

direction réelle de l'étoile, et que l'on nomme *angle d'aberration*, aura diverses grandeurs, suivant que l'on considérera telle ou telle étoile, et que la terre sera en tel ou tel point de son orbite. Mais cet angle ne variera qu'en raison de la variation de l'angle rRT , formé par la direction du mouvement de la terre avec la direction réelle TE de l'étoile; car la vitesse de la lumière étant la même pour toutes les étoiles, et celle de la terre pouvant être regardée comme constante pendant toute l'année, ce qui est bien suffisant pour la question qui nous occupe, on pourra prendre toujours les mêmes longueurs TR, Rr , pour construire l'angle rTR . L'angle eTE aura donc sa plus grande valeur, lorsque Rr sera perpendiculaire à Tr , ou bien, ce qui est à peu près la même chose, en raison de la petitesse de l'angle eTE , lorsque le mouvement de la terre sera dirigé perpendiculairement à la direction réelle TE de l'étoile; dans ce cas, l'angle d'aberration eTE est de $20',45$.

§ 172. Voyons maintenant comment la position apparente d'une étoile, à côté de sa position réelle, doit changer aux diverses époques d'une année, par suite du changement continu de direction de la vitesse de la terre. Pour cela, nous ferons encore ce que nous avons déjà fait pour étudier l'effet produit par le changement de position de la terre (§ 169) : nous chercherons comment l'étoile devrait se déplacer dans l'espace, pour qu'un observateur, immobile au centre du soleil, la vit successivement dans les différentes directions suivant lesquelles elle paraît aux observateurs que la terre emporte dans son mouvement. De plus, pour ne pas compliquer les choses, nous supposerons que la vitesse de la terre détermine seule un changement dans la direction suivant laquelle on aperçoit l'étoile aux diverses époques d'une année; nous ferons donc abstraction du changement de direction de l'étoile, provenant de ce que la terre se transporte successivement en différents points de l'espace; c'est-à-dire que nous regarderons les dimensions de l'orbite terrestre comme nulles relativement à la distance à laquelle se trouve l'étoile, et les lignes qui joignent cette étoile aux différentes positions de la terre comme toutes parallèles à celle qui la joint au soleil. Lorsque la terre est en T (fig. 220), sa vitesse est dirigée suivant la tangente TA à son orbite, c'est-à-dire suivant une ligne qui est à peu près perpendiculaire au rayon TS , car l'orbite de la terre ne diffère pas beaucoup d'un cercle dont le soleil S occuperait le centre. Menons par le point S une ligne SE , dirigée vers l'étoile E que nous considérons et par conséquent parallèle à la ligne qui joindrait l'étoile à la terre, d'après ce que nous admettons; menons ensuite, par un point R de

cette ligne SE , parallèlement à la tangente TA , une ligne Rr dont le rapport à SR soit égal au rapport de la vitesse de la terre à la vitesse de la lumière : c'est parallèlement à Sr que l'étoile sera aperçue par un observateur placé sur la terre, en T , ainsi que cela résulte de ce que nous avons expliqué précédemment. L'étoile, au lieu d'être en E , devrait donc se trouver en e , à l'intersection de la ligne Sr prolongée, avec la ligne Ee parallèle à Rr , pour que l'observateur, immobile en S , la vit exactement de la même manière qu'il la voit étant sur la terre T . Lorsque la terre est en T' , l'observateur qui y est situé voit l'étoile parallèlement à une direction Sr' , qu'on obtient par un moyen analogue; et, pour que cet observateur immobile au centre du soleil, la voie de la même manière, il faut admettre que l'é-

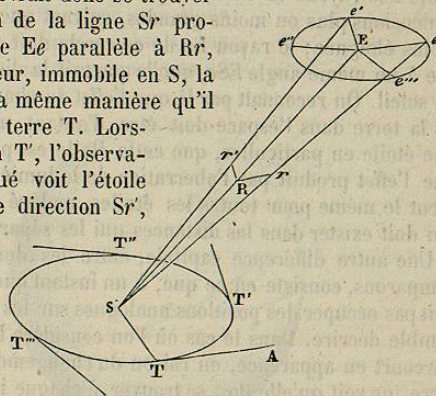


FIG. 220.

toile s'est transportée en e' , à l'extrémité d'une ligne Ee' égale à Ee et parallèle à la tangente en T' à l'orbite de la terre. Il est aisé de voir, d'après cela, que, si l'on mène par le point E des lignes Ee', Ee'', Ee''' ..., toutes égales à Ee , et respectivement parallèles aux tangentes à l'orbite terrestre en T', T'', T''' ..., l'étoile devra décrire la courbe $ee'e''e'''$ formée par les extrémités de ces lignes, pour qu'un observateur immobile au centre du soleil la voie constamment dans la direction où il la verrait, s'il était sur la terre, et participait à son mouvement.

La courbe $ee'e''e'''$, que l'étoile doit ainsi paraître décrire annuellement, en vertu de l'influence de la vitesse de la terre, est évidemment un cercle dont le plan est parallèle au plan de l'écliptique. Le résultat auquel nous parvenons a donc une certaine analogie avec celui que nous avons obtenu, lorsque nous cherchions le mouvement apparent de l'étoile produit par le changement de position de la terre dans l'espace : dans chacun des deux cas, l'étoile semble décrire un cercle dont le plan est parallèle au plan de l'écliptique. Mais il y a, entre les deux résultats, des différences essentielles que nous allons signaler.

