

l'équinoxe du printemps. La terre ayant dépassé cette position pour aller en T", le pôle boréal P' est tourné vers le soleil S; ce pôle reçoit les rayons solaires, jusqu'à ce que la terre vienne en T"', où la ligne des équinoxes T''A'' est de nouveau dirigée vers le soleil S; dans cette nouvelle position, on est à l'équinoxe d'automne. La terre continuant à se mouvoir, le pôle boréal cesse d'être éclairé, et le pôle austral l'est à son tour, jusqu'à ce que la terre revienne en T', c'est-à-dire jusqu'au commencement du printemps suivant. On comprend très-bien par là comment la portion de l'hémisphère boréal de la terre, qui reste éclairée pendant toute la durée d'un jour, augmente constamment d'étendue depuis l'équinoxe du printemps jusqu'au solstice d'été, et diminue ensuite progressivement du solstice d'été à l'équinoxe d'automne; et de même comment des circonstances analogues se produisent depuis l'équinoxe d'automne jusqu'à l'équinoxe du printemps, dans la région qui avoisine le pôle austral de la terre.

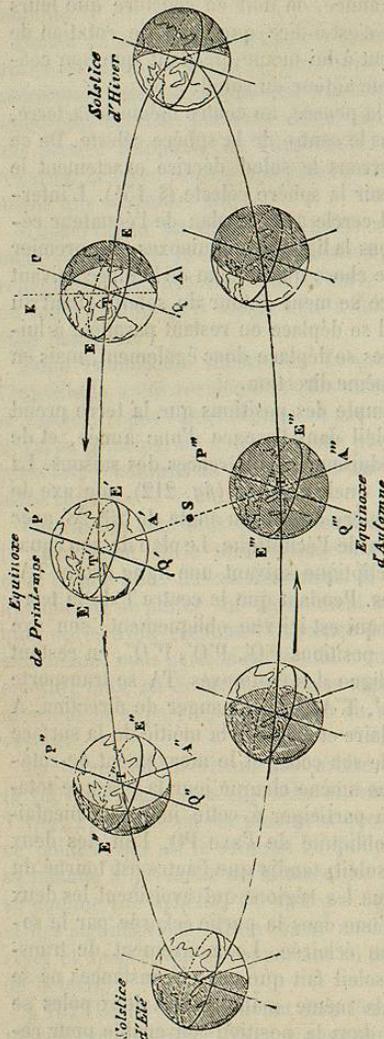


FIG. 212.

S 163. Précession des équinoxes — Nous venons de dire

que, pendant que la terre se meut autour du soleil, son axe de rotation se déplace en restant toujours parallèle à lui-même. Il n'en est pas rigoureusement ainsi. L'axe de rotation de la terre conserve bien très-sensiblement la même direction dans l'espace, pendant tout le cours d'une même année; mais, si l'on compare les positions qu'il a occupées à deux époques éloignées l'une de l'autre d'un certain nombre d'années, on reconnaît que sa direction a changé d'une manière notable.

On se fera une idée très-nette de ce changement progressif dans la direction de la ligne des pôles de la terre, en comparant le mouvement de rotation du globe au mouvement d'une toupie (fig. 213). Souvent on voit l'axe de figure AB de la toupie prendre une position oblique par rapport à la verticale qui passe par son point d'appui A sur le sol; mais alors, pendant que la toupie tourne autour de cet axe, il se meut lui-même en tournant autour de la verticale, tout en conservant la même obliquité: l'axe de la toupie décrit ainsi un cône BAB', dont l'axe est la verticale AC.

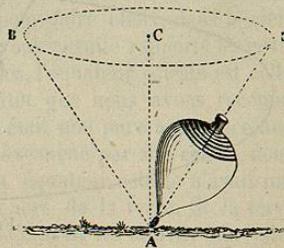


FIG. 213.

La rotation de la terre autour de son centre s'effectue dans des conditions entièrement analogues: pendant qu'elle tourne autour de sa ligne des pôles, cette ligne, inclinée de  $23^{\circ} 28'$  sur la perpendiculaire au plan de l'écliptique, décrit un cône autour de cette perpendiculaire, et prend ainsi successivement des directions différentes dans l'espace. Si à ce mouvement de rotation, plus complexe que nous ne l'avions indiqué tout d'abord, nous joignons le mouvement du centre de la terre autour du soleil, nous aurons une idée complète du mouvement de la terre dans l'espace.

Le mouvement de révolution de la ligne des pôles TP (fig. 214), autour de la perpendiculaire TK au plan de l'écliptique, est extrêmement lent; en sorte qu'au bout d'une année, cette ligne TP occupe une position Tp très-voisine de celle qu'elle occupait au commencement de cette année. C'est ce qui fait que, pendant tout le cours de l'année, on peut regarder l'axe de rotation de la terre comme restant parallèle à lui-même. Mais le changement de direction de cet axe, bien que très-petit, n'en existe pas moins, et se produit d'une manière continue. Le plan de l'équateur céleste, mené par le centre de la terre, perpendiculairement à la ligne des

pôles TP, change donc aussi peu à peu de direction; et par conséquent la ligne des équinoxes TA, intersection de ce plan avec le plan de l'écliptique, tourne lentement autour du centre T de la terre, en restant dans ce dernier plan. Dans l'espace d'une année, la ligne des pôles passant de la direction TP à la direction Tp, la ligne des équinoxes, qui était d'abord dirigée suivant TA, viendra

