CHAPITRE **10**

ÉPHÉMÉRIDES POUR LES OBSERVATIONS PHYSIQUES DU SOLEIL, DE LA LUNE, DES PLANÈTES ET DES SATELLITES

Pour observer de la Terre à un instant donné des points situés à la surface d'un astre du système solaire, il faut définir les paramètres qui caractérisent la rotation de l'astre autour de son axe, donner leurs valeurs numériques et définir les systèmes de coordonnées par rapport auxquels ces points seront repérés sur cet astre. On calcule ensuite les données qui permettent de connaître quels sont les points de l'astre qui sont visibles de la Terre à l'instant considéré. Il est également utile de connaître des quantités liées à l'éclairement du disque apparent, donc liées à la phase. Les définitions données dans les paragraphes 10.1 et 10.2 ont été entérinées par l'Union Astronomique Internationale qui a suivi les recommandations du *IAU/IAG/COSPAR Working Group on cartographic coordinates and rotational elements of the planets and satellites* désigné dans la suite par IAUWG. Ce groupe de travail publie tous les trois ans (Davies et al., 1980a, 1980b, 1983a, 1983b, 1986, 1989, 1992, 1996) la liste remise à jour des valeurs numériques des paramètres nécessaires aux calculs.

Les données qui figurent dans les tables de ce chapitre sont issues de Davies et al. (1996).

10.1. DÉFINITION DES PARAMÈTRES DE LA ROTATION

• Le pôle nord est, par définition, celui des deux pôles de l'axe de rotation qui se trouve au nord du plan invariant du système solaire. Les coordonnées équatoriales J2000 approchées du pôle du plan invariant du système solaire sont données dans la table 10.1.

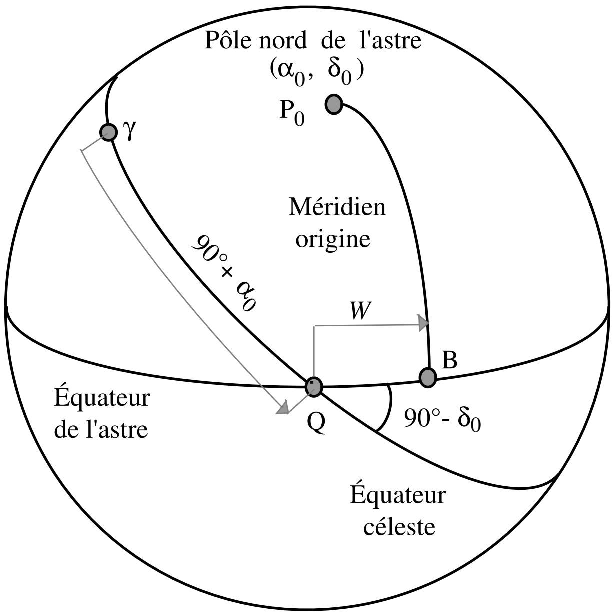

Fig. 10.1. Définition des éléments de la rotation d'un astre.

• L'axe de rotation d'un astre est connu à chaque instant par la donnée en fonction du temps de l'ascension droite α_0 et de la déclinaison δ_0 dans le système J2000 de la direction de son pôle nord.

• On dit que la rotation de l'astre est directe ou rétrograde suivant qu'elle se fait dans le sens direct ou rétrograde pour un observateur debout le long de l'axe, la tête dirigée vers le pôle nord de l'astre.

• En l'absence d'autres informations on suppose que l'axe de rotation de l'astre est perpendiculaire au plan orbital moyen de cet astre. C'est le cas pour Mercure et pour la plupart des satellites. De même la période de rotation de nombreux satellites est supposée être synchrone, c'est-à-dire égale à leur période orbitale moyenne.

• Supposons qu'on ait défini un demi-méridien origine à la surface d'une planète (ou d'un satellite) et qu'il rencontre au point B l'équateur de la planète. Soit Q le nœud ascendant de l'équateur de la planète, orienté dans le sens direct, sur l'équateur céleste J2000. L'ascension droite du point Q est égale à $90° + \alpha_0$ (Fig. 10.1) et l'inclinaison de l'équateur de la planète sur l'équateur J2000 est $90° - \delta_0$.
À un instant donné la position du méridien origine est définie par l'angle $W = \mathrm{QB}$ compté le long de l'équateur de la planète (Fig. 10.1). Si la rotation est directe W croît avec le temps, si elle est rétrograde il décroît. On donne dans la table 10.1 les valeurs W_0 et W_1 de la formule :

$$W = W_0 + W_1\, d, \tag{10.1}$$

où le temps d est exprimé en jours. W_1 est positif ou négatif suivant que le mouvement est direct ou rétrograde.

• La définition du méridien origine peut se faire de deux façons :

– Si la surface de l'astre ne présente aucun repère caractéristique observable auquel on pourrait rattacher le méridien origine, celui-ci est défini par la donnée de W en fonction du temps. On peut utiliser cette expression telle qu'elle est publiée régulièrement par l'IAUWG sans connaître la définition du méridien origine. Il peut être bon cependant de donner ici la définition, assez complexe, correspondant aux satellites des planètes :
"Pour tous les satellites, excepté la Lune, l'origine des longitudes est définie comme étant l'intersection la plus proche de la planète de l'équateur du satellite et du plan contenant les centres du satellite, de la planète et du Soleil au moment de la première conjonction supérieure héliocentrique qui a suivi l'époque 1950.0".

– Si la surface de la planète est telle qu'on peut y voir des formations caractéristiques, on préfère choisir le méridien origine en donnant sa position par rapport à l'une de ces formations. Dans ce cas la constante W_0, qui représente la valeur de W à l'instant initial, peut être modifiée si l'on dispose d'observations plus précises. Les tables 10.1, 10.2 et 10.3 donnent en fonction du temps les coordonnées J2000, α_0, δ_0, du pôle nord de rotation des planètes, de leurs satellites et des deux astéroïdes Ida et Gaspra observés par la sonde Galileo ainsi que l'expression de W. Les tables 10.4, 10.5 et 10.6 contiennent des données concernant la taille et la forme des planètes, de leurs satellites et des deux astéroïdes Ida et Gaspra. Ces tables sont accompagnées de notes explicatives.

Table 10.1. Valeurs recommandées pour la direction du pôle nord de rotation et pour le méridien origine du Soleil et des planètes (Davies et al., 1996). L'unité est le degré décimal.

$\alpha_0,\ \delta_0$	Coordonnées équatoriales pour l'équinoxe J2000 à l'époque J2000. Les coordonnées approchées du pôle nord du plan invariant sont : $\alpha_0 = 273°.85,\ \delta_0 = 66°.99$.	
W	Angle définissant la position du méridien origine à un instant donné.	
T	exprimé en siècles juliens de 36 525 jours à partir de l'époque origine.	
d	exprimé en jours à partir de l'époque origine.	
L'époque origine est le 1.5 janvier 2000, soit la date julienne 2 451 545.0 TDB.		
Soleil	$\alpha_0 = 286.13$ $\delta_0 = 63.87$ $W = 84.10 + 14.1844000\,d$	
Mercure	$\alpha_0 = 281.01 - 0.033\,T$ $\delta_0 = 61.45 - 0.005\,T$ $W = 329.68 + 6.1385025\,d$	(a)
Vénus	$\alpha_0 = 272.76$ $\delta_0 = 67.16$ $W = 160.20 - 1.4813688\,d$	(b)
Terre	$\alpha_0 = 0.00 - 0.641\,T$ $\delta_0 = 90.00 - 0.557\,T$ $W = 190.16 + 360.9856235\,d$	(c)
Mars	$\alpha_0 = 317.681 - 0.108\,T$ $\delta_0 = 52.886 - 0.061\,T$ $W = 176.901 + 350.8919830\,d$	(d)
Jupiter	$\alpha_0 = 268.05 - 0.009\,T$ $\delta_0 = 64.49 + 0.003\,T$ $W = 284.95 + 870.5360000\,d$	(e)
Saturne	$\alpha_0 = 40.589 - 0.036\,T$ $\delta_0 = 83.537 - 0.004\,T$ $W = 38.90 + 810.7939024\,d$	(e)
Uranus	$\alpha_0 = 257.311$ $\delta_0 = -15.175$ $W = 203.81 - 501.1600928\,d$	(e)
Neptune	$\alpha_0 = 299.36 + 0.70 \sin N$ $\delta_0 = 43.46 - 0.51 \cos N$ $W = 253.18 + 536.3128492\,d - 0.48 \sin N$ $N = 357.85 + 52.316\,T$	(e)
Pluton	$\alpha_0 = 313.02$ $\delta_0 = 9.09$ $W = 236.77 - 56.3623195\,d$	(f)

Table 10.1. (fin).

