

LE CIEL

IMPRIMERIE GÉNÉRALE DE CH. LAHURE
Rue de Fleurus, 9, à Paris



LA COMÈTE DE DONATI

d'après les observations de G. P. Bond le 4 Octobre 1858.
à Cambridge (Etats Unis)

LE CIEL

NOTIONS D'ASTRONOMIE

A L'USAGE

DES GENS DU MONDE ET DE LA JEUNESSE

PAR

AMÉDÉE GUILLEMIN

OUVRAGE ILLUSTRÉ

DE 45 GRANDES PLANCHES DONT 12 TIRÉES EN COULEUR

ET DE 231 VIGNETTES INSÉRÉES DANS LE TEXTE

QUATRIÈME ÉDITION

ENTIÈREMENT REFONDUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE

PARIS

LIBRAIRIE DE L. HACHETTE ET C^{ie}

BOULEVARD SAINT-GERMAIN, N^o 77

1870

Droit de traduction réservé.

A

MA FEMME ET A MES ENFANTS

AVANT-PROPOS.

En mettant au titre de cette nouvelle édition du CIEL la formule consacrée : *entièrement refondue et considérablement augmentée*, je pense n'avoir exagéré en rien l'importance des modifications apportées au texte et aux gravures de cet essai d'astronomie populaire.

Je pourrais presque dire que c'est un nouvel ouvrage que j'offre au public, si l'esprit dans lequel il avait été conçu d'abord, si le plan et la méthode de sa rédaction primitive n'étaient restés les mêmes, comme le but que je m'étais proposé.

Mais les progrès de la science sont incessants, et dans ces quelques années, les progrès de l'astronomie, ceux de l'astronomie physique surtout, ont été assez considérables pour nécessiter, une révision de presque tous les chapitres du CIEL, et même, pour quelques-uns d'entre eux, une rédaction entièrement nouvelle. Je citerai principalement les chapitres concernant la constitution physique et chimique du Soleil, celle des étoiles et des nébuleuses : une branche de la science qui s'appuie sur les observations de la lumière des astres par la méthode de l'analyse spectrale, a été créée

de toutes pièces depuis quelques années à peine, et les résultats du plus haut intérêt qu'elle a fournis tout récemment ne pouvaient être passés sous silence. Désormais, grâce à cette méthode, l'astronome peut analyser les substances qui constituent l'enveloppe radieuse de notre étoile, celles dont sont formés les soleils les plus lointains, ou qui composent les immenses agrégations de matières gazeuses flottant sous le nom de nébuleuses dans les profondeurs de l'éther; il arrive à reconnaître la nature physique ou chimique de ces masses si éloignées de nous, tout comme le chimiste étudie les corps dans ses cornues.

Les étoiles filantes, ces troupes de corpuscules qui viennent à des intervalles périodiques frôler les hautes régions de l'air, paraissent aujourd'hui devoir être assimilées aux comètes : plusieurs essaims sont sans doute des fragments détachés des masses cométaires. Cette théorie, due à un astronome italien, M. Schiapparelli, s'appuie sur des observations laborieusement amassées; elle n'est pas sans doute arrivée à dire le dernier mot sur ces curieux phénomènes, mais, telle qu'elle est, elle m'a obligé à donner au chapitre qui les concerne de nouveaux développements, et à ranger les étoiles filantes, avec la lumière zodiacale, dans un groupe à part des corps du monde solaire.

L'astre qui, après le Soleil, nous intéresse le plus, parce qu'il est l'inséparable compagnon de notre globe, la Lune, a été décrit dans cette édition avec plus de détails que dans les précédentes. J'ai aussi développé la troisième partie du Ciel, celle qui est consacrée aux lois de l'astronomie, à ses

méthodes, à ses instruments. Enfin, dans la description du monde solaire, comme dans celle du monde sidéral, ont été introduits un grand nombre de faits nouveaux, les uns dus à des observations récentes, les autres empruntés à d'anciennes observations oubliées.

J'ai dû reprendre bien des calculs, ceux notamment relatifs aux distances célestes et aux éléments qui en dépendent. La raison en est que tout s'accorde à prouver que les nombres adoptés jusque-là demandaient une révision, commandée à la fois par les progrès de la théorie et par leur accord avec les observations nouvelles. Mais ces changements n'altèrent en rien les proportions connues de l'univers, comparé au grain de sable qui nous porte; ils n'ôtent rien à l'immensité, à l'insondabilité de ces abîmes où se perdent à la fois notre vue et notre pensée.

J'ai tenu compte, autant qu'il m'a semblé juste, de toutes les observations, de toutes les critiques qui m'ont été adressées au sujet des éditions précédentes. J'ai donc à remercier mes correspondants et mes amis de la marque d'intérêt qu'ils ont ainsi donnée et à la science et à l'ouvrage, très-imparfait, dans lequel j'ai essayé de résumer en langage clair et accessible à tous, les magnifiques découvertes de la plus belle des sciences.

Il n'est que juste aussi de témoigner ici de ma reconnaissance pour les documents nouveaux qui m'ont été transmis : en France, par M. E. Roche, professeur à la Faculté des sciences de Montpellier : ce savant a bien voulu m'adresser une série de notes, de conseils, de critiques, dont j'ai largement profité

pour cette édition nouvelle; en Angleterre, par M. Warren de la Rue, à qui cette édition devra deux de ses plus belles planches, par M. Dawes, dont les astronomes déplorent la perte, par M. Nasmyth, par M. A. Herschel, l'infatigable observateur des étoiles filantes, par M. W. Huggins, à qui l'astronomie spectrale doit quelques-unes de ses plus belles conquêtes; aux États-Unis enfin, par les astronomes de l'observatoire d'Harvard-Collège.

Quarante vignettes et cinq planches inédites complètent une partie de l'ouvrage à laquelle j'attache au moins autant d'importance qu'au texte; parce que les gravures en parlant aux yeux, en reproduisant des dessins authentiques, achèvent de faire comprendre la description et quelquefois la rectifient.

Je n'oublierai pas non plus mes éditeurs, à qui les sacrifices n'ont rien coûté pour mettre le côté artistique de l'ouvrage et le luxe de l'impression à la hauteur d'un sujet que l'auteur eût voulu traiter d'une façon moins imparfaite et plus digne de la science.

Orsay, 22 octobre 1869.

PRÉFACE.

Je suis de ceux qui pensent que les sciences physiques et naturelles ont par elles-mêmes assez d'attraits, pour n'avoir besoin d'aucun ornement étranger. Cette conviction a été mon seul guide dans la conception du plan et dans la rédaction de cet ouvrage, qui n'est pas, à dire vrai, un livre de science, mais un tableau fidèle des phénomènes offerts par le ciel à l'admiration intelligente de l'homme.

Mon plan était donc tout tracé : je n'ai eu qu'à suivre celui même de la nature, tel que la science astronomique est arrivée à nous le révéler dans sa simplicité majestueuse. Tous mes efforts ont eu pour objet d'en présenter, avec la plus grande clarté possible, les détails et l'ensemble.

J'écris pour tous les esprits curieux de science, mais qui n'ont ni le temps, ni la volonté de devenir des astronomes de profession ; pour la jeunesse, en un mot, et pour les gens du monde, ainsi que le porte le sous-titre de cet ouvrage. J'aurais voulu que le CIEL pût se lire avec la facilité, avec le charme d'un roman, ou tout au moins avec cet intérêt si puissant qui s'attache aux récits des voyageurs, à leur retour

de contrées inconnues. N'est-ce pas un voyage aussi que celui de l'esprit, parcourant à la suite de la science les régions lointaines des espaces éthérés, et allant d'étape en étape, c'est-à-dire de soleil en soleil, jusqu'aux derniers confins de l'univers visible? Dans la relation de cette excursion à travers l'infini, le lecteur, il est vrai, ne trouvera point de ces péripéties soudaines, de ces émotions inattendues qui font palpiter notre cœur au souvenir des souffrances éprouvées par un de nos semblables; mais, en revanche, il lui sera donné de contempler le plus sublime de tous les spectacles : la majesté des grands phénomènes, l'inaltérable, l'éternelle harmonie des lois de la nature.

D'ailleurs, quel vaste champ, quel horizon magnifique le ciel n'ouvre-t-il pas à la plus active des facultés humaines, à l'imagination? Quand notre vue plonge à l'aide des plus puissants instruments d'optique dans les profondeurs de l'espace, et découvre, à la place de faibles points lumineux, des globes semblables au nôtre, les uns plus petits, les autres plus grands que lui, mille questions viennent se presser sur nos lèvres. Involontairement, nous nous surprenons à faire en pensée cent voyages plus intéressants, plus étranges, plus merveilleux que ceux dont la scène réelle est sur notre planète.

Partant des données de la science, nous nous mettons à construire les mondes nos voisins : la configuration de leur sol, leurs continents et leurs mers, les fleuves qui les arrosent, les montagnes dont les aspérités sont comme la charpente osseuse des globes, puis les êtres vivants, animaux et végé-

taux, qui en peuplent la surface, se présentent à nous sous les formes les plus variées. Poussés par une irrésistible tendance à doter ces mondes d'êtres intelligents et libres, nous assistons à leurs travaux, à leurs luttes ; nous nous demandons s'ils ont, comme nous, des traditions et une histoire ; alors, la pensée que notre humanité n'est qu'une des individualités collectives parmi toutes celles dont les globes roulent incessamment les destinées au sein de l'espace sans bornes, s'impose à notre esprit comme une vérité consolante : nous ne sommes plus seuls à travailler à la recherche du vrai, à la réalisation du juste et du beau.

Ce sont là sans doute des questions sur lesquelles l'astronomie n'a point à se prononcer, et qui resteront longtemps, peut-être toujours, dans le champ de l'hypothèse ; aussi je ne les effleure pas même dans cet ouvrage, laissant au lecteur le soin de les résoudre au gré de son imagination. Mais l'esprit le plus froid, le moins accessible aux suggestions de la fantaisie, ne saurait entièrement s'en défendre ; malgré lui, vient un moment, une heure de rêverie, où il se pose les mêmes problèmes ; et vraiment, nous ne pouvons nous en plaindre : n'est-ce pas une preuve de plus à l'appui d'une vérité qui de jour en jour devient plus éclatante, à savoir que la science touche à la poésie ?

Rendre l'astronomie accessible à tous entraînait la nécessité de bannir de mon livre toute la partie mathématique et démonstrative, celle qui constitue l'élément essentiel des traités méthodiques d'astronomie. Mais, en revanche, les détails les plus intéressants relatifs à la constitution des mondes

qui peuplent l'étendue, les observations les plus nouvelles faites avec les magnifiques instruments installés dans les observatoires d'Europe et d'Amérique, ont pu prendre une large place dans cette description physique de l'univers.

Un mot maintenant sur les sources où j'ai puisé les matériaux de cet ouvrage.

J'ai voulu mettre cet essai de science popularisée au niveau des plus récentes et des plus authentiques découvertes. Je me suis donc adressé directement aux plus illustres des astronomes des deux mondes. Tous m'ont libéralement octroyé le concours de leurs lumières : mémoires originaux, dessins, photographies.... m'ont été envoyés de tous les centres scientifiques avec une générosité pour laquelle je dois publiquement exprimer ici ma vive reconnaissance. Les encouragements et les conseils ne m'ont pas non plus manqué. Le vénérable patriarche des astronomes contemporains, sir John Herschel, l'amiral Smyth, MM. Warren de la Rue et Lassell, en Angleterre ; l'illustre directeur de l'Observatoire de Poulkova, Otto Struve, en Russie ; MM. de Littrow, en Allemagne, et P. G. Bond, aux États-Unis, sont, parmi les astronomes étrangers, ceux à qui je dois le plus de remerciements pour leur généreux concours.

En France, M. Le Verrier a mis avec empressement à ma disposition la bibliothèque de l'Observatoire impérial, et m'a autorisé à faire prendre, d'après nature, les dessins des plus beaux instruments de cet établissement magnifique. MM. Laus-

sedat, Chacornac, Goldschmidt m'ont aidé de leurs conseils, ou communiqué leurs observations.

Ce n'est pas tout. J'ai largement mis à contribution toutes les publications anciennes et modernes d'astronomie, les ouvrages si intéressants des Schrœter, des Laplace, des Beer et Mædler, des Struve; les atlas d'Harding et de l'illustre directeur de l'Observatoire de Bonn, Argelander; le recueil spécial, si plein de faits, des *Astronomische Nachrichten* de Berlin, les Bulletins et les Mémoires de la Société astronomique de Londres, les travaux des Airy, des Hind, des lord Rosse, des Maclear, les publications de l'Académie des sciences de Saint-Pétersbourg, le *Cosmos* d'Humboldt, le beau *Traité d'astronomie* d'Arago, et enfin toutes ces notes précieuses éparses dans les comptes rendus de notre Académie des sciences, où les noms français des Arago, des Biot, des Babinet, des Delaunay, des Faye, etc., se trouvent joints à ceux de tous les savants, membres de la grande république des sciences, qui résident à l'étranger.

Tels ont été mes collaborateurs dans la rédaction de cet ouvrage. Mais je ne devais pas me contenter, on le comprendra, de puiser au hasard dans l'immense recueil des travaux anciens et modernes qui constituent les archives astronomiques: j'ai dû choisir les faits les plus incontestés, les observations les plus récentes et les plus authentiques, discuter, comparer tous ces nombres qui, en astronomie, ont des significations si intéressantes; souvent refaire moi-même les calculs qui y conduisent, montrer, en un mot, en présence du public

auquel cet ouvrage est destiné, et qui n'a pas toujours entre les mains les éléments d'un contrôle spécial, avec quel respect de la vérité, avec quel soin consciencieux je me suis acquitté d'un travail, pour moi d'ailleurs si attrayant.

C'est au lecteur à dire maintenant si j'ai su tirer parti de ces nombreux et riches matériaux, et si, comme un peintre en face d'un splendide paysage, je suis parvenu à rendre les beautés du plus grandiose de tous les spectacles, celui de l'infinie variété des astres, se mouvant de concert dans l'étendue infinie.

Paris, 21 octobre 1864.

Qu'est-ce que le Ciel?

Où sont les rivages de cet océan, où est le fond de cet insondable abîme?

Que sont ces points lumineux, ces innombrables astres qui, sans s'éteindre jamais, rayonnent incessamment leurs feux dans l'immensité? Sont-ils semés au hasard, sans ordre, sans autre liaison que celle de la perspective? S'ils ne sont point immobiles, ainsi qu'on se l'était longtemps figuré, et s'il n'est plus permis de les regarder comme des clous d'or fixés à une voûte solide et transparente, vers quelles régions de l'espace dirigent-ils leur course éternelle? Quel rôle enfin le Soleil, notre Terre et toutes les terres qui font cortège à l'astre radieux, jouent-ils dans ce concert grandiose des corps célestes, dans cette sublime harmonie de l'Univers?

Magnifiques problèmes que l'imagination la plus féconde eût en vain essayé de résoudre, si, pour la gloire de l'esprit humain, une science, la plus anciennement constituée de toutes les sciences naturelles, l'Astronomie n'était enfin parvenue à en formuler avec netteté les solutions.

Étonnante puissance de l'homme! Enchaîné à la surface de la Terre, atome intelligent sur ce grain de sable perdu dans l'espace, il invente des appareils qui centuplent la pénétration de sa vue; il sonde les profondeurs de l'abîme éthéré, jauge les dimensions de l'univers visible, et dénombre les myriades d'astres qui en peuplent l'effrayante étendue; il étu-

die ensuite leurs mouvements les plus compliqués, mesure avec précision les dimensions et les distances des plus rapprochés de la Terre, évalue leurs masses; puis, découvrant dans le pêle-mêle des groupes artificiels les associations réelles, il arrive à reconnaître l'ordre au milieu d'une confusion apparente.

Il fait plus.

S'élevant par un suprême effort de la pensée aux plus abstraites spéculations, il trouve la loi qui régit tous les mouvements célestes, et définit la nature de la force universelle qui équilibre les mondes.

Tels sont les fruits de l'immense labeur de vingt générations d'astronomes. Tel est l'œuvre du génie et de la patiente persévérance des hommes qui se vouent depuis deux mille ans à l'étude des phénomènes dont le ciel est le théâtre.

Les bergers chaldéens furent, dit-on, les premiers astronomes. Cela se conçoit. Au milieu des vastes plaines où la clémence de la température leur permettait de passer la nuit en plein air, où la pureté du ciel les mettait sans cesse en présence du plus beau de tous les spectacles, ils devaient être et ils furent surtout des astronomes contemplatifs. Et tous nous serions ce qu'ils furent, si l'âpreté du climat et la rareté des belles nuits ne nous ôtaient trop souvent l'occasion d'observer le ciel, si d'ailleurs les préoccupations et les agitations de la vie civilisée nous en laissaient le loisir.

Rien au monde, en effet, ne me semble plus propre à élever la pensée vers l'infini que la contemplation silencieuse de la voûte étoilée, pendant une nuit sereine.

Des milliers de feux étincellent de toutes parts sur le sombre azur du ciel. Variés de couleurs et d'éclat, les uns resplendissent d'une vive lumière, perpétuellement mobile et scintillante; d'autres brillent d'une lueur plus égale, plus tranquille et plus douce; un grand nombre n'envoient leurs

rayons que par jets interrompus : on dirait qu'ils ont peine à percer les profondeurs de l'espace. Pour jouir de ce spectacle dans toute sa magnificence, il faut choisir une nuit où l'atmosphère ait toute sa pureté, toute sa transparence, et ne soit illuminée ni par la Lune, ni par les lueurs du crépuscule ou de l'aurore. Le ciel ressemble alors à une mer immense, dont la surface serait toute parsemée d'une poussière d'or et de diamant. En présence d'une telle splendeur, les sens, l'esprit, l'imagination sont ravis à la fois. L'impression qu'on ressent est une émotion profonde, religieuse, indéfinissable mélange d'admiration, de calme et de douce mélancolie. Il semble que ces mondes lointains, en rayonnant vers nous, se mettent en communication intime avec notre pensée ; et les natures rêveuses aiment, en ce moment, à redire les belles strophes du plus harmonieux de nos poètes :

.
 Doux reflet d'un globe de flamme,
 Charmant rayon, que me veux-tu ?
 Viens-tu dans mon sein abattu
 Porter la lumière à mon âme ?

Descends-tu pour me révéler
 Des mondes le divin mystère,
 Ces secrets cachés dans la sphère
 Où le jour va te rappeler ?

Une secrète intelligence
 T'adresse-t-elle aux malheureux ?
 Viens-tu, la nuit, briller sur eux
 Comme un rayon de l'espérance ?

Viens-tu dévoiler l'avenir
 Au cœur fatigué qui l'implore ?
 Rayon divin, es-tu l'aurore
 Du jour qui ne doit pas finir ?

.

Mais le sentiment n'a qu'une part dans l'émotion du spectateur, et bientôt l'intelligence reprend ses droits. Elle se demande comment ces myriades d'étoiles, çà et là disséminées,

ont pu révéler à ceux qui les ont étudiées la structure même de l'Univers; par quelle méthode ils sont parvenus à se débrouiller dans cette confusion, à calculer les distances des astres, à en déterminer les mouvements. Plus loin j'essayerai de donner une idée de la solution de ces intéressants problèmes maintenant et avant d'entrer dans une description plus détaillée, je vais tâcher d'esquisser dans son ensemble le panorama de l'Univers.

Jetons encore un coup d'œil sur la voûte du ciel.

Au premier aspect, les étoiles y semblent assez également disséminées : cependant, regardez cette lueur blanchâtre, indécise, vaporeuse, qui entoure tout le firmament comme une ceinture. C'est la Voie Lactée¹. A mesure que les regards s'approchent des bords de ce nuage céleste, les étoiles se pressent de plus en plus nombreuses, et la plupart si petites que l'œil les distingue à peine. L'accumulation dont il s'agit est surtout visible quand on explore ces régions du ciel à l'aide des télescopes. L'observation montre alors que la Voie Lactée elle-même n'est autre chose qu'une zone prodigieusement étendue d'étoiles, c'est-à-dire de soleils, puisque, comme nous le verrons plus loin, chaque étoile depuis la plus brillante jusqu'à la plus faible est un soleil.

Voilà donc un groupe immense, une association gigantesque de mondes, qui semble embrasser tout l'Univers, s'il est vrai que le plus grand nombre des étoiles éparses, qui paraissent situées hors de la Voie Lactée, en font néanmoins partie. En réalité, cette fourmilière de millions de soleils se partage elle-même en groupes nombreux et distincts, et ceux-ci en associations plus restreintes encore, chacune composée de deux ou trois soleils.

1. *Via lactea*, voie de lait. Les Grecs disaient γαλαξίας, dans le même sens. On trouve aussi dans les ouvrages astronomiques les noms de *galaxie* ou de *ceinture galactique*.

Quelle étendue occupe chacun de ces groupes, sur quel espace mille fois plus vaste s'étend leur ensemble? C'est ce que l'imagination la plus puissante essayerait en vain de se figurer d'une manière sensible; c'est ce dont les nombres ne parviennent à donner qu'une idée imparfaite. J'ajoute ici, et sans commentaire, un fait bien démontré sur lequel nous reviendrons, et qui paraîtra sans doute étrange à beaucoup :

Le Soleil est une étoile de la Voie Lactée.

Mais ce n'est encore là qu'une première ébauche de la structure de l'Univers visible.

En parcourant avec attention toutes les parties de la voûte étoilée, une bonne vue aperçoit çà et là quelques taches blanchâtres pareilles à de petits nuages. On dirait autant de lambeaux détachés de la Voie Lactée dont ils sont d'ailleurs souvent très-distincts et très-éloignés. Les télescopes découvrent par milliers ces nébulosités, ou, pour leur donner leur nom astronomique, ces nébuleuses. Eh bien, un grand nombre de ces nuages célestes ne sont rien autre chose que des accumulations d'étoiles souvent très-pressées et très-nombreuses. Ce sont comme autant de voies lactées différentes, situées en dehors de la nôtre, mais la plupart si éloignées que les plus puissants instruments n'y distinguent qu'une lueur confuse. D'autres amas laissent à peine apercevoir, sur le fond de la nébulosité qui les forme, quelques points scintillants, quelques soleils, plus gros sans doute ou plus lumineux que les autres.

Qu'on s'efforce maintenant d'imaginer quelles distances effrayantes séparent ces archipels de mondes.

Abîmes insondables, dont les perfectionnements des télescopes ne font qu'accroître indéfiniment l'indicible profondeur! Gouffres sans fin, sans fond, mais au sein desquels il n'y a pas de ténèbres : des millions de soleils y répandent partout la lumière!

Enfin, il paraît certain que toutes les nébuleuses ne sont pas des amas d'étoiles : il en est qui paraissent formées de masses diffuses d'une matière gazeuse, brillant d'une lumière qui lui est propre. Déjà, au siècle dernier, on soupçonnait la nature particulière de ces vastes et informes amas, où l'œil distingue des régions plus condensées, des points plus lumineux, peut-être des soleils en voie de formation; l'analyse spectrale de leur lumière confirme jusqu'à présent ces hardies spéculations d'un grand astronome, qui alliait au génie de l'observation celui des conceptions les plus élevées : je veux parler de W. Herschel. Certaines nébuleuses seraient ainsi des laboratoires de mondes!

Tel nous apparaît l'Univers, de l'observatoire où nous a placés la nature. Mais, pour avoir une idée plus complète de sa constitution, de l'infinie variété de ses groupes, il nous faut redescendre de ces régions où la vue et la pensée se perdent, jusqu'à l'un de ces groupes, plus voisin de nous, et dès lors plus accessible aux investigations de l'homme : c'est nommer celui-là même dont notre Terre fait partie.

Le Soleil est le centre de ce groupe élémentaire.

Tout autour de ce foyer de lumière et de chaleur, de ce réservoir de puissance, mais à des distances très-diverses et en des périodes très-inégales, circulent plus de cent astres secondaires, dont quelques-uns sont eux-mêmes accompagnés de corps célestes plus petits, de satellites. Non lumineux par eux-mêmes, ces astres seraient invisibles pour nous, si la lumière qu'ils reçoivent du Soleil, réfléchi vers la Terre, ne nous les faisait apparaître comme de simples points lumineux semés sur la voûte céleste, comme autant d'étoiles. Telle serait la Terre elle-même, vue de l'espace, à une distance suffisamment grande.

Un caractère commun à tous les corps célestes qui font partie du MONDE SOLAIRE a permis de les distinguer, de tout

temps, au milieu de la multitude des autres étoiles. Tandis que les soleils, composant ce qu'on peut appeler le MONDE SIDÉRAL, sont situés à des distances pour ainsi dire infinies, les astres du groupe dont nous parlons, relativement beaucoup plus rapprochés de la Terre, se trouvent vraiment nos voisins.

Que résulte-t-il de ce double fait ? Deux conséquences bien simples, bien faciles à comprendre.

La première, c'est que les soleils n'éprouvent pas de déplacements sensibles sur la voûte étoilée. Leur éloignement est tel, qu'ils semblent véritablement immobiles au sein de l'espace : de là cette très-ancienne dénomination d'*Étoiles fixes*, aujourd'hui abandonnée, parce qu'une étude minutieuse et délicate de leurs positions relatives a fini par prouver que les soleils se meuvent réellement dans les régions lointaines du ciel. L'immobilité apparente dont nous venons de parler, et qui est un de leurs caractères propres, se manifeste par la constance de forme que conservent pendant des siècles les groupes artificiels d'étoiles, ceux auxquels on donne le nom de Constellations.

Il en est tout autrement des astres qui entourent notre Soleil : ils sont assez proches de la Terre pour que leurs déplacements dans l'espace se laissent apercevoir en de courts intervalles de temps. Comme ils parcourent successivement en vertu de leurs mouvements propres, sur le fond de la voûte étoilée, des chemins en apparence d'autant plus grands que leur éloignement est moindre, on leur donna dès l'origine la dénomination qu'ils ont conservée, celle de *Planètes* (corps errants).

N'est-ce pas ainsi qu'au milieu d'une vaste plaine nous croyons immobiles les objets les plus éloignés, ceux qui bordent l'horizon, tandis que les moindres déplacements des objets voisins nous paraissent très-sensibles ? Il est vrai que, dans le cas où nous nous déplacerions nous-mêmes, les mouvements réels se compliqueraient de mouvements apparents qu'il fau-

drait distinguer des premiers, si nous voulions avoir une idée exacte des véritables chemins parcourus. Cette complication des mouvements apparents des planètes, conséquence forcée du mouvement même de la Terre, est aujourd'hui l'un des témoignages les plus frappants de la réalité de celui-ci ; mais aussi, il faut le dire, là précisément fut la pierre d'achoppement de l'astronomie ancienne, jusqu'à l'époque, d'ailleurs assez moderne, où les vrais mouvements ont été reconnus.

On verra bientôt, dans la description détaillée de chacune des planètes du monde solaire, quelle variété règne au sein de cette association céleste. Mouvements de rotation, mouvements de révolution autour du foyer commun, durée de ces mouvements, distances, formes et dimensions, distribution de lumière et de chaleur, tout change quand on passe d'une planète à l'autre. Et cependant, chose merveilleuse, les mêmes lois les régissent toutes, de sorte que l'unité de plan ne ressort pas moins éclatante que l'étonnante diversité des phénomènes.

Une circonstance commune à tous les astres du système solaire frappe toujours vivement l'imagination. C'est que ces masses énormes, ces globes dont plusieurs sont beaucoup plus gros et pèsent beaucoup plus que la Terre, et enfin la Terre même, non-seulement sont suspendus dans l'espace, mais encore se meuvent au sein de l'éther avec des vitesses vraiment effrayantes. Supposez-vous, par la pensée, spectateur immobile et indépendant, en un coin du ciel. Un globe lumineux apparaît au loin : peu à peu vous le voyez s'approcher et grandir ; son immense circonférence, qui dépasse cent mille lieues, est entraînée dans un mouvement rapide de rotation qui fait parcourir à chacun de ses points plus de trois lieues par seconde.

Le globe lui-même enfin passe devant vous, emporté dans l'espace avec une rapidité vingt-quatre fois aussi grande que celle d'un boulet de canon. Tel vous paraîtrait Jupiter, circulant dans le ciel ; telles sont toutes les autres planètes, qui se meuvent

d'autant plus vite qu'elles sont plus voisines du foyer commun de leurs mouvements. Leur course vertigineuse les emporterait pour jamais dans les plus lointaines régions de l'univers visible, si chacune n'était maîtrisée et retenue par l'attraction puissante d'un globe qui est des milliers, des millions de fois plus volumineux et plus pesant que le sien, par le Soleil lui-même.

Non-seulement l'Astronomie démontre, par d'irréfutables preuves, la réalité de ces mouvements; non-seulement elle est arrivée à reconnaître leur invariable constance, au moins pour des milliers de siècles; mais c'est dans leur vitesse même et dans la force attractive de la masse du Soleil, qu'elle a trouvé la raison de l'équilibre des corps célestes, de la pondération de tout le système.

Si l'on a peine à se figurer de telles masses circulant librement au sein de l'éther, combien n'est-on pas plus impressionné encore, quand on songe que des mouvements aussi rapides ne sont pas particuliers aux planètes, et qu'on se représente le Soleil avec tout son cortège se mouvant dans une orbite encore inconnue, attiré sans doute lui-même par un soleil plus puissant, ou par un groupe de soleils. Toutes ces étoiles, que leurs distances infinies font d'abord paraître immobiles, se meuvent en différents sens; on a pu démêler dans ces mouvements, qui ne deviennent sensibles qu'après des années des plus minutieuses observations, une part apparente due à différentes causes parmi lesquelles on a reconnu le mouvement de la lumière, celui de la Terre, celui du monde solaire lui-même; puis, une part réelle provenant de leurs mouvements particuliers. Or, nous verrons plus tard que, si ces derniers mouvements s'effectuent avec une extrême lenteur, cette lenteur n'est qu'apparente: en réalité, ce sont les mouvements célestes les plus rapides que nous connaissions.

Combien faut-il de siècles, que dis-je, de milliers de siècles pour que ces immenses voyages de circumnavigation sidérale s'accomplissent en entier? On l'ignore. Mais à coup sûr, leurs

vastes périodes doivent être à la durée de notre année, ce que les dimensions de la Terre sont aux distances des étoiles ; « ces périodes forment, selon la belle expression d'Humboldt, comme une horloge éternelle de l'Univers. » Ainsi l'idée de la durée infinie s'impose à l'esprit, dans la contemplation des phénomènes célestes, avec la même irrésistible puissance que l'idée de l'infinité de l'étendue.

Tel est, en résumé, le magnifique champ exploré par l'Astronomie.

Les autres sciences physiques et naturelles nous apprennent à sonder la nature dans ses mystères les plus intimes : elles nous dévoilent la constitution moléculaire des corps, le jeu de leurs combinaisons et de leurs métamorphoses, leurs mille propriétés utiles ou curieuses ; le développement des êtres organisés et vivants, végétaux et animaux, celui de l'homme enfin, dont l'un des plus nobles attributs est à coup sûr le don même de connaître, et qui apparaît, sous le flambeau de la science, comme le plus parfait épanouissement des forces organisatrices.

Mais l'Univers même, dans son majestueux ensemble, c'est l'Astronomie qui nous le révèle ; c'est elle qui nous en fait comprendre la structure, et, après avoir rassemblé dans un tableau grandiose ses mille éléments variés, nous initie aux lois éternelles qui régissent les mondes.

Science sublime, dont les enseignements nous rapetissent sans doute au point de vue matériel, mais qui élève l'homme intelligent et moral jusqu'à la conception de l'harmonie universelle, jusqu'à la contemplation de l'infini !

PREMIÈRE PARTIE



LE MONDE SOLAIRE

PREMIÈRE PARTIE.

LE MONDE SOLAIRE.

Énumération des astres qui forment le système solaire. — Le Soleil; les planètes et leurs satellites; les comètes; les aéroolithes et la lumière zodiacale. — Mouvements de rotation et de translation des corps célestes qui composent le système planétaire. — Importance de l'étude préalable du monde solaire.

On donne en Astronomie le nom de Système ou Monde solaire à un groupe d'astres dont la Terre fait partie, et qui ont tous le Soleil pour centre ou foyer commun de leurs mouvements. Voici quelle est, dans l'état actuel de nos connaissances, la composition du Monde solaire :

1° *Un corps central*, relativement immobile dans le groupe, de beaucoup plus volumineux que tous les autres, et lumineux par lui-même, LE SOLEIL ;

2° *Cent seize corps secondaires*, ou *planètes*, situés à des distances croissantes du Soleil, circulant autour de lui dans des orbites à fort peu de chose près circulaires, et recevant du Soleil la lumière qui les rend visibles dans le ciel.

Les planètes peuvent se ranger en trois groupes principaux :

Celui des planètes moyennes, les plus rapprochées du corps

central, et qui sont, dans l'ordre de leurs distances croissantes au Soleil : MERCURE, VÉNUS, LA TERRE, MARS;

Le groupe des grosses planètes, les plus éloignées du corps central : JUPITER, SATURNE, URANUS, NEPTUNE;

Enfin, celui des *petites planètes*, formant entre Mars et Jupiter un anneau qui sépare les deux premiers groupes. On connaît aujourd'hui 108 petites planètes, mais elles sont sans doute beaucoup plus nombreuses, et il ne se passe guère d'année qu'on n'en découvre de nouvelles;

3^o *Vingt-deux corps tertiaires* ou *satellites*, circulant autour de quelques-unes des planètes principales : telle est la LUNE, accompagnant la Terre. Jupiter a quatre satellites; Saturne en a huit; Uranus quatre; Neptune, un seul.

Voilà donc déjà, en y comprenant le Soleil, 135 corps célestes, 1 globe central qui commande aux mouvements des 116 planètes énumérées plus haut, et 18 satellites formant avec leurs planètes principales cinq mondes en miniature, dont chacun offre avec le système planétaire général une frappante analogie.

Sur ces 135 astres, les Anciens n'en connaissaient que 8 : le Soleil, la Terre et la Lune, Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne, c'est-à-dire tous ceux qu'on distingue aisément à l'œil nu. Mais on sait que, trompés par les apparences, ils considéraient la Terre comme immobile au centre du monde, et faisaient mouvoir autour d'elle, outre le Soleil, la Lune et

- les six autres planètes, toutes les étoiles prétendues fixes, tous les astres dont les feux brillent en des régions plus éloignées du ciel.

Depuis trois siècles que Copernic a reconnu le vrai système du monde, l'invention des lunettes a fait découvrir des planètes nouvelles, ainsi que les satellites des planètes connues, Jupiter et Saturne.

Uranus a été trouvé il y a moins d'un siècle; les 108 petites planètes ont été successivement découvertes depuis 1801

jusqu'à nos jours (avril 1869), et Neptune l'est seulement depuis vingt-trois ans.

Tous les corps célestes qui composent le Système planétaire sont affectés de deux mouvements principaux. L'un de ces mouvements consiste en une rotation autour de l'un des diamètres du globe ou sphéroïde qui forme l'astre; et l'axe de rotation dont nous parlons conserve une direction à peu près invariable dans l'espace. Le Soleil, les planètes et leurs satellites sont tous animés de ce premier mouvement.

Le second est un mouvement de translation qui entraîne toutes les planètes autour du Soleil, et en même temps chaque satellite autour de la planète principale qu'il suit dans sa translation circumsolaire. Nous verrons plus tard que le Soleil se meut lui-même dans l'espace.

4° Outre les planètes, une multitude innombrable d'autres astres décrivent autour du Soleil des orbites ordinairement très-allongées : ce sont les *comètes*, sortes d'étoiles nébuleuses qui se distinguent le plus souvent des planètes et des autres étoiles par une traînée lumineuse ou queue, dont la forme et les dimensions variées paraissent changer avec la distance de l'astre au Soleil. Nombre de comètes se montrent sans que l'histoire ait conservé le souvenir de leurs apparitions antérieures, et l'on ignore si on les reverra jamais; quelques-unes cependant ont été revues plusieurs fois à des intervalles périodiques, et l'époque du retour de quelques autres a été calculée, de sorte qu'on peut, avec quelque certitude, les considérer comme faisant partie intégrante du Monde solaire.

5° Indépendamment des grands corps célestes qui composent l'agglomération planétaire et cométaire, des myriades de corpuscules beaucoup plus petits voyagent en diverses régions du ciel, tantôt isolés, tantôt réunis en essaims dont le retour a lieu à des époques régulières. L'existence ne nous en est révélée que par la rencontre qu'en fait notre globe : la Terre côtoie alors de véritables bancs de matière cosmique;

ceux des corpuscules qui frôlent et traversent l'atmosphère s'y enflamment, et quelquefois même tombent sur le sol : ce sont les *étoiles filantes*, les *bolides* et les *aérolithes*.

Enfin, un immense anneau lumineux, de forme lenticulaire, et qui est composé probablement de milliards de météores pareils à ceux dont nous venons de parler, entoure le Soleil en s'étendant à une distance considérable ; de la Terre, nous voyons à certaines époques de l'année cet anneau s'élever comme un cône lumineux au-dessus de l'horizon, après le coucher ou avant le lever du Soleil, ayant cet astre à sa base : c'est la *lumière zodiacale*.

Telle est l'énumération sommaire des astres qui composent le Monde solaire.

L'étude de ce Système a pour nous un intérêt immense. C'est notre grande patrie dans cet infini qu'on nomme l'Univers. Le globe que nous habitons est un des membres de la famille planétaire ; et, bien qu'il soit un grain de sable dans un ensemble qui lui-même est un point perdu dans l'immensité, qui ne comprend que c'est lui que nous devons connaître avant tout ? D'ailleurs, seul, nous le pouvons connaître de science profonde ; et c'est seulement en comparant les planètes à notre planète que nous parvenons à nous former quelque idée de leur constitution.

De même, le Monde solaire est un des millions de mondes dont nous voyons briller les étoiles centrales dans le ciel de nos nuits ; peut-être n'est-ce ni un des plus importants, ni un des plus riches, ni un des plus considérables par les dimensions. Mais c'est le seul aussi qu'il nous soit donné de connaître en détail ; c'est le seul où nous ayons pu mesurer avec précision les mouvements des corps qui le composent, de façon à pénétrer le secret des lois mécaniques et physiques qui les gouvernent, et, par là, les lois les plus générales du mécanisme universel. Par delà le monde solaire, grâce au télescope et à des mé-

thodes d'analyse aussi ingénieuses qu'imprévues, on a pu sans doute plonger par la vue et par la pensée à des distances qui effrayent l'imagination; on a pu constater des mouvements qui demandent des siècles pour devenir sensibles, déterminer la nature des étoiles, la composition chimique des substances dont l'incandescence produit leur lumière. Mais, si le monde sidéral est le domaine des plus hardies conceptions que l'homme ait pu former sur la structure de l'Univers, c'est aussi celui des conjectures et des hypothèses. Or, ces hypothèses et ces conjectures n'ont de fondement solide que dans les inductions et analogies tirées des connaissances autrement précises, recueillies pendant deux mille ans sur notre système, et constituant l'astronomie planétaire.

Voilà pourquoi c'est le Soleil, ce sont les planètes et les autres astres circulant autour de lui, c'est le Monde solaire en un mot, que nous devons étudier tout d'abord. Avant de nous élancer dans les profondeurs infinies du ciel, commençons donc par visiter en détail les régions célestes où, en réalité, nous nous mouvons nous-mêmes. Du Soleil à Neptune et aux points de l'espace où s'enfoncent les comètes, le champ est assez vaste pour une première étape.

LIVRE PREMIER.

LE SOLEIL.

De tous les astres qui peuplent l'immensité de l'espace, le Soleil est le plus intéressant pour les habitants de la Terre, et, nous pouvons dire, sans crainte d'émettre une opinion hasardée, qu'il en est ainsi pour tous les êtres qui vivent à la surface des autres planètes.

Centre des mouvements de tous les corps célestes du système, il exerce sur eux par sa masse une influence dominante ; il les maintient dans des orbites de forme et de dimensions presque invariables ; il est pour nous et pour eux le foyer pour ainsi dire inépuisable de la lumière, de la chaleur, et par conséquent de la vie. C'est en lui que toutes les énergies, mécaniques et chimiques, périodiquement développées à la surface de la Terre et à la surface des autres globes planétaires, puisent incessamment comme à une source intarissable de puissance ; et cependant elles n'en absorbent à chaque instant qu'une insignifiante fraction. Les vibrations si prodigieusement rapides de l'immense sphère, franchissant l'espace céleste, le milieu éthéré, avec une vitesse foudroyante, vont, partout où elles frappent, provoquer dans les corps des phénomènes de mouvement dont les formes variées constituent, tantôt la lu-

mière, tantôt la chaleur, tantôt les affinités chimiques, tantôt enfin les courants électriques et magnétiques.

