale (OACI) cherche aussi à savoir si l'emploi de satellites permettrait d'assurer la sécurité aérienne. La CERS a envisagé la mise en orbite géostationnaire, au-dessus de l'Atlantique et au-dessus du Pacifique, de *quatre satellites aéronautiques ATC* (Air Traffic Control Satellite) dont le financement, pendant la phase préopérationnelle, jusqu'en 1980, se montera à 100 millions de dollars. Enfin, envisagée pour la décennie 1980-1990, la phase opérationnelle d'un système européen de télécommunications par satellites pour l'Europe devra permettre d'assurer l'écoulement, par voie spatiale, d'une partie du trafic intra-européen de téléphonie, de télégraphie, de télex et de transmissions des informations (ordinateurs électroniques) des membres de la CEPT (Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications) ainsi que la distribution simultanée de deux programmes de télévision dans le cadre de l'Eurovision. En estimant que le tiers des liaisons intra-européennes de plus de 800 km seraient réalisées par *satellites Telecom* stabilisés sur trois axes selon une nouvelle conception, le système devrait avoir en 1990 une capacité de 14.000 circuits téléphoniques et desservir une vingtaine de stations terriennes des membres de la CEPT dont, d'ailleurs, le Comité de coordination des télécommunications par satellites, présidé par le directeur général des *PTT suisses*, a estimé le coût maximum de la phase expérimentale (1972-1976) à plus de 400 millions de francs (étant admis que les frais d'extension du réseau intra-européen de télécommunications par satellites pourraient être de 1,7 à 2,7 fois plus élevés que par les moyens terrestres).

IV. L'EXPLORATION SPATIALE ET LA SUISSE

— 1. Déjà à l'époque où le satellite de télécommunications Telstat (juillet 1962) apportait à l'opinion publique mondiale la démonstration pratique de l'utilité de l'exploration spatiale, tout en déplorant le manque de personnel scientifique et technique suisse (recherches en laboratoires et leurs enseignements) qui allait risquer de priver notre pays de l'activité prometteuse d'un développement futur considérable dans ce domaine, Marcel Golay, directeur de l'Observatoire de Genève, mettait l'accent sur *le rôle que la Suisse pourrait et devrait jouer dans cet immense et nouveau champ d'activités scientifiques en orientant aussi judicieusement nos futurs marchés* [1].

[1] ERNEST NAEF: « La Suisse doit conquérir sa place économique et industrielle dans la recherche spatiale », *Tribune de Genève*, 14/15 juillet 1962.

Bien que la Suisse n'ait pas de programme spatial purement national, *elle est membre de plusieurs organisations internationales de recherches spatiales* (CERS/ESRO [1], CETS, CSE, ESRANGE, Intelsat...) et un certain nombre d'instances et d'associations helvétiques se sont petit à petit *intéressées directement ou indirectement à l'exploration spatiale*:

— Assemblée fédérale et Conseil fédéral,
— Départements fédéraux (politique, intérieur, finances et douanes, économie publique, transports, communications et énergie),
— Commission consultative fédérale pour les affaires spatiales et Commission des recherches spatiales de la Société helvétique des sciences naturelles,
— Conseil suisse de la science et Fonds national suisse de la recherche scientifique,
— Hautes écoles (polytechnicums et universités),
— Sociétés scientifiques, Association suisse pour les techniques spatiales (Zurich) et Association des étudiants européens de l'aéronautique et de l'aérospatiale (EURO-VIA-Zurich),
— Groupes de recherches suisses participant à des expériences de la NASA et Communauté de travail suisse pour la technique des fusées (Lucerne).

La Confédération suisse est entrée officiellement dans l'ère européenne d'exploration spatiale [2] par son arrêté fédéral du 7 mars 1963 (adhésion à la CERS/ESRO), et par ses arrêtés fédéraux du 27 novembre 1972 concernant d'une part la *participation de la Suisse aux trois programmes de satellites d'application de la CERS/ESRO* et d'autre part *l'approbation de l'accord relatif au lancement de fusées-sondes ESRANGE* (Kiruna et AndØya). Après avoir bien pesé les intérêts suisses, le Conseil fédéral a en effet décidé le 2 février 1972, sous réserve de l'approbation de l'Assemblée fédérale, que la Suisse participerait à la phase de mise en route, entre 1972 et 1974, des trois projets de satellites d'application Meteosat, ATC et Telecom. Le financement étant, pour la Suisse, de 21 millions de francs, soit de 7 millions par an (= participation moyenne de 3,3 % pour la Suisse): ses contributions s'étaient élevées en moyenne à 6 millions de francs par an pour les huit dernières années et elles se réduiront à moins de 5 millions par an à partir de 1974.