Notes :

(a) Le méridien de longitude 20° est défini par le cratère Hun Kal.

(b) Le méridien de longitude 0° est défini par le pic central du cratère Ariane.

(c) L'expression de W peut être erronée de 0°.2 à cause de l'incertitude sur la durée du jour et sur TT − UT le 1 janvier 2000.

(d) Le méridien de longitude 0° est défini par le cratère Airy-0.

(e) Les équations qui donnent W pour Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune se rapportent à la rotation de leurs champs magnétiques (système III). Sur Jupiter, système I ($W_I = 67°.1 + 877°.900\ d$) se rapporte à la rotation moyenne équatoriale de l'atmosphère, système II ($W_{II} = 43°.3 + 870°.270\ d$) à la rotation moyenne nord de l'atmosphère au niveau de la composante sud de la ceinture équatoriale nord, et à la rotation moyenne sud au niveau de la composante nord de la ceinture équatoriale sud.

(f) Le méridien de longitude 0° est défini comme étant le méridien sous Charon.

Table 10.2. Valeurs recommandées pour la direction du pôle nord de rotation et pour le méridien origine des satellites (Davies et al., 1996). L'unité est le degré décimal.

α_0, δ_0	Coordonnées équatoriales pour l'équinoxe J2000 à l'époque J2000.
W	Angle définissant la position du méridien origine à un instant donné.
T	exprimé en siècles juliens de 36 525 jours à partir de l'époque origine.
d	exprimé en jours à partir de l'époque origine.
L'époque origine est le 1.5 janvier 2000, soit la date julienne 2 451 545.0 TDB.	

Terre

Lune

$$\begin{aligned}
\alpha_0 = 269.9949 &+ 0.0031\,T - 3.8787\ \sin E1 - 0.1204\ \sin E2\\
&+ 0.0700\ \sin E3 - 0.0172\ \sin E4 + 0.0072\ \sin E6\\
&- 0.0052\ \sin E10 + 0.0043\ \sin E13\\
\delta_0 = 66.5392 &+ 0.0130\,T + 1.5419\ \cos E1 + 0.0239\ \cos E2\\
&- 0.0278\ \cos E3 + 0.0068\ \cos E4 - 0.0029\ \cos E6\\
&+ 0.0009\ \cos E7 + 0.0008\ \cos E10 - 0.0009\ \cos E13\\
W = 38.3213 &+ 13.176\,358\,15\,d - 1.4 \times 10^{-12}\,d^2 + 3.5610\ \sin E1\\
&+ 0.1208\ \sin E2 - 0.0642\ \sin E3 + 0.0158\ \sin E4\\
&+ 0.0252\ \sin E5 - 0.0066\ \sin E6 - 0.0047\ \sin E7\\
&- 0.0046\ \sin E8 + 0.0028\ \sin E9 + 0.0052\ \sin E10\\
&+ 0.0040\ \sin E11 + 0.0019\ \sin E12 - 0.0044\ \sin E13
\end{aligned}$$

Table 10.2. (suite).

où

$E1 = 125°.045 - 0°.052\,9921\,d$, $E2 = 250°.089 - 0°.105\,9842\,d$, $E3 = 260°.008 + 13°.012\,0009\,d$,
$E4 = 176°.625 + 13°.340\,7154\,d$, $E5 = 357°.529 + 0°.985\,6003\,d$, $E6 = 311°.589 + 26°.405\,7084\,d$,
$E7 = 134°.963 + 13°.064\,9930\,d$, $E8 = 276°.617 + 0°.328\,7146\,d$, $E9 = 34°.226 + 1°.748\,4877\,d$,
$E10 = 15°.134 - 0°.158\,9763\,d$, $E11 = 119°.743 + 0°.003\,6096\,d$, $E12 = 239°.961 + 0°.164\,3573\,d$,
$E13 = 25°.053 + 12°.959\,0088\,d$.

Mars

Phobos	I	$\alpha_0 = 317.68 - 0.108\,T + 1.79 \sin M1$
		$\delta_0 = 52.90 - 0.061\,T - 1.08 \cos M1$
		$W = 35.06 + 1\,128.844\,5850\,d + 8.864\,T^2$
		$- 1.42 \sin M1 - 0.78 \sin M2$
Déimos	II	$\alpha_0 = 316.65 - 0.108\,T + 2.98 \sin M3$
		$\delta_0 = 53.52 - 0.061\,T - 1.78 \cos M3$
		$W = 79.41 + 285.161\,8970\,d - 0.520\,T^2$
		$- 2.58 \sin M3 + 0.19 \cos M3$

où $M1 = 169°.51 - 0°.435\,7640\,d$, $M2 = 192°.93 + 1\,128°.409\,6700\,d + 8°.864\,T^2$,
$M3 = 53°.47 - 0°.018\,1510\,d$.

Jupiter

Métis	XVI	$\alpha_0 = 268.05 - 0.009\,T$
		$\delta_0 = 64.49 + 0.003\,T$
		$W = 355.09 + 1\,221.254\,7301\,d$
Adrastéia	XV	$\alpha_0 = 268.05 - 0.009\,T$
		$\delta_0 = 64.49 + 0.003\,T$
		$W = 33.29 + 1\,206.998\,6602\,d$
Amalthée	V	$\alpha_0 = 268.05 - 0.009\,T - 0.84 \sin J1 + 0.01 \sin 2J1$
		$\delta_0 = 64.49 + 0.003\,T - 0.36 \cos J1$
		$W = 231.67 + 722.631\,4560\,d + 0.76 \sin J1 - 0.01 \sin 2J1$
Thébé	XIV	$\alpha_0 = 268.05 - 0.009\,T - 2.11 \sin J2 + 0.04 \sin 2J2$
		$\delta_0 = 64.49 + 0.003\,T - 0.91 \cos J2 + 0.01 \cos 2J2$
		$W = 8.56 + 533.700\,4100\,d + 1.91 \sin J2 - 0.04 \sin 2J2$
Io	I	$\alpha_0 = 268.05 - 0.009\,T + 0.094 \sin J3 + 0.024 \sin J4$
		$\delta_0 = 64.50 + 0.003\,T + 0.040 \cos J3 + 0.011 \cos J4$
		$W = 200.39 + 203.488\,9538\,d - 0.085 \sin J3 - 0.022 \sin J4$
Europe	II	$\alpha_0 = 268.08 - 0.009\,T + 1.086 \sin J4 + 0.060 \sin J5$
		$+ 0.015 \sin J6 + 0.009 \sin J7$
		$\delta_0 = 64.51 + 0.003\,T + 0.468 \cos J4 + 0.026 \cos J5$
		$+ 0.007 \cos J6 + 0.002 \cos J7$

Table 10.2. (suite).

