# TRAQUEZ LES SATELLITES GÉOSTATIONNAIRES DANS LE CIEL

▶ Occupée pour la première fois en février 1963 par le satellite de télécommunications américain *Syncom 1*, l'orbite géostationnaire (à environ 36 000 km d'altitude) est aujourd'hui l'une des plus utilisées, puisque près de 200 satellites s'y bousculent. Certaines portions, plus prisées que d'autres (au-dessus des trois grands océans) sont même au bord de la saturation (voir *S & V* n° 785). Notons que l'orbite de *Syncom 1* était seulement géosynchrone, le satellite étant bien fixe en longitude, puisque sa période de révolution équivalait à la durée de rotation sidérale de la Terre, mais oscillait en latitude de part et d'autre de l'équateur, du fait d'une inclinaison non nulle (33°). Le premier véritable géostationnaire fut donc *Syncom 3*, en août 1964. Cette orbite, pour laquelle les satellites restent fixes au-dessus d'un point donné de l'équateur, existe également pour les autres planètes. Son altitude est différente, évidemment, puisque la masse, le rayon et la période de rotation des autres astres sont également différents.

Il est intéressant de calculer l'altitude de cette orbite planéto-centrique. L'on constate alors que pour Vénus, dont la période de rotation est particulièrement longue (243 jours), l'altitude d'un satellite stationnaire devrait être d'environ 1,5 million de km, donc supérieur à la zone d'influence de la planète (qui est de l'ordre de 800 000 km) ; un tel satellite serait instable, subissant notamment l'influence du Soleil. Pour Mercure, également lente dans sa rotation, l'altitude serait également à la limite de la sphère d'influence (240 000 km) et importante par rapport au diamètre de l'astre. Dans le cas de Mars on trouve 17 000 km, ce qui est supérieur à l'altitude du satellite *Phobos*, lequel tourne d'ouest en est comme nos satellites bas, et inférieur à celle de *Deimos*, qui se déplace d'est en ouest comme notre Lune ; l'altitude " aérostationnaire " se situe donc bien entre les deux.

Pour les planètes géantes, l'orbite stationnaire se situe toujours en deçà de celle de leurs plus proches satellites naturels, compte tenu de la rotation rapide (toujours inférieure à 24 h) dont elles sont affectées. En termes d'altitude on trouve respectivement 88 000, 49 000, 52 000 et 68 000 km pour Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. Pour Saturne, cela correspond à la partie externe des anneaux : certains blocs de l'anneau B doivent ainsi rester immobiles par rapport aux nuages de la planète. Pour Pluton, le calcul donne 18 000 km environ, ce qui correspond justement à l'altitude de son unique satellite Charon, seul satellite naturel stationnaire du système solaire. Notons enfin que notre propre Lune ne pourrait pas avoir de satellite « sélénostationnaire » car l'altitude requise (86 000 km), considérable par rapport à son diamètre, le ferait évoluer dans la zone d'influence de la Terre et pertuberait son mouvement.

Nous nous intéresserons ici uniquement aux satellites géostationnaires, en présentant une méthode permettant de déterminer leur position dans notre ciel. Cela sera utile le jour (assez proche maintenant) où nous pourrons recevoir en France des satellites de télédiffusion directe (TDF-1 doit être lancé en 1985). Cela peut intéresser aussi les astrophotographes qui voudraient s'essayer à photographier certains des nombreux satellites géostationnaires déjà lancés. Leur éclat est certes très faible (magnitude 14 à 15 pour les plus gros d'entre eux, notamment les *Intelsat V* américains), mais du fait de leur fixité on peut arriver à les photographier en moins d'une heure de pose avec un miroir de plus de 20 cm d'ouverture (télescope d'amateur standard) ; le satellite apparaît comme un petit point lumineux facile à repérer parmi les traînées laissées par le défilement des étoiles.

Le programme proposé donne la position en coordonnées horizontales (azimut, hauteur) connaissant la longitude du satellite et les coordonnées (longitude, latitude) de l'observateur.

### Formulation

**1. Hauteur maximale sur l'horizon** (pour une longitude égale à celle de l'observateur).

C'est là le cas le plus favorable : le satellite se trouve au méridien (plein sud) par une hauteur maximale, liée à la latitude de l'observateur ; il est évident que si celui-ci est à l'équateur, le satellite se trouvera au zénith.