De ce fait la Suisse a, proportionnellement à sa contribution financière, aussi droit à un contingent de 1 semaine de prestations opérationnelles, 24 heures sur 24, des installations des champs de tir de fusées-sondes de Kiruna et d'AndØya, en Suède.

— 2. *Déjà des savants suisses ont été en mesure d'apporter des contributions scientifiques remarquées dans le domaine de la recherche spatiale*, qui se sont manifestées:

— par la réalisation d'expériences complètes embarquées à bord de satellites ou de fusées-sondes (p. ex. les expériences du professeur Geiss, Université de Berne) [3] lors des

---

[1] Ainsi, selon les déclarations faites le 27 novembre 1972 au cours de la session d'hiver du Conseil des Etats, bien qu'« à la fin de 1972 la Suisse a consacré, sauf erreur, 55 millions sous forme de cotisations et de contributions aux travaux de l'ESRO » (M. Reverdin, conseiller aux Etats); « notre effort est très insuffisant » (M. Graber, conseiller fédéral). Et, selon le Rapport de la Commission du Conseil national, du 10 novembre 1972, *pour la Suisse*, « la participation au développement de la technologie de l'espace *profitera tant à ses savants qu'à son économie*, ce qui serait autrement très difficile sinon impossible ».

[2] Message du Conseil fédéral à l'Assemblée fédérale, du 30 août 1972, sur la participation de la Suisse à des programmes de satellites d'application du CERS, *Feuille fédérale*, Berne, 29 septembre 1972, p. 501-539.

[3] L'examen des cailloux et poussières lunaires a été confié par la NASA à l'Institut de physique de l'Université de Berne tandis que l'expérience « feuille d'aluminium-piège à vents solaires » (flux de particules éjectées lors des éruptions solaires) a été financée par le Fonds national de la recherche scientifique suisse et par l'Université de Berne.

missions Apollo sur la Lune — également à bord du satellite GEOS prévue pour l'été 1976);

— par une participation à la conception d'ensemble des programmes puis de leur définition de détails pour les différentes disciplines, en étudiant ensuite la réalisation de tels satellites pour des travaux scientifiques déterminés;
— par le dépouillement et l'interprétation de mesures effectuées en orbite automatiquement et transmises aux stations de poursuite au sol par des appareils réalisés pour la CERS ou placés à bord de satellites par la CERS ou par d'autres groupes de chercheurs européens;
— par le calcul de trajectoires des véhicules spatiaux;
— par l'application des découvertes les plus récentes de la physique ou de la chimie à des composants particuliers des satellites.

D'ailleurs, *la Suisse peut aussi bénéficier, en contrepartie, de bourses et d'échanges* dans le cadre d'un programme ad hoc de la CERS *et avoir accès à la recherche bibliographique automatisée* de son centre de documentation, des échanges de documents étant, de surcroît, possibles avec le centre correspondant de la NASA.

— 3. Si, pour les programmes des trois satellites d'application, l'Assemblée fédérale a voté le crédit d'engagement de leur mise en route [1], il ne faut pas manquer de rappeler que *l'industrie suisse a reçu et reçoit des contrats de technologie de pointe de la part de la NASA, de la CERS/ESRO et d'autres institutions*:

a) *En ce qui concerne la NASA* [2], par exemple, les résines synthétiques « Araldite » utilisées par la société Avco pour les boucliers thermiques des cabines Apollo (1967-1972) ont été fabriquées par CIBA. Et si les chronographes des astronautes des missions Gemini (1965-1966), fonctionnant en absence de pesanteur, dans le vide et sous de grands écarts de températures, étaient des « Speedmaster » d'OMEGA, les montres-bracelets fixées pardessus la manche gauche de la combinaison des astronautes des missions Apollo ont été fabriquées à L'Orient (vallée de Joux) tandis que l'objectif des caméras actionnées sur le sol lunaire a été mis au point par KERN SA. Les capsules Gemini, diverses séries de satellites ainsi que les caissons d'expériences lunaires ALSEP ont été équipées de versions spéciales de la montre électronique à oscillateur à diapason de la compagnie américano-suisse BULOVA. Des théodolites astronomiques capables d'arpenter le ciel et de suivre et mesurer la trajectoire d'un engin balistique ont été produits par KERN SA et par CONTRAVES SA.

