

# AVEC NOS ELEVES

## Un logiciel de la NASA modélisant la trajectoire de satellites réels.

### Son utilisation en Sciences Physiques en TS

Marie-Agnès Lahellec

**Résumé :** Dans le Cahier Clairaut no104 Pierre Le Fur proposait une démarche « expérimentale », en fait l'utilisation d'un logiciel de simulation des trajectoires des satellites artificiels de la Terre. Je propose un texte de TP, copié sur son article, tel que je l'ai donné en TS. Dans la progression du programme, il prend place après les lois de Kepler. On peut le donner aux élèves comme une introduction au cours sur les satellites. Il faut une connexion à internet. Dans mon établissement, nous avons le câble. Les élèves ont bien apprécié la démarche. Certains, même, sont « sortis » sur Internet pour avoir des renseignements sur l'usage de certains satellites. Notamment sur ceux qui ont une trajectoire très excentrique comme XMM.

#### Découverte du site

Aller sur le site :

[science.nasa.gov/realtime/jtrack/3d/JTrack3D.html](http://science.nasa.gov/realtime/jtrack/3d/JTrack3D.html)

Respecter la typographie majuscule-minuscule et la syntaxe. Si une première boîte de dialogue s'ouvre : répondre « oui ». Après quelques secondes, apparaît une fenêtre dans laquelle une Terre est dessinée, on repère l'équateur. Rapidement, 500 points lumineux viennent entourer le globe : *ce sont des satellites artificiels*. Visualiser en pleine page : utiliser VIEW : ZOOM IN (ou OUT).

Ce programme JAVA est un modèle cinématique où chaque satellite est associé à des fonctions du temps issues de modèles numériques dont les paramètres fondamentaux sont réactualisés régulièrement en fonction des observations du réseau de surveillance radar « NORAD ». Attention pour la suite, ne touchez pas au menu VIEW, qui doit impérativement rester sur ORBIT PATH.

#### Prise en main du logiciel

On observe deux grandes répartitions des satellites : une ceinture très éloignée de la Terre et un regroupement à son voisinage.

- Cliquer sur un point lumineux : la trajectoire du satellite apparaît dans le référentiel géocentrique.
- Cliquer sur la Terre en maintenant la pression, on peut ainsi changer le point de vue, en restant dans le référentiel géocentrique. Quand la trajectoire est uniformément rouge, elle est dans le plan de l'écran.

Il est intéressant de voir l'orbite par la tranche, pour visualiser l'inclinaison du plan sur l'équateur terrestre.

- On peut choisir le temps pour rafraîchir l'image avec OPTIONS : UPDATE RATE .Prendre 1/2 s
- Il faudra utiliser le menu OPTIONS : TIMING, pour accélérer ou ralentir la visualisation du phénomène : exemple  $\times 100$
- Pour connaître des données concernant le satellite utiliser VIEW : SATELLITE POSITION
- Choix d'un satellite SATELLITE : SELECT. Par exemple Station (pour l'ISS la station internationale)
- Changement de référentiel à l'aide du menu SATELLITE : CENTER. On se place dans le référentiel du satellite pour observer le mouvement relatif de la Terre et des autres satellites. Par exemple, observer la marche des satellites de télécommunication de la "constellation" Iridium. À l'aide de SATELLITE : SELECT et de VIEW : ZOOM IN, (cliquer plusieurs fois) suivre tout

d'abord Iridium 22. Sélectionner Iridium 23, puis 24 etc. jusqu'à 26.

## Exploitation des observations

### Choix du satellite

Cliquer sur un satellite appartenant à la ceinture très éloignée de la Terre.

a) Placer sa trajectoire dans le plan d'observation de l'écran par rotation de l'image avec clic gauche maintenu jusqu'à obtenir une coloration rouge uniforme de sa trajectoire.

*Quel est le plan de la trajectoire ?*

b) « Mesurer » l'altitude  $z$  (en km) en fonction du temps VIEW : SATELLITE POSITION, après avoir accéléré le mouvement (OPTIONS : TIMING  $\times 1\ 000$ ), relevez les valeurs extrémales de  $z$ , relever la valeur de la période  $T$

*Conclure : comment caractériser la trajectoire ?*

c) Changer de référentiel à l'aide du menu SATELLITE : CENTER pour observer le mouvement de la Terre relativement au satellite. VIEW : ZOOM IN, (cliquer plusieurs fois).