Europe	II	$W = 35.67 + 101.374\,7235\,d$	$- 0.980 \sin J4 - 0.054 \sin J5$ $- 0.014 \sin J6 - 0.008 \sin J7$	(a)
Ganymède	III	$\alpha_0 = 268.20 - 0.009T$	$- 0.037 \sin J4 + 0.431 \sin J5$ $+ 0.091 \sin J6$	
		$\delta_0 = 64.57 + 0.003T$	$- 0.016 \cos J4 + 0.186 \cos J5$ $+ 0.039 \cos J6$	
		$W = 44.04 + 50.317\,6081\,d$	$+ 0.033 \sin J4 - 0.389 \sin J5$ $- 0.082 \sin J6$	(b)
Callisto	IV	$\alpha_0 = 268.72 - 0.009T$	$- 0.068 \sin J5 + 0.590 \sin J6$ $+ 0.010 \sin J8$	
		$\delta_0 = 64.83 + 0.003T$	$- 0.029 \cos J5 + 0.254 \cos J6$ $- 0.004 \cos J8$	
		$W = 259.73 + 21.571\,0715\,d$	$+ 0.061 \sin J5 - 0.533 \sin J6$ $- 0.009 \sin J8$	(c)

où $J1 = 73°.32 + 91\,472°.9\,T$, $J2 = 24°.62 + 45\,137°.2\,T$, $J3 = 283°.90 + 4\,850°.7\,T$,
$J4 = 355°.80 + 1\,191°.3\,T$, $J5 = 119°.90 + 262°.1\,T$, $J6 = 229°.80 + 64°.3\,T$,
$J7 = 352°.25 + 2\,382°.6\,T$, $J8 = 113°.35 + 6\,070°.0\,T$.

Saturne

Pan	XVIII	$\alpha_0 = 40.6 - 0.036T$		
		$\delta_0 = 83.5 - 0.004T$		
		$W = 48.8 + 626.044\,0000\,d$		
Atlas	XV	$\alpha_0 = 40.58 - 0.036T$		
		$\delta_0 = 83.53 - 0.004T$		
		$W = 137.88 + 598.306\,0000\,d$		
Prométhée	XVI	$\alpha_0 = 40.58 - 0.036T$		
		$\delta_0 = 83.53 - 0.004T$		
		$W = 296.14 + 587.289\,0000\,d$		
Pandore	XVII	$\alpha_0 = 40.58 - 0.036T$		
		$\delta_0 = 83.53 - 0.004T$		
		$W = 162.92 + 572.789\,1000\,d$		
Épiméthée	XI	$\alpha_0 = 40.58 - 0.036T$	$- 3.153 \sin S1 + 0.086 \sin 2S1$	
		$\delta_0 = 83.52 - 0.004T$	$- 0.356 \cos S1 + 0.005 \cos 2S1$	
		$W = 293.87 + 518.490\,7239\,d$	$+ 3.133 \sin S1 - 0.086 \sin 2S1$	(j)
Janus	X	$\alpha_0 = 40.58 - 0.036T$	$- 1.623 \sin S2 + 0.023 \sin 2S2$	
		$\delta_0 = 83.52 - 0.004T$	$- 0.183 \cos S2 + 0.001 \cos 2S2$	
		$W = 58.83 + 518.235\,9876\,d$	$+ 1.613 \sin S2 - 0.023 \sin 2S2$	(j)(*)

Table 10.2. (suite).

Mimas	I	$\alpha_0 = 40.66 - 0.036\,T$	$+\ 13.56 \sin S3$	
		$\delta_0 = 83.52 - 0.004\,T$	$-\ 1.53 \cos S3$	
		$W = 337.46 + 381.994\,5550\,d$	$-\ 13.48 \sin S3 - 44.85 \sin S5$	(d)
Encelade	II	$\alpha_0 = 40.66 - 0.036\,T$		
		$\delta_0 = 83.52 - 0.004\,T$		
		$W = 2.82 + 262.731\,8996\,d$		(e)
Téthys	III	$\alpha_0 = 40.66 - 0.036\,T$	$+\ 9.66 \sin S4$	
		$\delta_0 = 83.52 - 0.004\,T$	$-\ 1.09 \cos S4$	
		$W = 10.45 + 190.697\,9085\,d$	$-\ 9.60 \sin S4 + 2.23 \sin S5$	(f)
Télesto	XIII	$\alpha_0 = 50.51 - 0.036\,T$		
		$\delta_0 = 84.06 - 0.004\,T$		
		$W = 56.88 + 190.697\,9332\,d$		(j)
Calypso	XIV	$\alpha_0 = 36.41 - 0.036\,T$		
		$\delta_0 = 85.04 - 0.004\,T$		
		$W = 153.51 + 190.674\,2373\,d$		(j)
Dioné	IV	$\alpha_0 = 40.66 - 0.036\,T$		
		$\delta_0 = 83.52 - 0.004\,T$		
		$W = 357.00 + 131.534\,9316\,d$		(g)
Hélène	XII	$\alpha_0 = 40.85 - 0.036\,T$		
		$\delta_0 = 83.34 - 0.004\,T$		
		$W = 245.12 + 131.617\,4056\,d$		(j)
Rhéa	V	$\alpha_0 = 40.38 - 0.036\,T$	$+\ 3.10 \sin S6$	
		$\delta_0 = 83.55 - 0.004\,T$	$-\ 0.35 \cos S6$	
		$W = 235.16 + 79.690\,0478\,d$	$-\ 3.08 \sin S6$	(h)
Titan	VI	$\alpha_0 = 36.41 - 0.036\,T$	$+\ 2.66 \sin S7$	
		$\delta_0 = 83.94 - 0.004\,T$	$-\ 0.30 \cos S7$	
		$W = 189.64 + 22.576\,9768\,d$	$-\ 2.64 \sin S7$	
Japet	VIII	$\alpha_0 = 318.16 - 3.949\,T$		
		$\delta_0 = 75.03 - 1.143\,T$		
		$W = 350.20 + 4.537\,9572\,d$		(i)
Phœbé	XI	$\alpha_0 = 355.00$		
		$\delta_0 = 68.70$		
		$W = 304.70 + 930.833\,8720\,d$		

où

$S1 = 353°.32 + 75\,706°.7\,T$, $S2 = 28°.72 + 75\,706°.7\,T$, $S3 = 177°.40 - 36\,505°.5\,T$,
$S4 = 300°.00 - 7\,225°.9\,T$, $S5 = 316°.45 + 506°.2\,T$, $S6 = 345°.20 - 1\,016°.3\,T$,
$S7 = 29°.80 - 52°.1\,T$.

Table 10.2. (suite).

