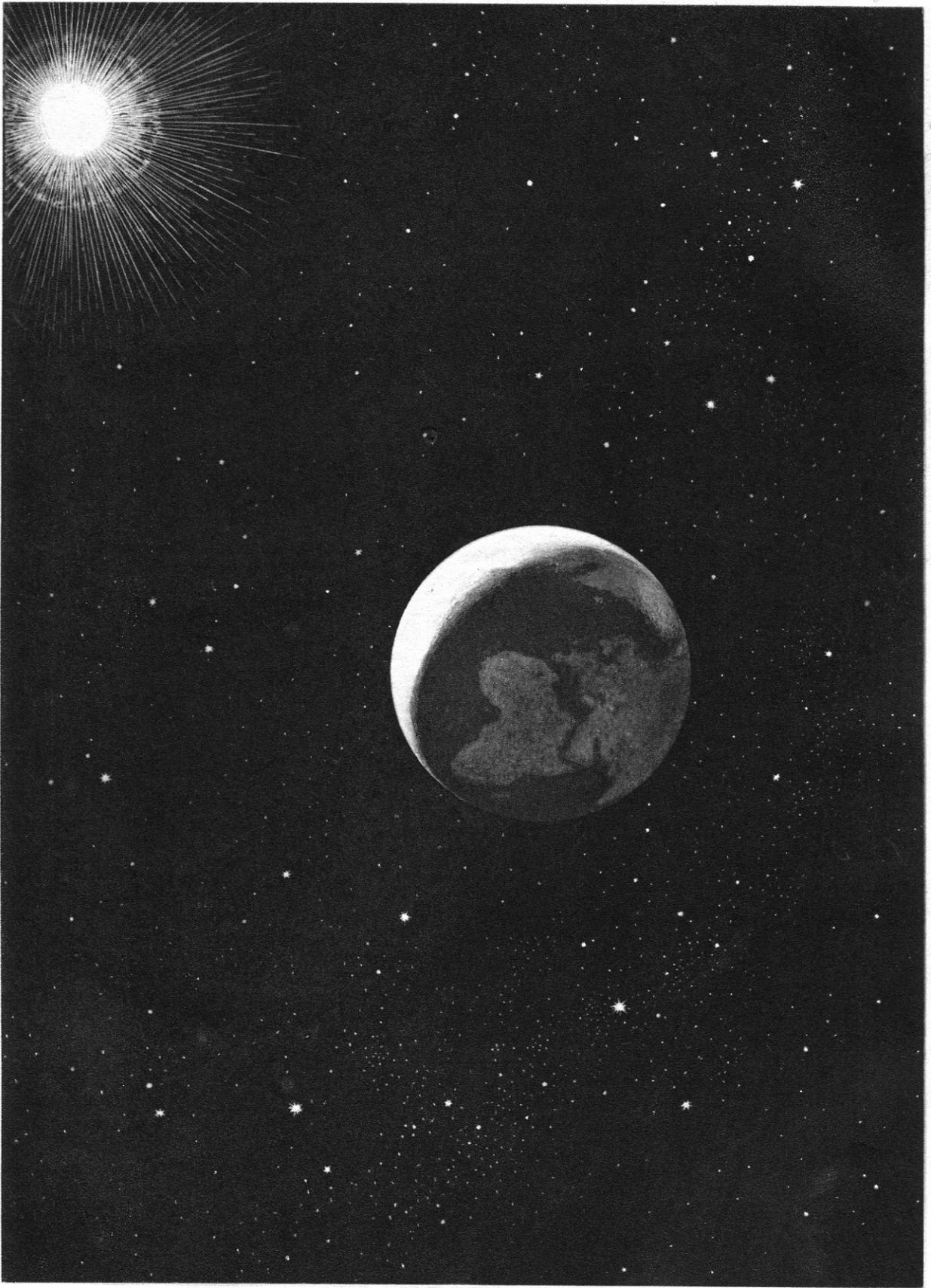


LIVRE PREMIER
LE SPECTACLE DU CIEL



LA TERRE ISOLÉE DANS L'ESPACE.



LE CIEL NOCTURNE ÉTOILÉ. A L'HORIZON, LES DERNIÈRES LUEURS CRÉPUSCULAIRES.

CHAPITRE PREMIER

LES ASTRES DANS L'ESPACE

Apparence du ciel. — Tout, à la fois, en présence du ciel, captive le regard et éveille la curiosité de l'esprit. Comme animés d'un lent et inlassable mouvement de ronde au-dessus de nous, se succèdent alternativement le disque éblouissant du Soleil, la Lune aux formes changeantes, les milliers et les milliers d'étoiles, semblables à autant de points étincelants qui, progressivement, s'allumeraient après la chute du jour. Et puis, ce sont des phénomènes particuliers ou inhabituels : comètes aux étranges aspects, éclipses de l'astre du jour ou de celui de la nuit, et aussi les apparitions subites et éphémères de certains météores lumineux. Autant de spectacles ne laissant pas de procurer parfois une vive et profonde impression. De cette attirance des yeux, dès les premiers âges de l'humanité pensante, de cette contemplation tantôt admirative, tantôt craintive, est née l'Astronomie, la plus passionnante peut-être de toutes les branches de la science.

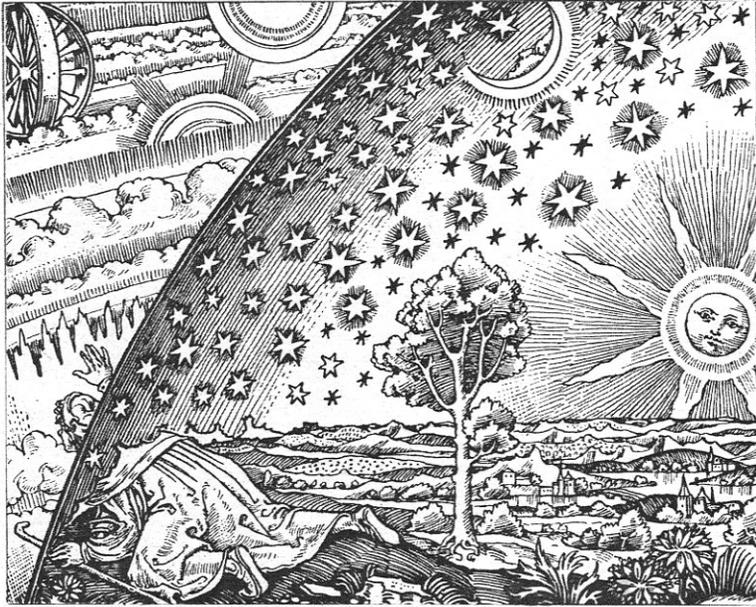
Les connaissances astronomiques eurent pour base, et uniquement, les apparences s'imposant à la simple vision humaine. Mais si ce moyen d'investigation nous renseigne efficacement, à divers égards, combien cependant il risque de nous induire en erreur. En premier lieu, il est une illusion que seul le raisonnement est capable de venir dissiper : c'est celle de la « voûte céleste », sur laquelle tous les astres paraissent répartis et groupés les uns à côté des autres, comme le seraient des luminaires sur un plafond sphérique, mais se développant à une hauteur d'ailleurs inappréciable. Une telle impression s'explique lorsqu'on sait que nos yeux, incapables de discerner par

sensation de relief les différences d'éloignement au-delà de limites relativement proches, situent alors au même plan tous les astres, quelles que soient les prodigieuses et très inégales distances auxquelles ils se trouvent reculés.

Cependant, aussi fausse qu'elle puisse être, l'apparence de la voûte céleste s'impose ; et, de même que la représentation de cette forme est employée dans le tracé des schémas relatifs aux démonstrations cosmographiques, elle se trouve aussi matérialisée par le dessin des cartes célestes figurant, sur un plan ou sur un globe, la disposition visible des astres, dont les positions respectives sont fixées comme nous l'apprendrons plus tard. En somme, on considère la vision d'une sphère idéale, de rayon infini, au centre de laquelle nous avons l'impression de nous trouver.

Lors donc qu'on parle du « ciel », il faut entendre par là le spectacle général qui se découvre, et non la distribution réelle des astres dans l'espace qui lui donne naissance, ceci en vertu de notre incapacité oculaire et des effets de la perspective.

Ainsi, le ciel étoilé n'est qu'une image. Sans doute, cette image est suggestive, mais elle n'a pas la réalité que l'on peut attribuer au même terme lorsqu'il est employé, comme on le fait indifféremment, pour désigner le domaine aérien. En effet, l'atmosphère dans laquelle nous sommes plongés, et qui est indispensable à l'entretien de la vie, est une couche gazeuse, visible à un titre quelconque, se développant au-dessus de la surface terrestre en épousant la courbure du globe ; et l'aspect de voûte qu'elle peut procurer est rendu matériellement sensible par les nappes



UNE REPRESENTATION DU SYSTEME DU MONDE AU MOYEN AGE. Le ciel forme au-dessus de la Terre plane une voûte hémisphérique piquetée d'étoiles. Un voyageur curieux crève la voûte céleste et découvre le mécanisme compliqué qui fait mouvoir les astres.

de nuages qui, tout en s'étalant à différents niveaux, réalisent par leur ensemble un véritable plafond fuyant en perspective jusqu'à l'horizon tout autour de nous. C'est aussi l'état de l'atmosphère qui commande le degré de visibilité des astres, ces derniers étant vus nécessairement à travers la couche plus ou moins transparente interposée entre eux et les yeux humains.

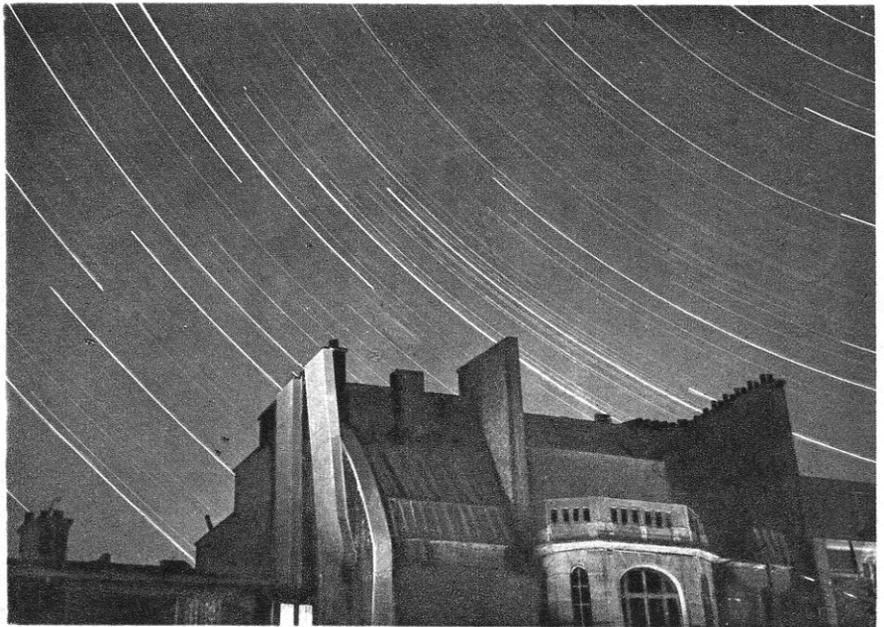
Le ciel des météorologistes, avec sa classique nuance azurée, est donc bien différent de celui des astronomes; et s'il ne faut pas les confondre, à la manière des simples qui considèrent tout ce qui se passe et se déroule au-dessus de leur tête comme rentrant dans un même état de choses, nous verrons aussi qu'il ne faut pas les dissocier complètement, car le ciel aérien joue un rôle capital dans la production de divers phénomènes astronomiques, dont le plus important, au point de vue pratique, est celui du jour et des conditions dans lesquelles nous bénéficions alors de sa clarté.

Très volontiers aussi, on a comparé le ciel astronomique, dont les tableaux successifs sont autant de traductions visibles de l'Univers, aux pages d'un livre s'offrant à tous les yeux. Encore faut-il savoir le lire, ce livre; car pour beaucoup, il est écrit dans une langue inconnue. Mais s'il nécessite une laborieuse étude qui demande évidemment attention et réflexion, il procure d'indicibles joies au fur et à mesure qu'on devient à même, d'abord de l'épeler, puis d'en comprendre le thème, et de chercher ensuite à pénétrer les secrets qu'il renferme. Finalement, l'esprit curieux de savoir trouvera cette lecture aussi captivante que celle d'un roman. Mais quoi, dira-t-on, vous mettez en balance une action, des événements dramatiques ou

autres, et un spectacle qui malgré sa splendeur imposante reste toujours le même, à quelques variantes périodiques près? Là encore, les simples apparences sont trompeuses. Car, pour paraître immuable pendant le temps même que nous le contemplons, de quels formidables mouvements, qui s'accomplissent sans trêve ni arrêt, l'Univers est le siège! Quelles immensités en étendue et en durée, quelles transformations et quels cataclysmes nous sont révélés, qui déroutent l'imagination et suscitent le plus prodigieux étonnement! Si, tout cela, les hommes ne peuvent l'apprécier du premier coup d'œil, c'est qu'ils sont trop petits à l'échelle de ces événements, c'est que leurs sens sont imparfaits, et leur vie trop brève. Mais alors, pour qui en prend conscience, la connaissance de ces faits grandioses semblera plus attachante que tout... Cependant, nous ne pouvons avoir la compréhension de ce qui se passe, et s'aperçoit, qu'à la condition d'être bien pénétré de ceci : la Terre, qui nous porte, est un astre au même titre que les autres; elle est plongée, comme eux et parmi eux, au sein de l'espace. Dans cet espace, notre monde est animé de mouvements variés, et les spectacles se déroulant incessamment sous nos yeux procèdent de la combinaison de ces mouvements avec

ceux des corps célestes qui se révèlent de toutes parts dans l'immensité.