Le cercle que l'étoile doit sembler décrire en vertu du changement de position de la terre dans l'espace a exactement les mêmes dimensions que l'orbite de la terre, quelle que soit la distance à laquelle se trouve l'étoile; celui que l'étoile semble parcourir en vertu de l'influence de la vitesse de la terre sur la direction apparente des rayons de lumière qui en viennent, a, au contraire, des dimensions plus ou moins grandes, suivant que l'étoile est plus ou moins éloignée; le rayon Ee de ce cercle doit toujours correspondre à un même angle ESe , quelle que soit la distance ES de l'étoile au soleil. On reconnaît par là que l'effet du changement de position de la terre dans l'espace doit être d'autant moins sensible pour une étoile en particulier, que cette étoile est plus éloignée; tandis que l'effet produit par l'aberration de la lumière doit être exactement le même pour toutes les étoiles, malgré la grande inégalité qui doit exister dans les distances qui les séparent de nous.

Une autre différence capitale, entre les deux effets que nous comparons, consiste en ce que, à un instant quelconque, l'étoile ne doit pas occuper des positions analogues sur les deux cercles qu'elle semble décrire. Dans le cas où l'on considère le cercle que l'étoile parcourt en apparence, en raison du changement de position de la terre, on voit qu'elle doit se trouver, à chaque instant, à l'extrémité du rayon Ee , parallèle à la ligne TS qui joint la terre au soleil, (*fig.* 217); dans l'autre cas, l'influence de la vitesse de la terre, sur la direction que l'on attribue aux rayons de lumière venus de l'étoile, fait paraître cette étoile à l'extrémité du rayon Ee , parallèle à la tangente à l'orbite terrestre T (*fig.* 220) et par conséquent perpendiculaire au rayon TS de cette orbite. En sorte que, si l'on compare les positions successives et correspondantes de l'étoile sur les cercles qu'elle doit sembler décrire en vertu de chacune de ces deux causes dont nous étudions les effets, on voit que, sur le second cercle, elle est toujours en retard de 90 degrés, par rapport à la position qu'elle occupé en même temps sur le premier.

Rien de plus facile maintenant que de voir comment une étoile doit sembler se déplacer annuellement sur la sphère céleste, par suite de la vitesse dont l'observateur est animé à chaque instant. Cette vitesse produit le même effet que si, l'observateur étant immobile, l'étoile parcourait chaque année un cercle $ee'e''$ (*fig.* 221) parallèle au plan de l'écliptique $ABCD$; donc l'étoile doit paraître décrire sur la sphère céleste l'ellipse $mpnq$, suivant laquelle la sphère coupe le cône $Oe'e''$. Cette ellipse a encore son grand axe mn parallèle à l'écliptique, et son petit axe pq dirigé suivant le cercle de latitude KS qui passe par son centre. Le rapport du petit

axe au grand varie exactement de même que dans le cas de la première ellipse que nous avons trouvée (§ 169), suivant la position que l'étoile occupe sur la sphère, par rapport à l'écliptique; ces deux axes seraient égaux, et l'ellipse deviendrait un cercle, pour l'étoile qui serait située au pôle même de l'écliptique; plus la latitude de l'étoile est petite, plus l'ellipse s'aplatit; enfin, pour une étoile située sur l'écliptique, l'ellipse se réduit à son grand axe. Quant à la grandeur apparente du grand axe de l'ellipse, elle est la même pour toutes les étoiles. Ce grand axe correspond au double de la plus grande déviation que les rayons venus de l'étoile doivent éprouver en apparence, par suite de l'influence de la vitesse de la terre; car, sans cette influence, l'étoile serait vue constamment au centre de l'ellipse dont il s'agit: le grand axe de l'ellipse est donc vu sous un angle de $40^{\circ},90$, double de la valeur que nous avons assignée au plus grand angle formé par la direction apparente d'une étoile avec sa direction réelle (§ 171).

Si l'on veut savoir quelle est, à chaque époque de l'année, la position que l'étoile doit sembler occuper sur l'ellipse $mpnq$, il suffit de se rappeler ce que nous avons dit il n'y a qu'un instant: savoir que, sur le cercle $ee'e''$ (*fig.* 221) qu'elle semble décrire dans l'espace, par suite de l'influence de la vitesse de la terre, elle est toujours en retard de 90 degrés, par rapport à la position où elle se trouve sur le cercle analogue qu'elle doit sembler décrire en vertu du déplacement de la terre. Quand on aura trouvé le point du cercle $ee'e''$ où l'étoile semble placée à une époque quelconque, on n'aura qu'à joindre ce point au centre O de la sphère, pour avoir le point correspondant de l'ellipse $mpnq$. En opérant de cette manière, on reconnaîtra que, lorsque le soleil est en S , c'est-à-dire au pied du cercle de latitude KS de l'étoile, celle-ci doit

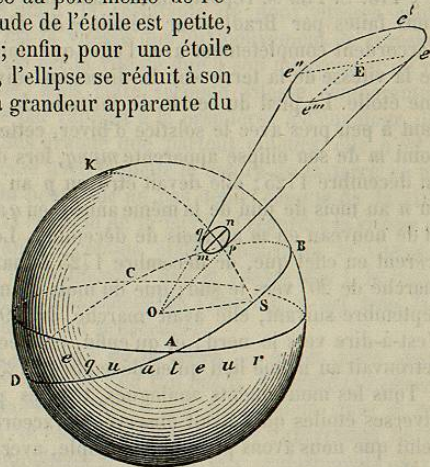


FIG. 221.

paraître placée au sommet m de l'ellipse $mpnq$; et de même, que l'étoile se trouvera en apparence aux points p , n , q , lorsque la longitude du soleil surpassera la sienne de 90 degrés, de 180 degrés et de 270 degrés.