		Uranus
Cordélia	VI	$\alpha_0 = 257.31 - 0.15 \sin U1$
		$\delta_0 = -15.18 + 0.14 \cos U1$
		$W = 127.69 - 1\,074.520\,5730\, d - 0.04 \sin U1$
Ophélie	VII	$\alpha_0 = 257.31 - 0.09 \sin U2$
		$\delta_0 = -15.18 + 0.09 \cos U2$
		$W = 130.35 - 956.406\,8150\, d - 0.03 \sin U2$
Bianca	VIII	$\alpha_0 = 257.31 - 0.16 \sin U3$
		$\delta_0 = -15.18 + 0.16 \cos U3$
		$W = 105.46 - 828.391\,4760\, d - 0.04 \sin U3$
Cressida	IX	$\alpha_0 = 257.31 - 0.04 \sin U4$
		$\delta_0 = -15.18 + 0.04 \cos U4$
		$W = 59.16 - 776.581\,6320\, d - 0.01 \sin U4$
Desdémone	X	$\alpha_0 = 257.31 - 0.17 \sin U5$
		$\delta_0 = -15.18 + 0.16 \cos U5$
		$W = 95.08 - 760.053\,1690\, d - 0.04 \sin U5$
Juliette	XI	$\alpha_0 = 257.31 - 0.06 \sin U6$
		$\delta_0 = -15.18 + 0.06 \cos U6$
		$W = 302.56 - 730.125\,3660\, d - 0.02 \sin U6$
Portia	XII	$\alpha_0 = 257.31 - 0.09 \sin U7$
		$\delta_0 = -15.18 + 0.09 \cos U7$
		$W = 25.03 - 701.486\,5870\, d - 0.02 \sin U7$
Rosalinde	XIII	$\alpha_0 = 257.31 - 0.29 \sin U8$
		$\delta_0 = -15.18 + 0.28 \cos U8$
		$W = 314.90 - 644.631\,1260\, d - 0.08 \sin U8$
Belinda	XIV	$\alpha_0 = 257.31 - 0.03 \sin U9$
		$\delta_0 = -15.18 + 0.03 \cos U9$
		$W = 297.46 - 577.362\,8170\, d - 0.01 \sin U9$
Puck	XV	$\alpha_0 = 257.31 - 0.33 \sin U10$
		$\delta_0 = -15.18 + 0.31 \cos U10$
		$W = 91.24 - 472.545\,0690\, d - 0.09 \sin U10$
Miranda	V	$\alpha_0 = 257.43 + 4.41 \sin U11 - 0.04 \sin 2U11$
		$\delta_0 = -15.08 + 4.25 \cos U11 - 0.02 \cos 2U11$
		$W = 30.70 - 254.690\,6892\, d - 1.27 \sin U12 + 0.15 \sin 2U12$
		$+1.15 \sin U11 - 0.09 \sin 2U11$
Ariel	I	$\alpha_0 = 257.43 + 0.29 \sin U13$
		$\delta_0 = -15.10 + 0.28 \cos U13$
		$W = 156.22 - 142.835\,6681\, d + 0.05 \sin U12 + 0.08 \sin U13$

Table 10.2. (suite).

Umbriel	II	$\alpha_0 = 257.43 + 0.21 \sin U14$ $\delta_0 = -15.10 + 0.20 \cos U14$ $W = 108.05 - 86.868\,8923\, d - 0.09 \sin U12 + 0.06 \sin U14$
Titania	III	$\alpha_0 = 257.43 + 0.29 \sin U15$ $\delta_0 = -15.10 + 0.28 \cos U15$ $W = 77.74 - 41.351\,4316\, d + 0.08 \sin U15$
Obéron	IV	$\alpha_0 = 257.43 + 0.16 \sin U16$ $\delta_0 = -15.10 + 0.16 \cos U16$ $W = 6.77 - 26.739\,4932\, d + 0.04 \sin U16$

où

$U1 = 115°.75 + 54\,991°.87\,T$, $U2 = 141°.69 + 41\,887°.66\,T$, $U3 = 135°.03 + 29\,927°.35\,T$,
$U4 = 61°.77 + 25\,733°.59\,T$, $U5 = 249°.32 + 24\,471°.46\,T$, $U6 = 43°.86 + 22\,278°.41\,T$,
$U7 = 77°.66 + 20\,289°.42\,T$, $U8 = 157°.36 + 16\,652°.76\,T$, $U9 = 101°.81 + 12\,872°.63\,T$,
$U10 = 138°.64 + 8\,061°.81\,T$, $U11 = 102°.23 - 2\,024°.22\,T$, $U12 = 316°.41 + 2\,863°.96\,T$,
$U13 = 304°.01 - 51°.94\,T$, $U14 = 308°.71 - 93°.17\,T$, $U15 = 340°.82 - 75°.32\,T$,
$U16 = 259°.14 - 504°.81\,T$.

Neptune

Naïade	III	$\alpha_0 = 299.36 + 0.70 \sin N - 6.49 \sin N1 + 0.25 \sin 2N1$ $\delta_0 = 43.36 - 0.51 \cos N - 4.75 \cos N1 + 0.09 \cos 2N1$ $W = 254.06 + 1\,222.844\,1209\, d - 0.48 \sin N + 4.40 \sin N1 - 0.27 \sin 2N1$	
Thalassa	IV	$\alpha_0 = 299.36 + 0.70 \sin N - 0.28 \sin N2$ $\delta_0 = 43.45 - 0.51 \cos N - 0.21 \cos N2$ $W = 102.06 + 1\,155.755\,5612\, d - 0.48 \sin N + 0.19 \sin N2$	
Despina	V	$\alpha_0 = 299.36 + 0.70 \sin N - 0.09 \sin N3$ $\delta_0 = 43.45 - 0.51 \cos N - 0.07 \cos N3$ $W = 306.51 + 1\,075.734\,1562\, d - 0.49 \sin N + 0.06 \sin N3$	
Galatée	VI	$\alpha_0 = 299.36 + 0.70 \sin N - 0.07 \sin N4$ $\delta_0 = 43.43 - 0.51 \cos N - 0.05 \cos N4$ $W = 258.09 + 839.659\,7686\, d - 0.48 \sin N + 0.05 \sin N4$	(**)
Larissa	VII	$\alpha_0 = 299.36 + 0.70 \sin N - 0.27 \sin N5$ $\delta_0 = 43.41 - 0.51 \cos N - 0.20 \cos N5$ $W = 179.41 + 649.053\,4470\, d - 0.48 \sin N + 0.19 \sin N5$	
Protée	VIII	$\alpha_0 = 299.27 + 0.70 \sin N - 0.05 \sin N6$ $\delta_0 = 42.91 - 0.51 \cos N - 0.04 \cos N6$ $W = 93.38 + 320.765\,4228\, d - 0.48 \sin N + 0.04 \sin N6$	

Table 10.2. (fin).

Triton	I	$\alpha_0 = 299.36 - 32.35 \sin N7 - 6.28 \sin 2N7 - 2.08 \sin 3N7$ $- 0.74 \sin 4N7 - 0.28 \sin 5N7 - 0.11 \sin 6N7$ $- 0.07 \sin 7N7 - 0.02 \sin 8N7 - 0.01 \sin 9N7$
		$\delta_0 = 41.17 + 22.55 \cos N7 + 2.10 \cos 2N7 + 0.55 \cos 3N7$ $+ 0.16 \cos 4N7 + 0.05 \cos 5N7 + 0.02 \cos 6N7$ $+ 0.01 \cos 7N7$
		$W = 296.53 - 61.257\,2637\, d + 22.25 \sin N7 + 6.73 \sin 2N7$ $+ 2.05 \sin 3N7 + 0.74 \sin 4N7 + 0.28 \sin 5N7$ $+ 0.11 \sin 6N7 + 0.05 \sin 7N7 + 0.02 \sin 8N7$ $+ 0.01 \sin 9N7$

où $N = 357°.85 + 52°.316\,T$, $N1 = 323°.92 + 62\,606°.6\,T$, $N2 = 220°.51 + 55\,064°.2\,T$, $N3 = 354°.27 + 46\,564°.5\,T$, $N4 = 75°.31 + 26\,109°.4\,T$, $N5 = 35°.36 + 14\,325°.4\,T$, $N6 = 142°.61 + 2\,824°.6\,T$, $N7 = 177°.85 + 52°.316\,T$.

Pluton

Charon	I	$\alpha_0 = 313.02$
		$\delta_0 = 9.09$
		$W = 56.77 - 56.362\,3195\, d$

Notes :

(a) Le méridien de longitude 182° est défini par le cratère Cilix.

(b) Le méridien de longitude 128° est défini par le cratère Anat.

(c) Le méridien de longitude 326° est défini par le cratère Saga.

(d) Le méridien de longitude 162° est défini par le cratère Palomides.

(e) Le méridien de longitude 5° est défini par le cratère Salih.

