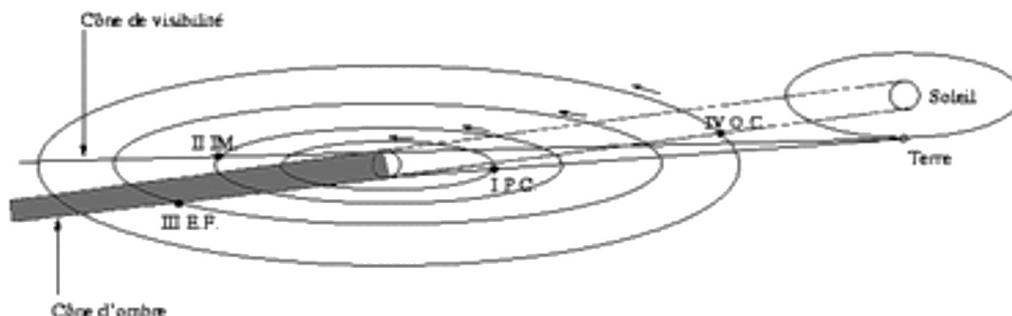


Satellites galiléens de Jupiter

Les phénomènes des satellites

Eclipses, occultations, projections, etc
Simulation avec Geogebra

Les satellites galiléens à chacune de leur révolution autour de Jupiter nous montrent en ensemble de configurations prédictibles.



Les prédictions données par l'IMCCE :

Janvier

j	hhmm.n	sat	ph.	j	hhmm.n	sat	ph.	j	hhmm.n	sat	ph.	j	hhmm.n	sat	ph.
0	216.9	II	E.C.	8	16 6	I	P.C.	16	517	II	O.F.	24	1615	I	P.F.
0	515	II	EM.	8	1610	I	O.C.	16	15 8	I	IM.	24	1643	I	O.F.
0	1610.3	III	E.C.	8	1821	I	P.F.	16	1741.1	I	E.F.	24	2223	II	IM.
0	17 7.0	I	E.C.	8	1826	I	O.F.								
0	1931	I	EM.	8	2349	II	P.C.	17	1215	I	P.C.	25	2 2.1	II	E.F.
0	1954	III	EM.	8	2359	II	O.C.	17	1233	I	O.C.	25	1119	I	IM.
								17	1431	I	P.F.	25	14 4.6	I	E.F.
1	1416	I	O.C.	9	231	II	P.F.	17	1449	I	O.F.	25	1612	III	P.C.
1	1422	I	P.C.	9	241	II	O.F.	17	20 8	II	IM.	25	1811	III	O.C.
1	1631	I	O.F.	9	1324	I	IM.	17	2326.2	II	E.F.	25	1922	III	P.F.
1	1638	I	P.F.	9	1546.4	I	E.F.					25	2123	III	O.F.
1	2122	II	O.C.					18	934	I	IM.				

Page de l'IMCCE :

<http://www.imcce.fr/fr/ephemerides/phenomenes/ephesat/predictions/Jupiter/phenJup.php>

Les temps **t** de ces phénomènes sont données en Temps Terrestre (TT, défini comme TAI + 32.184 s)

Temps Universel (UT) : $t(\text{UT}) = t - (\text{TT} - \text{UT})$

Depuis le 1er janvier 1999 : $\text{TT} - \text{TU} = 64.184 \text{ s}$

Où **I, II, III** et **IV** désigne Io, Europe, Ganymède et Callisto.

Et **P.C.**, **O.C.**, **P.F.** ... les configurations.

Lorsque l'objet est satellisé, les lois de Kepler sont toutes applicables et permettent d'avoir les caractéristiques des orbites : période, demi-grand axe, etc.

Les termes employés à l'IMCCE sont :

- E.C.** et **E.F.** pour *éclipse*, commencement et fin,
- IM.** et **EM.** pour *immersion* et *émersion* derrière Jupiter,
- P.C.** et **P.F.** pour *passage* du satellite *devant* Jupiter, début et fin,
- O.C.** et **O.F.** pour *passage* de son *ombre* sur Jupiter, début et fin.

La figure ci-dessus permet de saisir les positions le long des orbites.

Phénomènes Jupiter - Satellites

Notre problème à trois corps met en cause la *Soleil*, *Jupiter* et la *Terre*.

Les phénomènes se produisent suivant les divers alignements possibles Soleil-Jupiter et Terre-Jupiter
 Les positions de Jupiter et la Terre sont fonctions du temps.

