

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 104 (1978)
Heft: 4

Artikel: Les satellites artificiels et leurs applications
Autor: Dupraz, Hubert
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-73513>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 22.01.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Les satellites artificiels et leurs applications

par HUBERT DUPRAZ, Hanovre

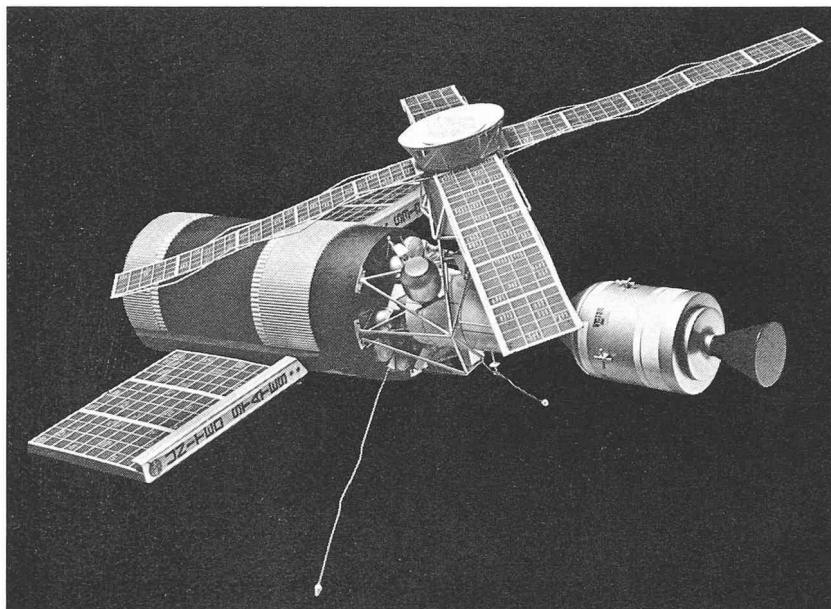


Fig. I. — Le Skylab, tel qu'il se présente sur son orbite. La longueur du corps central est de 36,12 m (dessin McDonnell-Douglas).

Un événement récent vient de nous rappeler l'importante activité de l'homme dans l'espace qui entoure notre planète : il a toutefois fallu qu'un satellite fût porteur de chargement radioactif pour que sa chute fasse l'objet de gros titres dans la presse.

L'annonce de la rentrée probable dans l'atmosphère, à la fin de cette année, de l'énorme laboratoire spatial américain Skylab, cette véritable maison familiale sur orbite (volume habitable : plus de 333 m³ ; masse lors du lancement : environ 90 tonnes !), a retenu quelques instants notre

attention, à cause de la probabilité que d'importants débris atteignent la surface du globe, puis a de nouveau sombré dans l'indifférence (fig. I et II).

Le plus souvent à notre insu, les satellites artificiels de la Terre jouent un rôle important dans notre vie quotidienne : télécommunications, prévisions météorologiques, recensement des ressources souterraines de notre globe, pour ne citer que quelques activités aujourd'hui tributaires de la présence sur orbite de nombreux satellites.