Quelle est l'origine de cette puissance dont l'activité confond notre imagination et notre pensée? Comment s'alimente ce foyer qui rayonne certainement depuis des millions d'années? D'après quelles lois le Soleil, qui est vraisemblablement le père commun de toute cette famille d'astres circulant autour de lui, les retient-il sous sa domination? Toutes ces questions sont dès maintenant posées, et si la science ne les a point encore résolues, du moins elle a réussi à en formuler nettement l'énoncé; déjà elle a établi quelques principes qui seront un jour les fondements de la dynamique de l'univers. Sur la forme, la distance, les dimensions du Soleil, l'astronomie a aujourd'hui des données positives; elle a déterminé ses mouvements de rotation et de translation dans l'espace; elle a rassemblé enfin sur sa constitution physique et chimique, sur les phénomènes qui se passent à sa surface, une série nombreuse de faits du plus haut intérêt. C'est à ces données que nous allons consacrer ce premier Livre.

Plus loin nous verrons quelle figure le Soleil fait dans l'univers sidéral, et nous le retrouverons parmi les millions d'étoiles de la Voie Lactée. Remontant dans l'histoire ancienne du ciel, nous essayerons alors de montrer, avec Laplace, comment ont jailli de son sein, à des époques immensément éloignées de la nôtre, ces agglomérations de matière qui, d'abord sous forme d'anneaux nébuleux, sont devenues à la longue, par une concentration naturelle, des globes à peu près sphériques: Jupiter, Saturne, Mars, la Terre, Vénus, toutes les planètes et tous leurs satellites sont autant d'enfants du Soleil.

I

FORME, DISTANCE ET DIMENSIONS DU SOLEIL.

§ 1. — Le Soleil vu à l'œil nu; ses mouvements apparents sont dus aux mouvements réels de rotation et de translation de la Terre. — Forme du disque à l'horizon; effets de la réfraction atmosphérique. — La forme réelle du disque solaire est celle d'un cercle parfait. — Le Soleil à l'horizon paraît plus gros qu'au zénith; c'est une simple illusion.

Il n'est besoin de lunettes ni de télescopes pour constater les mouvements du Soleil. Tous les jours, il se lève à l'Orient, monte plus ou moins haut au-dessus de l'horizon, en décrivant, selon l'époque de l'année ou selon la position géographique du lieu de l'observation, un arc plus ou moins étendu; puis il va se coucher ou disparaître au-dessous de l'horizon occidental. C'est là le *mouvement diurne*, auquel participent tous les astres, Lune, planètes, étoiles : on sait qu'il est dû au mouvement réel de rotation du globe terrestre autour d'un de ses diamètres.

Outre ce premier mouvement apparent, le Soleil en a un second, qui le fait correspondre d'un jour à l'autre à des régions du ciel, à des étoiles de plus en plus orientales. Il semble, en un mot, rétrograder chaque jour sur son arc diurne, et, en une année, il parcourt ainsi toute la circonférence d'un grand cercle du ciel. De là, les inégalités variables des jours et des nuits, soit en un même lieu de la Terre, soit en des latitudes différentes; de là, les saisons. Mais ce second mouvement du Soleil, comme le premier, n'est qu'une apparence, due au

mouvement vrai de la Terre autour du Soleil, dans l'intervalle d'une année. En réalité, c'est l'astre radieux qui est immobile; c'est la Terre et ce sont les planètes qui se meuvent; c'est donc en décrivant celles-ci que nous devons étudier les mouvements dont il vient d'être question et les conséquences qui en dérivent. Mais n'oublions pas que l'immobilité du Soleil est toute relative : il se meut comme les planètes, en tournant

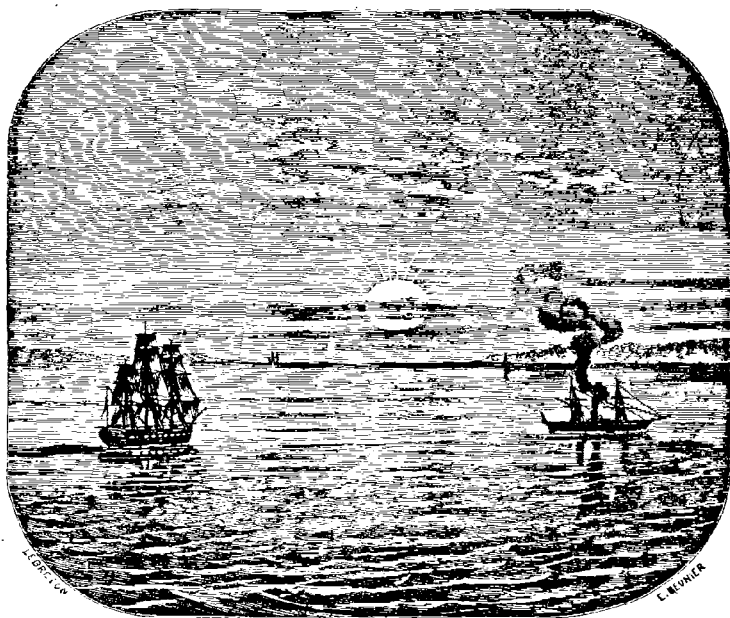


Fig. 1. — Forme elliptique du disque du Soleil à l'horizon.

autour d'un de ses diamètres; il a, comme elles, un mouvement de translation dans l'espace; mais dans ce voyage de navigation sidérale, il emmène avec lui, comme un seigneur et maître, tout son cortège de planètes, de satellites, de comètes.

Observer le Soleil à l'œil nu n'est pas chose facile, tout le monde le sait par expérience. Sa lumière éblouissante blesse la vue, sans permettre de juger de la forme et des dimensions apparentes de l'astre. Pour éviter ce danger, il faut profiter du moment où le Soleil vient de se lever ou encore de celui qui

précède son coucher. Alors, pour peu que l'atmosphère soit brumeuse, la lumière solaire est assez affaiblie pour rendre l'observation facile. Le disque du Soleil se montre, en ce cas, sensiblement elliptique, surtout dans la moitié inférieure de son contour. La figure 1 peut donner une idée de ce phénomène.

Mais ce n'est point là la forme vraie du disque solaire. Près de l'horizon, la réfraction¹, due aux couches d'air que la lumière doit traverser avant d'arriver à l'œil, varie rapidement d'intensité suivant la hauteur. Les différents points du contour

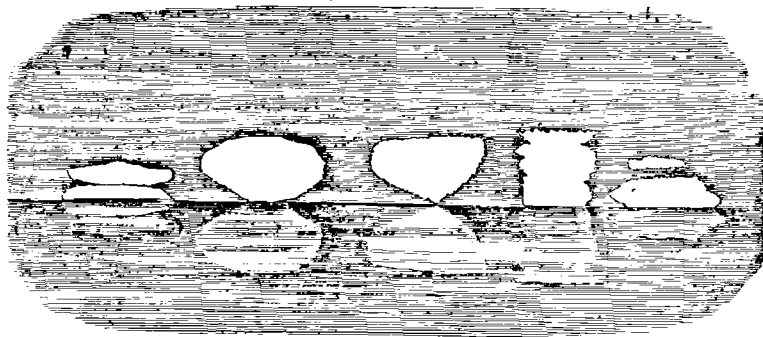


Fig. 2. — Formes singulières du disque du Soleil à l'horizon de la mer; d'après les observations faites à Dunkerque par MM. Biot et Mathieu.

du Soleil sont inégalement relevés, sans que changent les dimensions du diamètre horizontal de l'astre : de là, la forme elliptique des deux moitiés du disque, forme plus prononcée pour la moitié inférieure que pour la moitié supérieure. Parfois même, il y a dans les couches inférieures de l'air un mélange si irrégulier de vapeurs plus ou moins denses, que la réfraction qui en résulte donne au contour du Soleil les apparences les plus bizarres. Telles sont les formes que représente la figure 2, où l'on voit l'astre, après son lever ou avant son coucher, au-dessus de l'horizon maritime.

1. Voir, à ce sujet, le chapitre qui traite de la Réfraction dans notre ouvrage LES PHÉNOMÈNES DE LA PHYSIQUE, p. 302 de la 2^e édition.

On se fait à l'œil nu une idée plus nette de la forme du disque solaire quand on peut l'apercevoir, à une certaine hauteur au-dessus de l'horizon, voilé par des nuages ou des brouillards un peu intenses; mais mieux vaut encore employer une lunette ou un télescope, pourvu qu'on prenne l'indispensable précaution de munir l'oculaire d'un verre coloré, bleu foncé ou noir¹. Une première appréciation, nécessairement grossière, permet alors aisément de reconnaître que le disque du Soleil est circulaire. Mais l'emploi des instruments de précision ne laisse à cet égard aucun doute, et de nombreuses mesures micrométriques² ont prouvé que tous les diamètres du disque ont même grandeur apparente. Le Soleil a donc la forme d'un cercle lumineux parfait, et comme il n'est pas moins certain que le Soleil tourne autour d'un axe, et dès lors nous présente successivement des faces diverses, on a dû en conclure que sa forme est en réalité celle d'une sphère, sans qu'on ait pu constater, dans aucun des points de sa circonférence, une trace quelconque de déformation ou d'aplatissement.

Quand le Soleil se lève ou se couche, son disque paraît ordinairement plus gros qu'à des hauteurs plus grandes au-dessus de l'horizon. A midi, heure où cette élévation est maximum, le disque semble avoir des dimensions beaucoup moindres que le matin ou le soir. Ce n'est là qu'une illusion, qui se produit aussi pour la Lune, pour les constellations ou groupes d'étoiles, et dont la cause est tout entière dans l'ha-

1. Les premiers astronomes qui ont observé le Soleil avec des lunettes ne connaissaient point l'usage des verres de couleur: ils observaient l'astre à l'horizon ou au travers des nuages et des brouillards. Même avec les précautions dont nous parlons plus haut, l'étude assidue du Soleil devient à la longue dangereuse pour la vue. Galilée et Cassini sont morts aveugles. Il ne faut pas oublier non plus l'intensité de la chaleur, si grande au foyer des télescopes, quand on applique ces instruments à l'observation du Soleil, qu'on est obligé d'avoir un grand nombre de verres de couleur de rechange; la chaleur les fait éclater.

2. C'est-à-dire faites avec des *micromètres*, appareils qui s'adaptent aux lunettes et servent à évaluer de très-petites dimensions, de très-petits angles.

bitude que nous avons acquise d'apprécier les dimensions et les distances. Mesuré à l'aide de procédés rigoureux, et dans le cours de la même journée, le diamètre du Soleil reste parfaitement égal à lui-même, à l'horizon et à des hauteurs quelconques, comme au moment de sa culmination ou hauteur méridienne, alors même que celle-ci atteint le zénith. Nous sommes entré ailleurs, à ce sujet, dans quelques détails : nous nous permettons d'y renvoyer le lecteur¹.

§ 2. — Dimensions apparentes du disque solaire : ses variations dans le cours d'une année. — Combien il faudrait de cercles égaux au Soleil pour faire le tour de l'horizon. — Le Soleil vu des diverses planètes; intensités comparées de la lumière et de la chaleur reçues par chacune d'elles.

Le Soleil a les mêmes dimensions apparentes, ou peu s'en faut, que la Lune : les deux disques occupent, à peu de chose près, la même surface sur la voûte du ciel. Le diamètre du Soleil, cependant, est en moyenne un peu plus grand. Il varie dans le cours de l'année comme celui de la Lune varie dans le cours de la lunaison, et la raison de ces variations est, dans les deux cas, la même : elle vient de ce que la Terre est tantôt plus rapprochée, tantôt plus éloignée de l'un ou de l'autre des deux astres.

Quand la Terre est à sa plus petite distance du Soleil, — ce qu'on exprime en disant qu'elle est à son *périhélie*², — le diamètre apparent du disque solaire est le plus grand possible : il atteint alors environ 32' 36" ³. C'est vers le 1^{er} janvier que cette circonstance se présente. Vers le 1^{er} juillet, au contraire,

1. Voir notre ouvrage *La Lune*, pages 26 et suivantes.

2. De *περι*, près de, et *ηλιος*, Soleil; aphélie, de *απο*, loin de, etc.

3. Il est d'usage, en géométrie, de diviser la circonférence du cercle en 360 parties égales, dont chacune se nomme un degré et se représente ainsi : 1°. Chaque degré se subdivise en 60 minutes, et chaque minute, en 60 secondes. Une minute s'écrit : 1'; et une seconde : 1". Je donne ces détails pour ceux de mes lecteurs qui ne sont point familiers avec les termes de géométrie, parce qu'il m'arrivera souvent de parler de secondes, de minutes, de degrés dans le cours d'une description.

la Terre est à son *aphélie* (V. la note 2 de la page 25), à son plus grand éloignement du Soleil; le diamètre du disque solaire est le plus petit possible : environ 31' 31". Enfin, dans les premiers jours d'avril et d'octobre, à l'époque de la moyenne distance des deux astres, le diamètre apparent est de 32' 4" environ¹. La figure 3 donne les dimensions comparées du disque à ces diverses époques.

La circonférence de l'horizon ou de tout autre grand cercle

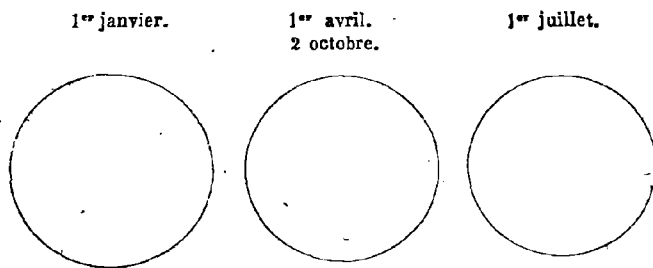


Fig. 3. — Dimensions apparentes du disque solaire, aux époques de ses distances extrêmes et moyenne à la Terre.

de la voûte céleste serait entièrement remplie par 673 disques de même dimension que celui du Soleil à sa moyenne distance, si tous ces disques étaient tangents les uns aux autres tout le long de la circonférence. Il en faudrait 685 à l'époque de l'aphélie, et 662 seulement au périhélie.

Les dimensions apparentes d'un objet varient avec la distance : ainsi doivent varier les dimensions du disque solaire, vu de chacune des planètes du système. Il doit paraître d'autant plus petit que la planète en est plus éloignée. Pour éviter de donner des nombres que le lecteur aurait peut-être peine

1. En représentant par 10000 la surface lumineuse ou calorifique du Soleil à sa distance moyenne à la Terre, on trouve les nombres 9663 et 10 335 pour cette même surface, telle qu'elle nous apparaît à sa plus grande distance en juillet, et à son plus petit éloignement vers le 1^{er} janvier. Les mêmes nombres nous donnent donc les quantités relatives de chaleur et de lumière reçues par la Terre à ces différentes époques, de sorte qu'en été le Soleil échauffe et éclaire moins notre globe que pendant l'hiver. Cette apparente anomalie sera expliquée plus loin, quand nous aurons à nous occuper des saisons terrestres.

à se représenter, nous avons réuni dans un même tableau (fig. 4) les dimensions comparées du Soleil, vu de chacune des principales planètes, à leurs moyennes distances. Mais il

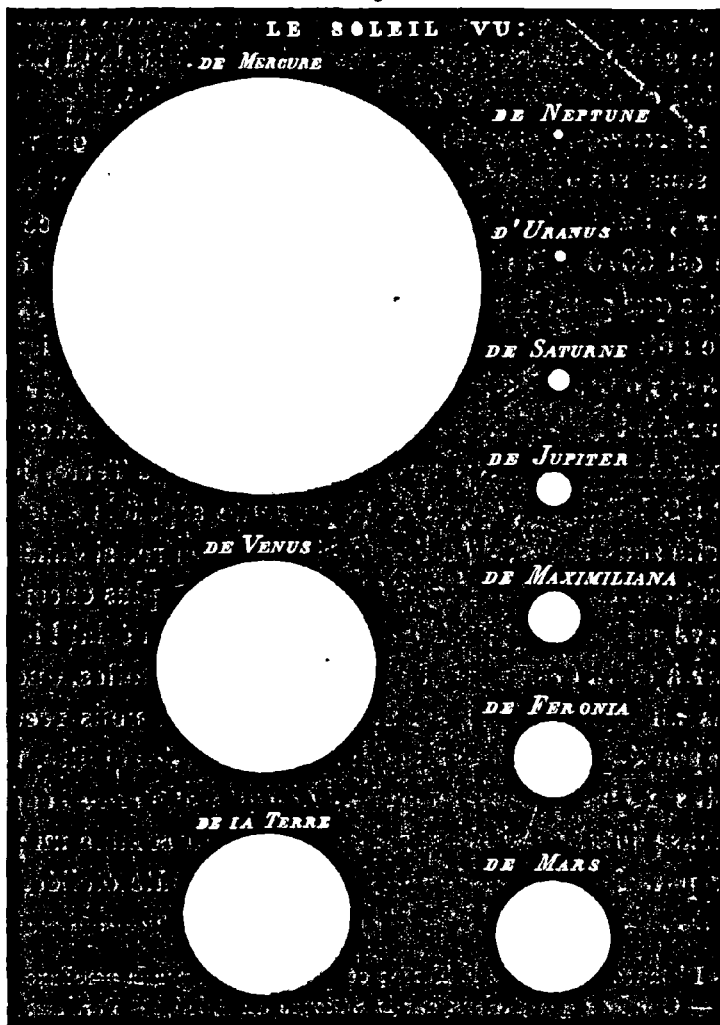


Fig. 4. — Le Soleil vu des principales planètes; dimensions apparentes comparées.

ne faut pas oublier que si la grandeur apparente varie, l'intensité intrinsèque de l'éclat lumineux reste la même, abstraction faite, bien entendu, de l'absorption due aux atmosphères

des corps célestes, et sur l'intensité de laquelle on n'a encore aucune donnée précise. L'intensité de la lumière ou de la chaleur reçue par une planète est donc seulement en rapport avec l'étendue de la surface apparente du disque solaire; mais pour juger de la quantité totale de la radiation solaire sur chaque globe, il faudrait tenir compte à la fois de sa distance au Soleil et de l'étendue de l'hémisphère éclairé.

De Mercure, la planète la plus voisine du Soleil, on voit cet astre sous ses dimensions apparentes les plus grandes; de Neptune, au contraire, sous ses plus petites. La surface lumineuse est 6670 fois plus considérable pour la première de ces planètes que pour la seconde, située, comme on sait, aux confins de notre système. En étudiant la constitution physique des planètes, nous reviendrons sur les quantités de lumière et de chaleur dont les effluves solaires baignent leurs surfaces. Disons seulement que si, pour les habitants de la Terre, le disque du Soleil offre une surface apparente sept fois plus petite que celle sous laquelle on l'aperçoit de Mercure, si dans Neptune cette surface se trouve réduite mille fois plus encore, elle conserve néanmoins, dans ce dernier globe, un éclat bien supérieur à celui de tous les astres, planètes ou étoiles, que nous voyons au ciel. Mais ce serait autre chose, si nous reculions par la pensée notre Soleil jusqu'à la sphère des étoiles, même des plus rapprochées de nous. A cette distance énorme, l'immense luminaire ne paraîtrait plus que comme un point, perdu parmi les innombrables feux de la voûte étoilée.

§ 3. — Distance du Soleil à la Terre; ce qu'on entend par la parallaxe du Soleil. — Opinions des anciens sur la distance du Soleil. — Parallaxe et distance adoptées. — Temps que mettraient, pour aller de la Terre au Soleil, la lumière, le son, un boulet de canon, un train de chemin de fer. — Distances au Soleil des planètes extrêmes.

La mesure des dimensions apparentes du disque du Soleil est un élément d'une grande importance pour l'astronomie :

ces dimensions, variant d'une manière continue d'un jour à l'autre, ont permis de comparer entre elles les distances où la Terre se trouve de l'astre radieux à chaque jour de l'année, et ont donné ainsi une idée exacte de la forme de son orbite. Mais elles ne peuvent suffire à faire reconnaître les dimensions réelles de cette orbite, non plus que celles du Soleil, tant qu'on ignore la distance vraie de l'astre, sa distance exprimée par exemple en rayons de l'équateur de la Terre.

Voici donc la question qui se pose maintenant, si nous voulons nous faire une idée précise de la grosseur du Soleil, et des éléments physiques qui sont en rapport avec cette dimension, si nous voulons avoir une unité propre à mesurer l'étendue du monde solaire tout entier, et plus tard, celle de l'univers visible : Quelle est la distance moyenne du Soleil à la Terre; quel est le rayon moyen de l'orbite que notre planète décrit en une année autour de lui? Les astronomes disent, en des termes équivalents : Quelle est la *parallaxe* du Soleil?

Voici d'abord ce qu'on entend par ce dernier mot. Supposons un observateur au centre même du Soleil, et, de là, observant le globe terrestre. Sous quel angle verra-t-il le rayon de la Terre? Si cette question était résolue, si l'on savait le nombre de secondes d'arc qui mesure l'angle dont il s'agit, la distance même de la Terre au Soleil en serait une conséquence, ainsi que nous le ferons comprendre dans la Troisième partie du CIEL (voyez le chapitre consacré à la mesure des distances célestes). Or, c'est là ce qu'on entend par la *parallaxe du Soleil*.

La première détermination un peu précise de cet élément date du siècle dernier. On l'a obtenue depuis par diverses méthodes, et les astronomes attendent avec impatience les années 1874 et 1882, où la planète Vénus doit passer au devant du disque du Soleil, pour se prononcer entre les résul-

tats, encore bien divergents, que ces méthodes ont fournis¹. En attendant, nous adopterons la moyenne qui nous semble la plus probable et qui donne, pour la parallaxe solaire, le nombre 8",9.

Le rayon de l'équateur de la Terre, vu de face à la distance du Soleil, aurait donc 8",9 de dimension apparente. Dès lors, le globe terrestre vu du Soleil aurait un diamètre apparent double, ou de 17",8, et un calcul simple permet d'en déduire pour la distance moyenne du Soleil à la Terre :

23 200 rayons de l'équateur, c'est-à-dire 148 000 000 de kilomètres.

Il y a loin du nombre que nous venons de transcrire à la distance adoptée hypothétiquement par des disciples de Pythagore, dont l'école professait d'ailleurs, sur le système du monde, des idées si rapprochées de celles qu'une longue suite de travaux a définitivement consacrées. Ils assignaient 18 000 lieues à la distance où nous sommes de l'astre qui nous chauffe et nous éclaire : c'était lui donner à peu près 167 lieues de diamètre, et l'on comprend alors cette comparaison ancienne, qui peut-être étonnerait encore beaucoup de gens parmi nous, à savoir que le Soleil est plus gros que le Péloponèse.

Avant 1769, les astronomes avaient essayé de trouver de diverses façons la distance du Soleil.

Aristarque de Samos, et à sa suite Ptolémée, Copernic et

1. Voici quelques-uns des résultats auxquels nous faisons allusion :

Bessel avait trouvé, par la discussion des observations des passages de Vénus du siècle dernier, la parallaxe solaire égale à	8"58
Polawski, même méthode, par une discussion nouvelle	8"86
Winnecke, observations de Mars.	8"96
Hansen, équation parallactique de la Lune.	8"92
Stone.	8"93
Leverrier, d'après les mouvements de Mars, de Vénus, de la Lune.	8"95
Foucault, d'après la détermination de la vitesse de la lumière.	8"86

La moyenne des six derniers résultats, — tout le monde est d'accord que la première est trop faible, — est le nombre 8"91. Nous adoptons provisoirement 8"9.

Tycho, la supposaient égale à 1200 rayons de la Terre, près de 2 millions de lieues, c'est-à-dire vingt fois moindre que la vraie distance. Képler tripla ce nombre. Cassini et Lacaille furent ceux qui s'approchèrent le plus de la vérité. Selon d'Alembert (dans l'*Encyclopédie*), le dernier de ces savants évaluait la distance en question à 21 000 rayons terrestres, Cassini à 28 000. Le même auteur cite encore une distance de 12 000 diamètres de la Terre, c'est-à-dire à peu près celle qu'on adopte aujourd'hui; mais il ne donne pas le nom de l'astronome qui avait fourni cette évaluation. Arago, dans son *Astronomie populaire*, rappelle les mesures trouvées par Riccioli et Hévélius, 7000 et 5200 rayons terrestres; enfin celles de Richer et de Maraldi, déduites de l'opposition de Mars, et qui fixaient le Soleil à des distances moyennes de la Terre égales à 21 712 et à 20 626 rayons de notre planète.

148 000 000 de kilomètres ou 37 millions de lieues, telle est donc approximativement la distance du Soleil; mais ces nombres représentent la distance moyenne, celle où la Terre se trouve de l'astre vers les premiers jours d'avril et d'octobre. Voici maintenant les distances extrêmes :

Au périhélie, vers le 1^{er} janvier. 145 500 000 kil.
 A l'aphélie, vers le 1^{er} juillet. 150 000 000 —

Ce n'est pas tout que de donner des nombres, il faut tâcher de figurer les grandeurs qu'ils représentent, et ce n'est pas toujours chose facile, l'accumulation des chiffres ne faisant souvent sur l'esprit qu'une impression très-vague. Notre imagination est rebelle à la représentation des grandes distances qu'on rencontre si fréquemment en astronomie; aussi, c'est seulement à l'aide de comparaisons que nous parvenons à nous en faire une idée un peu précise. Ces distances viennent-elles à dépasser le champ de notre vue sur un horizon terrestre, c'est-à-dire 10 à 20 lieues, l'image proprement dite s'évanouit, et nous sommes forcés d'avoir recours à d'autres

procédés de représentation; par exemple, nous nous demandons combien il faudrait de temps, pour parcourir la distance donnée, à un mobile animé d'une vitesse connue. La sensation de la durée vient alors en aide à celle de l'étendue, pour la compléter et la parfaire.

Voyons si, en usant de cet artifice, nous arriverons à embrasser avec quelque netteté l'espace qui sépare la Terre du Soleil.

Considérons la lumière, qui se propage en ligne droite, en parcourant uniformément 298 000 kilomètres par chaque seconde de temps. Du Soleil à la Terre, elle met 496 secondes 35 centièmes de seconde ou 8' 16",35 à franchir l'intervalle moyen de 148 millions de kilomètres qui les sépare.

Un boulet de canon de 12 kilogrammes, chassé de l'arme par une charge de 6 kilogrammes de poudre, se meut avec une vitesse de 500 mètres dans la première seconde. S'il conservait cette vitesse uniforme jusqu'au Soleil, il lui faudrait 9 années $\frac{3}{4}$ pour y parvenir.

Si l'espace compris entre le Soleil et la Terre était susceptible de transmettre un son avec la vitesse uniforme de propagation de 340 mètres à la seconde, — c'est la vitesse dans l'air à 15°, — il faudrait à l'ébranlement sonore 13 ans $\frac{3}{4}$ pour franchir cette distance. Il y aurait donc à peu près 14 ans que l'explosion qui lui aurait donné naissance à la surface du Soleil aurait eu lieu, au moment où il viendrait frapper notre oreille à la surface de la Terre.

Imaginons enfin un chemin de fer reliant en droite ligne notre planète et le Soleil; un train express et direct voyageant à la vitesse constante de 50 kilomètres par heure, sans s'arrêter jamais, n'arriverait à destination qu'après un voyage de 337 ans et demi. Parti au 1^{er} janvier 1869, un tel convoi ne terminerait sa route que vers le mois de juin de l'année 2206.

Il y a des planètes plus rapprochées du Soleil que la Terre, mais il y en a aussi de beaucoup plus éloignées. Neptune, dont

l'orbite marque les limites du monde planétaire, tel du moins que nous le connaissons aujourd'hui, est à une distance du Soleil qui dépasse trente fois celle de la Terre, et qui, dès lors, se mesure, en nombres ronds, par 5 milliards 500 millions de kilomètres. La lumière ne franchit cet intervalle qu'en 4 heures 9 minutes; notre train express de chemin de fer, s'il était parti de Neptune il y a 10 124 ans, arriverait à peine au Soleil!

§ 4. — Dimensions réelles du Soleil; son diamètre, sa périphérie. — Surface et volume du globe solaire. — Le volume du Soleil comparé à celui de la Terre, au volume d'une sphère qui s'étendrait du centre de la Terre jusqu'à la Lune.

Pour que le Soleil, malgré sa prodigieuse distance, nous apparaisse sous la forme d'un disque ayant un aussi grand diamètre angulaire, il faut que ses dimensions vraies soient réellement énormes. Le globe solaire — nous verrons bientôt que la forme circulaire du disque accuse une forme sphérique — a, en effet, un diamètre qui n'est pas moindre de 108 fois le diamètre équatorial de la Terre. On peut se rendre compte très-facilement de cette proportion des deux astres : la parallaxe solaire, dont le double donne le diamètre apparent de notre planète vue du Soleil, étant de 8",9, et le diamètre apparent moyen du Soleil vu de la Terre, c'est-à-dire de la même distance, étant 1923",64, il suffit de diviser ce second nombre par 17",8 pour connaître le rapport très-approché des diamètres réels. En faisant le calcul trigonométrique exact, on trouve : $D = 108, 135 d.$

Si l'on passe maintenant aux dimensions du Soleil exprimées en kilomètres pour les longueurs, en kilomètres carrés pour les surfaces, en kilomètres cubes pour les volumes, voici ce qu'on trouve :

Le rayon du Soleil a 690 000 kilomètres, 172 500 lieues kilométriques environ ; la circonférence d'un de ses grands

cercles mesure 4 330 000 kilomètres, ou 1 082 500 lieues kilométriques. C'est toujours, comme on voit, 108 fois les dimensions correspondantes de la Terre¹.

La surface de l'astre, celle de l'enveloppe lumineuse qui nous éblouit, n'est guère inférieure à 12 000 fois la surface de notre Terre ; ou, si l'on veut, est égale en nombres ronds à six millions de kilomètres carrés.

Son volume évalué en kilomètres cubes se mesure par le nombre 1 374 300 000 000 000 000.

Pour se faire une idée de ce qu'un tel nombre représente, il faut le rapporter au volume même de la Terre, qui vaut déjà plus d'un milliard de kilomètres cubes. On trouve ainsi que le

1. Voici un autre moyen assez simple de déduire les dimensions vraies du Soleil de sa distance à la Terre.

Je prends un disque en carton, de couleur blanche et d'un diamètre quelconque, 1 décimètre, je suppose. Je le place verticalement, et je m'en éloigne peu à peu jusqu'à ce que ses dimensions apparentes soient précisément les mêmes que celles du Soleil. A ce moment, le disque de carton recouvrira, sans en déborder le contour, le disque solaire lui-même. L'observation démontre que la distance entre l'œil et le disque est alors de 10^m,72.

Or, il est aisé de voir, en examinant la figure suivante, qu'il y a entre la dimension réelle du disque de carton et celle du Soleil, précisément le même rapport qu'entre les distances qui séparent en ce moment l'observateur, de chacun des deux objets en question :

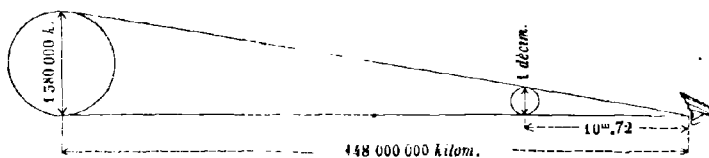


Fig. 5. — Dimensions du Soleil déduites de sa distance et de la grandeur apparente de son disque.

Le diamètre du Soleil est donc égal à autant de fois un décimètre, que 37 000 000 de lieues, ou 148 000 000 de kilomètres, contiennent de fois la distance mesurée entre l'œil de l'observateur et le disque de carton. Cette dernière distance étant de 10^m,72, il est aisé d'en conclure que le diamètre solaire mesure 1 380 000 kilomètres, ou encore 345 000 lieues.

La méthode employée par les astronomes est sans doute un peu moins élémentaire dans ses formules, mais, au fond, elle est basée sur le même principe que celle dont on vient de lire l'exposé.

globe du Soleil vaut à lui seul, en volume, autant que 1 273 000 globes terrestres. La Terre, il est vrai, n'est pas, tant s'en faut, la planète la plus volumineuse, puisque Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune sont respectivement 1230, 685, 74 et 85 fois aussi grosses qu'elle. Mais réunit-on toutes les planètes et leurs satellites, on trouverait encore que le volume du Soleil équivaut à 600 fois au moins le volume résultant de cette ag-

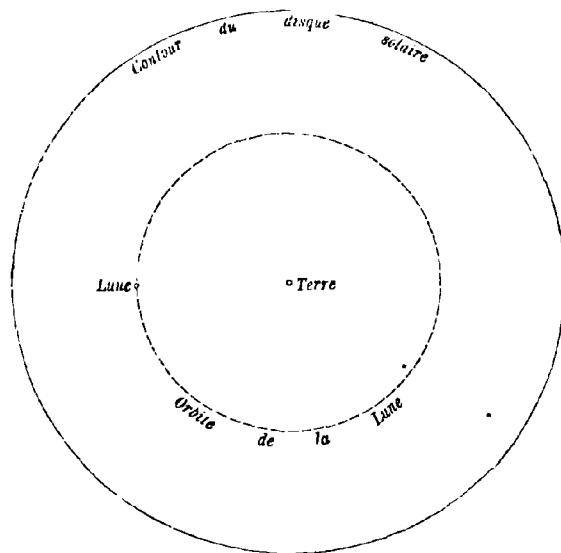


Fig. 6. — Dimensions comparées du globe du Soleil et de l'orbite de la Lune.

glomération. La Lune est éloignée de nous de 60 rayons de la Terre environ. Eh bien, si l'on supposait que le centre du Soleil vînt à coïncider avec celui de notre globe, non-seulement toute l'orbite lunaire resterait à l'intérieur de l'immense sphère solaire, mais il faudrait en outre s'élever au delà de cette orbite de 52 rayons terrestres, pour atteindre seulement la surface extérieure de l'astre lumineux. C'est ce que montre la figure 6.

Arago, dans le tome quatrième de son *Astronomie populaire*, cite la comparaison familière suivante, bien propre à fournir

une image de l'immensité du volume solaire : « Un professeur d'Angers voulant, dit-il, donner à ses élèves une idée sensible de la grandeur de la Terre comparée à celle du Soleil, imagina de compter le nombre de grains de blé de grandeur moyenne qui sont contenus dans la mesure de capacité nommée le litre : il en trouva 10 000. Conséquemment, un décalitre doit en renfermer 100 000, un hectolitre 1 000 000, et 14 décalitres 1 400 000. Ayant alors rassemblé en un tas les 14 décalitres de blé, il mit en regard un seul de ces grains, et dit à ses auditeurs : « Voilà en volume la Terre, et voici le Soleil. » Cette assimilation frappa les élèves de surprise infiniment plus que ne l'avait fait l'énonciation du rapport des nombres abstraits 1 et 1 400 000¹. »

Quand nous aurons vu quelles sont les dimensions absolues de ce grain de blé qui figurait la Terre, nous serons bien plus surpris encore, et notre imagination restera comme écrasée sous les prodigieuses dimensions du flambeau de notre monde, lequel toutefois n'est lui-même qu'un des grains de la poussière lumineuse répandue dans l'espace infini.

Notre Terre n'étant qu'un des membres de la famille planétaire, il serait naturel d'étendre les comparaisons que nous venons de faire entre son volume et celui du Soleil aux corps célestes principaux qui circulent avec elle autour du foyer central. Mais plus loin, dans la description détaillée que nous ferons de chacun de ces corps, nous aurons l'occasion de nous étendre davantage sur leurs dimensions propres : nous donnerons alors des nombres précis. Contentons-nous de figurer approximativement leurs grosseurs relatives et leurs distances.

Représentons-nous le Soleil comme une sphère de 1 *déci-*

1. Le nombre 1 400 000 représente ici le volume du Soleil comparé à celui de la Terre, dans l'hypothèse d'une parallaxe égale seulement à 8",58. La parallaxe 8",90 que nous avons adoptée réduit la distance du Soleil, et par conséquent ses dimensions. Il faut alors substituer, nous venons de le voir, le nombre 1 273 000 à 1 400 000, ce qui n'ôte rien à la valeur de la comparaison imaginée par le professeur que cite Arago

mètre de diamètre; la Terre sera un grain de moins de 1 *millimètre*, qu'il faudra reculer à la distance moyenne de 21^m,445 pour mettre sa distance au Soleil en harmonie avec les dimensions. Si la Terre avait, comme les globes géographiques de dimensions moyennes, 30 centimètres de diamètre, c'est à 3 kilomètres et demi environ qu'il faudrait l'éloigner du globe solaire, et celui-ci n'aurait pas alors moins de 32^m,44 de diamètre. En un mot, imaginez un ballon sphérique assez volumineux pour s'élever au-dessus du sol à la moitié de la hauteur des tours Notre-Dame à Paris : c'est le Soleil. Placez un autre globe de 3 décimètres de diamètre à une distance de 3500 mètres : ce globe figurera la Terre.

On comprend mieux l'importance du rôle qu'un astre comme le Soleil joue dans le monde de corps célestes gravitant autour de lui, quand on se représente dans des proportions exactes les dimensions vraies et les valeurs relatives justes des grosseurs et des distances de tous ces corps. Voilà pourquoi j'ai insisté sur ces comparaisons familières, pourquoi j'ai cru bon de multiplier les images propres à donner à nos sens et par suite à notre esprit l'idée précise de tels rapports.

II

MOUVEMENT DE ROTATION DU SOLEIL.

§ 1. — Le mouvement de rotation du Soleil, soupçonné par J. Bruno et Képler, fut découvert par Fabricius et Galilée. — Les taches du Soleil; leurs mouvements *apparents*. — Le globe solaire tourne d'Occident en Orient.

Le globe du Soleil tourne autour d'un de ses diamètres, d'un mouvement uniforme, en un temps qui est à peu de chose près de 25 jours et demi.

La découverte de ce fait, d'une si haute importance pour l'astronomie, remonte aux premières années du dix-septième siècle, à l'époque où l'on put observer la surface du Soleil avec les lunettes récemment inventées : c'est à l'astronome hollandais Jean Fabricius qu'elle est incontestablement due, et qu'en revient tout l'honneur, comme le prouve le mémoire qu'il publia en juin 1611. Mais Giordano Bruno¹ et Képler avaient soupçonné le mouvement de rotation; et Galilée, qui découvrit de son côté les taches du Soleil la même année que Fabricius, ne tarda point à arriver à la même conclusion que le savant hollandais. Voici quelles furent les circonstances de cette grande découverte astronomique.

Fabricius, examinant un jour avec une lunette le disque

1. Il est assez remarquable, dit Humboldt (*Cosmos*, III), que Giordano Bruno, qui monta sur le bûcher huit ans avant l'invention du télescope et onze ans avant la découverte des taches solaires, crut à la rotation du Soleil autour de son axe.

du Soleil, vit avec surprise à sa surface une tache noirâtre d'assez grande dimension qu'il prit d'abord pour un nuage. Un examen plus attentif lui prouva qu'il se trompait, mais l'élévation de plus en plus grande du Soleil et l'éclat éblouissant de l'astre (on ne se servait point encore de verres noirs pour l'observation) le forcèrent à remettre au lendemain matin l'étude de ce phénomène singulier. « Mon père et moi, dit-il, nous passâmes le reste de la journée et la nuit suivante avec une extrême impatience, et en rêvant sur ce que pouvait être cette *tache* ; si elle est dans le Soleil, disais-je, je la reverrai sans doute ; si elle n'est pas dans le Soleil, son mouvement nous la rendra invisible ; enfin, je la revis dès le matin avec un plaisir incroyable ; mais elle avait un peu changé de place, ce qui augmenta notre incertitude ; cependant nous imaginâmes de recevoir les rayons du Soleil par un petit trou dans une chambre obscure et sur un papier blanc, et nous y vîmes très-bien cette *tache* en forme de nuage allongé : le mauvais temps nous empêcha de continuer ces observations pendant trois jours. Au bout de ce temps-là nous vîmes la *tache* qui était avancée obliquement vers l'occident. Nous en aperçûmes une autre plus petite vers le bord du Soleil ; celle-ci, dans l'espace de peu de jours, parvint jusqu'au milieu. Enfin, il en survint une troisième ; la première disparut d'abord, et les autres quelques jours après. Je flottais entre l'espérance et la crainte de ne pas les revoir ; mais, dix jours après, la première reparut à l'orient. Je compris alors qu'elle faisait une révolution, et depuis le commencement de l'année, je me suis confirmé dans cette idée, et j'ai fait voir ces *taches* à d'autres, qui en sont persuadés comme moi. Cependant j'avais un doute qui m'empêcha d'abord d'écrire à ce sujet, et qui me faisait même repentir du temps que j'avais employé à ces observations. Je voyais que ces *taches* ne conservaient pas entre elles les mêmes distances, qu'elles changeaient de forme et de vitesse ; mais j'eus d'autant plus de plaisir, lorsque j'en eus

senti la raison. Comme il est vraisemblable, par ces observations, que les *taches* sont sur le corps même du Soleil, qui est sphérique et solide, elles doivent devenir plus petites et ralentir leurs mouvements lorsqu'elles arrivent sur les bords du Soleil. Nous invitons les amateurs des vérités physiques à profiter de l'ébauche que nous leur présentons : ils soupçonneront sans doute que le Soleil a un mouvement de conversion, comme l'a dit Jordano Bruno (dans son *Traité sur l'univers*, publié en 1591) et en dernier lieu Képler, dans son livre sur les mouvements de Mars; car, sans cela, je ne sais ce que nous ferions de ces *taches*. »

Galilée a été plus précis, et ses conclusions furent plus explicites. Il a en outre mesuré la durée de la période de visibilité des taches, qui est à peu près de 14 jours.

