

Date	asc. droite			déclinaison			t. passage	Date	asc. droite			déclin			
	h	m	s	°	'	"	h	m	s	h	m	s	°	'	
Juill. 3	6	48	47.354	22	57	55.28	12	4	16.00	18	9	49	53.718	13	7
4	6	52	47.515	22	52	54.95	12	4	13.71	19	9	53	36.850	12	47
5	6	57	47.699	22	47	59.75	12	4	11.08	20	9	57	19.494	12	28
6	7	1	8.649	22	41	42.83	12	4	47.10	21	10	1	1.658	12	8
7	7	5	15.046	22	35	31.25	12	4	56.74	22	10	4	43.351	11	48
8	7	9	21.065	22	28	16.45	12	5	6.01	23	10	8	24.584	11	28
9	7	13	26.690	22	21	58.25	12	5	14.87	24	10	12	5.367	11	7
10	7	17	31.906	22	14	36.91	12	5	23.32	25	10	15	45.715	10	47
11	7	21	36.700	22	6	52.59	12	5	31.34	26	10	19	25.639	10	26
12	7	25	41.058	21	58	45.44	12	5	38.93	27	10	23	5.154	10	5
13	7	29	44.969	21	50	15.64	12	5	46.06	28	10	26	44.274	9	44
14	7	33	48.488	21	41	22.25	12	5	52.72	29	10	30	23.014	9	22
15	7	37	51.4	21	32	28.83	12	5	58.79	30	10	34	1.389	9	11
16	7	41	53.9	21	23	34.83	12	5	64.06	31	10	37	39.417	8	40
17	7	45	55.9	21	14	40.83	12	5	69.32	32	10	41	17.114	8	18
18	7	49	57.4	20	5	46.83	12	5	74.58	33	10	44	54.498	7	56
19	7	53	58.416	20	51	31.65	12	6	18.66	3	10	48	31.589	7	34
20	7	57	58.879	20	40	28.83	12	6	22.29	4	10	52	8.407	7	12
21	8	1	58.795	20	29	5.10	12	6	25.36	5	10	55	44.973	6	50
22	8	5	58.149	20	17	20.74	12	6	27.86	6	10	59	21.308	6	28

Mécanique céleste et éphémérides

cours de J.-E. Arlot

SAPCB juin 2023

La mécanique céleste au service des éphémérides

Qu'est-ce que les éphémérides?

Ce sont les prédictions des positions et des phénomènes grâce à la mécanique céleste (éclipses, levers et couchers des astres, pluies d'étoiles filantes,...) des astres du système solaire.

Les positions sont calculées à l'aide d'un modèle théorique.

Histoire

- les tables alphonsines, faites sur l'ordre d'Alphonse X de Castille à partir de l'Almageste (Ptolémée) vers 1250 (première édition imprimée en 1483);
- les éphémérides de Regiomontanus couvrant les années 1475-1506 ;
- les tables pruteniques construites en 1551 par Reinhold sur la base des travaux de Copernic ;
- les tables rudolphines en 1627 construites sur la base des travaux de Kepler et Tycho Brahé.
- la « Connaissance des temps » publiée par l'observatoire de Paris à partir de 1679

Construisons des éphémérides

Rappel des lois de Kepler

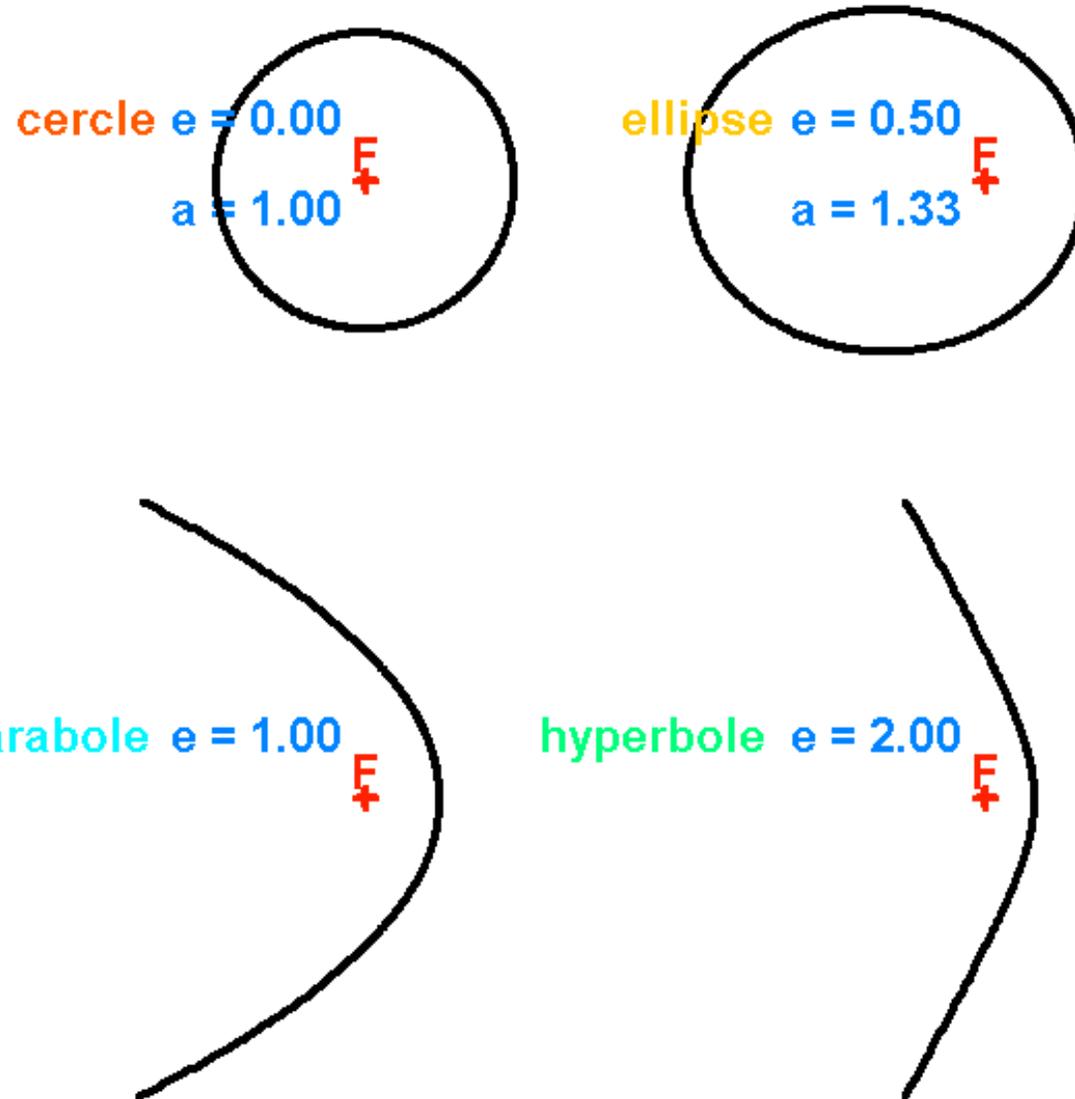
- n°1: orbite elliptique (conique)
- n°2: vitesse (lois des aires) et accélération
- n°3: distances: $a^3/T^2 = \text{constante}$ pour toutes les planètes

démontrées par Newton, Laplace, ... dans le cas de deux corps

$$a^3/T^2 = \text{constante} = GM/4\pi^2$$

où G est la constante de la gravitation universelle
(= $6,67259 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$) et M la masse du corps central

Le problème des deux corps



Le problème à deux corps a une solution:
une trajectoire elliptique définie par 6 paramètres:

a: demi grand axe

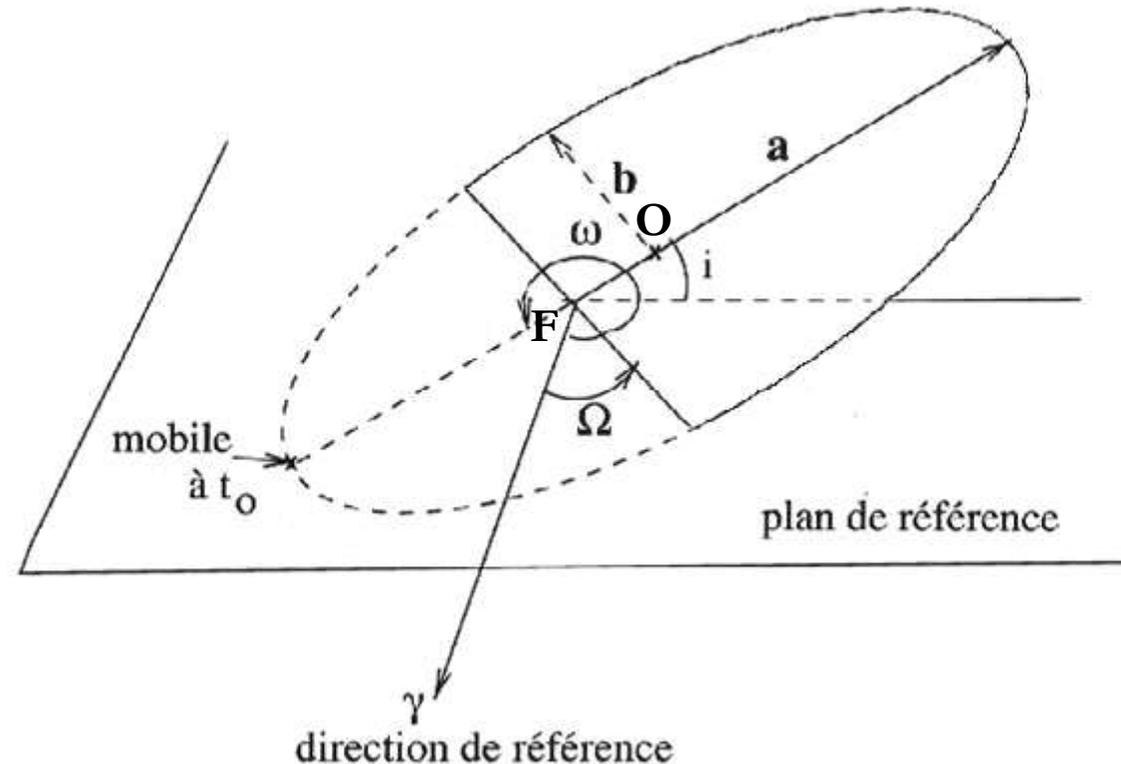
e: excentricité

i: inclinaison

Ω : longitude du noeud

ω : longitude du périastre

t_0 : instant de passage au périastre



$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$$

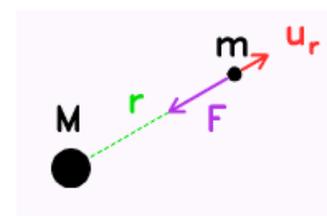
$$OF = a e$$

O: le centre

F: le foyer

Les lois de Newton: introduire la notion de force instantanée à distance et démontre les lois de Kepler

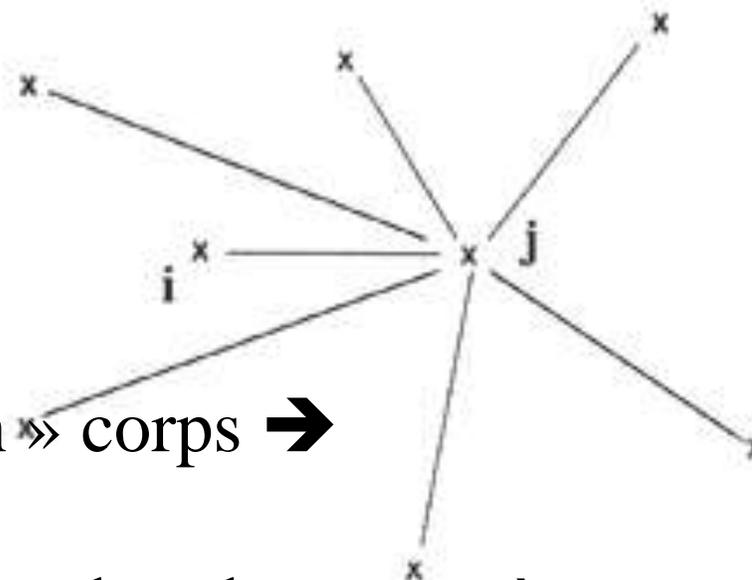
- loi fondamentale de la mécanique: $F = m \gamma$



- loi de la gravitation universelle: $F = G m M / r^2$

Forces et accélérations sont liées

$$\mathbf{F}_j = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n \frac{k m_i m_j \mathbf{P}_i \mathbf{P}_j}{|\mathbf{P}_j \mathbf{P}_i|^3}$$



La complexité du problème à « n » corps →

Dans ce cas l'orbite est une ellipse dont les paramètres se modifient au cours du temps

Les équations différentielles

Détermination des orbites dans le système solaire

$$\mathbf{F} = m \boldsymbol{\gamma} \quad \rightarrow \quad m \frac{d^2 \mathbf{x}}{dt^2} = f(\mathbf{x}) \quad \text{où } f = \mathbf{G} m \mathbf{M} / r^2$$

f est très complexe dans le cas du système solaire complet:

- chaque corps subit une force de la part de tous les autres
- les corps non ponctuels attirent depuis chaque élément de volume
- les marées vont opérer des transferts d'énergie

Après résolution des équations, on trouve la valeur de la fonction \mathcal{X} et la position d'un corps dans son orbite est définie par $\rightarrow \mathcal{X} = \mathcal{X}(t)$

Les équations différentielles

Détermination des orbites dans le système solaire

$$\mathbf{F} = m \boldsymbol{\gamma} \quad \rightarrow \quad m \frac{d^2 \boldsymbol{x}}{dt^2} = f(\boldsymbol{x}) \quad \text{où } f = \mathbf{G} m \mathbf{M} / r^2$$
$$\rightarrow \quad \boldsymbol{x} = \boldsymbol{x}(t)$$

Résolution des équations pour construire une orbite par les méthodes:

- Analytique \rightarrow \boldsymbol{x} est une fonction solution de l'équation ci-dessus et dépendant du temps
- Numérique \rightarrow la valeur de \boldsymbol{x} est déterminée à chaque instant par calcul numérique de la position à partir d'une position initiale
- Synthétique \rightarrow la fonction analytique \boldsymbol{x} est déterminée à partir des positions calculées par la méthode numérique

Les équations différentielles

Détermination des orbites dans le système solaire

$$\mathbf{F} = m \boldsymbol{\gamma} \quad \rightarrow \quad m \frac{d^2 \boldsymbol{x}}{dt^2} = f(\boldsymbol{x}) \quad \text{où } f = \mathbf{G} m \mathbf{M} / r^2$$
$$\rightarrow \quad \boldsymbol{x} = \boldsymbol{x}(t)$$

Que représente le paramètre « t » dans l'équation ci-dessus?

- un paramètre mathématique uniforme
- le temps de l'observation dans une échelle accessible à tous
 - le temps universel accessible mais non uniforme
 - le temps terrestre calculable et uniforme
- une échelle de temps identique partout (mais est-ce possible?)

Cas où l'on a plus de deux corps: pas de solution analytique

Par chance le système solaire est une somme de problèmes à deux corps:

- soleil + planète

- planète + satellite

Rappel: définition de l'ellipse

a: demi grand axe

e: excentricité

i: inclinaison

Ω : longitude du noeud

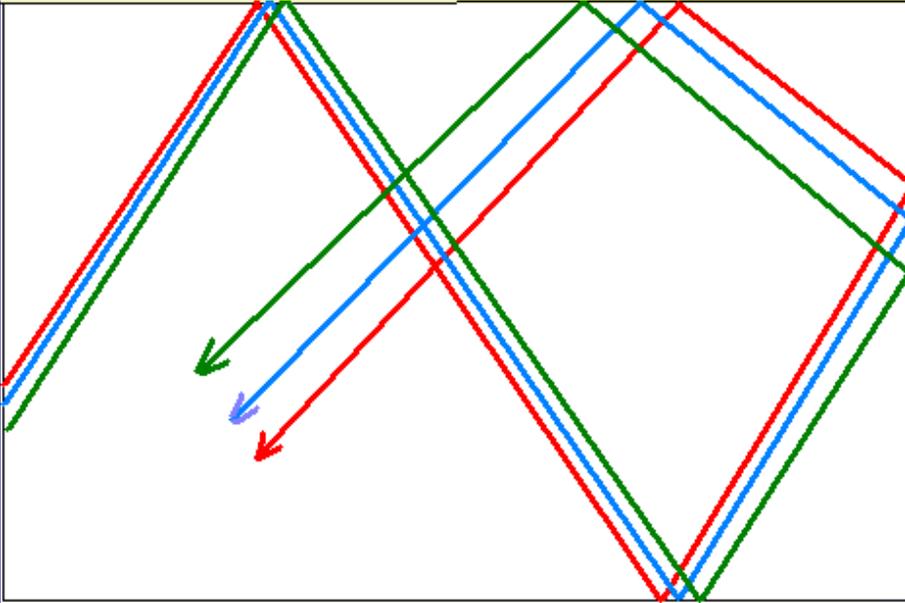
ω : longitude du périastre

t_0 : instant de passage au périastre

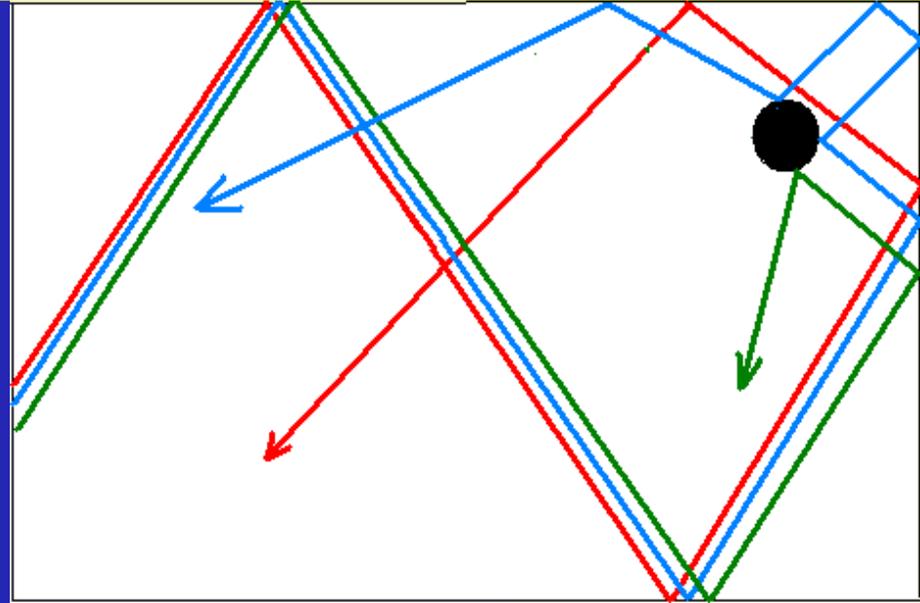
On va résoudre des problèmes à deux corps, perturbés par des forces extérieures

→ Lagrange introduit des équations qui « font varier les constantes »: les six paramètres de définition de l'ellipse vont varier au cours du temps en fonction des forces perturbatrices. A chaque instant, leur valeur définit l'orbite « osculatrice ».

