

# Les recherches spatiales

Autor(en): **Golay, M.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri**

Band (Jahr): **40 (1962)**

Heft 8

PDF erstellt am: **28.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-875132>

## **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.

Il n'est pas nécessaire d'essayer de justifier l'intérêt des recherches spatiales lorsqu'on s'adresse aux spécialistes des télécommunications. En effet, non seulement ils ont essayé les premiers de connaître l'espace environnant la terre en effectuant des sondages radio-électriques, mais aussi ils estiment que les télécommunications intercontinentales sont plus sûres à l'aide des satellites artificiels que par les moyens classiques. Il n'est cependant pas inutile, pour le lecteur moins spécialisé, d'exposer sommairement ce que sont les recherches spatiales et leurs applications.

Auparavant, essayons de préciser un peu notre vocabulaire et d'éliminer des confusions beaucoup trop répandues. Il y a trois mots pour exprimer les activités spatiales et qui sont loin d'être synonymes. Ce sont: astronautique, technique spatiale, recherche spatiale. L'astronautique est la navigation interplanétaire, donc le transport des êtres humains dans l'espace. L'astronautique a débuté en avril 1961 avec l'envoi dans un vaisseau cosmique d'un pilote soviétique. La technique spatiale a pour but de développer tous les moyens technologiques nécessaires à installer des hommes ou des appareils dans l'espace ou sur d'autres planètes et d'utiliser les propriétés particulières de l'espace. La recherche spatiale étudie les propriétés de l'espace et de la matière inerte ou vivante dans l'espace.

Il serait un peu abusif de voir le début des techniques et des recherches spatiales dans les montgolfières, car l'espace parcouru est bien proche de la terre et ses propriétés sont peu différentes de celles observables des points élevés de la terre. Par contre, nous pouvons faire commencer le début des techniques spatiales dès l'instant où nous disposons d'un véhicule capable de nous amener, dans son principe au moins, à n'importe quelle altitude. Ce véhicule est la fusée, dont la technique a pris corps en 1942 avec la mise au point des V2. La recherche spatiale, elle, a commencé dès l'instant où l'on a mis dans la tête de la fusée des instruments de mesure au lieu d'un explosif. Ce pas a été accompli en 1946 par les Américains qui utilisèrent les V2, trouvées dans les dépôts allemands, à des sondages météorologiques. Dès cette date, les véhicules se sont perfectionnés et ont permis d'élever de plus en plus haut des charges de plus en plus lourdes. En 1957, le premier satellite de la terre a été mis sur une orbite. La recherche spatiale a disposé alors d'un instrument d'une efficacité extraordinaire puisque l'on estime que les informations fournies par un satellite durant un mois sont équivalentes à celles données par 8000 fusées. C'est à l'étude de la terre et de l'atmosphère terrestre que les fusées et les satellites

ont d'abord été utilisés. De ces études découlent les applications immédiates. Nous pouvons décomposer en deux catégories les applications résultant des techniques et des recherches spatiales:

- a) les applications directes,
- b) les applications découlant des techniques spatiales.

Les applications directes apportent une contribution décisive dans les domaines suivants:

1. les télécommunications,
2. la météorologie,
3. la navigation nautique et aérienne,
4. la géodésie.

Les applications découlant des techniques spatiales contribuent aux développements:

1. des techniques de miniaturisation,
2. des méthodes de télécommande, de télémétrie et d'asservissement,
3. de l'étude et de la réalisation de nouveaux matériaux,
4. des techniques de production en grande quantité de certains produits chimiques,
5. des sources d'énergie.

Examinons quelques-unes de ces applications.

Je n'insisterai pas sur les télécommunications à l'aide des satellites artificiels, car cette revue a déjà souvent eu l'occasion de l'exposer et j'exposerai brièvement les 3 autres applications.

### *1. Météorologie*

Une des grandes difficultés de la prévision météorologique est d'établir à chaque instant la situation, sur l'ensemble du globe, des mouvements des grandes masses d'air. Les stations d'observations météorologiques sont très mal réparties. Elles abondent dans les régions civilisées et sont très rares dans les régions hostiles à la vie, mais souvent fort intéressantes du point de vue météorologique. Par exemple les régions polaires, les régions océaniques et les déserts que les navires et les avions évitent soigneusement, ne disposent que de quelques postes météorologiques. De plus, des caractères locaux influencent considérablement les observations et font perdre de vue les caractères généraux qui sont responsables du temps. Les satellites artificiels nous fournissent en 24 heures des informations sur le monde entier, d'un caractère particulièrement homogène, du fait qu'elles proviennent toutes du même appareil. En répartissant plusieurs satellites autour de la terre, on peut établir cette vue d'ensemble à des intervalles de temps encore plus rapprochés. Il devient alors possible de suivre la naissance des grands courants, leur développement et leur mort. Le temps résulte des vents qui provien-