(f) Le méridien de longitude 299° est défini par le cratère Arete.

(g) Le méridien de longitude 63° est défini par le cratère Palinurus.

(h) Le méridien de longitude 340° est défini par le cratère Tore.

(i) Le méridien de longitude 276° est défini par le cratère Almeric.

(j) Ces équations sont correctes pour l'époque des rencontres avec Voyager. Du fait de la précession elles peuvent ne pas l'être à d'autres époques.

(*) La dernière décimale du terme en d manque dans Davies et al. (1996).

(**) Dans Davies et al. (1996), le premier terme en sin N est erroné, le second est en réalité en $N4$.

Les satellites pour lesquels il n'existe aucune donnée sûre ne figurent pas dans la table.

Néréide ne figure pas dans la table car sa rotation n'est pas synchrone.

Table 10.3. Valeurs recommandées pour la direction du pôle nord de rotation et pour le méridien origine des astéroïdes Ida et Gaspra (Davies et al., 1996). L'unité est le degré décimal.

$\alpha_0,\ \delta_0$	Coordonnées équatoriales pour l'équinoxe J2000 à l'époque J2000. Les coordonnées approchées du pôle nord du plan invariant sont : $\alpha_0 = 273°.85,\ \delta_0 = 66°.99$.	
W	Angle définissant la position du méridien origine à un instant donné.	
T	exprimé en siècles juliens de 36 525 jours à partir de l'époque origine.	
d	exprimé en jours à partir de l'époque origine.	
L'époque origine est le 1.5 janvier 2000, soit la date julienne 2 451 545.0 TDB.		
243 Ida	$\alpha_0 = 348.76$ $\delta_0 = 87.12$ $W = 265.95 - 1\,864.628\,0070\,d$	(a)
951 Gaspra	$\alpha_0 = 9.47$ $\delta_0 = 26.70$ $W = 83.67 + 1\,226.911\,4850\,d$	(b)(*)

Notes :

(a) Le méridien de longitude 0° est défini par le cratère Afon.

(b) Le méridien de longitude 0° est défini par le cratère Charax.

(*) La valeur 84.67 de W_0 qui figure dans Davies et al. (1996) est erronée.

Table 10.4. Paramètres caractérisant la taille et la forme des planètes (en kilomètres).

Planète	Rayon moyen	Rayon équatorial	Rayon polaire	Écart moyen au sphéroïde	Sommet le plus élevé	Fosse la plus profonde
Mercure	$2\,439.7 \pm 1.0$	idem	idem	1	4.6	2.5
Vénus	$6\,051.8 \pm 1.0$	idem	idem	1	11	2
Terre	$6\,371.00 \pm 0.01$	$6\,378.14 \pm 0.01$	$6\,356.75 \pm 0.01$	3.57	8.85	11.52
Mars	$3\,390 \pm 4$	$3\,397 \pm 4$	$3\,375 \pm 4$	3.1	27	6
Jupiter[a]	$69\,911 \pm 6$	$71\,492 \pm 4$	$66\,854 \pm 10$	62.1	31	102
Saturne[a]	$58\,232 \pm 6$	$60\,268 \pm 4$	$54\,364 \pm 10$	102.9	8	205
Uranus[a]	$25\,362 \pm 7$	$25\,559 \pm 4$	$24\,973 \pm 20$	16.8	28	0
Neptune[a]	$24\,622 \pm 19$	$24\,764 \pm 15$	$24\,341 \pm 30$	8	14	0
Pluton	$1\,195 \pm 5$	idem	idem			

[a] Les rayons correspondent à une surface où la pression est égale à 1 bar.

Table 10.5. Paramètres caractérisant la taille et la forme des satellites (en kilomètres).

Satellite		Rayon moyen	Rayon équatorial sub-planète	Rayon équatorial le long de l'orbite	Rayon polaire	Écart moyen à l'ellipsoïde	Sommet le plus élevé	Fosse la plus profonde
				Terre				
Lune		$1\,737.4 \pm 1$	idem	idem	idem	2.5	7.5	5.6
				Mars				
Phobos	I	11.1 ± 0.15	13.4	11.2	9.2	0.5		
Déimos	II	6.2 ± 0.18	7.5	6.1	5.2	0.2		
				Jupiter				
Métis	XVI	20 ± 10	20		20			
Adrastéia	XV	10 ± 10	13	10	8			
Amalthée	V	86.2 ± 3	131.0	73.0	67.0	3.2		
Thébé	XIV	50 ± 10	55		45			
Io	I	$1\,821.3 \pm 0.2$	$1\,830.0 \pm 0.2$	$1\,818.7 \pm 0.2$	$1\,815.3 \pm 0.2$	1.4	5 – 10	3
Europe	II	$1\,565 \pm 8$	idem	idem	idem	0.5		
Ganymède	III	$2\,634 \pm 10$	idem	idem	idem	0.6		
Callisto	IV	$2\,403 \pm 5$	idem	idem	idem	0.6		
Léda	XIII	5						
Himalia	VI	85 ± 10						
Lysithéa	X	12						
Elara	VII	40 ± 10						
Ananké	XII	10						
Carmé	XI	15						
Pasiphaé	VIII	18						
Sinopé	IX	14						
				Saturne				
Pan	XVIII	10 ± 3						
Atlas	XV	16 ± 4	18.5	17.2	13.5			
Prométhée	XVI	50.1 ± 3	74.0	50.0	34.0	4.1		
Pandore	XVII	41.9 ± 2	55.0	44.0	31.0	1.3		

Table 10.5. (suite).

Satellite		Rayon moyen	Rayon équatorial sub-planète	Rayon équatorial le long de l'orbite	Rayon polaire	Écart moyen à l'éllipsoïde	Sommet le plus élevé	Fosse la plus profonde
Épiméthée	XI	59.5 ± 3	69.0	55.0	55.0	3.1		
Janus	X	88.8 ± 4	97.0	95.0	77.0	4.2		
Mimas	I	198.6 ± 0.6	209.1 ± 0.5	196.2 ± 0.5	191.4 ± 0.5	0.6		2
Encelade	II	249.4 ± 0.3	256.3 ± 0.3	247.3 ± 0.3	244.6 ± 0.5	0.4		1
Téthys	III	529.8 ± 1.5	535.6 ± 1.2	528.2 ± 1.2	525.8 ± 1.2	1.7		
Télesto	XIII	11 ± 4	15 ± 2.5	12.5 ± 5	7.5 ± 2.5			
Calypso	XIV	9.5 ± 4	15.0	8.0	8.0	0.6		
Dioné	IV	560 ± 5	idem	idem	idem	0.5		
Hélène	XII	16	17.5 ± 2.5			0.7		
Rhéa	V	764 ± 4	idem	idem	idem			
Titan	VI	$2\,575 \pm 2$	idem	idem	idem			
Hypérion	VII	141.5 ± 20	180 ± 20	140 ± 20	112.5 ± 20	7.4		
Japet	VIII	718 ± 8	idem	idem	idem	6.1	12	
Phœbé	IX	110 ± 10	115 ± 10	110 ± 10	105 ± 10	2.7		
				Uranus				
Cordélia	VI	13 ± 2						
Ophélie	VII	15 ± 2						
Bianca	VIII	21 ± 3						
Cressida	IX	31 ± 4						
Desdémone	X	27 ± 3						
Juliette	XI	42 ± 5						
Portia	XII	54 ± 6						
Rosalinde	XIII	27 ± 4						
Belinda	XIV	33 ± 4						
Puck	XV	77 ± 5				1.9		
Miranda	V	235.8 ± 0.7	240.4 ± 0.6	234.2 ± 0.9	232.9 ± 1.2	1.6	5	8
Ariel	I	578.9 ± 0.6	581.1 ± 0.9	577.9 ± 0.6	577.7 ± 1.0	0.9	4	4
Umbriel	II	584.7 ± 2.8	idem	idem	idem	2.6		6
Titania	III	788.9 ± 1.8	idem	idem	idem	1.3	4	
Obéron	IV	761.4 ± 2.6	idem	idem	idem	1.5	12	2

Table 10.5. (fin).