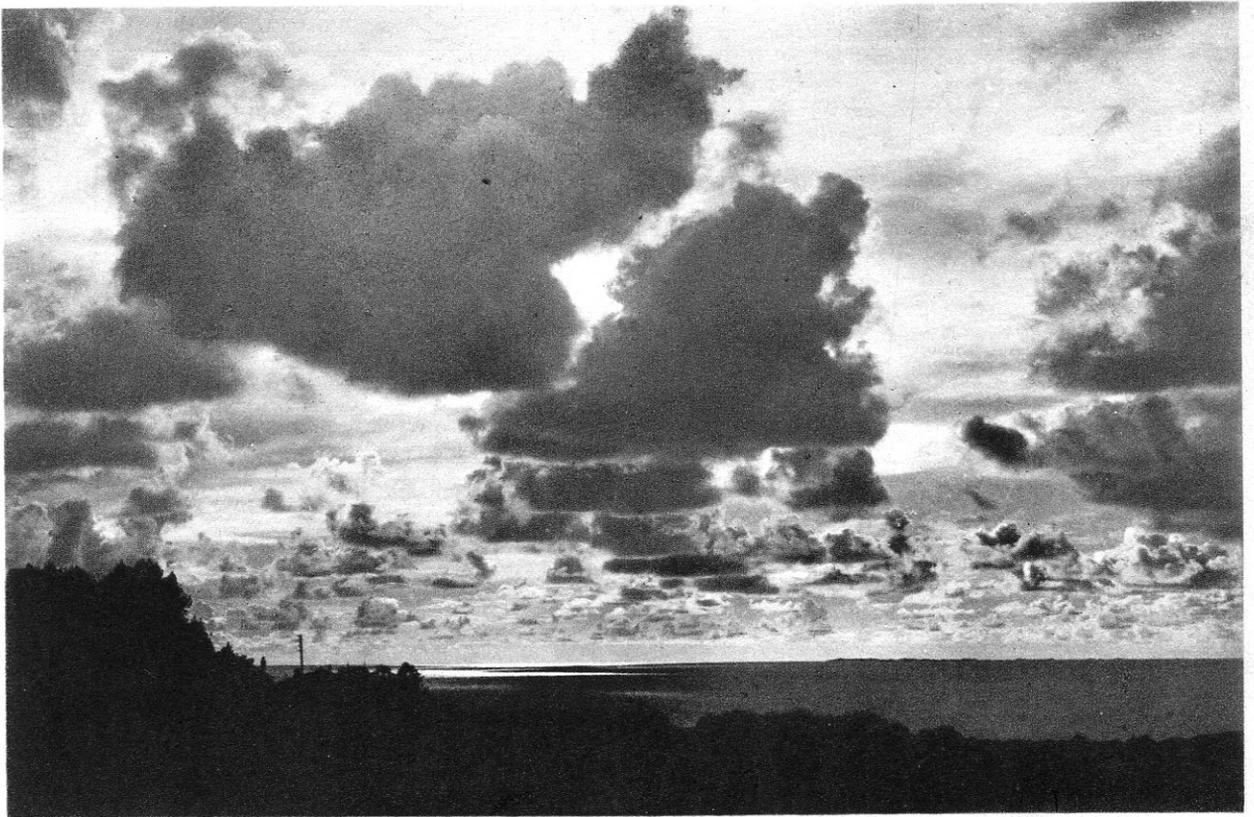
Ainsi, il ne suffit pas de regarder simplement le ciel malgré tout le charme qui s'en dégage. Il faut démêler, apprendre ce qui s'y déroule, comment et pourquoi tels aspects ou tels phénomènes se présentent à un moment donné. Nous devons donc, d'une part, connaître les diverses sortes d'astres, car, si tous paraissent d'une même qualité brillante, leurs caractères intimes sont bien différents; d'autre part, sachant ce qu'ils sont, ils nous aideront ensuite à comprendre, grâce aux mouvements en jeu, les raisons de certaines apparences qu'ils offrent d'une époque à l'autre. Enfin, et c'est là le but que cherche à atteindre la curiosité humaine; nous voudrions



MOUVEMENT APPARENT DU CIEL. Les lignes courbes matérialisent, sur la plaque photographique d'un appareil immobile, le déplacement des étoiles sur le ciel.



FAISCEAUX DE LUMIÈRE SOLAIRE DIFFUSÉE PAR LES POUSSIÈRES AÉRIENNES
EN SUSPENSION DANS NOTRE ATMOSPHÈRE.



UN CIEL NUAGEUX FORMANT PLAFOND MATERIALISE L'ILLUSION
D'UNE VOUTE NOUS SURPLOMBANT.



LE DISQUE SOLAIRE VU A TRAVERS L'ATMOSPHÈRE.

savoir si, parmi tous ces mondes inaccessibles jusqu'à nouvel ordre, et qui semblent jaloux de garder leurs secrets, il en est de pareils au nôtre, et habités par des êtres plus ou moins semblables à nous.

La diversité de ces problèmes laisse concevoir aisément que la recherche de leur solution doit être entreprise de plusieurs manières. Effectivement, on ne saurait se borner à contempler les astres, à scruter purement et simplement leurs aspects à l'aide du télescope et de la photographie. Nous resterions là dans le domaine de l'astronomie descriptive, éminemment séduisante à de multiples égards, mais qui ne nous fournirait que des connaissances forcément incomplètes. A cette branche de l'étude du ciel doivent s'ajouter les observations ou mesures effectuées relativement aux positions, et permettant, grâce aux formules de l'analyse mathématique, de définir les mouvements, leurs lois, leur ampleur, de même que les dimensions en jeu. Mais, pour capitales que soient ces données, nous ne saurions encore nous en contenter. Il faut, de plus, par diverses méthodes, s'appliquer à déterminer la nature des corps célestes, leur composition chimique, le caractère et l'origine des phénomènes dont ils sont le siège : toute récente relativement, cette branche de l'astronomie est l'*astrophysique*, dont les procédés, toujours en voie de perfectionnement, ont apporté des révélations auxquelles l'œil humain réduit à lui-même n'aurait jamais pu prétendre. Nous en verrons par la suite les prodigieux résultats, qui ont bouleversé bien des notions premières ; mais remarquons dès maintenant que ces sortes d'investigations reposent sur des moyens dont l'application procède des principes et des théories de la physique moderne, parfois difficiles à exposer d'une façon élémentaire : ainsi, certaines explications sembleront-elles parfois un peu ardues, ce que nous nous efforcerons néanmoins d'éviter dans la mesure du possible.

Mais, avant tout, commençons par établir les distinctions nécessaires entre les astres.

Diverses catégories d'astres. — Dans les descriptions, on emploie les termes : Soleil, Lune, Planètes, Satellites, Comètes, Étoiles filantes, Étoiles, Nébuleuses. Quelques-uns de ces noms font parfois double emploi ou prêtent à confusion.

Le *Soleil* est, parmi tous les astres, celui qui s'impose

le plus à nos yeux. Son éclat est insoutenable pour la rétine lorsqu'il trône à quelque hauteur dans un ciel pur ; mais, qu'il soit voilé par des nuées transparentes, comme certains brouillards élevés, ou que son éclat soit atténué par l'effet absorbant dû à l'épaisseur croissante de la couche aérienne, vue en perspective en direction de l'horizon, alors on remarque qu'il se présente comme un disque parfaitement circulaire (sauf dans les cas où, comme nous aurons l'occasion de le préciser, l'influence réfringente de l'atmosphère entre en jeu pour lui conférer les plus étranges apparences). Ce disque, que l'on peut juger plat, à la manière d'un gros pain à cacheter, procède de la vision d'un globe trop éloigné pour que, par sensation de relief, sa sphéricité se laisse découvrir ; il en est de même à l'endroit de tous les astres présentant un tel caractère globulaire, et qui sont toujours visibles sous des proportions variées et plus ou moins réduites. Quant aux rayons, que schématiquement ou pittoresquement on figure autour du Soleil — et aussi des étoiles —, ils n'ont aucune réalité : il s'agit d'une représentation suggestive de phénomènes optiques procédant des qualités de l'œil, et prenant naissance lorsqu'on fixe une source trop étincelante de lumière. D'autre part, l'expression « rayons solaires », que l'on emploie couramment, doit être prise dans le sens « radiations », « afflux d'ondes lumineuses ou calorifiques » venant illuminer ou échauffer ce qui s'y trouve exposé ; dans le même esprit, on dit ou écrit aussi, en parlant de l'éclaircissement que nous recevons ou de la lumière qui parvient à nos yeux : les rayons lunaires, les rayons des étoiles. Enfin, ce ne sont pas non plus des rayons proprement dits que nous admirons sur le ciel lorsque de telles apparences lui confèrent parfois une magnificence sans égale, mais des effets purement atmosphériques. Ce sont des jeux d'ombres ou de clartés vus en perspective et engendrés par l'opacité des nuages entre les interstices desquels filtrent alors des faisceaux de lumière solaire éclairant sur leur trajet la couche aérienne et ses impuretés.

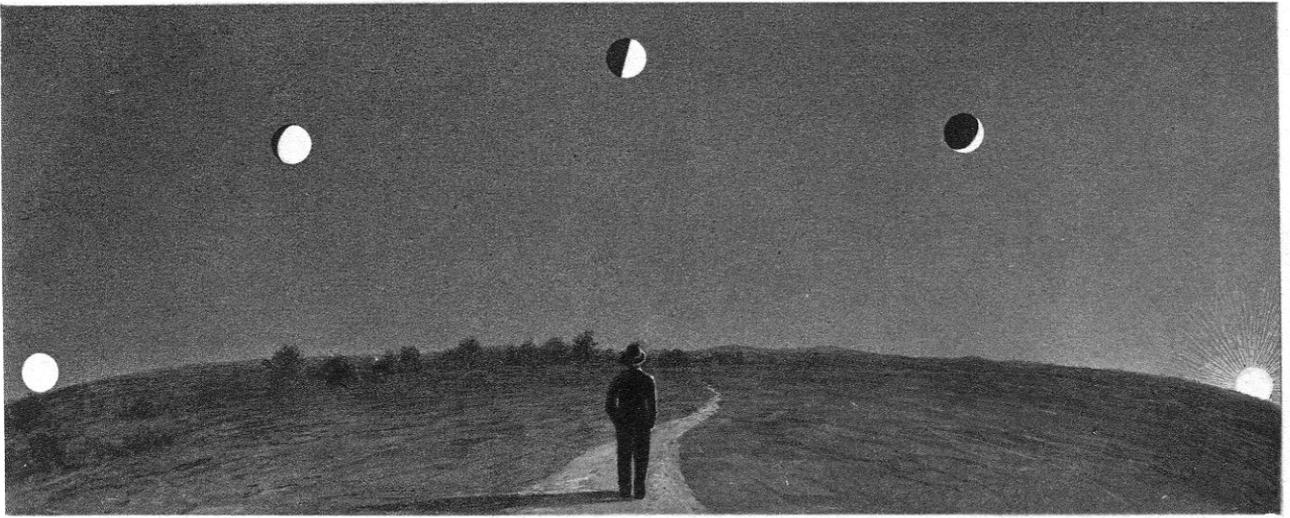
Le Soleil est lumineux et chaud par lui-même, comme une formidable fournaise incandescente, à l'intensité de laquelle rien ici-bas ne saurait être comparé. Si nous ne sommes pas « rôtis » par un tel foyer, c'est en raison de son éloignement. Mais n'en tenons compte encore qu'en qualité de prodigieux lampadaire, grâce auquel nous pouvons apercevoir d'autres astres qui sont les Planètes.

Sous ce nom, nous devons considérer un grand nombre de globes dont les éléments constitutifs sont de plus ou moins grande densité, et qui ne possèdent aucune qualité lumineuse proprement dite. Ces corps célestes brillent alors, pour nos yeux, uniquement parce que le Soleil en éclaire la surface : leur éclat paraît d'autant plus vif que cette surface est d'une nature plus claire, et aussi qu'ils sont moins distants de la source qui les illumine. Dans le noir de l'espace, et par contraste, ces astres nous semblent donc étincelants ainsi que nous apercevons, enfermés dans une pièce obscure, pendant une journée ensoleillée, un point du sol extérieur par les petits interstices d'une porte ou d'un volet clos.

Les *Planètes* tournent autour du Soleil, et la Terre, sur laquelle nous sommes, est une planète.

La *Lune* est le plus connu de tous ces corps célestes, et son examen, si simple, renseigne efficacement sur les conditions dans lesquelles ceux-ci reçoivent l'illumination du Soleil. Proche voisine de la Terre, autour de laquelle elle circule, on la voit sous des proportions qui s'imposent au regard. La Lune et le Soleil sont, en effet, les deux seuls astres dont nous puissions, sans aucun secours instrumental amplificateur, apercevoir la forme circulaire.

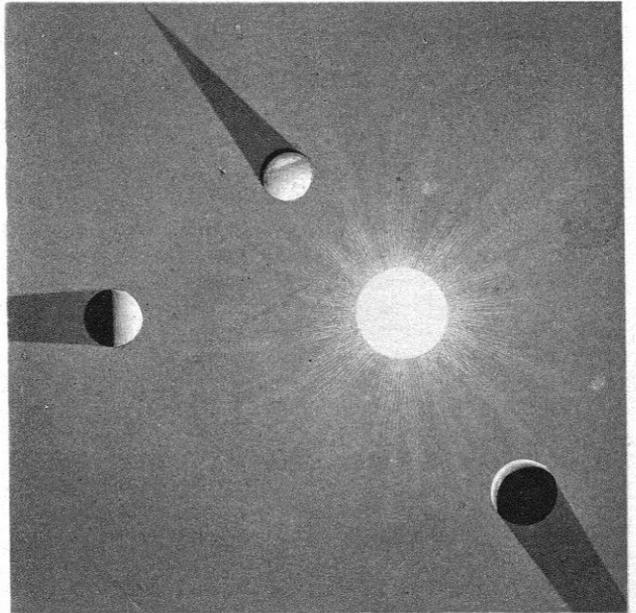
D'un globe planétaire, le Soleil n'éclaire que la moitié qui est tournée vers lui. Celui de la Lune, suivant la position qu'il occupe dans l'espace par rapport à nous et au Soleil, se montre éclairé en plein ou obliquement, c'est-



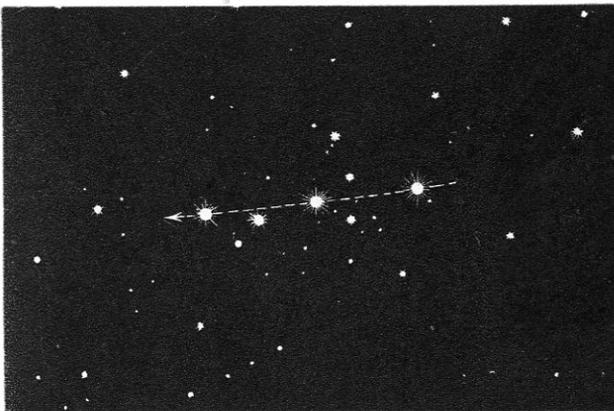
PHASES SUCCESSIVES DE LA LUNE PAR RAPPORT AU SOLEIL ET A L'HORIZON DE L'OBSERVATEUR.

