

Survol de l'histoire de
L'ASTRONOMIE
jusqu'à Newton

par
Gilles Paquet

v.1 octobre 2023



INTRODUCTION

Avant que l'écriture n'existe, les hommes ont admiré les astres du ciel auxquels ils ont attribué des noms transmis oralement à leur descendance ; nous ignorons tout de leurs connaissances et de l'usage qu'ils en faisaient pour s'orienter dans leurs pérégrinations terrestres ou maritimes.

Les explications données dans le présent document sont ordonnées comme suit :

- Chapitre I (page 2) : *l'astronomie avant notre ère* recense les connaissances attribuées aux peuples de l'Antiquité ; ces connaissances concernent les astres fixes et les astres mobiles, la manière de les représenter et l'usage qui résulte de cette représentation.
- Chapitre II (page 10) : *l'astronomie de Ptolémée à Newton* recense les découvertes attribuées aux hommes ayant contribué notablement aux progrès de cette discipline ; le cas particulier de Galilée est également traité dans ce paragraphe.

La conclusion (page 14) jette un regard d'ensemble sur l'histoire de l'astronomie du V^{ème} siècle avant Jésus-Christ au XVIII^{ème} siècle de l'ère chrétienne.

Dans l'annexe (pages 15-20) vous trouverez les cartes du ciel : cartes équatoriales 1/4 à 4/4 ; carte boréale ; carte australe.

Notez dès à présent que les dates antérieures au 5 octobre 1582 sont données en *calendrier julien* modifié au VI^{ème} siècle lorsque la date de naissance du Christ a été fixée au 25 décembre précédent l'an 1 de l'ère chrétienne ; les dates postérieures au 14 octobre 1582 sont données en *calendrier grégorien* (cf. § J.2).

I. L'ASTRONOMIE AVANT NOTRE ÈRE

Les Phéniens, les Chaldéens, les Grecs et les Babyloniens ont laissé des écrits qui permettent de leur attribuer les connaissances astronomiques exposées dans la suite de ce paragraphe.

A. La Terre est ronde

1. Pythagore de Samos (– ~570, † – ~480) admet que la Terre est ronde.
2. Dans son traité *Du ciel* (II 14, § 13), Aristote (– 384, † – 322) explique : « Lors des éclipses, la Lune a toujours pour limite une ligne courbe : par conséquent, comme l'éclipse est due à l'interposition de la Terre, c'est la forme de la surface de la Terre qui est cause de la forme de cette ligne » ; autrement dit la Terre est ronde et cela s'observe sur l'ombre qu'elle projette sur la Lune lors des éclipses de Lune.

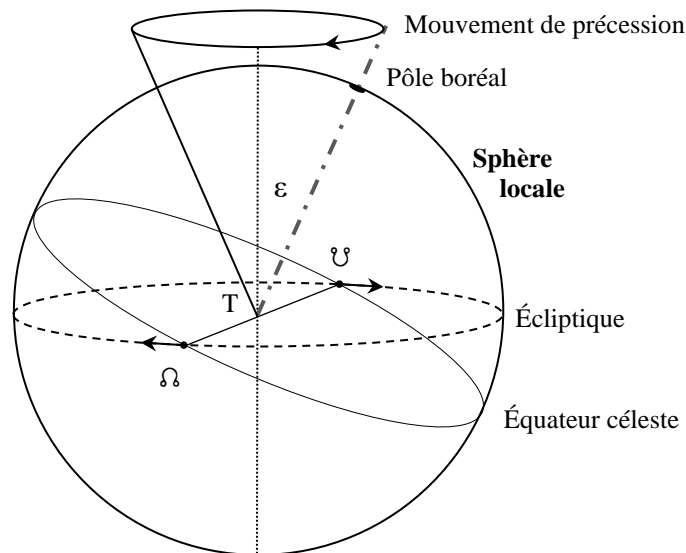
B. La Terre tourne sur elle-même et elle tourne autour du Soleil

Non, ce n'est pas une idée de la Renaissance !

1. Au V^{ème} siècle avant notre ère, deux astronomes grecs de Crotona, Ekphantos et Philolaüs, affirment que la Terre tourne sur elle-même et qu'elle tourne autour du Soleil, mais ils ne peuvent montrer ni la véracité ni l'utilité de cette affirmation.
2. Aristarque de Samos (– ~310, † – ~230) admet que la Terre tourne autour d'elle-même et qu'elle orbite autour du Soleil.
3. A Assouan, Ératosthène (– 280, † – ~195) observe que le jour du solstice d'été, le fond d'un puits est éclairé par le Soleil lors de sa culmination ; le solstice d'été suivant il mesure l'ombre que fait un pilier de 10 mètres de hauteur à Alexandrie qui se trouve 5.000 stades au nord d'Assouan (sur le même méridien à 3° près) ; il en déduit le rayon de la Terre en utilisant le théorème de Thalès (– 625, † – ~547) ; il trouve 6.215 km (valeur déjà excellente puisque le rayon moyen de la Terre est de 6.371 km).
4. Hipparque (– ~190, † – ~120) développe les outils de la trigonométrie sphérique pour convertir les coordonnées angulaires dans les différents repères liés aux représentations géocentriques du ciel ; il met au point l'astrolabe qui permet de mesurer la hauteur des astres au dessus de l'horizon.

Hipparque met aussi en évidence la précession des équinoxes due au fait que l'axe de rotation de la Terre sur elle-même décrit un cône dont la demi-ouverture ε (lettre grecque epsilon) vaut $23^{\circ} 26'$; l'axe du cône est perpendiculaire au plan dans lequel le Soleil se déplace par rapport à la Terre ; et il faut environ 25.800 ans pour que l'axe de rotation de la Terre sur elle-même décrive complètement le cône.

(voir figure page suivante)



5. La précession des équinoxes impose d'ajouter une année bissextile tous les quatre ans pour avoir une *année tropique* de 365,25 jours solaires moyens ; ce calendrier est dit julien parce qu'il a été mis en service par Jules César en 45 avant Jésus-Christ (environ 75 ans après la mort d'Hipparque !).

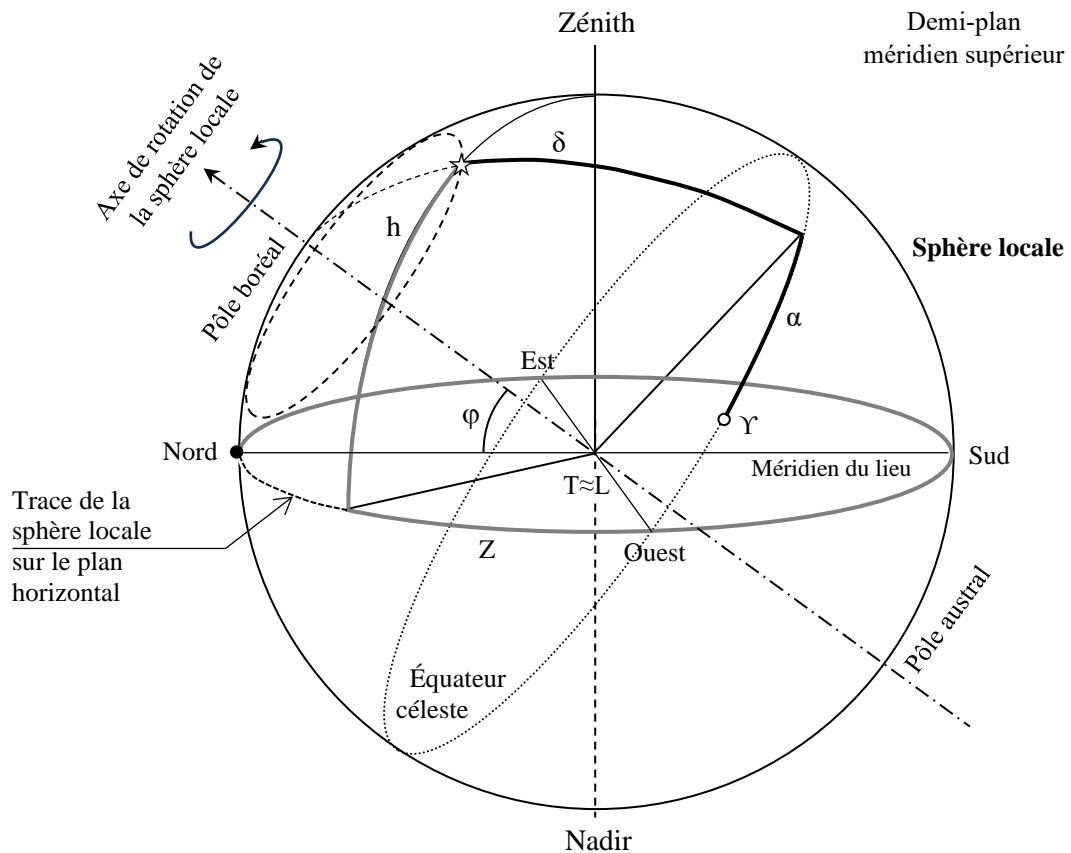
C. Les astres fixes, leur localisation et leur représentation

1. Les astres fixes sont les *étoiles* qui semblent fixes les unes par rapport aux autres et forment des figures que l'on appelle *constellations* ; la distance des étoiles étant inconnue, il est convenu de se contenter de leur position angulaire sur la voûte céleste ; appelée "empyrée", cette voûte céleste est supposée sphérique et centrée sur la Terre ; raison pour laquelle on l'appelle sphère des fixes ou *sphère locale* (voir figures précédente et suivante).