Satellite		Rayon moyen	Rayon équatorial sub-planète	Rayon équatorial le long de l'orbite	Rayon polaire	Écart moyen à l'éllipsoïde	Sommet le plus élevé	Fosse la plus profonde
				Neptune				
Naïade	III	29 ± 6						
Thalassa	IV	40 ± 8						
Despina	V	74 ± 10						
Galatée	VI	79 ± 12						
Larissa	VII	96 ± 7	104		89	2.9	6	5
Protée	VIII	208 ± 8	218	208	201	7.9	18	13
Triton	I	$1\,352.6 \pm 2.4$						
Néréide	II	170 ± 25						
				Pluton				
Charon	I	593 ± 13						

Table 10.6. Paramètres caractérisant la taille et la forme des astéroïdes Ida et Gaspra (en kilomètres).

Astéroïde	Rayon moyen	Rayons mesurés le long des axes principaux			Rayons de l'ellipsoïde de meilleur ajustement	Écart maximum à l'ellipsoïde
243 Ida	15.65 ± 0.6	26.8	12.0	7.6	30.0, 12.6, 9.3	8.4
951 Gaspra	6.1 ± 0.4	9.1	5.2	4.4	9.1, 5.2, 4.7	2.1

10.2. DÉFINITION DES SYSTÈMES DE COORDONNÉES

On définit deux systèmes de coordonnées différents pour repérer un point à la surface d'une planète ou d'un satellite.

• Dans le système de *coordonnées planétocentriques*, la *latitude planétocentrique* d'un point est l'angle que fait le vecteur joignant le centre de l'astre à ce point avec le plan équatorial. Elle est comptée à partir de l'équateur de l'astre de 0° à +90° vers le pôle nord et de 0° à −90° vers le pôle sud. La *longitude planétocentrique*, angle dièdre entre le méridien du point considéré et un méridien choisi comme origine, est comptée à partir du méridien origine de 0° à 360° dans le sens direct, c'est-à-dire positivement vers l'est sur l'astre, que la rotation de l'astre soit directe ou rétrograde. Le système de coordonnées planétocentriques est utilisé en général pour des études de dynamique, par exemple pour étudier le mouvement d'un satellite de l'astre.

• Pour cartographier la surface d'une planète ou d'un satellite on utilise le système de *coordonnées planétographiques*. Dans ce système la *latitude planétographique* d'un point de la surface de l'astre est l'angle que fait la normale à la surface en ce point avec le plan équatorial (Fig. 10.2). Elle est comptée comme la latitude planétocentrique, c'est-à-dire de 0° à +90° vers le pôle nord et de 0° à −90° vers le pôle sud. Si on assimile la planète ou le satellite à un ellipsoïde de rayon équatorial a et de rayon polaire b ($b < a$), les latitudes planétocentrique et planétographique ϕ et ϕ' d'un point de l'ellipsoïde sont reliées par :

$$\tan \phi' = \frac{\tan \phi}{(1-f)^2} \tag{10.2}$$

où f est l'aplatissement de l'ellipsoïde défini par $f = \frac{a-b}{a}$.

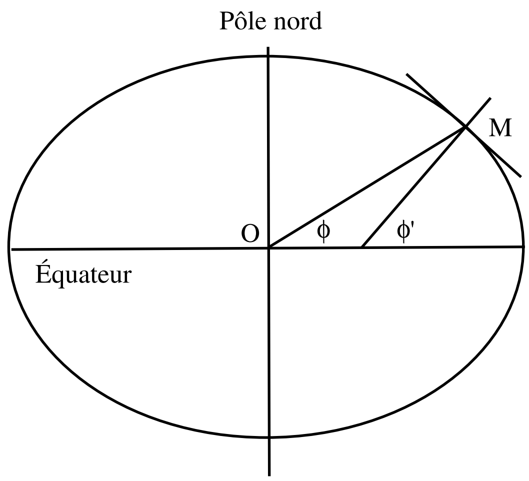

Fig. 10.2. Latitude planétocentrique ϕ et latitude planétographique ϕ'.

La *longitude planétographique* est définie de façon analogue à la longitude planétocentrique. Elle est également comptée à partir du méridien origine de 0° à 360° mais dans le sens opposé à la rotation, c'est-à-dire positivement vers l'ouest sur l'astre si la rotation est directe, positivement vers l'est si la rotation est rétrograde. Il résulte de ceci que, pour un observateur lointain, la longitude planétographique du centre du disque apparent augmente toujours avec le temps, quel que soit le sens de rotation de l'astre.
La latitude et la longitude planétographiques d'un point P non situé sur la surface d'un astre sont égales à la latitude et à la longitude du point P′ situé sur la surface et tel que la normale en P′ à la surface passe par P. On donne de plus dans ce cas la distance P′P, appelée *altitude* de P, en général exprimée en kilomètres.
• Afin de respecter une tradition historique et de pouvoir continuer à utiliser des cartes souvent très répandues, on admet en général des exceptions à la règle précédente quand il s'agit de la Terre, du Soleil et de la Lune dont les rotations sont directes. En effet sur ces trois astres on compte les longitudes planétographiques de 0° à 180° dans les deux sens en spécifiant selon les cas *longitude est* ou *longitude ouest*. Sur la Terre cependant il arrive, comme c'est l'usage en France par exemple, que l'on compte les longitudes planétographiques positivement vers l'ouest et négativement vers l'est, ce qui correspond à la règle générale énoncée ci-dessus.

10.3. CALCUL DE QUANTITÉS LIÉES À LA ROTATION

Pour observer la surface d'une planète ou d'un satellite il est nécessaire de connaître, pour l'instant de l'observation, certaines quantités liées à la rotation de la planète ou du satellite. Un point remarquable de la planète à un instant donné est le *point sub-terrestre*. C'est le point de la surface de la planète qui se trouve à l'intersection de la demi-droite joignant le centre de l'astre au centre de la Terre, c'est donc aussi le centre du disque apparent de l'astre et, si l'astre est sphérique et seulement dans ce cas, c'est également le point de la surface de l'astre pour lequel la Terre est au zénith. On donne dans les éphémérides les coordonnées planétographiques du point sub-terrestre pour des instants équidistants de façon à pouvoir interpoler pour un instant quelconque.
La figure 10.3 représente l'aspect du disque vu de la Terre. Le point E, centre du disque, est le point sub-terrestre dont on vient de parler, la direction EP est la direction du pôle céleste nord. Le point P_0 étant le pôle nord de rotation de la planète la droite EP_0 est le *méridien central* du disque. Les coordonnées planétographiques du point sub-terrestre se calculent de la manière suivante.