§ 173. Si l'on se reporte maintenant aux résultats des observations faites par Bradley sur l'étoile γ du Dragon, on verra qu'ils s'accordent complètement avec l'effet que doit produire l'influence de la vitesse de la terre sur la direction suivant laquelle on voit une étoile. Le pied du cercle de latitude de γ du Dragon coïncidant à peu près avec le solstice d'hiver, cette étoile devait être au point m de son ellipse apparente $mpnq$, lors des observations faites en décembre 1725; elle devait être en p au mois de mars 1726, en n au mois de juin de la même année, en q au mois de septembre, et de nouveau en m au mois de décembre. Les observations montrèrent en effet que, de décembre 1725 à mars 1726, l'étoile avait marché de 20" vers le sud; que du mois de mars 1726 au mois de septembre suivant, elle avait marché de 39" en sens contraire, c'est-à-dire vers le nord; et qu'enfin, en décembre 1726, elle se retrouvait au même lieu qu'en décembre 1725.

Tous les mouvements analogues, trouvés par Bradley dans les diverses étoiles qu'il avait observées, s'accordent, aussi bien que celui que nous avons pris pour exemple, avec les conséquences de la théorie que nous venons d'exposer, relativement à la déviation que la vitesse de la terre fait éprouver en apparence aux rayons lumineux venant d'une étoile. Cet accord ayant été constaté par Bradley, il regarda les mouvements annuels, qu'il avait reconnus dans les diverses étoiles soumises à ses observations, comme étant réellement dus à cette déviation apparente des rayons lumineux, produite par la combinaison de la vitesse de la terre avec celle de la lumière.

Le phénomène de l'aberration, ainsi découvert par Bradley, et confirmé par toutes les observations faites depuis sa découverte, doit être regardé comme étant d'une extrême importance en astronomie. En effet, outre qu'il a servi à constater l'exactitude des idées émises par Rømer sur la transmission successive de la lumière, il a fourni une preuve directe de la réalité du mouvement de la terre autour du soleil. Si la terre était en repos, les mouvements annuels des étoiles, observés par Bradley, seraient tout à fait inexplicables; tandis que leur explication est toute naturelle, dès qu'on admet que le mouvement du soleil n'est qu'une apparence due à ce que la terre se meut autour de cet astre.

Dans ce qui précède, nous n'avons parlé que du mouvement de

translation de la terre autour du soleil, et nous n'avons rien dit du mouvement de rotation de la terre sur elle-même. La vitesse dont est animé un observateur placé sur la terre est cependant le résultat de l'existence simultanée de ces deux mouvements; on peut la regarder comme étant la résultante de deux vitesses composantes, dont l'une est la vitesse due au mouvement de translation de la terre, et l'autre est la vitesse due à son mouvement de rotation sur elle-même. Mais cette seconde vitesse composante est extrêmement petite par rapport à la première; à l'équateur de la terre, où elle est plus grande que partout ailleurs, elle n'est que les 0,015 de la vitesse avec laquelle le centre de la terre se meut autour du soleil. On peut donc ne pas tenir compte de la vitesse composante due à la rotation de la terre, et regarder la vitesse dont l'observateur est animé comme étant simplement la vitesse du centre de la terre; la modification que la vitesse due à la rotation de la terre apporte au phénomène de l'aberration est trop faible pour qu'il y ait lieu de s'en préoccuper.

§ 174. **Nutation de l'axe de la terre.** — Après avoir découvert l'aberration, Bradley ne s'en tint pas là. Il continua à observer les distances zénithales des étoiles qui paraissaient dans le voisinage de son zénith, et bientôt il reconnut que l'aberration ne pouvait pas rendre complètement compte des déplacements qu'elles éprouvaient dans le ciel. En faisant la part de l'aberration, c'est-à-dire en ramenant chaque étoile dans la position où il aurait dû la voir, si la direction des rayons lumineux qui en venaient n'avait pas été modifiée par l'influence de la vitesse de la terre, il trouva que les diverses étoiles soumises à ses observations changeaient encore peu à peu de position dans le ciel; mais ce changement de position n'était pas annuel, comme celui que devait produire le déplacement de la terre dans son mouvement autour du soleil. C'est ainsi, par exemple, qu'il vit l'étoile γ du Dragon s'avancer constamment vers le pôle boréal, depuis l'année 1727 jusqu'à l'année 1736; et à partir de cette dernière époque, l'étoile commença à se mouvoir en sens contraire, c'est-à-dire à s'éloigner du pôle boréal. Les autres étoiles qu'il observait également lui donnèrent des résultats analogues.