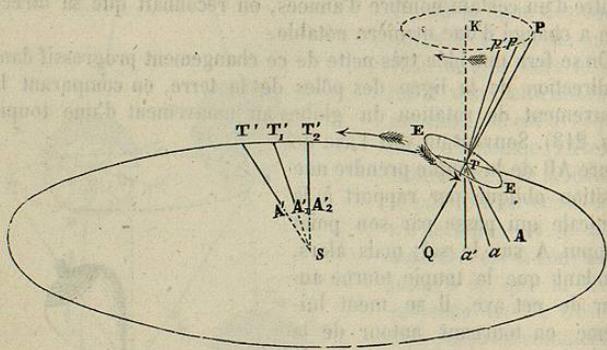


FIG. 214.

prendre la direction Ta. Au bout d'une seconde année, la ligne des pôles ayant pris la position Tp', la ligne des équinoxes sera dirigée suivant Ta', et ainsi de suite.

Ce changement progressif de direction de la ligne des équinoxes a une influence sur les époques auxquelles commencent les diverses saisons de chaque année. Le printemps commence lorsque cette ligne est dans la position TA', passant par le soleil S. Si elle était toujours parallèle à elle-même le printemps de l'année suivante ne commencerait que lorsque la terre, ayant fait tout le tour de l'écliptique, viendrait de nouveau se placer en T. Mais il n'en est pas ainsi. D'après le sens dans lequel la ligne des équinoxes tourne dans le plan de l'écliptique, si le printemps a commencé à une certaine époque, lorsque la terre était en T, il commencera l'année suivante lorsqu'elle sera en T<sub>1</sub>, de telle manière que la nouvelle direction T<sub>1</sub>A<sub>1</sub> de la ligne des équinoxes passe encore par le soleil S; un an plus tard, le printemps commencera lorsque la terre sera en T<sub>2</sub>, et ainsi de suite. L'époque à laquelle arrive l'équinoxe du printemps précède donc, chaque année, d'une certaine quantité, celle à laquelle il serait arrivé, si l'axe de la terre n'éprouvait pas le changement continu de direction dont nous nous occupons; c'est pour cela que le

mouvement de révolution de cet axe, autour de la perpendiculaire au plan de l'écliptique, est désigné sous le nom de *précession des équinoxes*.

§ 164. Voyons comment ce changement progressif de direction de la ligne des pôles, et par suite de la ligne des équinoxes, peut influer sur les mouvements apparents que nous avons étudiés; et comment, par conséquent, le phénomène de la précession des équinoxes a pu être découvert, par l'observation de ces mouvements apparents.

La première notion que nous avons acquise sur les mouvements des astres est celle de la rotation diurne de la sphère céleste autour de la ligne des pôles. C'est sur la connaissance de ce mouvement que nous nous sommes fondés pour faire choix, dans le ciel, de certaines lignes auxquelles nous avons ensuite rapporté les positions des divers astres. Parmi ces lignes, l'équateur céleste est celle qui joue le principal rôle. Mais aussitôt que nous avons reconnu que le mouvement diurne des astres était une pure apparence, due à ce que la terre tourne autour d'un axe mené par son centre, nous avons été en mesure de voir que cet équateur céleste n'avait pas d'existence réelle dans le ciel, en dehors de la terre. Si la terre venait à être anéantie, ou bien si elle cessait de tourner sur elle-même, il ne resterait plus aucune trace de cet équateur, que nous avions cependant regardé tout d'abord comme une ligne immuable, capable par sa fixité de nous faire reconnaître si un astre était en repos ou en mouvement.

Ces considérations nous amènent tout naturellement à ne plus attribuer à l'équateur céleste ce caractère de fixité que nous lui avons supposé d'abord. La position de ce grand cercle de la sphère céleste étant déterminée par la direction de l'axe de rotation de la terre, un changement dans la direction de cet axe doit en amener un correspondant pour l'équateur. En sorte que, l'universalité des étoiles étant regardée comme constituant à proprement parler la partie fixe de la sphère céleste, le grand cercle de l'équateur doit se déplacer progressivement sur cette sphère. En vertu de ce déplacement, l'équateur doit couper l'écliptique successivement en différents points, c'est-à-dire que les équinoxes doivent se mouvoir le long de l'écliptique. Ainsi EE (fig. 215) étant la position de l'équateur sur la sphère céleste à une certaine époque, et ABCD celle de l'écliptique, que le centre du soleil semble parcourir dans le sens de la flèche, l'équateur doit venir successivement se placer en E'E', E''E'''...; de telle manière que l'équinoxe du printemps, en allant de A en A', puis de A' en A'', et

ainsi de suite, marche en sens contraire du sens dans lequel le soleil parcourt l'écliptique. On voit, en effet, qu'en un pareil déplacement de l'équateur, et par suite des équinoxes, le soleil, partant de l'équinoxe du printemps

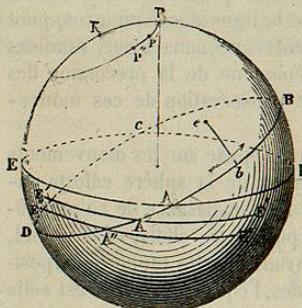


FIG. 215.