L'*équateur céleste* est le grand cercle de la sphère locale perpendiculaire à son axe de rotation orienté de son *pôle austral* vers son *pôle boréal*. La sphère locale tourne autour de cet axe dans le sens direct (sens inverse des aiguilles d'une montre).

L'étoile Polaire est une merveille de la nature : située pratiquement sur le *pôle boréal*, elle indique à l'observateur terrestre la direction du nord géographique. Quand on peut mesurer la hauteur h de l'étoile Polaire, on obtient directement la *latitude* φ (lettre grecque phi) du lieu L où l'on se trouve.

On appelle *demi-plan méridien supérieur* le demi-plan vertical qui contient l'axe de rotation de la sphère locale et qui est situé au dessus du plan horizontal du *lieu d'observation* L supposé confondu avec le *centre de la terre* T (étant entendu que le rayon de la sphère locale est très grand vis à vis du rayon de la Terre).
(voir la figure page suivante).



Pour un observateur terrestre, les étoiles se lèvent à l'est et se couchent à l'ouest ; entre son lever et son coucher une étoile atteint sa *culmination* lorsqu'elle franchit le demi-plan méridien supérieur du lieu d'observation.

A un instant donné, une étoile est repérée sur la sphère locale par ses *coordonnées horizontales* : sa *hauteur* h au dessus de l'horizon ; son *azimut* Z compté sur l'horizon à partir du nord.

2. Les chaldéens nomment les étoiles et leur attribuent des coordonnées sur la sphère céleste appelées *coordonnées équatoriales* : *ascension droite et déclinaison*.

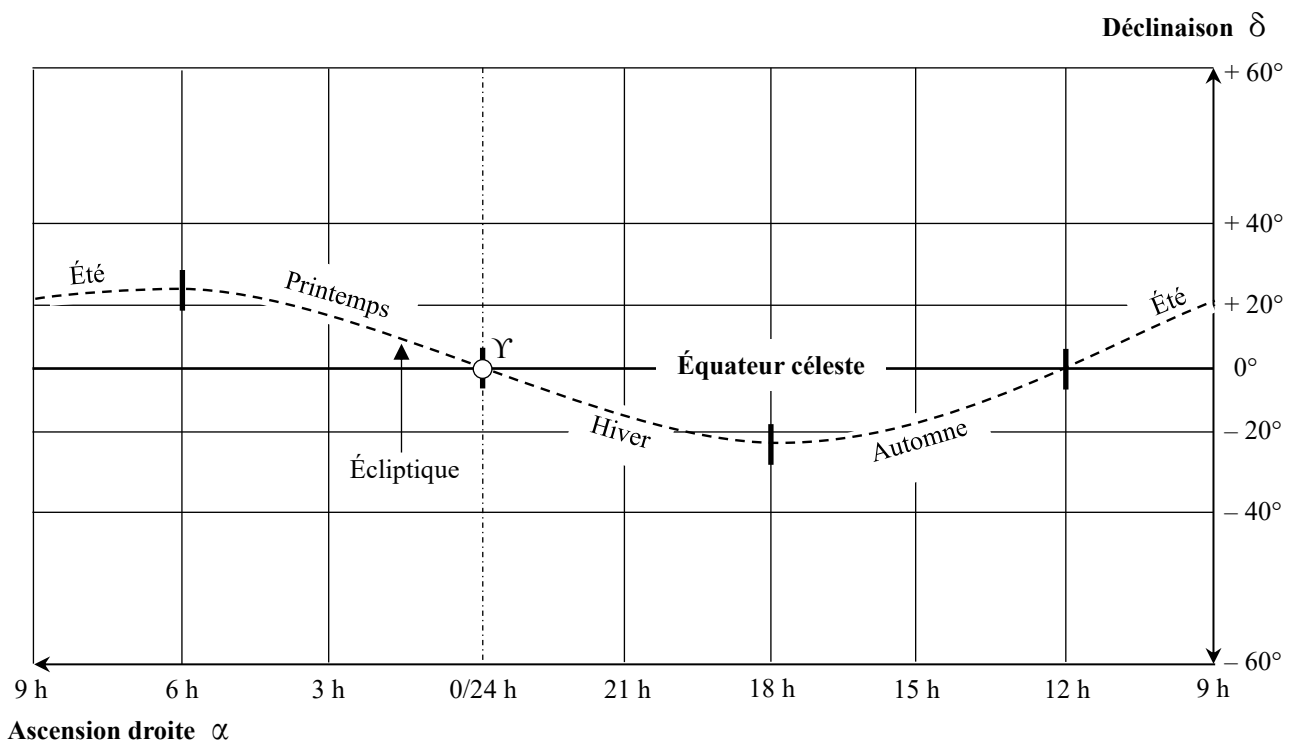
La déclinaison δ (lettre grecque delta) est comptée à partir de l'équateur céleste, positivement vers le pôle boréal (de 0° à $+90^\circ$), négativement vers le pôle austral (de 0° à -90°).

L'ascension droite α (lettre grecque alpha) est comptée de 0 à 24 heures (une heure correspond à un arc de 15°) sur l'équateur céleste dans le sens direct (sens inverse des aiguilles d'une montre) ; l'origine de cette coordonnée est le *point vernal* γ (lettre grecque Gamma majuscule), défini comme suit : point de l'équateur céleste que le Soleil franchit à l'équinoxe de printemps, lorsque sa déclinaison de négative qu'elle était

devient positive ; le point vernal peut être considéré comme une étoile fictive “piquée” sur la sphère locale ; la rotation de la sphère locale fait passer les étoiles – et le point vernal – au demi-plan méridien supérieur dans l’ordre croissant de leur ascension droite (l’ascension droite du point vernal est nulle).

Les coordonnées équatoriales sont utilisées pour établir les cartes des étoiles : trois cartes sont nécessaires pour les représenter toutes :

- une *carte équatoriale* sur laquelle sont placées toutes les étoiles ayant une déclinaison comprise entre -60° et $+60^\circ$:

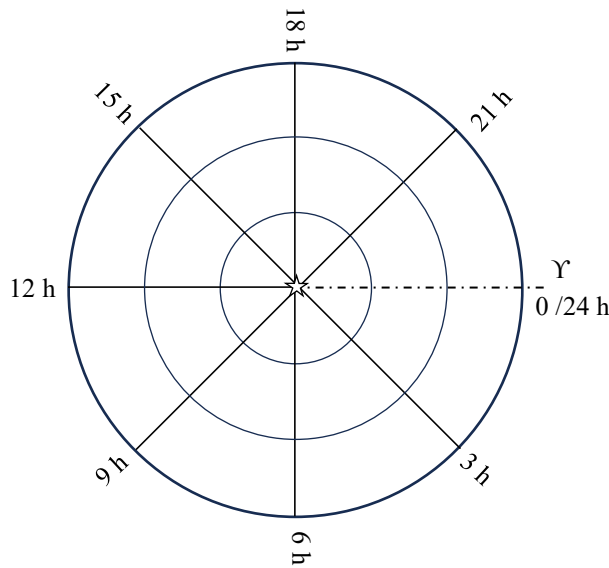


Note : l’espacement des graduations des déclinaisons augmente en s’éloignant de l’équateur céleste en raison de la projection des points de la sphère céleste sur le plan de la carte.