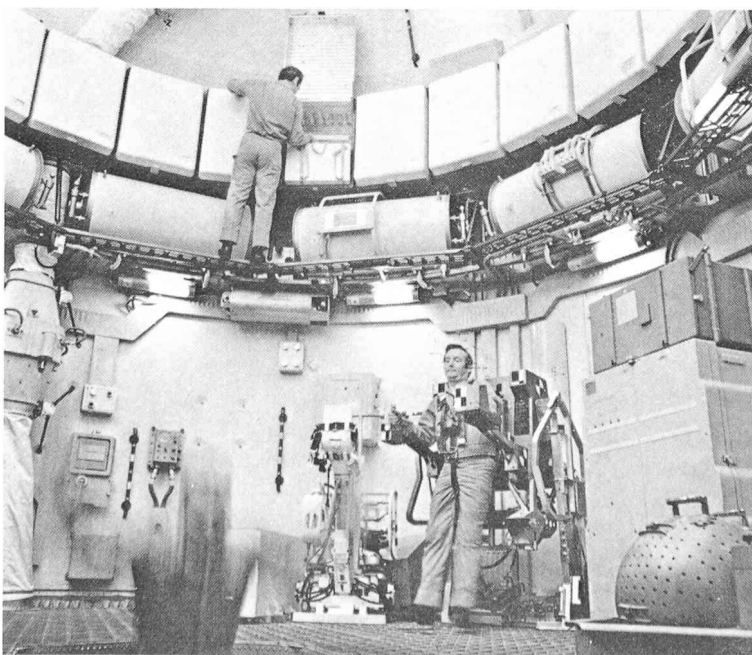


Fig. II. — Vue de l'intérieur du Skylab. Cette photographie donne une idée des dimensions de ce satellite dont le retour dans l'atmosphère est prévu pour la fin de 1978 (photographie McDonnell-Douglas).

On imagine également les nombreuses applications militaires, défensives ou offensives. Ces dernières constituent une menace suspendue en permanence sur nos têtes et l'on sait qu'une guerre dans l'espace — du moins celui entourant immédiatement notre planète — est plus qu'un simple thème de science-fiction.

Les exigences technologiques de la navigation spatiale proche ou lointaine ont conduit à des développements que nous retrouvons dans notre entourage : électronique, informatique, matériaux nouveaux, méthodes de production et de contrôle, etc.

A la lecture de notre rubrique « Postes à pourvoir », on découvre le large éventail de tâches à remplir pour assurer la conception, la réalisation, le lancement et l'exploitation de satellites artificiels.

Il nous a paru intéressant de présenter à nos lecteurs quelques aspects de base des lois mécaniques qui régissent les trajectoires des satellites artificiels et les problèmes pratiques qui en résultent, puis de mentionner quelques-unes de leurs applications.

1. Notions de base

1.1 Les lois de Képler

Les satellites artificiels sont des satellites de la Terre, comme les planètes sont des satellites du Soleil. Leur mouvement est donc décrit, en première approximation, par les célèbres lois de Kepler :

Première loi : Les planètes décrivent des orbites elliptiques, dont le Soleil occupe l'un des foyers.

Deuxième loi : Les aires balayées par le rayon-vecteur — rayon qui unit la planète au Soleil — sont proportionnelles au temps (fig. 1).

Troisième loi : Les carrés des durées de révolution sidérale sont proportionnels aux cubes des demi-grands axes des ellipses.

Pour être généralisée aux comètes et aux satellites des planètes, la première loi doit s'énoncer : « Sous l'action d'une force d'attraction, un corps céleste se déplace dans le champ d'attraction de l'autre corps céleste selon une conique. »

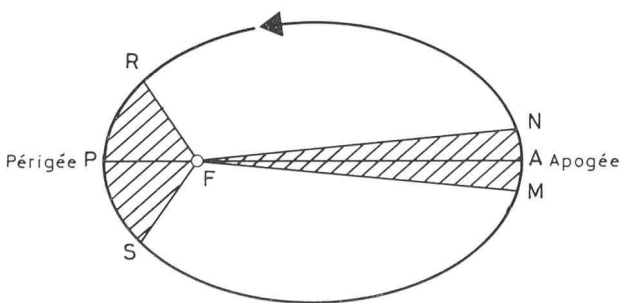


Fig. 1. — Deuxième loi de Képler : le satellite parcourt les arcs *RPS* et *MAN* en temps égaux, car les surfaces hachurées *FRS* et *FMN* sont égales.

La deuxième loi fixe la répartition des vitesses sur l'orbite. Elle montre que la vitesse n'est pas uniforme, mais maximale au périhélie (point le plus proche du foyer) et minimale à l'apogée (point le plus éloigné).

La troisième loi établit le rapport rigide entre le demi-grand axe de l'orbite et le temps de révolution. En d'autres termes, pour une orbite de demi-grand axe donné, il n'y a qu'un temps de révolution possible.

Il s'agit en quelque sorte d'un rapide survol ; l'auteur n'en est pas un spécialiste, mais un ingénieur ayant abordé fortuitement ce sujet. Profane s'adressant aux profanes, il ne risque donc pas de tomber dans le travers d'un exposé spécialisé à l'extrême.