On simulera sur Jupiter les directions des ces positions pour faire apparaître les emplacements des début et fin des interactions lumineuses.

La simulation portera du 1 octobre 2014 au 30 août 2015, période qui recoupe les phénomènes mutuels des satellites galiléens.

Nous trouvons les *coordonnées écliptiques héliocentriques* provenant de l'IMCCE dans le fichier *ephem_jupiter.xls* extraites et mises en forme à partir de la page de l'IMCCE.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1										
2	5 Jupiter					3 Terre				
3	Theorie	planetaire	DE405/LE405			Theorie	planetaire	DE405/LE405		
4	Coordonnees	Moyennes	J2000			Coordonnees	Moyennes	J2000		
5	Centre	du	repere	:		Centre	du	repere	:	
6	Coordonnees	ecliptiques	(lambda, beta)			Coordonnees	ecliptiques	(lambda, beta)		
7										
8										
9	Date	Long.	Lat.	Distance		Date	Long.	Lat.	Distance	
10		o	o	ua.			o	o	ua.	
11										
12	01/10/2014	127.167630	0.584935	5.29028495		01/10/2014	7.544274	-0.000541	1.00132568	
13	02/10/2014	127.247879	0.585566	5.29062531		02/10/2014	8.527431	-0.000581	1.00103314	
14	03/10/2014	127.328117	0.588196	5.29096546		03/10/2014	9.511064	-0.000612	1.00074027	
15	04/10/2014	127.408345	0.589825	5.29130542		04/10/2014	10.495175	-0.000633	1.00044749	
16	05/10/2014	127.488563	0.591452	5.29164517		05/10/2014	11.479770	-0.000645	1.00015522	
17	06/10/2014	127.568770	0.593079	5.29198472		06/10/2014	12.464863	-0.000648	0.99986388	
18	07/10/2014	127.648967	0.594703	5.29232406		07/10/2014	13.450470	-0.000646	0.99957379	

Le problème sera simplifié en ne tenant pas compte de la latitude des corps.

Les éphémérides nous donnent les longitudes héliocentriques de la Terre et de Jupiter.

Or il nous faut la direction (longitude) de la Terre par rapport à Jupiter.

Geogebra va permettre en fonction de la date de calculer cette longitude qui servira à construire la simulation.

Plan de la construction

Partie I – Calcul des longitudes *jovicentriques* l_{TJ} et l_{SJ} à partir des longitudes héliocentriques de la Terre et de Jupiter pour obtenir les directions du Soleil et de la Terre par rapport à Jupiter en fonction du temps.

À faire dans le **graphique 2** de Geogebra.

On prendra des orbites circulaires

$$a_j = 5.46 \text{ et } a_T = 1.00$$

Partie II – Construction des rayons tangents à Jupiter et parallèles aux directions pour trouver entre :

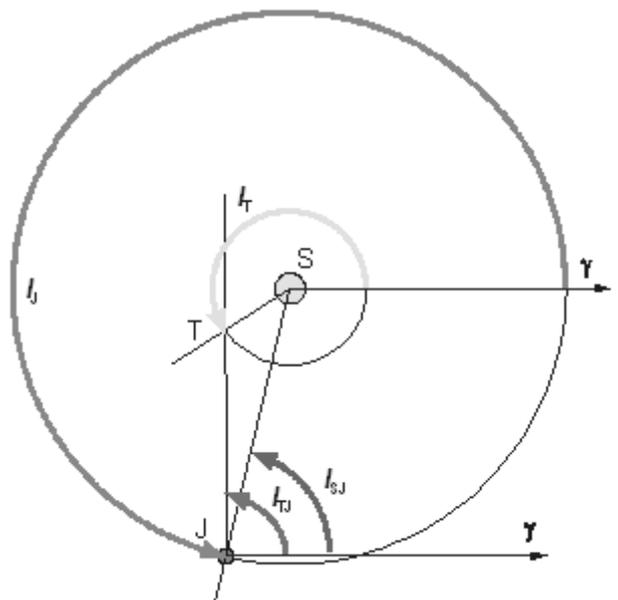
- Soleil et Jupiter : éclipses et projections
- Terre et Jupiter : occultations et passages

À faire dans le **graphique 1** de Geogebra.

Ceci sera précédé de la construction d'un curseur temps **tps** allant du 1^{er} octobre 2014 au 31 août 2015 avec un pas de 1 jour.

 Penser à sauvegarder régulièrement.