*À quelle catégorie appartient ce satellite ?*

### Vérification de la 3<sup>o</sup> loi de Kepler et « pesée » de la Terre.

À cette fin, on sélectionnera plusieurs satellites de rayons d'orbite différents à l'aide de SATELLITE : SELECT ou on cliquera sur des points brillants. Par exemple Station, GPS BIÛA-20, Spot4, Intelsat 804. Remplir la feuille réponse.

a) Préparer un tableau EXCEL à 8 colonnes.

b) Remplir les 4 premières colonnes (nom du satellite,  $z_{\max}$ ,  $z_{\min}$ , période  $T$ ) à l'aide de la simulation. Remarque entrer l'heure en H : min : s recopier la cellule en format nombre standard, Excel affiche l'heure en jours, la conversion en s est facile ensuite.

c) Calculer les rayons extrémaux  $r_{\max}$ ,  $r_{\min}$  sachant que le rayon terrestre moyen  $R_T$  vaut 6378 km. ( $r = z + R_T$ ) Calculer le rayon moyen  $r$  et la variation relative  $100(r_{\max} - r_{\min})/r$ , qui est l'écart à une trajectoire circulaire.

d) Calculer  $T^2/a^3$ , en SI où  $a$  vaut ici le rayon moyen  $r$  de l'orbite.

e) Conclure : avec quel pourcentage la 3<sup>o</sup> loi de Kepler est-elle vérifiée ? À quel type de satellite s'est-on limité ? Pourquoi ?

f) En déduire la valeur de la masse de la Terre en démontrant la formule  $M_T = \frac{4\pi^2}{G \cdot T^2/a^3}$

g) Comparer à la valeur de la littérature  $5,976 \cdot 10^{24}$  kg

### Vérification de la loi des aires

Avec les menus SATELLITE : SELECT sélectionner le satellite XMM d'observation (dans le domaine des rayons X.) et VIEW : ZOOM OUT. À l'aide de la souris et du clic gauche maintenu, amener l'orbite dans le « plan de l'écran » -trace de couleur rouge.

Caractériser la trajectoire. Comment la norme de la vitesse varie-t-elle avec l'altitude ? Que constate-t-on au périégée et à l'apogée ? Quelle est la loi de Kepler permettant de comprendre cette observation ?

### Et le référentiel terrestre ?

Quelle est la projection de la trajectoire d'un satellite sur le sol terrestre ?

1) Géostationnaire. Sélectionner Hot Bird 1, puis utiliser VIEW : GROUND TRACE en désélectionnant ORBIT PATH et centrer sur le satellite avec SATELLITE —>CENTER. Qu'observe-t-on ?

2) Choisir maintenant Skynet 4A (ou LES 9) . Qu'observe-t-on ?

3) Se rapprocher de la Terre avec le zoom et observer la trace d'un GPS. Belle arabesque non ?

■

## Pour le professeur : Tableau Excel de résultats

Nom	inclinaison sur l'équateur en °	Z max m	Z min m	T h:min:s	t jours	t s	Z moyen	R moyen m	T2/a3(SI)	M terre kg
ANIKEI	1,75	3,61E+07	3,61E+07	24:12:00	1,00833	87120	3,61E+07	4,25E+07	9,90E-14	6,03E+24
LANDSAT	78,24	6,01E+05	5,58E+05	01:35:36	0,06639	5736	5,80E+05	6,96E+06	9,77E-14	6,11E+24
SATMAX	0	3,58E+07	3,58E+07	23:56:04	0,99729	86166	3,58E+07	4,22E+07	9,89E-14	6,04E+24
GPS-BIIA-23	54,74	2,04E+07	2,00E+07	11:57:56	0,49856	43076	2,02E+07	2,66E+07	9,90E-14	6,03E+24
									moyenne	6,05E+24
									écart relatif à la valeur	0,014

## FICHE DE TRAVAIL

Nom, prénom

### Tableau général d'observations

Nom du satellite	inclinaison	Z <sub>max</sub> km	Z <sub>min</sub> km	T h : min : s	Commentaire

### Exploitation des observations

1) Satellite appartenant à la ceinture très éloignée de la Terre.

- Quel est le plan de la trajectoire ?
- Conclure : comment caractériser la trajectoire ?
- À quelle catégorie appartient ce satellite ?

2) Vérification de la 3<sup>e</sup> loi de Kepler et « pesée » de la Terre.

Joindre le tableau Excel et conclure

Masse de la Terre

Démonstration –calcul et comparaison

3) Vérification de la loi des aires

Caractériser la trajectoire. Comment la norme de la vitesse varie-t-elle avec l'altitude ? Que constate-t-on au périégée et à l'apogée ? Quelle est la loi de Kepler permettant de comprendre cette observation ?