La rotation du Soleil fut ainsi découverte un demi-siècle environ avant celles des planètes Vénus, Mars et Jupiter, et du même coup se trouva radicalement ébranlée une vieille idée que nous avaient léguée les anciens, celle de l'incorruptibilité des cieux ou des astres. Le Soleil lui-même, ce foyer de lumière, ce type de la pureté absolue, fut reconnu avoir des taches, et, comme nous l'allons voir, des taches variables, mobiles, indices de changements incessants à sa surface.

Sans nous préoccuper pour le moment de la nature des taches du Soleil, voyons comment l'observation de l'une d'elles conduit à la détermination du mouvement de rotation, de son uniformité et de sa durée.

A l'aide d'une lunette astronomique, c'est-à-dire qui renverse les objets¹, considérons une tache solaire au début de

1. Dans une lunette astronomique, le point le plus élevé du disque solaire N se voit au bas de l'image (fig. 7), et au contraire le point inférieur S apparaît en haut. De même, le bord oriental, relativement à l'observateur, est à droite en E, et le bord occidental à gauche en O, contrairement à ce que donnerait la vue à l'œil nu ou dans une lunette terrestre. Il faut aussi remarquer que le disque,

son mouvement en a , près du bord oriental du disque (fig. 7). Elle paraît alors sous la forme d'un trait délié, en général beaucoup plus long que large. Pendant les premiers jours, elle semble marcher lentement tout en se rapprochant du centre; sa vitesse croît de jour en jour, jusqu'à ce qu'elle arrive au centre même, ou tout au moins au milieu de sa course en o . En ce moment, sa vitesse est maximum : elle décroît de o en b en repassant en sens inverse par les mêmes valeurs que dans la première moitié de la trajectoire

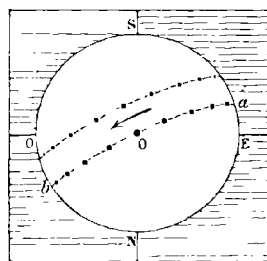


Fig. 7. — Mouvement apparent des taches, du bord oriental au bord occidental du disque.

Quelles que soient les positions des taches observées à une même époque, leurs routes ou trajectoires sont des lignes parallèles et semblables, tantôt droites, tantôt elliptiques, selon l'époque de l'observation. De plus, bien que variées de formes et de dimensions, les unes et les autres sont difficilement visibles près des bords, où, comme on vient de le voir, elles semblent très-étroites dans le sens de leurs trajectoires, ou allongées dans un sens perpendiculaire : plus elles sont voisines du centre, plus elles semblent s'élargir dans le premier sens. Il s'écoule, du reste, le même temps entre les instants des apparitions des taches au bord oriental du Soleil, et ceux de leurs disparitions au bord occidental, quelles que soient d'ailleurs les distances de leurs trajectoires au centre, et par suite les longueurs relatives des arcs décrits par chacune d'elles. Il arrive enfin assez fréquemment qu'une tache, après avoir disparu à l'occident, reparaît à l'orient, et alors on

entraîné de son lever à son coucher par le mouvement diurne, prend par cela même des positions successives telles que le point le plus bas au moment où le Soleil s'élève à l'horizon, peu à peu se relève et finit au coucher du Soleil par être le point le plus élevé du disque. Cette observation est importante pour comprendre le mouvement apparent des taches.

trouve que les durées des périodes d'apparition et de disparition sont à fort peu de chose près égales entre elles, c'est-à-dire d'un peu moins de quatorze jours chacune.

Telles sont les circonstances qui témoignent irrécusablement du mouvement de rotation de l'astre; car les taches sont des accidents temporaires de la surface du Soleil, surface que cette rotation nous permet d'observer ainsi dans toute sa périphérie.

Elles appartiennent à la surface même. Si, en effet, il s'agissait de corps tournant à distance autour du Soleil, comme des planètes¹, leur mouvement apparent en avant du disque nous semblerait d'autant plus uniforme, que cette distance serait plus grande: c'est ce qu'on observe dans les passages de Vénus et de Mercure. D'ailleurs, ces corps se projetteraient en noir, mais en conservant les mêmes dimensions apparentes au bord qu'au centre: il n'y aurait pas ces variations de forme qu'on a constatées dans les taches. Enfin, la durée de leur passage au devant du disque devrait être notablement plus courte que la durée de la disparition, laquelle correspondrait nécessairement à une portion beaucoup plus grande des orbites.

On a supposé encore que les taches sont entraînées à la surface du Soleil par un mouvement qui leur est propre, et auquel le globe de l'astre ne participerait point. Il y a dans cette hypothèse quelque chose de vrai: les taches sont souvent affectées d'un mouvement propre; mais, en réalité, c'est bien la masse du Soleil, sa sphère entière, qui entraîne les taches et détermine leur mouvement d'ensemble.

1. Galilée a réfuté l'hypothèse du jésuite Scheiner, qui croyait les taches éloignées du globe solaire, les assimilant à des planètes tournant autour du Soleil et nous présentant leurs faces obscures, comme il arrive de Mercure et de Vénus aux époques de leurs passages au devant du disque solaire. Scheiner fut convaincu; il fit lui-même un nombre considérable d'observations, qu'il consigna dans un in-folio de 800 pages, publié en 1630 sous le titre de *ROSA URSINA, sive Sol ex admirando facularum et macularum phænomeno varius*.

Comment des corps isolés, indépendants de la masse et indépendants entre eux, pourraient-ils affecter dans leur marche une telle régularité, se mouvoir dans des trajectoires parallèles semblables? Quant aux variations de vitesse d'une même tache, vue dans son mouvement total du bord oriental au bord occidental en passant par le centre, ce sont elles qui prouvent précisément l'uniformité de la rotation solaire; car, si l'on calcule le rapport de la vitesse apparente à celui de la vitesse réelle à la surface d'une sphère, on trouve qu'il est précisément égal à celui que donne la géométrie dans l'hypothèse de l'uniformité de la rotation. Les choses se passent comme l'exigent les lois de la perspective, pour une sphère animée d'un mouvement de rotation uniforme autour d'un axe de direction invariable.

Ainsi, voilà donc un fait hors de doute. Le Soleil tourne sur lui-même, et le sens de sa rotation est de droite à gauche pour un observateur qui serait situé dans le plan de son équateur, la tête du côté de l'hémisphère nord du Soleil. C'est le sens des mouvements de rotation et de translation de la Terre et de toutes les planètes, celui qu'on caractérise en disant que le mouvement se fait d'Occident en Orient¹.

§ 2. — Différence entre la durée de la rotation apparente des taches solaires et la durée de la rotation réelle. — Pôles et équateur du Soleil. — Formes des trajectoires des taches suivant l'époque de l'année. — Variations de la durée de la rotation selon la latitude des taches observées.

La durée apparente du mouvement des taches est le temps qui s'écoule, par exemple, entre le moment du passage d'une tache au centre et son retour au même point pour un observateur placé sur la Terre. Nous allons voir que cette durée varie selon la latitude des taches rapportée à l'équateur so-

1. En regardant le Soleil, on se tourne vers le sud de l'horizon, et il en résulte que la rotation se fait, pour l'observateur, du bord du disque tourné à l'orient vers le bord occidental, de l'Occident à l'Orient du Soleil lui-même.

laire. Cela explique comment il se fait que les nombres trouvés par les astronomes qui l'ont déterminée à diverses époques varient notablement. Cassini la fixait à 27 j. 12 h. 20 m.; Lalande à 27 j. 7 h. 37 m.; Laugier à 27 j. 4 h. en moyenne. Mais la durée de la rotation réelle est moindre que celle de la rotation apparente, et la cause de cette différence est due à la translation de la Terre autour du Soleil. En effet, supposons un instant la Terre immobile : le temps qu'une même tache, abstraction faite de tout mouvement propre ou de déplacement de la tache sur le Soleil, mettrait à revenir au centre du disque, serait évidemment celui que l'astre mettrait à tourner sur lui-même. Si, au contraire, la Terre décrivait son orbite entière dans le même temps qu'une tache accomplirait

sa rotation, les sens des deux mouvements étant les mêmes, il est clair que l'observateur suivrait exactement la tache qui lui semblerait immobile sur le disque solaire.

C'est entre ces deux suppositions extrêmes que se trouve la réalité. Pendant que le Soleil effectue une rotation complète, la Terre s'avance dans le même sens sur son orbite. La tache qui était, par hypothèse, au centre du disque au début de l'observation, est bien revenue à la même position sur la surface du Soleil, mais

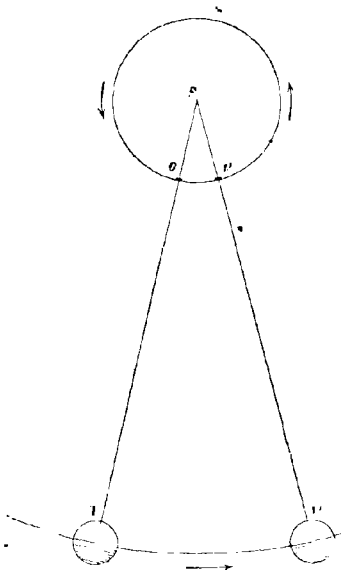


Fig. 8. — Différence de durée de la rotation apparente du Soleil et de sa rotation réelle.

cette position n'est plus au centre du disque; elle est à l'occident de ce centre. Pour qu'elle revienne de nouveau au centre apparent, il faut qu'elle marche encore un certain temps pendant que la Terre même s'avancera encore sur son

orbite : revenue au centre, la tache a décrit plus d'une circonférence entière. Mais on va voir qu'il est aisé de déduire la rotation réelle de la durée de la rotation apparente.

Soit a une tache vue au centre du disque par l'observateur posté en T , à la surface de la Terre. Au bout d'un peu plus de 27 jours, la tache a décrit une circonférence entière aba , plus un arc aa' , et elle semble de nouveau occuper le centre pour l'observateur, qui s'est avancé en T' . Toute la question est de savoir combien cet arc aa' contient de degrés, de minutes, de secondes. Or, l'arc aa' , a angulairement la même valeur que l'arc de l'orbite terrestre TT' , et celui-ci n'est autre chose que le chemin parcouru par la Terre, pendant tout le temps de la rotation apparente du Soleil. Ainsi la tache a décrit une circonférence entière, plus un nombre de degrés égal à celui qui mesure le chemin en question, lequel est bien connu. Un calcul très-simple montre que la durée réelle de la rotation solaire est d'environ *deux jours* moindre que celle de la rotation apparente. Une tache qui met 27 jours et 4 heures à revenir au centre donne pour la durée de la rotation 25 j. 34 ou 25 j. 8 h.

Les astronomes ont des méthodes rigoureuses pour déduire des positions successives d'une tache la position de l'axe de rotation, et par suite celles des pôles et de l'équateur du Soleil. Si l'axe eût été perpendiculaire au plan de l'écliptique ou de l'orbite terrestre, le plan de l'équateur solaire eût coïncidé avec l'écliptique; et nous eussions toujours vu les taches décrire sur le disque des lignes droites parallèles à l'écliptique même. L'observation prouve qu'il n'en est point ainsi, puisque les trajectoires des taches sont, suivant l'époque, des lignes courbes convexes par en haut ou par en bas, ou des lignes droites, non parallèles à l'écliptique.

D'après Carrington, l'équateur du Soleil est incliné de $7^{\circ} 15'$ sur le plan de l'orbite terrestre, de sorte que la ligne des pôles fait avec le même plan un angle de $82^{\circ} 45'$. Il résulte

de là que la Terre, dans son mouvement annuel, se trouve tantôt au-dessus du plan de l'équateur solaire, et alors nous voyons les taches décrire des ellipses dont la concavité est tournée vers le pôle nord; tantôt au-dessous de ce plan, et alors c'est le pôle sud que nous apercevons. Dans ces deux cas, les taches décrivent des ellipses dont la concavité est tournée en sens contraires. En deux points diamétralement opposés de son

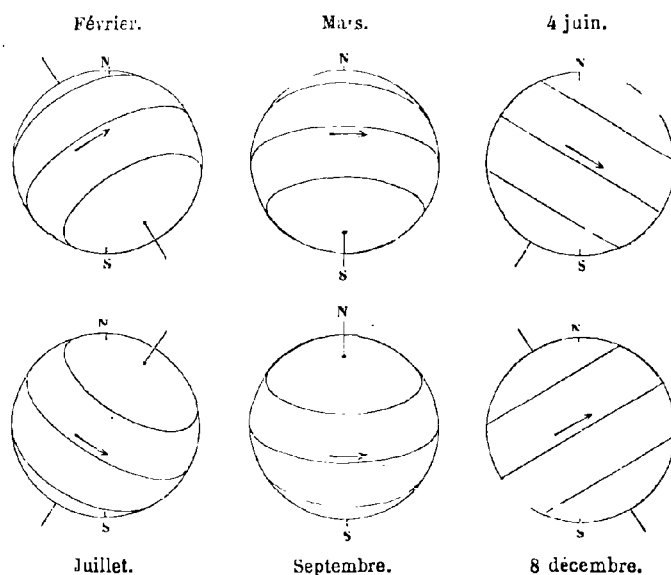


Fig. 9. — Formes des courbes décrites par les taches sur le disque solaire, à diverses époques de l'année.

orbite, la Terre se trouve dans le plan même de l'équateur du Soleil, et ce sont ces points qu'on nomme le *nœud ascendant* et le *nœud descendant*. Alors les trajectoires des taches ont l'apparence de lignes droites, mais inclinées en sens contraires. C'est, d'une part, vers le 4 juin, d'autre part entre le 5 et le 6 décembre qu'ont lieu ces deux passages de la Terre par les nœuds de l'équateur du Soleil, et que les taches, entraînées par le mouvement de rotation, nous semblent décrire des lignes droites sur le disque (fig. 9).

Si le mouvement de rotation du Soleil, déduit de l'observation des taches, était parfaitement uniforme, le calcul de la durée réelle devrait toujours donner le même nombre, et alors on pourrait en conclure que les taches n'ont pas de déplacements propres à la surface de l'astre. Or, l'étude attentive et prolongée de ces mouvements a fait reconnaître que les choses ne se passent pas avec cette rigoureuse régularité. D'abord, les taches se déforment, augmentent ou diminuent de dimensions; cela seul suffirait à amener des différences dans le calcul de leurs positions. Mais on a soupçonné bientôt que les taches, outre les changements intérieurs qu'elles subissent, ne conservent pas à la surface du Soleil une position invariable, qu'elles ont ce qu'on nomme un mouvement propre, distinct du mouvement général d'ensemble qui les entraîne, avec la masse entière de l'astre, d'Occident en Orient.

Il résulte de plusieurs séries d'observations très-minutieuses dues à M. Laugier que, non-seulement des taches différentes donnent pour la rotation des durées sensiblement différentes, mais encore qu'une même tache observée à des périodes diverses de son mouvement donne des divergences analogues, bien que moins étendues. Ainsi, 29 taches observées donnerent une durée de la rotation moyenne égale à 25 j. 34, mais les durées extrêmes calculées oscillent entre un maximum de 26 j. 23 et un minimum de 25 j. 28; une même tache donnait pour la rotation des nombres différant entre eux de 2 à 5 heures. C'était la preuve évidente du mouvement propre des taches, que rendit encore plus certain la mesure des variations subies par les distances de deux taches voisines. C'est ainsi que l'astronome que nous citons a trouvé pour la vitesse de déplacement d'une tache à la surface du Soleil le nombre de 111 mètres par seconde.

Un fait d'une haute importance et qui concorde avec les observations précédentes, a été mis en lumière récemment

par un astronome anglais, M. Carrington. Cet observateur a déduit de sept années et demie d'une étude continue des tâches solaires cette conséquence, que les taches ne sont pas animées de la même vitesse angulaire de rotation : cette vitesse varie avec la position des taches relativement à l'équateur solaire, avec leur latitude héliocentrique.

En général, plus une tache est voisine de l'équateur, plus son mouvement de rotation est rapide ; plus sa latitude est grande, plus ce mouvement est lent. La variation dont il s'agit suit d'ailleurs une loi régulière et continue. Nous verrons plus loin quelles conséquences on a tirées de ce fait pour la constitution physique du Soleil ; voici, en attendant, quelques-uns des résultats trouvés par M. Carrington ¹ :

ROTATION DU SOLEIL A DIVERSES LATITUDES.

		Durées des rotations.				
		j.	ou	j.	h.	m.
Latitudes boréales.	60°	27.445	—	27	10	41
	30°	26.207	—	26	9	46
	20°	25.714	—	25	17	8
	15°	25.382	—	25	9	10
	10°	25.145	—	25	3	29
Equateur	5°	25.029	—	25	0	42
	0°	24.913	—	24	2	11
Latitudes australes.	5°	24.971	—	24	23	18
	10°	25.233	—	25	5	35
	15°	25.563	—	25	13	31
	20°	25.745	—	25	17	52
	30°	26.535	—	26	12	50
	45°	28.458	—	28	11	0

Comme conséquence du mouvement de rotation du Soleil autour d'un de ses diamètres, la forme de son globe doit être celle d'un ellipsoïde aplati aux pôles ou, ce qui est la même chose, renflé autour de la circonférence équatoriale : c'est un

1. Un astronome allemand, M. Spærer, est arrivé de son côté aux mêmes conséquences.

effet nécessaire de la force centrifuge. On sait que telle est la forme de la Terre, et telles aussi celles des autres planètes, Mars, Jupiter, Saturne. Cependant, on ne peut constater de différence appréciable dans les diamètres du disque solaire. Cela tient sans doute à la prépondérance de la pesanteur sur la force centrifuge, qui est faible pour un mouvement de rotation aussi lent que celui du Soleil.

N'oublions pas, du reste, en parlant de la lenteur de la rotation, que cette expression s'applique ici à la vitesse angulaire. Les énormes dimensions du globe solaire font qu'aux points de sa surface les plus éloignés de l'axe de rotation, la vitesse réelle est considérable : ainsi un point de l'équateur du Soleil ne parcourt pas moins, par le fait de la rotation de l'astre, de 2013 mètres par seconde, vitesse qui est en réalité quatre fois $\frac{1}{3}$ aussi grande que celle d'un point de l'équateur terrestre.

III

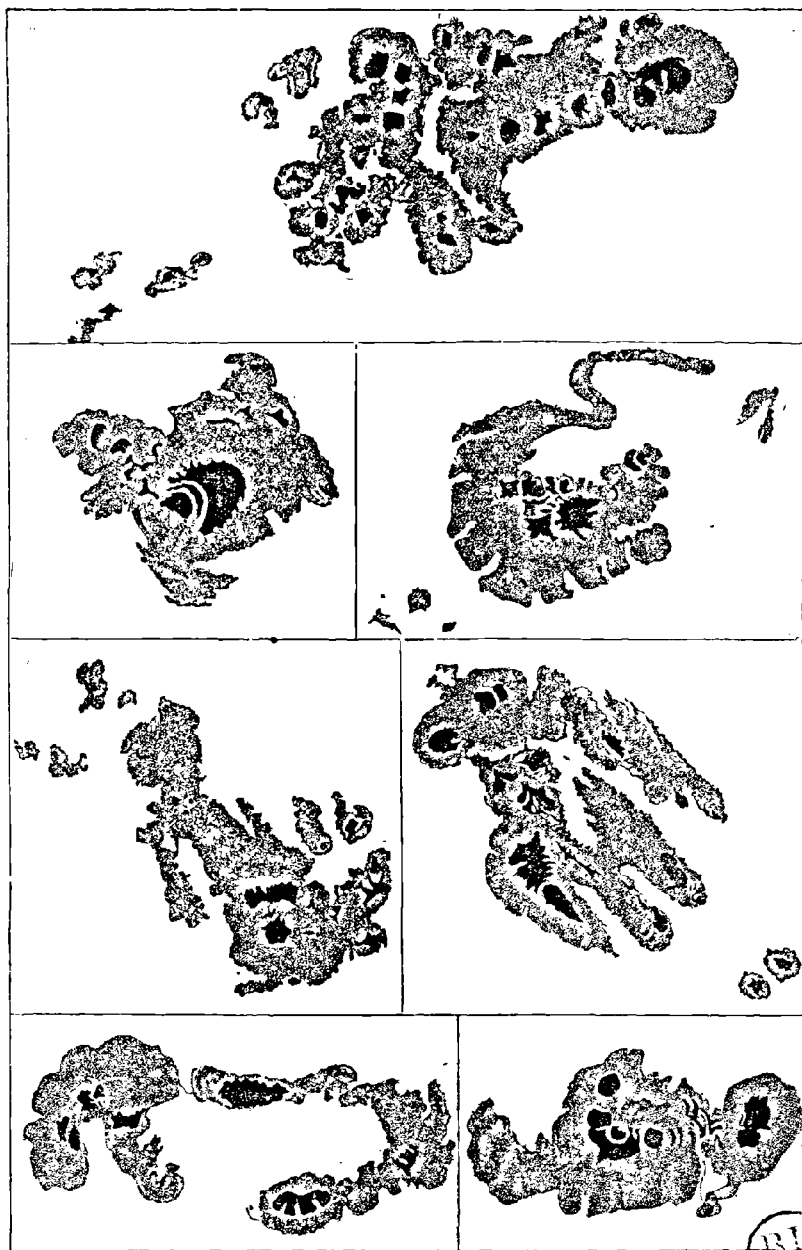
LES TACHES SOLAIRES.

§ 1. — Aspect des taches du Soleil ; noyaux et pénombres. — Taches lumineuses ou facules ; leurs relations avec les taches sombres. — Formes variées et dimensions des taches solaires. — Génération, transformations et mouvements des taches et de leurs groupes.

C'est grâce à l'invention des lunettes et télescopes que la découverte et l'étude des taches solaires ont pu être faites ; et il en est résulté du premier coup, comme on vient de le voir, la connaissance de ce fait d'une importance capitale, que le Soleil tourne sur lui-même, autour d'un axe invariable, dans le même sens que le globe terrestre. A l'origine, la puissance optique des instruments était faible ; les premières lunettes de Galilée grossissaient 4 fois, 7 fois ; la plus puissante dont se servit l'illustre astronome donnait une amplification de 32 diamètres. Mais peu à peu ces auxiliaires de la vue de l'homme furent perfectionnés, et l'on put étudier les moindres détails de structure des accidents de la surface des astres, et arriver aux notions les plus curieuses sur leur constitution physique.

Voyons donc ce que les plus puissants télescopes modernes nous apprennent sur les taches du Soleil.

Au premier aspect, on distingue dans une tache deux teintes assez nettement tranchées, ainsi qu'on peut le voir dans la planche I, et dans les nombreux dessins que nous donnons plus loin des taches solaires. L'une consiste en un ou plu-



TACHES SOLAIRES

D'après les observations et les dessins de sir J. Herschel.

sieurs *noyaux* qui semblent noirs relativement à l'éclat général du disque; l'autre est une teinte grisâtre entourant les noyaux et qu'on nomme assez improprement la *pénombre*.

Examinés plus en détail, les noyaux sont loin d'avoir la même teinte en toutes leurs parties, bien que leurs contours soient presque toujours nettement déterminés. Sur un fond sombre, on aperçoit comme des enfoncements, des trous plus noirs que le fond : cette structure est très-aisée à reconnaître

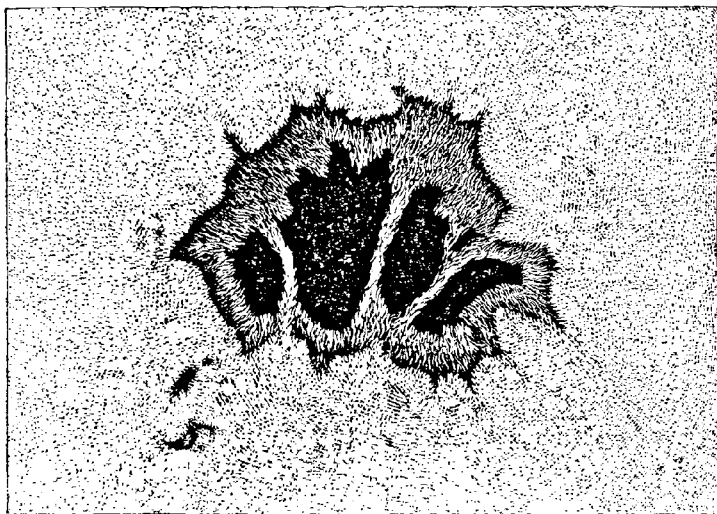


Fig. 10. — Tache solaire, d'après Nasmyth. Noyau et pénombre.

dans les taches que représentent les figures des planches I et II. Du reste, il faut faire la même observation pour les pénombres : c'est sur ceux de leurs bords qui touchent à la surface brillante du disque que la teinte grise est ordinairement la plus sombre, et l'on s'est assuré que ce n'est point là un effet de contraste provenant du voisinage des parties brillantes du disque; en réalité il s'agit d'une véritable différence dans les teintes (fig. 10). En outre, les pénombres sont très-souvent sillonnées par des lignes qui descendent du bord extérieur jusqu'au noyau, tantôt droites, tantôt courbes, mais le plus

souvent normales aux lignes de contour du noyau et de la pénombre (fig. 11) : on dirait voir les lits d'une multitude de ruisseaux, qui ont raviné les talus que représente la pénombre pour aller se précipiter dans le gouffre simulé par le noyau ; ceci soit dit simplement pour faire image, sans anticiper sur les hypothèses dont il sera question plus loin.

On voit quelquefois, plus rarement néanmoins, des taches noires ou noyaux dépourvus de pénombre ; comme aussi des pénombres à l'intérieur desquelles on ne distingue pas de noyaux. La même pénombre, avons-nous dit, enveloppe sou-

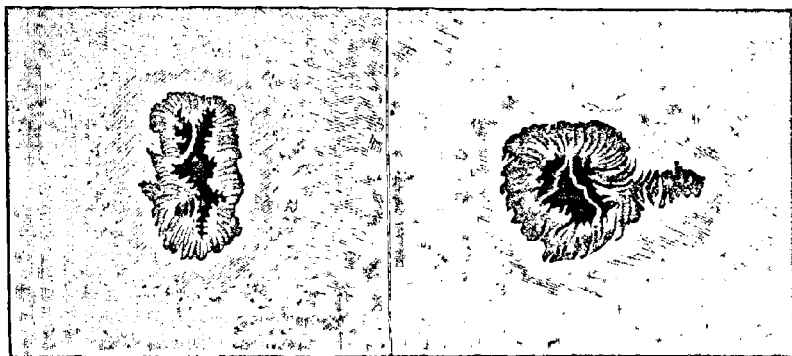


Fig. 11. — Facule environnant la pénombre. Taches solaires, d'après Capocci.

vent plusieurs noyaux. Mais ceux-ci sont quelquefois séparés les uns des autres par des fragments étroits de matière grisâtre ou brillante : on dirait d'un seul noyau partagé en plusieurs morceaux par ces espèces de filets transversaux auxquels Herschel donne le nom de *ponts lumineux* (*luminous bridges*). La tache de la figure 10 donne un exemple très-saillant de cet aspect de la pénombre, que présentent également plusieurs des taches de la planche I et des figures 11, 18 et 19.

Outre les taches sombres, le disque solaire laisse voir assez fréquemment des taches brillantes, dont la découverte est due à Galilée, et qui, se mouvant comme les autres et dans le même sens, fournissent une preuve irrécusable de la rotation

du Soleil. On leur donne le nom de *facules*. Le plus souvent les facules accompagnent les taches et se montrent sur les bords extérieurs de la pénombre (fig. 11), de sorte qu'on pourrait croire qu'il n'y a là qu'un simple effet de contraste entre la teinte sombre de la tache et l'éclat éblouissant des parties du disque qui l'avoisinent; mais il n'en est rien, car, outre que les facules n'environnent pas uniformément la pé-

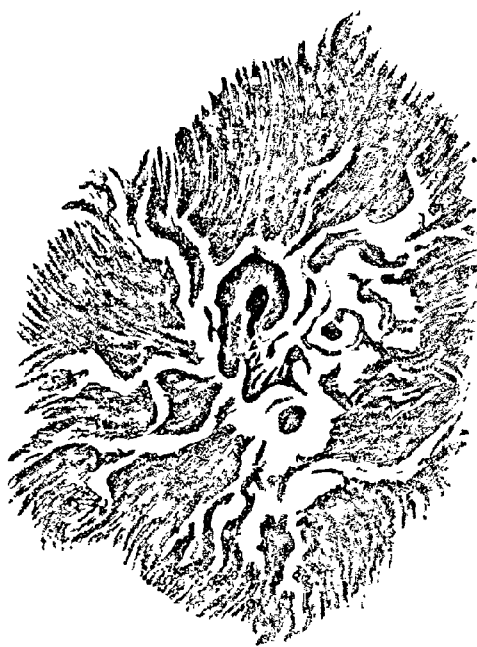


Fig. 12. — Apparence d'un groupe de taches avec ses facules, observé le 14 février 1865, par M. Chacornac.

nombre, que certaines taches en sont dépourvues, on voit fréquemment apparaître des facules isolées, dont la présence d'ailleurs en une région du disque solaire annonce presque toujours la formation prochaine d'une tache en ce point.

Les facules ont quelquefois la forme de traînées convergentes qui aboutissent de divers côtés aux contours de la tache, semblables à des ruisseaux de matière brillante : la figure 12, que je dois à l'obligeance de l'observateur M. Cha-

cornac, donne un exemple remarquable de cette disposition des facules, bien différentes de celles qui entourent les taches de la figure 11.

Les formes des taches, on le voit par les nombreux dessins que nous reproduisons d'après des observations authentiques, sont extrêmement variées. Mais quelles qu'elles soient, il est rare qu'il n'y ait pas une similitude entre les contours des noyaux et ceux de la pénombre enveloppante, similitude accusant l'identité des causes qui les produisent les unes et les autres. Les noyaux sont rarement arrondis : le plus sou-

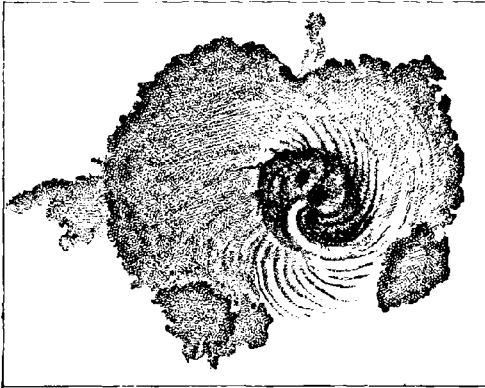


Fig. 13. — Tache en forme de tourbillon, d'après les dessins du P. Secchi. (5 mai 1857.)

vent leurs contours sont des lignes polygonales, à angles rentrants dont les pénombres répètent la forme.

Les taches affectent quelquefois la forme de tourbillons qui semblent indiquer un mouvement spiraloïde dans la matière qui les compose. La tache

représentée dans la figure 13 donne un exemple remarquable de cette forme. On y voit les stries de la pénombre se contourner comme si elles étaient entraînées par des courants giratoires au fond d'un gouffre simulé par le noyau.

Les dimensions des taches ne sont pas moins variées que leurs formes. Il en est de fort petites, qui paraissent comme des points à peine perceptibles, même à l'aide de grossissements considérables : c'est parmi elles qu'on rencontre le plus ordinairement les noyaux sans pénombre ou les pénombres sans noyaux. (Voir les planches I et II.)

Certaines taches ont au contraire présenté des dimen-

sions considérables : « Vers le milieu de 1763, dit Lalande, j'ai aperçu la plus grosse et la plus noire que j'aie jamais vue ; elle avait 1' au moins de longueur, » c'est-à-dire la 32^e partie environ du diamètre solaire. Arago en cite une de 167", presque trois fois aussi longue que celle de Lalande. Schrœter en a mesuré une dont la surface équivalait à seize fois la surface

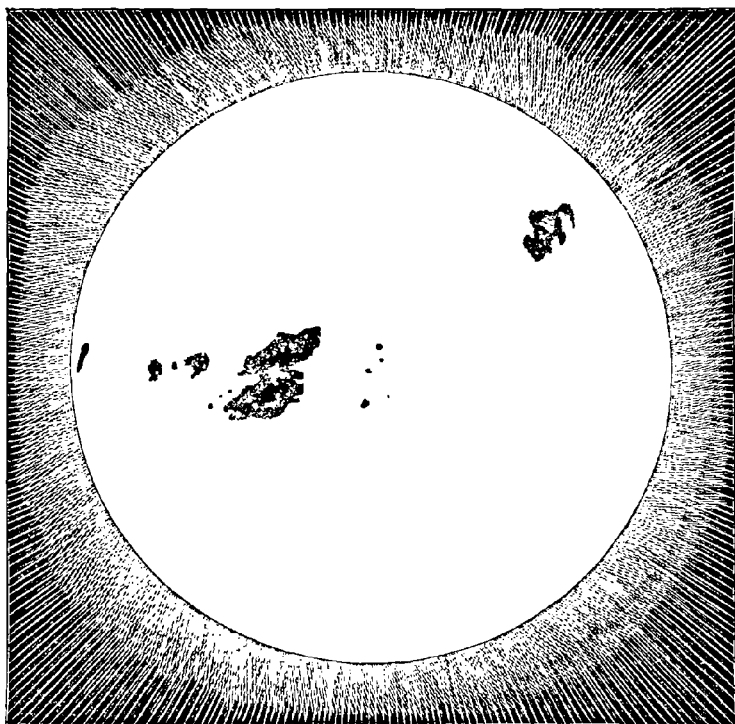


Fig. 14. — Grandes taches observées le 30 août 1839, par le capitaine Davis.

d'un cercle de même rayon que la Terre, quatre fois égale dès lors à la superficie entière de notre globe : elle mesurait donc un diamètre moyen de 12 000 lieues. W. Herschel vit en 1779 une tache qui avait 17 000 lieues de diamètre. Celles que nous avons reproduites ici (fig. 14) d'après le dessin du capitaine Davis, montrent quelles énormes dimensions atteignent parfois ces accidents de la surface du Soleil : mesurée à l'é-

chelle du diamètre réel, la plus étendue de ces taches, formée, il est vrai, d'un double noyau, n'avait pas moins de 300 000 kilomètres dans sa plus grande longueur : sa surface était environ, la pénombre comprise, de 200 millions de myriamètres carrés¹. Si, comme nous le verrons plus loin, les taches sont des déchirures profondes de l'enveloppe lumineuse du Soleil, quelle capacité doivent offrir de tels gouffres, sortes d'abîmes gigantesques, au fond desquels la Terre entière n'apparaîtrait plus que comme un rocher, une pierre dans le cratère d'un volcan !

Nous avons déjà vu, à propos de la rotation, que les taches ne sont pas permanentes à la surface du Soleil. Non-seulement elles naissent spontanément et disparaissent de même ; mais pendant toute la durée de leurs apparitions, durée d'ailleurs très-variable, elles changent de formes et de dimensions, ou encore se déplacent à la surface du disque, entraînées par un

1. Avec de pareilles dimensions, les taches doivent être visibles à l'œil nu : le seul obstacle à cette visibilité est dans l'éclat du disque solaire, qu'il est aisé, comme on l'a vu, d'affaiblir. C'est à des phénomènes de ce genre qu'il faut évidemment rapporter le prétendu passage de Mercure sur le Soleil en l'an 807 ; la tache noire que l'on prenait pour le disque obscur de la planète fut visible pendant 8 jours. En 840, c'est Vénus qu'on crut voir ainsi pendant 91 jours ; en 1096, on aperçut des signes sur le Soleil, *signa in sole*. Mais on ignorait alors la nature de ces phénomènes, tandis que depuis la découverte des taches, on ne se trompa plus sur ce point : nombre d'observateurs citent des cas de visibilité sans lunettes. Ainsi en août 1612, Galilée et ses amis virent à l'œil nu, au lever du Soleil, une tache de 1' au moins de diamètre : elle se montra ainsi trois jours de suite ; c'est une tache visible à l'œil nu, en 1779, qui détermina W. Herschel à étudier la constitution physique du Soleil. M. Schwabe, qui s'est occupé pendant une si longue suite d'années des taches solaires, en a observé fréquemment d'assez grandes pour être visibles à l'œil nu ; « les principales parurent, dit-il, en 1828, 1829, 1831, 1836, 1837, 1838, 1839, 1847, 1848. Je considère comme grandes taches celles qui embrassent au moins 50'' ; c'est seulement à cette limite qu'elles commencent à devenir visibles pour de bons yeux, sans le secours du télescope. » Le 28 juin 1868, il y avait sur le disque une tache dont un observateur, M. Gilman, de New-York, a donné la description, en ajoutant cette mention : « Spot visible to naked eye, » *tache visible à l'œil nu*. Ce genre d'observation serait encore plus fréquent si l'on y portait quelque attention.

mouvement propre différent du mouvement apparent résultant de la rotation. La figure 15 donne un exemple de ces diverses transformations opérées dans l'intervalle d'une ro-

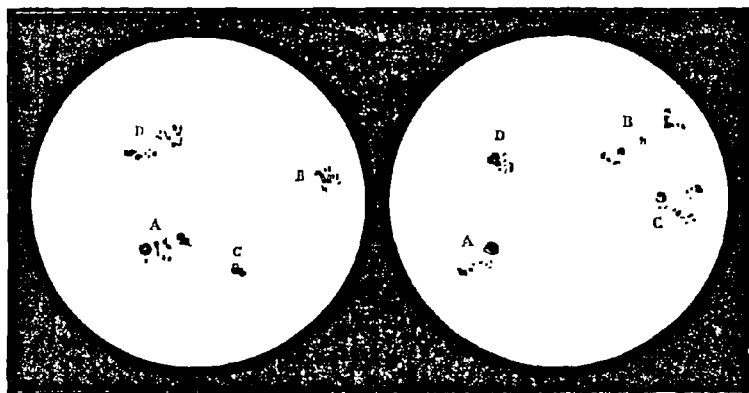


Fig. 15. — Transformation de groupes de taches solaires, dans l'intervalle d'une rotation. Observations de M. Pastorff, le 24 mai et le 21 juin 1828.

tation solaire. Le 24 mai 1828, on observait quatre groupes A, B, C, D, qui, vingt-huit jours après, occupaient les positions marquées par les mêmes lettres sur le second diagramme



Fig. 16. — Transformations des taches solaires, dans l'intervalle d'une rotation. Détails des groupes A et B, d'après M. Pastorff.

de la figure. Il y a là la preuve évidente et très-marquée d'un déplacement relatif des groupes; et la figure 16 montre de plus quels changements de dimensions et de forme ont

subis deux de ces groupes pendant le même temps. Quelques jours, parfois quelques heures, suffisent pour reconnaître les variations singulières dont nous parlons. Voici (fig. 17) une tache observée par Dawes en octobre et novembre 1839, et sur laquelle on peut suivre de deux en deux jours

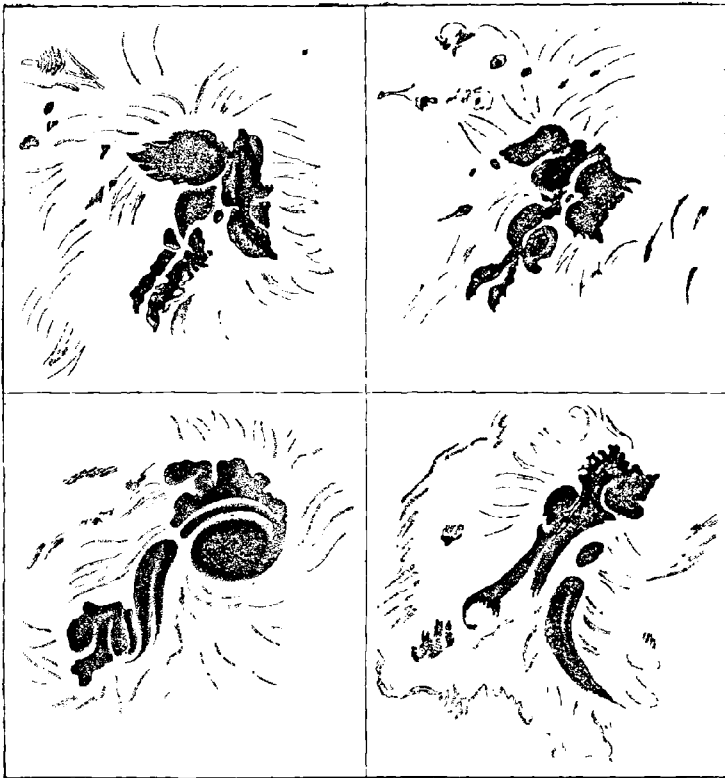


Fig. 17. — Transformations d'une tache; observations de Dawes, les 27, 29 et 31 octobre, et le 2 novembre 1839.

les changements notables survenus dans les noyaux comme dans la pénombre, dans les dimensions de la tache comme dans sa forme. On y retrouve aussi, quoique moins accusé que dans la figure 13, le mouvement tourbillonnant sur lequel nous avons appelé plus haut l'attention.