Pour une latitude quelconque cette hauteur se détermine par la formule suivante :

$$\alpha = \mathrm{Arctg}\left[\frac{\cos\varphi - 0.151273}{\sin\varphi}\right]$$

La constante 0.151273 équivaut à $R/(D + R)$

R : rayon terrestre

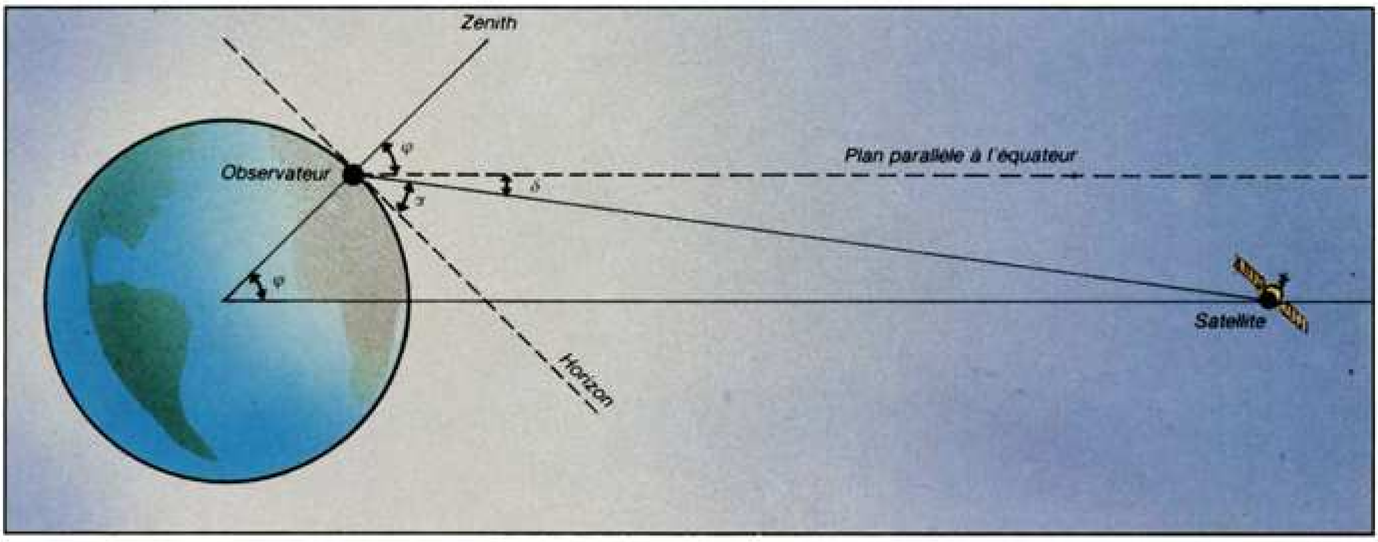
D : distance géostationnaire (35 786 km)

Il est facile de constater que l'on a $\alpha = 0$ (satellite à l'horizon) pour une latitude de $\varphi = 81.3°$. Les satellites géostationnaires peuvent donc être observés depuis pratiquement toutes les terres émergées du globe. Inversement, un satellite géostationnaire (météo par exemple) peut photographier presque la totalité d'un hémisphère (163° de longitude au lieu de 180).