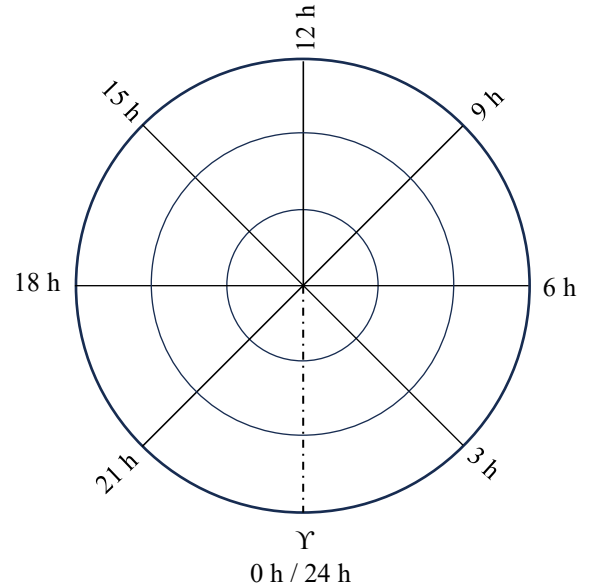
L’écliptique est la courbe tiretée qui représente la projection sur la carte de la trajectoire que suit le Soleil durant une année complète, dans le sens indiqué par les saisons. La déclinaison du Soleil est nulle à l’équinoxe de printemps (son ascension droite est nulle) et à l’équinoxe d’automne (son ascension droite est égale à 12 h) ; la déclinaison du Soleil est égale à $+23^\circ 26'$ au solstice d’été (son ascension droite est égale à 6 h) ; elle est égale à $-23^\circ 26'$ au solstice d’hiver (son ascension droite est égale à 18 h).

Sur la carte équatoriale, les étoiles – et les constellations – occupent une position déterminée par leur ascension droite et leur déclinaison ; on ne peut pas voir celles dont l’ascension droite est comprise entre celle du Soleil – 6 h et celle du Soleil + 6 h ; tenez en compte pour préparer vos observations avec les cartes de l’Annexe.

- une *carte de l'hémisphère boréal* sur laquelle sont placées toutes les étoiles dont la déclinaison est supérieure à $+60^\circ$ et une *carte de l'hémisphère austral* sur laquelle sont placées toutes les étoiles dont la déclinaison est inférieure à -60° :



Carte de l'hémisphère boréal
avec l'étoile Polaire en son centre.
Les trois cercles (du plus grand au plus petit) correspondent aux déclinaisons égales à $+60^\circ$, $+70^\circ$ et $+80^\circ$.



Carte de l'hémisphère austral
avec le pôle austral en son centre.
Les trois cercles (du plus grand au plus petit) correspondent aux déclinaisons égales à -60° , -70° et -80° .

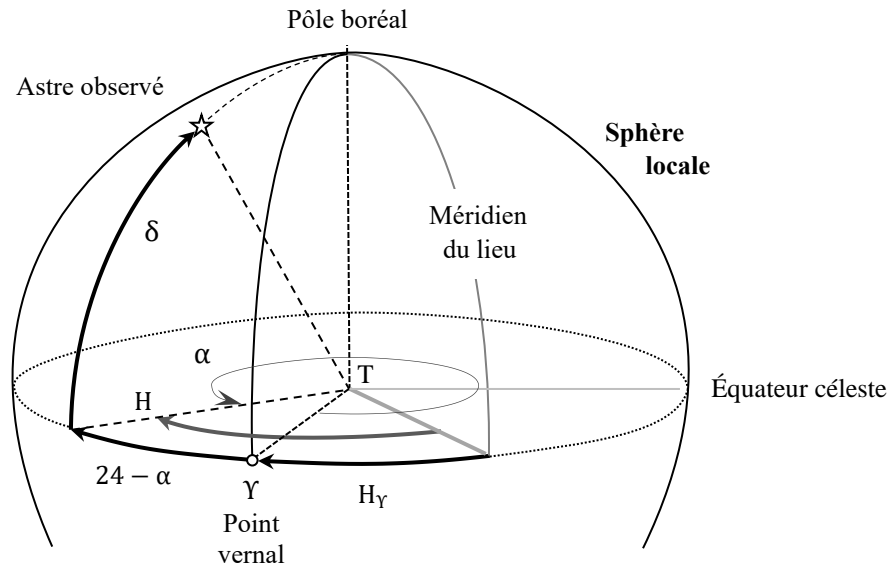
3. C'est à Aristote (-384 , $\dagger -322$) que l'on doit cette excellente définition du temps : « Le temps est la mesure du mouvement selon l'antérieur-postérieur » (*Phys. IV*, 10, 219b, 1-2).

Les définitions qui suivent ont une importance capitale en astronomie :

- le temps sidéral H_γ est le temps écoulé depuis le dernier passage du point vernal au méridien du lieu d'observation ;
- un jour sidéral est le temps qui sépare deux passages successifs d'une même étoile (ou du point vernal) au méridien du lieu d'observation ;
- une année sidérale est le temps mis par le Soleil pour parcourir 360° sur l'écliptique.

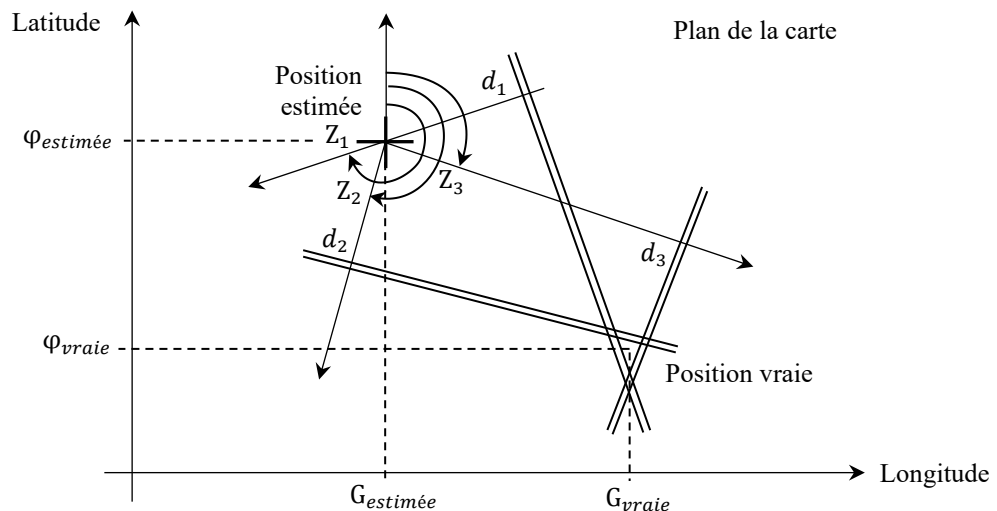
Les coordonnées équatoriales α et δ et les coordonnées horaires H et δ sont fonction du temps ; la déclinaison δ est commune aux deux types de coordonnées ; l'angle horaire H et l'ascension droite α sont liés par la relation suivante (vraie à 24 h près dans toutes les configurations possibles) :

$$H = H_\gamma + (24 - \alpha)$$



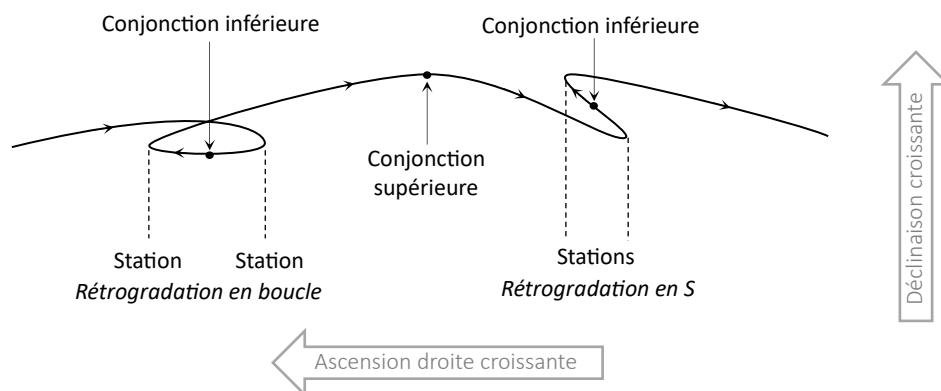
4. Le point de vue du marin et celui de l'observateur terrestre sont donc définitivement géocentriques. Depuis des temps immémoriaux l'homme a pris la mer et il a appris à mesurer la hauteur des étoiles par rapport à l'horizon ; avec une astrolabe, la mesure est devenue plus précise ; mais pour que la mesure soit possible, il faut : (1) que le ciel soit suffisamment dégagé ; (2) qu'il fasse assez nuit pour que les étoiles soient déjà visibles à l'œil nu et pas trop pour que l'horizon soit encore visible (3) et surtout qu'on dispose d'un *garde-temps* assez fiable.