Qu'est-ce qu'un système chaotique?



À gauche, le système est stable et non chaotique: on peut prévoir à peu près où se trouvera le mobile



À droite, le système est chaotique: après un certain temps, la prédiction est impossible

Exemple: le mouvement des planètes intérieures est chaotique alors que celui des planètes géantes est stable.

Des applications: une masse négligeable autour d'une masse centrale prépondérante

Terre



Lune



$$a^3/T^2 = GM/4\pi^2$$

Pour un même « a », si la masse centrale augmente alors « T » augmente



Jupiter



Io

La troisième loi de Kepler et la loi de Newton

- $a^3/t^2 = \text{constante} = GM_{\text{Terre}}/4\pi^2$ pour la Terre

où $G = 6.67259 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$

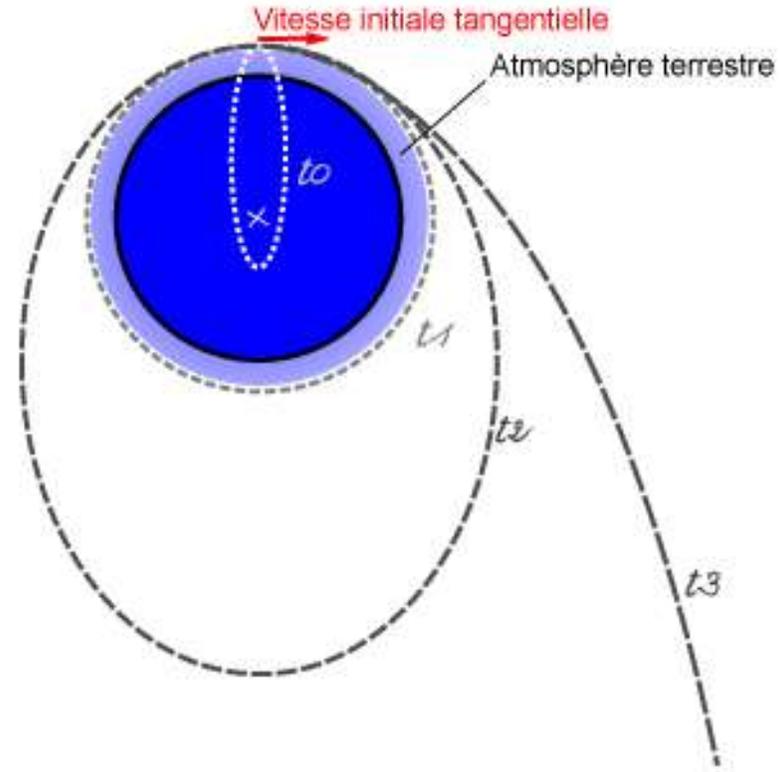
$GM_{\text{Terre}} = 3.0034896 \times 10^{-6} \times GM_{\text{Soleil}}$

$= 3.98600435608 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$

$GM_{\text{Soleil}} = 1.3271244002 \times 10^{20} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$

- Exemple: les satellites de la Terre

Les satellites artificiels de la Terre



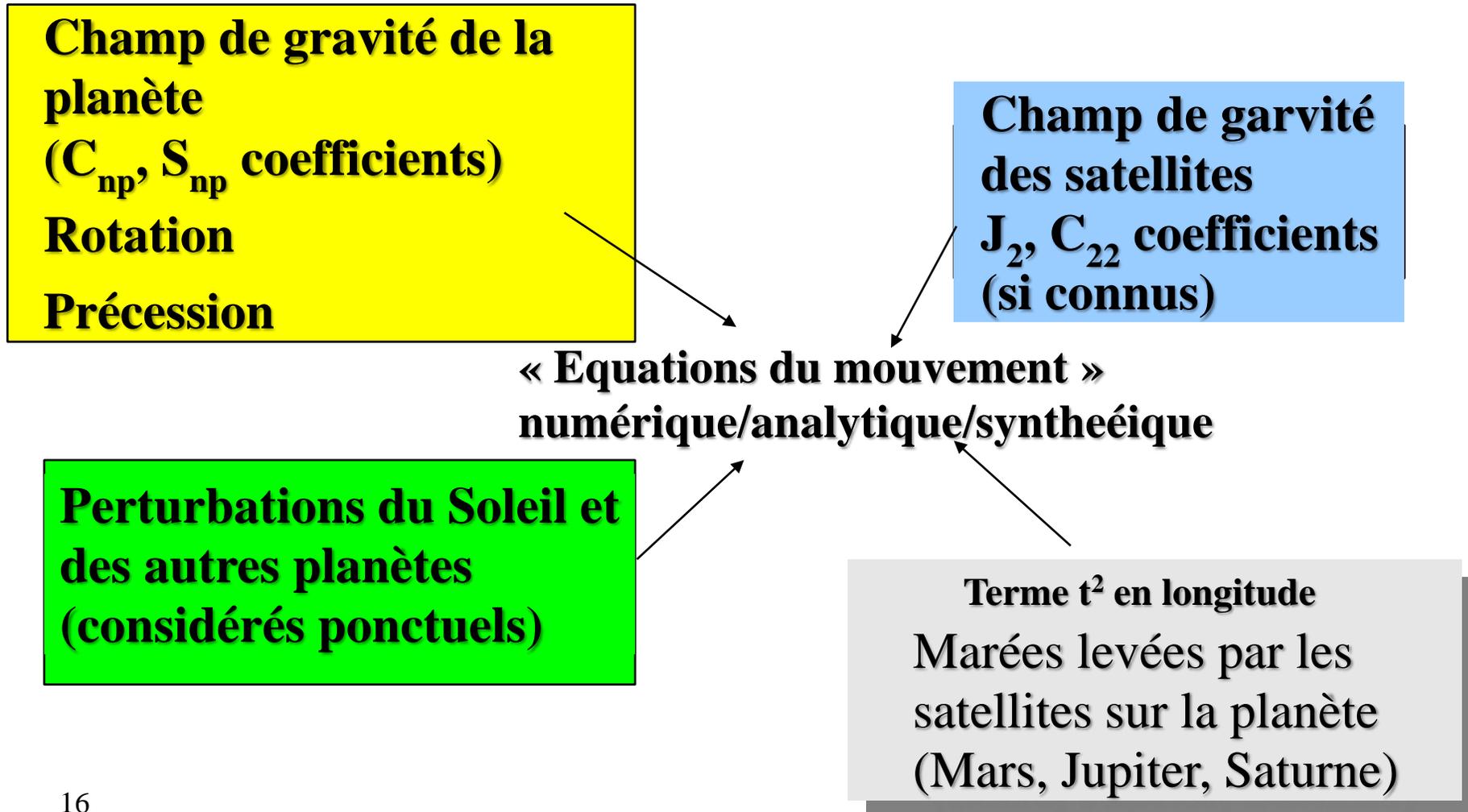
$$V(t_1) > 7,4 \text{ km/s}$$

$$V(t_3) > 11,2 \text{ km/s}$$

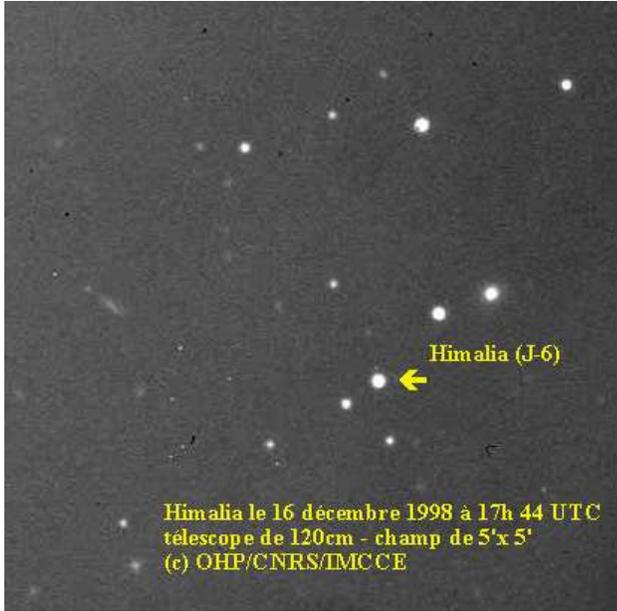
$$V(t_3) > V(t_2) > V(t_1)$$

La construction des éphémérides

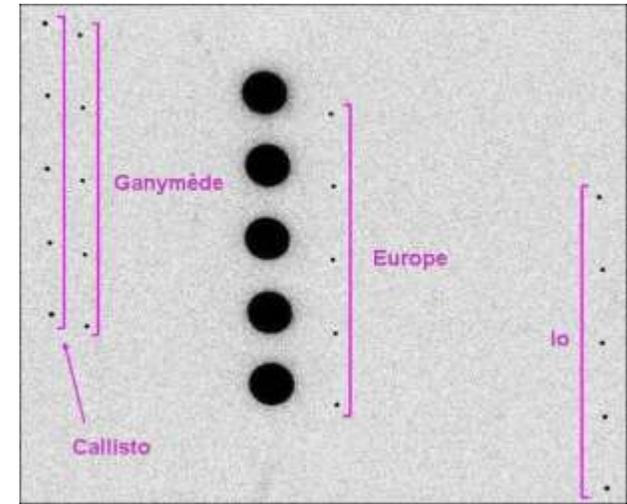
Construire le modèle dynamique



La construction des éphémérides

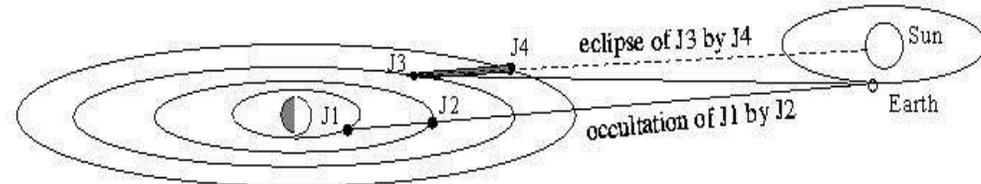
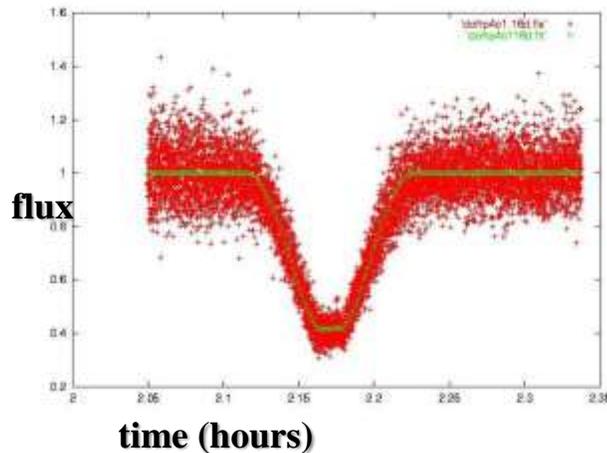


Observations pour valider le modèle



Observations astrométriques

Beaucoup de formats différents!
Mais, même repère et même échelle de temps!



Éclipses et occultations mutuelles its.

Observations photométriques

Détermination des orbites dans le système solaire

Etape 1: Modélisation du système dynamique

Equations du mouvement

$$\ddot{\vec{r}}_i = -G(m_0 + m_i) \left(\frac{\vec{r}_i}{r_i^3} - \nabla_i U_{i\hat{0}} + \nabla_0 U_{0\hat{i}} \right) + \sum_{j=1, j \neq i}^N Gm_j \left(\frac{\vec{r}_j - \vec{r}_i}{r_{ij}^3} - \frac{\vec{r}_j}{r_j^3} - \nabla_j U_{j\hat{i}} + \nabla_i U_{i\hat{j}} + \nabla_j U_{j\hat{0}} - \nabla_0 U_{0\hat{j}} \right)$$
$$+ \frac{(m_0 + m_i)}{m_i m_0} (\vec{F}_{i\hat{0}}^T - \vec{F}_{0\hat{i}}^T) - \frac{1}{m_0} \sum_{j=1, j \neq i}^N (\vec{F}_{j\hat{0}}^T - \vec{F}_{0\hat{j}}^T) + \mathbf{RT}$$

Détermination des orbites dans le système solaire

Etape 1: Modélisation du système dynamique

Equations du mouvement

$$\ddot{\vec{r}}_i = -G(m_0 + m_i) \left(\frac{\vec{r}_i}{r_i^3} - \nabla_i U_{i\hat{0}} + \nabla_0 U_{0\hat{i}} \right) + \sum_{j=1, j \neq i}^N Gm_j \left(\frac{\vec{r}_j - \vec{r}_i}{r_{ij}^3} - \frac{\vec{r}_j}{r_j^3} - \nabla_j U_{j\hat{i}} + \nabla_i U_{i\hat{j}} + \nabla_j U_{j\hat{0}} - \nabla_0 U_{0\hat{j}} \right)$$



$$+ \frac{(m_0 + m_i)}{m_i m_0} (\vec{F}_{i\hat{0}}^T - \vec{F}_{0\hat{i}}^T) - \frac{1}{m_0} \sum_{j=1, j \neq i}^N (\vec{F}_{j\hat{0}}^T - \vec{F}_{0\hat{j}}^T) + RT$$

Problème des N-corps

Détermination des orbites dans le système solaire

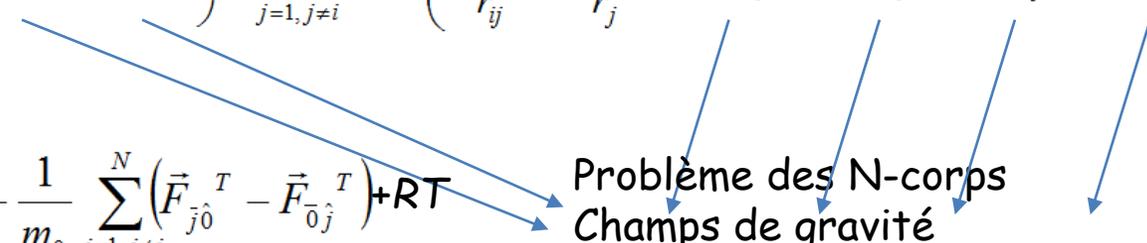
Etape 1: Modélisation du système dynamique

Equations du mouvement

$$\ddot{\vec{r}}_i = -G(m_0 + m_i) \left(\frac{\vec{r}_i}{r_i^3} - \nabla_i U_{\vec{i}\hat{0}} + \nabla_0 U_{\vec{0}\hat{i}} \right) + \sum_{j=1, j \neq i}^N Gm_j \left(\frac{\vec{r}_j - \vec{r}_i}{r_{ij}^3} - \frac{\vec{r}_j}{r_j^3} - \nabla_j U_{\vec{j}\hat{i}} + \nabla_i U_{\vec{i}\hat{j}} + \nabla_j U_{\vec{j}\hat{0}} - \nabla_0 U_{\vec{0}\hat{j}} \right)$$

$+$ $\frac{(m_0 + m_i)}{m_i m_0} (\vec{F}_{\vec{i}\hat{0}}^T - \vec{F}_{\vec{0}\hat{i}}^T) - \frac{1}{m_0} \sum_{j=1, j \neq i}^N (\vec{F}_{\vec{j}\hat{0}}^T - \vec{F}_{\vec{0}\hat{j}}^T) + RT$

Problème des N-corps
Champs de gravité



Détermination des orbites dans le système solaire

Etape 1: Modélisation du système dynamique

Equations du mouvement

$$\ddot{\vec{r}}_i = -G(m_0 + m_i) \left(\frac{\vec{r}_i}{r_i^3} - \nabla_i U_{i\hat{0}} + \nabla_0 U_{0\hat{i}} \right) + \sum_{j=1, j \neq i}^N Gm_j \left(\frac{\vec{r}_j - \vec{r}_i}{r_{ij}^3} - \frac{\vec{r}_j}{r_j^3} - \nabla_j U_{j\hat{i}} + \nabla_i U_{i\hat{j}} + \nabla_j U_{j\hat{0}} - \nabla_0 U_{0\hat{j}} \right)$$

$$+ \frac{(m_0 + m_i)}{m_i m_0} (\vec{F}_{i\hat{0}}^T - \vec{F}_{0\hat{i}}^T) - \frac{1}{m_0} \sum_{j=1, j \neq i}^N (\vec{F}_{j\hat{0}}^T - \vec{F}_{0\hat{j}}^T) + RT$$