En vertu de ce mouvement de l'équateur sur la sphère céleste, les étoiles, tout en restant immobiles, changent de position par rapport à lui; l'ascension droite et la déclinaison de chacune d'elles doivent donc varier constamment; et ces variations, que l'on peut constater

en comparant les ascensions droites et les déclinaisons observées à des époques éloignées les unes des autres, peuvent servir à la détermination du mouvement de l'équateur. Mais les choses se simplifient lorsque, au lieu de comparer les diverses valeurs que prennent à différentes époques l'ascension droite et la déclinaison d'une même étoile, on compare les valeurs correspondantes de sa longitude et de sa latitude (§ 143). Le déplacement de l'équateur sur la sphère céleste ne change pas la position de l'étoile *e* (fig. 215), par rapport à l'écliptique; la latitude *eb* de l'étoile doit donc rester constamment la même; et la longitude *Ab* ne doit varier qu'en raison du mouvement de l'équinoxe *A*, que l'équateur entraîne avec lui en sens contraire du mouvement apparent du soleil sur l'écliptique. Ainsi le mouvement de l'équateur sur la sphère doit être rendu manifeste par l'accroissement continu qu'éprouvent les longitudes des différentes étoiles, accroissement qui doit être le même pour toutes.

C'est en constatant cette augmentation progressive des longitudes des étoiles, qu'Hipparque découvrit la précession des équinoxes. Le long espace de temps qui s'est écoulé depuis l'époque des observations faites par ce grand astronome nous permet de mettre le phénomène encore plus en évidence qu'il n'avait pu le faire. Ainsi il avait trouvé, en l'an 128 avant J.-C., que la longitude de l'Epi de la Vierge était de  $174^{\circ}$ ; d'un autre côté, d'après des observations faites par Maskelyne, la longitude de cette étoile, en 1802, était de  $201^{\circ} 4' 41''$ : l'excès du dernier nombre sur le premier, ex-

cès qui surpasse  $27^{\circ}$ , est entièrement dû au déplacement de l'équinoxe du printemps sur l'écliptique, pendant le long espace de temps, de 1930 années, qui sépare les observations d'Hipparque et de Maskelyne.

L'exemple qui vient d'être cité peut servir à déterminer la quantité dont l'équinoxe du printemps s'est déplacé en moyenne, chaque année, pendant le temps auquel il se rapporte. Mais on peut aussi trouver la grandeur de ce déplacement annuel de l'équinoxe, en comparant les résultats d'observations faites, à quelques années de distance, avec les moyens précis que l'on possède actuellement: on trouve ainsi que l'équinoxe parcourt chaque année sur l'écliptique un arc de  $50'',2$ . Il faudrait, d'après cela, qu'il s'écoulât environ 26 000 ans pour que l'équinoxe fit le tour entier de l'écliptique, s'il conservait toujours la vitesse avec laquelle il se meut maintenant.

Comme on a souvent, en astronomie, à considérer des mouvements qui se font sur la sphère céleste, soit suivant l'écliptique, soit suivant des lignes qui ne s'en écartent pas beaucoup, on a adopté des expressions spéciales pour désigner le sens de ces mouvements. Tout mouvement qui s'effectue dans le sens dans lequel le soleil parcourt l'écliptique prend le nom de *mouvement direct*; tout mouvement qui a lieu dans le sens contraire est un *mouvement rétrograde*. Il est aisé de voir, d'après ce qui précède, que le mouvement de l'équinoxe du printemps est rétrograde; on donne quelquefois à ce mouvement le nom de *rétrogradation des équinoxes*.

§ 165. S'il est vrai que la ligne des pôles de la terre décrit un cône de révolution autour de la perpendiculaire au plan de l'écliptique comme axe (§ 163), l'angle compris entre le plan de l'écliptique et le plan de l'équateur, c'est-à-dire l'angle que l'on désigne habituellement sous le nom d'obliquité de l'écliptique, doit conserver constamment la même valeur de  $23^{\circ} 28'$ . C'est ce qui arrive en effet à peu près, et nous ne ferons pas attention tout d'abord aux variations qu'éprouve cet angle, variations sur lesquelles nous reviendrons dans un instant.

Le mouvement conique de l'axe de la terre autour de la perpendiculaire au plan de l'écliptique étant supposé se continuer indéfiniment, avec les caractères qu'il présente à l'époque actuelle, il devra en résulter des modifications considérables dans les positions des étoiles relativement à l'équateur et aux pôles de la sphère céleste. Le pôle *P* se déplace suivant le petit cercle *PPP'* (fig. 215), dont tous les points sont éloignés de  $23^{\circ} 28'$  du pôle *K* de l'éclip-

tique; il va donc successivement prendre différentes positions dans les constellations que ce petit cercle traverse.

L'étoile polaire, qui tire son nom de la position qu'elle occupe tout près du pôle boréal, n'a pas toujours été dans ces conditions. Le pôle boréal s'en rapproche constamment depuis un temps très-long. Il en est maintenant à une distance d'environ un degré et demi, et cette distance diminuera encore jusque vers l'année 2120, où elle ne sera plus que d'environ un demi-degré. A partir de là, le pôle boréal s'éloignera de cette étoile; et dans 13 000 ans il en sera à une distance d'environ 47 degrés. Bien longtemps avant cette époque, l'étoile cessera d'être dans les conditions qui lui ont fait donner le nom d'étoile polaire.