Il est facile de calculer la *hauteur estimée* d'une étoile à un instant donné, hauteur qu'elle devrait avoir si le navire était vraiment localisé à sa position estimée à cet instant ; avec une astrolabe on mesure la *hauteur vraie* de l'étoile à cet instant-là et on note son azimut approximatif ; on appelle *intercept* d la différence entre la hauteur vraie et la hauteur estimée dans l'azimut donné ; on effectue la même opération sur 3 étoiles ayant des azimuts différents ; on obtient ainsi la *position vraie* du navire par rapport à sa *position estimée*.

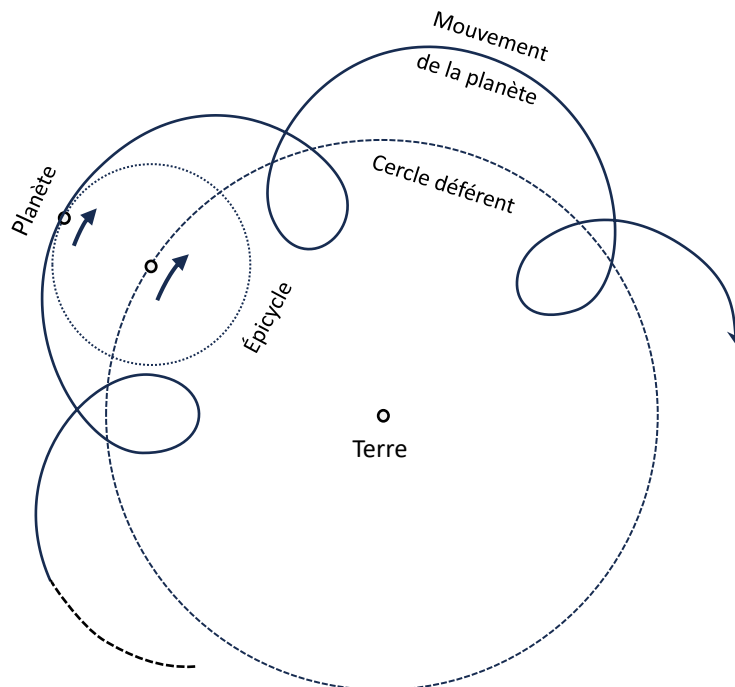


D. Les astres errants

1. On appelle “astres errants” le Soleil, la Lune et les planètes.
2. Les astres errants se déplacent par rapport aux étoiles mais seulement dans certaines constellations situées sur une étroite couronne de la sphère locale appelée Zodiaque que les Babyloniens divisent en 12 portions égales de 30° chacune.
3. Les Chaldéens adoptent le système sexagésimal ; pour mesurer le temps, ils utilisent des cadrans solaires, des gnomons et des horloges à eau appelées “clepsydras” ; ils notent les levers et couchers du Soleil et des planètes, la périodicité des équinoxes et celles des éclipses de Lune et de Soleil.
4. Pour un observateur terrestre, le déplacement annuel du Soleil décrit, par projection sur la sphère locale un grand-cercle imaginaire appelé “écliptique” ; l'écliptique et l'équateur céleste ont deux points en commun : le premier est le point vernal Υ dont nous avons déjà parlé (cf. § C.2) puisque c'est le point de l'équateur céleste que le Soleil franchit à l'équinoxe de printemps, lorsque sa déclinaison de négative qu'elle était devient positive ; le second lui est symétrique puisque c'est le point de l'équateur céleste que le Soleil franchit à l'équinoxe d'automne, lorsque sa déclinaison de positive qu'elle était devient négative.
5. Pour les marins, il est pertinent de calculer l'heure et la hauteur estimées du passage du Soleil au méridien de la position estimée du navire et de comparer cette hauteur estimée avec la hauteur vraie du Soleil à sa culmination. Cet intercept peut s'ajouter aux précédents (cf. § C.5).
6. Dans la haute Antiquité il n'était pas possible de prédire la position des planètes. Toutefois les anciens mesuraient la périodicité de leurs apparitions et leur déplacement sur la sphère locale ; ils avaient notamment observé que les planètes se déplacent généralement dans le sens direct mais que parfois elles inversent momentanément le sens de leur déplacement (sens rétrograde) ; ils savaient aussi que ces rétrogradations pouvaient se présenter sous deux formes différentes comme on le voit sur la figure suivante :



Pour rendre compte de ce phénomène, ils utilisaient un procédé géométrique qui consiste à considérer le mouvement de la planète comme la combinaison de son mouvement sur un cercle appelé “épicycle” et du mouvement du centre de cet épicycle sur le cercle déferent centré sur la Terre.



Reste à déterminer le rapport entre le rayon de l'épicycle et celui du cercle déferent ; on l'obtient en calculant le rapport entre la période de révolution de la planète et la durée de l'année sidérale. C'est très ingénieux mais ce procédé est souvent ignoré, mal expliqué et très décrié par les abrutis qui pensent que ce qu'ils ne peuvent pas ou ne veulent pas comprendre est débile ou périmé.

7. La Lune se distingue des autres planètes par le fait qu'elle tourne autour de la Terre.
 - Méton d'Athènes († – 460) a trouvé qu'après 235 lunaisons soit 6.940 jours solaires moyens les phases de la Lune se retrouvent dans une situation à peu près identique.
 - Aristarque de Samos (~ – 310, † ~ – 230) observe que la Lune parcourt un trajet à peu près égal à son diamètre apparent en une heure de temps ; il en déduit que l'ouverture angulaire du disque lunaire vaut à peu près 30' 28" d'arc. Il observe aussi qu'une éclipse totale de Lune dure deux heures ce qui représente 3 diamètres apparents de Lune ; il en déduit que le rayon de la Lune est trois fois plus petit que celui de la Terre.
 - Ératosthène (– 280, † ~ – 195) a calculé le rayon de la Terre (cf. **B.3**) : il est égal à 6.215 km ; sachant que le rayon de la Lune est trois fois plus petit que celui de la Terre (voir alinéa précédent), il en déduit que le rayon de la Lune est égal à 2.071 km. Il dispose alors de tous les données requises pour calculer la distance Terre-Lune soit 467.211 km ; cette valeur n'est pas bien bonne en raison de : (1) l'extrême

sensibilité de l'angle sous lequel on observe le disque lunaire ; (2) l'ellipticité de l'orbite de la Lune.

II. L'ASTRONOMIE DE PTOLÉMÉE A NEWTON

E. Ptolémée

Ptolémée (90, † 168) rédige l'*Almageste* qui contient un catalogue de plus de 1.000 étoiles et une liste de 48 constellations ; il améliore l'astrolabe inventée par Hipparque.

Au VIII^{ème} siècle, al-Hasan ibn Quraysha traduit l'*Almageste* du syriaque en arabe.

F. Copernic

1. Nicolas Copernic (19/02/1473, † 24/05/1543) est chanoine de l'évêché de Warmie en Pologne ; c'est aussi un astronome averti : on sait qu'il a observé l'occultation de l'étoile Aldébaran par la Lune le 9 mars 1497 et une éclipse partielle de Lune à Rome en 1500.
2. Il tient compte des périodes observées sur les orbites – supposées circulaires – des planètes et propose un modèle planétaire héliocentrique comportant six planètes convenablement ordonnées les une par rapport aux autres : Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter et Saturne.
3. De 1511 à 1513 Copernic rédige un traité dans lequel il consigne ses commentaires qui confirment les affirmations d'Ekphantos de Crotona et Philolaüs de Crotona (cf. § B.1), d'Aristarque de Samos (cf. § B.2) et d'Hipparque (cf. § B.4 et B.5) : la Terre décrit une orbite circulaire autour du Soleil et elle tourne sur elle-même autour d'un axe qui précessionne ; avec le calendrier julien alors en usage, l'équinoxe avance d'un jour tous les 128 ans et il en résulte une non concordance de plus en plus flagrante avec le retour des saisons ; Copernic observe un retard d'une dizaine de jours entre l'instant du retour effectif de l'équinoxe de printemps et la date du 21 mars à laquelle il s'était produit en 325 avant J.-C.
4. Dans le cadre du V^{ème} Concile du Latran qui débute le 3 mai 1515, Copernic est sollicité pour proposer une réforme du calendrier julien.