La publication se fera par chapitres, chacun pouvant être lu pour lui-même, mais dont l'ensemble devrait constituer une documentation élémentaire sur le sujet. La matière en sera subdivisée de la façon suivante :

- notions de base,
- les éléments d'une orbite,
- les perturbations,
- quelques orbites remarquables,
- problèmes de lancement, mise sur orbite et contrôle d'attitude,
- applications,

le dernier point pouvant être développé en fonction de l'intérêt du lecteur.

Rédaction.

1.2 La géométrie analytique de l'ellipse

L'équation cartésienne de l'ellipse rapportée à ses axes (fig. 2) a la forme bien connue

$$\frac{X^2}{a^2} + \frac{Y^2}{b^2} = 1$$

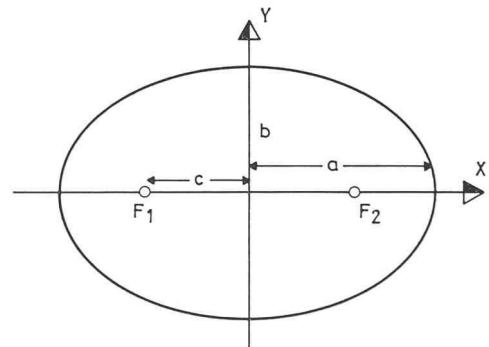


Fig. 2. — Eléments de l'ellipse.

En posant $c = \sqrt{a^2 - b^2}$, on appelle $\varepsilon = \frac{c}{a}$ l'excentricité.

L'ellipse appartient à la famille des coniques, et c'est précisément la valeur de l'excentricité qui détermine la nature exacte de la conique :

| | |
|-----------------------|-----------|
| $\varepsilon = 0$ | Cercle |
| $0 < \varepsilon < 1$ | Ellipse |
| $\varepsilon = 1$ | Parabole |
| $\varepsilon > 1$ | Hyperbole |

Pour l'étude des orbites des satellites artificiels, il est très commode d'utiliser l'équation polaire de l'ellipse (fig. 3).

$$\rho = \frac{p}{1 - \varepsilon \cos \theta}$$

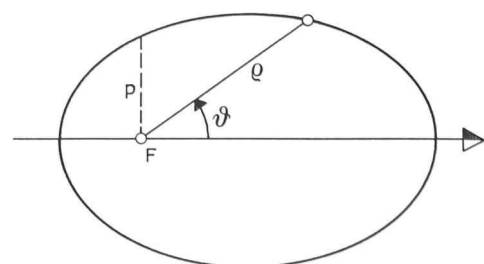


Fig. 3. — Coordonnées polaires de l'ellipse.

1.3 Les principes fondamentaux de la mécanique

Principe d'inertie

La *quantité de mouvement* (produit de la masse du corps par sa vitesse) d'un corps ne peut être modifiée que sous l'action d'une force

$$mv = \text{constante}$$

Principe du changement de la quantité de mouvement

Le changement de la quantité de mouvement est proportionnel à l'intensité de la force appliquée

$$F = ma \quad \text{avec} \quad a = \frac{dv}{dt}$$

Principe d'action-réaction

Un corps A de masse m_1 , en changeant la quantité de mouvement d'un corps B de masse m_2 , change la sienne de la même quantité, dans le sens opposé.

$$F_2 = -F_1$$

Loi d'attraction universelle de Newton

Deux points matériels exercent l'un sur l'autre une force attractive directement proportionnelle au produit de leurs masses et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare.

$$F = f \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

avec $f =$ constante d'attraction universelle
 $= 6,67 \cdot 10^{-8} \text{ cm/g} \cdot \text{s}^2$ (syst. CGS)

Dans les lois et principes énoncés ci-dessus, on établit facilement que deux points matériels en s'attirant acquièrent une accélération relative

$$a_{\text{relative}} = f \cdot \frac{m_1 + m_2}{d^2}$$

En mouvement relatif, tout se passe donc comme si la masse des deux corps était concentrée en un seul de ces deux points. C'est l'hypothèse que l'on fait dans l'étude du « Problème des deux corps », présentée au paragraphe suivant. En fait, les planètes et les satellites ne sont pas des points matériels. Mais grâce à leur homogénéité et à leur quasi-sphéricité, tout se passe en première approximation comme si cette hypothèse était réalisée. Les écarts à cette hypothèse sont traités, en deuxième approximation, comme des perturbations.