En vertu du mouvement de précession, le pôle boréal se rapproche constamment de l'étoile Wéga, dont il est éloigné actuellement de plus de 51 degrés. Dans 12 000 ans, il n'en sera plus qu'à une distance d'environ 5 degrés; et cette étoile, par son vif éclat, remplacera avec avantage l'étoile polaire actuelle.

On trouve un effet remarquable de la précession des équinoxes, dans les positions qu'occupent les signes de l'écliptique (§ 131) par rapport aux constellations d'où ils tirent leur nom. A l'époque d'Hipparque, les signes de l'écliptique étaient désignés par les nom des constellations au milieu desquelles ils se trouvaient placés. La rétrogradation des équinoxes a depuis constamment déplacé les signes parmi ces constellations; car, l'écliptique étant toujours divisée en 12 parties égales, le mouvement rétrograde de l'équinoxe du printemps, qui est un des points de division, détermine nécessairement un mouvement analogue pour les autres points. Il en est résulté que les signes de l'écliptique, tout en conservant les mêmes noms, sont sortis peu à peu des constellations au milieu desquelles ils se trouvaient d'abord, pour venir se placer dans les constellations voisines. Nous avons vu (§ 164) que depuis Hipparque jusqu'à l'époque actuelle, l'équinoxe du printemps a rétrogradé de plus de 27°, c'est-à-dire d'une quantité qui ne diffère pas beaucoup de la grandeur de chacun des signes; et, par conséquent, chaque signe occupe maintenant sur l'écliptique à peu près la place qu'occupait le signe précédent du temps d'Hipparque. On s'en aperçoit facilement en jetant les yeux sur la planche II. Si l'on suit, de droite à gauche, la ligne sinueuse qui représente le développement de l'écliptique, en partant du point où cette ligne coupe l'équateur, vers la droite de la carte, on rencontre successivement les constellations des Poissons, du Bélier, du Taureau, des Gémeaux, etc.; c'est-à-dire que le signe du Bélier est dans la constellation des

Poissons, celui du Taureau dans la constellation du Bélier, et ainsi de suite.

§ 166. **Diminution séculaire de l'obliquité de l'écliptique.** — Dans ce qui précède, nous avons regardé l'obliquité de l'écliptique comme restant toujours la même, puisque nous avons dit que l'axe de la terre décrit un cône de révolution autour de la perpendiculaire au plan de l'écliptique; ce qui revient à dire que la première ligne se déplace en faisant toujours le même angle avec la seconde. Il n'en est cependant pas rigoureusement ainsi, comme on le reconnaît en comparant entre elles les valeurs de l'obliquité de l'écliptique trouvées à diverses époques éloignées les unes des autres. C'est ce que le tableau suivant mettra complètement en évidence.

DATES des OBSERVATIONS.	NOMS des OBSERVATEURS.	LIEUX D'OBSERVATION.	OBLIQUITÉ.
4100 avant J. C. . . . .	Tcheou Koung . . . . .	Chine. . . . .	23° 54'
350 id. . . . .	Pythéas . . . . .	Marseille . . . . .	23 49
250 id. . . . .	Eratosthène . . . . .	Alexandrie . . . . .	23 46
50 id. . . . .	Lieou Hiang . . . . .	Chine . . . . .	23 46
173 après J. C. . . . .	.....	Chine . . . . .	23 41
461 id. . . . .	Tsou-Chong . . . . .	Chine . . . . .	23 39
629 id. . . . .	Litchou Foung . . . . .	Chine . . . . .	23 40
880 id. . . . .	Albatenius . . . . .	Arabie . . . . .	23 36
1000 id. . . . .	Ibn Jonnis . . . . .	Le Caire . . . . .	23 34
1279 id. . . . .	Cocheou King . . . . .	Pékin . . . . .	23 32
1437 id. . . . .	Ulug Bey . . . . .	Samarkande . . . . .	23 31
1800 id. . . . .	Delambre . . . . .	Paris . . . . .	23 28

On voit que l'obliquité a constamment diminué, depuis l'époque des plus anciennes observations que l'on connaisse. Mais cette diminution est excessivement faible, relativement au mouvement de précession que nous avons étudié dans les paragraphes qui précèdent : en sorte que, pendant un temps assez long, on peut en faire abstraction, et regarder par conséquent le déplacement de l'axe de la terre comme s'effectuant sur la surface d'un cône de révolution autour de la perpendiculaire au plan de l'écliptique.

On se demande naturellement à quoi tient cette diminution lente de l'obliquité de l'écliptique. Doit-on l'attribuer à ce que l'axe de la terre, tout en tournant autour de l'axe de l'écliptique, se rapproche peu à peu de ce dernier axe? Ou bien doit-on la regarder comme provenant de ce que l'axe de l'écliptique se déplace lui-

même d'une petite quantité, pendant que l'axe de la terre tourne autour de lui? Le plan de l'écliptique peut tout aussi bien changer de direction dans l'espace que le plan de l'équateur; en effet, on comprend qu'il peut très-bien arriver que le centre de la terre, en se mouvant autour du soleil, ne reste pas toujours exactement dans un même plan. L'observation seule doit décider la question.