Bradley pensa que ces changements lents, dans la position des étoiles par rapport au pôle, changements qui concordaient tous ensemble, devaient tenir à ce que l'axe de la terre éprouvait une oscillation de part et d'autre de sa position moyenne, ou, suivant l'expression consacrée depuis, une *nutation*. Un pareil mouvement de l'axe de la terre devait en effet, tantôt rapprocher, tantôt éloi-

gner le pôle de certaines étoiles; et, par conséquent, ces étoiles devaient sembler elles-mêmes se rapprocher et s'éloigner alternativement du pôle. La demi-oscillation que Bradley avait observée, de 1727 à 1736, s'étant effectuée dans l'espace de 9 ans, il supposa que la nutation de l'axe de la terre était réglée sur le mouvement des *nœuds de la lune*, mouvement que nous ferons connaître plus tard, et qui s'effectue complètement en un peu plus de 18 ans. Il communiqua ses idées à l'astronome français Lemonnier, et le pria d'observer en même temps que lui la seconde moitié de la période de la nutation qu'il avait découverte. Ce que Bradley avait prédit arriva; et, en 1745, Lemonnier et lui ne conservèrent plus aucun doute sur la réalité de la nutation qu'il avait soupçonnée.

La théorie de la gravitation universelle, venant en aide à l'observation, a fait connaître la cause et les lois de la nutation de l'axe de la terre. Voici en quoi consiste ce mouvement. Nous avons dit

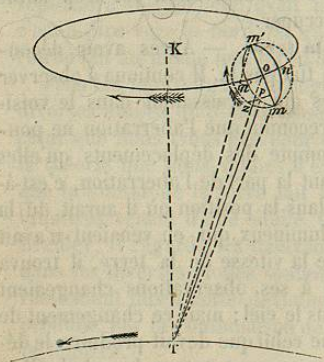


FIG. 222.

(§ 163) que l'axe de la terre TP (fig. 214), ne reste pas toujours parallèle à lui-même, et qu'il se déplace lentement, en décrivant un cône de révolution autour de la perpendiculaire TK au plan de l'écliptique; c'est ce qui constitue la précession des équinoxes. Mais les choses ne se passent pas tout à fait ainsi. L'axe de la terre TP (fig. 222) se meut sur la surface d'un petit cône à base elliptique Tmm'n'; et, en même temps, ce petit cône

se déplace de manière que son axe To décrive un cône de révolution autour de la perpendiculaire TK au plan de l'écliptique. C'est dans le mouvement du petit cône Tmm'n', autour de la ligne TK, que consiste la précession des équinoxes, et le mouvement de l'axe de la terre, sur la surface de ce petit cône, n'est autre chose que la nutation de cet axe. On voit, en effet, qu'en vertu de ce dernier mouvement, le pôle boréal de la sphère céleste se rapproche et s'éloigne alternativement des étoiles qui l'entourent.

Le grand axe mm' de l'ellipse, qui sert de base au cône de nutation, est dirigé dans le plan qui passe par son axe TO et par la

perpendiculaire TK au plan de l'écliptique; son amplitude est de $19^{\circ},3$. Le petit axe de l'ellipse est de $14^{\circ},4$. On comprend, d'après cela, que les dimensions de la courbe mmm'n' ont été considérablement exagérées sur la figure 222, puisque l'angle KTO est de $23^{\circ},28'$, tandis que l'angle mTm' n'est que de $19^{\circ},3$. Le pôle P fait le tour de cette ellipse dans l'espace d'environ 18 ans $\frac{2}{3}$; il revient en m chaque fois que le nœud ascendant de la lune se trouve à l'équinoxe du printemps (voyez plus loin, au chapitre de la Lune). Pour savoir, à une époque quelconque, quelle est la position du pôle sur l'ellipse, il faut imaginer un cercle décrit sur le grand axe mm' comme diamètre, et supposer qu'un point Z parcourt uniformément ce cercle, dans le sens de la flèche, de manière à revenir toujours en m aux époques auxquelles le pôle P doit s'y trouver; à un instant quelconque, le pôle P est toujours situé au point de rencontre de l'ellipse mmm'n' avec une perpendiculaire à son grand axe menée par la position qu'occupe le point Z à cet instant.

Il est aisé de voir que, par suite de la nutation de l'axe de la terre, le pôle boréal de la sphère céleste s'approche et s'éloigne alternativement du pôle de l'écliptique; l'obliquité de l'écliptique éprouve donc un changement de grandeur périodique: cette obliquité s'écarte de sa valeur moyenne, tantôt en moins, tantôt en plus, d'une quantité qui va jusqu'à $9^{\circ},65'$. De même l'équinoxe du printemps n'a pas, à chaque instant, la position qu'il aurait sur l'écliptique, si le pôle P était au point O, au lieu d'être en un des points de la petite ellipse dont O est le centre; cet équinoxe est tantôt en avance, tantôt en retard sur la place qu'il occuperait en vertu de la précession seule: il oscille de part et d'autre de cette position moyenne, et est animé en conséquence d'une vitesse variable dans son mouvement rétrograde sur l'écliptique.