à-dire présentant des *phases* sur le mécanisme desquelles nous insisterons en temps voulu; mais ces divers effets de perspective, laissant découvrir plus ou moins largement une forme en croissant, en quartier ou en disque complet, sont suffisamment expressifs pour faire comprendre la cause générale de telles apparences successives.

En raison de sa qualité de globe solide, et visible parce qu'il est illuminé, la Lune est donc une planète au même titre que la Terre et que les autres astres du système solaire. Si ces derniers, à l'œil nu, paraissent seulement des points brillants, c'est en raison de leur éloignement considérable réduisant leur diamètre à une proportion apparente infime. Par suite, les planètes semblent alors se confondre avec les *Étoiles*, terme par lequel, dans le langage courant, on désigne indistinctement tous les points étincelants du ciel. Ce qu'il faut penser des étoiles, nous allons le voir dans un instant. Mais remarquons tout de suite qu'un peu d'attention, à défaut de connaissances précises, permet d'établir la distinction. Les véritables étoiles conservent entre elles des dispositions immuables dessinant ces constellations — comme la Grande Ourse, par exemple — que d'aucuns aiment à contempler ou à reconnaître en se promenant par une belle nuit. Au contraire, malgré leur aspect stellaire, les planètes, dont la plupart offrent un éclat supérieur à celui des étoiles, même les plus belles, changent assez rapidement de position par rapport à celles-ci. C'est là une conséquence de leurs mouvements propres autour du Soleil, et de leurs distances relativement proches comparativement aux



ÉCLAIREMENT DE GLOBES PLANÉTAIRES PAR LE SOLEIL.



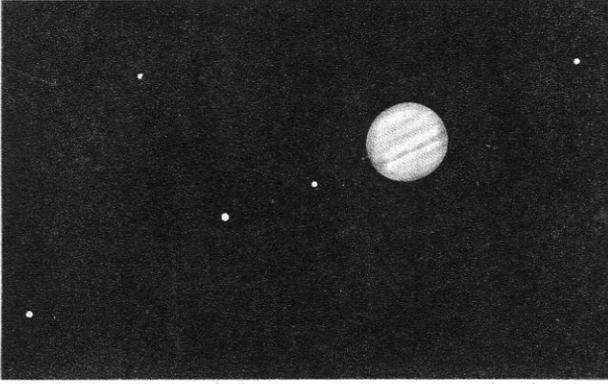
DÉPLACEMENT D'UNE PLANÈTE PARMIS LES ÉTOILES.

étoiles, dont l'éloignement est si considérable qu'il est alors permis de les considérer comme des repères fixes sur une toile de fond située à l'infini.

Les planètes sont fort diversifiées, et dans leurs dimensions, et dans leur présentation, en raison de la situation dans laquelle chacune se trouve au moment où nous la contemplons. Mais ce sont là des particularités que l'œil est impuissant à révéler, et que seuls les instruments télescopiques ont permis de reconnaître par une forte amplification de leur image minuscule.

Autour de certaines planètes, et rendues visibles dans les mêmes conditions, on en voit d'autres de moindre importance, les *Satellites* qui, vis-à-vis de la planète principale, se comportent comme autour de nous se comporte la Lune : cette dernière est donc le satellite — et le seul — de la Terre.

On donne souvent aux *Comètes* le nom d'« astres chevelus ». Leur aspect est caractérisé par une traînée lumineuse ou *queue*, paraissant émaner d'un noyau brillant appelé *tête*. D'une constitution encore bien énigmatique, ces corps célestes, de nature nébuleuse et comme



UNE PLANÈTE, JUPITER, ET SES SATELLITES.

diaphane, brillent en même temps, d'une lumière propre et de celle qu'ils reçoivent du Soleil, autour duquel ils circulent, comme les planètes principales, en vertu des mêmes lois universelles. Lorsque nous étudierons en détail ces astres, dont les apparitions ont bien souvent semé une superstitieuse épouvante, nous verrons que l'aspect général décrit ci-dessus n'a rien d'obligatoire, car certaines comètes se montrent uniquement sous l'aspect d'une nébulosité dépourvue d'appendice caudal. Ce sont, pour la plupart, des objets célestes de faible éclat et qui passeraient inaperçus sans le secours des instruments d'optique.

La désignation *Étoiles filantes* est significative, mais totalement erronée. Il ne s'agit nullement, comme certaines croyances populaires l'admettent encore couramment d'après l'apparence ayant motivé l'expression, d'une étoile qui, se « décrochant » de la voûte céleste, se met alors à tomber ! Ces phénomènes lumineux, donnant lieu parfois à des spectacles de toute beauté : apparition d'un exceptionnel éclat (bolide), ou succession rapide fournissant l'illusion de pluie de feu, se produisent non pas dans les profondeurs de l'espace, mais bien tout près de nous, dans les hauteurs de l'atmosphère. En effet, les étoiles filantes sont consécutives à une rencontre de particules, de fragments cosmiques quelconques, avec notre monde.

Après avoir décrit les caractères généraux des diverses



UNE COMÈTE.

catégories d'astres, afin, en raison de certaines similitudes d'apparence, de les distinguer des étoiles proprement dites, spécifions maintenant ce que sont ces dernières.

Les *Étoiles* sont des soleils plus ou moins comparables au nôtre, c'est-à-dire d'énormes masses globulaires incandescentes dont l'émission lumineuse et calorifique est d'une

intensité dont il est impossible de se faire une idée précise. Mais ces soleils sont tellement éloignés de nous, que, quelles que soient leurs dimensions, ils se trouvent réduits à l'état de simples points brillants cessant d'aveugler le regard ; et même, pour l'immense majorité, on ne les distingue plus que comme d'infimes lumières perdues dans les profondeurs de l'espace.

Contemplant les étoiles, dont la répartition engendre le spectacle bien connu du ciel : le plus élémentaire examen laisse apprécier leur progressive diminution d'éclat, depuis les plus étincelantes jusqu'aux dernières paraissant presque imperceptibles. Mais ce n'est là qu'une bien faible partie de la multitude céleste. Passé la limite où s'arrête la vision humaine, les instruments télescopiques modernes ont révélé l'existence d'étoiles à peine perceptibles et en nombre si considérable que là, où avec nos seuls yeux nous n'en distinguerions pas plus que les astronomes de l'antiquité, ces moyens optiques en font



UNE PLUIE D'ÉTOILES FILANTES.



UNE RÉGION DU CIEL VUE A L'ŒIL NU.

surgir par millions et par millions. Toute description serait vaine. Seule la constatation des faits est capable d'édifier sur la grandeur et la richesse de tels spectacles. On le comprendra aisément en comparant de simples images montrant l'aspect d'une même portion du ciel, telle que nous la voyons simplement, et telle qu'elle se trouve déjà révélée par un assez modeste enregistrement photographique.

Lorsqu'on est initié à ce peuplement prodigieux qui rend l'espace comme rempli de poussière lumineuse, on s'explique l'origine d'autres apparences. Et la première dont nous devons parler maintenant est celle de la *Voie lactée*, que chacun admire notamment par les beaux soirs d'été, et qui est connue dans les campagnes sous le nom de chemin de saint Jacques. Coupant tout le ciel à la manière d'une écharpe



LA MÊME RÉGION VUE AU TÉLESCOPE.



UNE NÉBULEUSE SPIRALE.



UNE NÉBULEUSE GAZEUSE.

vaporeuse, irrégulière dans ses contours et dans sa luminosité, cette traînée est la démonstration frappante de l'état de choses dont il vient d'être question. Car elle résulte d'une prodigieuse agglomération de faibles étoiles, chacune étant invisible à l'œil nu, tandis que, par addition, la totalité de ces petites lumières très rapprochées les unes des autres détermine alors une clarté générale offrant le caractère d'une nébulosité.

La contemplation du ciel étoilé réserve aussi d'autres surprises à l'œil humain. Parfois, là où auparavant rien ne se remarquait, on constate l'apparition inattendue et quasi subite d'une étoile susceptible d'atteindre souvent un exceptionnel éclat; puis, bientôt, cette nouvelle venue semble s'éteindre progressivement et retomber finalement au néant. A un tel phénomène, cause bien souvent de l'effroi populaire, on donne le nom d'*Étoile temporaire* ou de *Nova*, et, comme nous le verrons, il suscite pour les astronomes plus d'un curieux problème.

Enfin, paraissant se confondre avec la multitude des étoiles, mais bien plus reculées encore pour la plupart, sont les étranges *Nébuleuses*. Par ce terme, on désigne des taches d'une pâle clarté, aux formes les unes régulières, les autres capricieuses, ou offrant aussi une allure en spirale à la manière d'un soleil de feu d'artifice. Mais si la dénomination « nébuleuse », appliquée lors de leur découverte effectuée à l'aide d'instruments tout juste suffisants à les révéler, correspond bien à l'apparence première, il importe maintenant de distinguer, car toutes ces formations sont loin d'avoir une nature uniforme. En les étudiant plus spécialement, nous apprendrons qu'il existe de véritables nébu-

leuses constituées d'une matière semblable à un gaz lumineux ou non, tandis que, pour d'autres, leur aspect résulte d'une agglomération d'étoiles indistinctes individuellement, ainsi qu'il vient d'être défini à propos de la Voie lactée examinée à l'œil nu; ces dernières présentent, en majorité, une structure en spirale plus ou moins bien caractérisée.

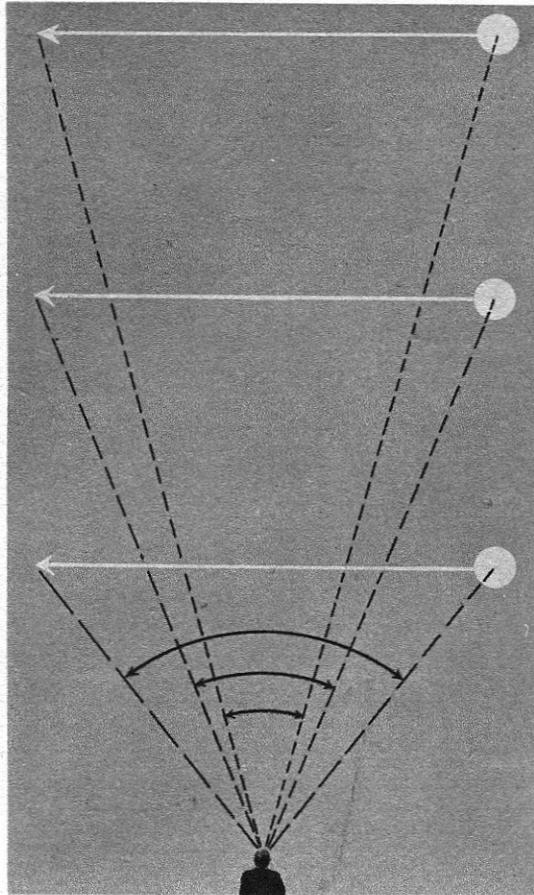
Mouvements généraux des astres; phénomènes qu'ils engendrent.

— Lorsqu'on fait abstraction du mouvement régulier et continu en vertu duquel paraissent inlassablement défiler les astres, on se trouve conduit dès l'abord à éprouver cette impression que, dans l'ensemble, le spectacle du ciel nous est offert comme un majestueux symbole de calme et d'immobilité. Cependant, nous remarquons que d'un soir à l'autre la position de la Lune s'est modifiée, et que

même son déplacement peut être constaté en quelques heures, si elle se trouve à proximité d'un autre astre brillant formant comme un repère. De même, comme nous l'avons spécifié, on voit les planètes occuper successivement des situations différentes au milieu des étoiles et des constellations, toujours identiques dans leur distribution.

Ces quelques exemples apportent donc une première démonstration de mouvements s'accomplissant dans l'espace.

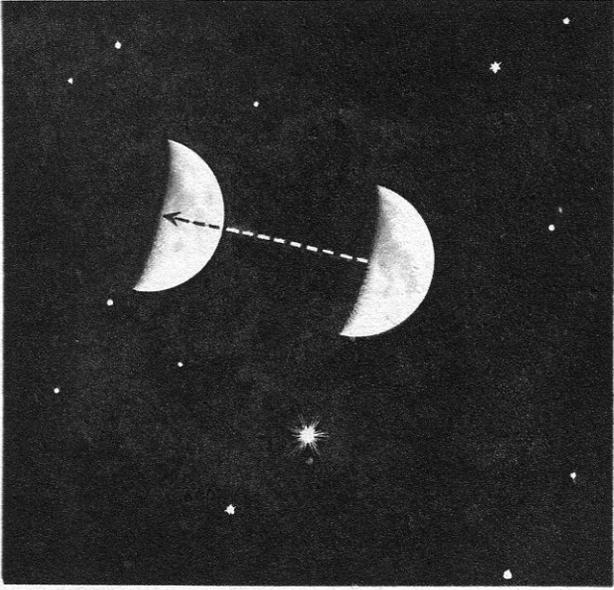
Il faut maintenant généraliser. Non seulement, en effet, aucun astre n'est immobile, mais encore tous sont lancés à de très grandes vitesses; seulement nous ne pouvons constater ces mouvements d'une façon appréciable, par suite des distances en jeu. Au surplus, l'expérience courante se charge de nous en apporter la preuve à tous moments. Lorsque nous sommes dans un véhicule, nous voyons défiler les détails du paysage environnant : le déplacement des plus proches, en une seconde par exemple, est considérable, tandis que, dans le même temps et lorsqu'il s'agit de points plus éloignés, leur changement apparent de position s'accuse de moins en moins, au point de paraître nul vers l'horizon. Ce n'est là, bien entendu, qu'une explication destinée à rappeler les effets résultant de certaines lois de la perspective. Dans l'espace, nous nous trouvons en présence de masses lancées comme des projectiles, ayant chacune leur vitesse particulière, et se déplaçant à des distances très inégales de la Terre. Ainsi, nous apprendrons que la Lune est toute voisine de notre globe, et que, pour accomplir sa course mensuelle autour de celui-ci, elle doit se mouvoir à raison de 1 kilomètre environ par seconde.