Problème des N-corps
Champs de gravité
Effets de marée

Détermination des orbites dans le système solaire

Etape 1: Modélisation du système dynamique

Equations du mouvement

$$\ddot{\vec{r}}_i = -G(m_0 + m_i) \left(\frac{\vec{r}_i}{r_i^3} - \nabla_i U_{i\hat{0}} + \nabla_0 U_{\hat{0}i} \right) + \sum_{j=1, j \neq i}^N Gm_j \left(\frac{\vec{r}_j - \vec{r}_i}{r_{ij}^3} - \frac{\vec{r}_j}{r_j^3} - \nabla_j U_{j\hat{i}} + \nabla_i U_{\hat{j}} + \nabla_j U_{j\hat{0}} - \nabla_0 U_{\hat{0}j} \right)$$

$$+ \frac{(m_0 + m_i)}{m_i m_0} (\vec{F}_{i\hat{0}}^T - \vec{F}_{\hat{0}i}^T) - \frac{1}{m_0} \sum_{j=1, j \neq i}^N (\vec{F}_{j\hat{0}}^T - \vec{F}_{\hat{0}j}^T) + RT$$

Problème des N-corps
Champs de gravité
Effets de marée
Termes relativistes



→ *Solution* : $\mathbf{r} = \mathbf{R}(t, \text{cstes du mouvement})$: position du corps à chaque instant

Détermination des orbites dans le système solaire

Etape 2: effectuer des observations des positions des corps dont on veut décrire le mouvement

Etape 3: introduire les valeurs numériques dans les équations et calculer la solution

Etape 4: calculer les positions à venir des astres à l'aide de la solution

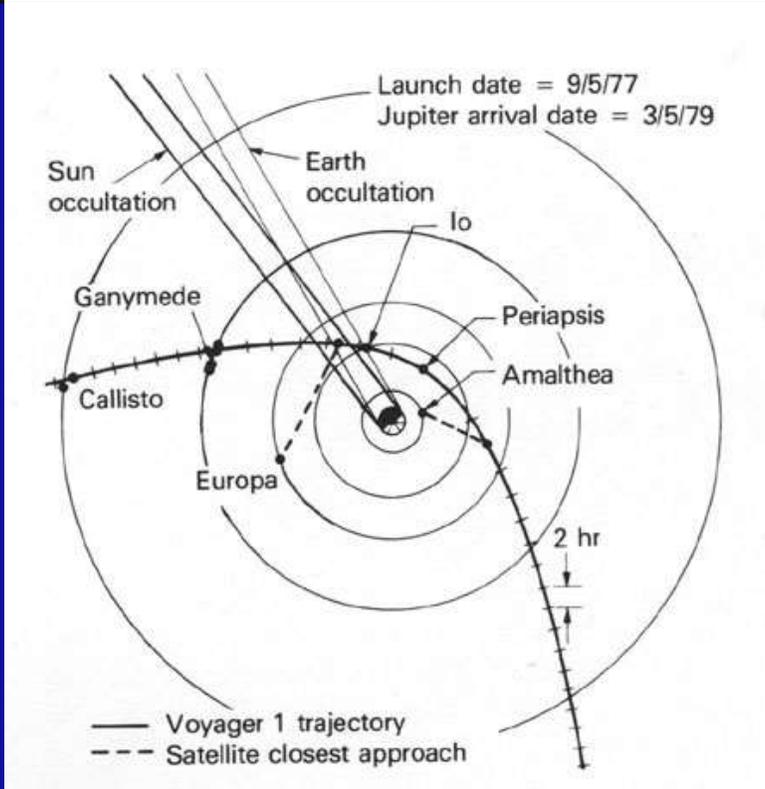
→ *Solution* : $r = R(t)$: position du corps à chaque instant t

La programmation des missions spatiales

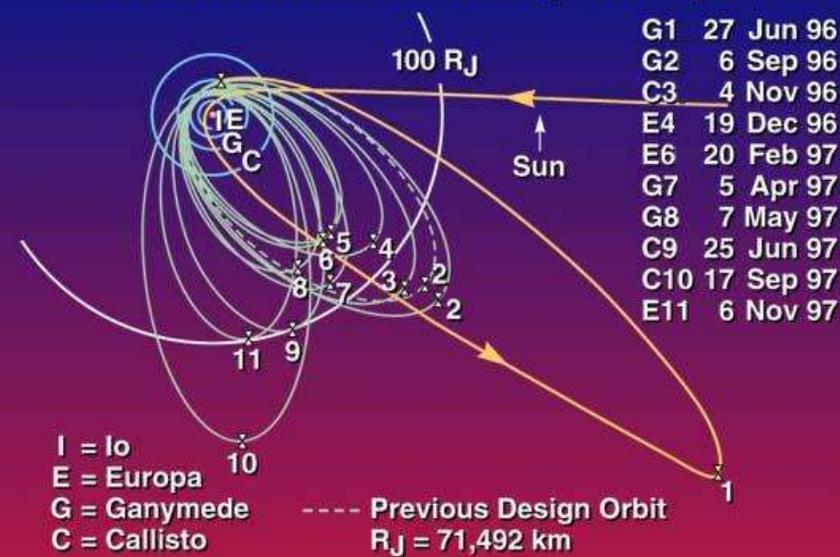


← Voyager

Galileo →



Orbital Tour of the Jupiter System



G1	27 Jun 96
G2	6 Sep 96
C3	4 Nov 96
E4	19 Dec 96
E6	20 Feb 97
G7	5 Apr 97
G8	7 May 97
C9	25 Jun 97
C10	17 Sep 97
E11	6 Nov 97

I = Io
E = Europa
G = Ganymede
C = Callisto

Points de Lagrange (1772)

Les points de Lagrange sont les points où l'attraction solaire et l'attraction terrestre sont exactement compensées par la force d'inertie d'entraînement (centrifuge) sur l'orbite.

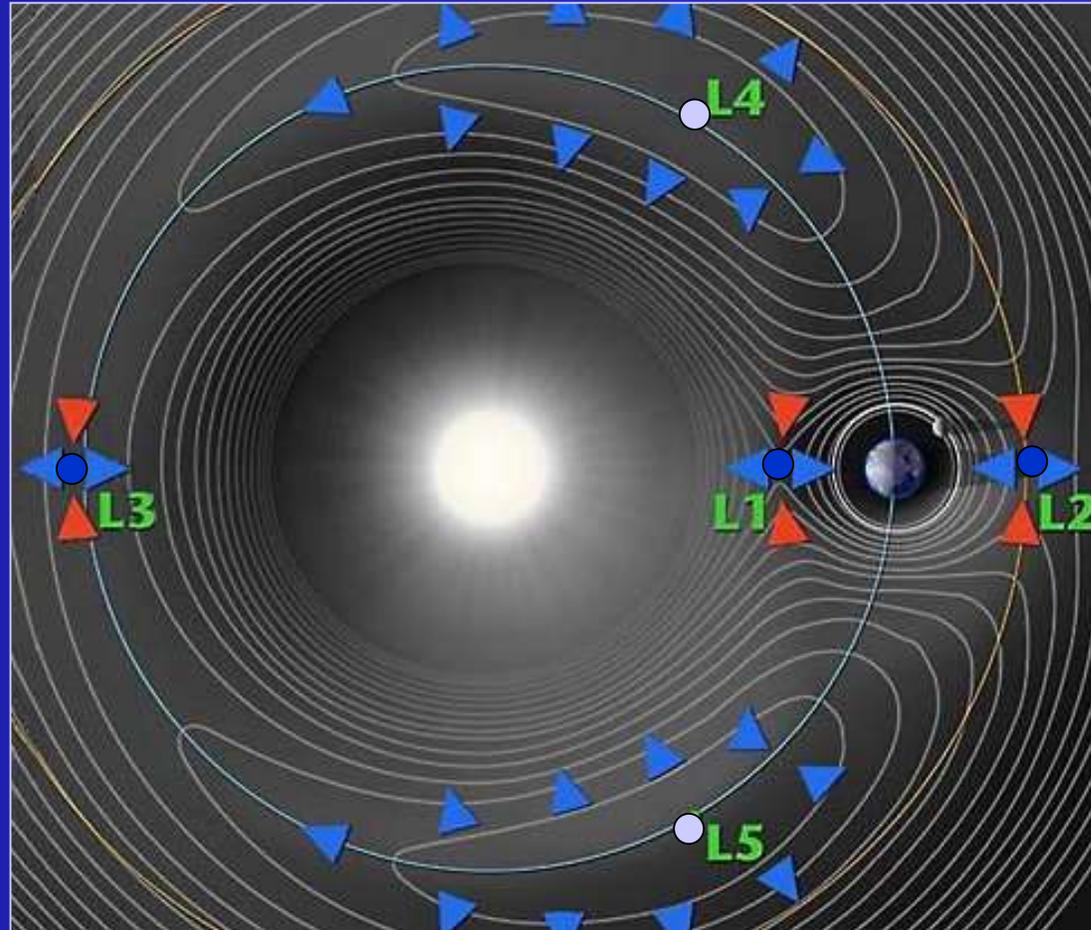
▲ Zone ou direction d'instabilité

▲ Direction stable

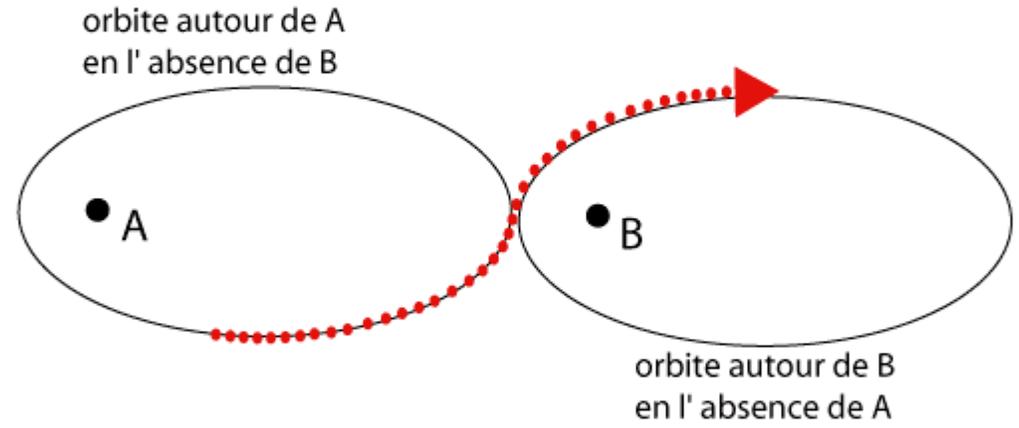
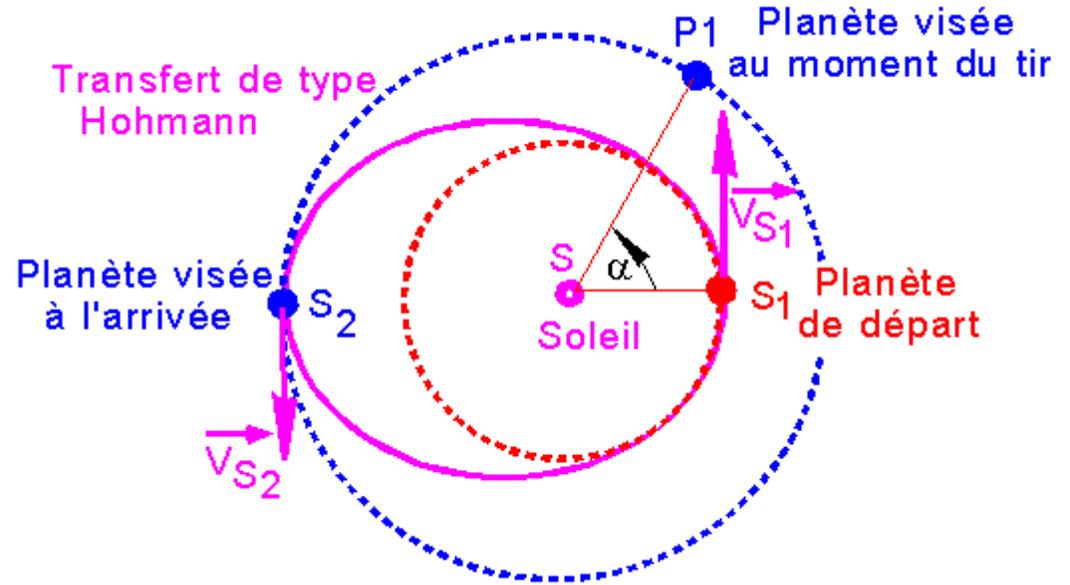
L1 : SOHO

L2 : Plank, GAIA

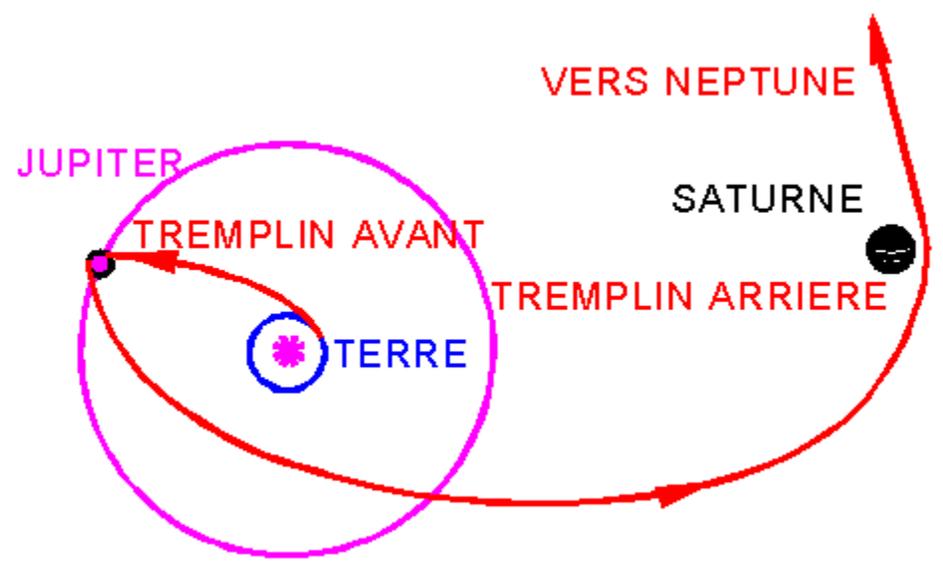
Terre-L2 : 1 500 000 km



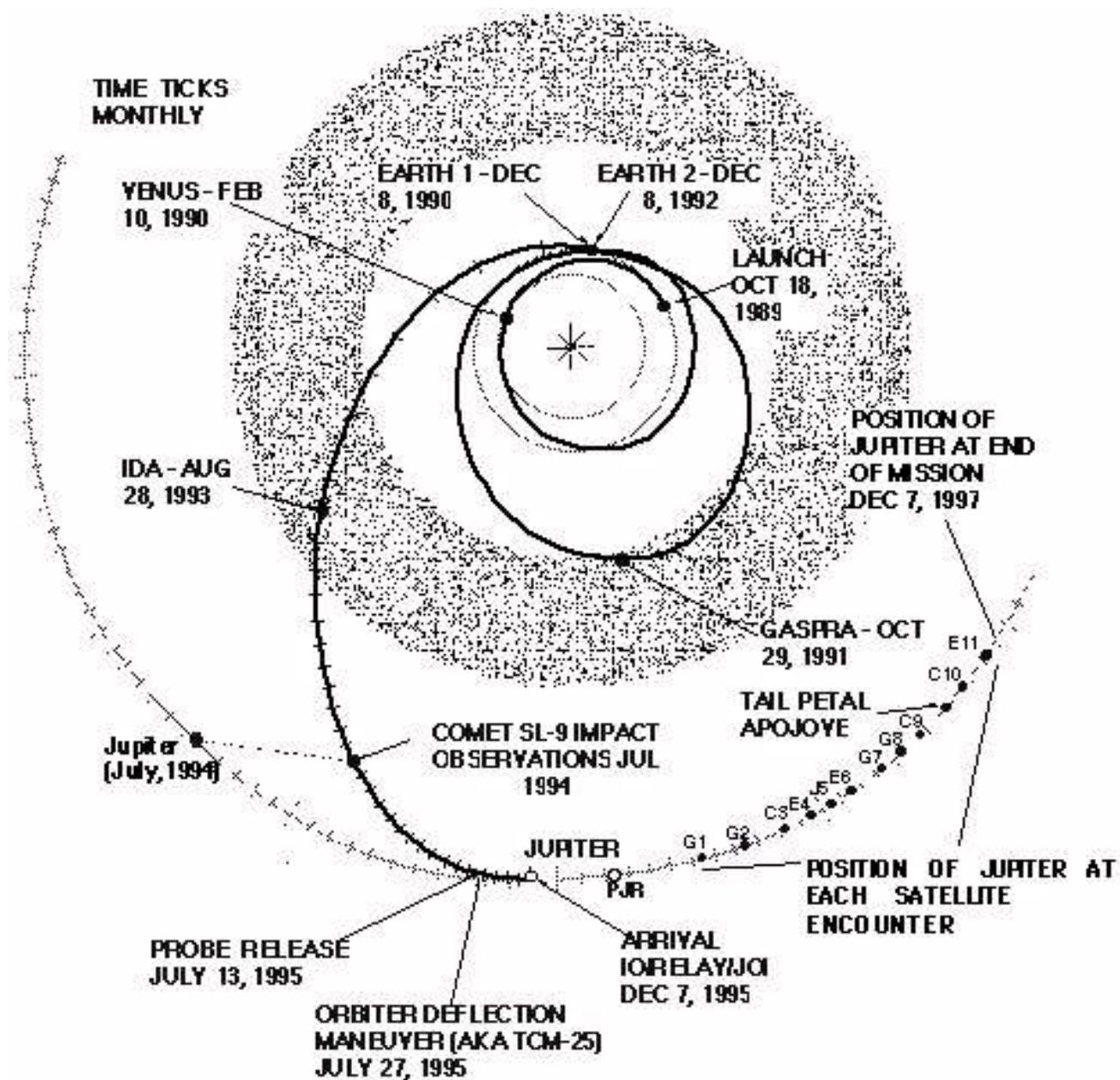
Joseph-Louis Lagrange (1736- 1813)