 Cette icône indique un travail avec Geogebra.



Pour les personnes qui débutent dans Geogebra vous pouvez consulter le fichier *elements_geogebra.pdf* téléchargeable à http://cral.univ-lyon1.fr/labo/fc/cdroms/cdrom2014/gravitation/elements_geogebra.pdf.

Le TD sur la construction simple des ellipses sous Geogebra est construit comme initiation à Geogebra. http://cral.univ-lyon1.fr/labo/fc/cdroms/cdrom2013/Lumetexo/orbites_exoplanetes_geogebra/ellipses/geogellipse.pdf

Construction



Ouvrir Geogebra et se mettre dans la fenêtre graphique 2.

Faire un copier collé à partir du fichier *ephem_jupiterre.xls* des données temps : cellules **A12:A346** à partir de la cellule **A3** de Geogebra.

De même pour les longitudes soleil et terre :

cellules **B12:B346**, **G12:346** dans col. **B** et **C**.

Faire les listes des dates, longitudes Jupiter et longitude Terre et les renommer en **dates**, **lg_J** et **lg_T**.

Rentrer les deux demi-grands axes des planètes :

$$a_J = 5.49 \text{ \& \ } a_T = 1.00$$

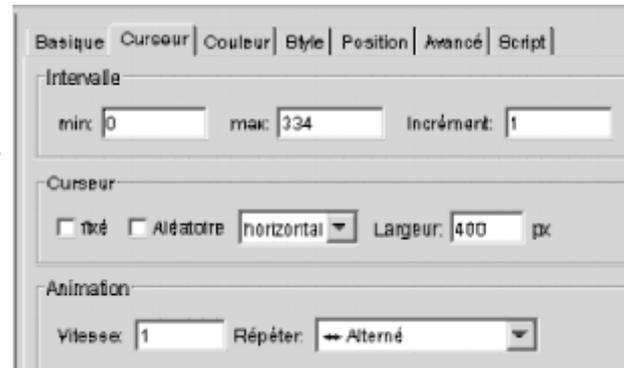
Attention : tout ceci peut être sauté en ouvrant le fichier : *phensatjup_listes.ggb*



Créer un curseur **tps**

Amplitude **1** à **335**, incrément **1** et largeur **400**.

Mettre une couleur et le rendre visible dans les deux fenêtres graphiques (**Propriétés / Avancé**).



Afficher le temps par un texte et la variable :

Élément[dates, tps]

Mettre ce texte en position absolue à l'écran (**Propriétés/Position**)



Sauvegarder en donnant un nom personnalisé.

• Placements du Soleil, Jupiter et la Terre

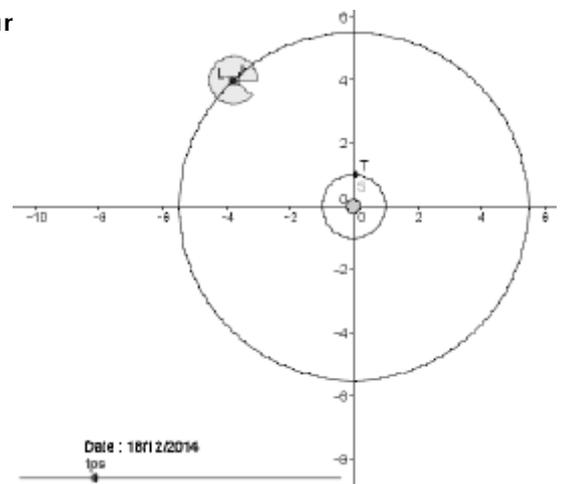


Créer le Soleil point **S** au centre de grandeur 7, couleur **Jaur**

Tracer les orbites circulaires de la Terre et du Soleil : **c_J** et **c_T**.

Placer les points **J** et **T** en fonction de la date **tps** :

Jupiter	Terre
$c_J = \text{Cercle}[S, a_J]$	$c_T = \text{Cercle}[S, a_T]$
$L_J = \text{Élément}[lg_J, tps]$	$L_T = \text{Élément}[lg_T, tps]$
$J = (a_J ; L_J^\circ)$	$T = (a_T ; L_T^\circ)$
Brun	Bleu



- Longitudes jovicentriques du Soleil et la Terre

☼ Calcul des longitudes jovicentriques :