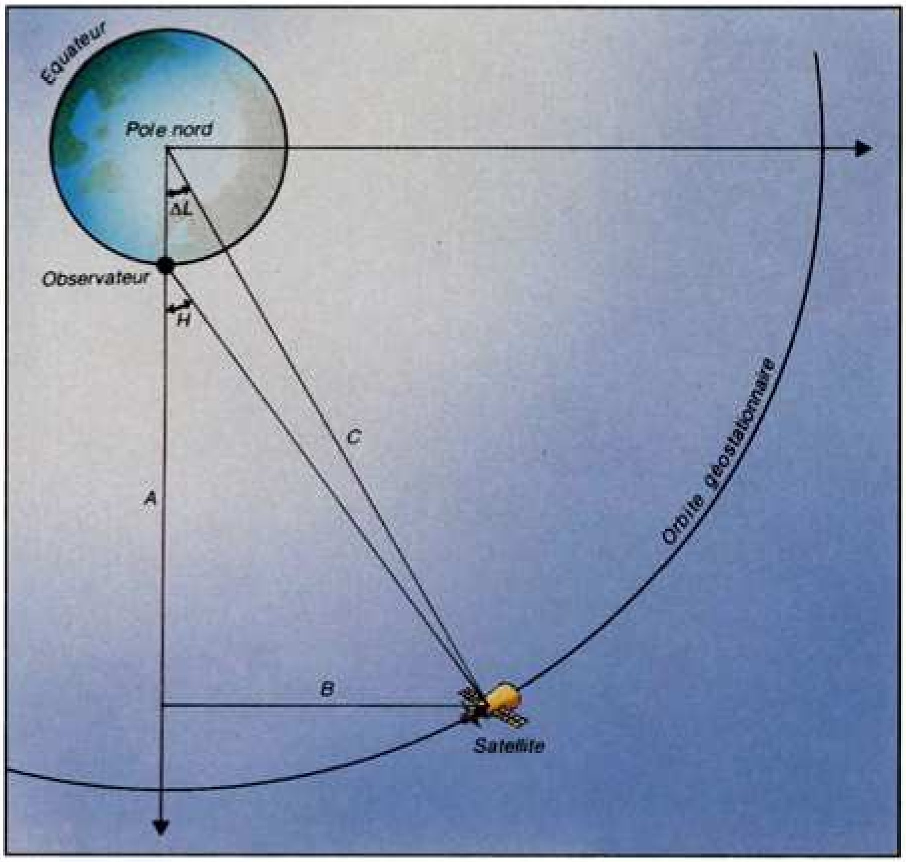
**2. Détermination de la déclinaison sur le ciel** (projection de l'image du satellite dans un système de coordonnées équatoriales).

$$\delta = -(90 - \varphi - \alpha)$$

| SATELLITE | LONGITUDE | SATELLITE | LONGITUDE | SATELLITE | LONGITUDE |
|---|---|---|---|---|---|
| *Meteosat 2 (USA)* | *0°* | *Gorizont 5 (URSS)* | *54° Est* | *Intelsat IV-A-2 (USA)* | *21° Ouest* |
| *Intelsat IV-2 (USA)* | *0°* | *Ekran 4 (URSS)* | *62° Est* | *Intelsat V-1 (USA)* | *23° Ouest* |
| *Ekran 10 (URSS)* | *0°* | *Intelsat V-4 (USA)* | *63° Est* | *Intelsat IV-A-1 (USA)* | *25° Ouest* |
| *OTS-2 (USA)* | *10° Est* | *Intelsat IV-A-6 (USA)* | *63° Est* | *Intelsat IV-A-4 (USA)* | *35° Ouest* |
| *Radouga 1 (URSS)* | *25° Est* | *Intelsat III-3 (USA)* | *68° Est* | *OTAN II C (OTAN)* | *50° Ouest* |
| *Radouga 6 (URSS)* | *34° Est* | *Marisat 2 (Inmarsat)* | *74° Est* | *Intelsat IV 3 (USA)* | *52° Ouest* |
| *Radouga 11 (URSS)* | *35° Est* | *Radouga 7 (URSS)* | *77° Est* | *IMENWS 13 (USA)* | *68° Ouest* |
| *GEOS 2 (USA)* | *36° Est* | *Symphonie 1 (F)* | *10° Ouest* | *IUE (USA)* | *70° Ouest* |
| *Molnya 15 (URSS)* | *37° Est* | *Symphonie 2 (F)* | *10° Ouest* | *ATS-5 (USA)* | *72° Ouest* |
| *Cosmos 775 (URSS)* | *44° Est* | *Marisat 1 (Inmarsat)* | *13° Ouest* | *SATCOM 4 (USA)* | *83° Ouest* |
| *Palapa 2 (Indonésie)* | *48° Est* | *Gorizont 1 (URSS)* | *13° Ouest* | | |
| *Gorizont 3 (URSS)* | *50° Est* | *Intelsat 1 (USA)* | *17° Ouest* | | |




***La hauteur du satellite géostationnaire au dessus du point sud de l'horizon d'un observateur situé à la latitude $\varphi$ est donnée par l'angle $\alpha$.***




***Connaissant la différence de longitude $\Delta L$ entre la longitude de l'observateur $L_1$ et celle du satellite géostationnaire $L_0$, on peut calculer la valeur de l'angle H (voir texte) :***

$$\tan H = \frac{B}{A - R,} \text{ avec}$$

$B = C \sin \Delta L$

$A = C \cos \Delta L$

$C = 42\,164$ km

$R = 6\,378$ km

$$\text{D'où } H = \text{Arctg} \left[ \frac{C \sin \Delta L}{C \cos \Delta L - R} \right]$$

$$= \text{Arctg} \left[ \frac{\sin \Delta L}{\cos \Delta L - \frac{R}{C}} \right]$$

*Photo M. Toscas/Galerie 27*

**3. Conversion de la différence de longitude observateur-satellite en angle horaire** (pour rester en système de coordonnées équatoriales).