VARIATION DE LA DIMENSION APPARENTE D'UN OBJET EN FONCTION DE SON ÉLOIGNEMENT.



ASPECT GÉNÉRAL DE LA VOIE LACTÉE VUE A L'ŒIL NU.



DÉPLACEMENT DE LA LUNE SUR LE CIEL.

D'autre part, et pour employer le langage sportif moderne, certaines planètes font du 50, non pas à l'heure, mais à la seconde, d'autres du 35, du 25, etc., tandis que les étoiles sont lancées à des vitesses égales ou très supérieures, puisque beaucoup atteignent environ 80, 100 et même 300 kilomètres à la seconde. Enfin, on a constaté que les nébuleuses spirales, les formations sidérales actuellement connues comme les plus lointaines, se déplacent tout d'un bloc à des allures inconcevables, allant de plusieurs milliers jusqu'à 42 000 kilomètres par seconde! Or, que constatons-nous? C'est que la Lune, animée d'une vitesse relativement modeste (en effet, des projectiles d'invention humaine pourraient lutter avec elle), nous paraît se déplacer sensiblement sur le ciel d'une heure à l'autre, tandis que les planètes, bien plus rapides mais très lointaines, ne laissent apprécier leur déplacement qu'après un laps de temps plus ou moins long, et que pratiquement les étoiles semblent rester absolument immobiles. Depuis que les hommes contemplant le ciel, les positions respectives des étoiles dessinant les constellations n'ont encore subi, en effet, aucune modification frappante pour le simple regard. Seules les méthodes de mesure les plus précises peuvent déceler, à la longue, ces mouvements restant, pour ainsi dire, insensibles malgré leur ampleur inimaginable.

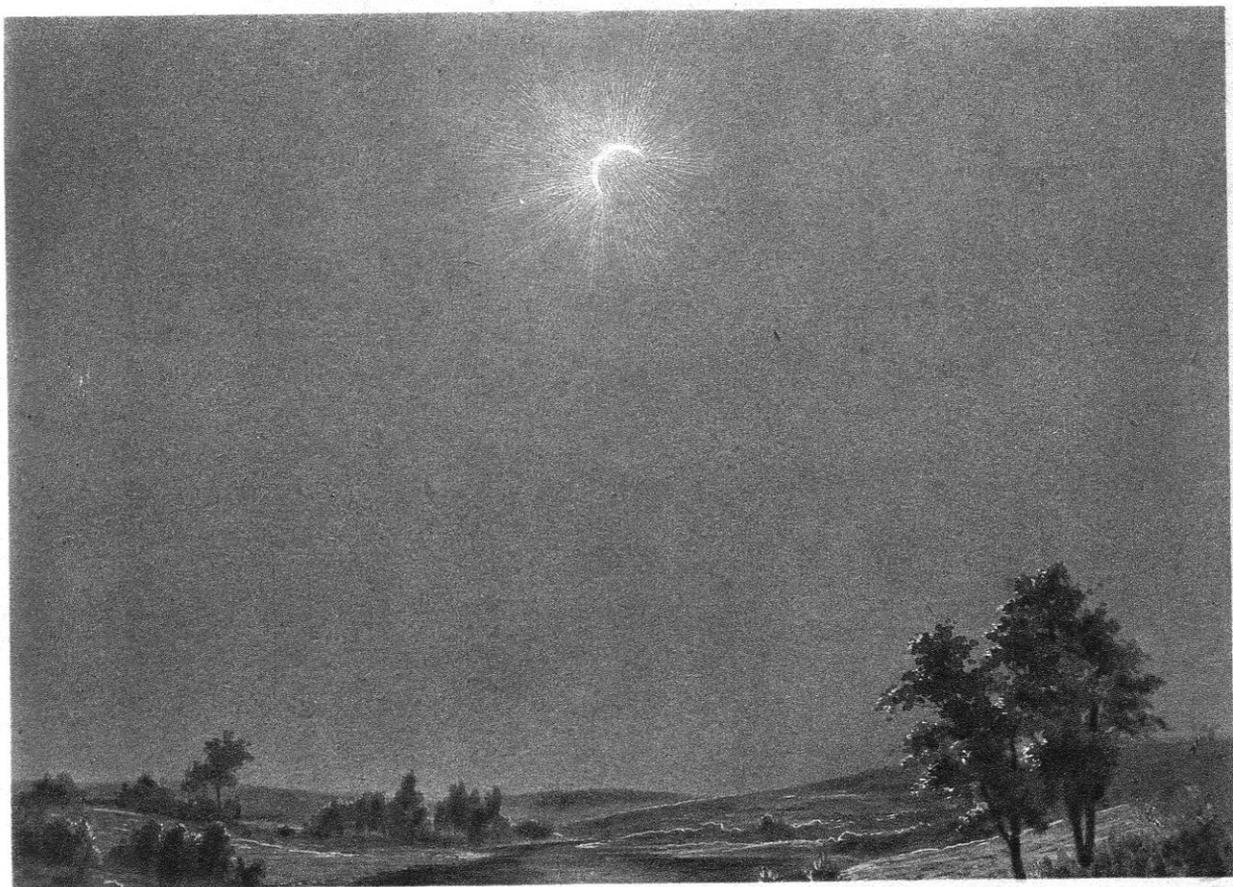
Il faut être bien pénétré de ces notions premières quand on contemple le spectacle offert par l'Univers s'étendant tout autour de nous. Elles facilitent la compréhension de ces mouvements multiples, de leurs conséquences, et permettent d'expliquer aussi, dès l'abord, le pourquoi des nombreux phénomènes qui résultent de la nature des astres en jeu. Par exemple, lorsqu'au grand effroi des populations primitives ou ignorantes on voit le Soleil disparaître progressivement en plein ciel, comme rongé par une cause mystérieuse, ce phénomène, appelé *éclipse*, est simplement provoqué par la Lune dont le globe se trouve amené à s'interposer plus ou moins complètement, comme un écran opaque, devant le disque solaire. Voit-on, au contraire, la Lune subir un sort analogue, c'est que, venant à passer derrière le globe de la Terre, juste à l'opposé du Soleil, elle cesse alors de recevoir l'illumination de ce dernier, grâce à laquelle nous la voyons briller dans le ciel. Nous remarquons également que se réalisent à certains moments de belles conjonctions d'astres : de deux planètes, par exemple, ou d'une planète et d'une

étoile, ou bien de la Lune avec l'une d'elles. Dans ces divers cas, le rapprochement apparent peut être tel qu'une planète éclipe une étoile, et que notre satellite éclipe l'un ou l'autre de ces corps célestes : on dit alors qu'il y a *occultation*. En contemplant l'aspect parfois magnifique de ces conjonctions, on en comprendra aisément la raison grâce aux mouvements respectifs qui amènent ces divers astres à se trouver momentanément dans une même direction apparente, sans que le regard soit capable de nous faire saisir leur situation respective, en profondeur, l'un étant, par rapport à l'observateur terrestre, très loin derrière l'autre. Mais dans ces événements célestes, il faut considérer autre chose que leur effet splendide ou curieux : les éclipses de Soleil ou de Lune, les occultations sont d'une importance très grande ; nous le verrons par les enseignements que l'on en peut tirer relativement à l'étude de certaines conditions physiques propres aux astres, et que ces circonstances permettent de déceler.

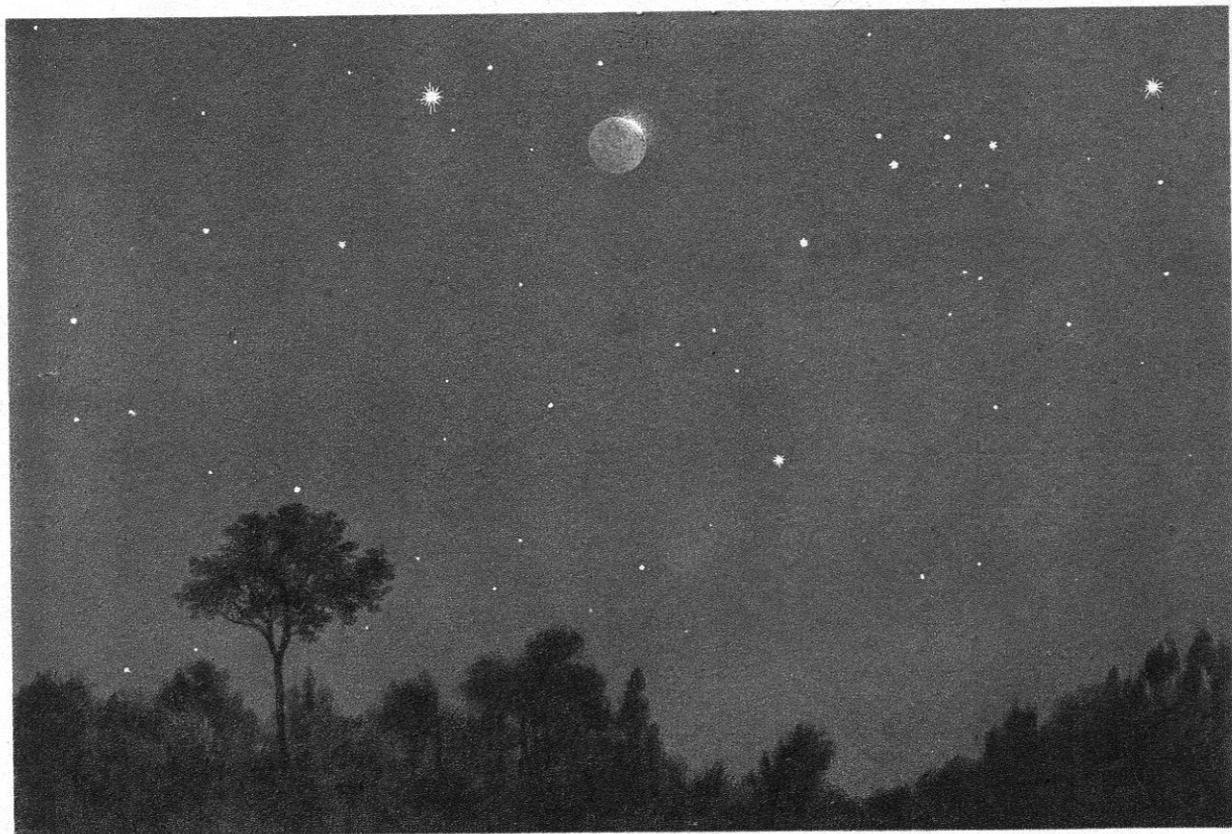
Comment s'accomplissent les mouvements dans l'espace. Orbites. — Aucun astre n'est animé d'un mouvement rectiligne comparable, par exemple, à celui d'un projectile qui serait lancé dans l'espace suivant une direction invariable et une vitesse uniforme. Tous les mouvements célestes, au contraire, s'accomplissent suivant des courbes fermées ou *orbites*, plus ou moins vastes, au long desquelles la course s'effectue avec une inégale rapidité en conséquence des lois universelles définies ci-après. Pour l'instant, disons que toute orbite se développe autour d'un centre occupé par le corps céleste (ou un groupe de corps), dont l'attraction régit les mouvements de ceux, plus petits, qui circulent sous sa domination. Si la Terre tourne autour de l'énorme globe du Soleil ainsi que les



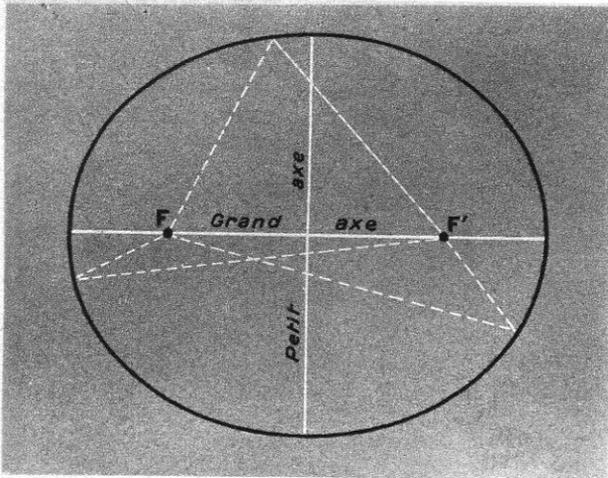
CONJONCTIONS DE PLANÈTES.



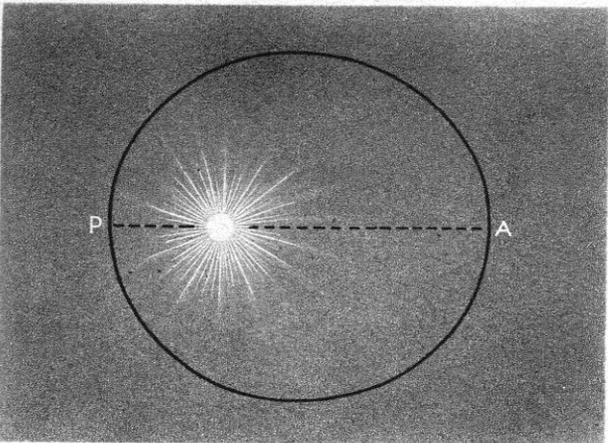
UNE ÉCLIPSE DE SOLEIL.



UNE ÉCLIPSE DE LUNE.



PROPRIÉTÉS DE L'ELLIPSE. F, F', foyers.



GRAND AXE D'UNE ORBITE. P, PÉRIHÉLIE; A, APHÉLIE.

autres planètes, la Lune tourne autour de la Terre qui lui est supérieure par sa masse, etc. Et lorsque nous étudierons plus tard le domaine des étoiles, nous verrons qu'également il en est d'associées l'une à l'autre, se comportant de manière analogue. Quant aux mouvements généraux dont tous ces derniers astres sont animés dans l'espace, nous ne pouvons, en raison de leur faible ampleur apparente, que les reconnaître sans définir encore leur allure et leur développement total avec exactitude.