Soleil : $L_{\{SJ\}} = (\text{Elément}[lg_J, tps] + 180)^\circ$

Terre : $L_{\{TJ\}} = \text{Angle}[\text{Vecteur}[J, T]]$

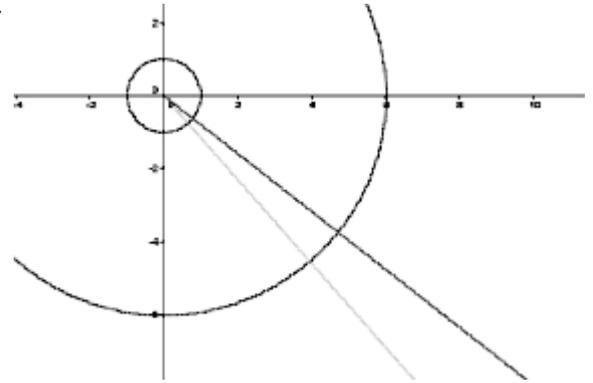
Repasser en **Graphique 1** et cacher le **Graphique 2**.

On peut aussi cacher la partie tableur.

Construction au centre, de la planète Jupiter de rayon pris pour unité :

$$R_J = 1$$

$$p_J = \text{cercle}[(0, 0), R_J]$$



- Les directions Soleil et Terre

☼ Construire les demi-droites

Jupiter – Soleil à mettre en jaune :

$$d_S = \text{DemiDroite}[(0, 0), (1; L_{\{SJ\}})]$$

Jupiter – Terre à mettre en bleu :

$$d_T = \text{DemiDroite}[(0, 0), (1; L_{\{TJ\}})]$$

- Le cône (cylindre) d'ombre derrière Jupiter

☼ Tracer les deux demi-droites passant par les extrémités du diamètre de Jupiter qui est perpendiculaire à la direction Jupiter Soleil d_J

Construire les points extrémités du diamètre et les cacher.

$$I = \text{Intersection}[p_J, \text{Perpendiculaire}[(0, 0), d_S]]$$

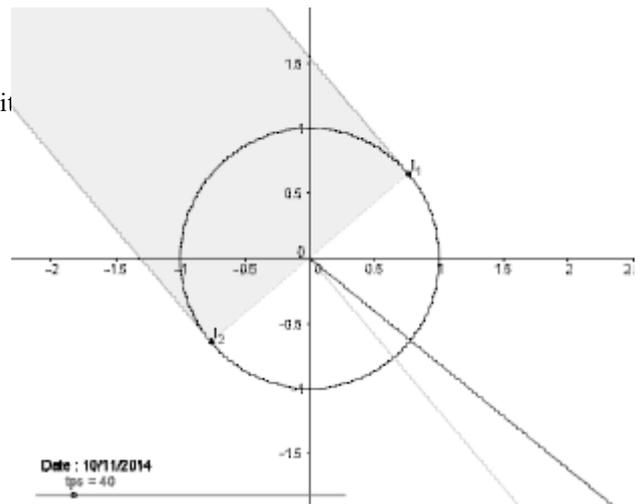
Ceci crée les points I_1 et I_2

Tracer les demi-droites :

$$de1 = \text{DemiDroite}[I_2, \text{Vecteur}[(1; L_J^\circ)]]$$

$$de2 = \text{DemiDroite}[I_1, \text{Vecteur}[(1; L_J^\circ)]]$$

Colorier en gris



- Les points d'entrée et de sortie de l'ombre

☼ On construit l'orbite de Io. Son rayon vaut :

$$a_{\{Io\}} = 6.0334 \text{ (en rayons de Jupiter)}$$

Orbite de Io :

$$c_{\{Io\}} = \text{Cercle}[(0, 0), a_{\{Io\}}]$$

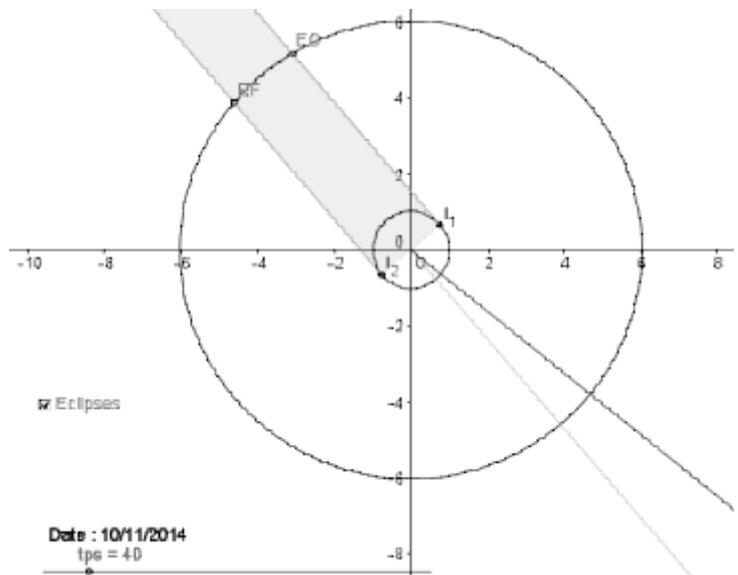
Les points d'entrée et de sortie de l'éclipse sont aux intersections des deux demi-droites avec le cercle orbite de Io :