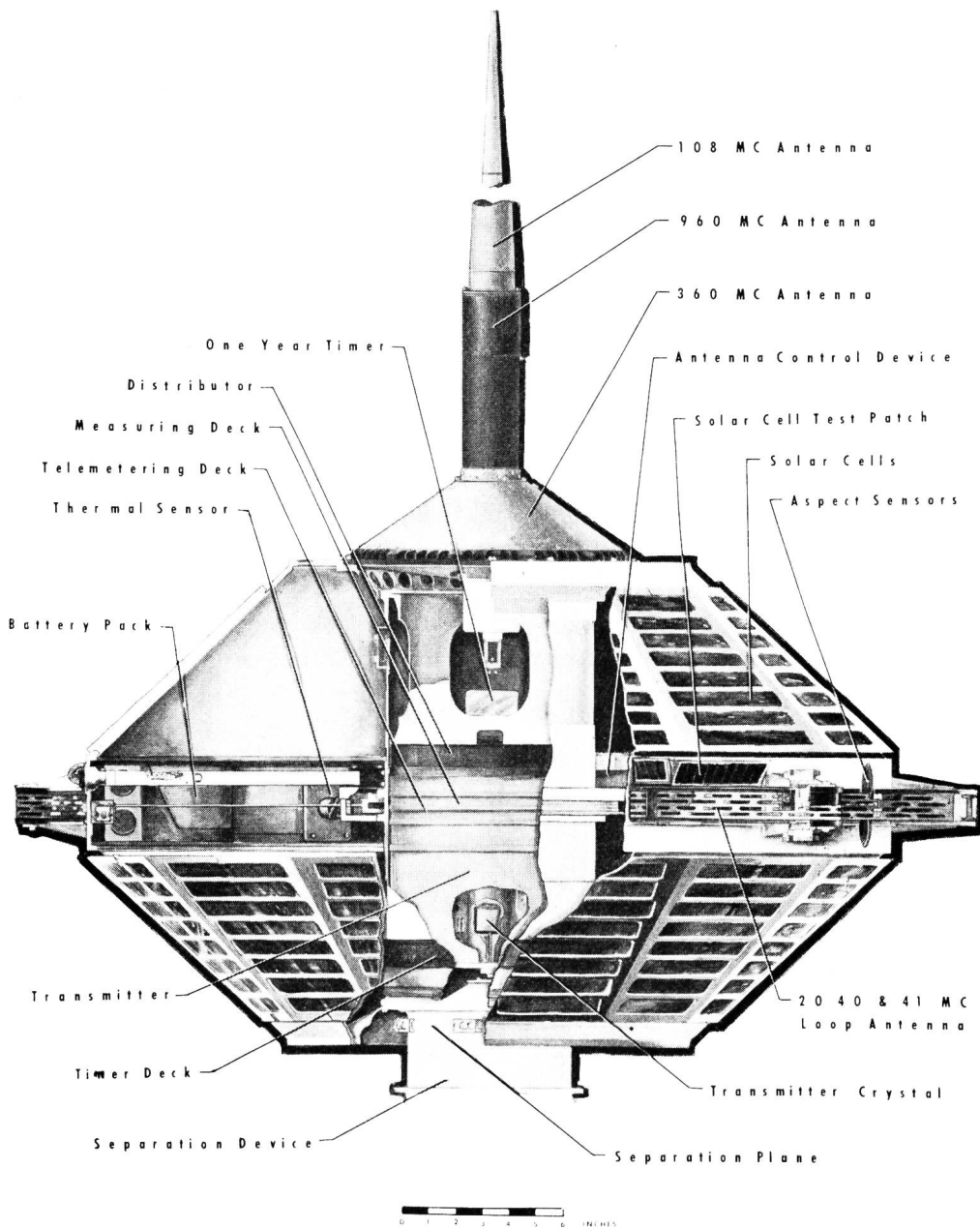


Fig. 1.  
Coupe du satellite Explorer VII

ment de la distribution non uniforme de l'énergie reçue du soleil; il est donc essentiel d'obtenir des informations sur la distribution globale de cette énergie et sur l'échange d'énergie entre le soleil et la terre. C'est en améliorant notre connaissance sur le bilan énergétique des relations soleil-terre que l'on peut arriver à la compréhension de l'évolution des climats et des prévisions à longue échéance. Les satellites météorologiques ont donc les missions suivantes à accomplir:

1. Mesure de la couverture de nuages, à l'aide de cellules photoélectriques, de caméras de télévision. La nuit, cette couverture peut encore être détectée à l'aide des mesures du rayonnement infrarouge.
2. Mesure des radiations, c'est-à-dire des radiations émises directement par le soleil et celles réfléchies par la terre, par les nuages et par l'atmosphère. Détermination du rayonnement infrarouge de la

terre et de son atmosphère. Détermination de la température de la surface du sol et de la couverture de nuages par mesure du rayonnement traversant la fenêtre du spectre de la vapeur d'eau entre 8-11  $\mu\text{m}$ . Mesure de l'intensité de la bande de la vapeur d'eau de 6-7  $\mu\text{m}$ .

3. Détermination de la structure de l'atmosphère. Par exemple, mesure des précipitations globales à l'aide du radar ainsi que détermination de la stratification nuageuse. Détermination du profil de variation de la température avec l'altitude. Détermination des quantités de vapeur d'eau, d'ozone, d'anhydride carbonique et de leur distribution verticale. Distribution des orages à la surface de la terre.