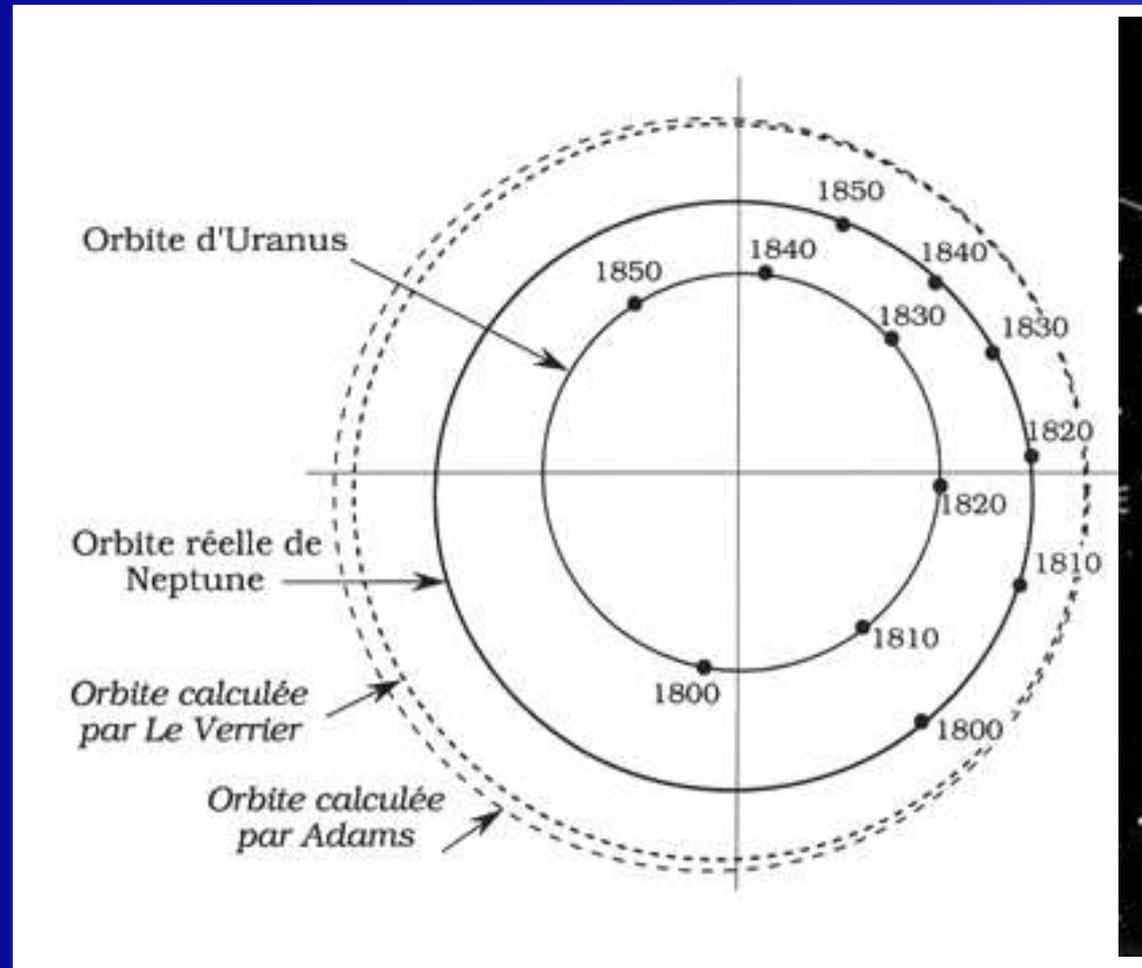
La navigation spatiale: une succession de problèmes à deux corps.



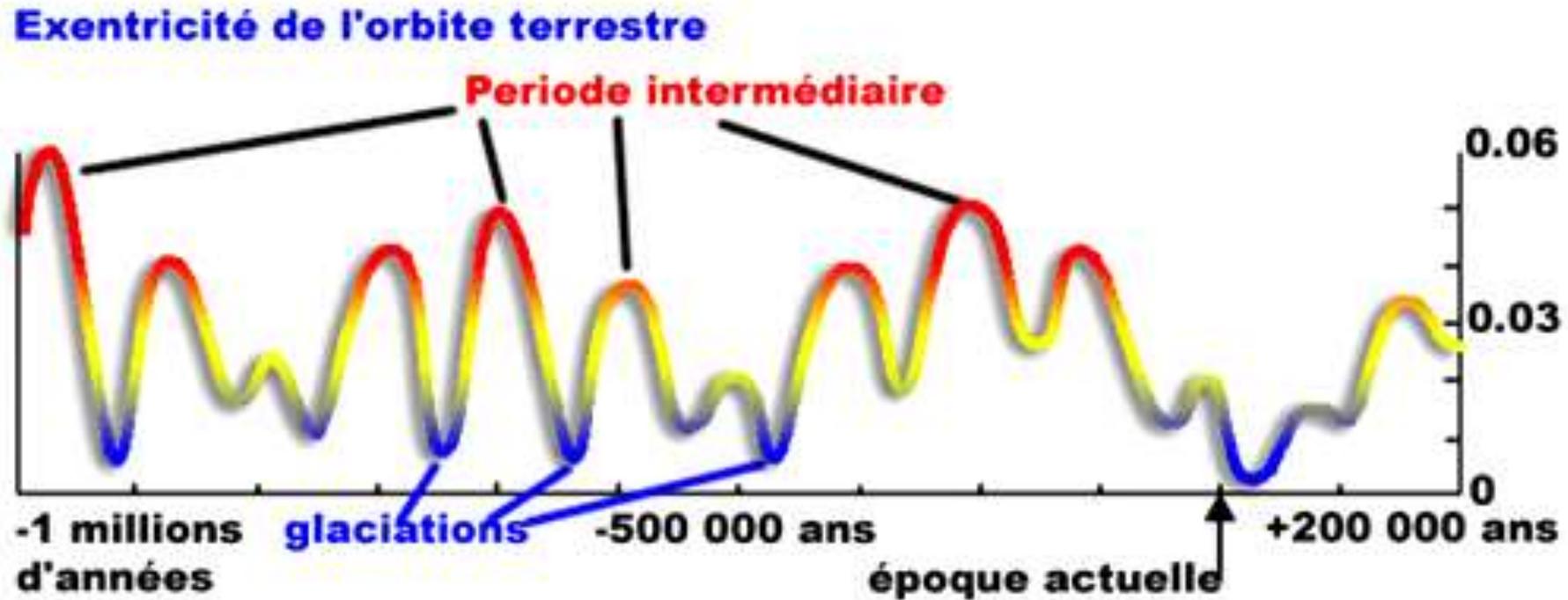
La trajectoire de la sonde Galileo



La découverte de Neptune par Le Verrier



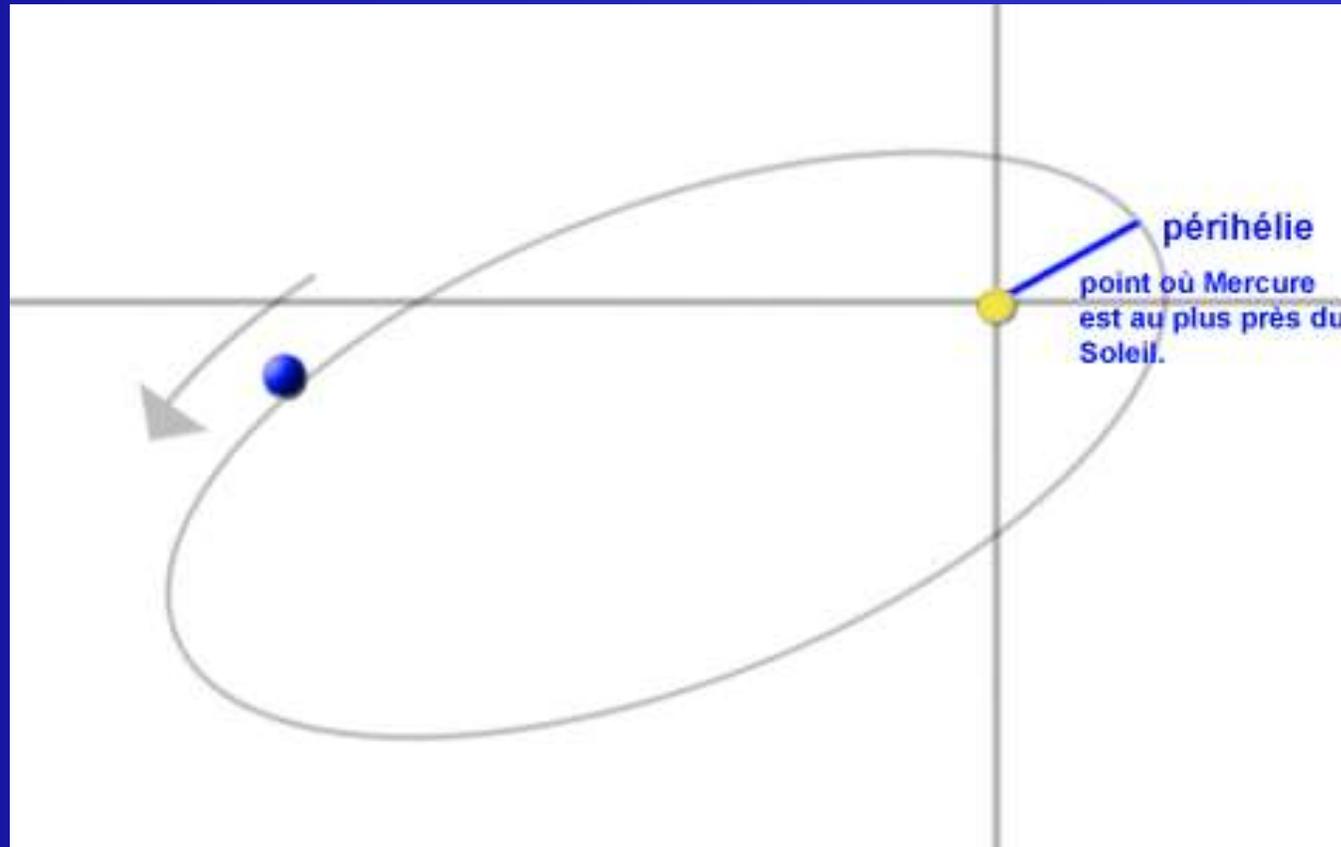
La paléoclimatologie et la mécanique céleste: dater les temps géologiques



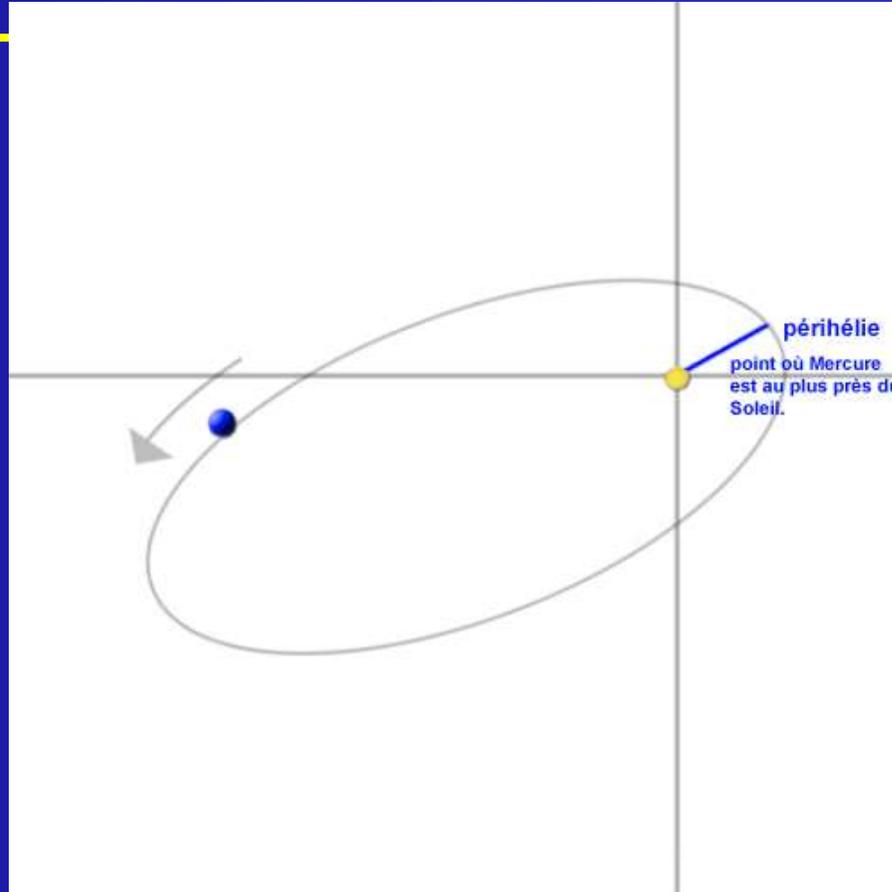
Pourquoi augmenter toujours la précision des observations?

L'augmentation de la précision de mesure des distances va rendre caduques les modèles admis jusqu'alors.

Par exemple, les mesures précises de position de Mercure faites à la fin du XIX^{ème} siècle montrent que la planète n'est pas à sa place: le modèle d'univers newtonien bat de l'aile...



Les limites de la gravitation universelle de Newton



Un nouveau modèle va expliquer les errements de Mercure:

- Il n'y a pas de repère ni de temps absolus (exit Galilée)
- Il n'y a pas d'actions à distance (exit Newton)
- L'univers est courbe (exit Euclide)

Rappels sur la relativité

- Relativité galiléenne → temps absolu
- Relativité restreinte → temps élastique
- Relativité générale → espace-temps

La relativité galiléenne

- Le temps est absolu

$$\begin{cases} x' = x - vt \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = t \end{cases}$$

- Les changements de variables sont simples

La relativité restreinte

$$\left\{ \begin{array}{l} x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \frac{t - \frac{v}{c^2} x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \end{array} \right.$$



$$E = m c^2$$

- **Équivalence masse - énergie**
- Proposé par Poincaré en 1900 pour résoudre les problèmes de relativité et de déformation de l'espace-temps
- Développé dans ses conséquences physiques par Einstein en 1905 dans la relativité restreinte

- **Mise en pratique**
- Expérimentation dans les accélérateurs de particules
- Conversion masse en énergie observable
 - dans les réactions nucléaires (bombe atomique, centrales nucléaires)
- Plus difficilement observable dans
 - Les réactions chimiques
 - L'énergie potentielle (barrages hydroélectriques)

$$E = m c^2$$

- E est l'énergie exprimée en joules (matérialisé par un rayonnement);
- m est la masse (au repos) en kilogrammes ;
- c est la vitesse de la lumière dans le vide,
soit $299\,792\,458\text{ m/s} = 2,997\,924\,58 \times 10^8\text{ m/s}$ (environ $300\,000\text{ km/s}$)
, ce qui correspond à un facteur c^2 d'environ $9 \times 10^{16}\text{ m}^2\text{ s}^{-2}$.

Une vérification *expérimentale* que la racine carrée du rapport E/m est égale à c dans l'exemple suivant:

- Dans la désintégration du positronium, il y a création et émission de deux rayons gamma d'énergie (mesurée par rayon) $0,511\text{ MeV} = 0,818\,6 \times 10^{-13}\text{ J}$, en compensation de la disparition de deux masses d'électron.