Notez qu'au VI^{ème} siècle – sur la proposition du moine Denys le Petit –, le calendrier julien avait été modifié en fixant la date de la naissance du Christ le 25 décembre de l'année qui précède l'an 1 de notre ère.

La réforme envisagée par Copernic ne sera mise en service qu'en 1582 (cf. § J.2).

5. Son principal manuscrit intitulé *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (Des révolutions des orbites célestes) est terminé en 1530 ; peu de temps avant sa mort Copernic dédie ce manuscrit au pape Paul III (Alexandre Farnèse, pape de 1534 à 1549).

G. Tycho-Brahé

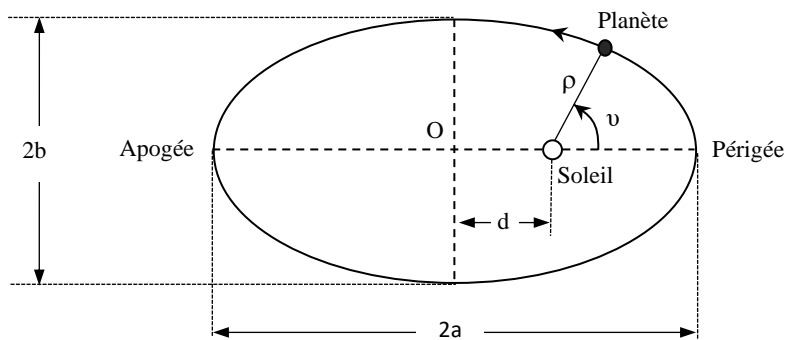
1. Tycho-Brahé (14/12/1546, † 24/10/1601) scrute le ciel, achète une astrolabe et la perfectionne. Le 17 août 1563, il note la conjonction de Jupiter et de Saturne ; le 28 octobre 1566, il observe une éclipse totale de Lune ; le 11 novembre 1572, il constate l'apparition d'une "nouvelle étoile" dans la constellation de Cassiopée (il s'agit en fait d'une supernova c'est-à-dire d'une étoile qui s'effondre sur elle-même ; et c'est la première fois qu'un tel événement a été consigné) ; en octobre 1577 il observe une comète (la grande comète non-périodique C/1577 v1).
2. Il est déjà connu et le roi Frédéric II de Danemark – qui désire développer le commerce maritime de son pays – met à sa disposition l'île de Ven et l'aide à construire un observatoire astronomique où il multiplie les mesures avec une précision remarquable pour l'époque (2 minutes d'arc). Il renseigne ainsi un catalogue d'un millier d'étoiles, à l'exemple de Ptolémée (cf. § E).
3. Il effectue par ailleurs des mesures très précises sur les planètes énumérées par Copernic (cf. § F.2) ; il montre aussi que le demi grand-axe de l'orbite lunaire oscille avec une période de 14,76 jour et une amplitude de 3.400 km.
4. A la mort de Frédéric II (avril 1588), Tycho-Brahé quitte le Danemark et s'installe à Prague où l'empereur Rodolphe II le nomme mathématicien impérial et lui demande de réaliser des tables planétaires – appelées *Tables rudolphines* – qui voient le jour en 1627.
5. Kepler vient rejoindre Tycho-Brahé à Prague et devient son assistant et son successeur. Les mesures effectuées sur la planète Mars lui seront précieuses pour établir ultérieurement les trois lois de Kepler (cf. § I.3, I.4 et I.5)).

H. Galilée

1. Galileo Galilei (02/1564, † 08/01/1642) est avant tout un mathématicien et un géomètre ; il met au point une lunette astronomique qui porte son nom.
2. Galilée a le soutien du pape Urbain VIII et du cardinal Bellarmin qui lui confient, en 1620, la mission de faire une présentation comparative des points de vue héliocentrique et géocentrique ; ces deux points de vue – de nature cinématique – respectent les observations astronomiques et, de ce fait, ils sont similaires. Il est donc demandé à Galilée de respecter, dans sa présentation, la similitude des deux points de vue et d'expliquer leurs avantages respectifs.
3. En 1632 Galilée fait paraître son *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde* dans lequel il ridiculise le point de vue géocentrique sans prendre en considération son intérêt pratique, notamment pour les navigateurs. Prié de se rétracter, il s'exécute, conserve ses soutiens ecclésiastiques et poursuit ses travaux mathématiques en dépit de son grand âge (il décède à 78 ans).

I. Kepler

1. Johannes Kepler (27/12/1571 † 15/11/1630) assiste avec son père à l'éclipse de Lune qui s'est produite le 31 janvier 1580 : il a tout juste 9 ans.
2. Kepler a été l'assistant de Tycho-Brahé qui lui a demandé d'exploiter les mesures effectuées sur les planètes (cf. § G.5). Avec celles réalisées de la planète Mars il parvient à déterminer les caractéristiques elliptiques des orbites planétaires :



3. La première loi de Kepler permet de calculer la distance ρ de la planète au Soleil en fonction de son *anomalie* ν , de son demi grand-axe a et de l'excentricité de l'ellipse.
4. La deuxième loi de Kepler – appelée aussi *loi des aires* – stipule qu'une planète se meut de telle sorte que le rayon qui relie son centre et le centre du Soleil balaye des aires égales dans des intervalles de temps égaux.
5. La troisième loi de Kepler dit que le carré de la durée de révolution T d'une planète P autour du Soleil S est proportionnel au cube du demi-grand axe de son orbite elliptique.
6. L'équation de Kepler relie l'*anomalie moyenne* d'une planète avec son *anomalie excentrique* ; la démonstration de cette formule est une pure merveille. Les précisions angulaires obtenues pour déterminer l'ascension droite et la déclinaison avec cette équation sont excellentes (angles exprimés en secondes d'arc ; distances en km) :

Précision en	Mercure	Vénus	Mars	Jupiter	Saturne
ascension droite α	15''	20''	40''	400''	600''
déclinaison δ	1''	1''	2''	10''	25''
distance ρ	1 km	8 km	30 km	1.000 km	4.000 km

J. Grégoire XIII

1. Ugo Boncompagni (07/01/1502, † 10/04/1585), élu pape le 13/05/1552 sous le nom de Grégoire XIII.

2. Par les travaux de Copernic mort en 1543 (cf. § F.4), le pape connaît les conditions dans lesquelles le calendrier julien doit être réformé ; il entérine cette réforme en 1582 par la bulle *Inter gravissimas* qui :
 - maintient la date de naissance du Christ au 25 décembre précédent l’an 1 de l’ère chrétienne ;
 - supprime la cause du décalage en adoptant un nouveau calendrier dans lequel l’année tropique dure 365,2422 jours (contre 365, 25 dans le calendrier julien), que l’on obtient en ajoutant un jour tous les 4 ans (année bissextile, puis en retirant 1 jour bissextile tous les 100 ans (... 1900, 2000, 2100, ...) et enfin en rendant bissextiles les années dont le millésime est divisible par 4 (1600, 2000, 2400, ...) ;
 - rattrape le décalage accumulé en sautant 10 jours : le jeudi 4 octobre 1582 du calendrier julien correspond au jeudi 14 octobre 1582 du calendrier grégorien et les dates allant du 5 octobre 1582 au 14 octobre 1582 n’auront jamais existé (c’est ainsi que sainte Thérèse d’Avila est morte dans la nuit du 4 octobre 1582 (calendrier julien) au 15 octobre 1582 (calendrier grégorien).

K. Cassini

Giovanni Cassini (08/06/1625, † 14/09/1712) décrit très bien les mouvements de la Lune :

- la Lune tourne sur elle-même d’un mouvement uniforme dont la période est égale à celle de sa révolution sidérale autour de la Terre ;
- l’axe de rotation de la Lune n’est pas perpendiculaire au plan de son orbite mais elle fait avec cette perpendiculaire un angle α à peu près égal à $6^{\circ},68$ (cf. figure 47) ;
- la normale à l’écliptique, la normale au plan de l’orbite lunaire et l’axe de rotation de la Lune restent toujours dans un même plan ; dans ces conditions l’axe de rotation de la Lune sur elle-même fait avec la normale à l’écliptique un angle égal à :

$$6^{\circ},68 - 5^{\circ},15668983 \approx 1^{\circ},52$$

L. Newton

1. Isaac Newton (04/01/1643, † 31/03/1727) connaît la troisième loi de Kepler (cf. § I.5) et il suppose que les masses respectives de la Lune et de la Terre entrent en jeu dans la proportionnalité entre le carré de la durée de révolution de la Lune et le cube du demi-grand axe de son orbite.
2. Faute de disposer d’un rayon de la Terre assez précis, Newton ne parvient pas à vérifier ses calculs en les appliquant au cas de l’orbite lunaire ; mais en 1684, il apprend la mesure de l’arc de méridien réalisée, entre Paris et Amiens, par Jean Picard qui obtient (en 1670) un rayon terrestre de 6.372 km (excellent, puisque le rayon moyen obtenu actuellement est 6.371 km).