b) *En ce qui concerne l'Organisation CERS/ESRO* [2], la première fusée expérimentale suisse Zenith 1, lancée depuis la Sardaigne en 1967, a été réalisée par CONTRAVES SA (météo, géophysique, champ magnétique, rayons solaires). Plusieurs industries suisses ont participé en 1966 à la construction du champ de tir de fusées spatiales de Kiruna. Cette base de lancement est aussi équipée d'une horloge atomique « Oscillatom » construite par ÉBAUCHES SA et tout son appareillage électronique de synchronisation pour le décomptage du compte à rebours a été fabriqué par la COMPAGNIE RADIO-ÉLECTRIQUE, par ÉBAUCHES SA et par OMEGA. La structure des satellites scientifiques européens IRIS/ESRO II (mai 1968), de Aurorae/ESRO I (octobre 1968) et de Boreas/ESRO I-B

[1] Le 27 novembre 1972 pour le Conseil des Etats et le 4 décembre 1972 pour le Conseil national.
[2] GÉRARD DENIZOT: « L'espace et la Suisse », *Construire*, Lausanne, 15 septembre 1971.

(octobre 1969) a été développée par CONTRAVES SA et les résines synthétiques pour leur bouclier thermique, fournies par CIBA. Près de 158.000 heures de travail (8 millions de francs sur les 22 millions du coût total du projet) furent consacrées par CONTRAVES SA aux essais de simulation spatiale.

c) *Enfin, dans le cadre de l'International Telecommunications Satellite Consortium (Intelsat)*, fondé en 1964 [1], avec la participation de la Suisse, cette dernière, pour pouvoir bénéficier de leur co-utilisation, a aussi financé en partie la construction des stations terriennes de Raisting (République fédérale allemande) et de Pleumeur-Bodou (France). Toutefois, la Suisse profite aussi de l'exploitation des 80 antennes paraboliques de 64 stations terriennes implantées dans une cinquantaine de pays.

V. LES PROMESSES DE L'EXPLORATION SPATIALE

— 1. L'exploration spatiale repose l'éternelle question du progrès des sciences et de la technologie, du machinisme et de l'automation, problèmes qui ont tous engendré en cascades d'autres progrès et amélioré le sort de la généralité des hommes des pays économiquement développés avant d'avoir aussi atteint petit à petit ceux des pays en voie de développement.

Aujourd'hui *certains estiment inutiles et sans effet prévisible les développements de l'exploration spatiale.* D'autres, au contraire, y voient le fondement précieux de développements ultérieurs encore imprévisibles. Là aussi, il est prématuré de donner une réponse prévisionnelle concrète à la question posée. Sans être exhaustives, les descriptions qui précèdent sont pourtant suffisamment éloquentes pour qu'il soit imprudent de mettre en doute l'utilité embryonnaire de l'exploration spatiale en général. Si, déjà à court terme, de nouvelles connaissances scientifiques ont pu être acquises et si des produits nouveaux ont pu être commercialisés, pourquoi cette évolution naissante ne se poursuivrait-elle pas à long terme, si ce n'est pas déjà à moyen terme ?

« C'est bien joli... mais à quoi cela pourrait-il jamais servir ? » Le 21 novembre 1783, à Paris, alors qu'il avait entendu cette réflexion de la part d'une spectatrice qui assistait comme lui à l'ascension de Pilâtre de Rozier et du marquis d'Arlandes en montgolfière, Benjamin Franklin avait déjà répliqué: « Mais à quoi sert, Madame, l'enfant qui vient de naître ? »