L'écliptique a été supposée invariable dans le ciel jusqu'à Tycho-Brahé. Mais cet astronome, ayant remarqué que les latitudes des étoiles situées vers les solstices avaient varié d'au moins un tiers de degré, depuis les premières observations de l'école d'Alexandrie, en a conclu que l'écliptique se déplaçait lentement dans l'espace. L'examen attentif des variations éprouvées par les latitudes des diverses étoiles a fait voir que le mouvement de l'écliptique ne diffère pas beaucoup de celui que ce grand cercle prendrait, s'il tournait autour de la ligne des équinoxes, comme autour d'une charnière, pour se rabattre sur le plan de l'équateur.

Ainsi l'angle que l'équateur fait avec l'écliptique ne varierait pas, si l'écliptique conservait une position fixe dans l'espace; l'équateur ne ferait que tourner autour de l'axe de l'écliptique, de manière que la ligne des pôles décrirait un cône de révolution autour de cet axe. Mais l'écliptique changeant insensiblement de direction dans l'espace, il en résulte que le mouvement rétrograde des équinoxes est accompagné d'une diminution lente de l'obliquité de l'écliptique.

D'après les observations modernes, cette diminution de l'obliquité est actuellement de  $48''$  par siècle, ou de  $0,48$  par année. Suivant Delambre, la valeur de l'obliquité en 1800 était de  $23^{\circ} 27' 57''$ ; on en conclura sans peine la valeur de cet angle pour une autre époque. Ainsi en 1850 elle était de  $23^{\circ} 27' 33''$ ; en 1900 elle se réduira à  $23^{\circ} 27' 9''$ .

C'est l'obliquité de l'écliptique qui a servi de base à la division de la surface de la terre en cinq zones (§ 136). Le changement continuel de la valeur de cette obliquité entraîne un déplacement correspondant des tropiques et des cercles polaires, dont les premiers se rapprochent constamment de l'équateur, tandis que les derniers se rétrécissent en se rapprochant des pôles. Mais le changement d'étendue qui en résulte, pour la zone torride et pour les zones glaciales, est tellement faible, qu'on peut regarder ces zones comme restant les mêmes pendant un temps très-long.

§ 167. **Déplacement lent du périhélie de la terre.** — En même temps que le plan de l'orbite décrite par la terre autour du

soleil change peu à peu de direction dans l'espace, l'ellipse qu'elle parcourt tourne lentement dans ce plan, de manière que son grand axe prend successivement différentes directions. Il est aisé de voir comment ce mouvement a pu être constaté par les observations.

Le mouvement de la terre autour du soleil occasionne, comme nous l'avons vu, le mouvement apparent du soleil autour de la terre. Dans ce mouvement apparent, le soleil semble décrire une ellipse précisément égale à celle que la terre décrit autour de lui; et les directions des grands axes de ces deux ellipses sont exactement les mêmes (§ 160). Il en résulte nécessairement que, si le grand axe de l'orbite elliptique de la terre change de direction dans son plan, il doit en être de même du grand axe de l'ellipse que le soleil semble décrire autour de la terre. Or, la position du grand axe de cette ellipse est indiquée par la longitude du périhélie solaire. Il suffit donc de comparer les valeurs de cette longitude, obtenues à deux époques éloignées l'une de l'autre, pour reconnaître si, dans l'intervalle, le périhélie est resté immobile, ou a changé de position.

Flamsteed a trouvé, en 1690, que la longitude du périhélie solaire était de  $227^{\circ} 35' 31''$ ; en 1775, cette longitude était de  $279^{\circ} 3' 17''$ , d'après Delambre. Elle a donc varié, dans l'intervalle, de  $1^{\circ} 27' 46''$ , ou  $5266''$ : ce qui fait  $61,9$  par année. Si cet accroissement annuel de la longitude du périhélie solaire était seulement égal à  $50,2$ , quantité dont rétrograde, l'équinoxe du printemps chaque année, on en conclurait que le périhélie a conservé la même place parmi les étoiles; l'accroissement de sa longitude devrait être attribué uniquement au mouvement de l'équinoxe, de même que l'accroissement qu'éprouvent continuellement les longitudes des étoiles (§ 164). Mais la longitude du périhélie augmente chaque année de  $11,7$  de plus que les longitudes des étoiles: cela ne peut tenir qu'à ce que le périhélie se déplace sur l'écliptique de  $11,7$  par an, et d'un mouvement direct. Pendant que la ligne des équinoxes TA (*fig.* 216) rétrograde pour prendre la position TA', le grand axe TM tourne de manière à venir se diriger suivant TM'; en sorte que la longitude du périhélie M, comptée à partir de la ligne des équinoxes, et dans le sens de la flèche, s'accroît de la somme des angles ATA', MTM'.

C'est la position du grand axe de l'ellipse solaire, par rapport aux lignes des équinoxes et des solstices, qui détermine les différences de durée des saisons (§ 149). Le mouvement de ce grand axe par rapport aux équinoxes et aux solstices, mouvement qui ré-



mouvoir dans le ciel, en raison du déplacement qu'éprouve l'observateur.