Enfin, on peut voir, dans les différents dessins d'une même

tache observée séparément par les astronomes Howlet et Chacornac, en octobre 1865, un exemple de transformation plus

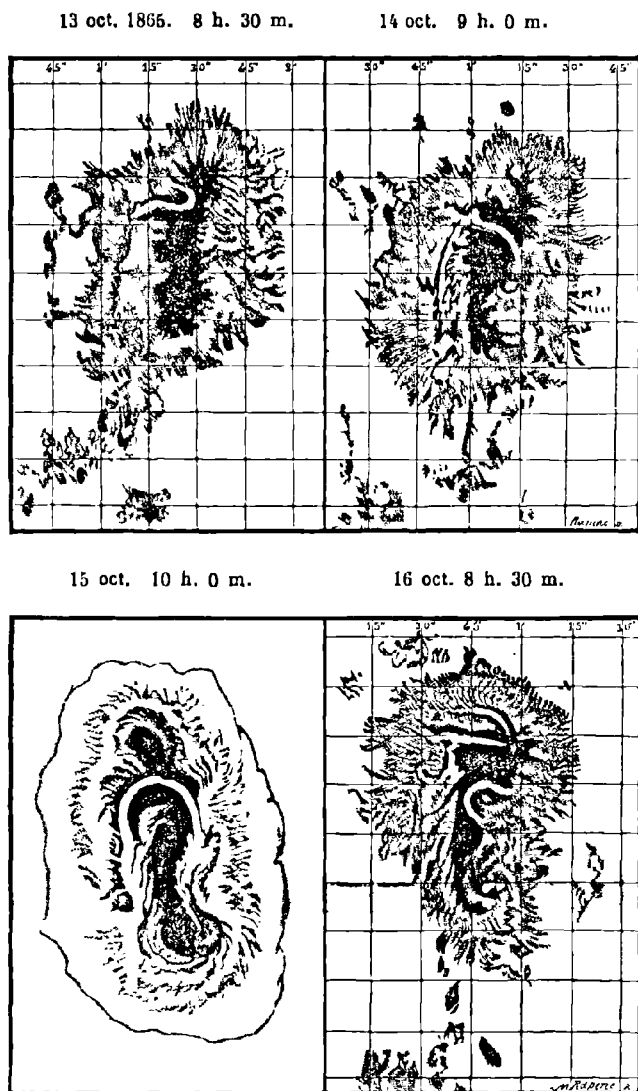


Fig. 18 et 19. — Transformations d'une tache; observations de MM. Howlet et Chacornac.

rapide encore, puisque les quatre observations sont séparées les unes des autres par des intervalles de vingt-quatre heures

seulement. Un pont lumineux s'est peu à peu développé, traversant et surplombant le noyau le 14 et le 15 octobre, pour se rompre le jour suivant. Les variations de la pénombre suivent d'ailleurs presque toujours les variations du noyau.

§ 2. — Étude de la surface du Soleil; apparence de la photosphère; pores ou granulations. — Stries des pénombres; feuilles de saule ou grains de riz.

Quand on examine le Soleil à l'aide d'une lunette d'un faible pouvoir grossissant, toutes les régions du disque qui ne sont

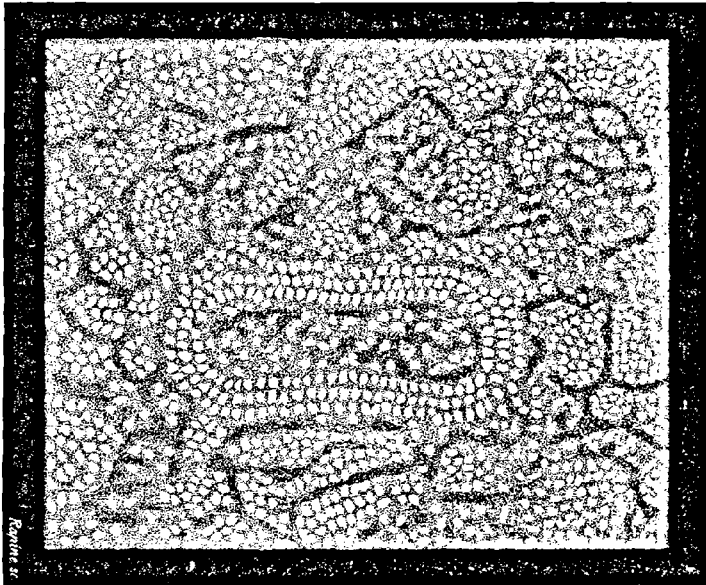


Fig. 20. — Granulations de la surface du Soleil, d'après W. Huggins.

point envahies par les taches paraissent d'un blanc uniforme, et donnent l'idée d'une surface parfaitement lisse et nivelée. Il n'en est plus ainsi quand on observe avec un télescope d'une assez grande puissance. Alors la surface brillante, ce qu'on nomme la *photosphère*, apparaît comme sillonnée d'une multitude de rides lumineuses et de rides sombres, qui s'entrecroisent dans tous les sens et la font ressembler, ainsi qu'on



TACHES SOLAIRES.

Groupe observé et dessiné le 5 juin 1864, par Nasmyth. Structure granulée de la photosphère; feuilles de saule dans les pénombres.

l'a dit bien des fois, au fond pointillé d'une gravure. Ces points plus sombres de la surface ont reçu le nom de *pores* ou encore de *lucules*; on les aperçoit dans toutes les régions du disque, tandis que les taches et les facules n'apparaissent, comme on le verra bientôt, que dans une zone limitée de chaque côté de l'équateur solaire. M. W. Huggins, à qui nous empruntons le dessin de la figure 20, propose de les nommer *granulations*. Les facules et les noyaux noirs des taches ne présentent pas toutefois cette apparence, et leurs teintes sont à peu près uniformes; mais les parties des taches qui, sous des teintes très-variées, constituent les pénombres, examinées avec un grossissement suffisant, offrent une structure qui a la plus grande analogie avec la surface granulée du disque. La différence paraît surtout consister en ce que les interstices ou pores y sont beaucoup plus larges, de sorte que les parties relativement brillantes de la pénombre paraissent détachées les unes des autres sur un fond plus sombre. Leur forme allongée leur a fait donner par un astronome anglais contemporain, M. Nasmyth, le nom de *feuilles de saule* (*willow-leaves*). D'autres observateurs ont reconnu l'existence de ces mêmes fragments lumineux et les ont comparés, M. Dawes, à des brins de paille déchiquetés, M. Stone, à des grains de riz. Voici comment le directeur de l'Observatoire romain, le P. Secchi, a décrit l'aspect que présente la surface du disque hors des taches, sur leurs bords et dans la pénombre : « Le fond lumineux du Soleil se voit comme un véritable réseau semé d'une foule de points blancs plus ou moins allongés et séparés par une maille plus sombre, et les nœuds de cette maille paraissent de très-petits trous noirs. Les pénombres des taches sont plus remarquables : on voit surtout une grande quantité de corps blancs allongés, qui, se plaçant à la suite les uns des autres, produisent comme des filaments, et c'étaient ceux-ci que j'avais nommés *courants* dans mes observations antérieures. Cette configuration cependant n'est pas

constante, et les corps blancs ne sont pas toujours séparés dans les pénombres. Il est difficile de trouver un objet auquel les comparer : je les comparerai à des amas de coton allongés, de toutes les formes imaginables, quelquefois enchevêtrés les uns dans les autres, quelquefois aussi dispersés et isolés. »

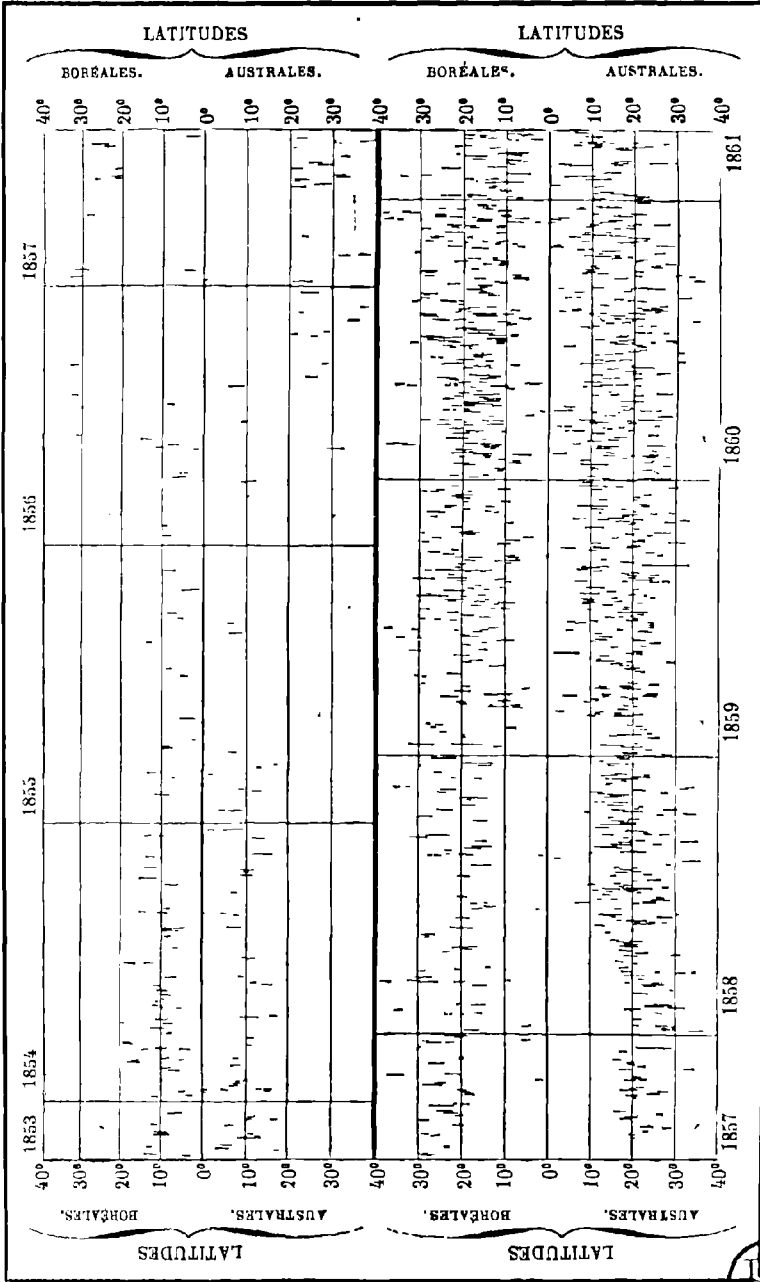
La planche II donnera une idée très-nette de la disposition des feuilles de saule à l'intérieur des pénombres. C'est la reproduction d'un dessin original que M. Nasmyth a eu l'obligeance de nous communiquer. On y voit tous les détails d'un groupe de taches solaires : les noyaux, formés de deux teintes superposées ; l'une, complètement noire, est comme le fond du gouffre ; l'autre, un peu moins foncée, semble indiquer en ces points une moindre profondeur ; tout autour règne la pénombre recouverte ou plutôt formée entièrement de feuilles de saule rangées en files convergeant vers les noyaux ; les unes, plus brillantes, les autres plus sombres, paraissent également être la continuation des pores qui criblent la surface lumineuse environnante. Quelques-unes, isolées, sont comme suspendues au-dessus de l'abîme, tandis que d'autres, enchevêtrées en files, forment un pont reliant les deux talus opposés.

§ 3. — Zone d'apparition des taches ; distribution des groupes selon la latitude. — Nombre des taches solaires ; leur durée, leur périodicité. — Relation entre les nombres des taches, la température terrestre et les perturbations de l'aiguille aimantée.

Tandis que la photosphère offre la même apparence dans toutes les régions du globe du Soleil, de l'équateur jusqu'aux pôles, que les pores ou granulations s'y montrent partout, il n'en est pas de même des taches sombres ou brillantes. Celles-ci n'apparaissent que dans une zone limitée de part et d'autre de l'équateur : les anciens observateurs lui donnèrent le nom de *zone royale* et la regardaient comme comprise entre 30° de latitude boréale et 30° de latitude australe. A la

PLANCHE III.

LE CIEL.



DISTRIBUTION DES TACHES SOLAIRES

selon la latitude, pendant les années 1853 à 1861. D'après R. C. Carrington.

vérité, on a observé des taches au delà de ces limites¹; mais elles sont beaucoup plus rares. Les plus fréquentes apparitions ont lieu en deux zones comprises entre 10° et 30°, tant dans l'hémisphère nord que dans l'hémisphère sud du Soleil. Nous donnons ici la position des groupes de taches observées, depuis 1853 jusqu'à 1861, par R. C. Carrington (planche III). On peut saisir d'un coup d'œil dans le diagramme la distribution des taches selon la latitude et les variations de leur nombre selon les années. Ce nombre est, en effet, fort variable. Tandis qu'on cite certaines époques (par exemple de 1660 à 1671, de 1676 à 1684, de 1695 à 1700, l'année entière 1823) où le Soleil n'a laissé voir aucune tache sur son disque, d'autres années ou périodes d'années ont été remarquables au contraire par le nombre considérable des taches observées. En 1611, Scheiner parle de 50 taches visibles à la fois; plus tard, Schrœter en a vu de même 68, puis 81. Sans être aussi extraordinaire, l'observation du capitaine Davis (fig. 21) montre le disque du Soleil parsemé de taches assez nombreuses, et comme il est assez rare d'en voir autant à la fois.

- Il ne paraît pas douteux qu'il existe une périodicité dans les apparitions des taches solaires : c'est du moins ce qui résulte des observations de Schwabe (de 1826 à 1850), de celles de Wolf (de Zurich), de Secchi, de Warren de La Rue et Balfour-Stewart. D'après Wolf, tous les onze ans environ le nombre des taches atteint un maximum; tous les onze ans, il descend à un certain minimum. Des périodes plus longues, de 55 ans, de 166 ans, qui sont d'ailleurs des multiples de la première, paraissent également régir les variations des taches solaires. Il reste à savoir si ces variations sont en rapport avec celles de la température à la surface de la Terre, comme W. Herschel avait essayé de l'établir, si elles correspondent aux va-

1. Lalande en a vu une, en 1780, à 40°; Peters une autre à 50° 55'; Carrington, sur 972 groupes observés entre 1853 et 1861, note une tache à 45° de latitude.

riations de l'intensité magnétique terrestre (Secchi), ou enfin, si les mouvements des planètes, telles que Jupiter, Mars, Vénus, ont une influence sur l'apparition des taches, selon que ces corps célestes se trouvent plus ou moins rapprochés du Soleil¹.

La durée d'une même tache, sa persistance à la surface du Soleil, est fort variable. Quelques-unes ne font pour ainsi dire

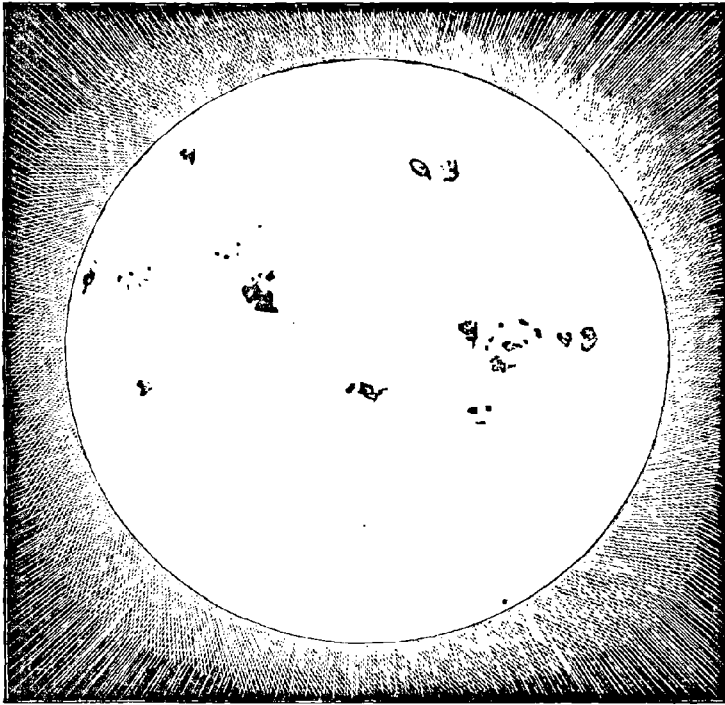


Fig. 21. — Taches du Soleil, le 2 septembre 1839, d'après les observations du capitaine Davis.

qu'apparaître et disparaître ; d'autres persistent, en se transformant d'ailleurs, pendant deux ou plusieurs rotations successives. Arago parle de taches qui ont duré 5 à 6 révolutions, c'est-à-dire 4 ou 5 mois. Une tache vue à la fin de 1676 et au commencement de 1677 est restée visible pendant 70 jours.

1. Pour plus de détails sur ce sujet intéressant, nous renvoyons le lecteur à notre ouvrage *le Soleil*.

IV

CONSTITUTION PHYSIQUE ET CHIMIQUE DU SOLEIL.

§ 1. — Masse et densité du Soleil. — Combien pèse le Soleil. — Intensité de la pesanteur à sa surface. — Poids et chute des corps sur le Soleil.

Il y a deux ou trois siècles, on ne pouvait faire que des conjectures plus ou moins plausibles sur la nature du Soleil et des autres astres, sur leur plus ou moins grande ressemblance avec la Terre, le seul corps céleste dont on pût connaître alors ce qu'on nomme la *constitution physique*. Les lunettes n'étaient point inventées, et d'ailleurs les astronomes étaient tout entiers occupés à la recherche des lois des mouvements planétaires, dont l'étude leur donna enfin pleinement l'intelligence du système du monde, découvert par Copernic, plus intimement dévoilé par Képler, par Galilée, Huygens, Newton. La vision télescopique créa une nouvelle branche de l'astronomie, qui, non contente d'avoir expliqué les mouvements des corps célestes, mesuré leurs distances relatives, leurs dimensions géométriques, leurs masses, voulut pénétrer plus avant dans l'étude de chacun des individus de la famille solaire. Les accidents observés à la surface du Soleil et des planètes firent découvrir leurs mouvements de rotation; mais en même temps ces phénomènes suggérèrent naturellement des conjectures plus ou moins probables sur les causes qui leur donnent naissance; et ainsi se trouvèrent posées toutes les questions relatives à la constitution des astres: l'état phy-

sique et chimique de la matière qui les compose, l'existence ou l'absence d'enveloppes atmosphériques, de masses nuageuses mobiles dans ces couches, de courants analogues à nos courants aériens. En combinant les données recueillies sur tous ces points avec celles qui sont une conséquence des mouvements de translation et de rotation, avec les distances au Soleil, telles que les alternatives du jour et de la nuit, la succession des saisons, l'intensité de la lumière et de la chaleur reçues, on est parvenu à se faire une idée des phénomènes généraux qui ont pour théâtre la surface de chaque corps céleste. Nous nous proposons de réunir, dans le cours de cet ouvrage, tous les éléments dont il vient d'être question, et dont les observations accumulées ont peu à peu enrichi la science.

Commençons par le Soleil.

Déjà nous savons quelle est sa distance, quelles sont ses dimensions, son volume, quelle est la durée de son mouvement de rotation, et nous avons observé les taches solaires, ces phénomènes si intéressants et d'une nature encore si mystérieuse. Mais avant d'exposer les théories à l'aide desquelles on a cherché à expliquer ces formations spontanées, continuons à recueillir les données positives indépendantes de toutes les hypothèses.

Il en est une qui est une conséquence immédiate de la loi de gravitation : nous voulons parler de la masse du Soleil, du poids de l'immense globe comparé aux poids des planètes, par exemple à celui de la Terre. Que les astronomes aient la prétention de connaître les poids des corps célestes, de dire combien il faudrait mettre de Terres dans l'un des plateaux d'une balance pour tenir en équilibre le Soleil, posé dans l'autre plateau, c'est ce qui paraîtra certainement paradoxal à beaucoup, et j'ajoute que la surprise manifestée, à cette occasion, par les personnes qui n'ont point étudié la mécanique céleste, est tout à fait naturelle. Annoncer que je tâcherai plus loin de

faire saisir la possibilité de conclusions en apparence si audacieuses, pourra même sembler entaché de présomption. Je me trouve donc obligé, en attendant mieux, d'invoquer un sentiment qui n'est guère de mise, quand il s'agit de science, la foi dans la vérité des assertions qui vont suivre. Cette foi-là, d'ailleurs, n'est pas de celles qui s'abritent sous l'impénétrabilité des mystères: en étudiant, elle devient lumière et vérité démontrée.

Comparée à la masse de la Terre, la masse du Soleil est environ 320 000 fois aussi grande, tandis que son volume, on l'a vu plus haut, est un million deux cent soixante-treize mille fois aussi gros. Cela indique une moindre densité. La matière que compose le Soleil ne pèse donc guère, à volume égal, que le quart de la matière dont notre propre globe est formé: en prenant pour unité la densité de la Terre, on trouve 0,25136 pour celle du Soleil. Rapportée à l'eau, la densité du Soleil est 1,367. La houille la plus compacte a pour densité 1,360; celle du phosphore est 1,77. Ainsi le Soleil pèse un peu plus qu'un globe de houille de mêmes dimensions, notablement moins qu'un globe de phosphore. Évalué en tonnes de mille kilogrammes, le poids du Soleil serait représenté par le nombre suivant:

1 879 000 000 000 000 000 000 000 000

Il rentre, on le voit, dans la catégorie de ces nombres dont l'effrayante grandeur ne dit plus rien à l'esprit, et laisse l'imagination elle-même impuissante.

A la surface de la Terre, un corps librement abandonné à lui-même tombe dans le vide avec une vitesse accélérée, qui, au bout d'une seconde, est de 9^m,8094. L'espace qu'il a parcouru jusque-là est moitié moindre, ou égal à 4^m,9047. C'est cette vitesse acquise qui sert de mesure à l'énergie de la pesanteur terrestre: elle dépend de la masse de la Terre, laquelle est invariable; elle dépend aussi de la distance du corps

ou du point de départ de la chute au centre de la Terre. Or, le même élément étant calculé d'après la masse supposée connue et les dimensions d'un corps céleste, on obtient un nombre qui marque quelle serait la vitesse acquise par un corps grave, après une seconde de chute à la surface de l'astre. A la surface du Soleil, cette vitesse acquise est 27 fois $\frac{1}{3}$ celle d'un corps tombant à la surface de notre planète, c'est-à-dire égale à 268^m,45. L'espace parcouru pendant la première seconde de chute est moitié de cette vitesse ou 134^m,225.

Ainsi les corps, à la surface du Soleil, pèsent plus de 27 fois autant qu'à la surface de la Terre. Cela veut dire que si l'on transportait sur le Soleil un poids de 1 kilogramme, qui sur la Terre tend le ressort d'un dynamomètre jusqu'à la division marquant 1 kilogramme, ce poids y tendrait le même ressort jusqu'à la division correspondant à 27^k,366. « Les projectiles de l'artillerie, dit M. Liais, n'y auraient donc que très-peu de portée. Ils décriraient des lignes présentant une grande courbure et toucheraient le sol à quelques mètres de la pièce. » Dès lors, il faudrait une charge de poudre beaucoup plus grande, pour obtenir une portée égale à celle des pièces d'artillerie terrestres.

Sur la Terre, la force centrifuge due à la rotation du globe diminue la pesanteur dans une proportion qui va en croissant à mesure qu'on s'approche de l'équateur. En un point de l'équateur même, la diminution totale est de $\frac{1}{289}$. A la surface du Soleil, la force centrifuge à l'équateur n'est guère que la 18 000^e partie de la gravité. Il faudrait que le Soleil tournât sur lui-même 133 fois plus vite, pour que la gravité y fût contre-balancée et que le poids d'un corps y fût nul. Un mouvement de rotation 17 fois plus rapide suffirait, sur la Terre, pour produire le même résultat

§ 2. — Le Soleil, source de chaleur, de lumière et d'activité chimique.
Comment s'entretiennent les radiations solaires.

Considéré comme source rayonnante, comme foyer de lumière et de chaleur, le Soleil est doué d'une énergie prodigieuse, qu'on est parvenu à évaluer approximativement, bien qu'elle dépasse tout ce que l'imagination la plus hardie eût osé concevoir.

D'après les expériences de Wollaston et de Bouguer, le pouvoir éclairant du Soleil équivaut à celui d'environ 70 000 bougies placées à un mètre de distance de l'objet éclairé. On suppose le Soleil au zénith, par un ciel bien pur, mais il ne s'agit là que de l'éclat de sa lumière à la surface du sol, et les couches atmosphériques en absorbent dans ce cas près des deux dixièmes. Comparée au pouvoir éclairant de la lumière d'un arc voltaïque produit par trois séries de 46 couples Bunsen, l'intensité de la lumière solaire est environ deux fois et demie aussi forte. Quant à l'éclat intrinsèque, il est au moins, d'après Arago, 33 000 fois celui d'une bougie : mais il ne s'agit là que d'une limite inférieure, et M. E. Becquerel a déduit des expériences de Bouguer et de Wollaston que l'éclat intrinsèque de la lumière solaire est environ 180 000 fois aussi intense que celui d'une bougie.

Huygens estimait la lumière du Soleil au moins égale à 765 millions de fois celle de Sirius. D'après Wollaston, elle est de beaucoup supérieure à ce nombre, et il l'évalue égale à 20 milliards de fois la lumière de la même étoile, qui est la plus brillante du ciel entier. Il résulte de là que, pour voir le Soleil se réduire à un point lumineux dont l'éclat serait égal à celui de Sirius, il faudrait que la Terre s'éloignât dans l'espace à une distance d'environ 140 000 fois sa distance actuelle à l'astre radieux. Inversement, si Sirius s'approchait de nous, de manière à prendre la place de notre Soleil, sa

lumière équivaldrait à celle de 94 soleils semblables au nôtre ! Enfin comparée à l'éclat de la pleine Lune, la lumière du Soleil est 800 000 fois plus éclatante que celle du disque lunaire (Wollaston). Cela revient à dire qu'il faudrait 800 000 pleines lunes dans le ciel pour produire un jour aussi éclatant que celui du Soleil sans nuages.

J. Herschel, Pouillet, et, après eux, divers physiciens ont mesuré l'intensité de la chaleur solaire à la surface du sol terrestre ; il résulte de leurs expériences et de leurs calculs¹ que la Terre reçoit en une année une quantité de chaleur qui surpasse douze cents quintillions de calories (une *calorie* est la chaleur nécessaire pour élever de 1° la température d'un kilogramme d'eau). Mais le Soleil ne rayonne pas seulement sur la Terre, et pour avoir l'intensité totale de sa radiation dans l'espace, il faut multiplier le nombre précédent par 2 150 000 000. On trouve alors, d'après Pouillet, que « si la quantité totale de chaleur émise par le Soleil était exclusivement employée à fondre une couche de glace qui serait appliquée sur le globe solaire et l'envelopperait de toutes parts, cette quantité de chaleur serait capable de fondre en une minute une couche de 11^m,80 d'épaisseur, en un jour une couche de 17 kilomètres. » Cette même quantité de chaleur, dit Tyndall, « ferait bouillir par heure 2900 milliards de kilomètres cubes d'eau à la température de la glace. Exprimée sous une autre forme, la chaleur émise par le Soleil en une heure est égale à celle qui serait engendrée par la combustion d'une couche de houille de 27 kilomètres d'épaisseur. »

John Herschel a encore fait la comparaison suivante, qui, sous une forme originale, montre quelle est l'activité de l'immense foyer dont la Terre absorbe une fraction au plus égale à $1/2\ 150\ 000\ 000$:

« Imaginons, dit-il, qu'une colonne cylindrique de glace

1. Voyez à ce sujet notre monographie du SOLEIL, pages 19 et suiv.

de 18 lieues de diamètre soit incessamment lancée dans le Soleil, et que l'eau fondue soit aussitôt enlevée. Pour que toute la chaleur solaire fût employée à la fusion de la glace, sans qu'aucun rayonnement extérieur se produisît, il faudrait lancer le cylindre congelé dans le Soleil avec la vitesse de la lumière. Ou si l'on veut, la chaleur du Soleil pourrait, sans diminuer d'intensité, fondre en une seconde de temps une colonne de glace de 4120 kilomètres carrés de base et de 310 000 kilomètres de hauteur ! »

Pour donner enfin une idée de cette prodigieuse activité calorifique, supposons qu'elle soit convertie en puissance mécanique, et évaluons la somme des forces qu'engendrerait, à la surface de la Terre seule, la fraction si minime de la chaleur solaire reçue par notre planète. Nous trouvons alors qu'en une année, chaque mètre carré de la surface de la Terre reçoit 2 318 157 calories : c'est plus de 23 millions de calories par hectare, c'est-à-dire 9 852 200 000 000 kilogrammètres. Ainsi la radiation calorifique du Soleil, en s'exerçant sur la superficie d'un de nos hectares, y développe sous mille formes diverses une puissance qui équivaut au travail continu de 4163 chevaux-vapeur. Sur la Terre entière, c'est un travail de 217 316 000 000 000 chevaux-vapeur.

543 milliards de machines d'une force effective de 400 chevaux, travaillant sans relâche le jour et la nuit, voilà donc ce que vaut, pour notre planète seule, la radiation calorifique du Soleil.

En analysant les radiations solaires, les physiciens ont démontré qu'on peut les ranger en trois classes, selon que les effets produits par elles sont calorifiques, lumineux ou chimiques. On vient de voir quelle est l'intensité des deux premières, il reste à dire quelle est la puissance des radiations chimiques. Deux chimistes contemporains, Bunsen et Roscoe, ont trouvé que cette puissance peut se mesurer par le volume d'un mélange de gaz hydrogène et de chlore que l'action des

rayons solaires pourrait transformer en gaz acide chlorhydrique. Voici à quel résultat ils sont parvenus :

En une année, la couche de gaz acide chlorhydrique que les radiations chimiques du Soleil auraient la puissance de combiner, sur toute la surface du globe terrestre, atteindrait une épaisseur de 4600 kilomètres. Convertie en chaleur, cette puissance donnerait plus de 4000 fois le nombre de calories provenant de la radiation calorifique du Soleil, et on a vu plus haut cependant quelle énorme quantité de chaleur le globe terrestre reçoit directement dans le cours d'une année.

En présence de ces résultats de l'expérience et du calcul qui témoignent, à un si haut degré, de la puissance de la radiation solaire, on devait se poser ces questions : Quelle est l'origine de la lumière et de la chaleur du Soleil? Comment s'entretient cette source qui, si l'on ne tenait compte que de la permanence de ses effets dans le cours des siècles historiques, semblerait inépuisable? Ne finira-t-elle point par s'affaiblir et s'épuiser un jour?

L'incandescence du Soleil ne peut être produite par une simple combustion, car les matières qui le composent sont de même nature, on le verra plus loin, que les substances terrestres; or il n'est pas douteux que leur énergie chimique ne pourrait suffire à entretenir l'incandescence solaire. « Si le Soleil était un bloc de houille, dit Tyndall, et qu'on lui fournît assez d'oxygène pour le rendre capable de brûler au degré de la radiation observée, il serait entièrement consumé en 5000 ans. » D'autre part, s'il ne répare point ses pertes, en lui supposant la chaleur spécifique de l'eau, le refroidissement de sa masse totale serait de plus d'un degré par année.

On a supposé que le frottement contre l'éther, provenant du mouvement de rotation, pouvait compenser la dépense de chaleur du Soleil; mais la force totale de la rotation solaire, fût-elle convertie en chaleur, ne pourrait suffire à plus de

deux siècles de la radiation. Une hypothèse plus hardie et plus vraisemblable est celle qu'avait émise un physicien anglais contemporain, W. Thomson : ce savant pensait que la radiation solaire était entretenue par une chute incessante, par une pluie continue de météorites à la surface du Soleil, le mouvement de chacun de ces corpuscules se transformant nécessairement en chaleur au moment de la chute. Mais il abandonna cette théorie parce qu'elle supposait, dans le voisinage du Soleil, l'existence d'un milieu assez résistant pour troubler les mouvements des comètes à leur passage au périhélie, hypothèse démentie par l'observation.

L'hypothèse aujourd'hui la plus probable est celle qui attribue l'origine et l'entretien actuel de la puissance rayonnante du Soleil à la transformation de la force de gravité en chaleur et lumière. A l'origine, le monde solaire tout entier¹ était une nébulosité immense dont les molécules se sont peu à peu réunies en un centre principal sous l'influence de la force de gravitation dont elles étaient douées. La conversion en chaleur de cette force, d'après les calculs d'Helmholtz et de Thomson, est suffisante pour rendre compte en totalité, pendant une longue série de siècles, de l'énorme radiation calorifique, lumineuse et chimique du Soleil. Mais il est possible, il est probable même que le Soleil se refroidit, que son approvisionnement peu à peu diminue, et que d'année en année, de siècle en siècle, sa radiation s'affaiblit, de sorte qu'on doit prévoir un temps où ses radiations seront éteintes, où la vie, qui ne pourrait subsister sans elles à la surface des planètes, aura disparu. Il ne paraît pas que le Soleil rayonne ainsi depuis plus de 500 millions d'années, et, d'après Helmholtz, il a dépensé déjà les $\frac{4}{5}$ de sa puissance en chaleur : mais n'eussions-nous encore devant nous qu'une période 500 fois moins longue, la perspective serait néanmoins rassurante pour

1. Voir, dans la troisième partie du CIEL, le chapitre intitulé : *Origine et formation du Monde solaire.*

bien des générations humaines, et la vie persisterait sur notre Terre pour une longue suite d'âges.

§ 3. — Analyse des radiations solaires. — Composition chimique du Soleil. Le Soleil a-t-il une atmosphère? — Les protubérances solaires des éclipses totales. — Couche continue d'hydrogène incandescent enveloppant la photosphère du Soleil.

Depuis quelques années, la science est en possession d'une méthode vraiment admirable, qui permet de reconnaître, à l'inspection d'une source lumineuse, la constitution chimique des corps dont l'incandescence produit la lumière observée : cette méthode, dont l'application à l'astronomie promet pour l'avenir une riche moisson de découvertes, est l'*analyse spectrale*, ainsi nommée parce qu'elle est basée sur l'étude des spectres qu'on obtient par la décomposition des diverses sources lumineuses à travers un prisme d'une substance réfringente. Tout le monde sait que la lumière blanche du Soleil, décomposée par le prisme, donne une bande colorée d'une multitude de nuances qui se succèdent du rouge au violet, en passant par les couleurs principales du jaune, du vert, du bleu, de l'indigo. On sait, en outre, depuis Fraunhofer, que ces nuances se trouvent interrompues par un nombre considérable de raies sombres ou noires, la plupart extrêmement fines, striant le spectre dans toute son étendue. C'est l'existence de ces stries qui a permis à un illustre physicien contemporain, M. Kirchhoff, d'analyser chimiquement la matière qui compose la partie lumineuse du globe du Soleil, la photosphère.

En étudiant les spectres des diverses sources lumineuses, on a trouvé qu'ils peuvent se ranger en trois ordres :

Les spectres du *premier ordre* consistent en bandes colorées qui ne sont interrompues par aucune raie sombre ou brillante, et ils proviennent de corps opaques, solides ou liquides à l'état d'incandescence. Un spectre de cet ordre n'in-

dique rien d'ailleurs sur la nature chimique de la source de lumière.

Les spectres du *second ordre* sont formés de raies brillantes, séparées par de larges intervalles obscurs, et indiquent que la matière composant la source lumineuse est à l'état de gaz. De plus, la position et les couleurs des raies brillantes suffisent pour reconnaître la nature chimique des substances incandescentes.

Enfin, les spectres du *troisième ordre* sont ceux dont la composition est analogue à celle du spectre solaire, c'est-à-dire formés d'une bande colorée striée de raies obscures. Ces raies accusent l'existence de vapeurs à travers lesquelles a passé la lumière, et

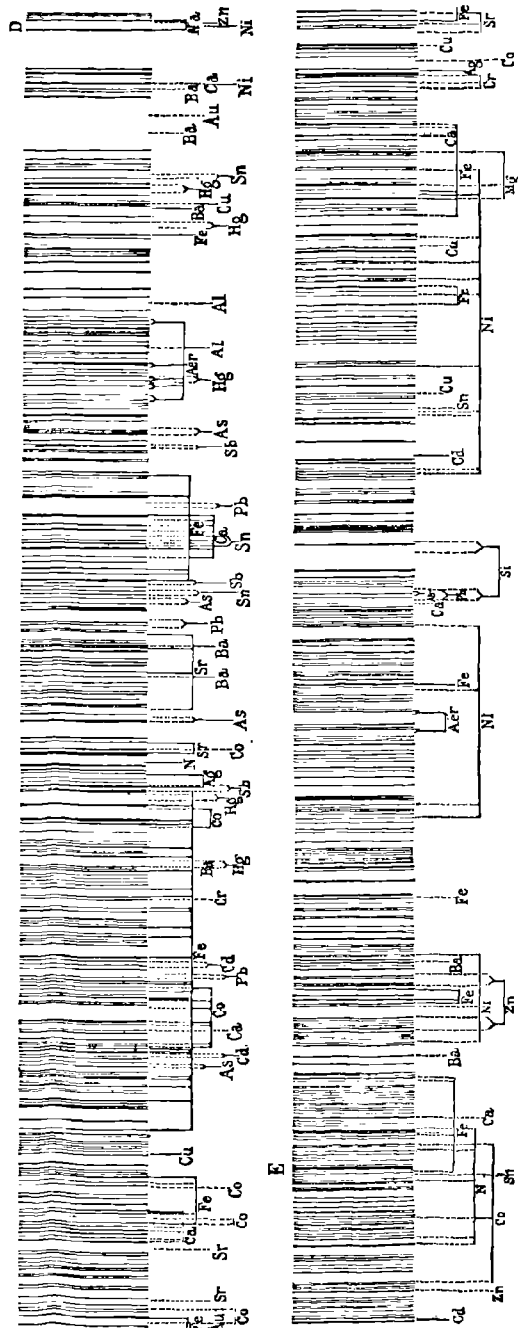


Fig. 22. — Fragment du spectre solaire; Fe, lignes du fer, etc.

Kirchhoff a montré que le groupe de raies sombres, dont l'existence est due à l'absorption d'une vapeur d'espèce chimique déterminée, correspond précisément, raie pour raie, au groupe de raies brillantes que produirait cette même vapeur devenue incandescente.

D'où cette conséquence : la lumière du Soleil provient de particules solides ou liquides à l'état d'incandescence. Si elle arrivait directement à l'œil sans passer par aucun milieu absorbant, elle donnerait lieu à un spectre continu du premier ordre. Les raies sombres dont le spectre solaire est sillonné prouvent donc que, entre la photosphère et l'œil, se trouve un milieu absorbant, en partie formé de vapeurs dont la constitution chimique doit nous être révélée par les groupes que forment ces raies elles-mêmes. Et, en effet, comparant ces raies aux raies brillantes des spectres du second ordre provenant de gaz incandescents dont la composition chimique est connue, il a démontré qu'il y avait coïncidence pour un certain nombre de groupes. D'où cette conséquence que le Soleil contient, à l'état de vapeur, au-dessus de sa photosphère lumineuse, les corps dont voici l'énumération : le fer, le sodium, le magnésium, le calcium, le chrome, le nickel, le manganèse, le baryum, le cuivre et le zinc (ces trois derniers dans une moindre proportion), enfin l'hydrogène.