La masse d'un électron étant de $9,11 \times 10^{-31}\text{ kg}$, on trouve bien :

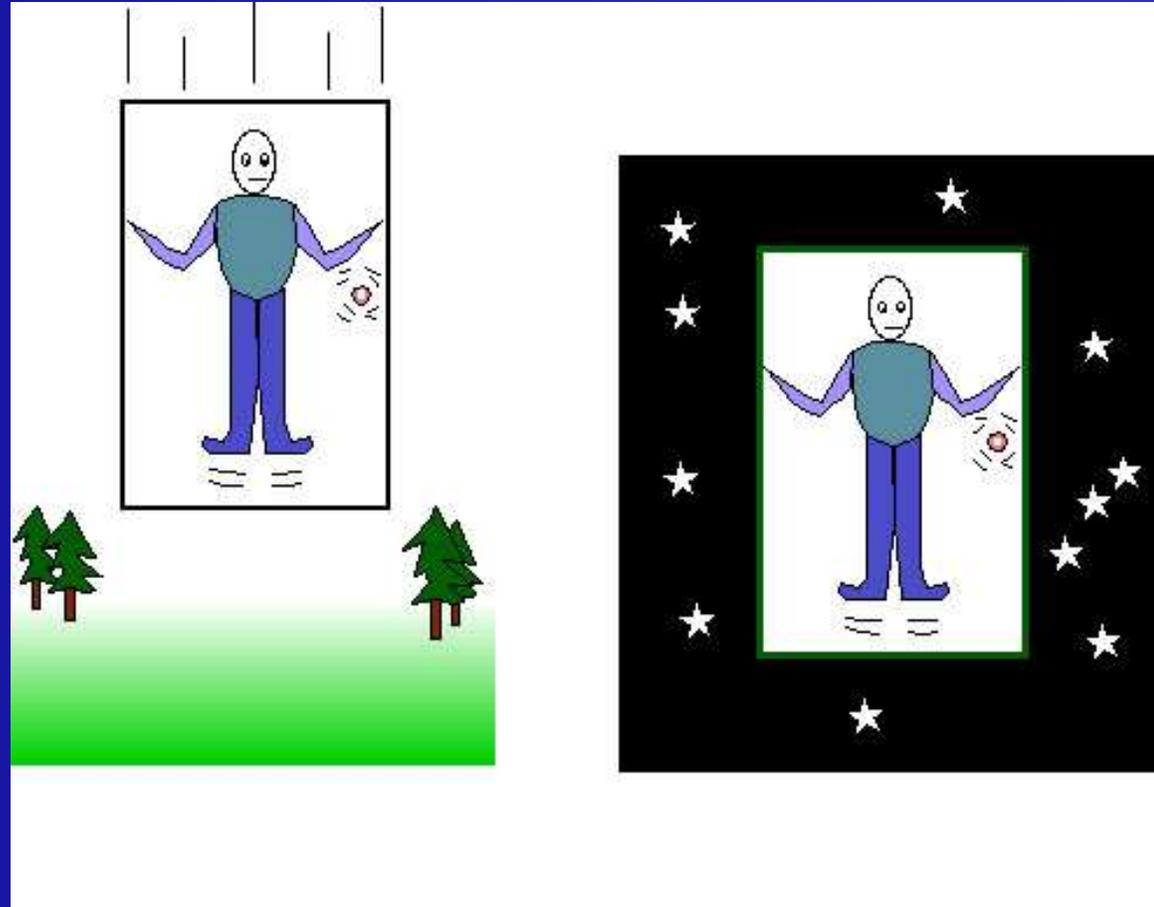
$$\frac{E}{m} = \frac{0,82 \cdot 10^{-13}\text{ J}}{9,11 \cdot 10^{-31}\text{ kg}} = 9,0 \cdot 10^{16}\text{ m}^2/\text{s}^2$$

et donc :

$$\sqrt{\frac{E}{m}} = 3,0 \cdot 10^8\text{ m/s} = c.$$

La relativité générale

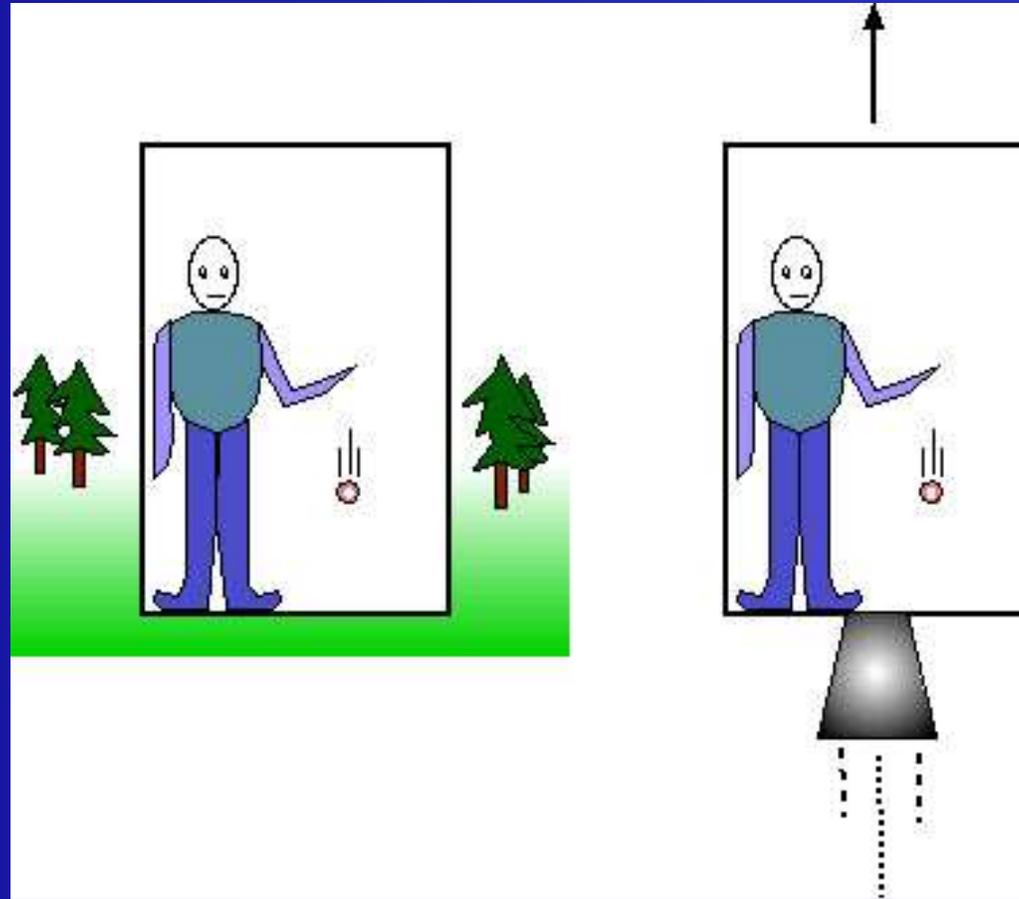
le principe d'équivalence: masse gravifique = masse inertielle



Vous circulez sur une géodésique de l'espace-temps:
vous êtes en « chute libre »

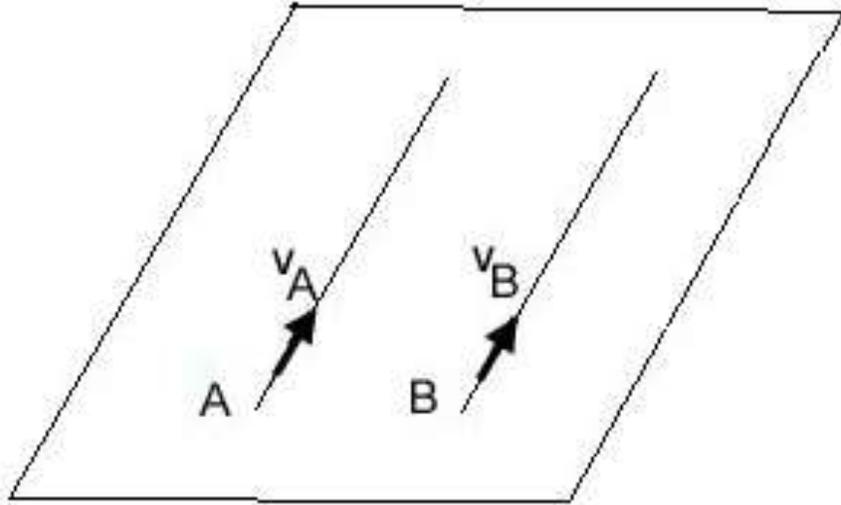
La relativité générale

le principe d'équivalence : masse gravifique = masse inertielle



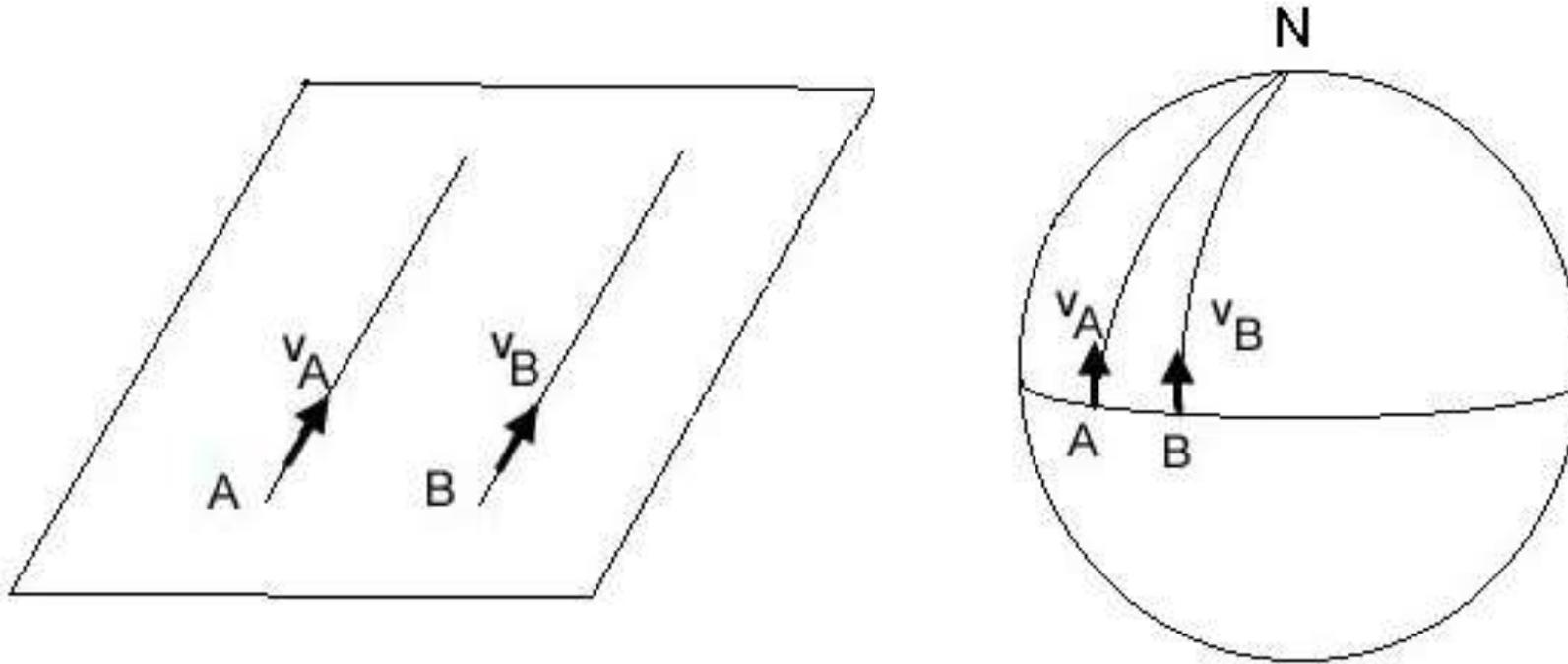
Vous êtes soumis à la gravité ou à une force d'accélération

La relativité générale: principe d'équivalence et courbure de l'espace



Un univers plat sans gravité

La relativité générale: principe d'équivalence et courbure de l'espace



Quelles preuves a-t-on? Mercure? Les éclipses de Soleil? L'expansion de l'univers?

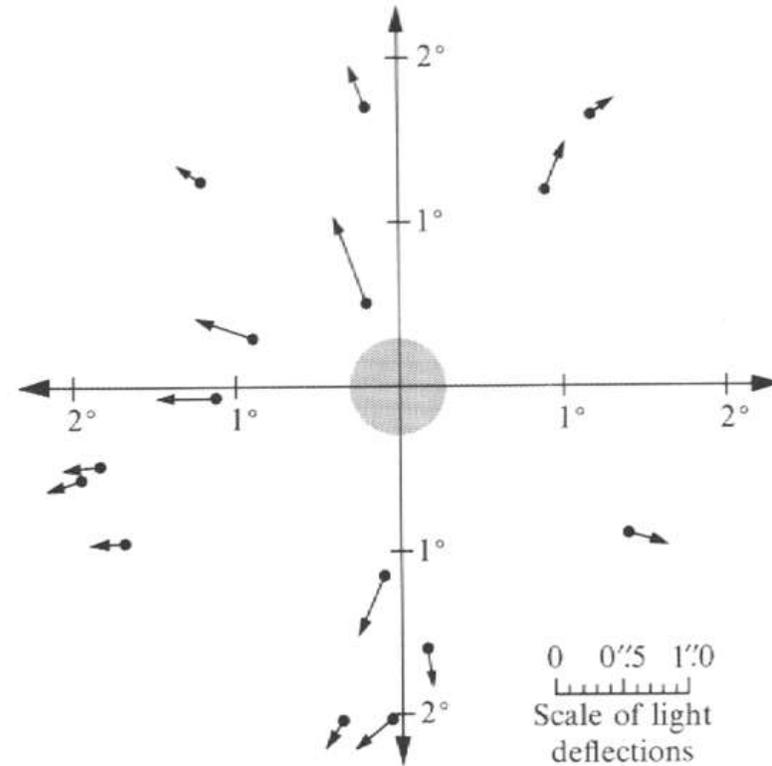
Eclipse totale de Soleil du 1 août 2008: Novosibirsk

Vénus →

Mercure →



Rayons lumineux (sans masse) déviés par la masse du Soleil



Comment concrétiser les éphémérides?



Modeling the dynamics and building ephemerides

Interpolation

Polynômes du temps

Polynômes de Chebychev

Analyse de Fourier

Fonctions mixtes

Représentation de l'éphéméride sur un intervalle de temps donné

« EPHEMERIDES »

→ extrapolation

→ navigation spatiale

Quelle précision?
Quelle incertitude?

Forme des éphémérides: des tables

SOLEIL 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, TEMPS DE PASSAGE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			t. passage			Date	asc. droite			déclinaison			t. passage				
	h	m	s	°	'	"	h	m	s		h	m	s	°	'	"	h	m	s		
Juill.	3	6	48	47.354	22	57	55.28	12	4	16.00	Août	18	9	49	53.718	13	7	20.04	12	3	48.54
	4	6	52	54.785	22	52	54.93	12	4	26.71		19	9	53	36.850	12	47	52.03	12	3	34.87
	5	6	57	1.890	22	47	30.73	12	4	37.08		20	9	57	19.494	12	28	11.85	12	3	20.72
	6	7	1	8.649	22	41	42.83	12	4	47.10		21	10	1	1.658	12	8	19.84	12	3	6.10
	7	7	5	15.046	22	35	31.35	12	4	56.74		22	10	4	43.351	11	48	16.34	12	2	51.02
	8	7	9	21.065	22	28	56.45	12	5	6.01		23	10	8	24.584	11	28	1.69	12	2	35.48
	9	7	13	26.690	22	21	58.25	12	5	14.87		24	10	12	5.367	11	7	36.24	12	2	19.49
	10	7	17	31.906	22	14	36.91	12	5	23.32		25	10	15	45.715	10	47	0.30	12	2	3.08
	11	7	21	36.700	22	6	52.59	12	5	31.34		26	10	19	25.639	10	26	14.22	12	1	46.24
	12	7	25	41.058	21	58	45.44	12	5	38.93		27	10	23	5.154	10	5	18.33	12	1	29.00
	13	7	29	44.969	21	50	15.64	12	5	46.06		28	10	26	44.274	9	44	12.96	12	1	11.38
	14	7	33	48.422	21	41	23.35	12	5	52.73		29	10	30	23.014	9	22	58.42	12	0	53.38
15	7	37	51.404	21	32	8.77	12	5	58.92	30	10	34	1.389	9	1	35.04	12	0	35.02		
16	7	41	53.906	21	22	32.10	12	6	4.62	31	10	37	39.417	8	40	3.14	12	0	16.33		
17	7	45	55.916	21	12	33.53	12	6	9.82	Sept.	1	10	41	17.114	8	18	23.01	11	59	57.32	
18	7	49	57.424	21	2	13.31	12	6	14.50	2	10	44	54.498	7	56	34.97	11	59	38.00		
19	7	53	58.416	20	51	31.65	12	6	18.66	3	10	48	31.589	7	34	39.33	11	59	18.41		
20	7	57	58.879	20	40	28.83	12	6	22.29	4	10	52	8.407	7	12	36.37	11	58	58.55		
21	8	1	58.795	20	29	5.10	12	6	25.36	5	10	55	44.973	6	50	26.40	11	58	38.46		
22	8	5	58.149	20	17	20.74	12	6	27.86	6	10	59	21.308	6	28	9.70	11	58	18.15		

ÉCLIPSES DU TROISIÈME SATELLITE.

Temps moyen de Paris.

1870.	ÉMISSIONS.	1870.	ÉMISSIONS.
Janv. 1	1.13.11	Janv. 1	3. 0.25
8	*5.14.58	8	*7. 2.17
15	*9.17. 0	15	*11. 4.26
22	13.19. 4	22	15. 6.41
29	17.21.46	29	19. 9.37
Févr. 5	21.23.54	Févr. 5	23.11.59
13	1.26. 8	13	3.14.31
20	5.27.49	20	*7.16.32
27	*9.29.21	27	11.18.25
Mars 6	13.31. 1	Mars 6	15.20.31
13	17.32.40	13	19.22.35
20	21.34.50	20	23.25.15
28	1.36.20	28	3.27.16
Avril 4	5.37.52	Avril 4	7.29.20
11	9.38.47	11	11.30.50
18	13.39.31	18	15.32.10
25	17.42.26	25	19.33.42
Juin 22	1.43.21	Juin 22	3.42.48
29	5.43.45	29	7.44. 3
Juill. 6	9.43.27	Juill. 6	11.44.39
13	13.43. 6	13	15.45.13
20	17.42.14	20	19.45.16
27	21.41.15	27	23.45.14
Août 4	1.40.32	Août 4	3.45.29
11	5.39.43	11	7.45.39
18	9.39.26	18	11.46.21
25	*13.38.30	25	*15.46.28
Sept. 1	17.37.33	Sept. 1	19.46.32
8	21.36.11	8	23.46.10
16	1.34.46	16	3.45.51
23	5.33.44	23	7.45.51
30	9.32.40	30	*11.45.52
Oct. 7	*13.32.13	Oct. 7	*15.46.29
14	*17.31.13	14	19.46.34
21	21.30.13	21	23.46.46
29	1.28.59	29	3.46.32
Nov. 5	5.27.48	Nov. 5	*7.46.28
12	*9.27. 7	12	*11.46.54
19	*13.26.29	19	15.47.25
26	*17.26.32	26	19.48.40
Déc. 3	21.26. 9	Déc. 3	23.49.25
11	1.25.53	11	3.50.14

On ne pourra pas observer les éclipses du 3^e Satellite de Jupiter du 25 avril au 22 juin, parce que Jupiter sera trop près du Soleil.

Il n'y a pas d'éclipse du 4^e Satellite pendant l'année 1870.

JANVIER 1870.

CONFIGURATIONS DES SATELLITES DE JUPITER,

à 9^e temps moyen de Paris.