3. Newton montre alors le bien fondé du principe de la *gravitation universelle* qui figure dans la deuxième édition (en 1713) de son *Principia mathematica* : deux corps quelconques sont attirés l'un vers l'autre avec une force proportionnelle au produit de leur masse et inversement proportionnelle au carré de leur distance :

$$F_{\text{centripète}} = G \cdot \frac{m \cdot M}{D^2}$$

où G est la *constante de gravitation* égale à $6,67380 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

Un principe ne vaut que par les avantages qui en découlent ; c'est pourquoi il lui faut un corollaire.

4. Le principe de Newton a un corollaire (qui résulte de son antécédent keplerien) : une planète de masse m qui orbite avec une trajectoire quasi-circulaire autour d'un corps central de masse M très supérieure à m satisfait la relation suivante dès lors qu'il n'y a aucun autre corps massif dans l'environnement proche des deux précédents :

$$\omega^2 = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \simeq \frac{G \cdot M}{D^3}$$

T est la *période de révolution* de la planète et ω la *pulsation* correspondante.

Cette formule exprime bien le lien entre l'aspect cinématique de la troisième loi de Kepler (cf. § I.5) et l'aspect dynamique de la loi de Newton.

CONCLUSION

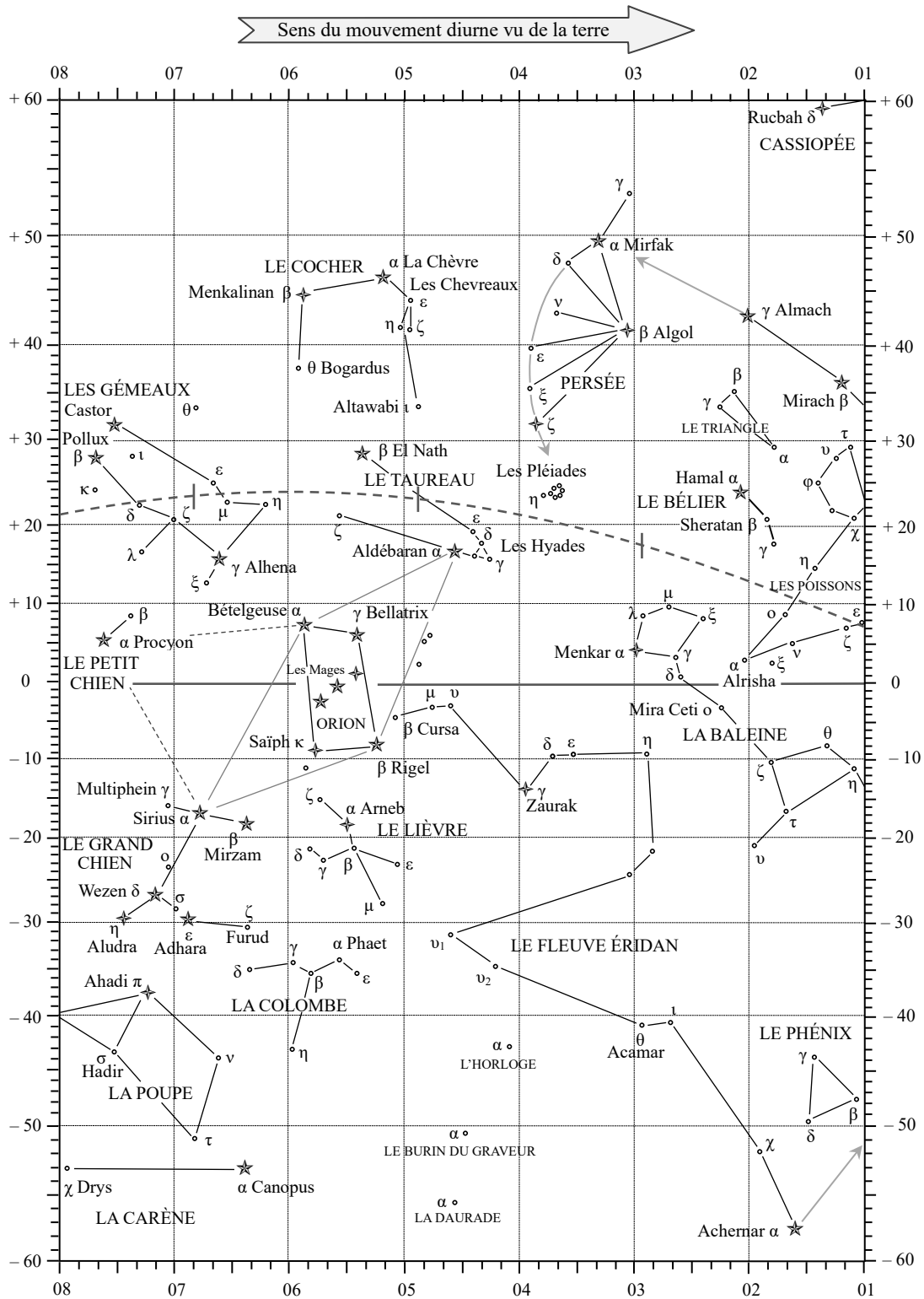
A la lecture des pages qui précèdent, vous avez sûrement compris que les points de vue géocentrique et héliocentrique ne s'excluent pas mutuellement ; mieux, ils se complètent pour mieux répondre aux besoins des observateurs, des astronomes et des navigateurs.

Quels sont donc les progrès réalisés entre le V^{ème} siècle avant notre ère et le XVIII^{ème} siècle après Jésus-Christ ? Ils sont de deux sortes :

1. Amélioration progressive des *instruments de mesure* :
 - mesure du *temps* : mise à l'écart des cadrans solaires, remplacement des clepsydres et des sabliers par des *gardes-temps* mécaniques (horlogerie) ;
 - mesure des *angles* par les observatoires à terre : amélioration des *lunettes astronomiques* ;
 - mesure des *angles* par les navigateurs : remplacement de l'astrolabe par le *sextant* en 1730.
2. *Progrès conceptuels* déterminants :
 - *précession des équinoxes* par Hipparque au II^{ème} siècle avant notre ère ;
 - les *trois lois* et l'*équation* de Kepler au XVII^{ème} siècle de notre ère.
 - *gravitation universelle* de Newton au XVIII^{ème} siècle de notre ère.