Eclipse commencement :

$$EC = \text{Intersection}[c_{\{Io\}}, de1]$$

Eclipse fin :

$$EF = \text{Intersection}[c_{\{Io\}}, de2]$$



● Visualisation du cône d'ombre



Création d'un rectangle ayant pour sommets :

- les deux points I_1 et I_2
- deux autres points translations de EC et EF d'un vecteur 5 ou six fois le vecteur $[I_1, EC]$.

$$P3 = \text{Translation}[EC, \text{Vecteur}[5 \text{Vecteur}[I_2, EC]]]$$

$$P4 = \text{Translation}[EF, \text{Vecteur}[5 \text{Vecteur}[I_1, EF]]]$$

Construction du rectangle :

$$\text{somb} = \text{Polygone}[I_2, P3, P4, I_1]$$

Cacher les points $P3$ et $P4$.

Colorier le rectangle en gris.

Cacher les labels des segments du polygone. Cacher les points I_1 , I_2 , $P3$ et $P4$.

Créer une **boîte de visualisation** appelée « *Eclipse* » pour les deux demi-droites, les points EC et EF et le cône d'ombre.



Penser à sauvegarder régulièrement.

● L'occultation des satellites

Pour simuler la disparition des satellites vus de la Terre derrière Jupiter, la même construction va être faite, mais avec pour axe directeur l'axe Terre Jupiter.

1 – construction des deux points tangents au diamètre perpendiculaire à cette direction :

$$I = \text{Intersection}[p_J, \text{Perpendiculaire}[(0, 0), d_T]]$$

Ceci crée les points I_3 et I_4 et les cacher.

2 – Tracés des deux demi-droites tangentes au cercle de Jupiter.

$$do1 = \text{DemiDroite}[I_4, \text{Vecteur}[(1; L_{\{TJ\}} + \pi)]]$$

$$do2 = \text{DemiDroite}[I_3, \text{Vecteur}[(1; L_{\{TJ\}} + \pi)]]$$

3 – Intersections des demi-droites avec l'orbite du satellite.

$$IM = \text{Intersection}[c_{\{lo\}}, do1]$$

$$EM = \text{Intersection}[c_{\{lo\}}, do2]$$

Cacher les points I_3 et I_4 , les labels des demi-droites ; colorier en vert.

4 – Création boîte de sélection « *Occultation* » des intersections des demi-droites avec l'orbite du satellite.

● L'ombre des satellites sur Jupiter

On va utiliser les deux points construits pour les occultations I_1 et I_2 .

1 – Tracés des deux demi-droites tangentes au cercle de Jupiter.

$$de1b = \text{DemiDroite}[I_4, \text{Vecteur}[(1; L_{\{SJ\}})]]$$

$$de2b = \text{DemiDroite}[I_3, \text{Vecteur}[(1; L_{\{SJ\}})]]$$

2 – Intersections des demi-droites avec l'orbite du satellite.