1		1.	○	2.3	4				
2			○	1	3 4				
3		2.	○		3. 4				
4		2.	○	3.	1. 4				
5		3.	○	1	2 4				
6	○	3	○		4				
7	●	2.3	○		4				
8		1.	○	2.3					
9		4.	○	1.2.	3				
10		4.	2.1.	○	3.				
11	4.		2.	○	3. 1.				
12	4.		3.	1	○	2			
13	4	3.		○	2.1.				
14	4		1.	○					
15		4		1.	○	2			
16			4	○	1.	2.	3		
17			1.	○		4	3		
18			2.	○	3.	1.	4		
19			3.	1	○		2	4	
20			3.		○	2.1.		4	
21			3.2.	1	○			4	
22			4.	3.		○		1.	
23			4.		3.	2.	1	○	
24			4			1.	○		
25			4				○		
26			4					○	
27			4.	3.				○	
28			4.		3.	2.		1	○
29			4				1.	○	
30			4					1.	○

Les satellites de Jupiter pour caler les horloges des cartographes: un mouvement très rapide difficile à tabuler.

Les fonctions mixtes: le satellite Io de Jupiter

IO 1996

N = 3.5516 rad/jour

COORDONNÉES DIFFÉRENTIELLES TANGENTIELLES

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

du 0 janvier 0h au 3 janvier 0h		du 3 janvier 0h au 6 janvier 0h		du 6 janvier 0h au 9 janvier 0h	
X	Y	X	Y	X	Y
A0	-0.341 200	A0	-0.401 700	A0	-0.455 600
A1	-0.015 720	A1	-0.016 600	A1	0.003 140
B0	93.258 100	B0	93.386 500	B0	93.534 700
F0	3.820 963	F0	1.897 543	F0	6.257 937
B1	0.374 270	B1	0.326 660	B1	0.362 130
F1	2.261 200	F1	0.405 600	F1	4.925 600
B2	0.013 392	B2	0.014 160	B2	0.007 286
F2	4.263 700	F2	1.211 100	F2	3.450 600
C0	0.209 200	C0	0.209 200	C0	0.208 700
P0	5.165 500	P0	1.362 500	P0	3.845 800
					2.779 900

Les positions du satellite Io de Jupiter (coordonnées X et Y relatives à Jupiter) sous forme de fonctions « mixtes » périodiques et polynômiales.

Calcul d'une coordonnée pour la date t appartenant à l'intervalle $t_0, t_0 + DT$:

$$\begin{aligned} X = & A0 + A1 u + B0 \sin(Nu + F0) + B1 u \sin(Nu + F1) + B2 u^2 \sin(Nu + F2) + C0 \sin(2Nu + P0), \\ Y = & \end{aligned}$$

où : $u = t - t_0$ (compté en jours).

Des éphémérides pour quoi faire?

- Pour préparer de futures observations
- Pour régler les almanachs et calendriers
- Pour cartographier la Terre
- Pour naviguer et se repérer en mer
- Pour préparer la navigation des sondes spatiales

- Mais quelle est la précision des éphémérides?

Les éphémérides aujourd'hui

Les éphémérides doivent tenir compte de la relativité générale

Les planètes se déplacent dans un espace-temps

Le paramètre t de la fonction de position $\mathcal{X} = \mathcal{X}(t)$ n'est plus le temps mais un paramètre uniforme purement mathématique

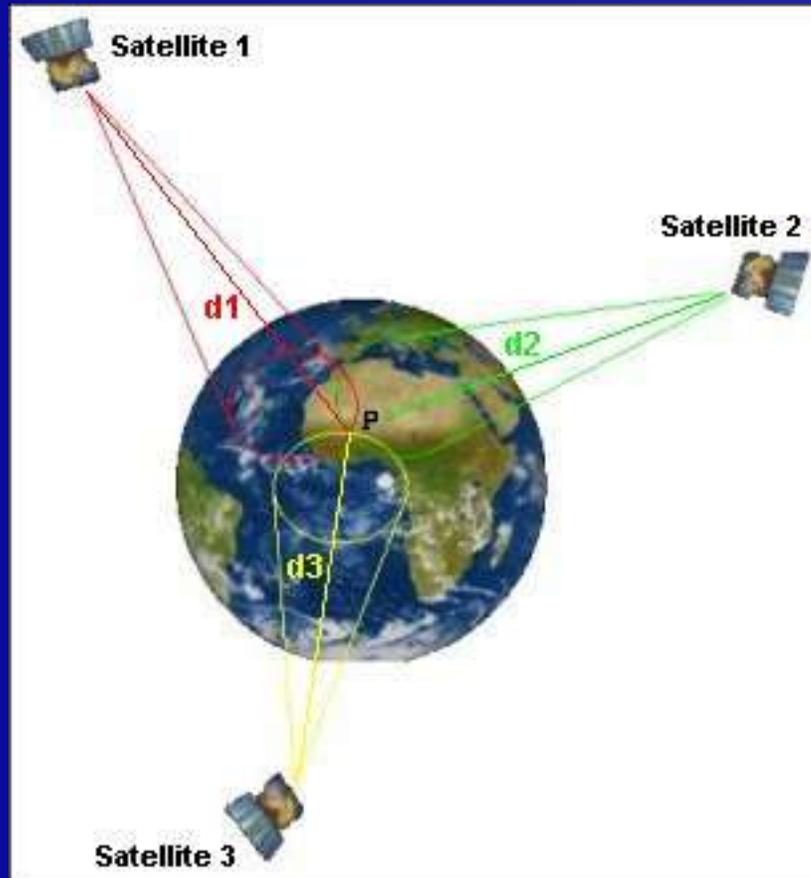
L'éphéméride devient:

$$\mathcal{X} = \mathcal{X}(t)$$

$$T = T(t)$$

On doit calculer la position dans le temps en même temps que dans l'espace.

Les éphémérides aujourd'hui



- Les éphémérides des satellites du GPS sont sous la forme
$$x = x(t)$$
$$T = T(t)$$
- Le temps n'est pas le même en orbite et sur Terre
- La différence de quelques microsecondes se traduit par une différence de quelques centaines de mètres sur Terre

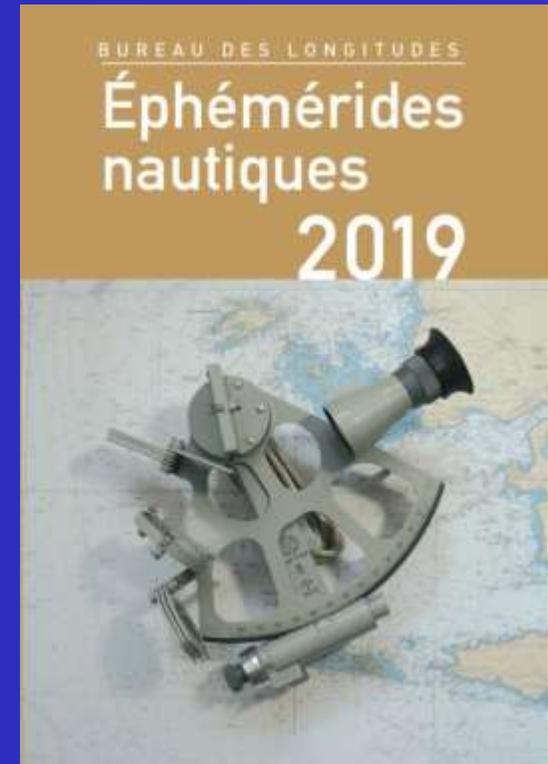
MERCREDI 04 MARS 1938

Heure U.T.	SOLEIL		LUNE					Lever du Soleil			Coucher du Soleil			LATI- TUDE	Lever et coucher de Lune			
	A ^h vo	D	A ^h ao	v	D	d	π	Début de l'aube	Lever	Z	Z	Coucher	Fin du crépus.		Lever	Var p. 10"	Coucher	Var p. 10"
00	177 01,5	S 6 35,8	106 52,1	8,1	N14 12,5	7,2	59,0	6 13	7 14	107	254	17 11	18 13	70 N	8 01 0,2	1 54 3,0		
01	192 01,6	6 34,8	121 19,2	8,1	14 19,7	7,1	59,0	6 12	7 08	105	255	17 18	18 14	68	8 24 0,4	1 32 2,7		
02	207 01,7	6 33,9	135 46,4	8,1	14 26,9	7,1	58,9	6 11	7 03	104	256	17 23	18 14	66	8 43 0,6	1 14 2,6		
03	222 01,9	6 32,9	150 13,5	8,1	14 33,9	7,0	58,9	6 11	6 58	103	257	17 27	18 15	64	8 58 0,7	0 59 2,4		
04	237 02,0	6 31,9	164 40,6	8,1	14 40,9	6,9	58,9	6 10	6 54	102	258	17 31	18 16	62 N	9 11 0,8	0 47 2,3		
05	252 02,1	6 31,0	179 07,8	8,1	14 47,7	6,8	58,8											
06	267 02,3	S 6 30,0	193 34,9	8,2	N14 54,5	6,7	58,8	6 09	6 51	102	259	17 35	18 16	60 N	9 21 0,9	0 37 2,2		
07	282 02,4	6 29,1	208 02,1	8,2	15 01,2	6,6	58,8	6 08	6 48	101	259	17 38	18 17	58	9 31 1,0	0 28 2,2		
08	297 02,5	6 28,1	222 29,2	8,2	15 07,7	6,5	58,7	6 07	6 42	100	260	17 40	18 17	56	9 39 1,0	0 21 2,1		
09	312 02,7	6 27,1	236 56,4	8,2	15 14,2	6,4	58,7	6 06	6 40	99	261	17 45	18 19	54 N	9 46 1,0	0 14 2,1		
10	327 02,8	6 26,2	251 23,6	8,2	15 20,6	6,3	58,7											
11	342 03,0	6 25,2	265 50,7	8,2	15 26,8	6,2	58,6	6 06	6 38	99	261	17 47	18 19	50 N	9 59 1,1	0 02 2,0		
12	357 03,1	S 6 24,3	280 17,9	8,2	N15 33,0	6,1	58,6	6 04	6 33	98	262	17 51	18 21	45	10 12 1,2	P.D.C.		
13	12 03,2	6 23,3	294 45,1	8,2	15 39,1	6,0	58,6	6 02	6 30	98	262	17 55	18 22	40	10 23 1,2	P.D.C.		
14	27 03,4	6 22,3	309 12,3	8,2	15 45,0	5,9	58,5	6 01	6 26	97	263	17 58	18 24	35	10 32 1,3	P.D.C.		
15	42 03,5	6 21,4	323 39,5	8,2	15 50,9	5,8	58,5	5 59	6 23	97	263	18 01	18 25	30 N	10 40 1,3	P.D.C.		
16	57 03,6	6 20,4	338 06,7	8,2	15 56,7	5,7	58,5	5 56	6 18	97	264	18 06	18 28	20 N	10 54 1,4	P.D.C.		
17	72 03,8	6 19,4	352 33,9	8,2	16 02,3	5,6	58,4	5 52	6 13	96	264	18 11	18 32	10 N	11 06 1,4	23 56 1,6		
18	87 03,9	S 6 18,5	7 01,1	8,2	N16 07,9	5,5	58,4	5 48	6 09	96	264	18 15	18 36	0	11 18 1,5	23 44 1,5		
19	102 04,0	6 17,5	21 28,4	8,2	16 13,3	5,4	58,4	5 43	6 04	97	263	18 20	18 41	10 S	11 30 1,6	23 31 1,5		
20	117 04,2	6 16,5	35 55,6	8,2	16 18,7	5,3	58,3	5 37	5 59	97	263	18 25	18 47	20 S	11 42 1,6	23 18 1,4		
21	132 04,3	6 15,6	50 22,9	8,3	16 23,9	5,1	58,3	5 29	5 53	98	262	18 30	18 55	30 S	11 56 1,7	23 03 1,4		
22	147 04,5	6 14,6	64 50,1	8,3	16 29,1	5,0	58,3	5 24	5 50	99	262	18 34	18 59	35	12 05 1,8	22 54 1,3		
23	162 04,6	6 13,7	79 17,4	8,3	16 34,1	4,9	58,2	5 18	5 46	99	261	18 38	19 05	40	12 14 1,8	22 44 1,3		
24	177 04,7	S 6 12,7	93 44,7	8,3	N16 39,1	4,8	58,2	5 11	5 41	100	260	18 42	19 12	45	12 25 1,8	22 32 1,2		
								5 02	5 35	101	259	18 47	19 20	50 S	12 39 1,9	22 18 1,2		
	1/2 Diam.=16,1	d=1,0			1/2 Diam.=16,0			4 58	5 33	102	259	18 50	19 25	52 S	12 45 2,0	22 11 1,2		
								4 53	5 30	102	258	18 53	19 29	54	12 52 2,0	22 04 1,1		
								4 48	5 27	103	257	18 56	19 34	56 S	13 00 2,0	21 55 1,1		



Une présentation par jour de tous les astres observables

Heure U.T.	Point Vernal A ^h ao	VENUS		MARS		JUPITER		SATURNE		Heure U.T.
		1 A ^h ao	2 D	A ^h ao	D	A ^h ao	D	A ^h ao	D	
00	229 39,7	150 16,8	N 24 21,0	89 26,7	N 17 24,5	232 59,4	S 2 37,0	50 23,6	N 3 02,2	00
01	244 42,2	165 16,0	24 21,3	104 28,1	17 24,1	248 01,4	2 36,8	65 26,1	3 02,2	01
02	259 44,6	180 15,1	24 21,6	119 29,4	17 23,7	263 03,4	2 36,6	80 28,7	3 02,2	02
03	274 47,1	195 14,3	24 21,9	134 30,8	17 23,3	278 05,5	2 36,4	95 31,2	3 02,3	03
04	289 49,6	210 13,5	24 22,2	149 32,1	17 22,9	293 07,5	2 36,3	110 33,7	3 02,3	04
05	304 52,0	225 12,7	24 22,6	164 33,5	17 22,5	308 09,5	2 36,1	125 36,3	3 02,3	05
06	319 54,5	240 11,8	N 24 22,9	179 34,9	N 17 22,1	323 11,6	S 2 35,9	140 38,8	N 3 02,3	06
07	334 57,0	255 11,0	24 23,2	194 36,2	17 21,7	338 13,6	2 35,7	155 41,4	3 02,4	07
08	349 59,4	270 10,2	24 23,5	209 37,6	17 21,3	353 15,6	2 35,5	170 43,9	3 02,4	08
09	5 01,9	285 09,4	24 23,8	224 39,0	17 20,9	8 17,7	2 35,4	185 46,4	3 02,4	09
10	20 04,3	300 08,5	24 24,1	239 40,3	17 20,5	23 19,7	2 35,2	200 49,0	3 02,4	10
11	35 06,8	315 07,7	24 24,4	254 41,7	17 20,1	38 21,8	2 35,0	215 51,5	3 02,5	11
12	50 09,3	330 06,9	N 24 24,7	269 43,0	N 17 19,7	53 23,8	S 2 34,8	230 54,0	N 3 02,5	12
13	65 11,7	345 06,0	24 25,0	284 44,4	17 19,3	68 25,8	2 34,7	245 56,6	3 02,5	13
14	80 14,2	0 05,2	24 25,3	299 45,8	17 18,9	83 27,9	2 34,5	260 59,1	3 02,5	14
15	95 16,7	15 04,4	24 25,6	314 47,1	17 18,5	98 29,9	2 34,3	276 01,7	3 02,6	15
16	110 19,1	30 03,5	24 25,9	329 48,5	17 18,1	113 31,9	2 34,1	291 04,2	3 02,6	16
17	125 21,6	45 02,7	24 26,2	344 49,8	17 17,7	128 34,0	2 34,0	306 06,7	3 02,6	17
18	140 24,1	60 01,9	N 24 26,5	359 51,2	N 17 17,3	143 36,0	S 2 33,8	321 09,3	N 3 02,6	18
19	155 26,5	75 01,1	24 26,8	14 52,5	17 16,9	158 38,1	2 33,6	336 11,8	3 02,6	19
20	170 29,0	90 00,3	24 27,1	29 53,9	17 16,5	173 40,1	2 33,4	351 14,3	3 02,7	20
21	185 31,4	104 59,4	24 27,4	44 55,3	17 16,1	188 42,1	2 33,3	6 16,9	3 02,7	21
22	200 33,9	119 58,6	24 27,7	59 56,6	17 15,7	203 44,2	2 33,1	21 19,4	3 02,7	22
23	215 36,4	134 57,8	24 28,0	74 58,0	17 15,3	218 46,2	2 32,9	36 21,9	3 02,7	23
24	230 38,8	149 56,9	N 24 28,2	89 59,4	N 17 14,9	233 48,3	S 2 32,7	51 24,5	N 3 02,8	24
		3 v=-0,8	4 d=0,3							
		mag.=-3,7	π=0,1	v=+1,4	d=0,4	v=+2,0	d=0,2	v=+2,5	d=0,0	
				mag.=+1,0	π=0,1	mag.=-1,7	π=0,0	mag.=+1,1	π=0,0	



Le serveur d'éphémérides de l'IMCCE

<https://www.imcce.fr/services/ephemerides/>



The screenshot shows the IMCCE website interface. At the top, there is a dark blue navigation bar with the IMCCE logo on the left and the following menu items: INSTITUT, SERVICES, RECHERCHE, ENSEIGNEMENT, and PUBLICATIONS. Below this, a vertical sidebar menu is visible with the following items: Services, Éphémérides, and Éphémérides en ligne (which is highlighted with a red dot). The main content area features the title 'Éphémérides en ligne' in a large blue font. Below the title, a paragraph of text explains the purpose of the online forms. A bulleted list follows, listing various services available.