A ce propos il n'est peut-être pas superflu d'esquisser ce que *l'histoire des inventions a révélé dans le développement industriel et dans la commercialisation des découvertes.* De l'invention de l'outil de pierre, d'os ou de bois de l'époque paléolithique jusqu'aux fruits de la recherche tant fondamentale qu'appliquée d'aujourd'hui, l'humanité a toujours pu se demander à quoi cela servirait. Au cours des millénaires, tous nos prédécesseurs ont ignoré que leurs découvertes seraient payantes à long terme. Il aurait en effet fallu posséder des dons de prémonition extraordinaire pour pouvoir déjà imaginer dans quelle mesure seraient bénéfiques pour l'humanité les résultats par exemple des voyages de Marco Polo et de Christophe Colomb ou même du bref vol des frères Wright au début du XXe siècle ou encore, plus près de nous, de la folle entreprise de Lindbergh en 1927 à travers l'Atlantique. Pourtant, les conséquences économiques des découvertes maritimes et géographiques du XVe siècle ont été incalculables au niveau de tous les continents du monde. Vers 1500 aussi, l'invention de la presse à imprimer de Gutenberg [2] (révolution et diffusion de la

[1] Intelsat I (1965) était mieux connu sous le sobriquet de « Early Bird ».

[2] GEORGES HARTMANN: « Le message de Gutenberg au monde du travail: la diffusion de la connaissance, condition d'emplois nouveaux », *Revue syndicale suisse*, juillet/août 1968, p. 201-219.

connaissance), puis vers 1760 l'invention de la machine à vapeur et la mutation qu'elle a marquée dans le passage des travaux artisanaux à la fabrication de masse en manufacture (révolution industrielle) et ensuite vers 1950 l'avènement de la production matérielle accrue (automatisation et automation) et de la production intellectuelle et administrative augmentée (ordinateurs électroniques ou informatique), toutes ces révolutions ont engendré petit à petit, au travers de la rationalisation, de l'augmentation de la productivité et de la baisse des prix de revient, une promotion professionnelle en créant de nouvelles industries, de nouveaux produits, de nouveaux emplois. Il est notoire que, *comme l'invention de la locomotive et des chemins de fer* il y a plus d'un siècle, *celle du moteur à explosion aussi et la construction des automobiles ont déclenché une avalanche de nouveaux emplois.* En dépit de leurs dangers et de leurs conséquences humaines néfastes même, les courses d'automobiles ont été cependant le nerf du développement de la branche « automobile » dont il est résulté un élargissement et un accroissement de l'emploi dans de multiples secteurs économiques: industrie pétrolière, raffineries, constructions des routes, fournitures de matières premières, industries sidérurgiques et métalliques, points de vente, garages, ateliers de réparations, carrossiers, ventes de pièces détachées, centres d'occasions, etc., ont provoqué partout de nouveaux emplois et des produits améliorés tout en ayant un contrecoup indirect sur l'emploi dans la publicité, la presse, les papeteries, l'imprimerie, etc. *Le même phénomène s'est produit* depuis une vingtaine d'années *à la suite de l'invention et des perfectionnements des ordinateurs électroniques* ainsi que de l'explosion de leur utilisation dans tous les secteurs de la vie quotidienne; à tel point que d'ici dix ou quinze ans l'informatique aura atteint la 3e place dans le monde après les industries du pétrole et de l'automobile.

La Suisse serait-elle devenue un Etat industriel et récolterait-elle aujourd'hui les fruits des innovations prises depuis un siècle et demi dans les industries textiles, mécaniques, horlogères, chimiques, ferroviaires, touristiques, etc. *si de clairvoyants ingénieurs, financiers et entrepreneurs n'avaient pas pris des initiatives audacieuses* en concevant des techniques et des industries d'avant-garde, initiatives qui ne furent pas non plus épargnées par la critique populaire ?

Si l'on mesure les résultats atteints déjà en une quinzaine d'années par l'exploration spatiale, on est en droit de se demander *pourquoi elle n'entraînerait pas*, à son tour, même dans un délai plus court, *des effets primaires et secondaires plus ou moins identiques aux expériences précédentes* des découvertes géographiques et maritimes, de la presse à imprimer, de la machine à vapeur, de la locomotive, du moteur à explosion, de l'ordinateur électronique...