Soient λ', β' et β les longitude et latitude planétographiques et la latitude planétocentrique du point sub-terrestre, α_0 et δ_0 les coordonnées équatoriales du pôle nord de la planète (Table 10.1), α, δ les coordonnées équatoriales géocentriques J2000 astrométriques de la planète et W l'angle donnant la position du méridien origine à l'instant considéré, on a :

$$\sin\beta = -\sin\delta_0\sin\delta - \cos\delta_0\cos\delta\cos(\alpha-\alpha_0)\,. \tag{10.3}$$

On calcule ensuite u par les formules :

$$\begin{aligned}\cos\beta\cos u &= -\cos\delta\sin(\alpha-\alpha_0)\,,\\ \cos\beta\sin u &= -\sin\delta\cos\delta_0 + \cos\delta\sin\delta_0\cos(\alpha-\alpha_0)\,,\end{aligned} \tag{10.4}$$

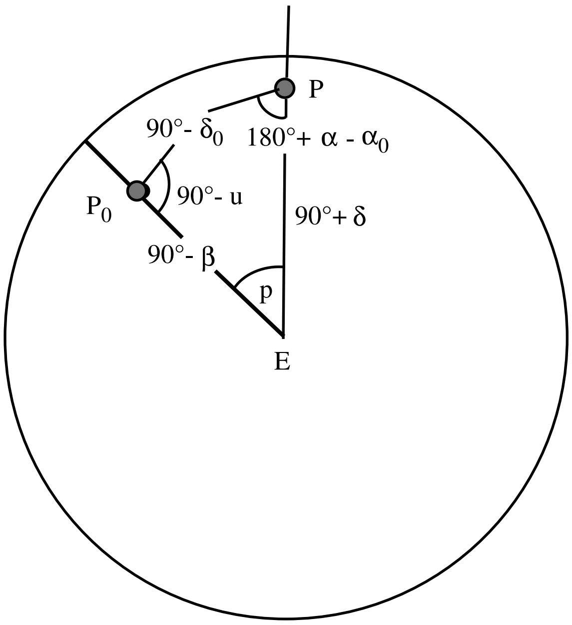

Fig. 10.3. Aspect du disque vu de la Terre.

d'où

$$\begin{aligned} \lambda' &= W - u \qquad \text{si la rotation est directe} \quad (W_1 > 0), \\ \lambda' &= u - W \qquad \text{si la rotation est rétrograde} \quad (W_1 < 0). \end{aligned} \tag{10.5}$$

On calcule W au moyen de la formule (10.1) en ayant soin de diminuer d du temps de lumière égal, en jours, à $0.005\,7755\,\Delta$ où Δ est la distance de l'astre considéré exprimée en unités astronomiques. La latitude planétographique β' se déduit de la latitude planétocentrique β par la formule (10.2). Quant au méridien central il est repéré par l'angle p que fait $\mathrm{EP_0}$ avec la direction du pôle céleste nord P. Cet angle est mesuré de 0° à 360° à partir du pôle céleste nord positivement vers l'est sur la sphère céleste géocentrique. Il se déduit des relations dans le triangle sphérique $\mathrm{PP_0E}$:

$$\begin{aligned} \cos\beta \sin p &= -\cos\delta_0 \sin(\alpha - \alpha_0)\,, \\ \cos\beta \cos p &= \sin\delta_0 \cos\delta - \cos\delta_0 \sin\delta \cos(\alpha - \alpha_0)\,, \end{aligned} \tag{10.6}$$

La distance angulaire entre E et $\mathrm{P_0}$ sur la surface de la planète est égale à $90° - \beta$ ce qui donne, pour la distance $\mathrm{EP_0}$ sur le disque apparent, $R\cos\beta$, R étant le rayon angulaire apparent de l'astre.

10.4. CALCUL DE QUANTITÉS LIÉES À LA PHASE

Le cône circonscrit au Soleil et à un astre est tangent à celui-ci le long d'une courbe appelée *terminateur* qui sépare la région éclairée de l'astre de celle qui est dans l'ombre. Le terminateur est en général un cercle qui, pour un observateur éloigné, se projette sur le disque apparent de centre E de l'astre (Fig. 10.4, à gauche) suivant une demi-ellipse dont le sommet du petit axe C, situé sur la droite joignant le centre du disque apparent au centre du Soleil, est appelée *point milieu de la phase*.

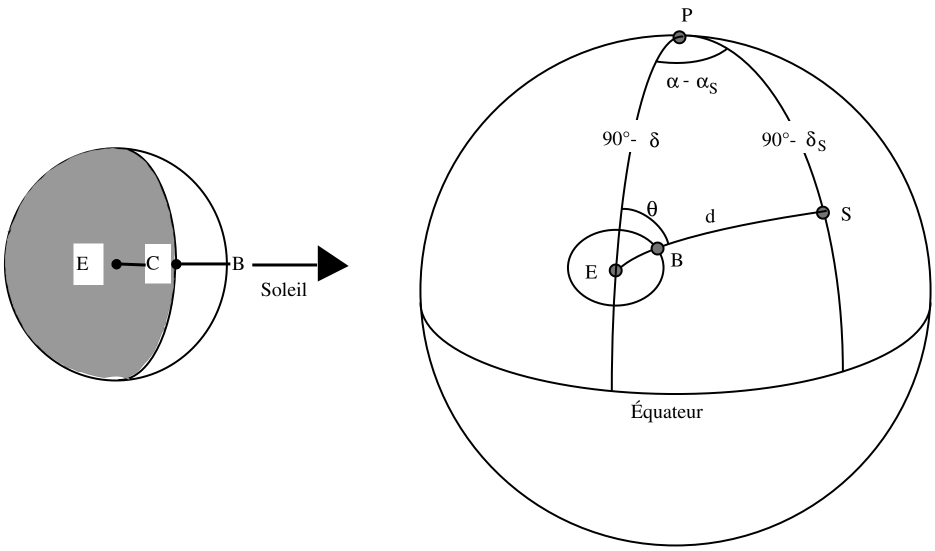

Fig. 10.4. Calcul de la position du point milieu de la phase.

La figure 10.4 (à droite) représente la sphère céleste géocentrique. S est le Soleil, E le centre de l'astre considéré, dont on a représenté le disque apparent, et P le pôle céleste. Le grand cercle passant par S et E coupe ce disque entre E et S en un point B qui est le milieu du bord éclairé de l'astre, compte tenu de la phase (on n'a pas représenté le point C qui se trouverait entre E et B). La position du point B sur le disque est définie par θ, angle en E du triangle sphérique PES. L'angle θ est appelé angle de position du milieu de la phase, il est compté positivement vers l'est à partir de la direction du nord sur la sphère céleste géocentrique de 0° à 360° dans le sens direct sur le disque apparent (Fig. 10.4, à droite). Soit d le côté ES du triangle, c'est-à-dire la distance angulaire entre l'astre et le Soleil. Si l'on appelle α, δ les coordonnées équatoriales de E et α_s, δ_s les coordonnées équatoriales du Soleil, on a dans le triangle sphérique PES les relations suivantes :

$$\begin{aligned} \cos d &= \sin\delta \sin\delta_s + \cos\delta\cos\delta_s\cos(\alpha-\alpha_s), \\ \sin d\cos\theta &= \cos\delta\sin\delta_s - \sin\delta\cos\delta_s\cos(\alpha-\alpha_s), \\ \sin d\sin\theta &= \cos\delta_s\sin(\alpha-\alpha_s), \end{aligned} \tag{10.7}$$

qui donnent θ et d.

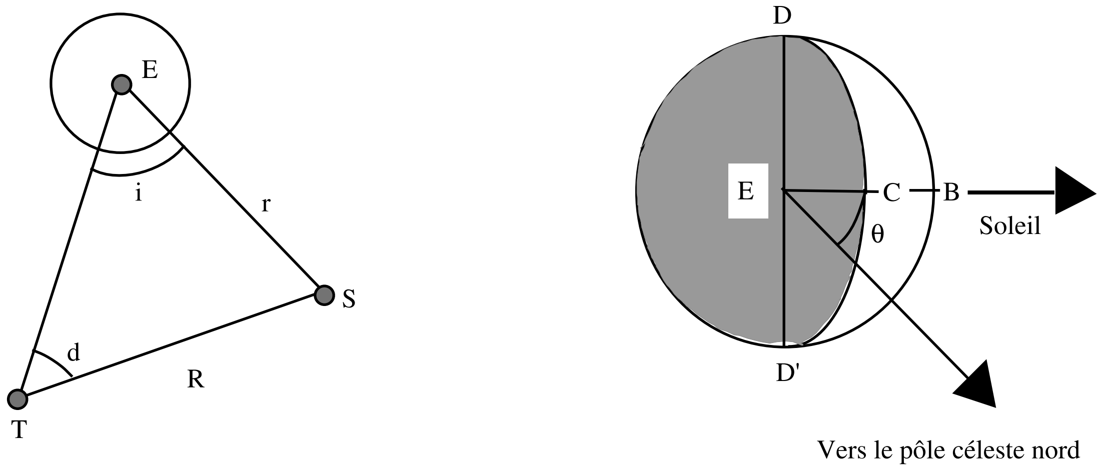

Fig. 10.5. Calcul de l'angle de phase (à gauche). Aspect du disque apparent (à droite).