Plusieurs satellites météorologiques ont déjà été lancés. Le Vanguard II, envoyé en février 1959, était chargé de fournir des images de la distribution des

nuages à la surface de la terre. L'image était obtenue par l'analyse de la surface terrestre avec deux cellules. C'est la rotation du satellite qui assurait le balayage. Le satellite Explorer VII, lancé le 13 octobre 1959, a mesuré le bilan de l'échange des radiations entre la terre et le soleil. Les satellites Tiros I et II ont été équipés de caméras de télévision et de cellules infra-rouges. Tiros I et II disposent de deux caméras de télévision, l'une à grand champ et l'autre à champ plus réduit, qui donne une image à haute définition du centre de l'image fournie par la première. Les caméras envoient des images successives et se chevauchant, couvrant ainsi un champ d'une largeur de 1300 km. Dans certaines circonstances, la définition peut atteindre 4 km. Les images sont enregistrées sur des bandes magnétiques qui délivrent leur masse d'informations en passant au-dessus du centre de réception.

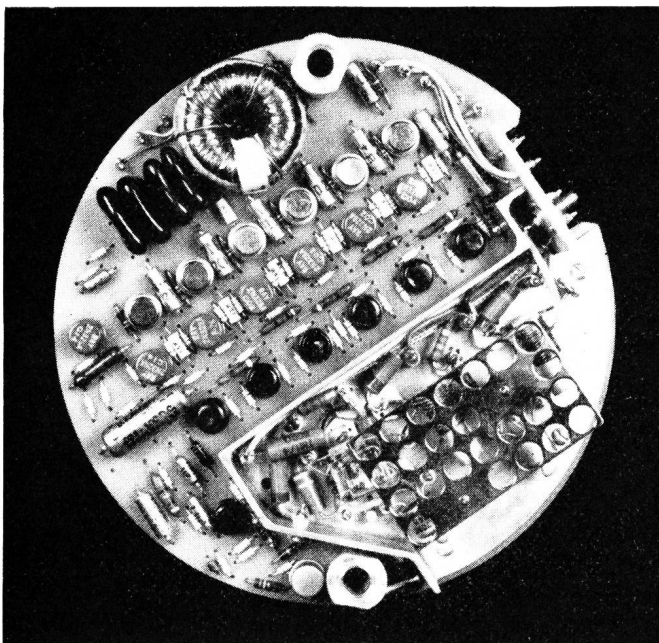


Fig. 2. Platine comportant un équipement électrique miniaturisé du satellite Explorer VII. Elle contient : un émetteur 108 MHz transistorisé, un «multiplexer» et un «sub-carrier oscillator»

On peut attendre une amélioration considérable de la qualité des prévisions météorologiques, grâce à cette possibilité d'avoir à chaque instant une vue d'ensemble. Une augmentation de 10% de la précision des prévisions peut économiser des centaines de millions de dollars par an aux fermiers, constructeurs, compagnies de navigation aérienne et nautique, aux touristes et à beaucoup d'autres entreprises.

## 2. Géodésie

Un des problèmes importants de la géodésie est la définition de la forme de la terre. Nous savions que la terre est un ellipsoïde dont l'aplatissement était estimé à  $\frac{1}{297}$ . Ce chiffre exprime le rapport de la différence des longueurs des rayons équatoriaux et

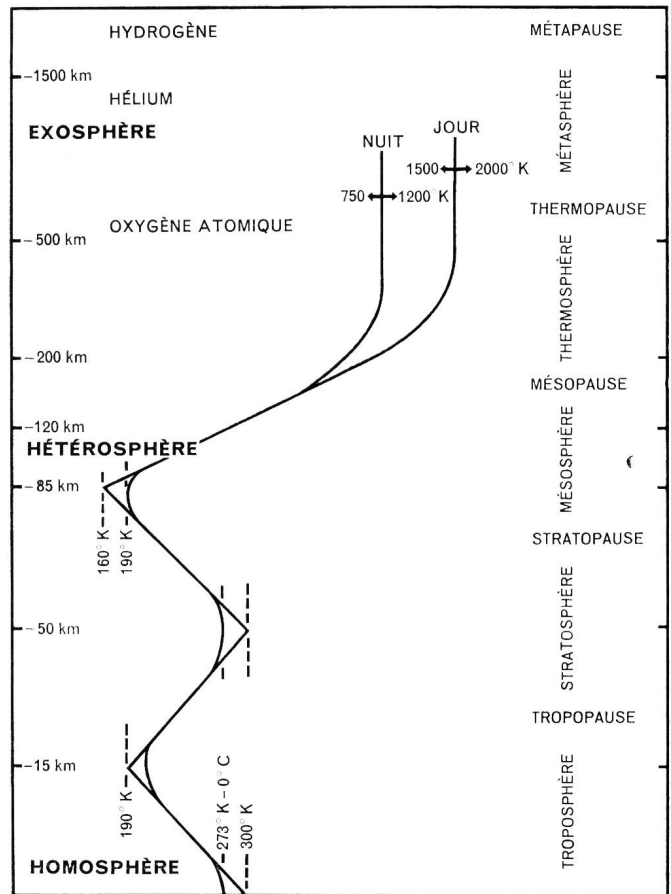


Fig. 3. Les régions de l'atmosphère terrestre (Selon «L'homme et l'espace»)

polaire au rayon équatorial. Le chiffre fourni par l'observation des satellites conduit maintenant à un aplatissement de  $\frac{1}{298,28}$ . La terre est donc plus proche d'une sphère que nous ne le pensions.