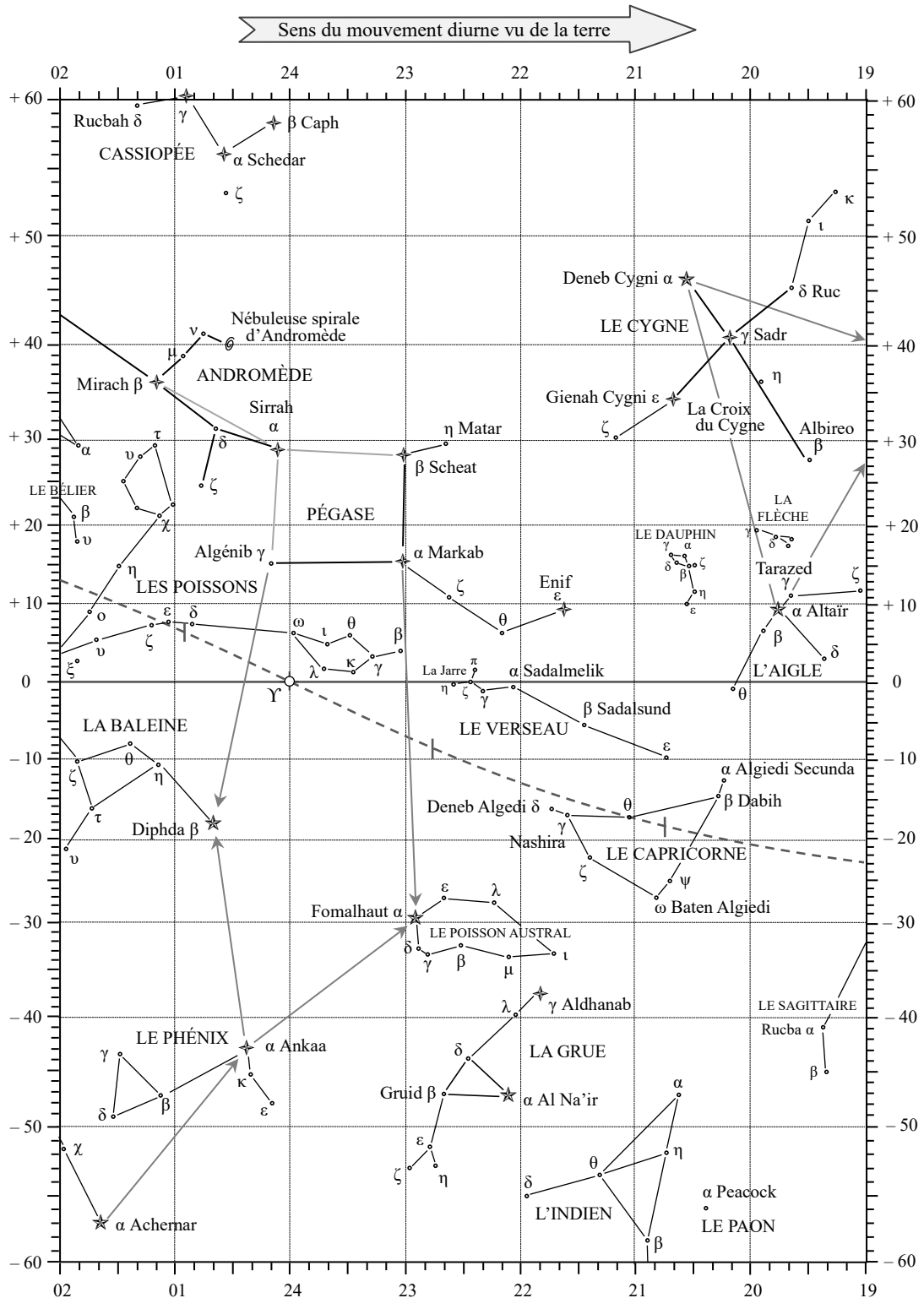
ANNEXE

CARTE ÉQUATORIALE 1/4



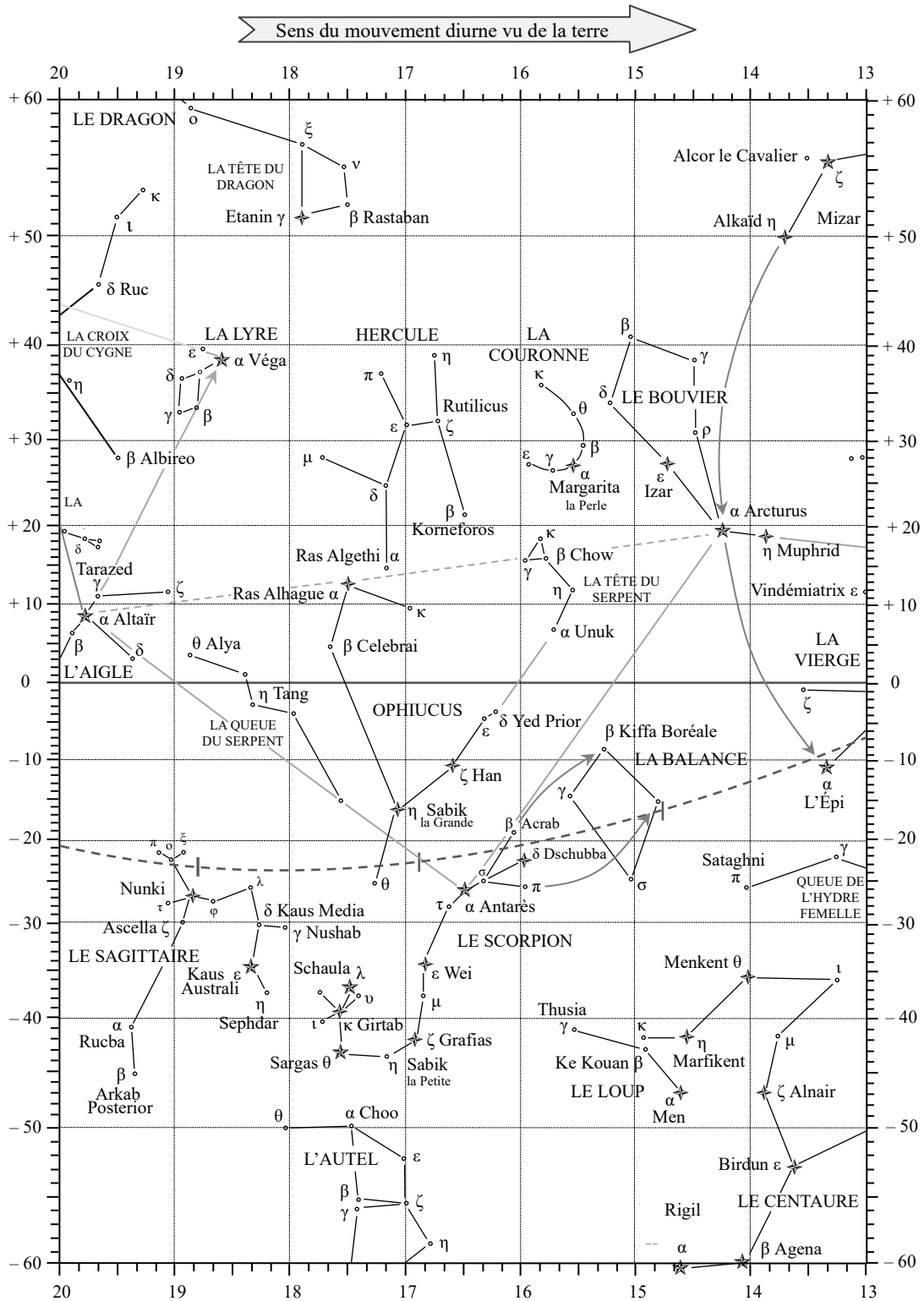
ANNEXE

CARTE ÉQUATORIALE 2/4



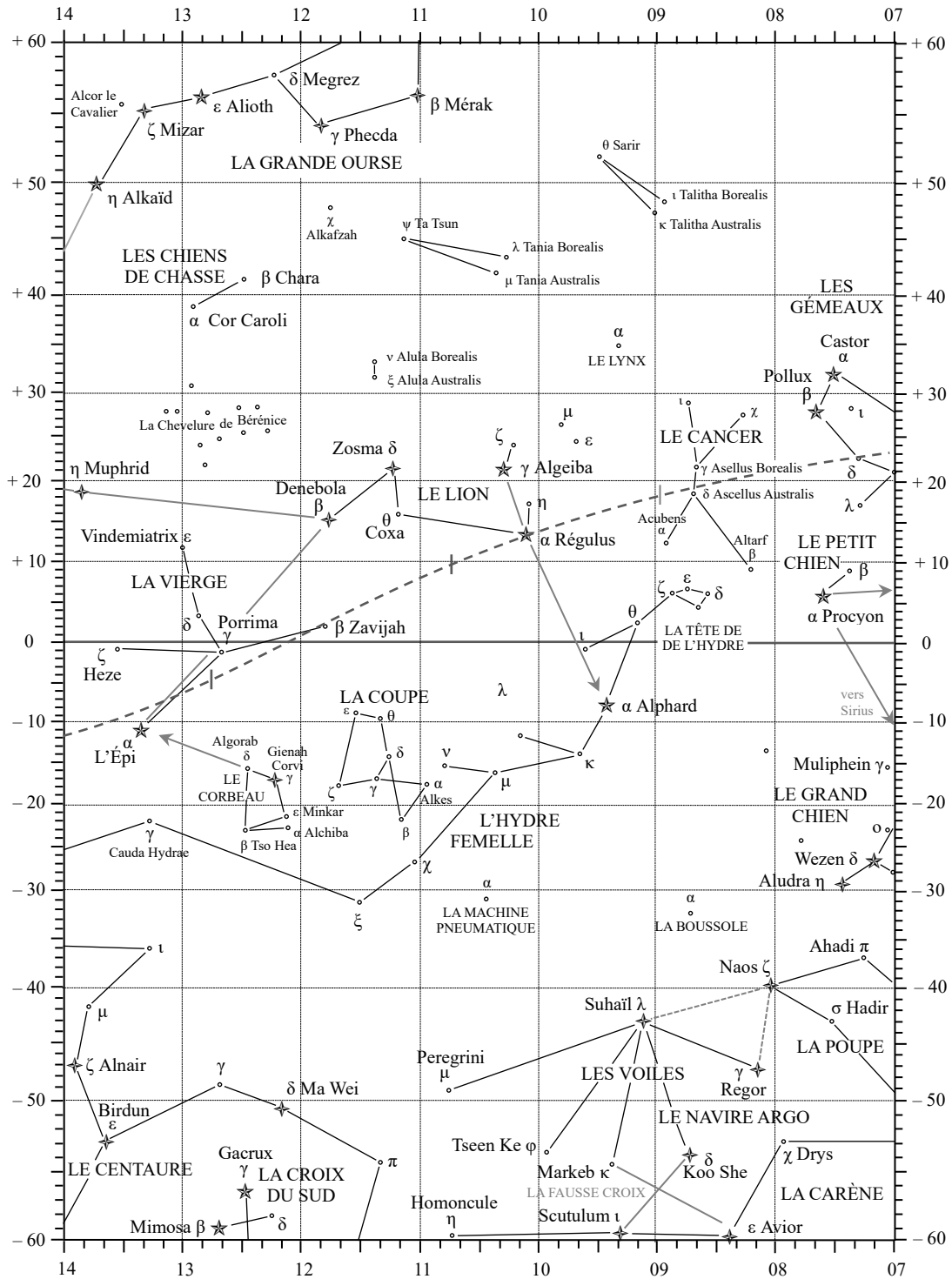
ANNEXE

CARTE ÉQUATORIALE 3/4

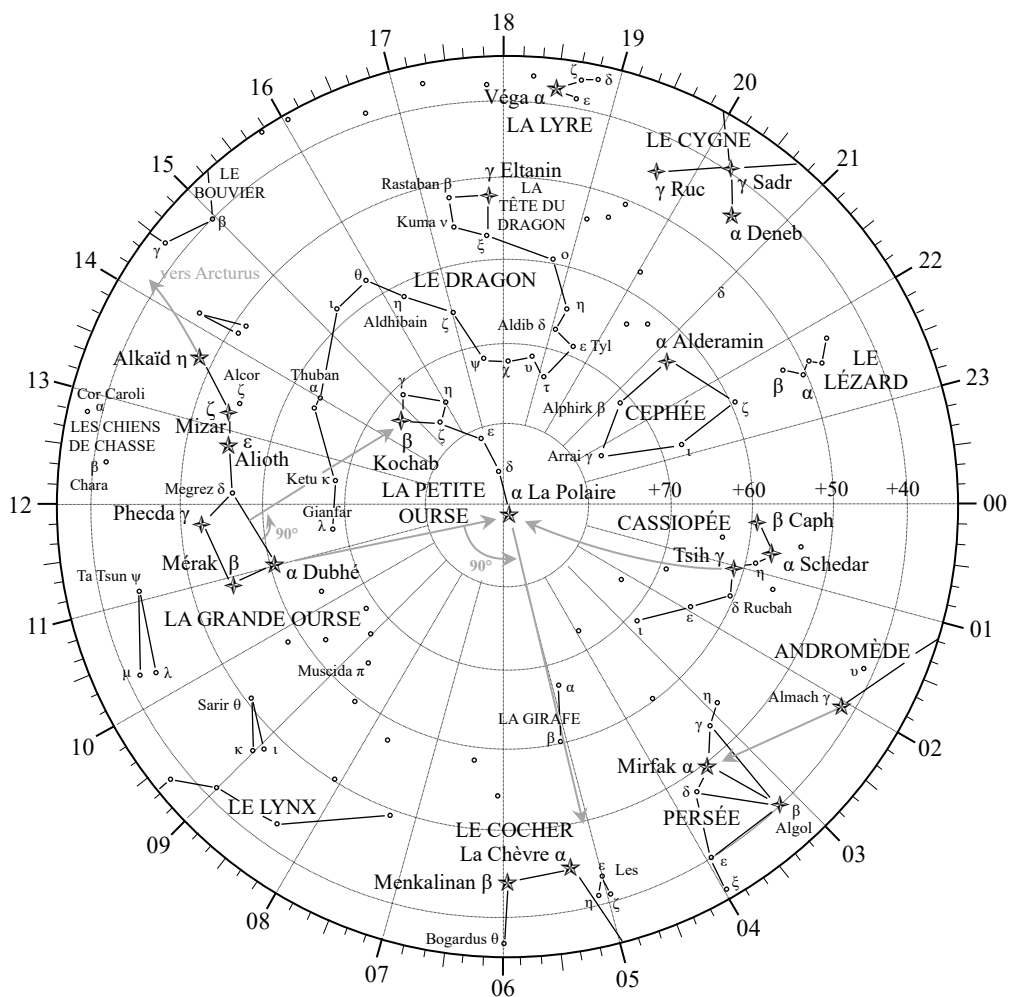