N'est-ce pas chose vraiment merveilleuse de voir se révéler ainsi, par une analyse d'une délicatesse extrême, la composition chimique d'un corps situé à une telle distance, comme si des parcelles de sa substance étaient à la disposition des chimistes dans les cornues de leurs laboratoires.

De la belle découverte de Kirchhoff, dont nous verrons plus loin les applications à l'étude des autres corps célestes, planètes, comètes, étoiles et nébuleuses, découlent pour le Soleil même plusieurs importantes conséquences : la première, c'est que la lumière de la photosphère est due à l'incandescence de corps solides ou liquides ; la seconde, c'est

que la photosphère est enveloppée d'une atmosphère de vapeurs absorbantes; il reste à voir comment ces deux faits se concilient avec les phénomènes des taches solaires, des facules et des pores ou granulations de la surface du disque.

L'existence d'une atmosphère absorbante est confirmée, d'ailleurs, par la comparaison de l'intensité lumineuse du disque solaire vers le centre et vers les bords.

Il paraît certain, comme Bouguer l'a remarqué le premier, que la surface du disque n'est pas uniformément lumineuse; le centre a une lumière plus intense que les bords. D'après lui, le rapport des intensités est celui des nombres 48 et 35. Plus récemment, le P. Secchi a effectué un grand nombre de mesures comparatives à l'aide du photomètre à roue tournante, et il en a conclu que le centre a une lumière plus intense que les bords dans le rapport des nombres 4 ou 3 à 1 : encore s'agit-il de la lumière prise à 50 secondes du bord; au bord même, il évalue tout au plus ce rapport à $\frac{4}{20}$ ¹. Nous savons donc que cette atmosphère existe; l'analyse spectrale a montré quelles vapeurs métalliques elle renferme. Il reste à savoir si l'on peut avoir quelques données sur sa hauteur. Ceci nous amène à parler d'observations d'une haute importance, faites pendant les éclipses totales de Soleil. (Voyez le chapitre consacré aux éclipses, III^e Partie.)

On donne le nom de *protubérances*, de *nuages roses* ou de *flammes rouges* (red flames), à certaines apparences lumi-

1. J. Herschel, dans la 6^e édition de ses *Outlines of astronomy*, dit positivement : « Quand on voit tout le disque du Soleil à travers un télescope grossissant modérément, avec un verre obscur pour permettre d'examiner à l'aise, il devient évident que les bordures de son disque sont beaucoup moins lumineuses que le centre. On s'assure que ce n'est pas une illusion, en projetant l'image du Soleil modérément grossie et non obscurcie, de manière à occuper un cercle de 1 décimètre environ de diamètre, sur une feuille de papier blanc. » Cependant Arago, ayant comparé à l'aide de son polariscope la lumière du bord à celle du centre du Soleil, n'a pu constater une différence de $\frac{1}{40}$ entre leurs intensités respectives. D'où viennent de pareilles divergences entre les résultats obtenus par des observateurs également habiles et savants? C'est ce que nous ne saurions dire.

neuses qu'on a observées principalement dans les éclipses totales de 1842, de 1851, de 1860 et de 1868, quand le disque obscur de la Lune recouvre et masque entièrement le disque lumineux du Soleil. Tantôt, elles affectent la forme de pics, de montagnes; tantôt elles semblent des nuages entièrement détachés du disque et dès lors en suspension dans l'atmosphère du Soleil; d'autres fois, elles forment comme une

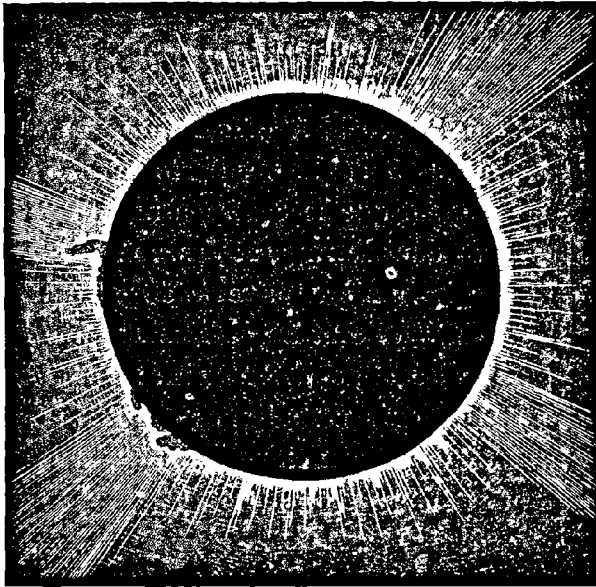
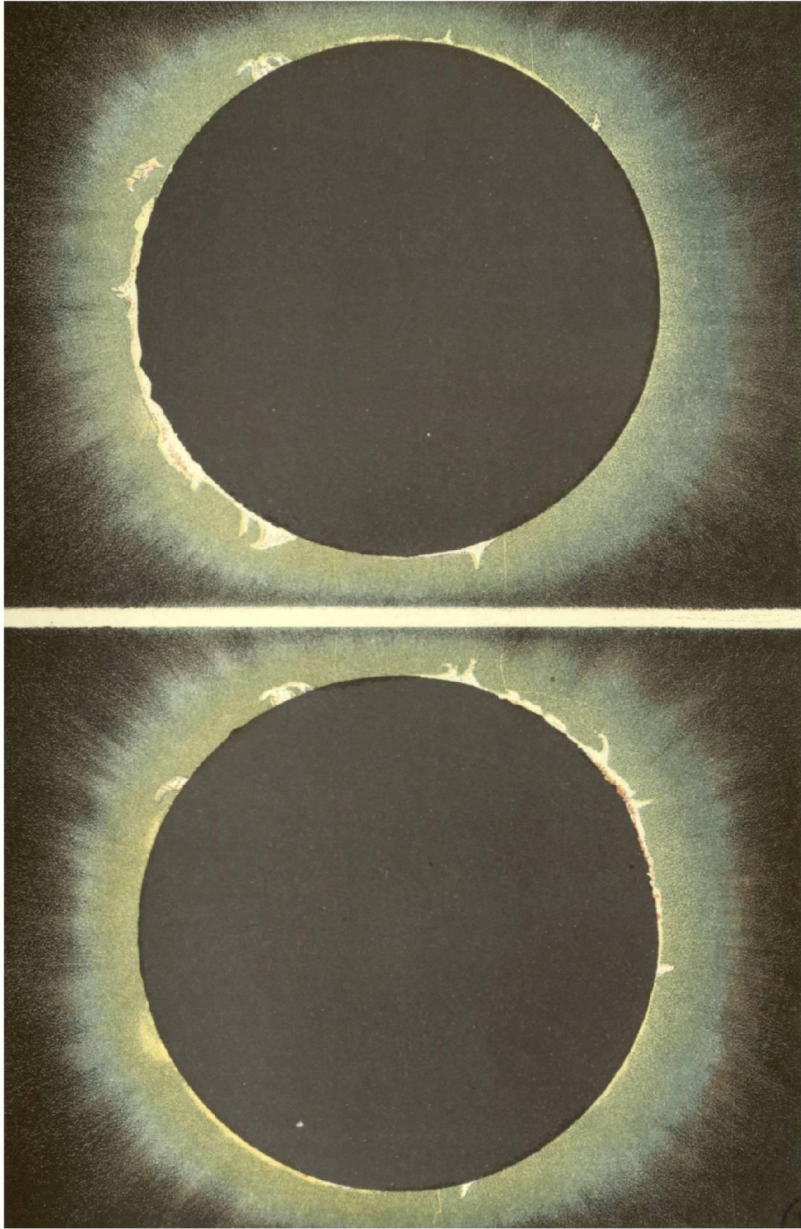


Fig. 23. — Protubérances gazeuses du Soleil observées pendant l'éclipse totale du 18 août 1868; commencement de la totalité.

couche continue de matières, que leur couleur, blanche, rougeâtre ou violacée, fait ressembler à des amas de nuages éclairés par le Soleil couchant. On peut voir l'aspect des protubérances, observées pendant les quatre éclipses citées plus haut, dans les planches IV et XL et dans les figures 23 et 24.

Les conjectures sur la nature physique de ces apparences singulières n'ont pas manqué; les uns les attribuaient à la Lune, les autres en faisaient des montagnes du Soleil, les



PROTUBÉRANCES GAZEUSES DU SOLEIL

ues pendant l'éclipse totale du 18 Juillet 1860
d'après les dessins de Warren de la Rue.

E. Guillemin del.

Imp. Boquet à Paris.

autres des nuages de son atmosphère. Mais dès 1860, grâce aux photographies et aux dessins de plusieurs astronomes et notamment de M. Warren de la Rue, il fut établi que les protubérances appartiennent au Soleil et non à notre satellite. Il restait à en déterminer la véritable nature. C'est ce problème que l'éclipse totale du 18 août 1868 a permis de résoudre, en

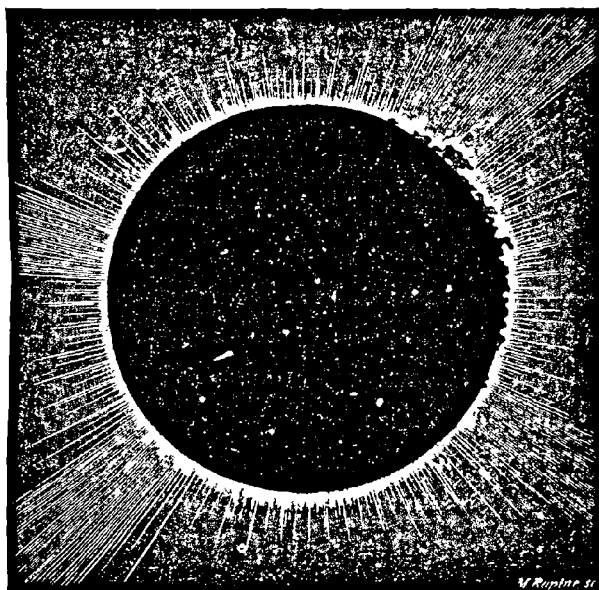


Fig. 24. — Protubérances gazeuses du Soleil observées pendant l'éclipse totale du 18 août 1868 ; fin de la totalité.

éclairant d'un nouveau jour toutes les questions relatives à la constitution physique du Soleil. En étudiant à l'aide de l'analyse spectrale la lumière émise par les protubérances, on a reconnu qu'elles sont de nature gazeuse, et principalement formées de gaz hydrogène incandescent. Ajoutons que deux astronomes¹ ont découvert presque simultanément une méthode par laquelle on peut étudier les protubérances même

1. M. Janssen, qui a appliqué sa méthode le lendemain même de l'éclipse, à Guntoor (Inde anglaise); et M. N. Lockyer, qui, ayant depuis deux ans

en dehors des éclipses. A peine ces méthodes ingénieuses étaient-elles mises en pratique, qu'on acquérait la certitude que la photosphère lumineuse du Soleil est partout recouverte d'une couche de matière semblable à celle des protubérances, couche dont l'épaisseur serait, d'après M. Lockyer, d'environ 8000 kilomètres. Les protubérances paraissent être des fragments de cette couche gazeuse soulevés ou même détachés de la masse par une cause encore inconnue, la même peut-être qui donne naissance aux facules et aux taches.

§ 4. — Qu'est-ce que le Soleil? — Le noyau sous-jacent à la photosphère est-il solide, liquide ou gazeux? — Que sont les taches solaires? Résumé des hypothèses proposées pour expliquer le phénomène des taches. — Si le Soleil peut être habité.

On peut voir par ce qui précède jusqu'à quel point on est parvenu à la solution de cette question jadis si obscure, et d'un si haut intérêt pour l'astronomie :

Qu'est-ce que le Soleil?

Non-seulement on peut dire aujourd'hui quelles sont les dimensions et la distance de l'étoile qui occupe le foyer des orbites de toutes les planètes et de tous les autres corps célestes du monde solaire, quelle est sa masse, quelle est la densité de la matière dont il est formé, quelle est sa dépense annuelle de chaleur, de lumière et d'activité chimique; on connaît en outre, en partie du moins, la nature chimique des substances qui le composent, on sait que ces substances sont pareilles à celles dont le globe terrestre est lui-même formé. Sans doute, il en est dans sa masse qui diffèrent des corps simples connus, et dont des observations ultérieures nous démontreront l'existence.

Néanmoins, un assez grand nombre de questions restent

l'idée de ce genre d'observation, parvint à le réaliser à Londres, en apprenant par une note due à M. G. Rayet, l'un des observateurs de l'éclipse, quelles étaient les raies brillantes du spectre des protubérances.

encore obscures, et parmi elles, nous nous bornerons à mentionner la plus importante de toutes, celle qui a pour objet l'explication du phénomène des taches solaires. A cette question se rattache intimement cette autre : Quel est l'état physique du noyau du Soleil, c'est-à-dire de la masse que recouvre la photosphère ; ce noyau est-il solide, liquide ou gazeux ? Comment, dans l'une ou l'autre de ces hypothèses, peut-on rendre compte de la formation, du mouvement et des apparences qu'offrent les taches sombres, leurs pénombres, les facules qui les accompagnent, les pores dont la photosphère est partout criblée ?

Résumons rapidement les deux ou trois théories principales imaginées dans le but de répondre à toutes ces questions, en faisant remarquer toutefois que la première de ces théories n'a plus guère, après les récentes découvertes signalées plus haut, qu'une importance historique.

Cette théorie, ébauchée dès 1774 par Alexandre Wilson, a été développée et modifiée par Bode, Michell, Schrœter, complétée par W. Herschel, enfin en partie vérifiée par d'importantes expériences dues à François Arago. Voici en quoi elle consiste :

« Le Soleil se compose d'un globe sphérique obscur, ou du moins non lumineux par lui-même, entouré, à diverses distances, de trois atmosphères ou enveloppes gazeuses, entièrement distinctes. La première atmosphère, c'est-à-dire la plus voisine du noyau central, est formée d'une couche nuageuse opaque et réfléchissante, mais ne donnant d'autre lumière que la lumière qu'elle reçoit elle-même.

« A cette enveloppe en succède une autre, soit contiguë à la première, soit séparée de celle-ci par un certain intervalle. Cette seconde atmosphère est lumineuse par elle-même, étant formée d'un gaz à l'état permanent d'incandescence : c'est la *photosphère* qui donne les limites visibles, le contour arrêté du disque du Soleil. Enfin une troisième atmosphère, éclairée

par la photosphère, mais diaphane, enveloppe tout le système, et se compose de couches dont les densités vont en décroissant, à mesure qu'elles sont plus éloignées du corps central. »

A l'aide de ces trois enveloppes, on rendait compte des phénomènes des taches et de leurs apparences. On supposait que des déflagrations, des éruptions violentes, déchirant suc-

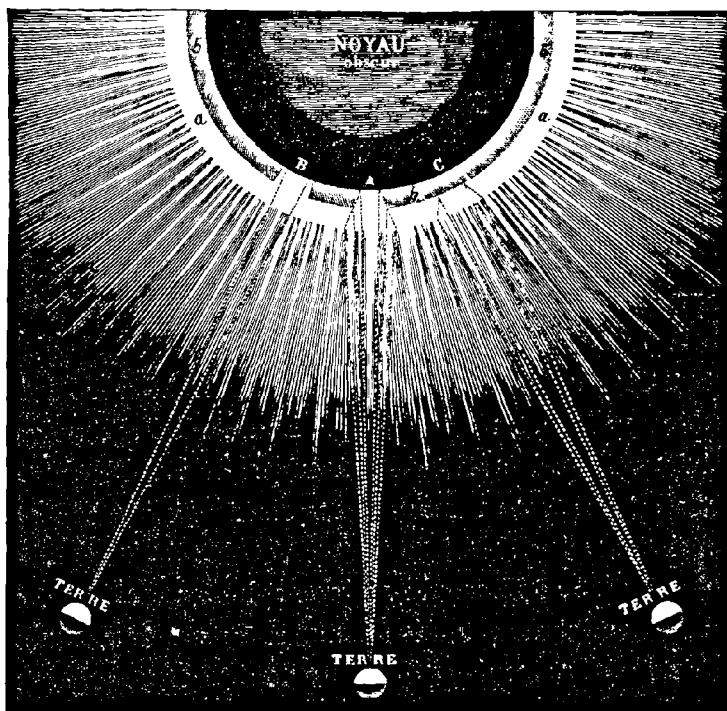


Fig. 25. — Explication des taches du Soleil, dans l'hypothèse de Wilson : *aa*, photosphère; *bbb*, atmosphère intérieure; A, tache avec noyau et pénombre; B, noyau sans pénombre; C, pénombre sans noyau.

cessivement chacune de ces atmosphères, laissaient voir, au fond du gouffre ainsi produit, d'abord le noyau obscur du Soleil — c'était la partie la plus noire des taches, — puis, sur les côtés ou talus de l'excavation, la seconde enveloppe nuageuse ou grisâtre — c'était la pénombre. — Enfin l'accumulation des masses photosphériques refoulées expliquait les facules

par la condensation de lumière qui en était la conséquence. La figure 25 suffira à donner une idée de la façon dont les partisans de cette hypothèse expliquaient les diverses circonstances offertes par les taches, selon qu'elles offraient une pénombre ou seulement l'un de ces deux éléments des taches solaires. Quant à la troisième atmosphère diaphane, enveloppant la photosphère, c'est dans son sein que flottaient les nuages ou protubérances enveloppées par les éclipses totales.

Ce qui est aujourd'hui tout à fait inadmissible dans cette théorie, c'est que la portion la plus volumineuse du globe solaire puisse rester relativement solide, froide et obscure. On ne comprend pas, en effet, que la très-haute température de la photosphère n'ait pas fini par se communiquer tout au moins par voie de conductibilité, aux couches internes; et d'ailleurs une enveloppe aussi mince peut-elle rendre compte de l'émission si prodigieuse de chaleur du Soleil pendant des milliers de siècles? Reste l'hypothèse que les taches du Soleil sont des cavités, des trouées produites dans la photosphère par des courants ascendants ou des éruptions; mais alors la photosphère même ne peut être ni solide ni liquide, comme l'admet M. Kirchhoff. Voyons maintenant quelle est la théorie proposée par ce savant physicien.

« La constitution chimique est, selon lui, beaucoup plus simple que ne suppose la théorie de Wilson. Le noyau entier du Soleil, celui qui limite la photosphère, est une masse incandescente, solide ou liquide, et dont la lumière donnerait un spectre continu, sans l'atmosphère chargée de vapeurs dont il est entouré (V. fig. 28). C'est cette atmosphère qui absorbe les rayons de lumière correspondant aux spectres de diverses vapeurs en suspension; telle est l'origine des raies sombres du spectre solaire. Quant aux taches, ce sont des nuages, des agglomérations de vapeurs très-denses à l'état vésiculaire, qui, interceptant les rayons lumineux de la photosphère, nous apparaissent comme des taches noires ou grisâtres sur le disque. »

Voilà donc, pour la constitution physique du Soleil, deux théories aussi opposées que possible, puisque pour la première la photosphère est un gaz à l'état d'incandescence, et pour la seconde, c'est une masse solide ou liquide également incandescente. Pour celle-là, les taches sont des cavités dans la photosphère; pour celle-ci, ce sont des nuages et dès lors des éminences au-dessus de la surface lumineuse. Laquelle de ces deux hypothèses est vraie? Ne sont-elles pas fausses l'une et l'autre ou tout au moins incomplètes? C'est à cette dernière conclusion que s'est arrêté M. Faye, qui, cherchant à déterminer la part de vérité qui revient à chacune des deux théories, a proposé la suivante.

Suivant lui, la masse entière du Soleil est à l'état gazeux; mais elle se divise en couches concentriques, bien différentes quant à leur température, et quant à leur pouvoir émissif, soit calorifique, soit lumineux. Les couches internes possèdent une température excessive, telle que toutes les molécules de leur masse sont dans un état de dissociation complète : les actions chimiques ne peuvent s'y exercer. Dans les couches extérieures, au contraire, sous l'influence d'un refroidissement continu, le jeu des forces moléculaires et atomiques donne naissance à des précipitations, à des nuages de particules non gazeuses susceptibles d'incandescence et dont l'ensemble forme incessamment la photosphère. Ces particules, sollicitées par la pesanteur, tombent au sein des couches inférieures et sont remplacées par des masses gazeuses ascendantes. De là, par des courants verticaux, un continuel échange entre la surface du Soleil et sa masse interne.

Quant aux taches, ce sont bien des cavités, des trouées à travers une enveloppe gazeuse incandescente, et voici comment M. Faye en explique la formation :

« La formation de la photosphère, dit-il, va nous permettre de rendre compte des taches et de leurs mouvements. Nous avons vu que les couches successives étaient constam-

ment parcourues par des courants verticaux ascendants et descendants. Dans cette agitation incessante, on comprendra aisément que là où les courants ascendants prendront plus d'intensité, la matière lumineuse de la photosphère soit momentanément dissipée. A travers cette sorte d'éclaircie, ce n'est pas le noyau solide, froid et noir du Soleil que l'on apercevra, mais la masse gazeuse ambiante et interne, dont le pouvoir émissif, à la température de la plus vive incandescence, est tellement faible, par rapport à celui des nuages lumineux de particules non gazeuses, que la différence de ces pouvoirs suffit à expliquer le contraste si frappant des deux teintes observées avec nos verres obscurcissants. »

Des observateurs d'un grand mérite, MM. Chacornac, Secchi, Stewart, ont reconnu que les facules avaient une tendance générale à rester en arrière des taches, à gauche dans le sens du mouvement de rotation : c'est, suivant M. Faye, une conséquence naturelle du retard apporté au mouvement de ces nuages lumineux par une ascension supérieure à la limite terminale de la photosphère¹. Ainsi s'explique aussi la variation de la vitesse du mouvement de rotation des taches, selon la latitude, variation mise en lumière par M. Carrington et par M. Spøerer. C'est un phénomène analogue à celui qui donne lieu sur la Terre aux courants réguliers équatoriaux, aux vents alizés.

Avant de terminer, indiquons rapidement les raisons qui avaient engagé les auteurs de la première théorie à considérer les taches comme des trouées de la photosphère, et qui semblent avoir conservé aujourd'hui toute leur force.

1. « Par cela seul, dit-il, que les facules s'élèvent plus haut dans le milieu général, leur mouvement doit être un peu en retard sur la zone correspondante de la photosphère ; de là, une tendance à se placer tout d'abord en arrière des taches, c'est-à-dire à gauche, puis à se déverser dans ces taches, lorsque l'impulsion du courant local a cessé et laisse les taches elles-mêmes disparaître sous l'envahissement rapide des nuages incandescents. » (*Comptes rendus de l'Académie des sciences, 1865.*)

Quand une tache se meut du bord au centre du Soleil, par l'effet du mouvement de rotation, elle subit une déformation progressive purement optique, qui la fait passer de la forme d'un filet allongé à celle d'un ovale de plus en plus large, jusqu'à ce qu'elle se montre au centre même sous sa véritable forme. Dans la seconde moitié de son mouvement du centre au bord, elle passe de nouveau, mais en sens inverse, par les mêmes apparences. C'est un effet de perspective qui s'explique tout naturellement par la forme sphérique du Soleil. Or, si la tache est une cavité de forme conique, évasée du fond à la surface, et dont les talus sont représentés par la pénombre, comment celle-ci doit-elle varier de forme pendant le mouvement de la tache? Évidemment, c'est la portion de pénombre voisine du bord qui paraîtra la première; le noyau ou fond de la tache se montrera ensuite, et enfin la pénombre du côté du centre. Dans la seconde moitié du mouvement, c'est la portion de pénombre voisine du centre qui diminuera, puis disparaîtra la première, tandis que, du côté du bord, la pénombre ira en s'élargissant, jusqu'à ce que le noyau noir de la tache disparaisse à son tour, masqué par le bord de la photosphère. Les figures 26 et 27 expliquent parfaitement ces apparences. Or, il paraît que telles sont en effet, pour la majorité des taches, les déformations observées. D'après les observations récentes de MM. W. de la Rue, B. Stewart et Lœwy, 86 taches sur 100 ont offert cette excentricité de la pénombre qui a suggéré à Wilson son hypothèse. Mais il ne faut pas oublier que si l'on est toujours fondé à croire que les taches sont des trouées de la surface photosphérique, on ne croit plus à la possibilité du noyau obscur et froid du Soleil, pas plus qu'à l'existence d'une atmosphère intérieure de nuages grisâtres.

M. Kirchhoff, pour qui, on l'a vu plus haut, les taches solaires sont des nuages, explique la variation de forme de la pénombre de la manière suivante. D'après lui, le nuage, une fois

formé, devient un écran pour les régions supérieures ; de là un refroidissement dans ces régions, et la formation nouvelle d'une couche nuageuse plus légère, moins opaque et qui, dé-

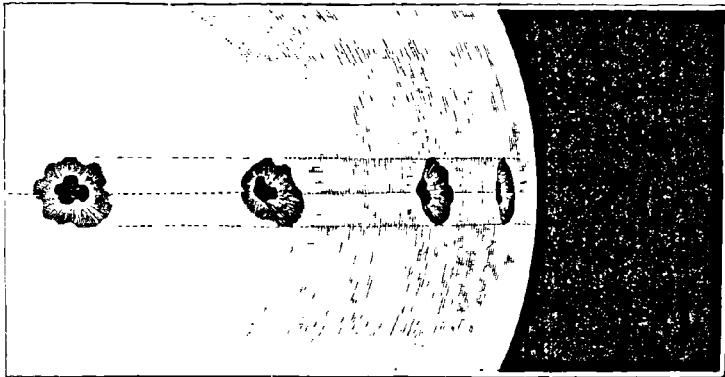


Fig. 26. — Changement apparent dans la forme d'une tache solaire, du bord au centre du Soleil.

bordant le nuage plus dense, aura l'apparence des pénombres qui environnent les taches. Vue au centre ou de face, la tache semblera occuper le milieu de la pénombre ; mais en s'éloignant

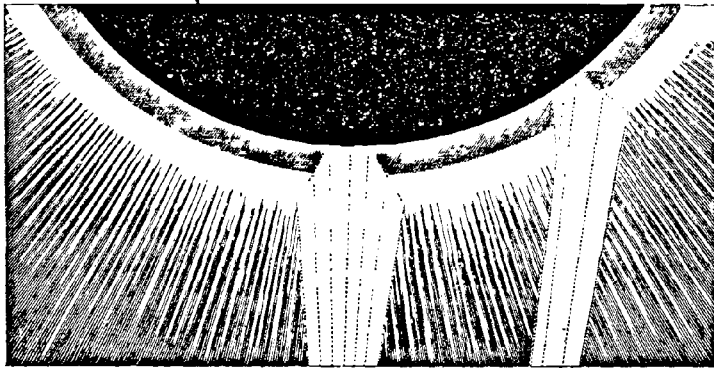


Fig. 27. — Explication des changements de forme du noyau et de la pénombre, dans l'hypothèse de Wilson.

vers le bord, la partie du nuage supérieur située du côté du centre se projettera sur le noyau sombre et se confondra avec lui, tandis que la portion du même nuage située du côté

du bord s'élargira (fig. 28), en laissant voir, dans toute son épaisseur, la couche nuageuse qui domine la nuée noire inférieure¹.

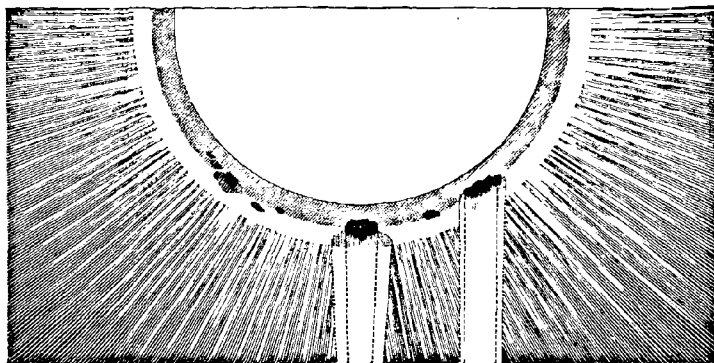


Fig. 28. — Nature des taches; explication d'après la théorie de Kirchhoff.

On n'a pas manqué d'agiter la question de savoir si le Soleil est habité. Dans l'état actuel des connaissances, telles que nous venons de les résumer, la réponse ne saurait être douteuse : évidemment une masse incandescente, dont la température atteint sans doute quelques milliers de degrés, une masse à la surface de laquelle tous les métaux se réduisent à l'état de vapeur, est incompatible avec l'existence d'êtres organisés, d'êtres vivants. L'hypothèse du Soleil habité, ou même

1. Faut il ajouter que la théorie de Kirchhoff laisse sans explication des faits importants. Elle ne rend compte ni de l'existence des facules ni de celle des pores. On ne voit pas non plus pourquoi il ne se forme pas de nuages dans les régions polaires, pourquoi, lorsqu'une tache disparaît, la pénombre subsiste encore après la disparition du noyau. Elle n'explique pas la différence qui existe entre les taches sans pénombre, et les pénombres dépourvues de noyau. En outre, un fait général d'observation, qui paraît inexplicable, si les taches sont des nuages en suspension dans l'atmosphère solaire, c'est que les taches disparaissent toujours un peu avant d'avoir atteint le bord de l'astre.

Enfin, point essentiel, si le noyau lumineux du Soleil est solide ou liquide, comment se fait-il que les bords n'aient donné, à Arago, dans la lunette polariscope, aucun indice de polarisation de la lumière, ce qui devrait arriver cependant, si la photosphère était une masse continue d'un solide ou d'un liquide incandescent ?

habitable, est un roman qu'il faut laisser aux imaginations amoureuses de l'impossible, mais que ne supporte plus aujourd'hui la sévérité de la science. En admettant un noyau froid, obscur, on pouvait s'exprimer comme le fit Arago, il y a vingt ans, et dire : « Si l'on me posait simplement cette question : Le Soleil est-il habité? je répondrais que je n'en sais rien. Mais, qu'on me demande si le Soleil peut être habité par des êtres organisés d'une manière analogue à ceux qui peuplent notre globe, et je n'hésiterai pas à faire une réponse affirmative. » Mais depuis la mort de l'illustre secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, l'étude de la constitution du Soleil a fait des progrès tels, qu'il n'hésiterait plus aujourd'hui, nous le croyons du moins, à réformer son opinion. Cela n'ôte rien d'ailleurs à l'importance du Soleil, et si l'astre immense ne porte point lui-même la vie dans son sein, n'oublions pas que, par ses radiations puissantes, il est le grand générateur de la vie et du mouvement dans tous les astres du monde solaire.

Le Soleil agit sur la Terre par sa masse, soit qu'il la maintienne dans son orbite à des distances dont la variabilité est réglée par des lois inflexibles, soit qu'il combine son action avec celle de la Lune pour produire le mouvement oscillatoire semidiurne des eaux de l'Océan, les marées. La chaleur des rayons solaires est la cause principale des perturbations d'équilibre des couches atmosphériques. C'est elle qui donne naissance aux vents, aux courants aériens et pélagiques, à la vaporisation de l'eau des fleuves, des lacs, de la mer, et qui produit ainsi une circulation continue des fluides à la surface de la planète. Cette action se trouve être ainsi le principe des modifications séculaires des couches géologiques, par la dégradation lente mais continue des roches, et par les transports de matières dus aux courants. C'est la chaleur et la lumière de l'astre central qui distribuent partout la vie aux êtres du monde végétal et du monde animal. « Tantôt, dit Humboldt

(*Cosmos*, III, 428), son action se manifeste tranquillement et en silence par des affinités chimiques, et détermine les divers phénomènes de la vie, chez les végétaux, dans l'endosmose des parois cellulaires, chez les animaux, dans le tissu des fibres musculaires ou nerveuses; tantôt elle fait éclater dans l'atmosphère le tonnerre, les trombes d'eau, les ouragans.... Les ondes lumineuses n'agissent pas seulement sur le monde des corps, et ne se bornent pas à décomposer et à recomposer les substances; elles n'ont pas pour unique effet d'attirer hors du sein de la terre les germes délicats des plantes, de développer dans les feuilles la matière verte ou chlorophylle, de teindre les fleurs odorantes, ou de répéter mille et mille fois l'image du Soleil, au milieu du choc gracieux des vagues et sur les tiges légères de la prairie, courbées par le souffle du vent. La lumière du ciel, suivant les différents degrés de sa durée et de son éclat, est aussi en relation mystérieuse avec l'homme intérieur, avec l'excitation plus ou moins vive de ses facultés, avec la disposition gaie ou mélancolique de son humeur. C'est ce que Pline l'Ancien a exprimé par ces paroles : « Cœli tristitiam discutit sol, et humani nubila animi serenat¹. »

1. Le Soleil chasse la tristesse du ciel, et dissipe les nuages qui obscurcissent le cœur humain.

LIVRE DEUXIÈME.

LES PLANÈTES.

Autour du Soleil, de cet immense foyer de chaleur et de lumière, circulent à des distances bien différentes, et en des périodes de temps tout aussi diverses, une multitude d'astres secondaires, dont notre Terre fait partie. Nous en avons fait plus haut l'énumération. Tantôt isolés, tantôt réunis par groupes qui semblent reproduire en miniature le système solaire lui-même, ces corps forment autant de mondes distincts dont les dimensions et les distances, les mouvements, la forme, la structure et la constitution physique méritent une étude, un examen particuliers.

C'est cette étude qui va nous occuper maintenant.

Les nombreux phénomènes dont ces mondes sont le théâtre et que l'observation a recueillis, en se déroulant devant nos yeux, non-seulement nous feront connaître le mécanisme du système tout entier, mais nous permettront encore de pénétrer, autant que possible, dans les détails de l'organisation propre à chacun de ces corps.

Nous mettrons l'œil aux plus puissants télescopes, et les formes des planètes, les accidents, les taches visibles à la surface de leurs disques, nous apprendront qu'elles tournent sur elles-mêmes et nous diront quelle est la durée du jour et de la

nuit à leur surface. La forme et les dimensions des orbites, les durées des révolutions nous donneront des renseignements précis sur le temps que dure l'année de chaque planète, sur les alternatives des saisons, leurs retours périodiques et leurs durées inégales. Les variations mêmes de climat nous seront en partie révélées par le degré d'inclinaison de l'axe de rotation sur le plan dans lequel l'astre se meut autour du Soleil.

La présence de satellites circulant périodiquement autour de plusieurs des planètes principales n'offrira pas un moindre intérêt par les phénomènes variés que ces corps secondaires produisent nécessairement à la surface de l'astre qu'ils accompagnent : ce sont tantôt les illuminations partielles des nuits de la planète, dues à la réflexion des faces lumineuses des satellites, tantôt les éclipses plus ou moins fréquentes, conséquences forcées de l'interposition d'un corps opaque entre le corps éclairé et la source de lumière; tantôt enfin les phénomènes des marées que détermine l'action des masses des satellites sur les couches fluides existant à la surface de la planète.

Nous rencontrerons la Terre dans notre pérégrination à travers le monde solaire. L'étude des phénomènes astronomiques qui la concernent, elle et son satellite la Lune, l'exploration détaillée de ce satellite si voisin de nous, ne seront pas d'un faible secours pour arriver à nous faire comprendre les analogies et les différences que les phénomènes de même nature présentent d'une planète à l'autre.

En partant du Soleil, nous allons donc visiter successivement tous les corps qui circulent autour de lui, en suivant, comme il semble plus naturel, l'ordre des distances. Mais, avant de nous mettre en route pour ce long voyage, avant d'étudier les phénomènes variés qui distinguent les planètes les unes des autres, il importe de nous faire une idée bien nette, bien précise des caractères communs qui en font des astres de même ordre, et notamment des deux mouvements

principaux auxquels ils sont soumis, l'un de translation périodique autour du Soleil, l'autre de rotation de chaque globe autour d'un axe passant par son centre.

Nous savons tous que la Terre est un globe à peu près sphérique tournant autour d'un de ses diamètres, avec une vitesse uniforme qui lui fait faire, d'Occident en Orient, un tour entier en un peu moins d'un jour de vingt-quatre heures. C'est le mouvement apparent et de sens contraire de la voûte étoilée, le lever et le coucher du Soleil, de la Lune et des étoiles, qui rend sensible le mouvement réel de rotation de la Terre. L'étude des taches solaires nous a déjà démontré que le Soleil, dont la forme est aussi celle d'une sphère, est doué d'un semblable mouvement de rotation autour d'un axe de direction invariable.

A la vue simple, les autres corps du système planétaire nous apparaissent comme des points lumineux, comme des étoiles plus ou moins brillantes ; mais, au télescope, les principaux d'entre eux se montrent sous la forme de disques à peu près circulaires, et en les étudiant attentivement, on a reconnu à leur surface des taches mobiles qui accusent à la fois la forme sphéroïdale de chacun d'eux et le mouvement de rotation dont ils sont animés. Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne sont tous dans ce cas. Quant aux autres planètes, les unes, comme Uranus et Neptune, sont trop éloignées ; les autres, comme les petites planètes, ont des dimensions trop faibles pour que l'observation ait pu jusqu'ici constater leurs mouvements de rotation d'une façon positive ; mais il ne paraît pas douteux, et les lois de la mécanique permettent de regarder comme certain qu'il y a complète analogie, sous ce rapport, entre toutes les planètes. Cette analogie s'étend aux satellites : la Lune tourne sur elle-même, l'observation en fait foi ; on a constaté un mouvement semblable dans les satellites de Jupiter, et tout fait présumer qu'il en est de même des satellites des autres planètes.

Les axes de rotation du Soleil, des planètes et de leurs satellites ont dans l'espace des directions différentes pour les divers corps célestes, mais ces directions sont, à peu de chose près, invariables pour chacun d'eux.

Passons maintenant aux mouvements de translation.

Chaque planète se meut autour du Soleil, de telle sorte que son centre décrit autour de lui dans l'espace une courbe fermée de forme elliptique ou ovale, le centre du Soleil se trouvant situé, non pas au centre de la courbe, mais en un point de son plan qui est l'un des deux foyers de l'ellipse décrite : le centre du Soleil est donc le foyer commun de toutes les orbites planétaires. Les temps ou périodes des révolutions des planètes autour du Soleil ont des durées constantes ; mais ces périodes varient d'une planète à l'autre, selon que leurs distances au Soleil sont plus ou moins grandes, d'après une loi commune découverte par Képler, et que nous étudierons dans la Troisième partie de cet ouvrage. Les satellites se meuvent autour de leurs planètes principales, de la même manière que celles-ci autour du Soleil.

Ce que nous devons retenir en ce moment, c'est le sens des mouvements de translation de tous les corps du système, c'est le sens des mouvements de rotation de chacun d'eux.

Le mouvement de rotation de la Terre a lieu d'Occident en Orient. Quel est le sens de son mouvement annuel de révolution autour du Soleil ? Le voici :

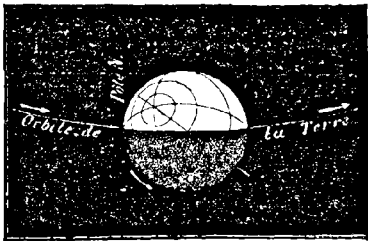


Fig. 29. — Sens des mouvements de rotation et de translation des planètes.

L'axe de rotation ou la ligne des pôles de la Terre n'est pas perpendiculaire sur le plan de son orbite, mais incliné de 66° environ sur ce plan. Néanmoins l'un des pôles étant d'un côté du plan, l'autre est nécessairement de l'autre côté, puisque c'est le centre du

globe terrestre qui décrit l'orbite. Pour préciser, supposons un observateur posté au centre même de la Terre, les pieds sur le plan de l'orbite, et la tête du côté du pôle nord terrestre, ou ce qui revient au même, du pôle nord du ciel. Dans cette position, il verra tous les points de la Terre tourner de *droite à gauche*, dans le sens marqué par la flèche de la figure 29. Ainsi, pour lui, *rotation de droite à gauche*, ou bien *rotation d'Occident en Orient*, sont des expressions synonymes.

Le plan de l'orbite terrestre passe par le centre du Soleil. Supposons que notre observateur s'y transporte, mais sans cesser d'avoir les pieds sur le plan et la tête dans l'hémisphère nord du ciel. Là encore, il verra le Soleil tourner sur lui-même de sa *droite à sa gauche*, c'est-à-dire d'*Occident en Orient*. Or, tel est encore précisément, pour les autres corps du système, le sens de leurs mouvements de rotation.

Eh bien, la même loi s'applique à tous les mouvements de circulation, soit des planètes autour du Soleil, soit des satellites autour des planètes¹. Reportons-nous à la figure 29. La ligne courbe qui représente un arc de l'orbite de la Terre est parcourue par notre planète dans le sens des flèches qui l'accompagnent, c'est-à-dire de *droite à gauche* ou d'*Occident en Orient* pour l'observateur qui est au centre du mouvement ou du Soleil, les pieds sur le plan de l'orbite et la tête dans l'hémisphère nord du ciel.