Un autre but de la géodésie est la détermination de la position des lieux à la surface de la terre. Nous rejoignons-là les problèmes de la navigation. Il est possible de déterminer maintenant la distance Paris-New York à quelques mètres près et de situer avec précision des lieux d'accès difficiles, des obstacles en mer, des îles de corail, des sommets sur terre où l'observation astronomique était difficile, sinon impossible.

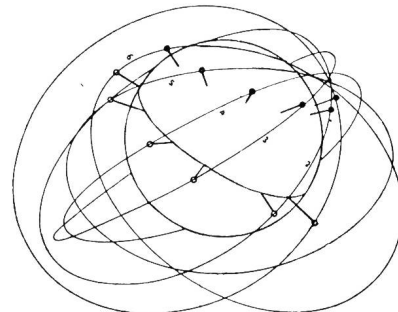


Fig. 4. La forme de la terre est la cause de nombreux mouvements de l'orbite décollée par le satellite. La figure montre les positions de diverses orbites parcourues par le premier satellite artificiel. Les orbites sont représentées de 10 en 10 jours. Le point noir représente la position du périégée (Extrait de la «Revue Technique Européenne»)

Un troisième but de la géodésie est l'étude du champ de gravitation terrestre. Ce problème a des relations très proches avec la géophysique, car il contribue à l'examen du sous-sol à l'aide des effets gravitationnels.

### 3. Navigation nautique et aérienne

La détermination des coordonnées d'un véhicule a toujours été une opération particulièrement difficile et d'une importance capitale pour la sécurité du véhicule. L'observateur chargé de faire le point doit déterminer sa position par rapport à des repères fixes, naturels (généralement les astres) ou artificiels (phares, radiophares, radio-navigateurs). Dans le cas de repères naturels, il faut faire appel à des méthodes optiques qui peuvent être rendues impossibles lorsque les conditions atmosphériques sont défavorables. Dans le cas de repères artificiels, soit la courbure de la terre limite généralement la portée, soit encore d'autres inconvénients apparaissent. Le satellite artificiel peut être un excellent repère à condition que l'observateur connaisse à chaque instant la position du satellite sur son orbite. La solution la plus précise est que le satellite émette en même temps un signal de repérage et sa position exacte. Une solution plus simple mais moins sûre consiste à envoyer les coordonnées du satellite à partir d'une base terrestre. Le principe de la détermination de la position de l'observateur par rapport au satellite est le suivant. Il faut évaluer la distance de l'observation au satellite à deux instants rapprochés et en déduire, sur la terre, deux lieux géométriques permettant de connaître la position de l'observateur. L'intersection des deux lieux donne les situations possibles. Une connaissance approchée de cette intersection permet de choisir entre les diverses solutions. Les satellites américains, Transit 1B et 2A, lancés le 13 avril 1960 et le 22 juin 1960, avaient pour but d'expérimenter de telles méthodes. Les satellites étaient équipés d'oscillateurs assurant une fréquence radioélectrique d'une grande stabilité. L'observateur recevait cette fréquence modifiée par l'effet *Doppler-Fizeau* produit par la vitesse relative du satellite par rapport au véhicule sur lequel se trouve l'observateur. La mesure de la fréquence par l'observateur, à différents instants, permet de définir les lieux géométriques, et leurs intersections donnent les positions. Au lieu de fréquence, il est possible d'utiliser des trains d'impulsions. L'observateur et le satellite ont alors des horloges identiques qui devraient avoir des impulsions correspondantes aux mêmes instants, si les deux horloges étaient dans les mêmes conditions. Comme le satellite et le véhicule de l'observateur se déplacent l'un par rapport à l'autre et que la vitesse de propagation des ondes radioélectriques n'est pas infinie, il se produit un décalage des impulsions de l'une des horloges par rapport à l'autre, décalage proportionnel à la distance qui les sépare. A l'aide des méthodes décrites ci-dessus, il est possible de déterminer les positions des véhicules avec une précision bien meilleure que 1 km,

quel que soit le type de véhicule transportant l'observateur.

Il est un aspect des recherches spatiales sur lequel les vulgarisateurs n'insistent pas assez et que je veux maintenant présenter.

Pour comprendre le fait que l'avènement de la recherche spatiale ouvre d'immenses perspectives à la connaissance de l'univers, il nous faut examiner quels sont les facteurs responsables du progrès scientifique au cours de l'histoire.