Services

- Éphémérides
- Éphémérides en ligne

Éphémérides en ligne

Nous travaillons à la mise en place de formulaires d'interrogation en ligne pour l'obtention des éphémérides des corps célestes et de diverses quantités dérivées (lever/coucher des corps célestes, éclipses, ...). Dans l'attente de ces formulaires, il est possible d'utiliser les services en ligne suivants :

- Éphémérides planétaires [INPOP](#)
- Éphémérides des corps du système solaire [Miriade](#)
- Éphémérides des planètes et des satellites naturels pour les observateurs [Multisat](#)
- Éphémérides pour les paléoclimats [Insola](#)
- Recherche des corps du système solaire dans les images astronomiques [SkyBoT](#)
- [Détermination des calendriers](#)
- [Phénomènes astronomiques](#)
- [Paris Astronomical Data Centre](#)

Le serveur Skybot

<http://vo.imcce.fr/webservices/skybot/?forms>

The Virtual Observatory Sky Body Tracker

Query form

This Web form is a user interface to the VO-compliant Web service [SkyBoT](#). Fill in the form of your choice and submit the query. Read the [documentation](#) if you mind how to do, or just fly over the labels of the input fields to get a quick help.

More info... 

Cone Search Resolver getAsterClass Status

..: Cone Search Query Form ..:

Epoch (UTC):

Target:

Objects: Asteroids Planets Comets

Radius (arcsec):

Observer: (IAU code list)

Filter:

Output: Object Basic Obs All

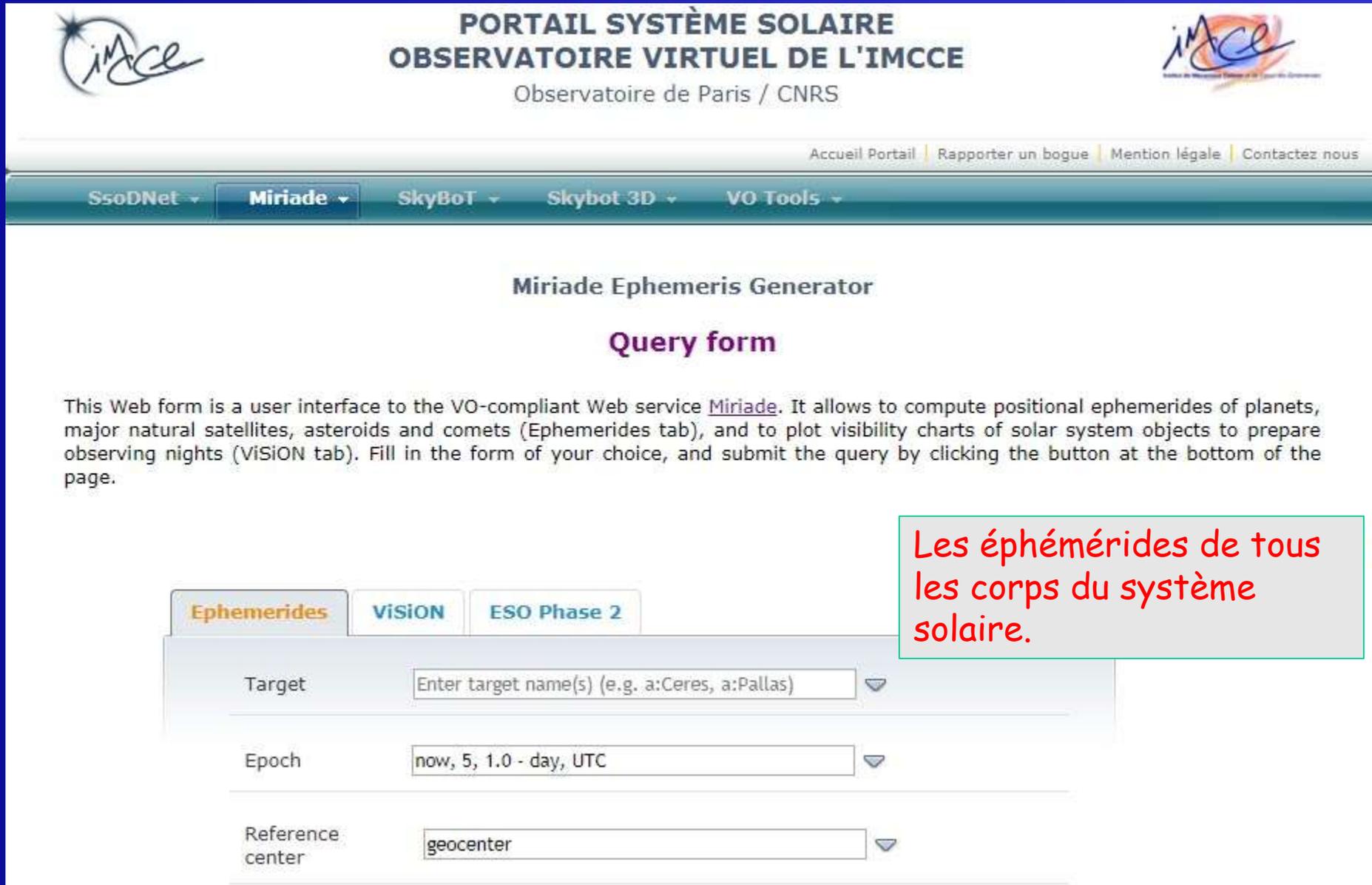
Resolve Target

Search Objects

La recherche de tous les corps du système solaire présents dans un champ donné

Le serveur Miriade

<http://vo.imcce.fr/webservices/miriade/>



The screenshot shows the web interface for the Miriade Ephemeris Generator. At the top, there is a header with the IMCCE logo on the left, the text "PORTAIL SYSTÈME SOLAIRE OBSERVATOIRE VIRTUEL DE L'IMCCE" and "Observatoire de Paris / CNRS" in the center, and another IMCCE logo on the right. Below the header is a navigation bar with links: "Accueil Portail", "Rapporter un bogue", "Mention légale", and "Contactez nous". A secondary navigation bar contains dropdown menus for "SsoDNet", "Miriade", "SkyBoT", "Skybot 3D", and "VO Tools". The main content area is titled "Miriade Ephemeris Generator" and "Query form". A paragraph explains that the web form is a user interface to the VO-compliant Web service Miriade, used for computing positional ephemerides and plotting visibility charts. Below the text are three tabs: "Ephemerides" (selected), "VISION", and "ESO Phase 2". The "Ephemerides" tab contains three input fields: "Target" with a dropdown menu showing "Enter target name(s) (e.g. a:Ceres, a:Pallas)", "Epoch" with a dropdown menu showing "now, 5, 1.0 - day, UTC", and "Reference center" with a dropdown menu showing "geocenter".

PORTAIL SYSTÈME SOLAIRE
OBSERVATOIRE VIRTUEL DE L'IMCCE
Observatoire de Paris / CNRS

Accueil Portail | Rapporter un bogue | Mention légale | Contactez nous

SsoDNet ▾ **Miriade** ▾ SkyBoT ▾ Skybot 3D ▾ VO Tools ▾

Miriade Ephemeris Generator

Query form

This Web form is a user interface to the VO-compliant Web service [Miriade](#). It allows to compute positional ephemerides of planets, major natural satellites, asteroids and comets (Ephemerides tab), and to plot visibility charts of solar system objects to prepare observing nights (ViSiON tab). Fill in the form of your choice, and submit the query by clicking the button at the bottom of the page.

Ephemerides VISION ESO Phase 2

Target

Epoch

Reference center

Les éphémérides de tous les corps du système solaire.

Phénomènes astronomiques:

<https://promenade.imcce.fr/fr/pages3/321.html>

[Comprendre](#) > [Calculs astronomiques](#) > [Phénomènes](#) /English

PHENOMENES ASTRONOMIQUES

Nous vous proposons des prédictions de quelques phénomènes astronomiques dont on trouvera plus loin des [explications détaillées](#).

- [lever et coucher d'un astre](#)
- [phases de la Lune](#)
- [éclipses de Lune](#)
- [éclipses de Soleil](#)
- [passages de Mercure et Vénus devant le Soleil](#)
- [phénomènes des satellites de Jupiter](#)
- [lever héliaque de Sirius](#)
- [plus grandes élongations \(Mercure, Vénus\), oppositions \(Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune\)](#)
- [essais météoritiques \(étoiles filantes\)](#)



Haut de page

Glossaire

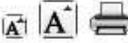
Index

Ephémérides et calendriers

Ephémérides de position

Lever et coucher d'un astre



[Comprendre](#) > [Calculs astronomiques](#) > [Calendriers I](#)English

DETERMINATION DES CALENDRIERS

Les pages ci-dessous vous permettent de consulter le calendrier en usage actuellement et de voir la correspondance avec d'autres calendriers. Une [explication complète sur la chronologie, les ères et les calendriers est disponible ici](#). Des [explications sur les saisons \(comment elles se succèdent et comment elles sont déterminées\)](#) sont disponibles [ici](#).

- [calendriers: 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030.](#)
- [correspondance entre les calendriers](#)
- [calendrier républicain](#)
- [détermination du jour de la semaine](#)
- [calcul du jour julien](#)
- [détermination des fêtes légales](#)
- [détermination de la date de Pâques - comput](#)
- [fêtes religieuses](#)
- [début des saisons](#)
- [l'heure légale en France](#)

◀ ▶

◀ ▶

Haut de page

Glossaire

Index

Retour Ephémérides et calendriers

▶

Phénomènes astronomiques

Calendriers 2000 à 2030

▶

Calendriers 2014

▶



imcce
INSTITUT DE MÉCANIQUE CÉLESTE ET DE CALCUL DES ÉPHÉMÉRIDES

Autres sources d'éphémérides

- JPL** [HORIZONS Generate Ephemeris](#)
- HORIZONS** [Natural Satellites Ephemeris Service](#)
- MPC** [Natural Satellites Ephemeris Service](#)
- NS Eph** [Natural Satellites Ephemeris Service](#)
- IAA** [Institute of Applied Astronomy Ephemeris](#)
- Ephem Service** [Institute of Applied Astronomy Ephemeris](#)
- IMCCE VO-PDC** [IMCCE Virtual Observatory](#)

[NSDB Observations](#) | [Ephémérides](#) | [Bibliographie](#) | [Paramètres et constantes](#) | [Liens Internet](#)

MULTISAT. Éphémérides des planètes et des satellites naturels.

En | Ru [MULTI-SAT accueil](#)
[NSDB accueil](#)

Ephémérides avec un pas constant

Mars Jupiter_i Jupiter_o Saturne Uranus Neptune Pluton
Mercure Vénus Soleil Lune

Ephémérides et (O-C) pour un fichier de dates et de positions

Mars Jupiter_i Jupiter_o Saturne Uranus Neptune Pluton
Mercure Vénus Soleil Lune

Configurations des systèmes de satellites

Mars Jupiter_i Jupiter_o Saturne Uranus Neptune Pluton

Phénomènes des satellites

- [Recherche des phénomènes mutuels et des éclipses par la planète](#)
- **NEW** [Éphémérides des phénomènes mutuels des satellites Galiléen de Jupiter en 2021 \(en anglais\)](#)
- [Éphémérides des phénomènes mutuels des satellites Galiléen de Jupiter en 2014-2015 \(en anglais\)](#)
- [Éphémérides des éclipses des petits satellites de Jupiter par les satellites Galiléen en 2014-2015 \(en anglais\)](#)
- [Éphémérides des phénomènes mutuels des satellites Galiléen de Jupiter en 2009 \(en anglais\)](#)
- [Éphémérides des phénomènes mutuels des satellites principaux de Saturne en 2008-2009 \(en anglais\)](#)

| Objectifs | | Origine des données | | Nomenclature des satellites | [Credit](#)

Des éphémérides pour le grand public et la société civile

- Le grand public
- Les astronomes
- Les agences spatiales
- La marine nationale et de commerce
- La société civile

JANVIER

Les jours indiqués de 1 à 31

1	L	JOUR DE L'AN	01
2	M	Basile	
3	M	Geneviève	
4	J	Odilon	
5	V	Edouard	
6	S	Melaine	
7	D	Épiphanie	
8	L	Bapt. du Seign.	02
9	M	Alix	
10	M	Guillaume	
11	J	Paulin	
12	V	Tatiana	
13	S	Yvette	
14	D	Nina	
15	L	Remi	03
16	M	Marcel	
17	M	Roseline	
18	J	Prisca	
19	V	Marius	
20	S	Sébastien	
21	D	Agnès	
22	L	Vincent	04
23	M	Barnard	
24	M	François de Sales	
25	J	Conv. St Paul	
26	V	Paule	
27	S	Angèle	
28	D	Thomas d'Aq.	
29	L	Gildas	05
30	M	Martine	
31	M	Marcelle	

FEVRIER

Les jours indiqués de 1 à 28

1	J	Ella	
2	V	Prés. du Seign.	
3	S	Blaise	
4	D	Véronique	
5	L	Agathe	06
6	M	Gaston	
7	M	Eugénie	
8	J	Jacqueline	
9	V	Apolline	
10	S	Arnaud	
11	D	N.-D. de Lourdes	
12	L	Félix	07
13	M	Béatrice	
14	M	Valentin	
15	J	Claude	
16	V	Julienne	
17	S	Alexis	
18	D	Bernadette	
19	L	Gabin	08
20	M	Mardi-Gras	
21	M	Cendres	
22	J	Isabelle	
23	V	Lazare	
24	S	Modeste	
25	D	Carême	
26	L	Nestor	09
27	M	Honorine	
28	M	Romain	07

COMPUT 2007
Épacte 11, Lettre dominicale G
Cycle solaire 28, Nombre d'or 13
Indiction romaine 15



MAI

Les jours indiqués de 1 à 31

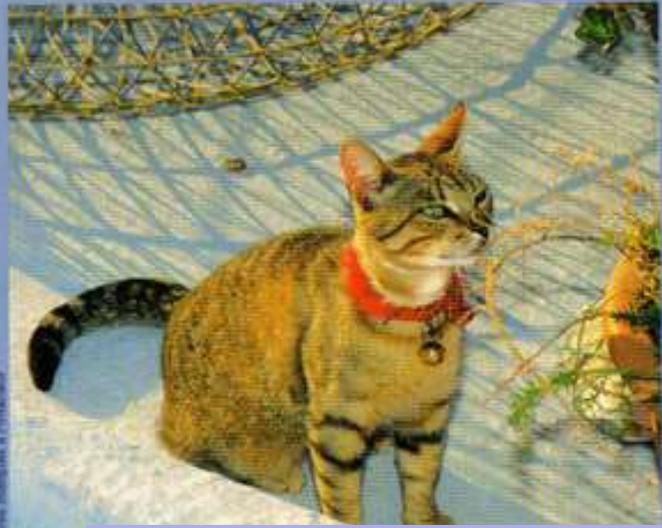
1	M	F. DU TRAVAIL	
2	M	Boris	
3	J	Jacq./Philippe	
4	V	Sylvain	
5	S	Judith	
6	D	Prudence	
7	L	Gisèle	19
8	M	VICTOIRE 1949	
9	M	Pacôme	
10	J	Solange	
11	V	Estelle	
12	S	Achille	
13	D	Fête Jeanne d'Arc	
14	L	Matthias	20
15	M	Denise	
16	M	Honoré	
17	J	ASCENSION	
18	V	Eric	
19	S	Yves	
20	D	Bernardin	
21	L	Constantin	21
22	M	Émile	
23	M	Didier	
24	J	Donatien	
25	V	Sophie	
26	S	Bérenger	
27	D	PENTECÔTE	
28	L	Germain	22
29	M	Aymar	
30	M	Ferdinand	07
31	J	Visitation	

JUIN

Les jours indiqués de 1 à 30

1	V	Justin	
2	S	Blandine	
3	D	Trinité, F. des Mères	
4	L	Clotilde	23
5	M	Igor	
6	M	Norbert	
7	J	Gilbert	
8	V	Médard	
9	S	Diane	
10	D	Fête St Sacrement	
11	L	Barnabé	24
12	M	Guy	
13	M	Antoine	
14	J	Elisée	
15	V	Sacré-Cœur	
16	S	J.-F. Régis	
17	D	Fête des Pères	
18	L	Léonce	25
19	M	Romuald	
20	M	Silvère	
21	J	Rodolphe	
22	V	Alban	
23	S	Audrey	
24	D	Jean-Baptiste	
25	L	Prosper	26
26	M	Anthelme	
27	M	Fernand	
28	J	Irénée	
29	V	Pierre/Paul	
30	S	Martial	

Écl : le 21 juin à 19 h 06



MARS

Les jours indiqués de 1 à 31

1	J	Aubin	
2	V	Charles le Bon	
3	S	Guénolé	
4	D	Casimir	
5	L	Olive	10
6	M	Colette	
7	M	Félicité	
8	J	Jean de Dieu	
9	V	Françoise	
10	S	Vivien	
11	D	Rosine	
12	L	Justine	11
13	M	Rodrigue	
14	M	Mathilde	
15	J	Mi-Carême	
16	V	Bénédicte	
17	S	Patrice	
18	D	Cyrille	
19	L	Joseph	12
20	M	Herbert	
21	M	Clémence	
22	J	Léa	
23	V	Victorien	
24	S	Cath. de Suède	
25	D	Annonciation	
26	L	Larissa	13

AVRIL

Les jours indiqués de 1 à 30

1	D	Rameaux	
2	L	Sandrine	14
3	M	Richard	
4	M	Isidore	
5	J	Irène	
6	V	Vendredi Saint	
7	S	J.-B. de la Salle	
8	D	PAQUES	
9	L	Gautier	15
10	M	Fulbert	
11	M	Stanislas	
12	J	Jules	
13	V	Ida	
14	S	Maxime	
15	D	Patrice	
16	L	Benoit Labre	16
17	M	Anicet	
18	M	Parfait	
19	J	Emma	
20	V	Odette	
21	S	Anselme	
22	D	Alexandre	
23	L	Georges	17
24	M	Fidèle	
25	M	Marc	
26	J	Alida	