§ 175. **Parallaxe annuelle des étoiles.** — Malgré tous les soins que Bradley mit à faire ses observations, il ne put parvenir à reconnaître l'existence du mouvement annuel des étoiles qui faisait l'objet principal de ses recherches; c'est-à-dire du déplacement que les étoiles doivent éprouver en apparence dans le ciel, par suite du changement de position de la terre aux diverses époques d'une année (§ 169). Lorsque nous avons voulu nous rendre compte de la déviation apparente des rayons venus d'une étoile, produite par l'influence de la vitesse de translation de la terre, nous avons admis que l'étoile était tellement éloignée, que les lignes qui la joignent aux différentes positions de la terre pouvaient être regardées comme parallèles entre elles (§ 172); et

c'est ainsi que nous avons reconnu qu'en vertu de l'aberration seule, chaque étoile devait sembler décrire annuellement une certaine ellipse sur la sphère céleste. Si la distance de l'étoile à la terre n'était pas aussi grande que nous l'avons supposé, et que par conséquent les lignes qui la joignent aux différentes positions que prend la terre, dans son mouvement autour du soleil, fussent notablement obliques les unes par rapport aux autres, le mouvement apparent de l'étoile serait plus complexe : il résulterait de la coexistence de ces deux effets, dont l'un est dû à l'influence de la vitesse de la terre sur la direction des rayons lumineux, et l'autre au déplacement de la terre dans l'espace. Mais ces deux effets ont entre eux une différence essentielle que nous avons signalée. Celui qui est dû à la vitesse de la terre est indépendant de la distance à laquelle se trouve l'étoile. Le grand axe de l'ellipse que chaque étoile semble décrire, en vertu de l'aberration, est le même pour toutes les étoiles. Au contraire, l'effet produit par le déplacement de la terre dans l'espace dépend entièrement de la distance qui sépare l'étoile de la terre; le grand axe de l'ellipse que l'étoile semble décrire sur la sphère, par suite de ce déplacement de la terre, est d'autant plus petit que l'étoile est plus éloignée. On comprend donc que la coexistence de ces deux effets donnera lieu à des résultats très-divers, suivant qu'il s'agira d'une étoile plus ou moins éloignée de la terre; tandis que l'ellipse d'aberration conservera les mêmes dimensions, l'ellipse due au déplacement de la terre sera plus ou moins grande, et aura par conséquent une influence plus ou moins marquée sur le mouvement apparent total de l'étoile.

Bradley n'ayant rien trouvé autre chose, dans le mouvement apparent annuel des étoiles qu'il a observées, que ce qui résultait directement du phénomène de l'aberration, on doit en conclure que, pour toutes ces étoiles, le mouvement annuel dû au déplacement de la terre était trop faible pour qu'il ait pu s'en apercevoir. Il n'était pas possible de tirer de là la conséquence que la terre ne se mouvait pas autour du soleil, car la découverte de l'aberration avait fourni une preuve positive de la réalité de ce mouvement; tout ce qu'on pouvait dire, c'est que les étoiles observées par Bradley étaient tellement éloignées, que les dimensions de l'orbite de la terre étaient comme nulles, relativement à la distance qui la séparait de ces étoiles. De ce que Bradley n'avait pas trouvé ce qu'il cherchait, ce n'était pas une raison pour que d'autres ne le trouvassent pas, en observant d'autres étoiles.

§ 176. On comprend tout l'intérêt que devait inspirer aux astro-

nomes la découverte, et surtout la mesure de ce mouvement annuel des étoiles dû au déplacement de la terre, quand on pense que, de la connaissance de ce mouvement, on peut déduire immédiatement celle des distances de ces astres à la terre. L'angle SET (fig. 223), compris entre les lignes qui joignent une étoile E au soleil S et à la terre T, n'est autre chose que l'angle sous lequel, étant placé sur l'étoile, on verrait le rayon TS de l'orbite terrestre. Si nous faisons abstraction, comme nous l'avons déjà fait, du changement de grandeur de ce rayon ST avec la position de la terre sous son orbite, nous pouvons dire que la plus grande valeur de l'angle SET correspond au cas où l'angle STE est droit : cette plus grande valeur de l'angle SET est ce qu'on nomme la *parallaxe annuelle* de l'étoile E. Ainsi, la parallaxe annuelle d'une étoile, c'est l'angle sur lequel, étant placé sur l'étoile, on verrait de face le rayon de l'orbite de la terre. Si l'on

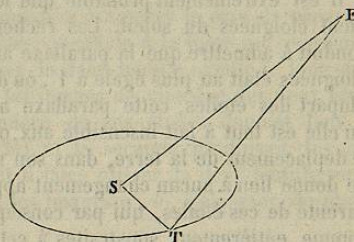


FIG. 223.

se reporte à ce qui a été dit précédemment (§ 169), on verra que la parallaxe annuelle est précisément la moitié de l'angle sous-tendu par le grand axe de l'ellipse que l'étoile doit sembler décrire annuellement en vertu du déplacement de la terre autour du soleil. Il est clair, d'après cela, que, de la connaissance de ce mouvement annuel, pour une étoile en particulier, on peut déduire immédiatement celle de la parallaxe annuelle de cette étoile, et par suite en conclure le rapport qui existe entre la distance de l'étoile au soleil et le rayon de l'orbite de la terre.

Pendant longtemps les efforts des astronomes furent infructueux pour déterminer la parallaxe annuelle des étoiles. Tout ce qu'on pouvait dire, d'après l'ensemble des observations entreprises pour y arriver, c'est que la parallaxe annuelle des étoiles observées ne dépassait pas 1". Ce n'est qu'en 1838 que la science s'enrichit d'une première donnée positive sur ce sujet. Bessel, directeur de l'observatoire de Königsberg, annonça à cette époque qu'il était parvenu à déterminer la parallaxe annuelle de l'une des étoiles de la constellation du Cygne, celle qui porte le n° 61 (voyez planche I). Nous allons voir en quoi consiste la marche qu'il a suivie.