On peut comparer, à titre d'explication générale, une orbite à une piste circulaire sur laquelle le coureur repasse régulièrement par le même point au bout d'un laps de temps déterminé par la vitesse de sa course et le chemin qu'il a à parcourir : ce temps est celui de sa *révolution*.

Les orbites sont des ellipses dont l'astre prépondérant autour duquel elles se développent occupe l'un des foyers, l'ellipse étant une figure géométrique qui se trace autour de deux points fixes ou *foyers*. La somme des distances entre les foyers et un point quelconque de la courbe est toujours constante, cette somme représentant la longueur du plus grand diamètre de l'ellipse, ou *grand axe*. Cette propriété, les jardiniers, par exemple, l'utilisent pour dessiner une plate-bande ovale : deux piquets sont plantés aux deux points correspondant aux foyers, et on y attache les extrémités d'une corde dont la longueur totale est équivalente à celle du grand axe; la corde étant ensuite tendue à l'aide d'une pointe promenée sur le terrain, l'ellipse se trouve dessinée. Plus les deux foyers sont écartés l'un de l'autre, proportionnellement à la longueur

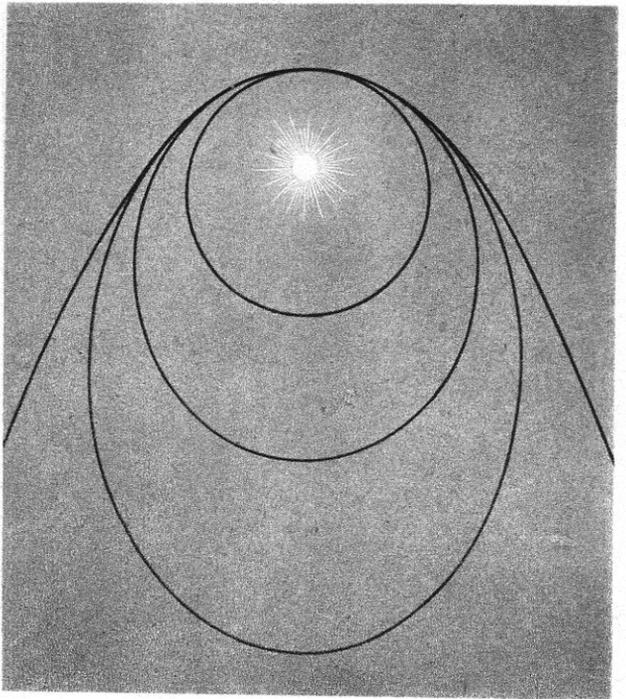
du grand axe, plus l'ellipse s'aplatit : le rapport de cet écartement des distances focales à la dimension de l'axe s'appelle l'*excentricité* de l'orbite.

Les diverses orbites elliptiques sont d'excentricité très inégale. Les unes se différencient peu du cercle parfait, tandis que d'autres se développent comme des ovales ou des fuseaux très allongés. Ce dernier cas s'applique tout particulièrement aux comètes, dont certaines suivent des courbes tellement exagérées dans ce sens qu'on les assimile alors à des *paraboles* ou à des *hyperboles*. Ces dernières figures géométriques se définissent élémentairement comme des ellipses à axe infini. Autrement dit, on peut se représenter de telles courbes comme se confondant avec une ellipse à l'un des sommets, mais ne se rejoignant pas, à quelque distance qu'on prolonge ensuite les branches. Ces particularités, dont l'exposé aura pu sembler un peu ardu, nous en verrons les conséquences lorsque nous aurons à nous occuper plus spécialement de ces curieux astres chevelus.

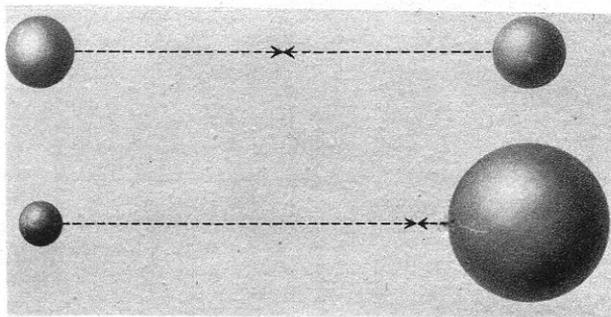
On conçoit donc qu'un astre parcourant son orbite elliptique doive se trouver, aux différents points de sa course, à une inégale distance de l'astre, centre du mouvement, qui occupe l'un des foyers; il en est au plus près à l'extrémité de l'axe voisine de ce foyer, et au plus loin à l'extrémité opposée. On appelle respectivement ces deux points *périhélie* et *aphélie* pour une orbite autour du Soleil (du grec *hélios*, soleil); dans le cas de l'orbite lunaire autour de la Terre, on emploie les désignations *périgée* et *apogée* (du grec *gê*, terre).

Masse des corps et attraction. — Une force existe qui maintient les corps célestes dans leurs orbites et régit les mouvements dont ils sont animés : c'est la *gravitation*, ou *attraction universelle*, dont la découverte a immortalisé le nom de Newton. Comme pour toutes les lois essentielles, l'énoncé en est assez simple; mais, pour le mieux comprendre encore, il importe de préciser tout d'abord une notion capitale, indispensable, et qui est celle de la masse d'un corps.

Assez volontiers on confond masse et poids. La *masse* d'un corps est la quantité de matière qu'il contient,



CERCLE, ELLIPSES, PARABOLE.



ATTRACTION DES MASSES.

quelle que soit cette matière : platine, or, plomb, roche ou bois; tandis que le *poids*, nous le verrons plus en détail au chapitre consacré à la Terre, n'est qu'une des conséquences de l'attraction exercée sur un objet par la masse d'un corps déterminé, et dans des circonstances données.

Considérons deux masses quelconques, séparées par une distance également quelconque : tout se passe comme si une force d'attraction s'exerçait de l'une à l'autre. Et Newton a défini la loi qui porte son nom dans les termes suivants :

« La force qui paraît s'exercer entre deux corps matériels est directement proportionnelle à la masse de ces deux corps et en raison inverse du carré de la distance qui les sépare. »

D'après cela, imaginons que, dans l'espace supposé vide, il n'y ait que deux corps, immobiles, et qu'on les abandonne à eux-mêmes en deux points aussi distants soient-ils : aussitôt s'attirant réciproquement, ils se mettront en marche l'un vers l'autre avec une vitesse s'accroissant progressivement. Seraient-ils de masses égales, ils se rencontreraient à mi-route; de masses très inégales, les chemins parcourus s'établiraient proportionnellement à cette inégalité, et alors le plus gros ne se serait que peu déplacé à la rencontre du petit qui aurait fait tout le reste du parcours.

On objectera que l'expérience courante semble en défaut à cet égard, puisque nous pouvons poser deux objets sur une table et qu'on ne les voit nullement venir s'accoler, à la manière d'un clou contre l'aimant. C'est que la force de l'attraction, en réalité très petite dans ce cas, est alors combattue et annulée par la résistance due au frottement exercé sur la table par le « poids » des objets. En effet, il ne s'agit plus ici des conditions idéales supposées tout à l'heure; nous sommes sur la Terre dont l'attraction exercée par sa masse, énorme comparativement à celle des objets que nous pouvons observer, joue alors le rôle prépondérant. Néanmoins, la loi n'est aucunement en défaut, on peut la vérifier en laboratoire grâce à des moyens de mesure très sensibles, en faisant les constatations sur des corps disposés de telle manière qu'ils puissent échapper, sinon à la pesanteur terrestre, du moins au frottement par contact avec un support.

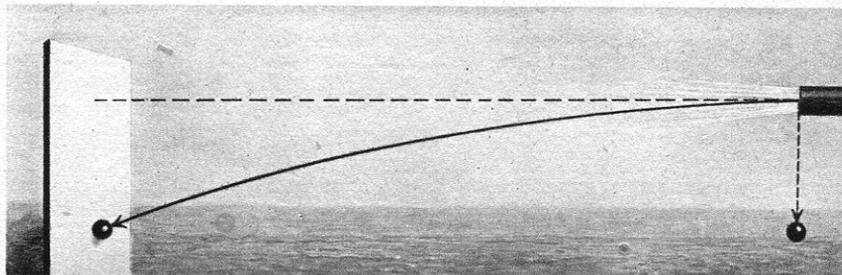
Étant isolés dans ce qu'on est convenu d'appeler le vide de l'espace, les astres peuvent donc exercer librement leurs actions réciproques; mais ils ne tombent pas les uns sur les autres, parce qu'ils sont en mouvement; leur vitesse

de déplacement est commandée par l'attraction qu'ils subissent, de telle façon que se trouve réalisé un équilibre constant.

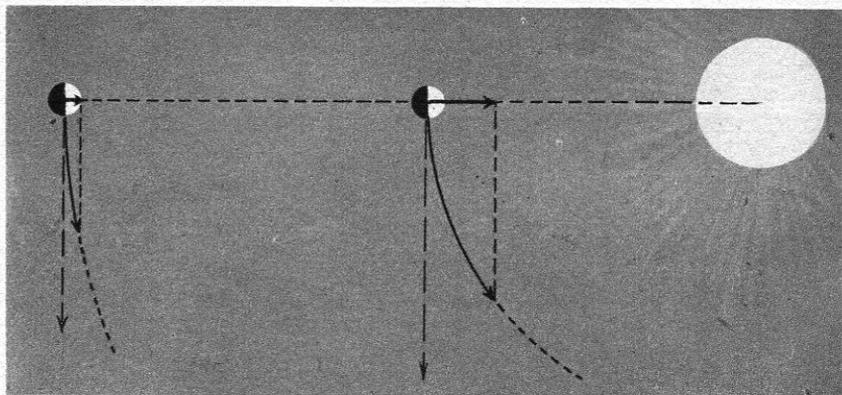
Essayons d'expliquer ces faits aussi élémentairement que possible, en prenant l'exemple d'un projectile envoyé par un engin quelconque : lancé horizontalement, il accomplirait sa course en ligne droite si la pesanteur, due à l'attraction du globe terrestre, n'intervenait. Mais étant soumis à cette attraction qui tend à le faire tomber vers le sol, en un temps donné, d'une longueur égale à celle que le projectile parcourrait, si, abandonné à lui-même, à son point de départ, il tombait verticalement en chute libre.

Les choses se passent pareillement pour les astres. Leurs orbites sont des trajectoires constamment incurvées vers le centre attractif auquel chacun d'entre eux est subordonné. Plus un corps céleste est voisin de celui dont il subit l'attraction prépondérante, plus grande est la longueur qu'il parcourrait, en une seconde, par exemple, en tombant vers lui. Dans ces conditions, analogues au cas du projectile dont il est question ci-dessus, l'écart s'accroît d'autant plus avec la ligne droite, ou *direction tangentielle*, à partir du point initial choisi pour la démonstration. A mesure que l'écart s'accroît, la courbe en arc se développe davantage en longueur, et, comme elle doit être parcourue pendant ce temps choisi d'une seconde, il faut donc que la rapidité de la course s'accroisse proportionnellement. En conséquence, étant inégalement distantes du Soleil, les diverses planètes accomplissent leur course respective autour de lui avec une vitesse d'autant moindre qu'elles sont plus éloignées.

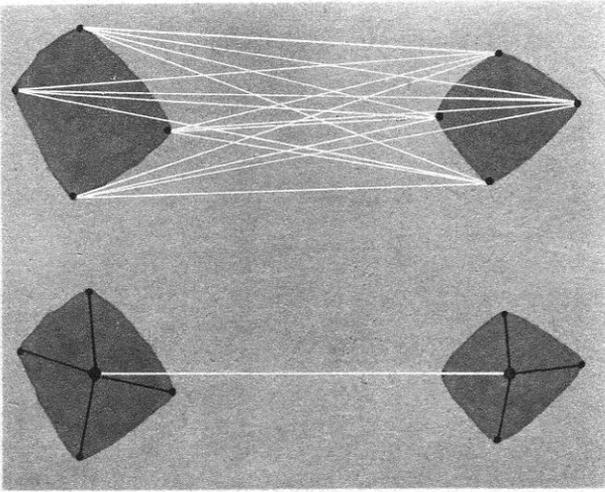
Le centre de gravité. — Les explications précédentes, relatives aux conséquences de l'attraction s'exerçant entre deux corps quelconques, font naître, lorsqu'on approfondit



ACTION DE LA PESANTEUR SUR UN PROJECTILE.



ATTRACTION EN FONCTION DE LA DISTANCE.



ATTRACTIONS RÉCIPROQUES ET CENTRES DE GRAVITÉ.

les choses, la remarque suivante : « Ces deux corps, dites-vous, s'attirent réciproquement avec une énergie dont la distance en jeu fait varier la force. Or, si l'on considère qu'ils possèdent nécessairement un volume déterminé, il y a inégalité d'écartement entre chacun de leurs divers points; par exemple, ceux qui se trouvent sur les faces opposées. En poussant le raisonnement, on trouve finalement qu'une molécule du premier attire inégalement toutes les molécules du second, tandis qu'elle se trouve attirée par elles dans les mêmes conditions. Donc des attractions d'intensité variable s'exercent simultanément entre les diverses parties de ces corps. Ces multiples attractions élémentaires s'effectuent suivant les lignes droites joignant chacun des points en question; et voudrait-on traduire cette disposition par une représentation graphique, qu'il en résulterait un réseau inextricable par suite du nombre infini de lignes qui le constitueraient.

« Comment donc concilier ces faits avec l'exposé général des lois de la gravitation, dans lequel on raisonne comme si des masses agissant l'une sur l'autre étaient réduites à de simples points géométriques? »

Pour répondre à cette objection, la mécanique est venue le plus heureusement du monde à notre secours. Elle démontre, en effet, que l'attraction générale, résultant des attractions individuelles s'exerçant entre toutes les molécules, se fera suivant une ligne droite, absolument comme si toute la masse de chacun des corps se trouvait concentrée en deux points privilégiés. Ces points sont les centres des attractions élémentaires. Si les corps en jeu sont placés relativement l'un près de l'autre, comparativement à leurs dimensions, la position de ces points à l'intérieur de leur masse change lorsqu'on les déplace d'une manière quelconque en modifiant leur orientation ou bien leur écartement; ce qui se comprend aisément puisque les attractions mutuelles, s'exerçant de molécule à molécule, varient en raison inverse du carré de la distance, et que, de chaque point aux autres points, les distances respectives changent lorsqu'on modifie la position ou l'écartement des deux corps en présence.