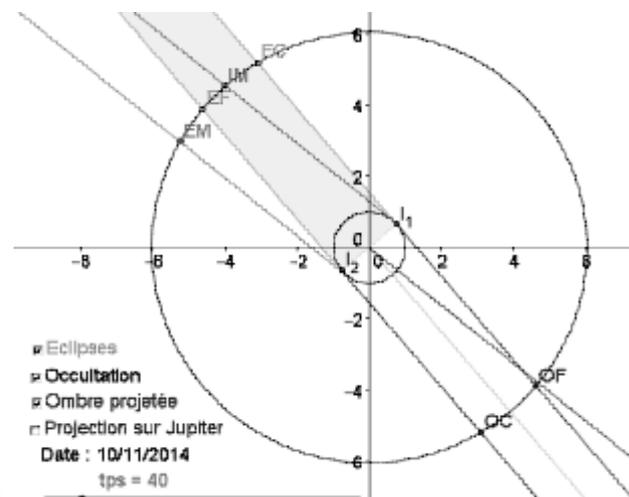
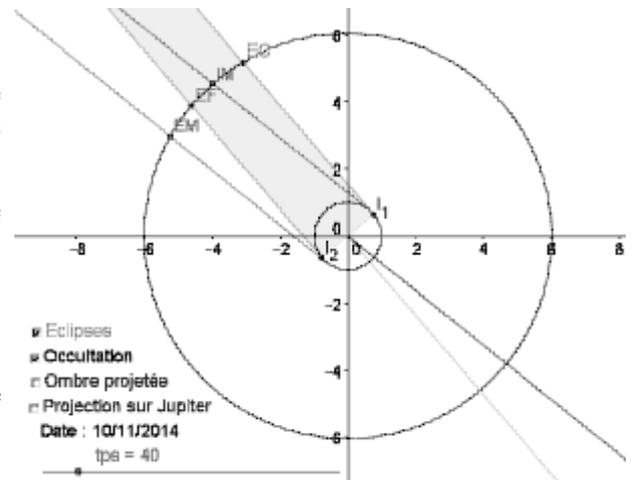
$$OC = \text{Intersection}[c_{\{lo\}}, dp2]$$

$$OF = \text{Intersection}[c_{\{lo\}}, dp1]$$

4 – Création boîte de sélection « *Projection sur Jupiter* » des intersections des demi-droites avec l'orbite du satellite.

Donner une couleur à l'ensemble demi-droites et points.

Cacher les labels des demi-droites.



● La projection des satellites sur le disque de Jupiter

La construction est similaire avec les points I_3 et I_4 , mais on utilise la partie tournée vers le Soleil :

1 – Tracés des deux demi-droites tangentes au cercle de Jupiter.

```
dp1 = DemiDroite[I_4, Vecteur[(1; L_{TJ})]]
dp2 = DemiDroite[I_3, Vecteur[(1; L_{SJ})]]
```

2 – Intersections des demi-droites avec l'orbite du satellite.

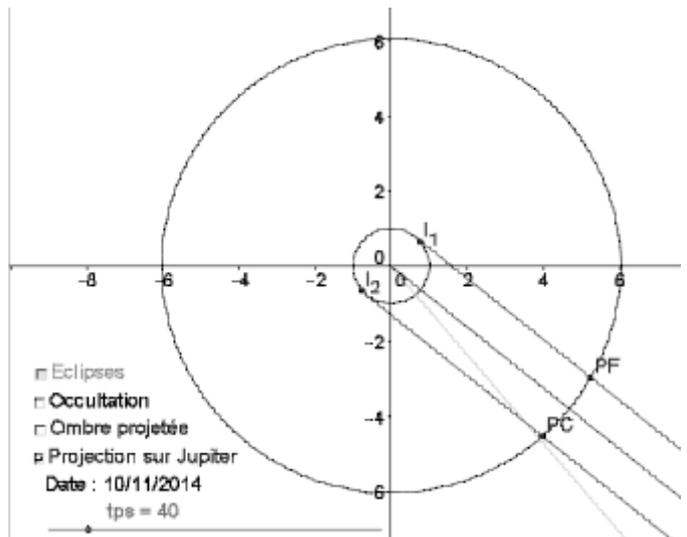
```
PC = Intersection[c_{lo}, de1b]
PF = Intersection[c_{lo}, de2b]
```

3 – Création boîte de sélection « Ombre projetée » des intersections des demi-droites avec l'orbite du satellite.

Donner une couleur à l'ensemble demi-droites et points (ici violet).

Cacher les labels des demi-droites.

 Penser à sauvegarder régulièrement.



Maintenant on peut prévoir l'enchaînement et l'ordre de tous les événements suivant la position relative de la Terre par rapport au Soleil et à Jupiter, déterminer les entrées et sorties d'éclipses visibles ou pas, etc.

Remarque

Le plan de l'équateur de Jupiter est légèrement incliné par rapport au plan de son orbite.

Quand la direction du Soleil est au plus loin de ce plan,, au solstice jovien, les éclipses des satellites lointains (surtout Callisto) et leurs occultations ne se produisent pas.

Ce n'est pas le cas dans la période choisie puisque le Soleil passe dans le plan de l'équateur de Jupiter le 5 février 2015.