Rien de plus simple, on le voit, rien de plus aisé à se représenter que les deux genres de mouvement des corps du monde planétaire, que la loi générale qui en régit le sens. La planche V, qui figure le système planétaire dans son ensemble, avec les positions relatives des principales planètes sur leurs orbites, aidera à l'intelligence des mouvements que nous venons de décrire².

1. On verra plus tard qu'il y a exception pour les satellites d'Uranus.

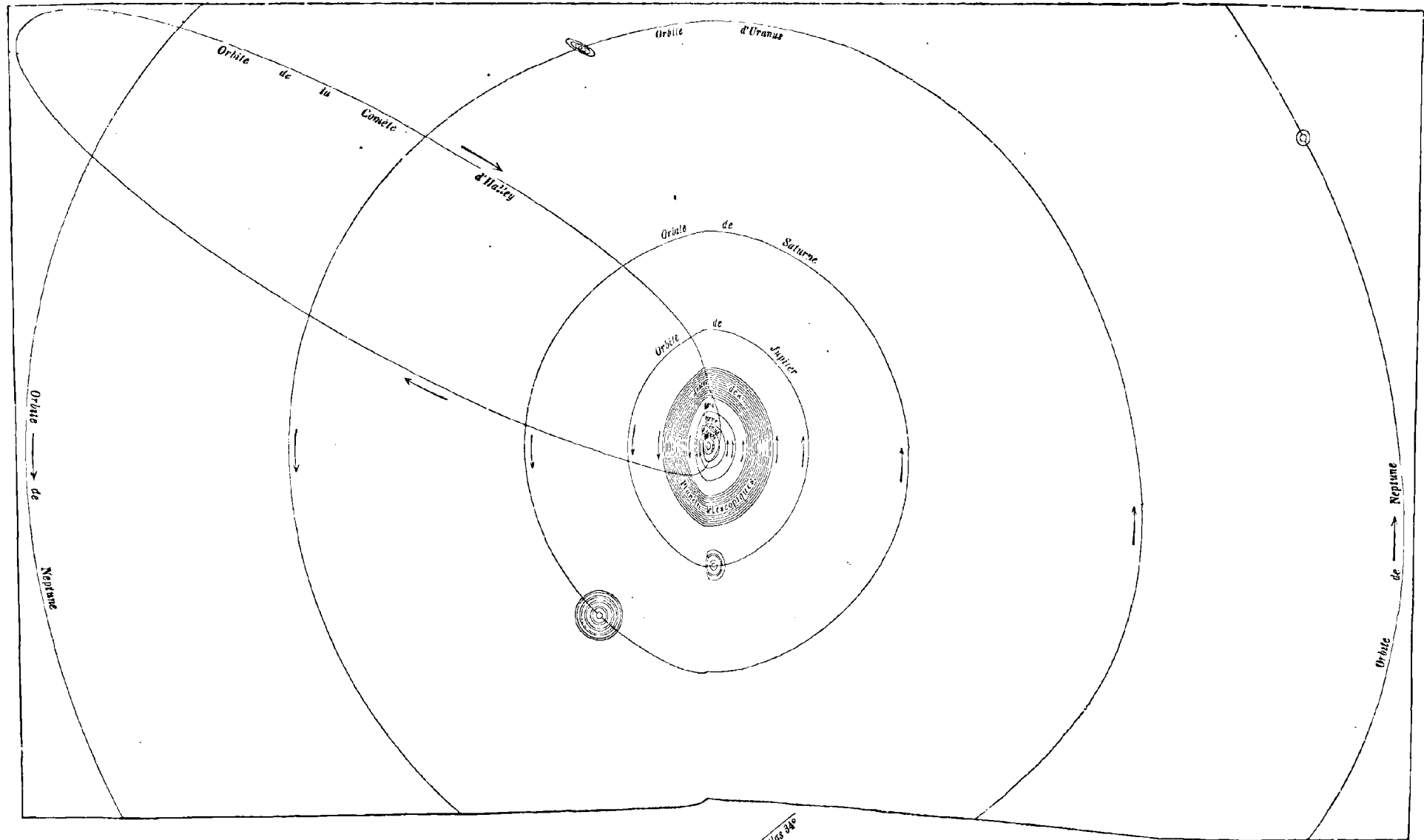
2. Dans cette planche, les orbites des planètes ont été tracées comme des

Nous avons vu plus haut que les courbes idéales décrites par les diverses planètes autour du Soleil considéré comme immobile, sont des courbes *planes*, à peu de chose près du moins. Cela revient à dire que le centre de chaque globe planétaire, dans son mouvement autour de l'astre central, reste toujours sur un même plan. Ce plan prolongé passe d'ailleurs par le centre du Soleil. Mais les plans de ces orbites ne coïncident pas entre eux ; ils se trouvent diversement inclinés sur celui de la Terre pris comme terme de comparaison ; d'où il résulte que chaque planète décrit une moitié de son orbite au-dessus du plan de l'orbite terrestre, et l'autre moitié au-dessous. Les inclinaisons, représentées en vraie grandeur dans la figure 2 de la planche V, sont d'ailleurs peu considérables, et il en résulte que, vues de la Terre, les planètes principales circulent dans une zone étroite de la voûte céleste : c'est cette zone qui a reçu le nom de *Zodiaque*.

Le système solaire vu par sa tranche, et de profil pour ainsi dire, se présenterait donc, pour un observateur situé à une grande distance au delà de ses limites, sous l'apparence d'un groupe de forme allongée, ayant à son centre un point lumineux, le Soleil, et de part et d'autre une multitude de petites étoiles d'inégal éclat, les planètes et les satellites oscillant le long de trajectoires presque rectilignes.

Après avoir tracé le tableau d'ensemble du groupe des corps célestes qui nous intéresse le plus, puisque notre globe est

circonférences de cercle, bien qu'en réalité ces courbes soient de forme elliptique ou ovale. Le Soleil n'est pas non plus, comme le représente encore la figure, au centre de chaque orbite. Mais il eût été difficile, pour ne pas dire impossible, de rendre ces différences appréciables sur une aussi petite échelle, surtout pour les planètes les plus voisines du Soleil : la figure 30 obvie d'ailleurs à cette difficulté. Ce qu'il y a d'exact dans cette représentation du système solaire, et ce qu'il importe surtout de retenir, c'est l'ordre des distances des diverses planètes au foyer commun, c'est la proportion des dimensions des orbites, à l'exception toutefois des orbites des satellites dont il a fallu exagérer les dimensions. Les positions des planètes sont celles que ces corps occupaient simultanément dans l'espace, le 1^{er} janvier 1865.



II. Inclinaisons des orbites planétaires sur le plan de l'orbite terrestre.

Planète	Inclinaison
Mercure	7° 0'
Vénus	3° 23'
Jupiter	1° 19'
Saturne	2° 29'
Uranus	0° 46'
Neptune	1° 47'

PLANES 30°

SYSTEME SOLAIRE.

I. Orbites des Planètes. — II. Inclinaisons des orbites planétaires sur le plan de l'orbite terrestre.

l'une de ses molécules constituantes, nous allons les décrire chacun en particulier, étudier leurs mouvements propres, et, à l'aide des documents fournis par les observations persévérantes des astronomes modernes, pénétrer, s'il est possible, jusque dans leur plus intime constitution. Nous suivrons, pour cette étude, l'ordre des distances croissantes à partir du Soleil, et, dès lors, nous rencontrerons d'abord Mercure et Vénus, auxquelles on donne le nom de planètes *inférieures* ou *intérieures*, parce que leurs orbites sont enveloppées par l'orbite terrestre. Puis viendront la Terre, la Lune, son satellite, et à la suite toutes les planètes dites *extérieures* ou *supérieures*, depuis Mars jusqu'à Neptune. Du reste, à cette division qui est toute relative à notre planète, nous en substituerons une autre qui est plus dans la nature des choses, celle des trois groupes que nous avons reconnus en énumérant les corps du monde solaire : celui des quatre planètes moyennes, l'anneau des cent huit petites planètes, et le groupe des quatre grosses planètes. C'est d'ailleurs aussi précisément l'ordre de leurs distances au Soleil.

La figure 30 représente les orbites des quatre planètes moyennes dans leurs véritables dimensions relatives, d'ailleurs ramenées sur le plan de l'orbite de la Terre. On y voit aisément que le Soleil n'est pas au centre de chaque orbite : la distance de ce centre au centre du Soleil, exprimée au moyen du demi-grand axe, ou de la distance moyenne de la planète au Soleil prise pour unité, est ce qu'on nomme l'*excentricité de l'orbite*. Plus ce nombre est grand, plus l'orbite correspondante diffère d'un cercle. Ici, c'est Mercure et Mars qui ont les plus grandes excentricités : la Terre vient après. Vénus a une orbite à peu près circulaire.

Le grand axe, qui est le plus grand diamètre de chaque orbite elliptique, a pour extrémités les deux points qu'on nomme *périhélie* et *aphélie* : ce sont les positions où la pla-

nète se trouve à sa plus petite distance et à sa plus grande distance du Soleil.

Les plans des orbites de Mercure, de Vénus et de Mars ne coïncident pas entre eux ni avec l'orbite terrestre, de sorte

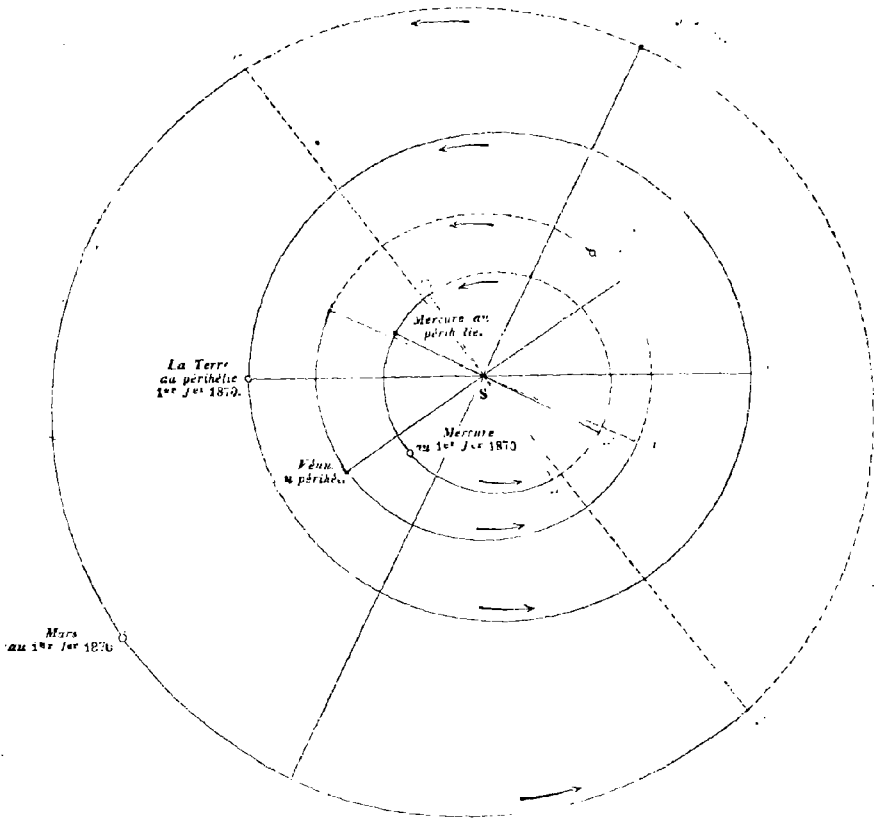


Fig. 30. — Orbits des planètes moyennes; situations de Mercure, Vénus, la Terre et Mars au 1^{er} janvier 1870.

que chacune de ces planètes est au-dessus du plan dans une partie de sa révolution, au-dessous dans l'autre partie, ainsi qu'on l'a déjà remarqué. Les deux positions *nn* où le centre de l'astre est précisément dans ce plan sont les *nœuds* de l'orbite: l'un se nomme *nœud ascendant*, parce que c'est le point par où passe la planète, quand elle monte au-dessus du

plan de l'orbite de la Terre, au nord de ce plan; l'autre, le *nœud descendant*, indique le moment et la position de la planète, quand elle descend au sud du même plan. Sur la fig. 30, les portions boréales des orbites de Mercure, de Vénus et de Mars sont représentées par des traits pleins, les portions australes par des lignes ponctuées. Les positions indiquées pour les quatre planètes moyennes sont celles qu'elles occuperont le 1^{er} janvier 1870. A cette époque la Terre se trouvera précisément à son périhélie.

Ces explications bien comprises, abordons chacune des planètes dans l'ordre indiqué, et faisons-en une exploration détaillée.

I

MERCURE ☿.

§ 1. — Mercure vu à l'œil nu; ses oscillations périodiques et son mouvement apparent à l'Orient et à l'Occident du Soleil. — Apollon et Mercure chez les anciens. — Explication du mouvement apparent : conjonctions, stations et rétrogradations de Mercure; révolution synodique. — Révolution sidérale, sa durée. — Forme et dimensions de l'orbite. --- Distances de Mercure au Soleil; sa vitesse. — Distances de Mercure à la Terre.

Lorsque le ciel est pur, que l'atmosphère à l'horizon n'est pas trop chargée de vapeurs, on aperçoit quelquefois, le soir, après le coucher du Soleil, une étoile dont la vive lumière se détache en scintillant sur la lueur rougeâtre du crépuscule. Sa distance apparente au-dessus de l'horizon, d'abord très-petite, augmente peu à peu chaque soir, mais sans dépasser jamais la sixième partie d'un demi-cercle de la voûte céleste.

Cette étoile est la planète Mercure.

En continuant de l'observer pendant des soirées favorables, on la verra se rapprocher peu à peu du Soleil, puis disparaître sous la clarté éblouissante de l'astre radieux : elle se couche alors en même temps que lui. Quelques jours après, c'est le matin, avant le lever du Soleil, que la même étoile, dégagée des rayons de cet astre, se lèvera de plus en plus tôt, montant de jour en jour au-dessus de l'horizon à des hauteurs croissantes, dont le maximum, à l'Orient, sera précisément égal à celui qu'elle avait précédemment atteint, à l'Occident. Enfin, peu à peu, elle reviendra sur ses pas, se rapprochant du So-

leil, jusqu'au moment où elle disparaîtra de nouveau dans ses rayons.

Mercure accomplit donc de la sorte une oscillation complète autour du Soleil, oscillation qu'il répète indéfiniment, et dont la durée varie entre cent six et cent trente jours.

Les anciens, qui ne connaissaient pas le vrai système du monde, trompés par la double apparition de Mercure, tantôt après le coucher, tantôt avant le lever du Soleil, crurent d'abord qu'il s'agissait de deux astres distincts : ils nommèrent l'un, Apollon, dieu du jour et de la lumière, et l'autre, Mercure, dieu des voleurs. Les Indiens, les Égyptiens lui donnèrent de même deux noms différents : Set ou Horus chez les derniers, Boudha et Raubinêya chez les autres. Mais les observateurs finirent par remarquer qu'une seule des deux étoiles était visible à la fois, et que l'apparition de l'une coïncidait à peu de chose près avec la disparition de l'autre : de là, à conclure leur identité, il n'y avait qu'un pas.

Le mouvement apparent de Mercure sur le ciel, qui consiste ainsi qu'on vient de le voir en une double oscillation, tantôt à l'Occident, tantôt à l'Orient du Soleil, s'explique de la façon la plus simple par la combinaison de son propre mouvement de translation avec celui de la Terre. Insistons sur les circonstances de ce mouvement apparent, que nous retrouverons les mêmes, sauf les différences de grandeur, de vitesse, etc.... pour la planète Vénus, dont l'orbite est enveloppée, comme celle de Mercure, par l'orbite terrestre.

Quand Mercure se trouve en M à l'opposé du Soleil relativement à la Terre T, on dit qu'elle est dans sa *conjonction supérieure*; à ce moment, elle se trouve ou bien cachée par le Soleil, ou bien plongée dans ses rayons : la planète est invisible. A partir de ce point, elle se meut sur son orbite dans la direction indiquée par la flèche (fig. 31), et passe à l'Orient du Soleil; en sortant de ses rayons, elle devient visible, et semble s'écarter de plus en plus, pendant que la Terre se meut

elle-même sur son orbite. Sa vitesse apparente va alors en diminuant peu à peu jusqu'à ce qu'elle paraisse stationnaire. Puis, ayant atteint sa plus grande distance apparente à l'Orient du Soleil, ce qu'on nomme son *élongation maximum*, elle va paraître se rapprocher de plus en plus de l'astre, en décrivant une portion de son orbite plus voisine de nous, avec une vitesse croissante. Une seconde fois, la planète disparaît dans les rayons du Soleil, et, atteignant le point M', où elle est

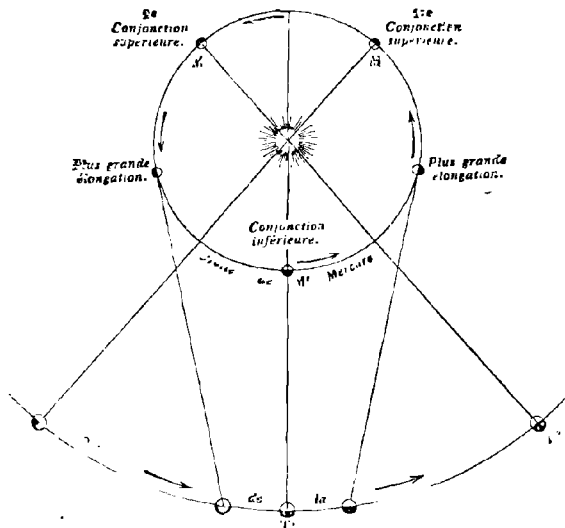


Fig. 31. — Explication du mouvement apparent de Mercure.

située entre l'astre et la Terre T', elle arrive à sa *conjonction inférieure*.

En continuant sa route dans le même sens, Mercure se voit à l'Occident du Soleil, et fait alors la même oscillation en passant par une position où elle semble stationnaire. Enfin, arrivée au point M'', à l'opposé du Soleil, par rapport à la Terre T'', elle se retrouve à une nouvelle conjonction supérieure. Si la Terre eût été immobile, les points M et M'' seraient identiques, et la durée de sa révolution apparente serait la même que la durée d'une révolution intégrale de la planète

autour du Soleil. Comme il n'en est pas ainsi, Mercure met plus de temps à revenir en ligne droite avec le Soleil, et parcourt l'arc MM'' (en moyenne de 116°) en plus d'une circonférence entière, et sa *révolution synodique* est plus longue que sa *révolution sidérale*¹.

D'ailleurs, comme on l'a vu plus haut, la révolution synodique varie entre cent six et cent trente jours; les plus grandes elongations de Mercure varient aussi entre 16° et 29° ; et la cause de ces variations est dans l'excentricité de l'orbite, qui, au lieu d'être un cercle, est très-sensiblement ovale ou elliptique, ainsi que le montre la figure 30.

Mercure fait un tour entier autour du Soleil ou achève sa révolution sidérale en 88 jours environ (plus exactement en $87^{\text{d}},969$, ou 87 jours 23 heures 15 minutes 46 secondes). Son année est donc un peu moins longue que le quart d'une année de la Terre. L'orbite décrite pendant ce temps autour du Soleil est, relativement, la plus allongée des orbites planétaires, de sorte que les distances de la planète au foyer du mouvement varient entre les limites suivantes, la distance moyenne de la Terre au Soleil étant prise pour unité :

Distance aphélie	0.46569
Distance moyenne.	0.38710
Distance périhélie	0.30750

Il y a une grande différence, on le voit, entre les distances extrêmes, puisque la plus grande surpasse la plus petite de moitié².

1. La révolution sidérale d'une planète s'entend du parcours intégral de l'orbite supposée invariable — ce qui n'est pas complètement exact, puisque la forme et la position de la courbe subissent le plus souvent des altérations provenant de l'action réciproque des masses planétaires et de la masse du Soleil. — Sa durée est l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux passages consécutifs de l'astre au même point de la courbe, de sorte que, vu du Soleil, il serait revenu coïncider avec le même point du ciel, avec la même étoile. — La révolution synodique est le retour de la planète à une même position par rapport au Soleil vu de la Terre.

2. C'est ce qu'exprime l'excentricité de l'orbite, égale au nombre 0.20560,

Traduisons en kilomètres ou en lieues kilométriques les nombres précédents, et nous verrons que Mercure, à son aphélie, est éloigné du Soleil de 69 000 000 de kilomètres ou 17 250 000 lieues; qu'au périhélie, il s'en approche jusqu'à 45 500 000 kilomètres ou 11 375 000 lieues; que sa distance moyenne enfin au foyer du mouvement est de 57 250 000 kilomètres ou 14 300 000 lieues. C'est près de six millions de lieues de différence entre les distances extrêmes. Quant aux dimensions de l'orbite de Mercure, elles atteignent 356 000 000 de kilomètres : c'est, en nombre rond, un développement de 89 000 000 de lieues; et comme la planète les parcourt entièrement en 88 jours, sa vitesse moyenne sur son orbite est de 4 050 000 kilomètres par jour, ou de 47 kilomètres environ par seconde. C'est la plus grande des vitesses planétaires : elle dépasse celle de la Terre de moitié. Plus tard, du reste, nous verrons que plus une planète s'éloigne du Soleil, plus sa vitesse se ralentit, de sorte que cette vitesse, maximum au périhélie, est minimum à l'aphélie. Pour Mercure, elle est dans la première position de 60 kilomètres, et dans la deuxième, de 40 kilomètres par seconde.

Reportons-nous maintenant à la figure 30 où les orbites de Mercure et de la Terre sont tracées, avec leurs vrais rapports de position et de grandeur. Il est aisé de voir que les distances des deux planètes doivent considérablement varier suivant leurs positions relatives; qu'elles sont les plus faibles possible vers les époques où Mercure se trouve en conjonction inférieure, les plus grandes au contraire près des conjonctions supérieures, quand Mercure est au delà du Soleil. Mais, dans ces positions même, Mercure est tantôt plus rapproché tantôt plus éloigné de la Terre, à cause de la forme elliptique de son orbite et de celle de l'orbite terrestre, et aussi à cause de l'inclinaison des plans de chacune d'elles, inclinaison qui est d'en-

qui est le rapport de la différence des distances aphélie et périhélie au grand axe ou au double de la distance moyenne.

viron 7 degrés. Tout calcul fait, la plus petite distance des deux planètes se réduit à 80 millions; la plus considérable monte à 215 millions : elle est donc presque le triple de la première.

§ 2. — Mercure vu au télescope; ses phases. — Passage de Mercure sur le Soleil; mesure de son diamètre apparent. — Ses dimensions réelles comparées à celles de la Terre; surface et volume; aplatissement.

Mercure se voit assez rarement à l'œil nu, surtout dans nos climats ou dans les latitudes plus septentrionales. Le mouvement diurne de la sphère étoilée est trop oblique et la planète s'élève à une trop faible hauteur au-dessus de l'horizon, même dans ses plus grandes digressions à l'Orient ou à l'Occident du Soleil, pour n'être pas cachée par les brumes du matin ou du soir¹.

Si, au lieu de se borner à regarder Mercure à la vue simple, on emploie, pour l'observer, une lunette d'un assez fort pouvoir grossissant, on trouve que sa forme varie selon l'époque de l'observation. Il en est de même de sa grosseur apparente.

Parlons d'abord de la forme. Mercure, dans le cours d'une de ses oscillations, présente des phases entièrement analogues aux phases lunaires. C'est d'abord un disque lumineux, à peu près circulaire, ou mieux semblable à la Lune deux ou trois jours avant son plein, qui peu à peu se rétrécit du côté de l'Orient, jusqu'à n'être plus qu'un demi-cercle, à l'époque de son plus grand éloignement apparent du Soleil; puis la forme de croissant caractérise de plus en plus le disque de la planète, jusqu'à ce qu'elle ne soit bientôt plus visible que sous la

1. Dans les latitudes plus méridionales, l'observation en est naturellement plus fréquente. Voilà pourquoi les Grecs, les Chaldéens purent fournir à Ptolémée un assez grand nombre d'observations de Mercure. Copernic se plaignait en mourant de ne l'avoir pas vu une seule fois dans sa longue vie d'astronome. Delambre dit ne l'avoir observé à l'œil nu qu'une fois. En février et mars de l'année dernière (1868), tout le monde a pu voir, dans nos climats, la lumière rougeâtre de Mercure étinceler à l'horizon après le coucher du Soleil.

forme d'un mince filet lumineux ¹. Voici quelques-unes de ces phases, où l'accroissement progressif des dimensions apparentes est aussi marqué dans des proportions exactes :

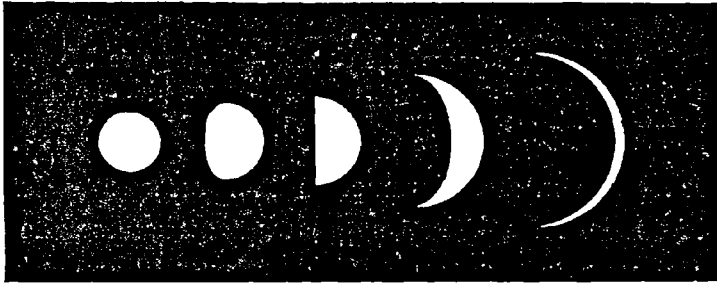


Fig. 32. — Phases de Mercure, visibles le soir, après le coucher du Soleil.

Les mêmes apparences se succèdent, mais dans un ordre inverse, si l'on observe Mercure pendant sa période d'étoile du matin. Les voici :

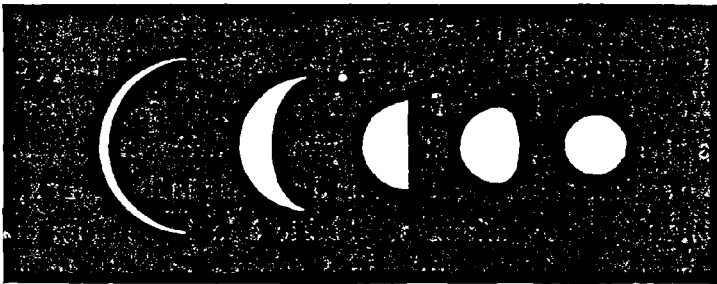


Fig. 33. — Phases de Mercure, visibles le matin, avant le lever du Soleil.

Les phases de Mercure prouvent que cette planète a la forme d'un globe sphéroïdal, non lumineux par lui-même, mais ré-

1. C'est surtout quand Mercure se trouve dans la portion de son orbite tournée vers la Terre que ses phases sont nettement visibles; il paraît alors sous forme de croissant. Mais on ne le voit jamais complètement rond à la lunette, parce que, étant alors à sa conjonction supérieure, il disparaît dans les rayons solaires; à moins cependant qu'il ne passe au-devant du Soleil, ce qui arrive dans quelques-unes de ses conjonctions inférieures: en ce cas, il se montre sous la forme d'un disque complètement obscur.

fléchissant la lumière du Soleil. Dans son mouvement autour de l'astre radieux, l'hémisphère éclairé est toujours tourné vers le centre du mouvement. On comprend donc qu'un observateur qui, de la Terre, étudie le disque de Mercure dans les situations successives

où la planète se présente à nous pendant une de ses révolutions synodiques, doit apercevoir des portions plus ou moins considérables de son hémisphère éclairé, c'est-à-dire les phases décrites plus haut. Quant aux variations du diamètre apparent, elles sont la simple conséquence des variations de la distance qui sépare successivement Mercure de la Terre. La

figure 34 suffira, sans explication plus détaillée, à faire comprendre les faits que constate l'observation et la liaison de ces faits avec les mouvements simultanés de Mercure et de la Terre autour du Soleil.

Voici en outre une figure où les dimensions apparentes de Mercure sont représentées, quand la planète est à sa plus grande distance de la Terre, à sa plus petite, et enfin à sa distance moyenne, qui n'est autre que la distance moyenne de la Terre elle-même au Soleil.

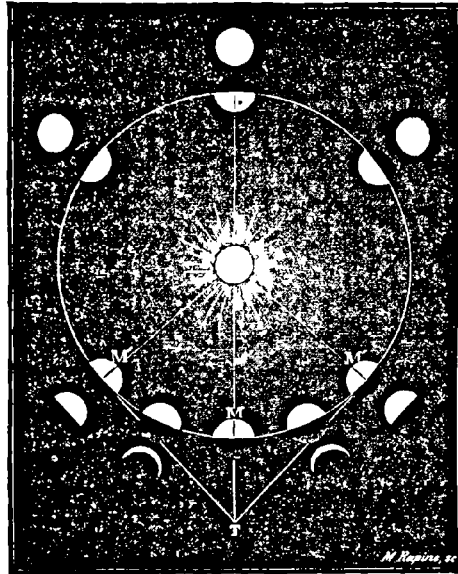


Fig. 34. — Explication des phases de Mercure.

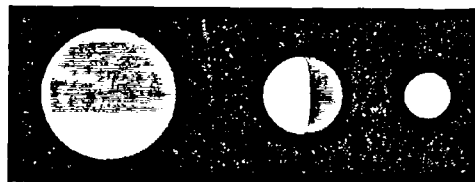


Fig. 35. — Dimensions apparentes du disque de Mercure, à ses distances extrêmes et moyenne de la Terre.

Pour arriver à connaître les dimensions réelles de Mercure, il suffit, puisque ses distances à la Terre sont connues, de mesurer son diamètre apparent, l'angle sous lequel apparaît ce diamètre dans une position déterminée de la planète. C'est une mesure assez délicate et difficile, à cause du défaut de netteté des phases, de la vivacité de la lumière ¹ et de l'irradiation qui en est la conséquence². Aussi, saisit-on de préférence l'occasion où Mercure passe sur le Soleil, dans certaines de ses conjonctions inférieures.

Ce dernier phénomène, d'ailleurs intéressant à divers points de vue, arriverait à chacune des révolutions synodiques de la

1. En 1832, Saturne et Mercure se trouvèrent très-voisins l'un de l'autre, en apparence, bien entendu. D'après Beer et Mædler qui les observèrent alors, « Saturne comparé à Mercure présentait un globe pâle et sans éclat. Mercure présentait un éclat inégal, et resta parfaitement visible après le lever du Soleil, tandis que Saturne disparut à la vue. Mercure était éclairé un peu plus de la moitié. » (*Fragments sur les corps célestes du système solaire.*)

2. Quand on regarde, à une certaine distance, un objet brillant sur un fond sombre, ou un objet sombre sur un fond brillant, la lumière semble empiéter sur tout le contour de la ligne de séparation des deux teintes. Il en résulte qu'un disque blanc vu sur un fond noir paraît augmenter de dimensions, qu'un disque noir tracé sur un fond blanc semble au contraire rétréci. Si les deux

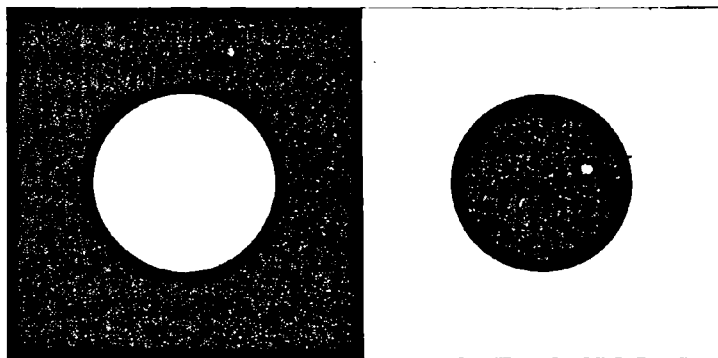


Fig. 36. — Effet d'irradiation.

disques sont vus à côté l'un de l'autre comme dans la figure 36, le blanc paraît plus grand que le noir, bien que leurs diamètres soient rigoureusement égaux. C'est à cet effet optique qu'on donne le nom d'*irradiation*. L'irradiation est d'ailleurs d'autant plus forte que la lumière est plus intense.

planète, si le plan de l'orbite de Mercure coïncidait avec le plan de l'orbite de la Terre ; mais comme les deux plans sont inclinés de 7° (voy. pl. V, fig. 2), tantôt Mercure passe au-dessus, tantôt il passe au-dessous du disque du Soleil. Quelquefois cependant, la planète étant voisine de l'un de ses nœuds (on se rappelle qu'on entend par là les points où son orbite coupe l'écliptique), l'arc qu'elle décrit entre le Soleil et la Terre est moins élevé que le demi-diamètre du Soleil : Mercure se projette alors sur le disque sous la

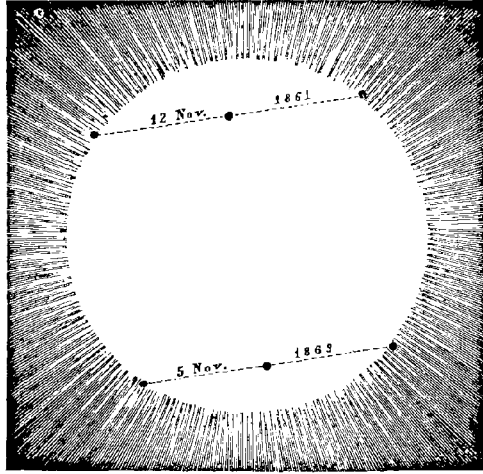


Fig. 37.—Passages de Mercure sur le Soleil : 1^o le 12 novembre 1861 ; 2^o le 5 novembre 1868.

forme d'une tache noire et ronde, et on voit cette tache traverser en quelques heures le disque du Soleil, qui se trouve ainsi partiellement éclipsé¹. La netteté de la forme circulaire, l'uniformité du mouvement de la tache sur le Soleil, enfin la durée même du passage sont autant de circonstances qui ne

1. « La première de ces observations fut faite à Paris par Gassendi, le 7 novembre 1631, et, comme dit ce philosophe, selon le vœu et l'avertissement de Képler. Car Képler avait prédit ce passage et en avait publié ou écrit l'année précédente qui fut celle de sa mort. » (D'Alembert, *Encyclopédie*.)

Depuis, Halley et Delambre reprirent les calculs de Képler, et le premier de ces savants détermina les périodes de retour des passages de Mercure, lesquelles sont de 6 à 7 ans, de 13, de 46 et de 263 ans. C'est toujours dans les mois de mai et de novembre que tombent les époques de ces phénomènes, parce que ce sont celles où Mercure arrive à l'un de ses nœuds. Dans la partie écoulée du dix-neuvième siècle, on a pu observer déjà 8 passages de Mercure, dont 2 ont eu lieu en mai 1832 et 1845, et 6 en novembre, dans les années 1802, 1815, 1822, 1835, 1848, 1861 et 1868. Il y en aura encore 4 jusqu'à la fin du siècle, 2 en mai 1878 et 1891, et 2 en novembre 1881 et 1894. — La durée du passage est fort variable : elle peut s'élever jusqu'à environ 8 heures.

permettent pas de confondre le phénomène avec celui des taches solaires. D'ailleurs le disque obscur de l'astre est beaucoup plus noir que les noyaux de ces taches. Tous les observateurs s'accordent sur ce point et confirment ce que disaient Beer et Mædler, lors du passage de mai 1832 : « Lorsque Mercure s'approchait d'une tache du Soleil, cette dernière paraissait, à côté de lui, seulement d'un brun clair, tandis que, prise séparément, elle présentait une teinte tout à fait noire. »

Les astronomes ont choisi l'instant favorable de ces passages pour mesurer, à l'aide d'instruments micrométriques, les dimensions apparentes de Mercure. En se servant d'un excellent instrument qu'il reconnut exempt d'irradiation, l'illustre Bessel a trouvé pour la valeur du diamètre apparent de Mercure le nombre $6'',7$ qui se rapporte à la distance moyenne de la planète à la Terre, ou de la Terre au Soleil (c'est la même chose, on l'a vu plus haut)¹. A la distance maximum, il se réduit à $4'',6$ et atteint $12''$ à la distance minimum, variant

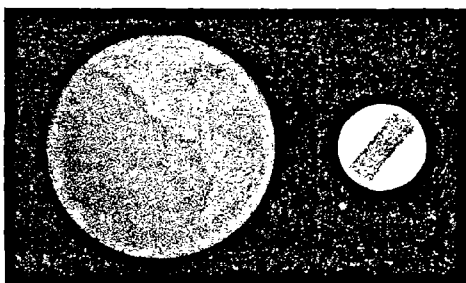


Fig. 38. — Mercure et la Terre; dimensions comparées.

ainsi du simple au triple. Comme le diamètre de la Terre vu à la même distance serait $17'',8$, on peut aisément conclure de leur rapport les dimensions réelles de Mercure. Voici ces dimensions :

Son diamètre est les 376 millièmes du diamètre équatorial de la Terre, par conséquent un peu plus du tiers (fig. 38). C'est 4800 kilomètres ou

1. Le passage du 5 novembre 1868 a donné des résultats qui diffèrent considérablement les uns des autres, ce qu'on attribue aux conditions assez mauvaises où s'est faite l'observation, peu après le lever du Soleil, aux effets de l'irradiation, et à la différence des instruments employés. Le nombre de Bessel doit être conservé provisoirement, comme celui qui mérite le plus de confiance.

1200 lieues, d'où il suit que la circonférence du globe de Mercure a un développement d'environ 15 000 kilomètres ou 3750 lieues; sa surface est sept fois moindre que celle de notre planète (0,1415), son volume de 18 à 19 fois plus petit (0,0533). Bien qu'on n'ait pu constater aucune différence positive entre les divers diamètres de Mercure, certaines observations (Otto Struve, le 5 novembre 1868) prouveraient toutefois que sa forme n'est pas rigoureusement sphérique, mais ellipsoïdale ou aplatie, comme celles de la Terre et de plusieurs autres planètes.

§ 3. — Constitution physique de Mercure. — Chaleur et lumière; le Soleil vu de Mercure. — Rotation de Mercure; jours et nuits; saisons, année et climats. — Mercure a-t-il une atmosphère? — Bandes équatoriales; échancrures du disque; montagnes de Mercure; point lumineux observé pendant les passages sur le Soleil. — Masse et densité; pesanteur à la surface.

Nous connaissons le mouvement de Mercure autour du Soleil, la durée de sa révolution, ses distances au Soleil et à la Terre, et enfin ses dimensions en diamètre, en surface et en volume. Il nous reste à dire ce qu'on sait de sa constitution physique. Les éléments que la science est parvenue à rassembler sur ce point curieux et important de la monographie des planètes doivent être pour tous d'un vif intérêt, par les similitudes ou les contrastes que chacun de ces mondes présente avec le nôtre. La manière dont la lumière et la chaleur sont distribuées à la surface des corps planétaires, la succession de leurs jours, de leurs nuits et de leurs saisons, l'existence ou la privation d'une atmosphère semblable à la nôtre, enfin les accidents que le télescope a permis aux regards de l'homme d'apercevoir à leur surface, sont autant de renseignements précieux qui nous permettent de faire quelques conjectures probables sur l'organisation des êtres vivants qui les peuplent sans doute. Appuyée sur de telles données positives, l'imagina-

tion peut alors se lancer hardiment dans le champ des hypothèses, bien sûre d'ailleurs de n'être point contredite par l'expérience.

L'intensité de la lumière que Mercure reçoit du Soleil, à sa distance moyenne de l'astre radieux, est près de sept fois (6,670) aussi grande que celle reçue par notre globe. Il n'est donc pas étonnant que sa lumière nous paraisse aussi vive, et que les anciens aient gratifié Mercure de l'épithète d'*étincelant* (στῖλλων). Comme les lois de propagation de la chaleur rayonnante sont les mêmes que celles de la lumière, Mercure reçoit donc aussi sept fois plus de chaleur ou plus exactement une chaleur dont l'intensité est en moyenne sept fois aussi grande que celle reçue par la Terre aux limites de l'atmosphère. Quant aux sommes totales de chaleur reçues par les deux astres pendant un temps égal, elles dépendent des surfaces exposées aux rayons solaires : un calcul simple montre que Mercure reçoit ainsi les 95 centièmes environ de la chaleur rayonnée sur la Terre.

A en juger par l'impression que les rayons lumineux du Soleil font sur nos yeux, qui n'en peuvent supporter sans douleur l'éclat éblouissant, par celle que nous ressentons sur tout notre corps, quand il est imprégné de ses effluves calorifiques, les habitants de Mercure devraient être, à ce double point de vue, dans une position intolérable. Mais sont-ils conformés comme nous, et leurs sens ont-ils des degrés pareils d'impressionnabilité? C'est ce que nous ne pouvons dire. D'ailleurs, ce sont plutôt les contrastes qui nous semblent durs à supporter. Sous ce rapport, il faut avouer que Mercure paraît avoir plus à souffrir que la Terre. Grâce à son orbite allongée, nous avons vu que tantôt il s'éloigne et tantôt il se rapproche du Soleil, et que la différence des distances extrêmes s'élève à six millions de lieues. Aussi, tandis qu'à l'aphélie l'intensité des rayons lumineux et calorifiques ne vaut plus que quatre fois et demie celle des rayons reçus par la Terre, au

périhélie, au contraire, cette intensité s'élève à dix fois la même quantité : elle varie donc du simple au double. Enfin, ce qui semble devoir ajouter encore à ces contrastes de température, c'est qu'ils s'accomplissent dans une période de temps qui n'est pas le quart de l'une de nos années terrestres. Tout à l'heure, nous verrons que les saisons de Mercure présentent encore de plus étranges anomalies.