Mais si entre ces deux corps la distance devient très grande, eu égard à leurs dimensions, alors toutes les attractions individuelles deviennent comme parallèles entre elles, et le centre; à l'intérieur de chaque corps; se fixe dans une position que l'on peut considérer comme pratiquement invariable et que l'on appellera le centre de gravité.

Quand les corps envisagés sont sphériques, le centre de gravité et le centre géométrique se confondent. Tout se passe donc comme si la masse entière était là concentrée.

Ce cas est précisément celui des astres dont les distances respectives, nous l'apprendrons, sont énormes par rapport aux dimensions de leurs globes. Ainsi les calculs d'attraction sont-ils simplifiés, puisqu'il est permis alors de considérer les masses rassemblées à leurs centres respectifs.

Cependant, cette simplification n'est plus permise si, entre deux corps célestes, la distance est relativement minime comparativement à leurs dimensions; ce qui se présente justement pour la Terre et la Lune. Et comme la Terre n'est pas rigoureusement sphérique, il en résulte, à cause de l'orientation oblique de la course de la Lune, et en vertu des principes définis ci-dessus, les conditions changeantes de situation réciproque qui influent sur la régularité de la marche de son satellite. L'étude du mouvement de la Lune permet donc, concurremment avec les mesures géodésiques, de calculer l'aplatissement du globe terrestre. Inversement, la Lune réagit sur cette forme de notre monde pour déterminer certaines variations de ses mouvements.

Les lois de Képler. — La gravitation universelle fait comprendre en vertu de quoi les planètes tournent autour du Soleil.

Considérons maintenant les lois qui régissent le caractère et l'allure de ces mouvements. Ces lois, au nombre de trois, sont dues au génie de Képler qui les formula au début du XVII^e siècle; et c'est en les étudiant que Newton fut conduit à énoncer le principe plus général de la gravitation universelle.

Première loi : Toutes les planètes décrivent autour du Soleil des ellipses, dont le Soleil occupe l'un des foyers;

Deuxième loi : Les aires balayées, pendant des temps égaux, par le rayon vecteur allant du Soleil à la planète, sont égales;

Troisième loi : Les carrés des temps des révolutions sidérales sont proportionnels aux cubes des grands axes des ellipses qui constituent les orbites.

Nous ne reviendrons pas sur la définition de l'ellipse, donnée précédemment. En vertu des propriétés de cette figure géométrique qui, d'après la première loi de Képler, est la forme générale de l'orbite d'une planète, nous apprécions que la distance de cette planète au Soleil varie à tous les points de son orbite; ce qui, à propos de certaines conditions physiques, peut entraîner de très appréciables conséquences.

La seconde loi se rattache à ce qui vient d'être dit des effets de l'attraction et des vitesses inégales en fonction de

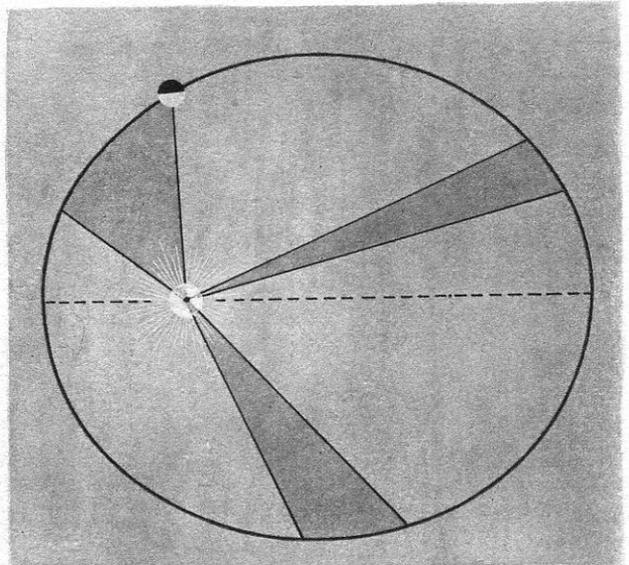


FIG. I. — LOI DES AIRES (LOIS DE KÉPLER).

la distance. Le schéma (fig. 1) en fait comprendre le principe. Le rayon vecteur, c'est-à-dire la ligne droite allant du Soleil à la planète, balaye pendant des temps égaux des aires égales. En raison de l'excentricité de la figure géométrique que nous considérons, des aires d'égales surfaces embrassent des arcs de longueurs inégales sur l'orbite. Or, comme il s'agit de temps égaux pour parcourir ces arcs plus ou moins développés, le mouvement de la planète, dans la partie de son orbite voisine du Soleil, s'effectuera avec une vitesse supérieure à celle qu'il prendra dans la partie opposée. On comprend ainsi l'importance de la deuxième loi de Képler, qui règle la vitesse de translation d'une planète autour du Soleil; ces variations de mouvements en fonction de la distance ont de multiples répercussions, par exemple sur la marche des saisons d'une planète, dont l'étude de celles de la Terre exposera le principe.

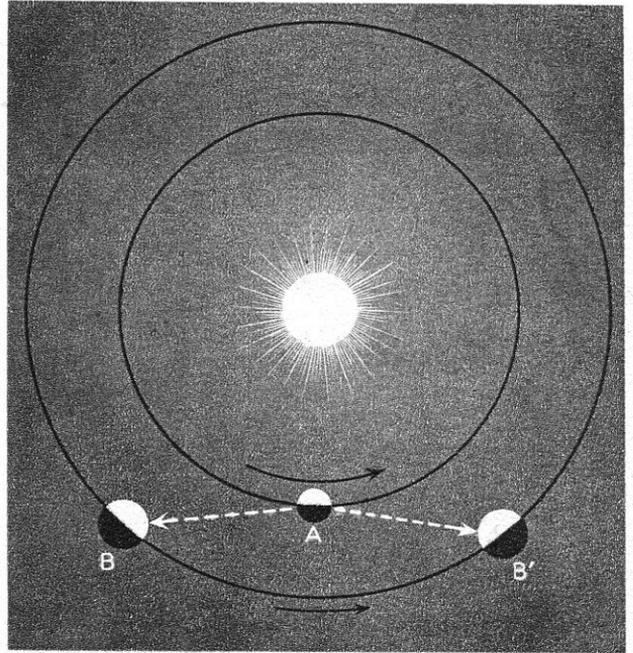
Quant à la troisième loi, son caractère mathématique signifie ceci : si l'on fait le carré du temps employé par une planète pour revenir à un même point de son orbite, autrement dit le carré du temps de sa révolution complète, le quotient du carré de ce temps par le cube de la longueur du grand axe de l'orbite est un nombre constant; ceci, quelle que soit la planète considérée, et quelles que soient les dimensions de son orbite. Ainsi, cette dernière loi règle la durée de révolution, ou année, d'une planète quelconque, d'après la distance à laquelle celle-ci se trouve située par rapport au Soleil.

Le principe de l'attraction universelle et les lois de Képler permettent donc de comprendre comment les planètes tournent autour du Soleil, les satellites autour des planètes. Mais, de ce qu'un corps céleste est tributaire d'un autre dont l'importance est prépondérante pour lui, il ne s'ensuit pas que l'action de cette dernière masse reste seule en jeu; c'est-à-dire que, par exemple, le mouvement d'une planète ne s'accomplit pas avec la parfaite régularité que laisse concevoir l'explication donnée de son mouvement, d'après les lois en vertu desquelles celui-ci s'accomplit.

Déjà nous avions vu que la forme du globe terrestre n'est pas négligeable eu égard à la marche de son satellite. Il faut considérer maintenant que, si une planète se meut dans les conditions générales qui lui sont imposées par sa distance au Soleil, elle subit néanmoins dans une certaine mesure l'influence des autres planètes plus ou moins voisines, en même temps qu'elle réagit sur ces dernières : il s'ensuit alors que son mouvement est alternativement accéléré ou retardé. De ces irrégularités, appelées *perturbations*, les astronomes doivent tenir compte lorsqu'il s'agit de calculer la marche rigoureuse d'un corps céleste afin de préciser l'exacte position qu'il occupera à un instant déterminé.

Ainsi la complexité de la mécanique céleste impose une tâche considérable aux mathématiciens; mais nous aurons l'occasion de voir que, d'autre part, d'étonnantes découvertes ont pu être effectuées grâce à l'analyse de certaines de ces perturbations.

Importance des distances célestes. — Les distances séparant les astres sont d'un ordre de grandeur difficile à concevoir dès l'abord. La simple appréciation, fondée sur nos communes mesures terrestres, se trouve en défaut lorsqu'on veut établir des comparaisons. Nous avons l'habitude d'évaluer les distances en kilomètres, en centaines ou en milliers de kilomètres, et des trajets de cette longueur, par exemple « le tour du monde », sont jugés considérables. Cependant, combien les nombres employés pour préciser ces longueurs paraîtront insignifiants en regard de ceux qu'il faut aligner pour exprimer les distances célestes. Quelques-unes, il est vrai (par exemple celles de certains satellites au voisinage de leur planète), peuvent leur être comparées. Mais, à part ces exceptions, ce sont les

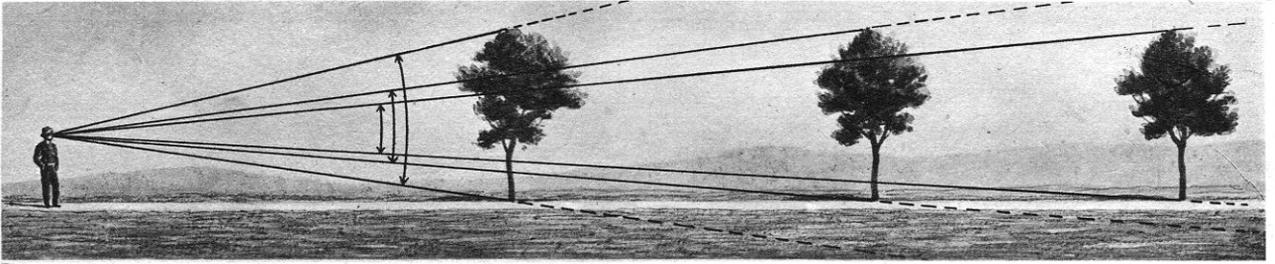


PRINCIPE DES PERTURBATIONS PLANÉTAIRES. Dans les positions respectives A-B, la marche de la planète A est retardée par l'attraction de B. Inversement, pour A-B', il y a accélération de A.

millions, les centaines de millions, les milliards et les trillions de kilomètres, et plus encore, qu'il faut mettre bout à bout!

Si bien que, dans la majorité des cas, on doit chercher à rendre plus suggestive l'importance de l'éloignement des divers astres. Les plus voisins de nous sont d'abord la Lune, puis certaines planètes, et le Soleil, autour duquel elles tournent en même temps que la nôtre. En somme, la Terre fait partie d'un groupe, le système solaire, dont l'étendue totale (actuellement connue) représente 11 milliards de kilomètres environ. Quelque grand que nous paraisse ce nombre, il est pour ainsi dire nul à côté de ceux qu'on doit employer pour énoncer la distance de la majorité des étoiles. Alors, au lieu d'une suite presque inintelligible de chiffres, une donnée physique va nous édifier davantage : c'est le temps que met la lumière à franchir de tels espaces.

Il faut, à ce sujet, rappeler un fait d'observation courante, celui d'un personnage éloigné tirant un coup de fusil ou frappant sur un objet quelconque : une durée appréciable s'écoule après la vision de l'un ou l'autre de ces actes pour que nous parvenions le bruit qu'ils ont déterminé. Les écarts constatés proviennent du temps mis par le son à se propager jusqu'à nous à raison, on le sait, de 330 mètres par seconde; il y a là un procédé classique, utilisé par beaucoup, pour estimer les distances en jeu dans de tels cas. Or, il en est de même pour la lumière. Si, dans les expériences précédentes, nous croyons voir s'accomplir la déflagration ou le choc à l'instant même où ils se produisent, c'est que les distances en jeu sont trop courtes comparativement à la vitesse des ondes lumineuses. En effet, ces dernières se propagent à raison de 300 000 kilomètres par seconde, et alors, que sont les petites distances limitées au cercle de notre rayon visuel par rapport à ces 300 000 kilomètres? Moins que rien. Ainsi, il est permis de considérer qu'un rayon lumineux émis dans notre voisinage nous parvient instantanément. Mais il en est tout autrement lorsqu'il s'agit du recul prodigieux avec lequel nous apercevons la plupart des astres. Entre eux et notre œil, l'éloignement est assez grand pour qu'une onde lumineuse partie à un moment donné ne nous par-



DIMINUTION DU DIAMÈTRE APPARENT D'UN OBJET EN FONCTION DE SON ÉLOIGNEMENT.

viennent qu'après une durée plus ou moins longue, comme dans le cas précité des ondes sonores. Et ainsi est rendue plus sensible l'énormité des distances qu'il faut considérer. On va en juger. Si nous restons dans le domaine du système solaire, dont la dimension est donnée plus haut, un tel mode d'évaluation édifiera davantage quand on saura que la lumière mettrait environ onze heures et demie pour franchir l'espace compris entre ses limites extrêmes; tandis que du Soleil lui-même elle ne met que 8 m. 18 s. pour nous parvenir. Mais n'avions-nous pas raison d'affirmer que tout cela n'est rien en comparaison des distances qui nous séparent des étoiles, puisque pour les évaluer ce n'est plus par heures, ni par jours, ni par mois qu'il faut compter, mais par années et par siècles! Du plus proche de ces autres soleils, un rayon lumineux ne nous arrive que quatre ans après en être parti. Puis il en est d'autres pour lesquels la durée du trajet s'allonge par exemple à dix, vingt, cinquante, cent, mille ans et plus encore, et toujours plus encore. Finalement, des astres reconnus aux dernières limites susceptibles d'être atteints par les moyens actuels d'investigation, la lumière ne nous arrive qu'après quelques centaines de millions d'années de course! Néanmoins, reconnaissons que de telles durées de marche foudroyante déroutent peut-être autant notre esprit, quant à une appréciation figurative de la longueur du trajet, qu'un essai de représentation par une succession de kilomètres exprimée en nombres illisibles.