### 4. La recherche spatiale et la connaissance de l'univers

C'est à partir des informations fournies par les sens que le cerveau de l'homme compare, associe, classe, imagine, crée, déduit les propriétés d'un ensemble de corps et de matériaux. Immédiatement nous voyons combien la recherche en astronomie est alors handicapée. En effet, dans ce domaine de la science, il n'est possible d'utiliser que les informations fournies par un seul sens, la vue. Le progrès de la connaissance de l'univers se trouve donc essentiellement conditionné par celui effectué dans l'étude des rayonnements. Pour remédier à cette grave déficience expérimentale, le chercheur essaie tout de même de découvrir les lois de l'univers en extrapolant celles qu'il a établies lors de ses expériences terrestres. Nous voyons donc apparaître deux aspects de la méthode de recherche en astronomie: l'observation et l'extrapolation des lois connues.

L'expérimentation directe, c'est-à-dire la modification intentionnelle du milieu, est exclue; nous devons dire maintenant «était exclue» puisque les satellites nous permettent enfin l'expérimentation directe et c'est en partie en cela que réside l'immense intérêt scientifique des satellites artificiels.

Cette impossibilité d'action directe sur l'univers n'a pas détourné l'intérêt des hommes. Au contraire, dès la plus haute antiquité, l'homme a tenté de percer les secrets du ciel, car il a compris que s'il en détenait les lois il obtiendrait alors la domination absolue du monde physique. De l'époque préhistorique à celle des révélations de *Galilée*, obtenues avec les premières lunettes, toute la science astronomique a été établie à l'aide des observations visuelles. Des catalogues d'étoiles ont été dressés, les mouvements enregistrés. En ajoutant à l'œil une lunette de son invention, Galilée multiplia énormément les possibilités d'investigation de l'homme. L'objectif collectait une quantité de lumière beaucoup plus grande que l'œil ne le pouvait et mettait à portée du savant un univers infiniment plus riche. Les astres qui paraissaient errer parmi les étoiles apparemment fixes, et pour cela dénommées «planètes», se révélaient avoir des dimensions non négligeables, être d'aspect variable, tel que Vénus, ou entourés de petits satellites changeant rapidement de place, tel Jupiter. La voie lactée enfin, jusque-là considérée comme une impalpable nuée, présentait à l'observateur un nombre incalculable d'étoiles. Dès 1616, des télescopes de plus en plus grands ont confirmé la structure complexe du ciel et

permis de se faire (ou créer) une image approchée et grossière de l'univers. Un nouveau bond en avant a été réalisé avec l'introduction de la photographie en 1845. Les mouvements des étoiles fixes ont été étudiés, la variabilité d'éclat de nombreuses étoiles a été mesurée, enfin des spectres stellaires ont été enregistrés et dépouillés au laboratoire. La photographie elle aussi a multiplié l'acuité de la vue humaine, elle permet d'enregistrer des détails trop ténus pour être vus même avec un télescope, elle supplée à l'insuffisance de la mémoire visuelle en conservant une image de l'astre avec les positions et l'intensité de tous ses détails. La photographie a multiplié aussi l'étendue spectrale de la sensibilité de l'œil. En effet, la sensibilité de l'œil humain s'étend de 4000 Å à 8000 Å, ce que nous interprétons par des couleurs comprises entre le violet et le rouge. La plaque photographique permet d'étendre cette sensibilité du côté des courtes longueurs d'onde pratiquement jusqu'aux plus courtes, celles des rayonnements X et même  $\gamma$  de 0,002 Angström. Il en est de même du côté de l'infrarouge et chaque découverte portant sur l'intervalle spectral couvert par l'émulsion photographique ou sur la sensibilité globale a été à l'origine d'un progrès considérable dans la connaissance du ciel. La photographie infrarouge, par exemple, a permis de détecter le centre de la galaxie qui nous est dissimulé par un épais nuage de matière interstellaire ne pouvant être traversé que par le rayonnement infrarouge. Par contre, le progrès réalisé sur la sensibilité des émulsions photographiques aux très courtes longueurs d'onde a eu, jusqu'à l'époque des satellites artificiels, peu de conséquences en astronomie. En créant des récepteurs susceptibles d'enregistrer des ondes de longueurs de plus en plus grandes, on en arrive aux récepteurs radioélectriques captant les ondes micro-métriques, puis centimétriques. Nous pénétrons alors dans le domaine de la radioastronomie dont les techniques, au point dès 1952, avaient été établies pour vérifier l'existence d'une raie de l'hydrogène prédite en 1945 par *Van de Hulst*. En quelques années, la radioastronomie a mis en évidence les bras de notre galaxie (dont nous soupçonnions l'existence), découvert des radio-sources galactiques qui sont les restes de supernovae, permis l'observation de galaxies en collision. Les conséquences de cette nouvelle technique pour la résolution des problèmes que nous pose la structure de l'univers sont incalculables.

A la veille du lancement des satellites artificiels, nous avons donc la possibilité d'enregistrer et de mesurer avec précision les rayonnements de toutes longueurs d'onde et d'intensité extrêmement faible. Malheureusement, un obstacle important limitait dans des proportions énormes toutes ces possibilités. En effet, toutes les informations que nous recevons de l'univers doivent obligatoirement traverser l'atmosphère de la terre où elles subissent des réfractions, des absorptions, des diffusions, souvent même l'absorption est telle que ces informations ne nous atteignent jamais.