ANNEXE
CARTE ÉQUATORIALE 4/4

Sens du mouvement diurne vu de la terre

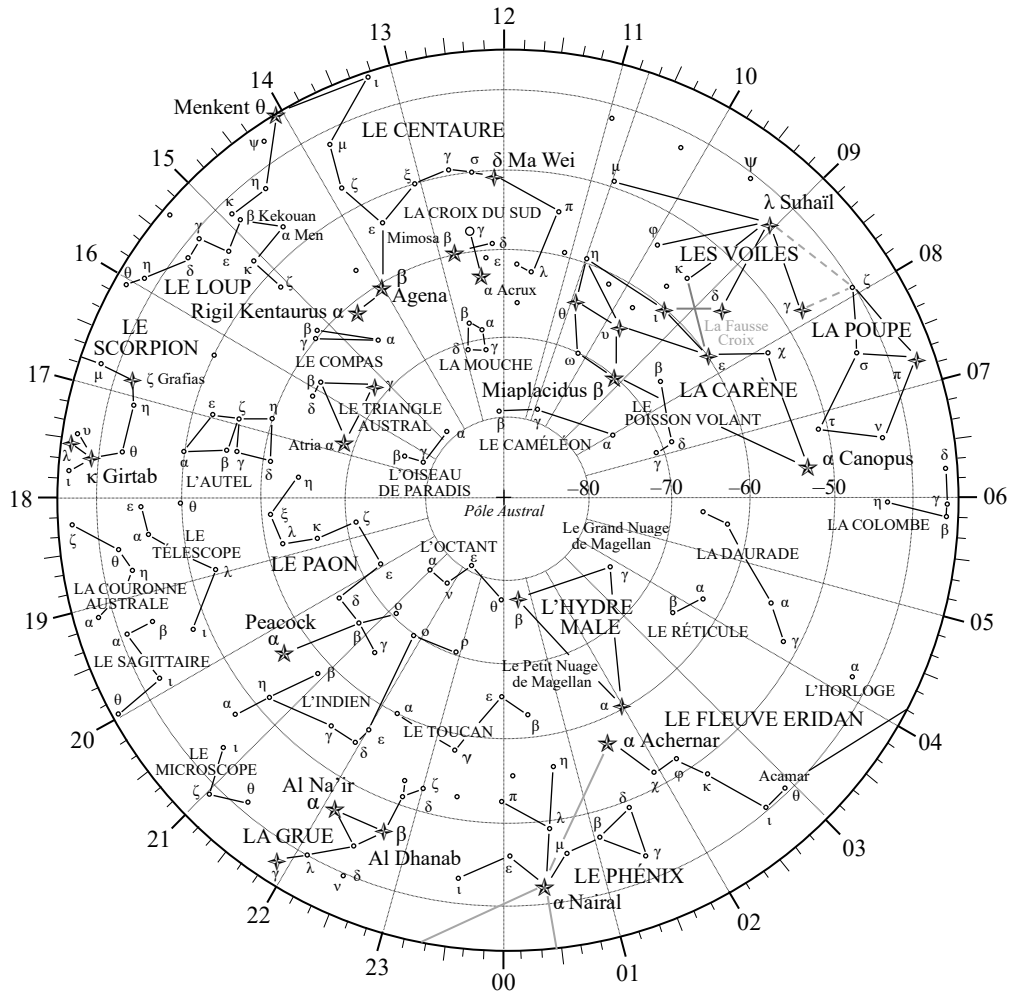


ANNEXE CARTE BORÉALE




 Sens du mouvement diurne vu de la Terre

ANNEXE
CARTE AUSTRALE



←
Sens du mouvement diurne vu de la Terre