§ 177. Nous avons dit (§ 169) qu'en vertu du déplacement de la terre dans l'espace, chaque étoile doit sembler décrire annuellement une certaine ellipse sur la sphère céleste; et nous avons remarqué ensuite que cette ellipse doit avoir des dimensions plus ou moins petites, suivant que l'étoile est plus ou moins éloignée de la terre. Il en résulte que, si une étoile se trouve à une distance de nous notablement moins grande que les étoiles que nous apercevons dans son voisinage, son mouvement elliptique annuel sera plus étendu que celui de ces autres étoiles; elle devra donc nous paraître alternativement se rapprocher et s'éloigner d'elles.

Il est extrêmement probable que les étoiles sont très diversement éloignées du soleil. Les recherches des astronomes ayant conduit à admettre que la parallaxe annuelle des étoiles les moins éloignées était au plus égale à 1", on doit en conclure que, pour la plupart des étoiles, cette parallaxe annuelle est tellement faible qu'elle est tout à fait insensible aux observations; c'est-à-dire que le déplacement de la terre, dans son mouvement autour du soleil, ne donne lieu à aucun changement appréciable dans la position apparente de ces étoiles, qui par conséquent peuvent être regardées comme entièrement soustraites à cet effet du mouvement de la terre. S'il existe dans une région du ciel une étoile assez rapprochée de nous pour que sa parallaxe annuelle ne soit pas insensible, et si, en même temps, les autres étoiles de la même région, étant situées beaucoup plus loin que la première, n'éprouvent aucun changement de position par suite du déplacement de la terre, il est clair que le mouvement annuel apparent de la première étoile pourra être déterminé en la comparant aux étoiles qui sont dans son voisinage : ces dernières étoiles sont autant de points de repère fixes, qui serviront à constater et à mesurer le changement de position de l'étoile dont la parallaxe n'est pas insensible.

C'est sur ces idées que Bessel s'est fondé pour rechercher la parallaxe annuelle de la 61^e du Cygne. Le mouvement propre de cette étoile, mouvement dont nous parlerons plus tard, lui ayant fait supposer qu'elle devait être une des étoiles les moins éloignées de la terre, il chercha à reconnaître si elle se déplaçait périodiquement, aux diverses époques de chaque année, par rapport aux étoiles qui l'entourent dans le ciel. A cet effet, il mesura successivement et un grand nombre de fois les distances angulaires qui la séparaient de deux étoiles voisines, éloignées d'elle, l'une d'environ 8', et l'autre de près de 12'. On comprend avec quel soin ces mesures de distances angulaires devaient être effectuées, pour arriver à mettre en évidence un mouvement annuel qui avait

échappé jusque-là à l'investigation des astronomes. Les lunettes ordinaires à réticules ne pouvaient pas être employées : un des fils d'un réticule aurait été capable de couvrir complètement la portion de la sphère céleste dans laquelle s'effectuait le mouvement annuel de l'étoile. Bessel se servit pour cela d'un instrument spécial, de l'héliomètre, que nous avons décrit précédemment (§ 124) à l'occasion de la mesure du diamètre apparent du soleil; la figure 176 représente l'instrument même à l'aide duquel il fit ses observations. Voici comment il opéra.

Après avoir dirigé l'instrument vers les deux étoiles dont il voulait mesurer la distance, et avoir fait tourner l'objectif autour de l'axe de la lunette, de manière à amener le plan de séparation des deux demi-lentilles à être parallèle à la ligne qui joignait les deux étoiles, il faisait glisser la demi-lentille mobile le long de ce plan de séparation; alors les images de chacune des deux étoiles se dédoublaient : la première de ces étoiles donnait lieu aux deux images a, a' (fig. 224), et la seconde produisait les deux images b, b' . En continuant à faire glisser la demi-lentille mobile à côté de l'autre, il voyait les images a', b' , s'éloigner de plus en

$\overset{\circ}{a} \overset{\circ}{a'} \overset{\circ}{b} \overset{\circ}{b'}$

FIG. 224.

$\overset{\circ}{a} \overset{\circ}{b} \overset{\circ}{a'} \overset{\circ}{b'}$

FIG. 225.

plus des images a, b ; et bientôt l'image mobile a' de la première étoile coïncidait avec l'image fixe b de la seconde. Il aurait pu s'arrêter là : la quantité dont la demi-lentille mobile avait été déplacée, pour amener les images a' et b à coïncider, c'est-à-dire pour faire parcourir à l'image a' la distance ab des deux images fixes, aurait fourni la mesure de cette distance ab . Mais, au lieu de cela, Bessel continuait à faire mouvoir la demi-lentille mobile, jusqu'à ce que les images mobiles a', b' , fussent placées au delà de a, b (fig. 225), de manière à former trois distances, $ab, ba', a'b'$, égales entre elles; il est clair que, pour cela, la moitié mobile de l'objectif avait dû se déplacer du double de la quantité dont elle se serait déplacée pour produire seulement la coïncidence des deux images a', b , et que le déplacement total de cette demi-lentille pouvait également servir à déterminer la distance ab des deux étoiles. Bessel jugeait à la simple vue de l'égalité des trois distances $ab, ba', a'b'$: il trouvait plus exact d'opérer ainsi que d'établir la coïncidence des deux images a', b .