Le développement de la civilisation est cumulatif parce que les inventions se sont accumulées de génération en génération et que les peuples ont emprunté aux autres peuples. Toutes les applications scientifiques d'aujourd'hui sont tributaires du passé. A chaque période nouvelle du progrès scientifique et technique, les acquisitions précédentes ont fourni à l'homme de nouveaux moyens d'action pour en conquérir de plus efficaces encore. Ainsi, dans leur rapport commun de 1960 pour le développement de la science occidentale, le Comité scientifique de l'Organisation du Traité de l'Atlantique-Nord (OTAN), la Fondation Ford et la Fondation universitaire de Bruxelles énonçaient que « la science pure et la science appliquée dépendent l'une de l'autre de la façon la plus étroite. Le progrès technique repose sur les découvertes de la science pure. La recherche industrielle, à son tour, contribue, d'une manière puissante, à affermir nos connaissances spécialisées. En outre, ses fruits sont d'une valeur inestimable en ce qui concerne la réalisation des appareillages expérimentaux. »

En effet, *chaque fois que la science fait un pas, ce sont de nouveaux impératifs que le savant pose au technicien d'abord puis au producteur.* Les différentes techniques s'interfèrent profondément et les disciplines nouvelles impliquent une pensée scientifique, physique, mécanique, entièrement renouvelée. Théoriciens, chercheurs, savants, ingénieurs se trouvent indissolublement associés tant dans la course à la recherche et à l'invention que dans le développement des moyens de production et dans la transformation mécanique ou physico-chimique des matières. Ainsi qu'un petit avertissement aux visiteurs de l'Exposition universelle de Bruxelles de 1958 le précisait pour l'automation, je pense que l'exploration spatiale aussi « permet d'aborder de nombreux problèmes qui ont obsédé l'homme depuis des siècles. Elle *crée une nouvelle abondance de biens matériels et de ressources techniques. Elle aide également l'homme à développer davantage son talent et ses capacités afin de mieux explorer, comprendre et contrôler le monde où il vit.* » Ce constat prendra certainement chaque année plus de signification. En effet, il a fallu des millénaires pour que les hommes situent la Terre dans son environnement cosmique et découvrent sa composition ainsi que la répartition de ses continents et de ses mers. Des centaines d'années de recherches et d'efforts leur ont été nécessaires pour acquérir les rudiments de la mécanique, de la physique, des mathématiques, de l'astronomie, de la médecine... En une quinzaine d'années, grâce à toutes les acquisitions scientifiques antérieures et à des recherches nouvelles, des hommes de la génération actuelle ont réalisé l'ordinateur électronique et vaincu la pesanteur terrestre en plaçant dans l'espace des satellites qui ont fourni des renseignements scientifiques exceptionnels et que les anciennes méthodes terriennes traditionnelles n'auraient permis d'obtenir peut-être qu'après des siècles d'efforts. La froide technologie est en train de traduire toujours plus ses effets en valeurs profitables à l'humanité. Et les expériences de l'exploration spatiale en apportent la preuve indéniable.

Or, dans la même optique, la conquête de l'Espace n'est-elle pas seulement la découverte d'un univers inconnu mais encore l'exploration d'un domaine d'utilité immédiate, celui de la science et de la technique appliquée à la vie quotidienne des hommes après l'avoir été au service des hommes de l'Espace ? De même que cela a été le cas au cours des étapes techniques et industrielles précédentes, *l'exploration spatiale va-t-elle peut-être assurer à son tour un rôle promoteur du développement économique* par les innovations qu'elle suscitera et créera : nouveaux investissements, nouvelles industries, nouvelles entreprises, nouvelles professions, nouveaux produits, nouvelles concentrations de population, nouvelle expansion dans les secteurs tertiaires du commerce, de la banque, des assurances, des transports et par conséquent dans la construction comme aussi dans certaines professions libérales qui leur seront directement ou indirectement liées ? Peut-être futur carrefour de productions nouvelles, l'exploration spatiale jouera-t-elle une fois un rôle important dans les cycles économiques et dans les fluctuations boursières ?

Jusqu'à présent le degré de civilisation économique d'un pays se mesurait, selon les pays, à la quantité d'acier, ou d'énergie, ou de ciment, ou de papier, ou d'eau, ou d'ordinateurs électroniques consommée par tête de population active. L'exploration spatiale va-t-elle reconvertir cette assertion ? De même que les branches traditionnelles de la sidérurgie, de la chimie, du pétrole, de la construction des automobiles, de celle des ordinateurs électroniques, *l'astronautique va-t-elle devenir une branche clé de l'économie* ?