Supposons qu'à une époque quelconque, la terre soit en T (fig. 217) sur son orbite TTT'T'', et que l'étoile observée soit en E; cette étoile est en vue dans la direction TE. Au bout de quel-

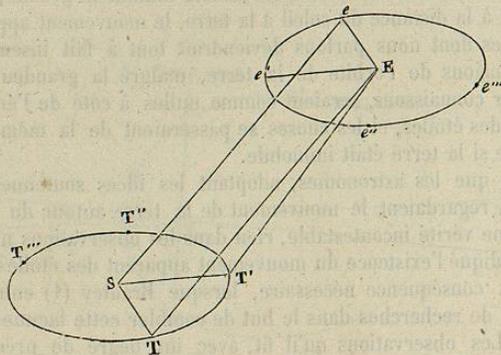


FIG. 217.

que temps, la terre s'étant transportée en T', l'étoile paraît dans une direction T'E, autre que celle TE suivant laquelle on la voyait d'abord. Pour nous rendre compte du changement progressif de cette direction suivant laquelle on voit l'étoile E, à mesure que la terre se déplace, cherchons comment l'étoile devrait se déplacer, pour qu'un observateur, immobile au centre du soleil, la vit successivement de la même manière qu'on la voit de la terre.

Lorsque la terre est en T, l'étoile paraît suivant la direction TE; si l'on mène la ligne Se égale et parallèle à TE, en sorte que la ligne Ce soit aussi égale et parallèle à TS, c'est en e que devrait être l'étoile, pour que l'observateur, placé au centre S du soleil, la vit exactement de même qu'on la voit sur la terre. De même, lorsque la terre est en T', en menant Ee' égale et parallèle à TS, on trouvera la position e', que devrait avoir l'étoile, pour être vue du point S comme on la voit du point T. En opérant ainsi pour les diverses positions de la terre sur son orbite TTT'T'', on verra que les directions suivant lesquelles on aperçoit successivement l'étoile E sont exactement les mêmes que si l'on restait immobile au centre S du soleil, et que l'étoile parcourût la courbe ee'e'', qui est évidemment égale à l'orbite TTT'T'' de la terre, et placée dans un plan parallèle au plan de cet orbite.

Ainsi, en vertu du mouvement annuel de la terre autour du soleil, chaque étoile doit sembler décrire annuellement, dans un plan parallèle au plan de l'écliptique, une courbe ee'e'' (fig. 218), que l'on peut regarder sans grande erreur comme se confondant avec un cercle; ou plutôt, comme nous rapportons tout à la surface de la sphère céleste, l'étoile doit sembler se mouvoir sur cette sphère, en parcourant la courbe mpnq suivant laquelle elle coupe la surface du cône Oee'e''.

Vu la grande distance de l'étoile à la terre, la portion de la surface de la sphère céleste qui se trouve à l'intérieur de ce cône est extrêmement petite, et peut être regardée comme une surface plane; en sorte que la courbe mpnq est une ellipse qui a son grand axe mn parallèle à l'écliptique, et son petit axe pq dirigé perpendiculairement à ce grand cercle. Le rapport de pq à mn varie d'ailleurs, suivant que l'axe du cône est

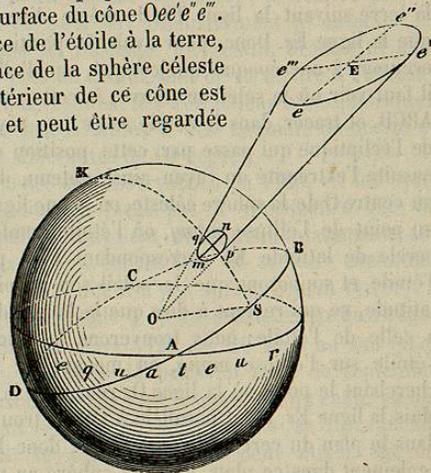


FIG. 218.

plus ou moins oblique sur le plan de sa base, ou, ce qui revient au même, sur le plan de l'écliptique; en sorte que, pour une étoile qui serait située au pôle même de l'écliptique, pq serait égal à mn, et l'ellipse deviendrait un cercle; et si l'on considère des étoiles ayant des latitudes de plus en plus faibles, on trouve que les ellipses qu'elles doivent décrire sont de plus en plus aplaties, de manière à se réduire à de simples lignes droites, pour les étoiles qui se trouvent précisément sur l'écliptique. Quant aux dimensions apparentes de cette ellipse, que chaque étoile semble décrire en vertu du mouvement de la terre autour du soleil, elles sont d'autant plus petites que l'étoile est plus éloignée de nous, puisque l'ellipse résulte de l'intersection de la sphère avec un cône dont la base est toujours égale à l'orbite de la terre, quelle que soit la distance à laquelle se trouve l'étoile qui occupe le centre de cette base.