N'oublions pas cependant qu'une circonstance peut modifier tout cela, de manière à rapprocher des nôtres ou à les en éloigner tout à fait les conditions de la vie végétale et animale à la surface de Mercure. Cette circonstance, c'est l'existence ou la privation d'une enveloppe gazeuse ou vaporeuse, en un mot d'une atmosphère. Mercure a-t-il une atmosphère ?

Dans plusieurs de ses passages sur le Soleil, la tache noire et d'ailleurs bien limitée que la planète projette sur le disque, a paru entourée d'un anneau nébuleux ; mais à certains observateurs cet anneau a semblé plus brillant que les régions environnantes du Soleil ; d'autres l'ont trouvé, au contraire, moins lumineux. En 1799, Schrœter et Harding ont vu ce phénomène tel que le représente la figure 39, et en 1832 le docteur Moll dit que l'anneau nébuleux avait une teinte sombre approchant de la couleur violette. Au contraire, pendant le dernier passage, celui du 5 novembre 1868, M. Huggins lui a trouvé un éclat supérieur à celui du disque solaire. C'était une sorte d'auréole dont l'éclat était légèrement plus intense que les régions voisines du disque. La largeur de cet anneau était d'environ le tiers du diamètre apparent de Mercure, et on n'y remarquait aucune dégradation depuis le bord de la

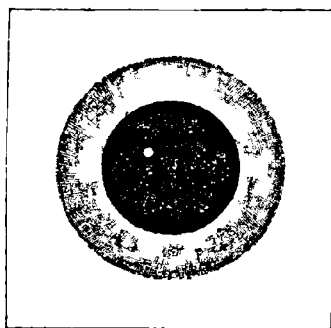


Fig. 39. — Aspect du disque de Mercure pendant son passage sur le Soleil, le 7 mai 1799. Auréole vaporeuse, et point brillant sur le disque. D'après Schrœter.

planète jusqu'à la limite extérieure. Il est évident que si Mercure est entouré d'une atmosphère transparente et réfringente, elle doit disperser les rayons solaires et dès lors affaiblir leur éclat, non l'augmenter. Il est donc probable qu'il ne s'agit là que d'une apparence purement optique. Mais il n'en est plus ainsi d'un autre genre d'observations qui paraît démontrer l'existence d'une atmosphère autour de Mercure. Les dessins du croissant de la planète obtenus par Schrœter (voyez la fig. 40) prouvent que la ligne de séparation de la lumière et de l'ombre n'est jamais bien tranchée, ce qu'on ne peut attribuer qu'à l'absorption de la lumière solaire par les couches atmosphériques. On a également remarqué que la largeur de la partie lumineuse ou de la phase en a paru comme diminuée. « D'après cela, disent Beer et Mædler, on peut conclure que Mercure a une atmosphère assez sensible.... »

S'il en est ainsi, nous pouvons nous faire une idée des modifications qu'une atmosphère un peu dense peut apporter à l'intensité de la lumière et de la chaleur, en comparant les jours où, sur notre Terre, le ciel est pur et sans nuages, où le Soleil darde sans obstacle ses rayons sur le sol, avec les jours sombres et gris où les nuages nous en dérobent complètement la vue. La densité de l'enveloppe atmosphérique, le plus ou moins de vapeur d'eau qu'elle renferme, la plus ou moins forte condensation de cette vapeur, peuvent singulièrement changer les effets de rayonnement de la chaleur solaire. Comparons la température d'une de nos vallées avec celle des sommités montagneuses qui l'entourent¹ : ce sera passer de

1. « L'air sur les hautes montagnes peut être excessivement froid, quoique le Soleil darde ses rayons brûlants. Les rayons solaires qui, dans leur contact avec la peau humaine, sont presque douloureux, restent impuissants à échauffer l'air d'une manière sensible; il suffit de se mettre parfaitement à l'ombre pour sentir le froid de l'atmosphère. Jamais, dans aucune circonstance, je n'ai tant souffert de la chaleur solaire qu'en descendant du *Corridor*, au grand plateau du Mont-Blanc, le 13 août 1857; pendant que je m'enfonçais dans la neige jusqu'aux reins, le Soleil dardait ses rayons sur moi avec une force intolérable. Mon immersion dans l'ombre du dôme du Gouté changea à l'instant

l'été aux froids de l'hiver, de la chaleur brûlante de juillet aux frimas de novembre. Et cependant, le Soleil brille sur les monts comme au fond des vallées.

Enfin, la composition chimique de l'atmosphère de Mercure, la nature des gaz dont elle est formée, et qui sont peut-être fort différents de l'azote et de l'oxygène de l'air, sont encore de nouveaux éléments qui peuvent influencer sur le climat de la planète, et sur lesquels l'analyse spectrale ne nous a fourni encore aucune donnée. Bornons-nous donc à décrire les phénomènes astronomiques dont l'influence est incontestable.

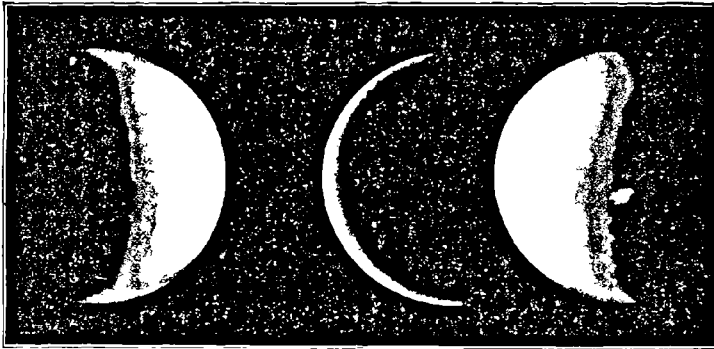


Fig 40. — Croissant de Mercure, d'après Schrœter. Échancrements ; troncature de la corne australe.

C'est en premier lieu la durée du jour. Mercure tourne sur lui-même en 24 heures 5 minutes. Voici comment on est parvenu à reconnaître ce mouvement de rotation qui s'effectue d'ailleurs dans le sens de l'Occident à l'Orient, et à en mesurer la durée. En examinant avec attention les phases en forme de croissant, Schrœter a constaté l'existence d'échancrements qui faisaient paraître dentelée la ligne de séparation de la lumière

mes impressions, car là, l'air était à la température de la glace. • (Tyndall, *Leçons sur la chaleur*.) Ce n'est pas seulement à la rareté de l'air qu'il faut attribuer ce phénomène, mais au faible pouvoir absorbant de l'atmosphère qui laisse passer les rayons calorifiques directement venus de la source lumineuse, tandis qu'au retour elle s'oppose à la facile transmission des rayons obscurs renvoyés par le sol.

et de l'ombre; à diverses reprises, il a pu observer aussi une troncation à la corne australe du croissant (fig. 40). Ces accidents n'étaient pas visibles à toute époque, mais disparaissaient, pour se montrer de nouveau à des intervalles dont la périodicité a permis de déterminer la durée de la rotation de Mercure.

Quant à la direction de l'axe autour duquel la rotation de Mercure s'effectue, elle est peu certaine. La proximité où la planète se trouve toujours des rayons solaires et la vivacité de

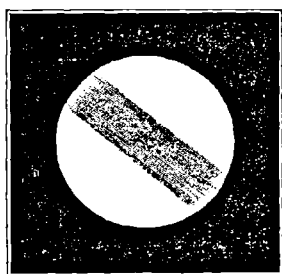


Fig. 41. — Bandes équatoriales de Mercure, d'après Schræter.

sa lumière rendent très-difficile l'observation des accidents qui peuvent exister à sa surface. Néanmoins Schræter a reconnu l'existence de bandes obscures sillonnant le disque (fig. 41), et qui sont dues probablement à des zones de nuages, que des courants réguliers analogues aux vents alizés terrestres rassemblent à peu près parallèlement à l'équateur

de Mercure. Il résulterait de là que l'inclinaison de l'axe de rotation sur le plan de l'orbite n'est pas supérieure à 20° .

Si ces déterminations sont confirmées par les observations ultérieures, voici les conséquences qu'on en doit déduire pour la climatologie de la planète que nous visitons.

La durée d'un jour sidéral de Mercure étant de 24 heures 5 minutes (c'est seulement 9 minutes de plus que celle du jour sidéral sur la Terre), il en résulte que l'année de la planète se compose de 87 rotations et $\frac{2}{3}$: or, comme on le verra dans le chapitre consacré à la Terre, le nombre des jours sidéraux de l'année d'une planète est toujours moindre d'une unité que celui des jours solaires, c'est-à-dire des retours du Soleil au méridien. L'année de Mercure comprend donc $86 \frac{2}{3}$ ou 86,66 jours solaires. Un calcul très-simple donne alors pour la durée d'un jour solaire moyen 24 heures 21 mi-

nutes. A l'équateur de Mercure pendant l'année tout entière, et pour toutes les autres latitudes à l'époque des équinoxes ¹, le jour et la nuit sont donc seulement chacun de 10 minutes plus longs que le jour et la nuit sur la Terre dans les mêmes circonstances. Mais aux autres époques de la courte année de Mercure, les variations de la durée de ces deux éléments, et, par suite, les variations des saisons et des climats y sont beaucoup plus tranchées qu'à la surface du globe terrestre, ce qui tient à l'inclinaison considérable de l'équateur sur l'orbite. Au solstice d'été, le Soleil passe au zénith à midi dans des régions qui sont à 20 degrés seulement du pôle boréal, et les longues nuits polaires envahissent l'hémisphère austral jusqu'à la latitude de 20 degrés : le contraire arrive naturellement à l'autre solstice. Ainsi, sur Mercure, des zones très-étendues à partir des deux pôles, tantôt pendant leur été jouissent constamment de la lumière du jour, tantôt pendant leur hiver sont plongées dans des ténèbres profondes. C'est à peine si pendant une courte période, voisine de chacun des équinoxes, ces zones voient la lumière et l'ombre se succéder dans l'intervalle d'un même jour. Les zones glaciales et les zones torrides se confondent sur Mercure, et les climats tempérés n'y existent pas, ou plutôt ces zones s'envahissent mutuellement deux fois à chaque révolution.

Les régions équatoriales ont seules le privilège de posséder toute l'année le jour et la nuit, la lumière et l'ombre, et de voir se succéder, à chaque période du jour solaire, la chaleur pendant la journée, la fraîcheur et le calme pendant les nuits.

1. Mercure est à l'un ou à l'autre de ses *équinoxes*, quand le plan de son équateur passe par le Soleil : l'hémisphère éclairé renferme alors les deux pôles, et le jour et la nuit sont égaux à toutes les latitudes. Aux solstices la planète présente l'un de ses pôles au Soleil, tandis que l'autre pôle est dans l'ombre : c'est l'époque des longs jours et des courtes nuits sur un hémisphère, des jours courts et des longues nuits sur l'autre. Nous retrouverons les mêmes positions pour chaque planète; mais on trouvera une explication détaillée de tous ces phénomènes au chapitre qui concerne *la Terre*.

Il est vrai que si le Soleil, vers les équinoxes, s'y élève jusqu'au zénith, il s'abaisse très-près de l'horizon dans les saisons extrêmes.

On a vu plus haut que l'orbite de Mercure est fort allongée, ou, en langage astronomique, que l'excentricité de cette courbe est considérable. Il en résulte que les saisons y sont de durées fort inégales. Et comme, selon que l'on considère l'hémisphère boréal ou l'hémisphère austral, le printemps et l'été de l'un sont l'automne et l'hiver de l'autre, une pareille iné-

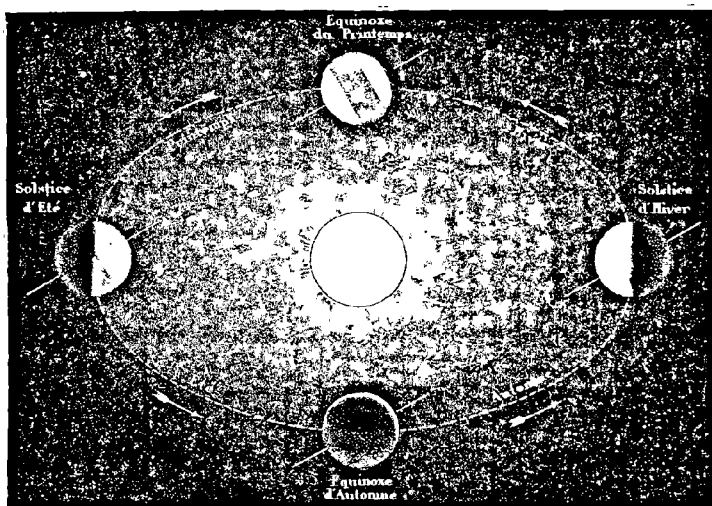


Fig. 42. — Orbite de Mercure. — Inclinaison de l'axe, et position de la planète aux équinoxes et aux solstices.

galité doit exister entre les températures extrêmes des deux hémisphères¹. Une atmosphère très-dense, ou mieux douée de la propriété d'absorber à un très-haut degré la chaleur du Soleil, peut seule, répétons-le, tempérer ce qu'il doit y avoir

1. Il y aurait à tenir compte, pour l'étude de ces variations, de la position des équinoxes et des solstices sur l'orbite, et des variations de distance au Soleil qui proviennent de l'excentricité. Nous verrons plus loin, en étudiant la Terre, notre planète, à ces différents points de vue, quelle influence ont ces divers éléments.

d'excessif dans ces brusques variations de la chaleur et du froid sur Mercure, et de leur retour à courts intervalles.

Les échancrures observées par Schrœter à l'une des cornes du croissant indiquent que le sol de Mercure est accidenté, qu'il existe de fortes aspérités à sa surface. Les dentelures de la ligne de séparation de l'ombre et de la lumière témoignent de même de l'existence de hautes montagnes, qui interceptent la lumière du Soleil, et de vallées plongées dans l'ombre qui empiètent sur les parties éclairées du sol de la planète.

Ainsi Mercure a des montagnes. La mesure de la troncation du croissant a même permis d'évaluer la hauteur de l'une d'elles, qui, si cette mesure n'était point exagérée, ne serait pas moindre de la 253^e partie du diamètre de la planète : c'est environ dix-neuf kilomètres ! Or, la plus haute montagne connue du globe terrestre, le Gaurisankar de l'Himalaya, n'a pas neuf mille mètres de hauteur verticale ; ce géant des monts terrestres ne s'élève pas au-dessus du niveau de l'Océan de plus de la quatorze-centième partie du diamètre de la Terre.

Schrœter, en examinant Mercure pendant son passage sur le Soleil, le 7 mai 1799, a vu ou cru voir sur le disque noir de la planète un point lumineux (V. fig. 39). Une observation toute semblable a été faite le 5 novembre 1868, par W. Huggins, qui, pendant toute la durée du passage, a vu un point lumineux sur le disque obscur, à peu de distance de son centre. On avait conclu de l'observation de Schrœter qu'il existe à la surface de Mercure des volcans en ignition. Ce serait une analogie de plus entre la constitution physique de cette planète et celle de la Terre. D'autres astronomes (le professeur Powel) n'y ont vu qu'une simple illusion optique, un effet de diffraction ; mais alors il est difficile d'expliquer la position excentrique du point lumineux, soit dans l'observation de Schrœter, soit dans celle de W. Huggins.

Un mot maintenant de la masse et de la densité de Mercure, deux éléments sur lesquels on n'avait pu faire, il y a un

siècle, que des conjectures. La planète n'ayant pas de satellite, on n'a pu calculer sa masse que par les perturbations qu'elle fait subir aux mouvements des comètes passant dans son voisinage, ou à ceux de la planète la plus voisine, Vénus. D'après Le Verrier, la masse de Mercure est environ la 5 300 000^e de celle du Soleil, à peu près 16 fois moindre que celle de la Terre. En prenant pour unité la densité moyenne de la Terre, on trouve 1,14 pour celle de Mercure, qui est ainsi, dans l'hypothèse d'un globe homogène, un peu plus de six fois (6,2) celle de l'eau. L'antimoine et le tellure, parmi les métaux, et un assez grand nombre de minéraux composés ont des densités voisines de celle-là : mais il ne faudrait pas en inférer que telle est la densité du sol de Mercure; l'analogie porte à croire que les parties centrales de la planète sont plus denses que les couches superficielles. Enfin, il est un dernier élément physique dont l'influence sur l'organisation des êtres vivants, à supposer qu'il en existe sur Mercure, est incontestable. Je veux parler de l'intensité de la pesanteur à la surface. Selon que cette intensité est plus ou moins grande, les mouvements musculaires, par exemple, sont plus ou moins aisés, exigent une dépense de force plus ou moins considérable. Eh bien, cet élément est, à la surface de Mercure, un peu plus de moitié de la pesanteur à la surface de la Terre (0,54); un corps pesant y acquiert, au bout d'une seconde de chute, une vitesse égale à 5^m,28, après avoir parcouru 2^m,64 pendant cette première seconde.

Telles sont les données physiques que l'astronomie est parvenue à recueillir sur la planète la plus voisine du Soleil. En les comparant aux éléments correspondants de la Terre, on pourra se faire une idée assez juste des ressemblances et des différences de ces deux mondes, qui circulent dans des régions du ciel très-rapprochées les unes des autres, quand on considère l'ensemble des astres du système planétaire.

II

VÉNUS ♀.

§ 1. — Vénus, étoile du soir et étoile du matin ; ses digressions orientale et occidentale. — Vesper et Lucifer, l'Etoile du Berger. — Vénus vue à l'œil nu ; éclat, scintillation, couleur. — Mouvement apparent ou révolution synodique. — Révolution sidérale ; l'année de Vénus ; ses distances au Soleil et à la Terre ; sa vitesse de translation.

Comme Mercure, Vénus est tantôt une étoile du matin, tantôt une étoile du soir, visible avant le lever ou après le coucher du Soleil. Seulement, ses oscillations périodiques de part et d'autre de l'astre radieux ont une amplitude et une durée beaucoup plus grandes, et leurs variations à ces deux points de vue se trouvent renfermées entre des limites plus étroites. La raison de ces différences est toute simple : c'est que l'orbite décrite par Vénus entre le Soleil et la Terre est plus grande que celle de Mercure, et a une excentricité plus faible : elle diffère beaucoup moins d'une circonférence de cercle (fig. 30).

Vénus est plus souvent et plus aisément visible à l'œil nu que Mercure, précisément parce qu'elle s'éloigne plus des rayons solaires et se dégage ainsi davantage des lueurs du crépuscule et de l'aurore. Ses plus grandes digressions à l'Orient et à l'Occident du Soleil atteignent en effet 48°. Quelquefois même, la planète est visible à l'époque de ses conjonctions : ce qui arrive quand sa latitude, c'est-à-dire sa hauteur au-dessus ou au-dessous du Soleil relativement au plan de l'orbite de la Terre, est assez grande.

Les anciens avaient donné deux noms à Vénus, selon qu'elle faisait son apparition après le coucher ou avant le lever du Soleil : à l'origine, c'était pour eux sans doute deux astres différents, ainsi qu'ils le croyaient de Mercure. Le matin ils l'appelaient Lucifer (φωσφόρος, *porte lumière*) ; Vesper ou Hesperus (Ἑσπερος) était l'étoile du soir. C'est l'Étoile du Berger de nos campagnes.

Qui ne connaît l'Étoile du Berger ? Qui n'a contemplé sa blanche lumière à la fois douce et vive, rarement scintillante, mais parfois assez intense pour faire porter ombre aux objets sur le sol¹. Quand un nuage léger vient à voiler la portion du ciel qu'elle occupe, une forte lueur indique encore sa présence au centre de l'anneau lumineux formé par les molécules éclairées du nuage interposé. L'éclat de Vénus est si vif dans ces circonstances qu'on peut l'apercevoir en plein jour : c'est la plus blanche et la plus brillante des étoiles du ciel tout entier.

Le mouvement apparent de Vénus sur la voûte étoilée est semblable à celui de Mercure et s'explique de la même manière, de sorte que nous n'entrerons point dans de plus grands détails à cet égard. L'intervalle entre deux conjonctions successives, soit inférieures, soit supérieures, est en moyenne de 584 jours² : c'est la durée de sa révolution synodique, qui oscille d'ailleurs entre 592 jours et 577 jours.

1. « Dans des circonstances favorables, dit sir J. Herschel, Vénus projette une ombre assez forte. On doit recevoir cette ombre sur un fond blanc. Une fenêtre ouverte dans une chambre à muraille blanchie est la meilleure disposition. Dans une telle situation, j'ai observé non-seulement l'ombre, mais les franges de diffraction qui en bordent le contour. » (*Outlines of astronomy.*)

2. Sur cette durée totale de 584 jours, 542 jours sont employés par la planète à parcourir la portion de son orbite apparente qui se fait dans le sens direct ou du mouvement du Soleil ; les 42 autres appartiennent à la portion de l'orbite la plus voisine de la Terre et constituent le mouvement rétrograde de Vénus. Ce changement de sens n'est qu'apparent ; c'est un simple effet de perspective dont on se rend compte très-facilement, quand on voit un objet se mouvoir circulairement autour d'un centre, et qu'on se trouve en dehors de la ligne ou orbite parcourue.

Quant à sa révolution sidérale, elle est d'environ 225 jours (224^d,701 ou 224^d16^h49^m8^s); c'est le temps que Vénus emploie à parcourir entièrement son orbite, et qui forme son année, un peu moindre, comme on voit, que les deux tiers d'une année terrestre. La courbe qu'elle décrit ainsi est, de toutes les orbites planétaires, celle dont la forme se rapproche le plus d'un cercle parfait, de sorte que le Soleil est relativement peu éloigné du centre. Voici, en effet, quelles sont les distances moyenne et extrêmes de Vénus au Soleil, exprimées en prenant pour unité la distance moyenne du Soleil à la Terre :

Distance aphélie	0.72828
— moyenne	0.72333
— périhélie.	0.71838

La différence des distances extrêmes est tout au plus égale à la 72^e partie de la distance moyenne : rapportée à cette dernière distance, c'est le double du nombre qu'on nomme excentricité, et qui sert à mesurer le degré d'ellipticité de la courbe (0,00684). En convertissant ces nombres en kilomètres, on trouve pour les distances réelles de Vénus au Soleil :

A l'aphélie.	107 700 000 kil.
A la distance moyenne. .	107 000 000 —
Au périhélie.	106 300 000 —

Il est facile, à l'aide de ces données, de calculer le développement de l'orbite de Vénus, qu'on trouve mesurer 672 millions de kilomètres, ou 168 millions de lieues, et d'en déduire la vitesse moyenne de la planète, qui est de près de 3 millions de kilomètres par jour, ou de 34^k,6 par seconde. Mercure parcourt 46^k,8, et bientôt nous verrons que la Terre a une vitesse moyenne de 29^k,8, moindre aussi que celle de Vénus. Rappelons-nous ce fait de la diminution de vitesse des planètes dans leurs orbites, à mesure que croissent leurs distances au Soleil. Cette loi, vraie pour les vitesses comparées des planètes différentes, s'applique aussi aux variations de

chacune d'elles, de sorte qu'une planète quelconque atteint au périhélie sa vitesse maximum, tandis qu'à l'aphélie son mouvement est le plus lent possible¹.

Donnons encore un élément de l'orbite de Vénus. Son plan ne coïncide pas avec celui de l'orbite terrestre; l'angle d'inclinaison est d'environ $3^{\circ} 23'$.

Un mot maintenant des distances de Vénus à la Terre. Ces

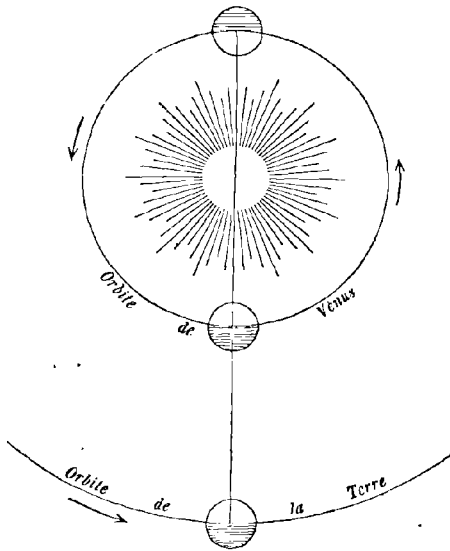


Fig. 43. — Conjonction inférieure et conjonction supérieure de Vénus. — Plus grande et plus petite distances à la Terre.

distances varient considérablement, selon les positions des planètes sur leurs orbites respectives. Quand Vénus est à sa conjonction inférieure, elle est évidemment beaucoup plus rapprochée de la Terre qu'à sa conjonction supérieure, alors qu'elle se trouve située au delà du Soleil (fig. 43). La différence serait égale à tout un diamètre de l'orbite de Vénus, si les plans des orbites coïncidaient. En se reportant à la figure 30,

où les courbes sont tracées avec leurs véritables grandeurs relatives et leurs excentricités, on se rendra un compte plus exact de ces variations de distance. Voici d'ailleurs les limites entre lesquelles elles sont comprises :

La distance maximum de Vénus à la Terre est 1,740, en prenant toujours pour unité ou mètre astronomique la distance moyenne de la Terre au Soleil : c'est environ 257 000 000 de kilomètres; sa plus courte distance s'abaisse à

1. L'orbite de Vénus étant presque circulaire, la vitesse de la planète varie peu dans le cours d'une de ses révolutions.

0,260, à peu près 40 000 000 de kilomètres. La différence est énorme, n'étant pas moindre, entre les distances extrêmes, de 217 millions de kilomètres ou, en nombres ronds, de 54 millions de lieues. Nous allons la voir se traduire par des différences correspondantes dans le diamètre sous lequel on voit Vénus dans les lunettes, et aussi par l'éclat dont la planète brille à l'œil nu.

§ 2. — Vénus vue au télescope; ses phases; variations de son diamètre apparent. — Visibilité de Vénus en plein jour; problème d'Halley. — Dimensions de son diamètre réel, de sa surface et de son volume. — Passages de Vénus sur le Soleil.

Si, à l'époque où Vénus se dégage le soir des rayons solaires, après le coucher du Soleil, on se sert, pour observer la planète, d'une lunette suffisamment puissante, on la voit sous la forme d'un disque lumineux, presque rond, qui de jour en jour s'aplatit vers l'Orient, en prenant des dimensions apparentes de plus en plus grandes. A son maximum de digression orientale, ce n'est plus qu'un demi-cercle lumineux semblable à la Lune au premier quartier, puis c'est un croissant concave qui s'amincit à mesure que la planète se rapproche du Soleil, et disparaît dans ses rayons. Les phases passent par un ordre inverse quand on revoit Vénus, le ma-

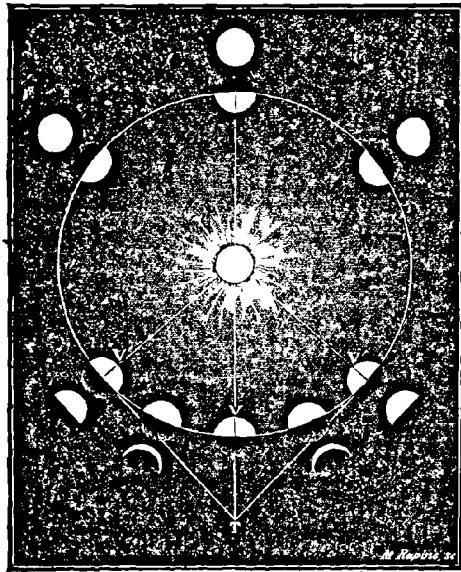


Fig. 44. — Explication des phases de Vénus par ses positions successives relativement au Soleil et à la Terre.

tin, dans l'aurore. A sa plus grande digression occidentale, le croissant devient un demi-cercle, la phase lumineuse s'agrandit encore, et le diamètre apparent de la planète diminue d'autant plus qu'elle s'approche davantage de la forme circulaire.

Ce sont, comme on voit, des phases absolument pareilles à celles de Mercure et qui s'expliquent de la même manière (fig. 44) : seulement, comme les variations de distance de Vénus à la Terre sont beaucoup plus considérables, les change-

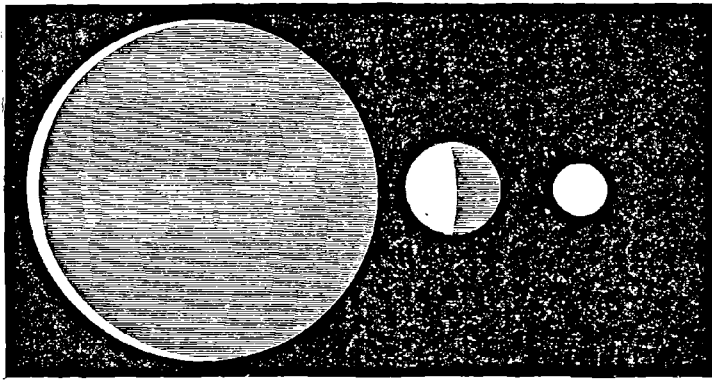


Fig. 45. — Dimensions apparentes de Vénus, à ses distances extrêmes et moyenne de la Terre.

ments qui en résultent pour son diamètre apparent sont plus sensibles ; et comme Vénus s'éloigne plus à l'Orient et à l'Occident du Soleil que Mercure, ses phases sont d'une observation plus facile. Aussi furent-elles reconnues, dès 1610, par Galilée, qui eut la joie d'y trouver une confirmation éclatante des vues de Copernic sur le système du monde et la condamnation du système de Ptolémée¹. La figure 45 montre quelles sont les variations du diamètre apparent de Vénus, qui est de 17''

1. D'après ce système, l'orbite de Vénus enveloppait la Terre immobile au centre du monde, et se trouvait comprise entre celle de Mercure et celle du Soleil. Vénus ne pouvait donc jamais se trouver au delà du Soleil, ni dès lors tourner vers la Terre son hémisphère éclairé, ce qui est en contradiction avec l'observation de la phase ronde à l'époque de la conjonction supérieure.

environ au moment où elle se trouve à sa moyenne distance de la Terre, ou à la distance 1000 ; qui se réduit à $9''{,}5$ quand Vénus est à son plus grand éloignement, et enfin atteint $62''$, quand la planète, à sa conjonction inférieure, se trouve à sa plus courte distance de la Terre.

Vénus, avons-nous dit, est quelquefois si brillante qu'elle devient visible en plein jour à l'œil nu : « J'en ai été témoin en 1750, dit Lalande, et tout Paris était alors dans l'étonnement : je trouve que la même chose arriva vers le 10 juillet 1716, le peuple de Londres regardait cela comme un prodige, au rapport de M. Halley. » Arago cite d'après Bouvard une observation du même genre, faite à Paris en plein midi, à l'époque du Directoire. Les circonstances favorables à cette visibilité dépendent à la fois de la phase de Vénus qui, combinée avec les variations du diamètre apparent, donnent à la surface illuminée des dimensions apparentes plus ou moins grandes, puis de l'élongation de la planète ou de sa distance au Soleil, enfin de l'état de pureté de notre atmosphère ¹.

A la distance 1, le diamètre apparent de Vénus est $16''{,}9$, tan-

1. En ne tenant compte que des premières conditions, Halley a résolu ce problème : Trouver la situation de Vénus, par rapport à la Terre, où la quantité de lumière qu'elle réfléchit vers nous est la plus grande. L'illustre géomètre et astronome a trouvé qu'il en est ainsi, non pas quand la digression orientale ou occidentale de la planète est maximum, mais quand elle atteint environ $39^{\circ} 1/2$: alors Vénus (fig. 46) se montre dans les lunettes avec le quart de son disque illuminé, comme il arrive pour la Lune à son cinquième jour. Selon Lalande, les époques de plus grande visibilité de Vénus doivent revenir à peu près tous les huit ans, puisque la planète, au bout de ce temps, se retrouve alors dans la même situation relativement à la Terre, ou du moins dans une situation peu différente.

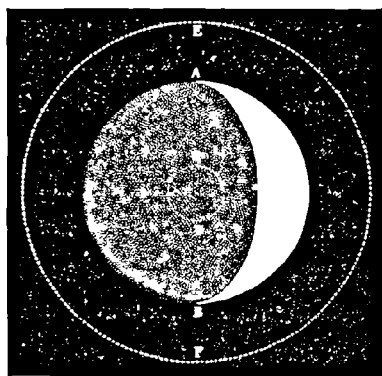


Fig. 46. — Phase de plus grande visibilité de Vénus.

dis que celui de la Terre serait 17",8. On voit donc que Vénus a des dimensions un peu inférieures à celles de notre globe. Voici les nombres que donne le calcul, quand on prend pour unités les dimensions correspondantes de la Terre :

Diamètre de Vénus	0.950
Surface —	0.900
Volume —	0.856

Le diamètre de Vénus mesure donc 12 000 kilomètres en nombres ronds, et la circonférence de son globe offre un développement de 38 000 kilomètres, environ 9500 lieues. C'est

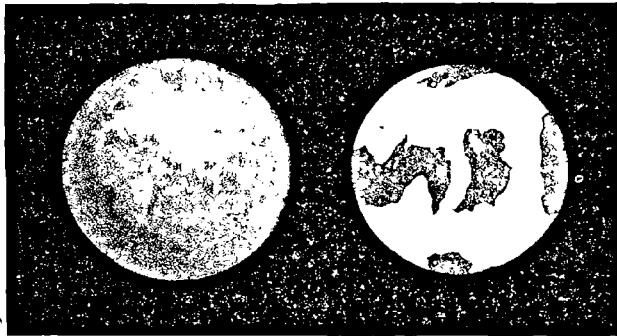


Fig. 47. — Vénus et la Terre; dimensions comparées.

de toutes les planètes connues celle dont les dimensions approchent le plus des dimensions du globe terrestre.

Comme Mercure, Vénus passe sur le Soleil à certaines de ses conjonctions inférieures; mais ces passages, beaucoup plus importants, sont aussi beaucoup plus rares. Nous donnerons plus loin (voy. la Troisième partie) des détails sur les passages antérieurs de Vénus, et sur ceux qu'on attend en 1874 et 1882. Rappelons seulement ici que, malgré l'irradiation qui fait paraître plus petit le disque noir de Vénus sur le Soleil, c'est une circonstance favorable à la mesure de son diamètre et à l'étude de la forme rigoureuse du disque. Jusqu'ici, on n'a pu constater aucune trace d'aplatissement; mais il ne faut pas en con-

clure que cet aplatissement n'existe pas, car s'il n'est pas plus fort que celui de la Terre, c'est au plus une différence de 2 dixièmes de seconde d'arc qu'il faudrait pouvoir constater entre les diamètres du disque de Vénus, quand ce disque se projette sur le Soleil.

§ 3. — Mouvement de rotation de Vénus : jour sidéral et jour solaire. — Les jours et les nuits sur Vénus ; année, saisons et climats ; variations de lumière et de chaleur ; lumière cendrée. — Atmosphère de Vénus. — Taches permanentes du disque ; mers et continents ; montagnes. — Masse, densité, intensité de la pesanteur.

En observant Vénus dans ses positions les plus favorables, Dominique Cassini est parvenu, en 1666 et 1667, à reconnaître quelques taches obscures sur son disque ; une tache brillante voisine de la ligne de séparation de la lumière et de l'ombre, étudiée par lui avec soin, lui fit reconnaître le mouvement de rotation de la planète, dont la durée lui parut être d'environ 23 heures et 20 minutes¹. Des observations ultérieures dues à Schrœter (1788-1793) et notamment celles de Vico, astronome romain (1840-1842), ont permis de déterminer avec plus de précision encore cette durée, qui est de 23 heures 21 minutes et 24 secondes, de 34 minutes et 40 secondes moins longue que celle de la rotation de la Terre.

Tel est le jour sidéral de Vénus ; l'année de la planète se compose donc de 231 rotations et par conséquent de 230 jours solaires environ. Le jour solaire moyen de Vénus se trouve

1. Soixante ans plus tard, en 1726, Bianchini, astronome romain, observa une série de taches obscures, et de l'étude de leurs mouvements il crut pouvoir assigner à la rotation de Vénus une durée de 24 jours 8 heures. Mais J. Cassini, fils de Dominique, en discutant et comparant les observations de son père et celles de Bianchini, prouva que l'énorme différence des deux résultats provenait de ce que ce dernier savant avait observé la même tache, revenue à une position identique après une période de 25 rotations entières, ce qui donne 23 heures 22 minutes pour la durée de l'une d'elles, nombre presque pareil à celui de D. Cassini. Les observations de Vico, de 1840 à 1842, ont d'ailleurs levé tous les doutes.

ainsi égal à 23 heures 27 minutes et 6 secondes, plus long de 5 minutes et 42 secondes que son jour sidéral. La vitesse de rotation d'un point de l'équateur atteint 452 mètres par seconde, à très-peu de chose près égale à la vitesse d'un point de l'équateur de la Terre. Comme les autres éléments physiques la masse, la densité diffèrent aussi très-peu des mêmes éléments terrestres, on peut en conclure, par analogie, que l'aplatissement du globe de Vénus dû à la rotation doit être à peu près égal à celui de notre planète.

Sous d'autres rapports, Vénus diffère beaucoup de la Terre.

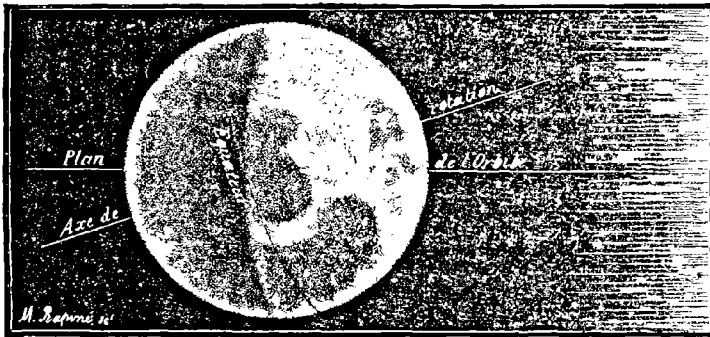


Fig. 48. — Vénus à l'un de ses solstices. Inclinaison de l'axe de rotation.

Ainsi, son axe de rotation est, si l'on en croit Schrœter, incliné de 15° sur le plan de son orbite. La longueur des jours et des nuits y est donc très-variable selon les saisons et selon les latitudes, sauf à l'équateur où le jour est égal à la nuit pendant les 230 jours de l'année; mais là, le Soleil qui s'élève au zénith à chaque équinoxe, s'y abaisse jusqu'à 15° à l'horizon aux jours des solstices. Les zones polaires et les zones tropicales y existent seules et s'y confondent en partie. Pour donner un exemple des variations étranges que subissent les durées relatives des jours et des nuits et les alternatives de chaleur et de froid qui en sont nécessairement la conséquence, considérons les pays situés sur Vénus à une latitude de 45° , à égale distance de l'équateur et du pôle. A partir de l'équinoxe du

printemps, le Soleil monte chaque jour de plus en plus haut au méridien et finit par atteindre le zénith. Alors commence une période de jours semblables à celle des jours de notre zone polaire : le Soleil ne se couche plus ; toutes les 23 heures 21 minutes, il décrit un cercle autour du pôle céleste, cercle qui diminue de plus en plus, jusqu'à n'avoir plus, à l'époque du solstice d'été, qu'un rayon de 18 degrés, correspondant à une hauteur méridienne de 63° ; puis il revient sur ses pas, repassant par les mêmes positions, sans se coucher, jusqu'à ce qu'il se retrouve une seconde fois au zénith. Viennent alors des nuits fort courtes, qui peu à peu croissent en durée jusqu'à l'autre équinoxe. Voilà pour les saisons estivales. En automne et en hiver, même évolution du Soleil, mais en sens inverse. Les nuits y surpassent de plus en plus les jours, et une époque arrive où le Soleil, de plus en plus bas sur l'horizon à midi, se cache au-dessous, pour ne plus reparaitre pendant toute une période analogue à celle des nuits de nos zones polaires. A l'équateur, la plus grande hauteur méridienne du Soleil aux solstices est d'environ 18 degrés, tandis qu'il s'élève au zénith à chaque équinoxe. Aux deux pôles, règnent alternativement pendant 115 jours de Vénus une nuit ou un jour perpétuel : pendant la durée de ce long jour, le Soleil monte sans cesse sur l'horizon et finit par atteindre une hauteur de 72° . Ces aperçus suffisent pour donner une idée de la distribution des climats, et de la succession singulière du jour, de la nuit, des saisons ou des températures.