En répétant avec Fourastié et Ducommun d'une part que, tout en étant compatible avec une croissance économique sans heurts, le progrès technique crée autant d'emplois nouveaux qu'il en supprime, et d'autre part qu'aux USA un emploi non manuel exige d'abord un investissement moyen de 20.000 dollars en installations qui, elles, ont nécessité

au préalable d'autres installations et d'autres emplois, on comprend dès lors l'affirmation du professeur Dorsimont (Ecole polytechnique militaire belge) que, pour une dépense de 1 dollar dans l'exploration spatiale, 90 % reviennent immédiatement à l'économie américaine dans les commandes de toute nature, puis 4 dollars apparaîtront dans les 5 à 10 ans comme fruit des retombées des recherches spatiales.

— 2. Mais, examinée sous un autre angle, *l'exploration de l'Espace ne constitue-t-elle pas un immense gaspillage de ressources financières* dont on aurait grandement besoin sur Terre ? Les sommes énormes dépensées n'auraient-elles pas pu être plutôt distribuées aux pauvres ou affectées à une partie de l'humanité qui ne mange pas à sa faim ? (bien que nous sachions que certaines pauvretés dépendent moins de l'argent que d'autres causes telles que les tabous religieux, les traditions, la paresse, l'analphabétisme, les concepts...).

D'abord, au niveau américain, il faut souligner que le budget de la NASA, d'ailleurs en régression depuis quelques années, n'égale pas le centième de celui du Pentagone et que *personne ne s'insurge ni contre les dépenses de défense nationale ni contre les dépenses consacrées à une publicité* dont une partie occasionne des productions irrationnelles par l'exploitation de l'émotivité inconsciente, des motivations subconscientes et des comportements psychologiques dirigés de certains consommateurs [1].

Même si l'exploration spatiale recouvre des aspects militaires, l'énormité du budget spatial de la NASA (puisque les dépenses totales qui ont été engagées seulement pour les trois catégories de missions Mercury, Gemini et Apollo ont atteint des dizaines de milliards de dollars), ne représente en définitive jusqu'en 1972 en moyenne que 15 dollars par citoyen américain et par an, *soit environ $^1/_2$% de son revenu brut, c'est-à-dire moins que ses dépenses de consommation de tabac et d'alcool.*

« Je ne partage pas du tout l'opinion de ceux qui prétendent qu'une réduction draconienne des dépenses spatiales permettrait d'améliorer substantiellement le budget des affaires sociales », a déclaré l'astronaute Cunningham (Apollo 7, 1968). « D'un secteur à l'autre, ces dépenses ne sont pas commutables à volonté... » « Si l'on ajoutait les 3,2 milliards de dollars prévus cette année pour le programme spatial aux 25 milliards que dépense actuellement notre pays pour la santé, l'éducation, la formation de la main-d'œuvre et le développement de la communauté, cela n'aurait pas d'incidence significative sur le bien-être général. » Telle est l'opinion, par exemple, de l'astronaute Bean (Apollo 12 et Skylab 2) [2].

— 3. Le seul sondage connu en Europe, dans ce domaine, est celui de 1972 en République fédérale allemande où 88 % des personnes interrogées ont répondu que la recherche spatiale leur parassait importante pour l'avenir de l'humanité. D'ailleurs, le 23e Congrès international d'astronautique, qui s'est tenu à Vienne en octobre 1972 en présence de plus d'un millier de spécialistes provenant des pays de l'Est et de l'Ouest, avait choisi pour ses délibérations le thème de « l'Espace au service du développement mondial » !

Même si « les sommes considérables dépensées par les USA dans la recherche appliquée et le développement n'ont qu'exceptionnellement été justifiées par le désir d'aider l'économie » [3], il est évident que dans le domaine spatial, dès 1961, le président Kennedy a

---

[1] GEORGES HARTMANN: « Besoins de psychologie et psychologie des besoins de consommation », *Revue suisse de psychologie*, Berne, n° 2/1965, p. 156-162.

En outre, personne n'a critiqué la dépense de 300 millions de dollars qu'ont coutés les élections américaines en 1972.