Afin de bien comprendre les résultats obtenus par Bradley, il

est nécessaire que nous puissions encore savoir quelle position une étoile doit occuper à une époque quelconque, sur l'ellipse  $mpnq$  qu'elle semble décrire annuellement en vertu du déplacement de la terre. Nous y parviendrons facilement de la manière suivante : si nous nous reportons à la figure 217, nous verrons que, à l'époque où la terre est en  $T$ , l'étoile semble être au point  $e$  de son orbite apparente  $ee'e''$ . Mais, à cette époque, le soleil est vu de la terre suivant la ligne  $TS$ , de même direction et de même sens que la ligne  $Ee$ . Donc, pour avoir la position que l'étoile semble occuper, à une époque quelconque, sur l'ellipse  $mpnq$  (fig. 218), il faut voir où le soleil se trouve, à cette époque, sur l'écliptique  $ABCD$ , et tracer, dans le cercle  $ee'e''$ , un rayon parallèle au rayon de l'écliptique qui passe par cette position du soleil; en joignant ensuite l'extrémité du rayon ainsi obtenu, dans le cercle  $ee'e''$ , au centre  $O$  de la sphère céleste, on a une ligne qui perce la sphère au point de l'ellipse  $mpnq$ , où l'étoile semble située. Traçons le cercle de latitude  $KS$  correspondant à la position moyenne de l'étoile, et supposons que le soleil soit au pied  $S$  de ce cercle de latitude, ce qui revient à dire que la longitude du soleil est égale à celle de l'étoile; nous trouverons la place correspondante de l'étoile sur l'ellipse  $mpnq$ , en menant  $Ee$  parallèle à  $OS$ , puis cherchant le point où la ligne  $Oe$  rencontre la surface de la sphère. Mais la ligne  $Ee$ , étant parallèle à  $OS$ , se trouve située tout entière dans le plan du cercle de latitude  $KS$ ; donc la ligne  $Oe$ , contenue également dans ce plan, perce la sphère au point  $p$ , extrémité du petit axe  $pq$  la plus voisine de l'écliptique. On verra de même que, lorsque le soleil aura dépassé le pied  $S$  du cercle de latitude de l'étoile, et s'en sera éloigné de 90 degrés, l'étoile semblera située dans l'espace, à l'extrémité  $e'$  du rayon  $Ee'$  perpendiculaire à  $e$ ; en sorte que cette étoile, ramenée par la pensée sur la surface de la sphère céleste, paraîtra en  $n$ , à l'une des extrémités du grand axe de l'ellipse  $mpnq$ .

Il sera facile d'examiner ainsi quelles sont les places que l'étoile doit sembler occuper successivement sur l'ellipse  $mpnq$ , aux diverses époques d'une année. En ne nous arrêtant qu'aux quatre principales positions que l'étoile prendra chaque année sur cette ellipse, nous pouvons dire qu'elle sera en  $p$  à l'époque où le soleil aura la même longitude qu'elle; puis qu'on la verra successivement en  $n$ , en  $q$  et en  $m$ , lorsque la longitude du soleil surpassera la sienne de 90 degrés, de 180 degrés, et de 270 degrés.

§ 170. Pour arriver à reconnaître l'existence de ce mouvement annuel apparent de chaque étoile, qui est une conséquence néces-

saire du mouvement de la terre autour du soleil, Bradley observa les distances zénithales de certaines étoiles, à leur passage au méridien. Il se servit, pour cela, d'un secteur zénithal de 7<sup>m</sup>,32 de rayon (24 pieds anglais). Cet instrument, que nous n'avons pas décrit spécialement, n'est autre chose que le cercle mural (§ 78) dont on aurait supprimé une grande partie du limbe gradué, pour le réduire à la forme d'un secteur circulaire; le nom de secteur zénithal lui vient de ce qu'il sert exclusivement à observer les astres qui passent dans le voisinage du zénith. Bradley fit ainsi ses observations très-près du zénith, afin de se mettre à l'abri des erreurs qui auraient pu résulter des réfractions atmosphériques, s'il avait observé des astres situés à des hauteurs au-dessus de l'horizon notablement différentes de 90 degrés.

Bradley avait commencé ses observations en 1725, et, les ayant continuées avec assiduité, ne tarda pas à reconnaître que les étoiles dont il s'occupait éprouvaient de petits déplacements annuels; mais ces déplacements étaient loin de se faire conformément à ce que nous avons dit, il n'y a qu'un instant (§ 169). Il trouva, par exemple, que l'étoile  $\gamma$  de la constellation du Dragon (voyez planche I) était, en mars 1726, de 20" plus au sud qu'en décembre 1725; que, du mois de mars au mois de septembre suivant, elle avait marché de 39" vers le nord; et qu'enfin, en décembre 1726, elle était revenue au point où elle se trouvait une année auparavant. Si le déplacement de cette étoile eût été une simple apparence due au mouvement de translation de la terre autour du soleil, c'est au mois de décembre qu'elle aurait dû être le plus au sud, et au mois de juin qu'elle aurait dû être le plus au nord; aux mois de mars et de septembre, elle se serait trouvée dans une position intermédiaire entre ces deux positions extrêmes. En effet, l'ascension droite de l'étoile étant d'à peu près 270 degrés (planche I), et le pôle de l'écliptique étant entre elle et le pôle boréal de l'équateur, on voit que le pied de son cercle de latitude coïncide à peu près avec le solstice d'hiver. C'est donc au mois de décembre, lorsque le soleil se trouve dans le voisinage de ce solstice, que l'étoile devrait être au sommet  $p$  de l'ellipse  $mpnq$  (fig. 218, § 170); et, d'après la position particulière de l'étoile dont il s'agit, ce sommet  $p$  est le point de l'ellipse qui est le plus éloigné du pôle nord. De même, on verrait que c'est au mois de juin, à l'époque du solstice d'été, que l'étoile devrait se trouver au point  $q$ ; c'est-à-dire qu'à cette époque, elle devrait être plus près du pôle nord qu'à toute autre époque de l'année. Les variations successives de la distance de l'étoile  $\gamma$  du Dragon, au pôle

nord, telles que Bradley les a observées, se produisaient bien exactement dans le même ordre que celles que le mouvement de translation de la terre pourrait occasionner; mais elles étaient constamment en retard de trois mois sur ces dernières.