Décrivons maintenant les quelques intervalles de longueurs d'onde pour lesquelles l'atmosphère est transparente. L'oxygène et l'azote absorbent les rayonnements de longueurs d'onde comprises entre 1 Å et 1800 Å. L'absorption est un peu plus faible entre 1800 Å et 2000 Å et permet de faire quelques études. Remarquons que cette absorption permet le développement de la vie qui sans cela serait détruite.

Dès 2000 Å et jusqu'à 2800 Å, l'ozone atténue fortement tous les rayonnements. Une première fenêtre importante s'ouvre de 2800 Å à 8000 Å, justement dans le domaine de sensibilité de l'œil et des émulsions photographiques. Pour les longueurs d'onde de 2800 à 4000 Å, la transparence est atténuée par la diffusion de la lumière par l'air et les poussières des couches inférieures de l'atmosphère.

Dès 8000 Å, nous observons des plages transparentes alternant avec des plages opaques, ces absorptions sont dues au gaz carbonique et à la vapeur d'eau. Enfin les rayonnements de longueurs d'onde de 5  $\mu$ m à 1 cm sont fortement absorbés, toujours par la vapeur d'eau, avec parfois des absorptions atténuées, ainsi que c'est le cas à 10  $\mu$ m. A partir des longueurs d'onde de 1 cm, une importante fenêtre s'ouvre par laquelle pénètre le rayonnement radioélectrique de l'univers. Cette excellente transparence couvre tout l'intervalle des longueurs d'onde compris entre 1 cm et 10 mètres. Les longueurs d'onde utilisées par les émetteurs des satellites sont évidemment comprises dans cet intervalle. On voit l'immense intérêt des satellites, puisqu'en installant tous nos appareils sur des satellites artificiels nous supprimons l'obstacle au progrès scientifique que constituait notre atmosphère. Désormais, nous pouvons capter et mesurer tous les rayonnements envoyés par l'univers et, même plus, nous pouvons envoyer des fusées au voisinage des astres inconnus pour étudier directement leur composition et celle de leur atmosphère.

L'expérience physique devient possible dans les conditions les plus extrêmes. En effet, c'est dans l'espace interstellaire que nous rencontrons les vides les plus poussés, les vitesses les plus grandes, les états les plus instables, les densités les plus réduites, c'est dans les étoiles que nous rencontrons les pressions les plus élevées, les états les plus compacts de la matière, les températures les plus hautes. Si notre science terrestre est juste, elle doit être aussi valable dans ces états exceptionnels et se trouver ainsi confirmée. Il y a de nombreuses chances pour que notre point de vue actuel soit sérieusement révisé lorsque nous en serons à l'étude critique des documents fournis par les satellites artificiels. La conquête de l'espace a une importance telle dans l'histoire de la connaissance que notre ère sera probablement dénommée «ère de l'espace» plutôt que «ère atomique». En effet, les satellites artificiels ne seront pas seulement les instruments d'une courte période, mais deviendront au contraire des instruments de mesure permanents. Pour l'instant, nous en sommes au stade primaire d'exploration de notre voisinage, par la