[2] ALAN L. BEAN: « Utilité du programme spatial lunaire », *Impact*, Paris, avril/juin 1971, p. 128.

[3] CHARLES TAVEL: « L'intervention de l'Etat dans la recherche à buts économiques », *Revue économique et sociale*, Lausanne, mars 1972, p. 7.

aussi voulu doter les USA d'une puissante industrie spatiale dont les retombées scientifiques, techniques, juridiques, économiques et sociales se manifestaient petit à petit.

Apparemment inutile et source de gaspillage de ressources, *l'exploration spatiale est considérée d'une manière positive et prometteuse par quantité de politiciens, de savants, d'industriels de nombreux pays.* Il n'y a d'ailleurs qu'à entendre certains d'entre eux pour mieux souligner les conséquences attendues de cette recherche dont l'objectif consiste, à long terme et au travers d'améliorations de toute nature dans la plupart des disciplines, des professions et des activités, à aider l'humanité à mieux vivre. Ainsi, « c'est un petit pas pour un homme, mais un pas de géant pour l'humanité » (Neil Armstrong, Apollo 11). « Je suis convaincu que le peuple américain finira par se rendre compte de l'ampleur des retombées bénéfiques qu'il pourrait attendre d'un programme spatial bien compris » (Cunningham, Apollo 7). L'aspect « le plus important des programmes de recherche spatiale est simplement qu'ils servent la science; et *les progrès de la connaissance servent toujours, de quelque façon, le bien-être des hommes* » (Evry Schatzmann, professeur à l'Institut d'astrophysique de Paris). « Il est évident que l'essor hors de la Terre dotera l'homme d'un moyen de connaissances sans précédent en lui faisant connaître des conditions extraterrestres qu'il soupçonne à peine mais qui sont multitudes autour de lui, lointaines et proches dans l'espace et dans le temps... *L'exploration des espaces interplanétaires nous amènera,* grâce aux satellites, puis aux engins extraterrestres, *une moisson incroyable de faits insoupçonnés...* dans les arcanes de l'inconnu » (Charles-Noël Martin, astrophysicien). « Les résultats obtenus justifient pleinement l'effort consenti. Les expéditions sur la Lune ont non seulement fait progresser considérablement la technique, la médecine et l'enseignement aux USA, mais elles ont aussi profité largement à l'humanité tout entière » (Bean, Apollo 12 et Skylab 2). « Les fonds dépensés pour le programme spatial permettent de donner du travail à bien des Américains... *de créer des emplois qui permettent à leur tour* d'acquérir des connaissances et présentent d'autres avantages qui, eux aussi, *permettent de créer encore d'autres emplois. C'est le meilleur type de programme que l'on puisse mettre à exécution pour aider les pauvres* » (Homer E. Newell, NASA). « Il est difficile d'évaluer ce que l'exploration de l'Espace a rapporté à l'économie des USA, mais c'est considérable. Certains critiquent les progrès matériels accomplis durant les dix dernières années, et leurs arguments ne sont pas dénués de tout fondement. Il est réel que les progrès de la technique n'ont pas tous servi au bien de l'humanité, *mais les éléments positifs pèsent plus lourd dans la balance que les éléments négatifs,* et les aspects bienfaisants apparaissent de mieux en mieux au fil des années » (Bean, Apollo 12 et Skylab 2). « C'est simplement la conclusion du commencement... Maintenant que nous avons appris à ramper, nous avons acquis la confiance et la possibilité de marcher. Et il n'y a pas de limites » (Ing. Cernan, Gemini 9, Apollo 10, Apollo 17). « Nous sommes pleinement conscients, non pas de ce que nous laissons derrière nous, mais de ce qui reste à faire... *Les bénéfices de l'exploration spatiale continueront* » (président Nixon, décembre 1972).

Il y a peu de temps encore le globe terrestre comportait cinq continents et on lui avait attribué figurativement un sixième continent: la mer avec toutes les productions directes et indirectes qu'on peut en tirer. Désormais, la Terre ne va-t-elle pas être dotée figurativement aussi d'un septième continent, l'Espace, dont l'exploration aura des effets directs et indirects qui profiteront à toute l'humanité et à toutes les nations ? « C'est... un pas de géant pour l'humanité » (Armstrong). L'avenir le dira!