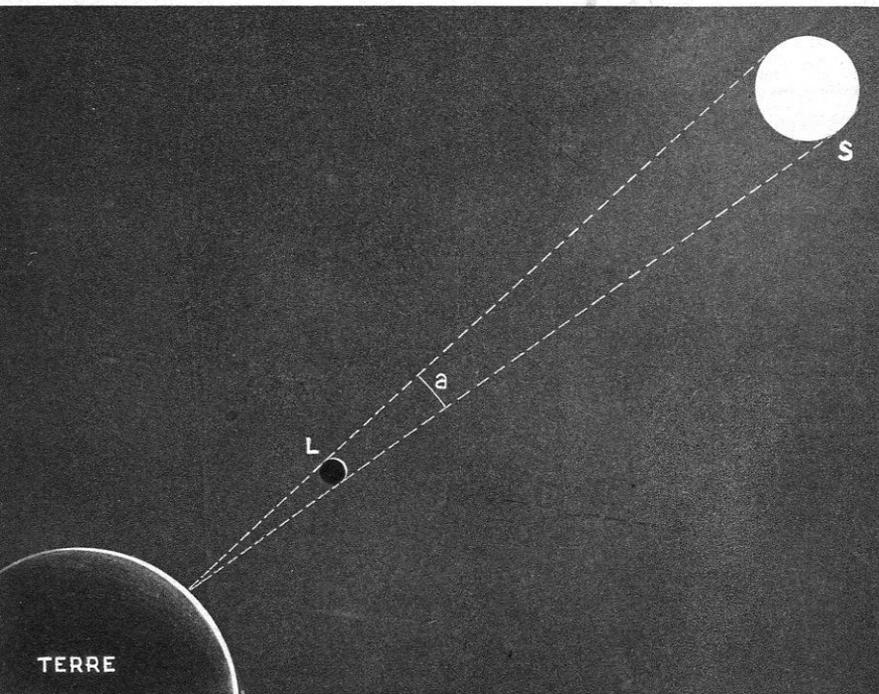
Toujours est-il que, pour simplifier les chiffres, on se sert volontiers d'une unité correspondant à la distance parcourue par la lumière en une année : cette unité dite *année-lumière* est équivalente à 9 468 000 000 000 de kilomètres; d'autres unités sont également employées, que nous définirons lorsque seront exposés les procédés et les méthodes d'observation relatifs à la connaissance des astres et de leur situation dans l'espace.

Dimensions apparentes des astres. — En possession des données générales qui viennent d'être énoncées, on s'étonne moins que la simple vision humaine reste impuissante à distinguer la plupart des caractères réels des divers astres, malgré l'énormité de certains, qui nous frappera à juste titre lorsqu'il sera question d'eux plus spécialement.

Le Soleil et la Lune laissent découvrir, à l'œil nu, le contour de leurs globes respectifs, qui apparaissent alors comme d'assez larges disques. Mais ceux des planètes ne peuvent être distingués qu'à l'aide du pouvoir amplificateur des instruments télescopiques et, nous l'avons dit, quelle que soit la puissance de ce dernier mode d'examen, ceux des étoiles restent jusqu'à présent inappréciables. Cependant, et dans tous les cas, ce que nous sommes à même d'apercevoir n'est que qualitatif; en un mot, nous constatons seulement qu'il s'agit de corps sphériques, tandis que les dimensions sous lesquelles ils se distinguent les uns des autres, ne correspondent nullement à leurs réelles proportions réciproques.

En effet, au premier abord, le disque du Soleil et celui de la Lune ont une dimension sensiblement égale; ce que nous constatons au mieux lorsque le second vient recouvrir le premier en provoquant alors le beau spectacle d'une éclipse totale. Qu'il en soit ainsi est le résultat du très inégal éloignement de ces deux astres : nul n'ignore comment, en vertu des lois de la perspective, un objet quelconque se rapetisse à nos yeux à mesure qu'on le voit de plus loin. Il importe donc de ne pas confondre la dimension *réelle* de cet objet avec sa dimension *apparente* qui varie en fonction de la distance à laquelle il est aperçu.

Nous revenons là à l'illusion de la voûte céleste, où tous les astres paraissent situés sur le même plan, comme fixés les uns près des autres, alors qu'en vérité ils sont très diversement situés les uns derrière les autres. Si bien que notre « voisine » la Lune, dont le globe est relativement très petit, s'y montre avec une dimension apparente équivalente à celle du globe solaire qui, lui, est énorme, mais considérablement éloigné.



LA LUNE L ET LE SOLEIL S, inégalement « gros », ont, en raison de leurs distances respectives de l'observateur, le même diamètre apparent de valeur angulaire a .

Il en est de même pour les différentes planètes : la vision télescopique nous les fait apercevoir sous des dimensions apparentes qui, comparativement les unes aux autres, ne correspondent nullement en proportions à celles qu'elles possèdent en réalité. Ainsi, à cause de sa relative proximité, le globe de la planète Vénus, douze fois moins large en diamètre que celui de la lointaine planète Jupiter, peut se montrer plus gros que ce dernier. Nous disons peut se montrer, car ces dimensions apparentes subissent de notables variations du fait des différences d'éloignement consécutives aux mouvements généraux dont nous aurons à préciser le mécanisme et l'ampleur, et qui font que nous voyons les aspects célestes subir de périodiques transformations.

On définit les dimensions apparentes d'un objet par sa valeur angulaire, c'est-à-dire par l'angle compris entre les rayons visuels encadrant les limites de cet objet, et qui s'exprime, comme tous les angles, en degrés et fractions de degrés : vus dans le ciel, les diamètres apparents des astres sous-entendent toujours des angles très petits pour la numération desquels on se sert, tout au plus, non de degrés, mais de minutes d'arc et plus souvent encore de secondes ; en abrégé et respectivement : $^{\circ}$, $'$, $''$ (un degré = $60'$, une minute = $60''$, soit un degré = $3\,600''$). Les plus larges de ces diamètres apparents, ceux de la Lune et du Soleil, ont ainsi environ $32'$ d'arc. Remarquons-le en passant, ils fournissent couramment l'impression d'être vus beaucoup plus « gros » à l'horizon que lorsqu'ils trônent dans les hauteurs du ciel. Et si l'on demande à certaines personnes sous quelles dimensions elles voient ces disques au moment de leur lever ou de leur coucher, elles répondent, se servant de termes de comparaison variés, que ces disques leur apparaissent comme une assiette, une soucoupe ou une orange, par exemple. Faisant la part du manque d'habitude à estimer comme il convient les dimensions célestes, de telles comparaisons font concevoir que vraiment les astres en question semblent offrir, au regard, des proportions bien définies. Pourtant, lorsque l'on considère les choses dans leur réalité, on est alors frappé de l'exigüité relative des dimensions apparentes ainsi contemplées, ce qu'une petite expérience très facile permet au surplus de constater.

Effectivement, en application des principes exposés ci-dessus, nous pouvons, à l'aide d'un objet de faible largeur, mais rapproché de l'œil, en masquer un autre qui, lui, est énorme et éloigné. Or, que faut-il pour masquer ainsi totalement le Soleil ou la Lune en apparence si grands ? Tout simplement un petit disque de 5 millimètres de diamètre ou un crayon (même dimension) tenus à bout de bras (fig. 2). Cela paraît si surprenant au premier abord qu'il faut avoir fait l'expérience pour en être bien convaincu. D'autre part, cette expérience permet aussi de reconnaître que le Soleil et la Lune, malgré l'im-



FIG. 2. — Vu à l'œil nu, le diamètre de la Lune peut être masqué par un objet d'une largeur de 5 millimètres placé à 57 centimètres de l'œil.

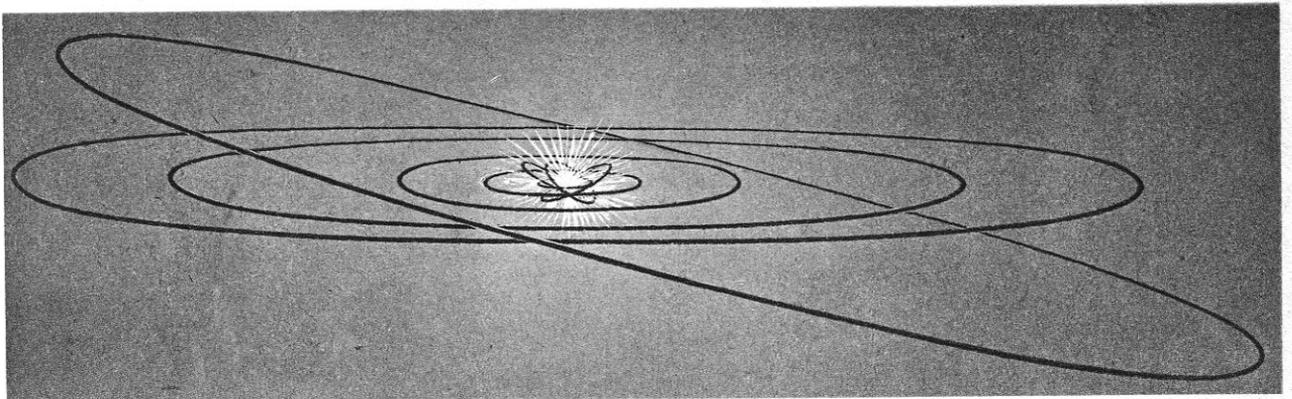
pression éprouvée, ne sont pas plus grands à l'horizon qu'aperçus dans une position élevée : il s'agit donc là d'une pure illusion optique qui, pour être bien connue quant à son effet, est cependant encore mal expliquée.

Revenons maintenant à la vision des autres astres. Les plus importants des disques planétaires atteignent de $50''$ à $60''$, d'autres ne dépassent guère $25''$ ou $18''$, d'autres encore sont vus réduits à $4''$ et $2''$ seulement, ou même moins. Or, pour fixer les idées, une seconde d'arc c'est l'angle sous lequel se voit un objet de 1 millimètre de largeur, éloigné à 206 mètres de l'œil. Rien que par là, on reconnaît l'impuissance de notre simple vision à observer directement le véritable aspect de la majorité des astres. Et l'on conçoit ainsi que, pour examiner fructueusement la plupart d'entre eux, il faille encore utiliser de très puissants instruments optiques.

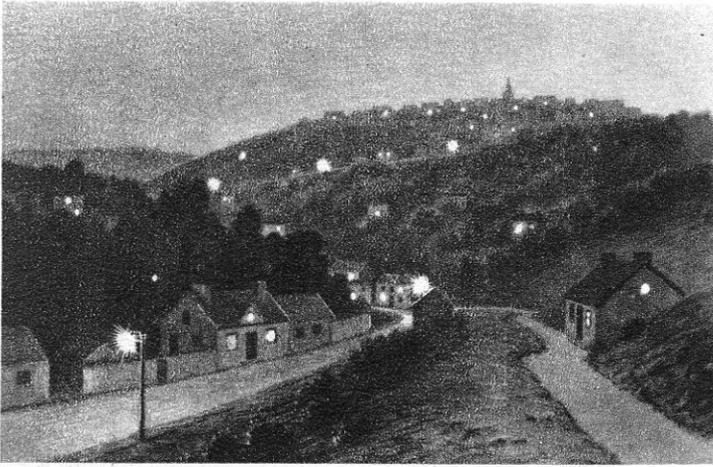
Le fait de voir sous cet aspect réduit des globes possédant des milliers de kilomètres de diamètre est donc encore un autre élément d'information, susceptible de nous édifier sur leur éloignement. Ces principales notions générales doivent nous aider à mieux concevoir toute l'importance de la distribution des divers astres, et les caractères principaux de leur groupement constituant l'Univers visible.

Le système solaire. — Le système solaire comprend les planètes accompagnées ou non de leurs satellites, tournant de concert autour du Soleil ; nous y ferons également entrer nombre de comètes, puisqu'on voit celles-ci se comporter de même.

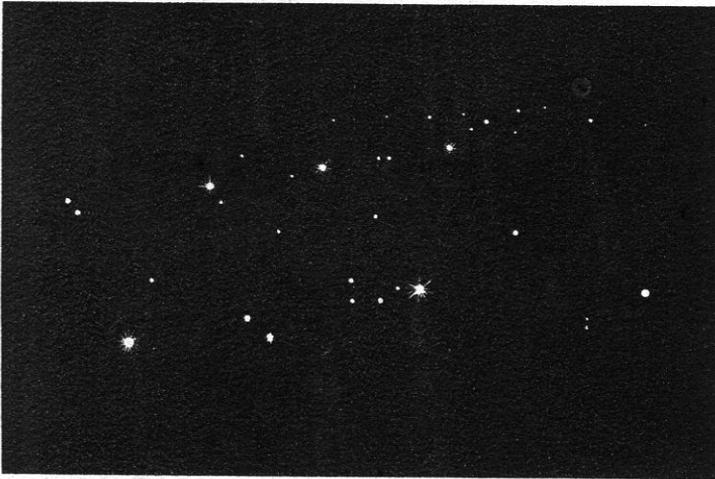
Considérons les orbites planétaires comme matérielles, c'est-à-dire se traçant à la manière de pistes. Alors vues de très loin, de façon à en découvrir l'ensemble, ces pistes



ORBITES DIVERSEMENT INCLINÉES DU SYSTÈME SOLAIRE.



Un site urbain avec son éclairage nocturne établi sur des plans successifs.



Le même éclairage, subsistant seul, forme une constellation d'astres de grosseurs différentes.

plus ou moins développées paraissent se disposer concentriquement, car, à part quelques exceptions, elles sont situées à peu près suivant un même plan dans l'espace; mais quoique elliptiques, ainsi qu'il vient d'être défini, leur excentricité n'est pas suffisamment accusée (les comètes exceptées) pour qu'il en soit tenu compte dans une représentation purement schématique. Provisoirement considérons-les, comme des cercles, dont la longueur du rayon correspond à ce qu'on appelle la distance moyenne au Soleil. Si donc nous voulons représenter la disposition du système solaire dans l'espace, il en résultera une figure (page 19), où les cercles sont tracés en perspective, de même qu'un spectateur un peu lointain verrait des zones successives sur une vaste arène sportive. Et l'on comprend mieux ainsi la disposition générale du système solaire, où les planètes effectuent leur ronde à peu près dans un même plan, tandis que les comètes circulent avec des inclinaisons et des orientations très diverses par rapport à ce plan.