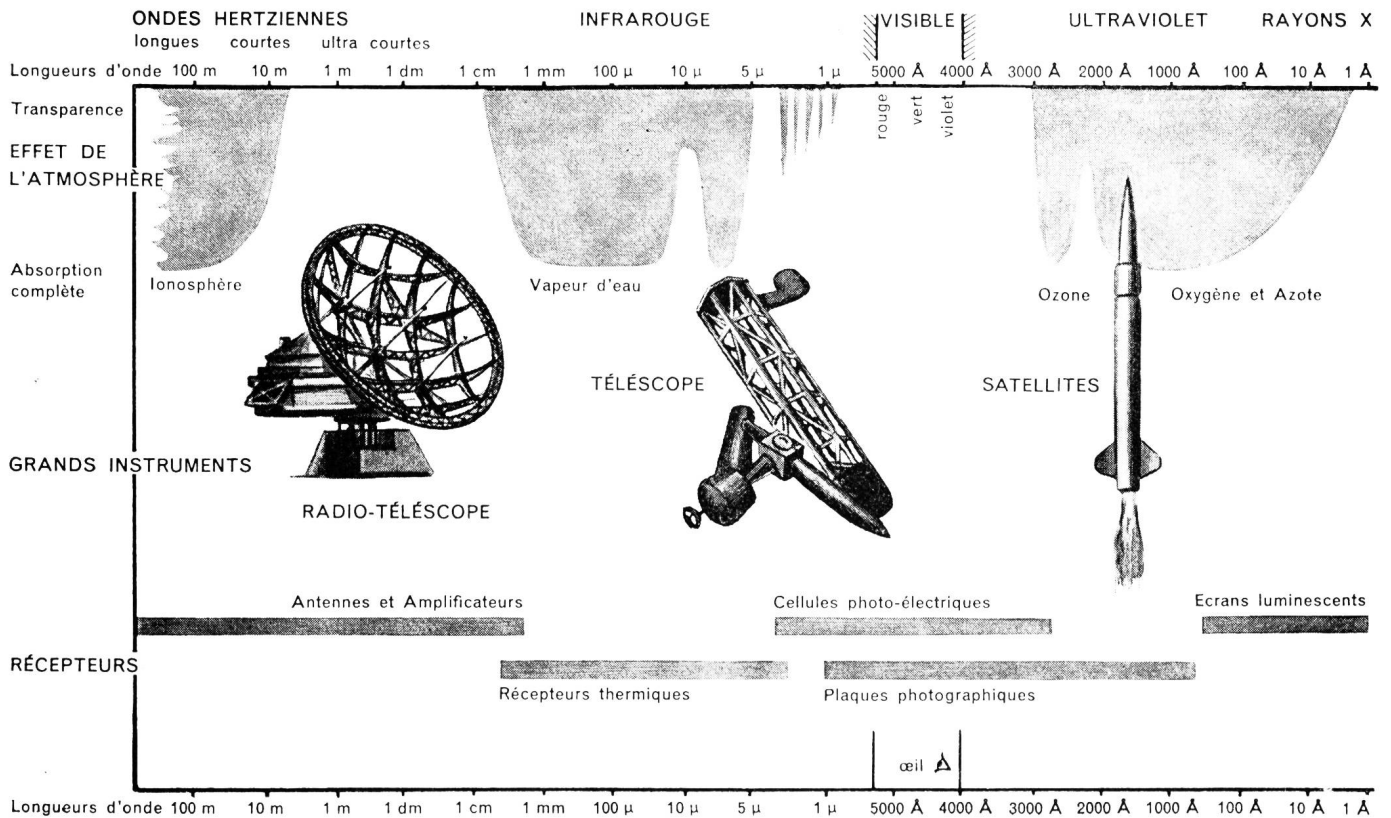


Fig. 5. Cette figure présente l'effet de l'atmosphère, la distribution des rayonnements en provenance de l'espace, les régions spectrales d'utilisation des divers types de récepteurs permettant de les mesurer (Extrait de «L'astronomie populaire»)

suite des appareils de contrôle et de surveillance de notre atmosphère seront satellisés et permettront ainsi de prévoir les événements (météorologiques par exemple), peut-être d'en modifier le cours. Nous avons vu le rôle de l'atmosphère de la terre qui, d'une part, nous protège et permet ainsi le développement de la vie, d'autre part nous empêche d'observer l'univers. C'est donc à l'étude des lois de cette atmosphère, si importantes à connaître pour tout ce qui se déroule à la surface de la terre, que les satellites sont d'abord utilisés.

### 5. La nécessité de la coopération internationale

La recherche spatiale exige des moyens extrêmement coûteux qu'aucun pays européen ne peut se procurer. Aussi, dès 1960, des consultations officielles se sont établies entre 12 pays (Autriche, Belgique, Danemark, France, Italie, Norvège, Pays-Bas, République fédérale d'Allemagne, Royaume-Uni, Espagne, Suède, Suisse), afin d'établir un projet de collaboration européenne. Une commission préparatoire a été établie et après une année de travail elle a déposé son rapport aux 12 gouvernements. Le rapport prévoit la création d'un centre européen de recherches spatiales (ESRO).

Pour accomplir une mission aussi complexe, l'ESRO se composera de:

1. un centre de direction,
2. un laboratoire de technologie spatiale,

3. un centre d'informations et de données,
4. un laboratoire de recherches,
5. plusieurs bases de lancements.

La partie la plus importante au point de vue scientifique et technique sera le laboratoire de technologie spatiale. Il occupera environ 800 personnes, dont la moitié seront des physiciens et des ingénieurs. Il est prévu que 70 millions de francs par an environ seront dépensés par ce laboratoire sous forme de

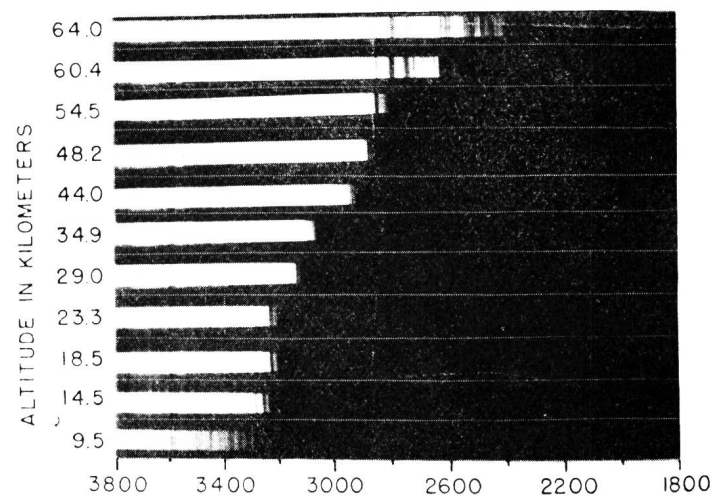


Fig. 6. Spectre du soleil obtenu à diverses altitudes. Le spectre devient de plus en plus riche du côté de l'ultraviolet lorsque l'altitude augmente

contrats avec l'industrie. Les techniques extrêmement évoluées qui seront mises au point dans ce laboratoire présenteront un grand intérêt pour notre industrie. Sachant qu'aux Etats-Unis 3000 nouveaux produits résultant de la technologie spatiale sont maintenant commercialisés, nous pouvons avoir l'espoir que dans ce domaine notre horlogerie trouvera des débouchés qui permettront d'effectuer la conversion de quelques-unes de ses entreprises.