$\Delta L = L_1 - L_0$

$L_1$ : longitude de l'observateur

$L_0$ : longitude du satellite

$$H = \text{Arctg} \left[ \frac{\sin \Delta L}{\cos \Delta L - 0.151273} \right]$$

**4. Conversion de coordonnées équatoriales en coordonnées horizontales.**

Hauteur sur l'horizon : $h = \text{Arcsin} [\sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos H]$

Azimut :

$$Az = \text{Arccos} \left[ \frac{\sin \delta - \sin \varphi \sin h}{\cos \varphi \cos h} \right]$$

Cet azimut est compté à partir du nord, vers l'est si le satellite a une longitude est, vers l'ouest s'il a une longitude ouest.

## Application

Position dans le ciel du satellite *Meteosat 2* (lancé par *Ariane* en juin 1981), depuis le centre de réception allemand de l'ESA, à Darmstadt.

Longitude de *Meteosat* : 0°.
Coordonnées de Darmstadt :
$\varphi = 48.8°$ ; $L_1 = 8.6°$ E

**1.** $\alpha =$

$$\text{Arctg} \left[ \frac{\cos (49.8) - 0.151273}{\sin (49.8)} \right]$$

$= \text{Arctg} (0.647)$

$\alpha = 32.9°$

**2.** $\delta = -(90 - 49.8 - 32.9)$

$= -7.297$

$\delta = -7.3°$

**3.** $\Delta L = 8.6 - 0 = 8.6°$

$$H = \text{Arctg} \left[ \frac{\sin (8.6)}{\cos (8.6) - 0.151273} \right]$$

$H = 10.12$

**4.** $h = \text{Arcsin} [\sin (-7.3) \sin (49.8)] + \cos (-7.3) \cos (49.8) \cos (10.12)]$

$h = 32.2°$

$Az = \text{Arcos}$

$$\left[ \frac{\sin (-7.3) - \sin (49.8) \sin (32.2)}{\cos (49.8) \cos (32.2)} \right]$$

$Az = 167.9°$, soit environ 12° du méridien sud, en direction de l'ouest puisque le satellite est plus à l'ouest que la station.

```
    ÷
    FRAC
    STO 3
    R↓
    STO 4
    -
    RCL 3
040 ×
    STO + 4
    R/S
    STO 5
    -
    RCL 3
    ×
    STO + 5
    1
    RCL 1
050 6
    3
    7
    8
    +
    RCL 2
    ÷
    -
    RCL 2
    ×
060 RCL 4
    ÷
    STO 6
    1
    .
    1
    0
    3
    EEX
    7
070 RCL 0
    ×
    RCL 5
    ×
    RCL 2
    x²
    ×
    RCL 6
    √x
    ÷
080 2
    EEX
    3
    ÷
    RCL 6
    ÷
    .
    3
    7
    5
090 RCL 6
    ÷
    1
    +
    ×
    STO 7
    STO-1
    STO-2
    1
    STO+8
100 RCL 8
    RCL 7
    RCL 1
103 GTO 0
```

**Mode d'emploi**

● Entrer successivement, au moyen de ENTER : S/M, $h_2$ et $h_1$ ; appuyer sur A.

● Entrer $H_2$ en ENTER, puis $H_1$ et faire R/S. Quand la machine s'arrêtera, répéter l'opération avec $d_2$ et $d_1$.

La machine affichera alors $h_1$. Il faudra faire R↓ deux fois pour avoir successivement $\Delta$ $h_1$ et n. On répétera alors ce deuxième point en réintroduisant les valeurs de $H_2$ et $H_1$, puis de $d_2$ et $d_1$, en fonction de la nouvelle valeur de $h_1$.

**Exemple**

Dans le cas où M vaut 290 km (compris entre 250 et 300), avec un soleil moyen, on aura :

$H_2 = 48.4$
$H_1 = 43.5$
$d_2 = 1.80\ 10^{-11}$
$d_1 = 5.83\ 10^{-11}$

**Pour la partie "application" du mois précédent,** ces 4 valeurs seront à réintroduire dans la machine à chaque coup tant que $h_1$ ne descendra pas en dessous de 250 km.

*Pierre KOHLER*
*Programmation Daniel FERRO* □