1.4 Le problème des deux corps

En faisant intervenir l'équation polaire de l'ellipse, les équations différentielles du mouvement, la loi d'attraction universelle et les lois de Kepler, on peut établir la relation appelée « intégrale des forces vives »

$$V^2 = f(M+m) \left(\frac{2}{d} - \frac{1}{a} \right)$$

avec $d =$ distance entre les deux corps M et m ,
 $a =$ demi-grand axe de l'ellipse.

Que signifie cette équation? Supposons un corps fixe de masse M et un corps mobile de masse m situé à une distance d de M et animé d'une vitesse V perpendiculaire à la direction mM . Leur attraction mutuelle imprime évidemment à m une accélération dirigée selon la direction mM . Quelle est la relation entre la vitesse V du corps m et la forme de sa trajectoire?

C'est le problème des deux corps, qui constitue une bonne approche pour l'étude du mouvement d'une planète ou d'un satellite (fig. 4).

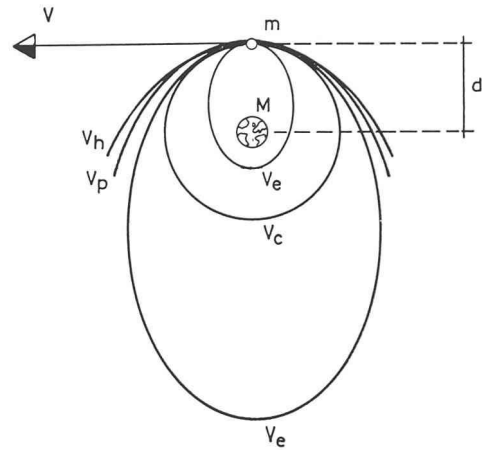


Fig. 4. — Le problème des deux corps.

Pour que la trajectoire soit un *cercle*, il faut que $d = a$. Alors l'équation devient, avec

$$R = \text{rayon terrestre} = 6,37 \cdot 10^8 \text{ cm}$$

$$h = \text{hauteur du satellite sur sol}$$

$$V_c = \sqrt{\frac{f(M+m)}{R+h}}$$

Cette vitesse s'appelle *vitesse circulaire*.

On établit facilement, grâce à la loi d'attraction universelle, que l'accélération de la pesanteur à la surface de la terre vaut

$$g = f \frac{M}{R^2} = 981 \text{ cm/s}^2$$

donc

$$M = \frac{gR^2}{f}$$

La masse m du satellite étant négligeable par rapport à M , si on pose $h = 0$, on obtient

$$V_{c*} = \sqrt{gR} = 7,9 \text{ km/sec}$$

C'est la *première vitesse cosmique*, ou *vitesse de satellisation*. En d'autres termes, c'est la vitesse minimale permettant la mise en orbite d'un satellite, dans l'hypothèse d'une Terre rigoureusement sphérique et d'une orbite rasant en tout point la surface terrestre. Mais la présence de l'atmosphère fait qu'un tel satellite ne peut pas réellement exister.

Si $a = \infty$, la trajectoire est une parabole, et l'intégrale des forces vives devient :

$$V_p = \sqrt{\frac{2f(M+m)}{d}} = \sqrt{2} \cdot V_c$$

Cette grandeur est appelée *vitesse parabolique*.

On a ainsi les cas suivants :

$V < V_c$ L'orbite est une ellipse dont la Terre occupe le foyer le plus éloigné.

$V = V_c$ L'orbite est un cercle dont la Terre occupe le centre.

$V_c < V < V_p$ L'orbite est une ellipse dont la Terre occupe le foyer le plus proche.

$V = V_p$ L'orbite est une parabole.

$V > V_p$ L'orbite est une hyperbole.

Ces deux derniers cas correspondent évidemment à des orbites non fermées, donc à l'évasion.

H. DUPRAZ

Prochain article : Les éléments d'une orbite.