Par ailleurs sur la figure 10.5 (à gauche) E, S et d ont la même signification que ci-dessus, T est la Terre, r la distance de l'astre au Soleil, R la distance de la Terre au Soleil. L'angle i est l'*angle de phase*, il est donné par

$$\sin i = \frac{R}{r}\sin d. \tag{10.8}$$

Les angles i et θ figurent dans les éphémérides comme, par exemple, les *Éphémérides Astronomiques* 1996 du Bureau des longitudes (1995).
Les éphémérides donnent aussi la fraction illuminée k du disque apparent, c'est-à-dire le rapport de l'aire éclairée du disque apparent à l'aire totale du disque apparent (rapport de l'aire non grisée sur la figure 10.5, à droite, à l'aire totale grisée et non grisée). Ce nombre k s'exprime en fonction de i par la formule suivante :

$$k = \frac{1}{2}(1+\cos i). \tag{10.9}$$

La figure 10.5 (à droite) représente le disque apparent de l'astre vu de la Terre. On y voit la direction du pôle céleste nord et le point B, milieu du bord éclairé. La perpendiculaire à EB est la ligne des cornes DD′. Le terminateur est la demi-ellipse dont les sommets du grand axe sont D et D′ et l'extrémité du petit axe le point C situé sur EB, tel que :

$$\mathbf{EC} = (1 - 2k)\mathbf{EB}.$$

Certaines éphémérides donnent, au lieu des paramètres définis ci-dessus, les coordonnées planétographiques λ'_s et β'_s du *point sub-solaire*. Ce point est l'intersection avec la surface de l'astre de la demi-droite qui joint le centre de l'astre au centre du Soleil. Si l'astre est sphérique et seulement dans ce cas, c'est aussi le point de la surface de l'astre pour lequel le Soleil est au zénith. On calcule les coordonnées planétographiques du point sub-solaire de la façon suivante.

Soient λ'_s, β'_s et β_s les longitude et latitude planétographiques et la latitude planétocentrique du point sub-solaire, α_0 et δ_0 les coordonnées équatoriales du pôle nord de la planète, α, δ les coordonnées équatoriales héliocentriques de la planète et W l'angle donnant la position du méridien origine à l'instant considéré, on a :

$$\sin\beta_s = -\sin\delta_0 \sin\delta - \cos\delta_0 \cos\delta \cos(\alpha - \alpha_0)\,. \tag{10.10}$$

On calcule ensuite v par les formules :

$$\begin{aligned} \cos\beta_s \cos v &= -\cos\delta \sin(\alpha - \alpha_0)\,, \\ \cos\beta_s \sin v &= -\sin\delta \cos\delta_0 + \cos\delta \sin\delta_0 \cos(\alpha - \alpha_0)\,, \end{aligned} \tag{10.11}$$

d'où

$$\begin{aligned} \lambda'_s &= W - v \qquad \text{si la rotation est directe} \quad (W_1 > 0), \\ \lambda'_s &= v - W \qquad \text{si la rotation est rétrograde} \quad (W_1 < 0). \end{aligned} \tag{10.12}$$

La latitude planétographique β'_s se déduit de la latitude planétocentrique β_s par la formule (10.2). Ces formules sont analogues aux formules (10.3), (10.4) et (10.5) mais α et δ sont ici les coordonnées héliocentriques de la planète et non les coordonnées géocentriques.

10.5. BIBLIOGRAPHIE

Bureau des longitudes : 1995, *Éphémérides astronomiques, Annuaire du Bureau des longitudes 1996*, Masson éd., 175.

Danjon, A. : 1953, *Astronomie générale*, Sennac éd., Paris, réédité en 1980, Blanchard éd., 342.

Davies, M.E., Abalakin, V.K., Cross, C.A., Duncombe, R.I., Masursky, H., Morando, B., Owen, T.C., Seidelmann, P.K., Sinclair, A.T., Wilkins, G.A., Tjuflin, Y.S. : 1980a, Report of the IAU Working Group on cartographic coordinates and rotational elements of the planets and satellites, *Trans. IAU* **XVII B**, 72.

Davies, M.E., Abalakin, V.K., Cross, C.A., Duncombe, R.I., Masursky, H., Morando, B., Owen, T.C., Seidelmann, P.K., Sinclair, A.T., Wilkins, G.A., Tjuflin, Y.S. : 1980b, Report of the IAU

Working Group on cartographic coordinates and rotational elements of the planets and satellites, *Celest. Mech.* **22**, 205.

Davies, M.E., Abalakin, V.K., Lieske, J.H., Seidelmann, P.K., Sinclair, A.T., Sinzi, A.M., Smith, B.A., Tjuflin, Y.S. : 1983a, Report of the IAU working group on cartographic coordinates and rotational elements of the planets and satellites : 1982, *Trans. IAU* **XVIII B**, 151.

Davies, M.E., Abalakin, V.K., Lieske, J.H., Seidelmann, P.K., Sinclair, A.T., Sinzi, A.M., Smith, B.A., Tjuflin, Y.S. : 1983b, Report of the IAU working group on cartographic coordinates and rotational elements of the planets and satellites : 1982, *Celest. Mech.* **29**, 309.

Davies, M.E., Abalakin, V.K., Bursa, M., Lederle, T., Lieske, J.H., Rapp, R.H., Seidelmann, P.K., Sinclair, A.T., Teifel, V.G., Tjuflin, Y.S. : 1986, Report of the IAU/IAG/COSPAR working group on cartographic coordinates and rotational elements of the planets and satellites : 1985, *Celest. Mech.* **39**, 103.

Davies, M.E., Abalakin, V.K., Bursa, M., Hunt, G.E., Lieske, J.H., Morando, B., Rapp, R.H., Seidelmann, P.K., Sinclair, A.T., Tjuflin, Y.S. : 1989, Report of the IAU/IAG/COSPAR working group on cartographic coordinates and rotational elements of the planets and satellites : 1988, *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **46**, 187.

Davies, M.E., Abalakin, V.K., Brahic, A., Bursa, M., Chovitz, B.H., Lieske, J.H., Seidelmann, P.K., Sinclair, A.T., Tjuflin, Y.S. : 1992, Report of the IAU/IAG/COSPAR working group on cartographic coordinates and rotational elements of the planets and satellites : 1991, *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **53**, 377 [1].

Davies, M.E., Abalakin, V.K., Bursa, M., Lieske, J.H., Morando, B., Morrison, D., Seidelmann, P.K., Sinclair, A.T., Yallop, B., Tjuflin, Y.S. : 1996, Report of the IAU/IAG/COSPAR working group on cartographic coordinates and rotational elements of the planets and satellites : 1994, *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **63**, 127.

Green, R. : 1985, *Spherical astronomy*, Cambridge University Press, 422.

USNO : 1992, *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac*, P.K. Seidelmann ed., University science books, Mill Valley, California, 383.

[1] Cette publication contient des fautes d'impression qui ont été corrigées dans Davies et al., 1996.