Les observations nombreuses et extrêmement précises faites par Bessel, conformément à ce que nous venons de dire, lui man-

festèrent d'une manière incontestable l'existence du mouvement annuel et périodique de la 61^e du Cygne, dû au déplacement de la terre autour du soleil. A certaines époques de l'année, cette étoile se rapprochait constamment de l'une des deux étoiles auxquelles il la comparait, et en même temps elle s'éloignait de l'autre; six mois plus tard, elle se mouvait en sens contraire, par rapport à ces étoiles de comparaison. Après avoir discuté les divers résultats qu'il avait trouvés par l'observation, il fixa à 0",35 la parallaxe annuelle de la 61^e du Cygne. Des observations faites depuis, à l'observatoire de Poulkowa (près de Saint-Pétersbourg), ont pleinement confirmé le résultat trouvé par Bessel.

§ 178. Depuis la découverte de Bessel, d'autres astronomes ont encore déterminé les parallaxes annuelles de quelques étoiles; mais il n'y a guère que la parallaxe de Wéga, ou α de la Lyre, dont la valeur ait été obtenue avec un degré d'exactitude qui approche de celle relative à la 61^e du Cygne. Cette parallaxe de Wéga, d'après les observations de MM. Struve et Peters (de Poulkowa), est de 0",23.

Pour que la grandeur apparente d'une ligne droite, vue de face, se réduise à 0",35, il faut que cette ligne soit à une distance de l'œil égale à 589 328 fois sa longueur. Or, la parallaxe annuelle de la 61^e du Cygne n'est autre chose que la grandeur apparente du rayon de l'orbite de la terre, vu de face par un observateur qui serait placé sur l'étoile même: donc la distance de cette étoile au soleil est de plus de 585 000 fois la distance moyenne du soleil à la terre. Il est difficile de se faire une idée un peu nette d'une si énorme distance. Si on l'exprimait en lieues, on aurait un nombre considérable qui ne représenterait rien à l'esprit, parce qu'il sortirait trop des limites des nombres que nous rencontrons habituellement. Le meilleur moyen auquel nous puissions avoir recours, pour apprécier à sa juste valeur cette grande distance du soleil à la 61^e du Cygne, consiste à chercher le temps que la lumière met à la parcourir. La lumière, dont la vitesse est d'environ 75 000 lieues par seconde, emploie 8^m 18^s à venir du soleil à la terre; il lui faut plus de 9 ans pour parcourir la distance qui nous sépare de l'étoile dont il s'agit.

D'après la valeur qui a été assignée à la parallaxe annuelle de Wéga, sa distance au soleil est à la distance de la 61^e du Cygne, dans le rapport de 3 à 2: la lumière met environ 14 ans à nous venir de Wéga.

On comprend maintenant pourquoi nous avons dit (§ 69) que les considérations fondées sur l'étude du mouvement diurne des étoiles

étaient loin de pouvoir nous donner une idée de la distance qui nous sépare de ces astres. L'étude attentive des circonstances que présente le mouvement diurne en divers lieux de la terre montre bien que les dimensions du globe que nous habitons sont insensibles relativement à la distance qui existe entre lui et les étoiles. Mais les développements dans lesquels nous venons d'entrer nous font voir que l'orbite de la terre, dont le rayon est plus de 23 000 fois plus grand que celui du globe lui-même, se trouve à très-peu près dans le même cas; puisque le déplacement de la terre le long de cette orbite n'influe pas d'une manière appréciable sur la position apparente de la plus grande partie des étoiles, et que ce n'est que par l'emploi de moyens d'une précision extraordinaire qu'on a pu reconnaître l'influence extrêmement faible de ce déplacement sur un très-petit nombre d'entre elles.

§ 179. **Résumé des notions acquises sur le mouvement de la terre.** — Avant de quitter le sujet qui vient de nous occuper, il ne sera pas inutile de résumer en peu de mots les divers résultats auxquels nous sommes parvenus, relativement au mouvement de la terre.

Le soleil est immobile dans l'espace, ou au moins nous le regarderons comme tel, jusqu'à ce que des considérations que nous développerons plus tard nous montrent qu'il est probablement animé d'un mouvement de translation, dont nous n'avons pas encore pu reconnaître l'existence dans les phénomènes que nous avons étudiés.

La terre se meut autour du soleil, en décrivant chaque année une ellipse dont cet astre occupe un des foyers; elle parcourt son orbite elliptique conformément à la loi des aires. Le plan de cette orbite ne conserve pas une position invariable dans l'espace; il change peu à peu de direction, ce qui occasionne une diminution progressive de l'obliquité de l'écliptique. Le grand axe de l'ellipse décrite par la terre change aussi insensiblement de direction, en tournant très-lentement autour du soleil, dans le sens même du mouvement de la terre.