Les éphémérides pour le grand public

Levers et Couchers du SOLEIL et de la LUNE à Paris en 2009 <small>Prévisions météorologiques 2009 (les heures sont données en temps universel)</small>		JANVIER				
		Dates	Soleil		Lune	
			L	C	L	C
JANVIER		J 1	07 46	16 03	10 07	21 24
☾ PQ le 04, à 11 h 55 min, <i>froid vif</i>		V 2	07 46	16 04	10 22	22 35
☽ PL le 11, à 03 h 27 min, <i>verglas</i>		S 3	07 46	16 05	10 37	23 47
☾ DQ le 18, à 02 h 46 min, <i>neige</i>		D 4	07 45	16 06	10 54	—
● NL le 26, à 07 h 55 min, <i>pluie</i>		L 5	07 45	16 07	11 13	01 03
FÉVRIER		M 6	07 45	16 09	11 38	02 23
☾ PQ le 02, à 23 h 12 min, <i>temps sec et froid</i>		M 7	07 45	16 10	12 12	03 46
☽ PL le 09, à 14 h 49 min, <i>froid et brumeux</i>		J 8	07 44	16 11	12 59	05 08
☾ DQ le 16, à 21 h 38 min, <i>doux et humide</i>		V 9	07 44	16 12	14 03	06 21
● NL le 25, à 01 h 35 min, <i>vent fort</i>		S 10	07 43	16 14	15 23	07 19
MARS		D 11	07 43	16 15	16 51	08 02
☾ PQ le 04, à 07 h 45 min, <i>sec et beau</i>		L 12	07 42	16 16	18 19	08 34
☽ PL le 11, à 02 h 37 min, <i>humide et brouillard</i>		M 13	07 42	16 18	19 44	08 58
☾ DQ le 18, à 17 h 49 min, <i>fortes pluies</i>		M 14	07 41	16 19	21 04	09 17
● NL le 26, à 16 h 07 min, <i>giboulées</i>		J 15	07 40	16 20	22 21	09 34
AVRIL		V 16	07 40	16 22	23 35	09 50
☾ PQ le 02, à 14 h 33 min, <i>sec et tempéré</i>		S 17	07 39	16 23	—	10 07
☽ PL le 09, à 14 h 55 min, <i>vent froid</i>		D 18	07 38	16 25	00 48	10 26
☾ DQ le 17, à 13 h 38 min, <i>couvert et doux</i>		L 19	07 37	16 26	02 00	10 49
● NL le 25, à 03 h 23 min, <i>incertain</i>		M 20	07 36	16 28	03 09	11 17
MAI		M 21	07 35	16 29	04 15	11 53
☾ PQ le 01, à 20 h 44 min, <i>beau et chaud</i>		J 22	07 34	16 31	05 14	12 38
☽ PL le 09, à 04 h 01 min, <i>nuageux et frais</i>		V 23	07 33	16 32	06 03	13 33
☾ DQ le 17, à 07 h 27 min, <i>pluie</i>		S 24	07 32	16 34	06 42	14 36
● NL le 24, à 12 h 11 min, <i>humide et frais</i>		D 25	07 31	16 36	07 13	15 44
☾ PQ le 31, à 03 h 22 min, <i>brumeux et frais</i>		L 26	07 30	16 37	07 38	16 54
JUIN		M 27	07 29	16 39	07 57	18 05
☽ PL le 07, à 18 h 11 min, <i>beau et sec</i>		M 28	07 27	16 40	08 14	19 15
☾ DQ le 15, à 22 h 15 min, <i>nuageux et humide</i>		J 29	07 26	16 42	08 30	20 26
● NL le 22, à 19 h 35 min, <i>beau</i>		V 30	07 25	16 44	08 45	21 37
☾ PQ le 29, à 11 h 28 min, <i>orageux</i>		S 31	07 24	16 45	09 01	22 51
JUILLET						
☽ PL le 07, à 09 h 21 min, <i>ensoleillé</i>						
☾ DQ le 15, à 09 h 53 min, <i>chaud</i>						
● NL le 22, à 02 h 34 min, <i>nuageux</i>						
☾ PQ le 28, à 21 h 59 min, <i>pluies</i>						
AOÛT						
☽ PL le 06, à 00 h 55 min, <i>fortes chaleurs</i>						
☾ DQ le 13, à 18 h 55 min, <i>chaleur et nuages</i>						
● NL le 20, à 10 h 01 min, <i>orageux</i>						
☾ PQ le 27, à 11 h 41 min, <i>pluie et vent</i>						

← Levers et couchers
du Soleil et de la Lune

ENTRÉES DU SOLEIL DANS LES CONSTELLATIONS DU ZODIAQUE 2009	
Capricorne : le 19 janvier	Lion : le 10 août
Verseau : le 16 février	Vierge : le 16 septembre
Poissons : le 12 mars	Balance : le 31 octobre
Bélier : le 18 avril	Scorpion : le 23 novembre
Taureau : le 14 mai	Ophiuchus : le 29 novembre
Gémeaux : le 21 juin	Sagittaire : le 18 décembre
Cancer : le 20 juillet	

Éclipses de Soleil

Éclipse annulaire centrale le 26 janvier, invisible en France

Éclipse totale centrale le 21 - 22 juillet, invisible en France

Éclipses de Lune

Éclipse (pénombre) le 9 février à 14 h 38 min (T.U.)

Éclipse (pénombre) le 7 juillet à 9 h 38 min (T.U.), invisible en France

Éclipse (pénombre) le 6 août à 0 h 38 min (T.U.)

Éclipse partielle le 31 décembre à 19 h 22 min (T.U.)

Eclipses de Soleil et de Lune

Ephémérides pour les astronomes: pilotage des télescopes



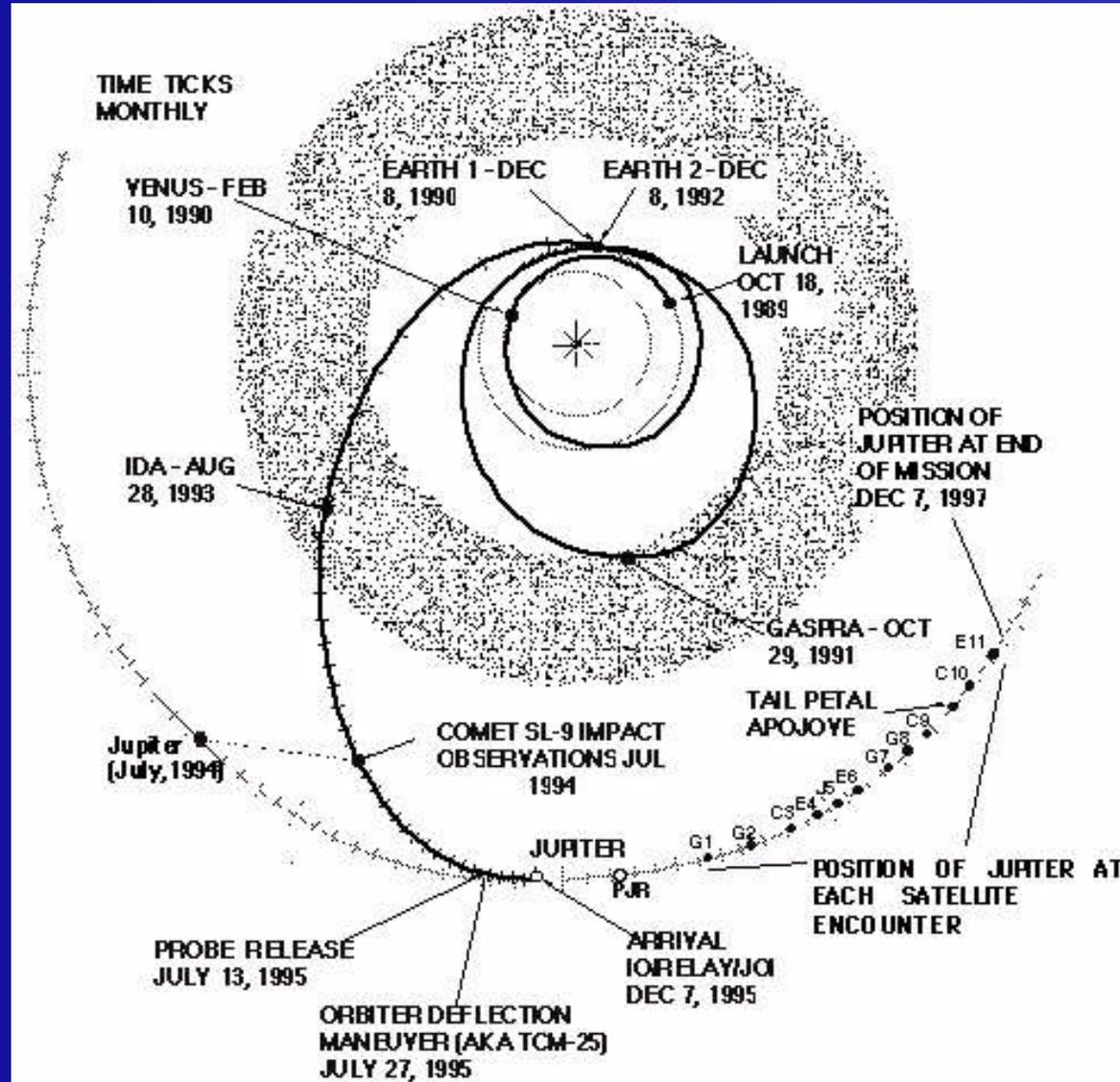
The VLT Array on the Paranal Mountain

ESO PR Photo 14a-00 (24 May 2000)

© European Southern Observatory



Éphémérides pour les agences spatiales



Trajectoire de la sonde Galileo à travers le système solaire



Des éphémérides pour la société civile

- Organismes: tribunaux, assurances, avocats, architectes, tourages de films, militaires
- Personnes privées: curiosité, concours, questions, chasse et pêche
- Historiens, archéologues

Expertise auprès des tribunaux



Direction du Soleil le 25 novembre 2005 entre 10h 20min et 10h 30m temps légal français.
P. Rocher, IMCCE Observatoire de Paris

Les éphémérides prouvent que le Soleil est la cause de l'accident

Expertise pour la datation d'une photographie



Cette photo n'a pu être prise qu'à deux dates pour une année donnée

Éclairage public



L'éclairage public dépend des heures de lever et coucher de Soleil

Ephemerides pour architectes



L'installation de panneaux solaires dépend des éphémérides du Soleil

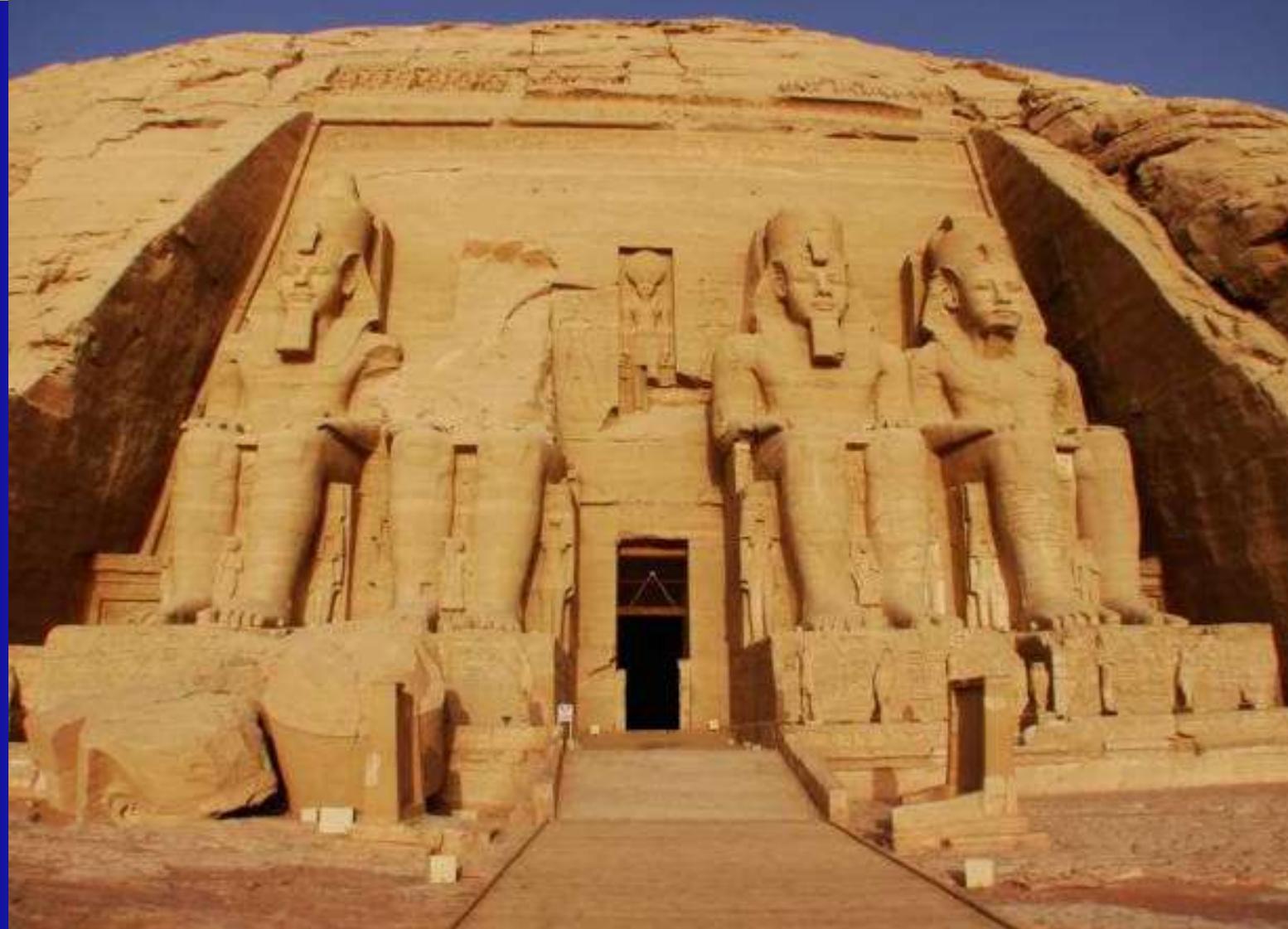
L'orientation des immeubles dépend de la position du Soleil



Les pyramides d'Égypte: des instruments astronomiques ?



Abou Simbel tourné vers le Soleil levant?



Éphémérides pour les tournages de films



La hauteur et l'azimut du Soleil sont fondamentaux pour la lumière



Éphémérides pour les aéroports

Pour chaque aéroport, levers, couchers, azimuts du Soleil doivent être calculés précisément



Seuls les avions militaires utilisent les astres pour la navigation

La mauvaise utilisation des éphémérides: l'astrologie



VOTRE THEME ASTRAL AstroQuick
Un document unique personnalisé d'après votre carte du ciel de naissance

EPHEMERIDES ASTROLOGIQUES

ESPACE MEMBRE
inscription 100% gratuite
service ami-soeur, RS,
sauvegarde thèmes astrals...

HOROSCOPE GRATUIT
véritable horoscope perso
JJ/MM/AAAA
Horoscope du jour
Horoscope hebdomadaire
Horoscope mensuel

THEME ASTRAL gratuit
carte du ciel et interprétation
date JJ/MM/AAAA
heure HH:MM

CALCUL ASCENDANT
votre ascendant en ligne gratuit

ASTRO RELATIONS
Astro-Compatibilité
Naissances célèbres

ASTROLOGIE GRATUIT
cours et supports d'études
astrologiques

LOGICIEL ASTROLOGIE
carte du ciel, calculs
astrologiques, données astro...

THÈMES CÉLÈBRES
recherche date de naissance
NOM

ASTRO EPHEMERIDE

EPHÉMÉRIDES PLANÉTAIRES

Les éphémérides permettent de connaître les positions planétaires.
Astroo vous propose plusieurs éphémérides basés sur le zodiaque Tropical,
c'est-à-dire le zodiaque couramment utilisé par les astrologues
occidentaux.

Ephémérides Mensuelles:
Présentation classique
avec un mois par page.

Ephemerides 1 mois

Mois Année

Positions des luminaires (Soleil et Lune), jour des phases Lunaires, planètes (Mercure, Vénus, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune, Pluton), Noeud Lunaire, Lune Noire cor. et astéroïdes (Chiron, Ceres, Pallas, Junon, Vesta).

Les éphémérides semestrielles:
Plus de 6 mois par page.

Ephemerides 6 mois

Mois Année

Planètes lentes et astéroïdes (Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune, Pluton, Noeud Lunaire, Lune Noire cor., Chiron, Ceres, Pallas, Junon, Vesta).

Les éphémérides décennales:
Plus de 10 ans par page.

Ephemerides 12 ans

Année

Planètes lentes et astéroïdes (Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune, Pluton, Noeud Lunaire, Lune Noire cor., Chiron, Ceres, Pallas, Junon, Vesta).

Annonces Google

Astrologie gratuite
Votre étude
astrologique gratuite
Réponse rapide
www.purevoyance.com

Astrologie gratuite/Mail
Posez 1 Question par
Mail et Recevez votre
Voyance 100%
Gratuite.
www.voyanceclaire.com

AstroQuick.fr
logiciels d'astrologie
PC • MAC • WEB

Association
24 UPITAIR
FORMATION
à l'ASTROLOGIE
par correspondance
5 Cycles de cours

Conclusion

- La mécanique céleste a beaucoup d'application, depuis les levers et couchers de Soleil jusqu'à la conquête spatiale et la cosmologie.
- Les éphémérides doivent être entretenus très régulièrement pour garder leur précision:
 - Amélioration des modèles théoriques
 - Observations à mener en continu