Le centre d'informations et de données emploiera environ 150 personnes, dont le tiers seront des mathématiciens ou des physiciens-théoriciens. Ce centre, aussi, présentera un intérêt pour la Suisse, particulièrement pour nos universités qui offrent assez peu de situations scientifiques aux mathématiciens.

Le laboratoire de recherches sera assez réduit, car l'ESRO a pour but d'encourager la recherche spatiale, non pas en un point de l'Europe, mais dans tous les pays membres.

En ce qui concerne la question des bases de lancement, la forte densité de population de notre pays exclut absolument la possibilité d'y établir une base, même pour de petites fusées.

Après des négociations extrêmement serrées et inspirées surtout par des considérations économiques (marché commun), le laboratoire de technologie spatiale a été attribué aux Pays-Bas et le centre d'informations et de données à la République fédérale d'Allemagne. Le 13 juin, les accords établissant la création du centre européen des recherches spatiales ont été signés à Paris.

Si le programme annoncé est conduit à l'avenir aussi activement que jusqu'à présent, on peut s'attendre que les bâtiments sortent de terre durant l'été 1962 et que les premières expériences européennes débutent au printemps 1963.

Adresse de l'auteur: *Marcel Golay*, Professeur à l'Université, Directeur de l'Observatoire de Genève, Rue Chs-Galland, Genève

F. Lüdi, Baden (AG)

## Plasmaphysik

533.9

### Einleitung

Der Ausdruck Plasma wurde schon in den zwanziger Jahren von *I. Langmuir* anlässlich seiner Untersuchungen an Gasentladungen geprägt. In jeder Leuchtstoffröhre ist heute ein Plasma (ein makroskopisch neutrales, ionisiertes Gas) realisiert. Die jetzige Bedeutung der Plasmaphysik ist durch die kontrollierte Kernverschmelzung (Fusion) bedingt, dem kühnen Bestreben des Menschen, die Vorgänge im Sonnenzentrum zur Energiegewinnung nachzuahmen. Allerdings besteht zwischen diesen Plasmen und den früher untersuchten ein grosser Unterschied. Erstere sind praktisch voll ionisiert, die zweiten nur zu einigen Promillen. Bei den stark ionisierten Plasmen resultieren ganz andere Eigenschaften, und es bedeutet sogar eine gewisse Vereinfachung, weil sich nur zwei statt drei Komponenten in Wechselwirkung befinden.

Bei unseren Betrachtungen soll nicht die Fusion im Vordergrund stehen, sondern die physikalischen Eigenschaften des Plasmas selber, deren Erforschung heute als Voraussetzung für die Fusion mit grossem Aufwand betrieben wird. Es lässt sich nicht abstreiten, dass die Plasmaphysik durch die Astrophysik starke Anregungen empfangt, wie diese durch die Kernphysik. Die Plasmaphysik hat selbst wieder andere Gebiete, zum Beispiel die Mikrowellentechnik, zu immer kürzeren (Millimeter-)Wellen angespornt. Wir werden Gelegenheit haben, dies an einzelnen Beispielen zu illustrieren.

### Einige Gegebenheiten

Die Plasmen, die uns interessieren, sind im allgemeinen an ein Magnetfeld gebunden, es kann ein fremderzeugtes oder ein selbsterzeugtes sein. Für Fusionsplasmen muss die Temperatur sehr hoch sein, ungefähr  $10^8$ ° Kelvin, weil der Reaktionsquerschnitt viel kleiner als der thermische Stossquerschnitt ist, das heisst es gibt nur Reaktionen über thermische Zusammenstösse. Weil das Plasma heiss ist, muss es von den materiellen Wänden isoliert sein; das wird mit der *magnetischen Flasche* erreicht. Die Plasmen sind im allgemeinen verhältnismässig dünn, die Dichte der ionisierten Teilchen ist nicht grösser als  $10^{16}$ , also rund 1000mal weniger als bei Atmosphärendruck und Zimmertemperatur; der Hauptteil der zum Aufheizen hineingesteckten Energie würde sonst in Anregungsenergie und damit in Strahlung statt in kinetische Energie umgesetzt. Das heisse Plasma muss auch eine minimale Lebensdauer haben, damit die Energiebilanz positiv ist. Es gilt für das Produkt der Dichte  $n$  und der Lebensdauer  $\tau$  die Forderung

$$n \tau \geq 10^{16} \text{ sec} \cdot \text{cm}^{-3}$$

bei einer Mindesttemperatur von  $10^8$ ° K.

Diese extremen Forderungen sind mit gewissen Eigenschaften des Plasmas verbunden. Die wichtigste ist wohl der sehr kleine elektrische Widerstand, er ist für ein vollionisiertes Plasma einigemal kleiner als für Kupfer; der spezifische Widerstand nimmt mit der Temperatur proportional zu  $T^{-3/2}$  ab (für Metalle nimmt er bekanntlich proportional mit  $T$  zu),