En même temps que la terre se meut autour du soleil, elle est animée d'un mouvement de rotation sur elle-même, autour d'un axe incliné par rapport au plan de son orbite. Cet axe de rotation de la terre se transporte à peu près parallèlement à lui-même; en sorte que, pendant un certain temps, il peut être regardé comme étant toujours dirigé vers un même point du ciel. Cependant, ce parallélisme ne se conserve pas rigoureusement; l'axe de la terre est animé dans l'espace d'un double mouvement, qui change peu

à peu sa direction. Il possède d'abord un mouvement moyen, en vertu duquel il tourne autour de la perpendiculaire au plan de l'écliptique, en faisant avec elle un angle qui resterait toujours le même, si le plan de l'écliptique ne changeait pas lui-même de direction dans l'espace. En outre, il oscille autour de la position moyenne qui résulte du mouvement précédent considéré seul, et décrit ainsi un petit cône elliptique, dont cette position moyenne est l'axe de figure.

Le mouvement de translation de la terre autour du soleil est la cause du mouvement annuel dont le soleil nous paraît animé. Il occasionne un mouvement apparent annuel de chaque étoile, mouvement dont l'amplitude est d'autant plus petite que l'étoile est plus éloignée; la grande distance à laquelle se trouvent les étoiles fait que, pour la plupart d'entre elles, ce mouvement est trop faible pour être sensible aux observations, et que l'on n'a pu en constater l'existence que dans un très-petit nombre de cas. La vitesse dont la terre est animée, dans son mouvement autour du soleil, fait paraître les astres dans une direction un peu différente de celle dans laquelle ils se trouvent réellement, et occasionne ainsi le mouvement apparent des étoiles, que nous avons désigné sous le nom d'*aberration*.

La rotation de la terre sur elle-même donne lieu aux apparences du mouvement diurne du ciel; c'est elle qui produit la succession des jours et des nuits en chaque lieu. Le changement de position de l'axe de rotation, par rapport au soleil, détermine les diverses circonstances qui constituent les saisons.

MESURE DU TEMPS PAR LE MOUVEMENT DU SOLEIL.

§ 180. **Temps solaire.** — Nous avons déjà donné (§ 128) une première indication de l'emploi du mouvement du soleil pour mesurer le temps. Nous avons dit que le temps compris entre deux passages successifs du soleil au méridien est ce qu'on nomme un *jour solaire*. Ce jour se divise, comme le jour sidéral, en 24 heures; l'heure se subdivise en 60 minutes, et la minute en 60 secondes: le temps, évalué au moyen du jour solaire et de ses subdivisions, se nomme *temps solaire*.

Les astronomes font habituellement commencer le jour solaire à l'instant même du passage du soleil au méridien, c'est-à-dire à *midi*, et le terminent au passage suivant; ils comptent les heures d'une manière continue, du commencement à la fin, c'est-à-dire de 0 à 24. Mais, pour les usages ordinaires de la vie, il est plus com-

mode de ne pas faire commencer le jour à midi. On le fait partir de l'instant qui est également éloigné de deux midis consécutifs, instant auquel on donne le nom de *minuit*. On compte d'ailleurs les heures de 0 à 12, de minuit à midi; puis on recommence à les compter de 0 à 12, de midi au minuit suivant. Et, pour distinguer les heures relatives à la première période de celles de la seconde, on désigne ces deux périodes du jour sous les noms de *matin* pour la première, et de *soir* pour la seconde. Le jour commençant ainsi à minuit, et se composant de deux périodes successives de chacune 12 heures, se nomme *jour civil*; on donne par opposition le nom de *jour astronomique* au jour tel que l'emploient les astronomes, c'est-à-dire au jour qui commence à midi, et dans lequel on compte les heures d'une manière continue, de 0 à 24.

Les horloges réglées sur le temps solaire sont ordinairement construites de manière que l'aiguille des heures fait le tour du cadran dans l'espace de 12 heures. Le cadran est divisé en 12 parties égales, dont chacune correspond à une heure. L'aiguille doit coïncider avec le point du cadran qui sert d'origine à la graduation, chaque fois que le centre du soleil traverse le méridien du lieu. Par ce moyen, l'aiguille fait tous les jours un tour entier depuis minuit jusqu'à midi, puis un second tour de midi au minuit suivant: elle marque donc successivement les heures du matin et celles du soir.

Il est à peine nécessaire d'ajouter que les horloges réglées sur le temps solaire en différents lieux ne marquent pas toutes la même heure à un même instant. Le soleil traversant successivement les méridiens de ces divers lieux, le jour civil ou astronomique ne commence pas partout en même temps. L'avance ou le retard de l'heure solaire d'un lieu, sur l'heure solaire correspondante d'un autre lieu, dépend de la différence de longitude de ces deux lieux, et est liée d'une manière très-simple à cette différence de longitude. En effet, le cercle horaire du soleil employant 24 heures solaires à faire le tour entier de l'axe du monde, il lui faut une heure solaire pour tourner d'un angle de 15° , une minute pour tourner d'un angle de $15'$, une seconde pour tourner d'un angle de $15''$. D'après cela, il sera facile de voir combien de temps le cercle horaire du soleil met à aller du méridien d'un lieu au méridien d'un autre lieu, lorsqu'on connaîtra la différence de longitude de ces deux lieux; et ce temps sera précisément l'avance ou le retard du temps solaire de l'un des deux lieux sur l'autre. Ainsi, la longitude de Brest étant de $6^\circ 49' 42''$ à l'ouest du méridien de Paris, les horloges réglées sur le temps solaire de Brest doivent