Les divers éléments du système solaire : distances, formes des orbites, durée des mouvements, etc., se trouvent exposés aux chapitres qui traitent ces questions en détail, tandis que, pour l'instant, nous nous en tiendrons à un point de vue très général. Considérons donc uniquement l'importance et la situation de ce groupement au sein de l'espace peuplé d'autres astres.

Une telle association se développe, avons-nous dit, sur une largeur totale d'environ 11 milliards de kilomètres.

Du moins, cette dimension représente-t-elle le diamètre moyen de la plus lointaine des orbites planétaires actuellement connues, qui sont toutes à peu près contenues dans un même plan. Mais il faut vraisemblablement considérer l'ensemble solaire comme beaucoup plus vaste si l'on fait entrer en ligne de compte l'extension de certaines d'orbites cométaires, car beaucoup de ces astres mystérieux — nous l'apprendrons — parcourent très des routes d'une telle longueur qu'ils peuvent très bien ne pas avoir encore été vus de la Terre (du moins depuis que les hommes mesurent le ciel), ou bien que, observés une fois, le développement exagéré de leurs orbites n'ait pu être déterminé avec exactitude. D'autre part, de telles orbites pouvant être très fortement inclinées sur le plan général moyen des orbites planétaires, il s'ensuit que nous ignorons finalement la dimension totale du système solaire non seulement suivant ce plan, mais dans les autres directions par rapport à lui.

Dans tous les cas, autour de ce groupe de corps célestes, et quelque grandes que nous paraissent ses limites envisagées, elles sont encore insignifiantes par rapport aux distances existant entre les étoiles qui parsèment l'immensité spatiale.

Imaginons, en effet, que nous voulions représenter, comme sur un plan, les situations respectives du système solaire avec ses dimensions, et les étoiles qui l'environnent *au plus près*. En utilisant une feuille de papier de plusieurs dizaines de mètres d'étendue, vers les bords de laquelle seraient marquées les positions stellaires, tout le système solaire serait réduit à un seul point au centre de cette feuille.

Les étoiles et les constellations. — Telles que nous apercevons les étoiles, réparties sur l'étendue entière du ciel, elles semblent çà et là plus rapprochées les unes des autres, comme associées en groupes dont la disposition, formant certains alignements, s'impose en quelque sorte aux regards. Ainsi semblent se dessiner des figures, les unes présentant des contours capricieux, les autres une espèce de régularité géométrique parfois frappante : ce sont les *constellations*.

Mais ces groupements ne sont qu'apparents. Il ne faut nullement y rechercher une association comparable à celle d'un système, comme celui de notre Soleil. Nous apprendrons, il est vrai, que certains des autres soleils si lointains ne sont pas isolés et qu'il s'agit alors de corps célestes associés ou partageant en quelque sorte les mêmes destinées, se comportant, en un mot, comme les diverses unités d'une escadrille voguant en ordre dispersé dans une direction déterminée. En tout cas, les aspects variés des constellations procèdent seulement d'un effet de perspective. Là où nous croyons voir quelques étoiles accolées, en réalité elles s'échelonnent très inégalement en profondeur suivant la direction de notre rayon visuel. Pour mieux fixer les idées à ce sujet, servons-nous d'une comparaison dont les éléments nous sont offerts par des spectacles familiers : une grande place parsemée de lampadaires, ou les abords d'une ville avec toutes ses sources de lumière, le tout contemplé d'un peu loin. Évidemment, nous constatons sans peine, d'après les lignes fuyantes du terrain ou d'après les emplacements visibles, la situation réciproque de tous les points brillants et leur éloignement progressif. Mais supposez que ces éléments d'appréciation fassent défaut, c'est-à-dire que vous soyez seulement à même de voir ces points brillants à l'exclusion du reste — ce qu'au surplus on réaliserait au mieux avec une photographie

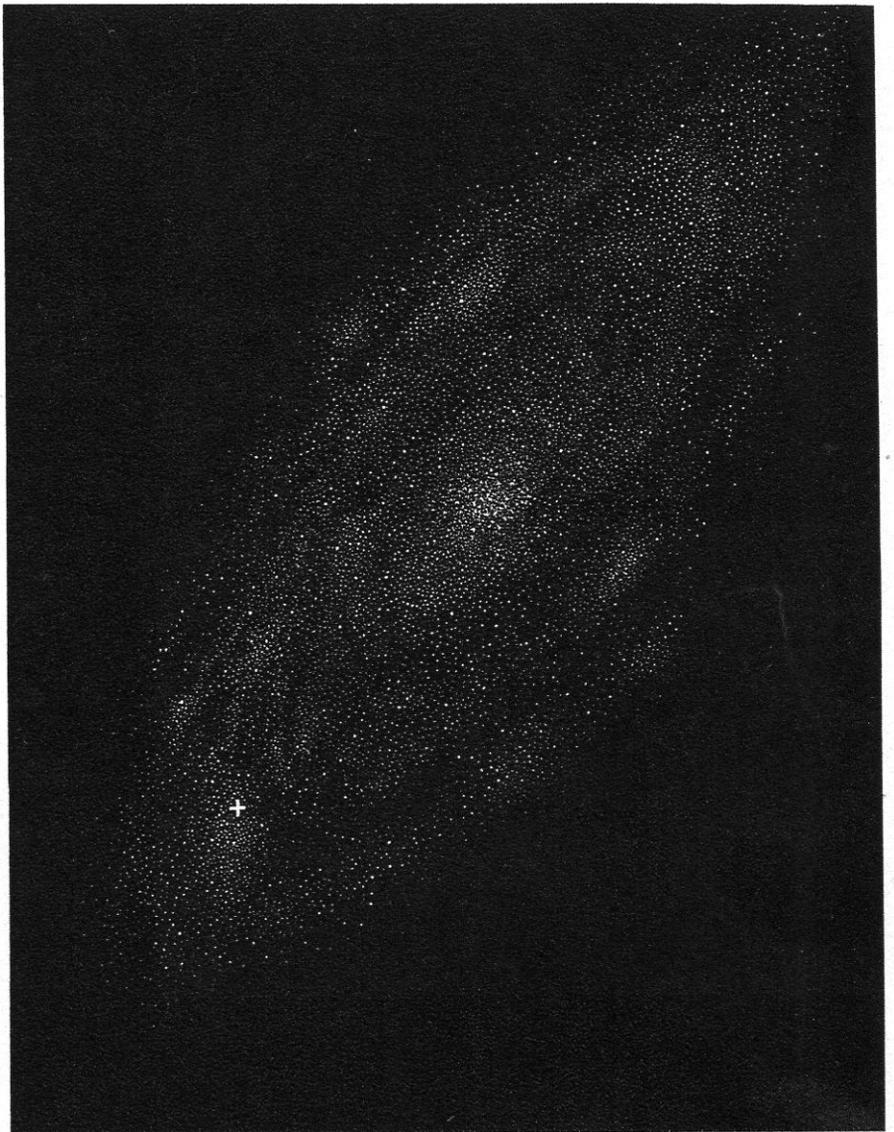
instantanée qui n'aurait pu enregistrer que les petites taches lumineuses dispersées —, ce que vous verrez, ou bien ce qu'enregistrera la plaque sensible, fournira, en raison d'absence de points de repère permettant d'évaluer les inégales distances relatives, l'impression que tous ces points brillants sont sur un même plan, et plus ou moins accolés les uns aux autres.

Donc, sur le ciel, les constellations sont dessinées à nos yeux par des étoiles très dispersées en profondeur, et dont l'une est peut-être plus près de nous qu'elle ne l'est de celle qui semble jumelée avec elle, à la manière des deux phares d'une automobile un peu lointaine.

Remarquées de toute antiquité, les constellations furent dotées de noms symboliques ou mythologiques, conservés depuis. Encore qu'arbitraires, ces appellations ont à tout le moins l'avantage de faciliter la description du ciel, découpé ainsi en une sorte de cadastre. Dans chacune d'elles, les principales étoiles, par ordre décroissant d'éclat, ont été désignées à l'aide d'une lettre de l'alphabet grec : α la plus brillante, β la seconde, et ainsi de suite. Mais, à la plupart des étoiles également, tout au moins à celles dont l'éclat ou une position privilégiée attirent spécialement le regard, les Anciens avaient aussi donné des noms propres dont l'usage a été volontiers conservé. Ainsi dirons-nous tout aussi bien *Sirius* (c'est, en apparence, la plus brillante étoile de tout le ciel) que α du Grand Chien, *Véga* que α de la Lyre, etc.

A cette élémentaire, mais utile nomenclature, s'en est ajoutée plus scientifiquement une autre qui consiste à cataloguer les étoiles d'après leurs positions apparentes sur le ciel; ces positions étant rapportées à des cercles de longitude et de latitude idéalement établis sur la sphère céleste, comme on le fait sur le globe terrestre pour déterminer les positions géographiques. Beaucoup d'étoiles, particulièrement les faibles, sont maintenant désignées par les numéros qu'elles portent dans tel ou tel de ces catalogues.

L'Univers visible et la place que nous y occupons.
— Résumons maintenant ce qui vient d'être exposé. D'après tout cela, nous pourrions prendre conscience d'une vue générale de l'Univers, avant de décrire spécialement, et comme il convient, chacune de ses individualités. Donc, nous sommes sur une planète qui, de concert avec d'autres, tourne autour du Soleil; cette famille céleste constitue un système dont nous avons appris les proportions. Au-delà des limites de ce système, et immensément loin, en toutes directions, les Étoiles, ou autres soleils, gisent dans les profondeurs de l'espace, aussi isolées les unes des autres qu'elles le sont par rapport au Soleil; mais l'effet de la perspective nous les montre en quelque sorte rassemblées, formant des groupements apparents : d'abord ceux quelque peu étendus et dispersés des constellations,



FORME PROBABLE DE NOTRE SYSTÈME STELLAIRE : LA GALAXIE. La croix indique l'emplacement du système solaire.

puis d'autres plus resserrés, jusqu'à former par agglomération les nuages lumineux de la Voie lactée.

A ne tenir compte que de leurs réelles distances réciproques, si considérables, les étoiles ne paraissent avoir aucune relation entre elles. Il en est cependant tout autrement. Toutes celles que nous voyons, au nombre de plusieurs milliards, constituent un groupe déterminé, comme un peuplement localisé dans l'espace. Car si, au-delà des étoiles que nous apercevons à l'œil nu, l'investigation télescopique en révèle de bien plus lointaines encore, il ne s'ensuit pas que la progression, en recul, se continue indéfiniment. Et l'on peut considérer alors des limites à partir desquelles il n'y aurait plus d'étoiles. Sur ce sujet, l'un des plus vastes que l'on puisse envisager, nous ne discuterons pas maintenant. Bornons-nous, dans l'esprit de ces premières lignes, à tracer une esquisse de la disposition de notre système stellaire.

On admet que ce prodigieux groupement, auquel on a donné le nom de *Galaxie*, est un amas de forme grossièrement lenticulaire et où les étoiles peuvent être réparties assez inégalement, rassemblées çà et là en condensations plus ou moins importantes. D'après cette forme de la Galaxie, on est conduit à supposer qu'elle constitue un

ensemble animé d'un lent mouvement de rotation autour d'un axe perpendiculaire au plan lenticulaire ; c'est, en gros, une réplique de ce que nous avons vu pour le système solaire.

Puisque nous en voyons les individus tout autour de nous, c'est que nous sommes plongés au sein de cette foule ; non pas vers son milieu, mais dans une situation quelque peu excentrique, ceci pour expliquer les apparences que la perspective fait découvrir par une plus ou moins grande accumulation d'étoiles suivant la direction de notre rayon visuel : rappelons-nous bien ce qui a été dit précédemment pour expliquer la Voie lactée.

Rappelons-nous également que la Terre fait partie du système solaire, et que ce système n'a aucune dimension appréciable eu égard au reste ; donc, en disant la Terre, c'est exactement, par rapport à l'ensemble des étoiles, comme si nous disions : le point de l'espace où se trouve le Soleil. En conséquence, changeons simplement d'expression, et il devient permis d'énoncer que le Soleil se trouvant au sein de ce vaste amas qui se développe autour de lui, il en fait ainsi partie intégrante. Le Soleil est donc une des étoiles de la Galaxie. Et cette étoile est absolument aussi peu remarquable qu'un individu quelconque perdu dans un immense rassemblement ; car elle n'est ni la plus importante, ni la plus petite, et la position qu'elle occupe n'a rien de privilégié. Partageant le sort de ses innombrables frères, le Soleil est lancé à son tour à travers l'espace avec une

grande vitesse, entraînant ainsi tout son cortège de planètes.

Et maintenant, de même qu'au point de vue de nos conceptions un vide considérable s'étend autour du petit système solaire avant que se rencontrent d'autres astres, de même autour du système de la Galaxie s'étend également une immensité sans peuplement la séparant d'autres agglomérations analogues qui sont les ultra-lointains amas stellaires — improprement appelés nébuleuses — affectant une structure en spirale.

De certains de ces groupements, la lumière met des centaines de millions, peut-être même un demi-milliard d'années à nous parvenir, tandis qu'elle a traversé l'ensemble de la Galaxie en cent mille ans environ. On juge ainsi, approximativement, de la faible étendue de cette dernière par rapport à l'espace existant entre elle et ses semblables, puisque, finalement, on considère les groupements spiraux comme d'autres galaxies.

Telle est, dans ses grandes lignes, la disposition de l'Univers visible donnant naissance à l'apparence générale du « ciel ». Nous savons que tous les astres sont en mouvement (en vertu de quoi se présentent des aspects si variés), et quels phénomènes peuvent se produire à nos yeux. Nous allons maintenant apprendre comment certains de ces spectacles se modifient, comment d'autres se reproduisent périodiquement, par suite des conditions dans lesquelles nous nous trouvons sur notre poste d'observation : la Terre.



AUTRES GALAXIES, UNIVERS-ILES PERDUS DANS L'INFINI.