§ 171. Il était impossible, d'après cela, de regarder les déplacements observés, comme étant le résultat du changement de direction de la ligne qui joint l'étoile à la terre, en raison de ce que la terre prend successivement différentes positions autour du soleil. Après avoir cherché, pendant quelque temps, quelle pouvait être la cause de ce phénomène, dont le changement de position de la terre ne pouvait plus rendre compte, Bradley pensa qu'il pouvait être un effet de la transmission successive de la lumière, dont la vitesse avait été trouvée cinquante ans auparavant par Römer, ainsi que nous l'expliquerons plus tard. L'examen attentif de l'influence que pouvait avoir la transmission non instantanée de la lumière sur la direction suivant laquelle on aperçoit une étoile, le confirma pleinement dans cette idée; et il publia, en 1728, une explication complète du phénomène que ses observations lui avaient révélé, phénomène que l'on désigne habituellement sous le nom d'*aberration de la lumière*, ou simplement d'*aberration*. Voici en quoi consiste cette explication :

Quoique la vitesse de la lumière soit excessivement grande, puisqu'elle parcourt, par seconde, environ 75 000 lieues de 4 kilomètres, cette vitesse ne peut pas être regardée comme infiniment grande, relativement à la vitesse que possède la terre dans son mouvement autour du soleil. En effet si l'on regarde l'orbite de la terre comme un cercle de 37 millions de lieues de rayon, et qu'on suppose que la terre se meuve uniformément sur ce cercle dont elle fait le tour en 365 jours et un quart, on trouve facilement qu'elle parcourt un peu plus de 7 lieues et un tiers ( $7\frac{1}{37}$ ) par seconde; la vitesse de la lumière est donc seulement environ 10 000 fois plus grande que celle de la terre.

La vitesse que possède un observateur, emporté par la terre dans son mouvement autour du soleil, doit faire qu'il n'attribue pas aussi exactement la même direction aux rayons de lumière venant d'une étoile que s'il était complètement en repos. Pour le faire comprendre facilement, concevons que l'observateur vise l'étoile au moyen d'une lunette munie d'un réticule. Au moment où la terre est en T (fig. 219), l'étoile étant dans la direction TE, l'axe optique de la lunette ne doit pas être dirigé suivant cette ligne TE, pour que l'observateur puisse voir l'image de l'étoile se cacher derrière la croisée des fils du réticule; il faut que la lunette

ait une certaine position oblique TA, ou TA', telle que la croisée des fils, placée en T', parcoure la distance TT', en vertu du mouvement de la terre, pendant que la lumière parcourt la distance AT : on voit, en effet, que la lumière qui traverse le centre optique de l'objectif A' lorsque la lunette occupe la position TA', arrive en T lorsque la lunette a pris la position TA, et peut, par conséquent, aboutir à la croisée des fils qui se trouvent alors au point T.

L'observateur qui considère la direction de l'axe optique de sa lunette comme étant celle des rayons lumineux qui vien-

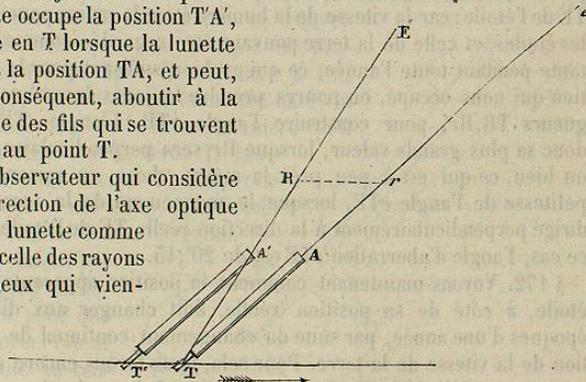


FIG. 219

ment de l'étoile, commet donc une erreur; il croit l'étoile dans la direction Te, tandis qu'elle est dans la direction TE. C'est en cela que consiste l'aberration de la lumière. D'ailleurs, cette erreur n'est pas inhérente à l'emploi d'une lunette à réticule; quel que soit le moyen dont on se servira pour fixer la direction suivant laquelle l'étoile paraît, qu'on se serve d'alidades à pinnules, ou qu'on regarde simplement l'étoile sans se servir d'aucun instrument, le même raisonnement fera voir que l'œil lui-même, pour apercevoir l'étoile, devra se diriger suivant la ligne Te, suivant laquelle on devait précédemment orienter l'axe optique de la lunette.

Ainsi, la vitesse dont l'observateur est animé, en vertu du mouvement de la terre, fait que l'étoile semble être située dans la direction Te, autre que la direction TE, dans laquelle elle se trouve réellement. Pour avoir la direction apparente Te, il est clair qu'il suffira de prendre sur TE, une longueur quelconque TR; de mener par le point R, parallèlement à la direction TT du mouvement de la terre, une ligne Rr dont le rapport à TR soit égal au rapport de la vitesse de la terre à celle de la lumière; et, enfin, de joindre le point T au point r, ainsi obtenu : le triangle TRr sera semblable au triangle ATT', et, par conséquent, la ligne Tr sera parallèle à TA'. L'angle ETe, compris entre la direction apparente et la