Vico, il est vrai, a trouvé 50° pour l'inclinaison de l'équateur de Vénus sur son orbite. En adoptant ce nombre, qui diffère beaucoup de celui de Schrœter, les variations que nous venons de décrire seraient moins considérables ; mais elles offriraient encore ce caractère particulier, que les zones tropicales et les climats polaires empiètent les uns sur les autres : comme Mercure, Vénus n'a pas de zones tempérées.

Vénus décrivant autour du Soleil une orbite presque circu-

laire, les saisons y ont des durées à peu de chose près égales; les variations de distance de la planète au foyer de chaleur sont resserrées, nous l'avons vu, en de faibles limites. Néanmoins, il faut se rappeler que le disque apparent du Soleil s'y voit notablement plus gros que sur la Terre, de sorte que la chaleur et la lumière reçues par Vénus ont une intensité presque double ¹.

Peut-être qu'une atmosphère nuageuse très-dense, constamment chargée des vapeurs qu'engendre la chaleur même, enveloppe le globe de Vénus, et tempère ainsi la rigueur de ses saisons opposées. Ce qui donne à cette hypothèse un certain degré de vraisemblance, c'est l'observation du passage de Vénus sur le Soleil en 1761. Un anneau nébuleux parut environner le disque noir de l'astre. En outre, au moment où ce disque était en partie sur le Soleil, en partie au dehors, le contour de l'arc extérieur se montra bordé d'un anneau lumineux. Ces deux phénomènes s'expliquent aisément, si le globe de Vénus est enveloppé d'une atmosphère très-épaisse.

Vers l'époque des conjonctions inférieures, Vénus se montre sous la forme d'un croissant très-mince, dont les cornes ont paru à divers observateurs dépasser notablement la demi-circconférence (fig. 49). Schroeter, qui aperçut le premier ce fait, en conclut qu'il prouve l'existence d'une atmosphère autour de la planète, et que la visibilité du croissant au delà de l'hémisphère directement éclairé par le Soleil est due à une diffusion lumineuse analogue à celle qui produit sur la Terre la lumière crépusculaire. En mai 1857, le P. Secchi a observé le

1. Vu de Vénus, à sa moyenne distance, le Soleil a un diamètre apparent de 44' 20'', plus d'une fois et un tiers celui sous lequel on le voit de la Terre. Les surfaces apparentes du disque solaire, et, dès lors, les intensités de la lumière et de la chaleur rayonnées par le Soleil sur Vénus et sur la Terre, sont donc entre elles dans le rapport des nombres 100 à 191. Mais si l'on tient compte des dimensions des hémisphères des deux planètes qui reçoivent ces radiations, on trouve que les quantités totales de lumière ou de chaleur reçues simultanément par Vénus et par la Terre sont comme les nombres 182 et 100.

même phénomène qu'il interprète de la même manière. Vénus aurait donc des crépuscules et des aurores, dont la durée correspondrait, d'après ces deux astronomes, à un abaissement du Soleil de 15° à 20° au-dessous de l'horizon de la planète. C'est probablement à la même cause qu'il faut attribuer la dégra-

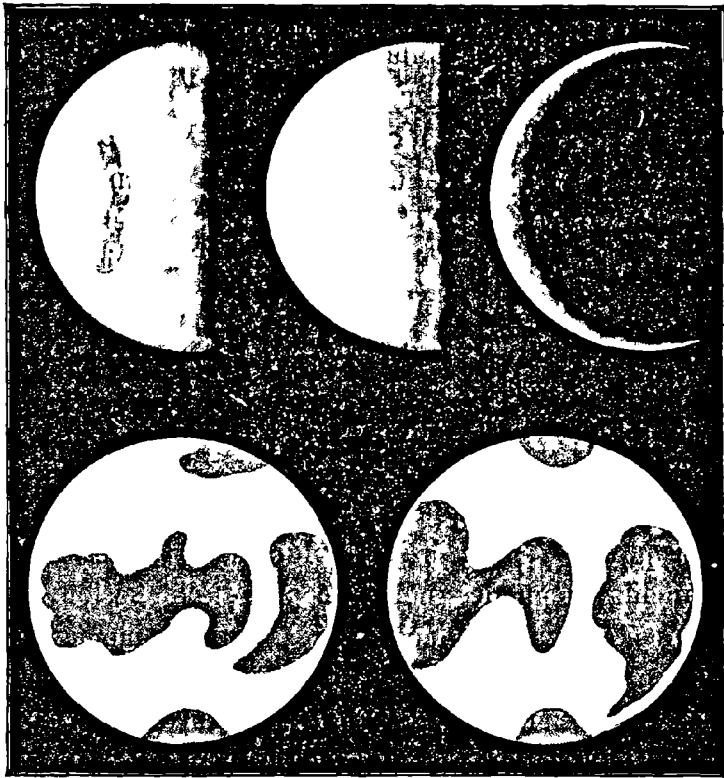


Fig. 49. — Echancures du croissant de Vénus, d'après Schrœter.
Taches de ses deux hémisphères, d'après Bianchini.

dation très-marquée de lumière qu'on aperçoit dans les phases de Vénus, sur les limites de la ligne de séparation de la lumière et de l'ombre.

A la vérité cette dégradation de teinte peut être occasionnée en partie par l'obliquité des rayons solaires, à leur arrivée sur le sol, dans les points où le Soleil est très-bas sur l'hor-

zon, en partie par les ombres que les aspérités du sol projettent très-longues vers le lever ou le coucher de l'astre. Ces aspérités existent à la surface de Vénus, si l'on s'en rapporte aux échancrures de son disque, observées par Lahire, Derham, Schrœter, et aux dessins qu'en a laissés ce dernier, dessins dont trois se trouvent reproduits dans la figure 49. En d'autres circonstances, les cornes du croissant ont paru tronquées, et même un point lumineux a été aperçu en dehors de la portion continue du disque éclairé. Maintenant les mesures de hauteur que Schrœter a calculées d'après ses observations, pour les montagnes de Vénus, ne sont-elles point exagérées? Est-il vrai que les aspérités du sol de la planète atteignent jusqu'à 44 kilomètres de hauteur verticale? Évidemment, il n'y aurait rien là d'impossible : mais les particularités physiques d'où l'on a tiré ces mesures sont d'une observation si difficile, il y a tant d'incertitude encore sur leur réalité, qu'il n'est pas permis d'affirmer, ni de nier. Il faut attendre la consécration d'observations nouvelles.

Les taches sombres que Cassini a le premier remarquées sur le disque de Vénus, mais qui lui ont paru très-fugitives, que Bianchini a pu dessiner avec plus de précision, paraissent avoir été revues un siècle après, avec les mêmes formes, par Vico : ce sont celles qu'on voit représentées dans les deux disques entièrement éclairés de la figure 49. Ce seraient donc des taches permanentes, non des parties vaporeuses de l'atmosphère : peut-être sont-ce les continents et les mers de Vénus, si toutefois cette division du sol se retrouve sur cette planète, comme sur la nôtre.

L'analyse spectrale n'a rien indiqué de positif à M. W. Huggins sur l'existence d'une atmosphère autour de Vénus. Le P. Secchi paraît avoir été plus heureux : il signale, dans le spectre de sa lumière, l'existence de raies analogues aux raies de la vapeur d'eau de l'atmosphère terrestre ; et il en conclut naturellement non-seulement à la réalité d'une atmo-

sphère, mais à l'analogie de composition qu'elle offre avec la nôtre.

Quand Vénus est voisine de sa conjonction inférieure, son disque se voit quelquefois tout entier, bien que le croissant lumineux soit très-mince : la partie obscure apparaît comme éclairée par une lumière secondaire, semblable à la lumière cendrée de la Lune. Arago rapporte plusieurs observations de ce fait, depuis celle de Derham (publiée en 1729) jusqu'à celle de Gruithuysen en 1825. A Leipzig, le 20 avril 1865, la lumière secondaire de Vénus a été vue très-distinctement, ayant une teinte gris verdâtre, plus claire que le fond du ciel. Quelle est la cause de cette illumination nocturne ? Un phénomène de phosphorescence du sol de Vénus, le reflet des lumières stellaires, de la lumière zodiacale, un effet de diffraction dans son atmosphère, ou enfin la lumière d'aurores magnétiques pareilles à nos aurores polaires ? On ne sait : mais toutes ces hypothèses ont été proposées pour expliquer le fait en question.

Par diverses méthodes, la masse de Vénus a été calculée, et la moyenne des déterminations fait voir qu'elle est environ la 400 000^e partie de la masse du Soleil, ou les 8/10 de la masse terrestre. Sa densité moyenne, comparée à celle de la Terre, serait alors 0,94 ; ou 5,1, en la rapportant à la densité de l'eau. Cela indiquerait une composition minérale du globe de Vénus, presque identique à celle de notre globe. D'autre part, l'intensité de la pesanteur à la surface y est 0,9, de sorte qu'un corps qui tombe à la surface sous la seule influence de la gravité y parcourt 4^m,414 pendant la première seconde. Les corps, à la surface de Vénus, pèsent, comme on voit, un peu moins que sur la Terre : la différence est de 1/10 à peu près.

En résumé, le monde que nous venons d'explorer se rapproche en beaucoup de points, par ses dimensions et plusieurs éléments de sa constitution astronomique et physique, de ce-

lui que nous habitons, et il n'en diffère pas moins peut-être sous plusieurs autres rapports. Mais les données positives sont trop peu nombreuses pour qu'il soit possible de se prononcer en connaissance de cause sur ce qui l'emporte, des ressemblances ou des différences signalées entre Vénus et la Terre. C'est à la science de l'avenir qu'il faut renvoyer la décision¹.

1. Si l'on s'en rapportait à un assez grand nombre d'observations de savants du dix-septième et du dix-huitième siècle (D. Cassini, Short, Montaigne, Rædkier, Horrebon, Montbarron, Lambert), Vénus aurait encore avec nous un trait de ressemblance de plus. Comme la Lune accompagne la Terre, Vénus serait aussi pourvue d'un satellite. Mais on n'a pu revoir ce corps singulier, et de hautes autorités scientifiques (De Lalande, *Encyclopédie méthodique*) ont assuré que les observateurs avaient été le jouet d'une illusion d'optique. L'existence du prétendu satellite de Vénus eût expliqué la lumière secondaire, qui permet de voir la partie non éclairée du disque de la planète; les nuits de Vénus auraient ainsi leur clair de lune. Mais aucun astronome ne croit plus aujourd'hui à cette existence.

IV

LA TERRE §.

§ 1. — Isolement de la Terre dans l'espace. — Preuves de sa rondeur, ou de sa forme sphéroïdale. Aplatissement polaire, déterminé par les mesures d'arc de méridien à diverses latitudes. — Forme elliptique de l'Équateur; la Terre est un ellipsoïde à trois axes inégaux. — Ses dimensions, sa masse, sa densité moyenne. — Réfraction atmosphérique; déformation des disques du Soleil et de la Lune.

La Terre est, dans l'ordre des distances, la troisième planète à partir du Soleil; c'est elle qu'on rencontre après Mercure et Vénus, quand on s'éloigne du foyer commun. C'est donc la Terre, considérée comme corps céleste, ce sont ses mouvements de translation et de rotation, sa forme, ses dimensions réelles, sa constitution physique générale que nous avons à étudier et à décrire maintenant. La Terre ne marche pas isolée, comme Vénus et Mercure; mais, entraînant la Lune dans sa course annuelle, elle est continuellement escortée par ce fidèle satellite, qui se meut autour de la Terre, comme notre globe lui-même se meut autour du Soleil. Après la description de la Terre, viendra donc naturellement celle de la Lune, le mieux connu de tous les astres du monde solaire, à cause de sa faible distance.

Si la Terre est un astre voyageant dans l'espace, comme la multitude de ceux qui peuplent le ciel, on peut se demander sous quel aspect elle se présente aux corps célestes les plus

voisins.. Cela dépendrait évidemment de la distance de l'observateur.

La Terre a la forme d'un globe à peu près sphérique, dont une moitié reçoit la lumière du Soleil, tandis que l'autre moitié est plongée dans l'ombre. Pour qui s'en éloignerait graduellement, elle apparaîtrait donc sous la forme d'un disque de plus en plus petit, mais aussi de plus en plus lumineux, — parce que la lumière du Soleil que réfléchirait vers l'observateur la partie éclairée de la Terre lui paraîtrait concentrée dans une surface de plus en plus petite — le disque en un mot présenterait des phases comme Mercure et Vénus, selon la position relative de la Terre, du spectateur et du Soleil.

A une distance égale à celle de la Lune, la Terre serait vue sous la forme d'un disque lumineux parsemé de taches, les unes brillantes marquant les continents, les autres plus sombres indiquant la place des mers; d'autres taches d'un blanc plus éblouissant figureraient les neiges et les glaces des pôles; mais outre ces taches permanentes, on en distinguerait de variables et de mobiles, produites par les masses nuageuses de l'atmosphère, et qui masqueraient fréquemment les contours des autres. A cette distance, le diamètre apparent du globe terrestre serait près de quatre fois celui de la Lune, de sorte que, vue dans son plein, c'est-à-dire en face de son hémisphère éclairé, la Terre brillerait comme treize pleines lunes réunies. A une distance environ quadruple de celle de notre satellite, le globe terrestre semblerait donc encore aussi gros que ce dernier. Mais à mesure que l'observateur s'éloignerait, peu à peu son diamètre diminuerait et finirait par devenir insensible. La Terre alors brillerait au ciel comme une étoile.

Ces affirmations de la science sur la forme de notre planète et sur ses dimensions réelles, d'ailleurs connues aujourd'hui de tout le monde, ne sont pas basées sur de simples analogies: des faits sensibles, dont il est aisé de vérifier l'exactitude, démontrent avec évidence l'isolement dans l'espace et la rondeur

de la Terre, et des mesures géométriques d'une précision extrême en ont fait connaître les dimensions vraies. Arrêtons-nous un instant sur ces divers points.

Tout le monde sait que l'horizon, dans les pays de plaine,

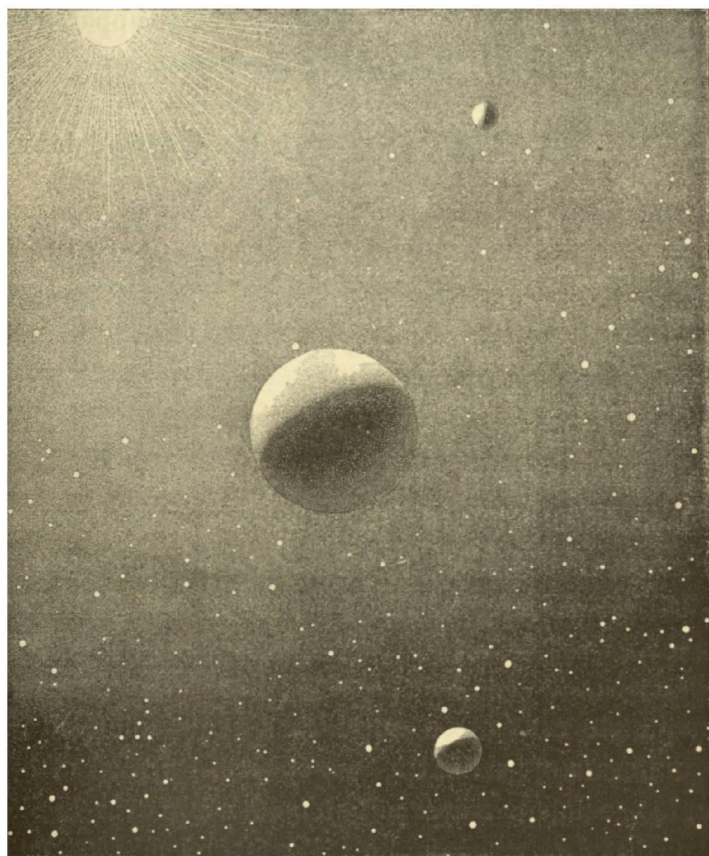


Fig. 50. — Isolement de la Terre dans l'espace.

a la forme d'un cercle qui entoure l'observateur. Si ce dernier se déplace, le cercle se déplace aussi, mais sa forme persiste et ne paraît se modifier que lorsque des montagnes, des obstacles d'une certaine hauteur viennent à borner la vue. En pleine mer, la forme circulaire de l'horizon est plus nette encore et ne change qu'auprès des côtes, dont le profil en vient rompre

la régularité. Voilà déjà un premier aperçu sur la rondeur de la Terre, puisque la sphère est le seul corps qui se présente toujours à nos yeux sous la forme d'un cercle, quel que soit le point de vue extérieur d'où on l'examine. D'ailleurs, on ne peut pas dire que l'horizon soit formé par la limite de la vue distincte, et que c'est là ce qui lui donne l'apparence d'une ligne circulaire, puisque le cercle s'agrandit lorsqu'on s'élève verticalement au-dessus du sol de la plaine.

Jetez les yeux sur le dessin suivant (fig. 51), dans lequel

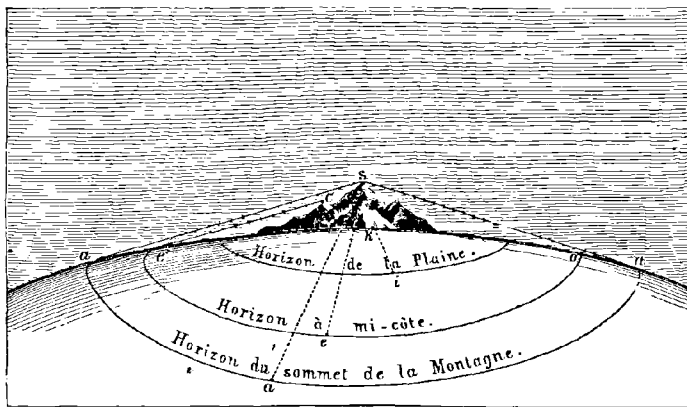


Fig. 51. — Courbure des continents. — Horizons d'un même lieu, à diverses altitudes

une montagne est figurée au milieu d'une plaine dont la courbure uniforme appartient à une sphère. Du pied de la montagne, le spectateur n'aperçoit qu'un horizon très-limité, dont le rayon est ik par exemple. S'élève-t-il à mi-côte, en c , son rayon visuel s'étend, plonge au-dessous du premier horizon et découvre un espace circulaire plus étendu, $oe e'$. Au sommet S de la montagne même, l'horizon s'agrandit encore, et si l'atmosphère est pure, le spectateur verra de nombreux objets apparaître, là où, dans les stations inférieures, son regard ne rencontrait que l'azur du ciel. Cette extension de l'horizon serait inexplicable, si la Terre avait la forme d'un plan indéfini.

La courbure de la surface des mers se manifeste d'une façon plus sensible encore. Supposez-vous placé sur la côte, au sommet d'une tour élevée, d'un monticule ou d'une falaise. Un navire apparaît à l'horizon : vous ne voyez que le haut des mâts, les voiles les plus élevées ; les basses voiles et la coque sont invisibles. A mesure que le navire s'approche, ses parties inférieures sortent de derrière l'horizon, et bientôt il apparaît

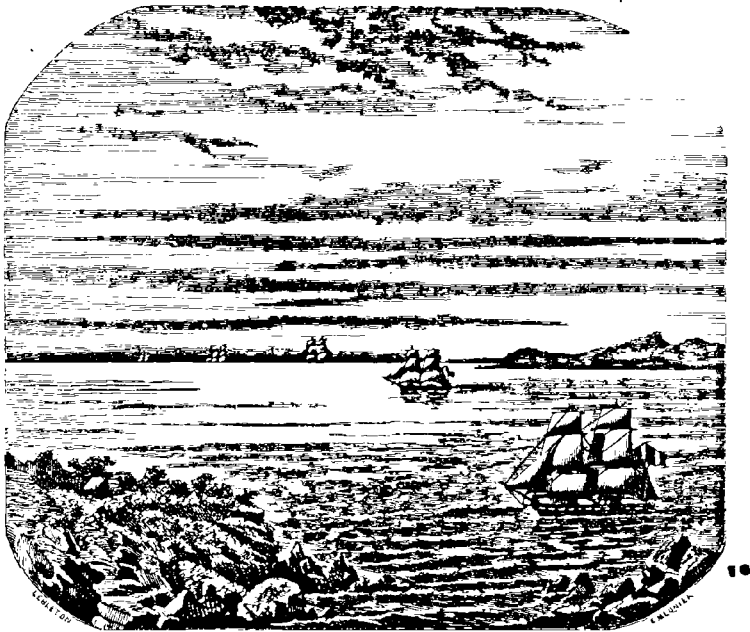


Fig. 52. — Courbure de la surface des mers.

tout entier (fig. 52). Ce fait de l'apparition successive, à la surface de la mer, des diverses parties d'un objet visible, en commençant par les plus élevées, se manifeste de la même façon pour les marins qui, du navire, observent la côte. L'explication en est rendue très-sensible dans le second croquis (fig. 53), où la marche du navire, vue de profil, est figurée sur la surface convexe de la mer.

Comme la courbure de l'Océan est la même dans toutes les

directions, c'est que la Terre a vraiment la forme d'une sphère, ou du moins n'en diffère que très-peu.

Mentionnons encore deux preuves d'un autre ordre, qui, de même que les précédentes, sont plus intéressantes comme faits



Fig. 53. — Courbure des mers. — Explication des divers aspects d'un navire qui s'approche des côtes.

que comme éléments de conviction pour le lecteur. Qui pourrait douter aujourd'hui de la rondeur de la Terre, de son isolement dans l'espace, après tant de voyages de circumnavigation¹, dans tous les sens, après le témoignage journalier du mouvement des astres, se couchant d'un côté à l'horizon pour reparaitre au bout de vingt-quatre heures, au côté opposé? Voici néanmoins ces preuves.

Une des étoiles de la partie boréale du ciel, l'étoile Polaire — nous en reparlerons plus loin — reste à peu près immobile et à la même hauteur dans le ciel au-dessus de l'horizon d'un lieu déterminé. Or, quand on s'éloigne dans la direction du

1. Le premier voyage de circumnavigation a été effectué, comme on sait, par un célèbre navigateur portugais, Ferdinand Magellan. Le 20 septembre 1519, il s'embarqua sur l'Océan, d'un des ports de Portugal, et se dirigeant vers l'Occident, il parvint au continent américain récemment découvert. L'absence d'un passage qui lui permit de continuer sa route vers l'Occident le détermina à côtoyer l'Amérique dans la direction du sud, à doubler son extrémité méridionale par le détroit qui porte son nom, et à poursuivre sa navigation vers l'ouest. Il traversa la Mer du Sud, et mourut dans les Philippines, avant d'aborder aux îles Moluques; mais le navire qui le portait, continuant sa route, finit par entrer en Europe comme s'il venait de l'Orient, après avoir achevé le tour entier du globe terrestre.

Depuis, des voyages semblables se sont effectués fréquemment, tant par terre que par mer, et la rondeur de la Terre ainsi que son complet isolement dans l'espace sont devenus des vérités familières qui fournissent de nouvelles preuves de la ressemblance du globe que nous habitons avec les autres planètes du monde solaire.

Midi, cette étoile s'abaisse peu à peu, tandis qu'elle s'élève au contraire de plus en plus, si l'on s'avance vers le Nord. C'est là un fait qui trouve son explication toute naturelle dans la convexité de la surface de la Terre. Voudrait-on considérer ce changement de hauteur comme le résultat d'un rapprochement ou d'un éloignement réel du voyageur, relativement à l'étoile observée ? Quand on saura à quelles distances les étoiles se trouvent de la Terre, on comprendra que le déplacement de l'observateur est pour ainsi dire infiniment petit, comparé à la distance de la Polaire, et ne peut en aucune façon rendre compte du mouvement apparent de l'étoile.

D'ailleurs, si, au lieu de marcher du Nord au Sud, c'est de l'Est à l'Ouest que l'observateur se déplace, la Polaire paraîtra toujours au même point du ciel rapporté à l'horizon mobile, à la même hauteur au-dessus de cet horizon. Mais alors, c'est l'heure du lever et du coucher des étoiles qui variera, ainsi que cela doit être, si la courbure de la surface terrestre existe en tous sens, et si, comme on le sait d'ailleurs, notre globe exécute chaque jour une rotation entière autour d'un de ses diamètres ¹.

1. Nous venons de dire que la rondeur de la Terre et son isolement dans l'espace sont des faits qui ne rencontrent plus guère aujourd'hui de contradicteurs. Mais parmi ceux qui acceptent ces vérités comme irrécusablement démontrées par la science, il en est beaucoup néanmoins qui ne se font pas une idée bien juste de leur possibilité. Ils se demandent comment il se fait que la Terre puisse ainsi rester suspendue sans soutien, et comment les habitants et les objets isolés qui recouvrent sa surface peuvent se maintenir en équilibre sur les *côtés* et en *dessous* du globe. Ces objections que les personnes étrangères aux sciences mathématiques et physiques ont de la peine à écarter tout à fait de leur esprit, viennent de la fausse idée qu'on se fait de la chute des corps.

Qu'est-ce que tomber ? A la surface de la Terre, ce phénomène a une signification très-nette. Un corps pesant, plus lourd que le volume d'air qu'il déplace, abandonné à lui-même, se précipite de haut en bas dans la direction de la verticale du lieu. On connaît les lois de ce mouvement, et l'on sait que la chute des corps est due à une *action constante de la masse de la Terre*. Cette action a lieu comme si toute cette masse, réunie au centre de la sphère terrestre, attirait les corps situés à sa surface ou en dehors.

Or l'attraction de la Terre s'exerce du centre sur tous les points de la péri-

Enfin, dans les éclipses de Lune, la forme de l'ombre de la Terre, à mesure qu'elle envahit et obscurcit le disque brillant de l'astre, est toujours celle d'un segment de cercle, autre preuve concluante de la rondeur de notre planète.

Toutes les preuves que nous venons de passer en revue ne témoignent que d'une chose, c'est que la Terre a la forme d'une boule, mais elles sont insuffisantes pour déterminer rigoureusement cette forme. Est-ce une sphère parfaite — abstraction faite, bien entendu, des rugosités de la surface, montagnes, collines, etc.? — Ou bien, est-ce un autre solide géométrique et régulier tel qu'un ellipsoïde de révolution¹, ou phérie, et la direction de cette force est toujours celle de la verticale de chaque point.

La Terre étant sphérique, la verticale, quand on passe d'un horizon à un

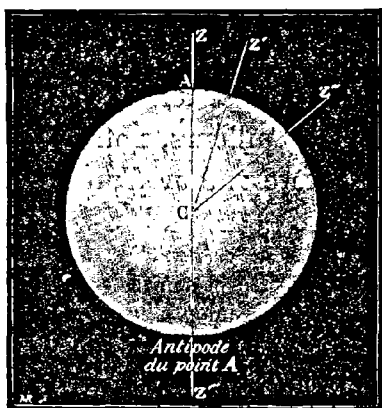


Fig. 54. — La Terre attire vers son centre tous les corps situés à sa surface. Antipodes.

autre, s'infléchit insensiblement sans que nous ayons conscience de son changement de direction. Ce changement n'en est pas moins réel, mais le haut et le bas étant deux notions toutes relatives, et qui, sur chaque horizon, sont nécessairement rapportées par nous à la verticale même, nous nous considérons toujours comme placés au sommet de la sphère. Et comme tous les corps pesants se trouvent pressés, en vertu de l'attraction terrestre ou de la pesanteur, contre la surface du globe en chacun de ses points, il en résulte qu'il n'y a, pour une sphère comme la Terre, ni haut, ni bas, ni côtés.

Chaque point de notre globe a son *antipode*, c'est-à-dire un point diamé-

tralement opposé, dont l'horizon est parallèle au sien, mais dont les verticales sont précisément dirigées en sens contraires. Après ce que nous venons de dire, on ne s'étonnera plus que les habitants de nos antipodes semblent avoir, relativement à nous, les pieds en haut, la tête en bas. Le centre commun d'attraction C agit sur les uns et les autres de la même manière, et retient les corps à la surface par leur poids même.

Enfin, c'est la même pression qui, tout autour du globe terrestre, retient les eaux de l'Océan et les couches fluides de l'atmosphère, de sorte que la mer, les continents et l'air forment avec les couches internes de la Terre une seule masse arrondie dans tous les sens et entourée de toutes parts par le ciel.

1. Solide formé par la révolution d'une moitié d'ellipse autour d'un de ses axes.

enfin un sphéroïde plus ou moins irrégulier? En outre, quelles sont ses véritables dimensions?

Pour résoudre ce dernier et intéressant problème, on a commencé par supposer la Terre parfaitement sphérique. Chaque méridien — ligne idéale tracée à la surface et enveloppant le globe en passant par les deux pôles — se trouverait alors être un cercle, et, pour en avoir les dimensions totales, il suffisait d'en mesurer un arc qui soit une fraction connue du cercle, un arc d'un degré par exemple. Les anciens l'avaient tenté : ainsi Ératosthènes mesura la différence de latitude de Sienna et d'Alexandrie, et, de la distance connue de ces deux villes, il conclut que la circonférence de la Terre était de 250 000 stades, environ 45 millions de mètres. Posidonius, Ptolémée trouvèrent des résultats un peu inférieurs. Dans les temps modernes, le médecin Fernel (1550) est le premier qui ait entrepris de mesurer la longueur d'un degré du méridien. Il munit d'un compteur l'une des roues de sa voiture, et ayant parcouru la distance qui sépare Amiens de Paris, il trouva 57 070 toises pour la longueur du degré.

Vers 1615, Snellius mesura un arc de méridien terrestre à l'aide de la méthode employée de nos jours. Cette méthode consiste à mesurer avec un grand soin une base, ou ligne tracée horizontalement sur le terrain, à regarder cette base comme le côté d'un premier triangle dont on mesure les angles à l'aide d'un cercle gradué, et à construire successivement une série ou chaînes de triangles, tous reliés les uns aux autres dans la direction du méridien. Quand on connaît tous les éléments de ces triangles, on en déduit par le calcul les portions successives de la méridienne qui les traversent, et par suite la longueur totale de l'arc de méridien compris entre les stations extrêmes.

En 1769, Picard trouva 57 060 toises pour la longueur du degré, en mesurant une suite de triangles compris entre Malvoisine et Amiens. Parmi les nombreuses mesures d'arc de

méridien qui eurent lieu par la suite, citons celles de Bouguer, Lacondamine et Godin, qui mesurèrent, au Pérou, près de l'équateur, un arc d'un degré, pendant qu'une expédition ayant Maupertuis à sa tête en mesurait un autre en Laponie; celles de Delambre et Méchain, qui calculèrent la longueur de la portion de la méridienne de Paris comprise entre Dunkerque et Barcelone. Arago et Biot prolongèrent ensuite cet arc jusqu'à Formentera, l'une des îles Baléares. Enfin de nombreux travaux du même genre ont été exécutés depuis et s'exécutent encore en différentes contrées.

La plupart de ces mesures s'accordent sur ce point :

Les divers degrés d'un même méridien ne sont pas d'égales longueurs ; la Terre n'est donc pas rigoureusement sphérique. De plus, ces diverses longueurs vont en croissant constamment de l'équateur aux pôles, ainsi qu'il résulte du tableau suivant, donnant les longueurs d'un arc d'un degré à diverses latitudes :

Lieux où les degrés ont été mesurés.	Latitudes.	Longueurs en mètres de l'arc d'un degré.
Pérou.....	1° 31'	110 582 ^m
Bengale.....	12° 32'	110 631
Indes orientales.....	22° 37'	110 668
France et Espagne...	46° 8'	111 143
Angleterre.....	52° 2'	111 224
Russie.....	56° 25'	111 360
Laponie.....	66° 20'	111 477

La conséquence de cet accroissement de longueur des degrés est que la Terre est aplatie vers les pôles¹, c'est-à-dire que les méridiens, au lieu d'être des circonférences de cercle, sont des courbes qui approchent beaucoup de la forme d'une ellipse,

1. Il importe de se mettre en garde ici contre l'opinion erronée que quelques auteurs non géomètres (Bernardin de Saint-Pierre par exemple) ont émise comme une conséquence de l'inégalité de longueur des degrés du méridien. Pour eux, la Terre doit être allongée aux pôles. La raison de cette erreur provient de ce qu'ils regardaient à tort les verticales successives comme concourant au centre, et alors ils en concluaient que le rayon de l'équateur est inférieur à celui

ainsi que l'indique la figure 55, l'aplatissement étant du reste ici très-exagéré. La ligne des pôles, ou l'axe de la Terre, est le plus petit diamètre commun à toutes ces ellipses méridiennes, et leurs plus grands diamètres forment les différents rayons du cercle de l'équateur. Disons maintenant quelles sont les dimensions du sphéroïde terrestre. Le rayon de l'équateur est de 6377 kil. 4 selon Bessel et Airy, de 6378 kil. 2 selon l'*Annuaire du Bureau des longitudes*. Le rayon polaire me-

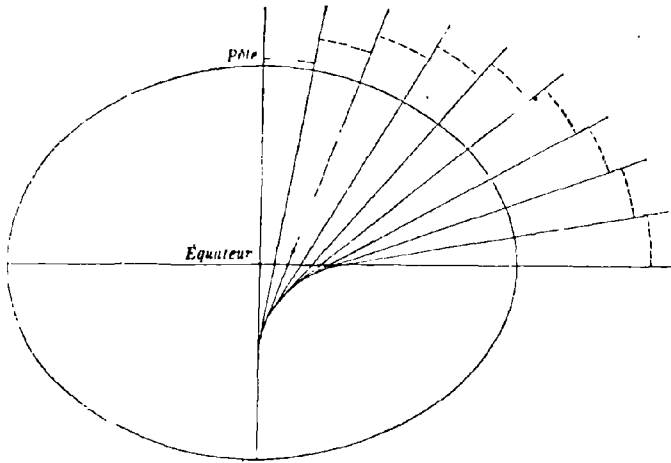


Fig. 55. — Forme elliptique des méridiens terrestres.

sure 6356 kil. 1 selon les premiers, 6356 kil. 6 d'après la dernière autorité. La dépression à chaque pôle est donc un peu plus de 21 kilomètres, nombre qui mesure aussi l'épaisseur du bourrelet ou renflement équatorial.

C'est le rapport numérique entre la différence du rayon du pôle et du rayon de l'équateur d'une part, et ce dernier rayon d'autre part, qui constitue ce qu'on nomme l'*aplatissement* du

des pôles, puisque l'arc d'un degré s'y trouve plus petit. Mais la géométrie prouve au contraire, et la figure 55 en fait foi, que c'est près du grand diamètre de l'ellipse que la courbure est la plus prononcée, de sorte qu'il faut faire un moindre chemin sur les parties du méridien voisines de l'équateur, pour que les verticales s'écartent d'un degré, que sur les parties plus rapprochées du pôle.

sphéroïde terrestre. Si l'on adopte les nombres calculés par Airy et Bessel, on trouve $\frac{1}{299}$ pour l'aplatissement ; on obtient un nombre un peu plus fort, égal à $\frac{1}{294}$, si l'on prend ceux du *Bureau des longitudes*. Telle est l'inégalité la plus grande qui différencie le globe de la Terre d'une sphère parfaite. A la distance des planètes les plus voisines, cette inégalité échapperait sans doute aux mesures les plus délicates. Pour nous faire une idée exacte de ce qu'est l'aplatissement polaire, représentons-nous la Terre sous la forme d'un globe de 1 mètre de diamètre : la dépression de chaque pôle y sera de 1^{mm},66 seulement ; il s'en faudra donc de 3^{mm},33 que le diamètre polaire égale le diamètre de l'équateur. L'œil aurait certainement de la peine à reconnaître, à plus forte raison à apprécier, une si faible différence relative.

Que deviennent, à cette échelle, les irrégularités produites par les montagnes et les vallées, que devient la saillie des continents au-dessus du niveau des mers ? Le calcul est facile. Le Kunchinjunga et le Gaurisankar, ces colosses de l'Himalaya, les plus hautes montagnes connues de notre globe, ne s'élèveraient sur une sphère de cette grosseur que des sept dixièmes d'un millimètre, le Mont Blanc, à guère plus d'un tiers. Les chaînes de montagnes de hauteur moyenne, les collines et les vallées seraient comme invisibles. Les plus grandes profondeurs de l'Océan n'entameraient pas la surface de plus d'un millimètre, et l'enveloppe aérienne qui sous le nom d'atmosphère entoure notre globe ne formerait pas une couche de 5 millimètres de hauteur (de 30 millimètres, si l'on adopte les évaluations les plus récentes). La figure 56 fait voir sur une plus grande échelle les dimensions relatives de la hauteur des montagnes et de l'atmosphère, de la profondeur de l'Océan et de l'épaisseur présumée de l'écorce terrestre¹. Pour

1. La hauteur de l'atmosphère est loin d'être connue avec quelque exactitude. En se fondant sur les limites des phénomènes crépusculaires, on évaluait cette hauteur à 60 kilomètres environ. D'après M. LiAIS, elle serait beaucoup

obtenir ces dimensions, il faudrait donner exactement au globe terrestre un diamètre de $12^m,75$.

On a souvent comparé les inégalités de la surface de la Terre aux rugosités de la peau d'une orange. On peut voir, par les comparaisons qui précèdent, combien cette assimilation est grossière. Notre globe, réduit aux dimensions d'une orange, ne laisserait plus voir à l'œil nu aucune trace de saillies ni de dépressions ; il n'offrirait plus aucun indice sensible de déformation ni d'aplatissement.

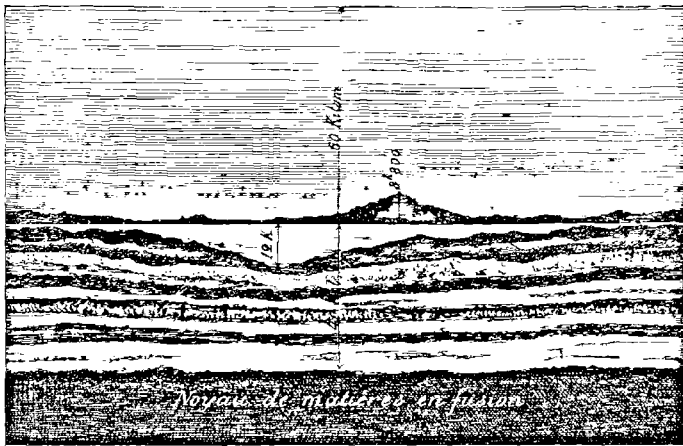


Fig. 56. — Hauteurs comparées de l'atmosphère et des montagnes. Profondeur des mers, et épaisseur présumée de la croûte solide de la Terre.

Des mesures géodésiques nombreuses ont permis de connaître d'autres inégalités de la forme de la Terre. Ainsi, on croit pouvoir assurer que les ellipses méridiennes ne sont pas toutes égales entre elles, ni toutes régulières, et il paraît aussi certain que l'aplatissement n'est pas le même à chaque pôle. Quant à

plus considérable et atteindrait 340 kilomètres (*Comptes rendus* de l'Académie des sciences, janvier 1859). L'inflammation des bolides à des hauteurs considérables au-dessus de la surface de la Terre paraît confirmer cette extension de l'enveloppe gazeuse de notre planète.

Quant à l'épaisseur de l'écorce solide, évaluée à 40 kilomètres, c'est une simple conjecture déduite de la loi observée de l'accroissement de la température des couches du sol avec la profondeur.

l'équateur, que nous avons jusqu'ici supposé de forme circulaire, il est lui-même elliptique. Son grand axe mesure 12 756 kil. 5, son petit axe 12 753 kil. 5 ; ce qui fait une différence de 3 kilomètres entre les deux diamètres, ou un aplatissement égal à $\frac{1}{4252}$, 14 fois moindre que l'aplatissement polaire¹.

Ainsi, en définitive, la forme réelle de la Terre est celle d'un ellipsoïde irrégulier à trois axes principaux d'inégales longueurs.

L'étude de la structure de la Terre, des configurations du sol, des cours d'eau et des mers, des phénomènes généraux de son atmosphère², de la constitution géologique de son écorce et de celle du noyau intérieur sous-jacent, présente le plus haut degré possible d'intérêt. Mais une telle étude sort du cadre d'un ouvrage ayant pour objet la description du ciel. Je ne ferai que rappeler l'opinion, aujourd'hui généralement admise, de la fluidité primitive de notre planète, parce que cette hypothèse trouve sa confirmation astronomique dans l'aplatissement mesuré par les géomètres. Il est en effet démontré par les lois de la mécanique qu'une masse fluide, animée d'un mouvement de rotation, tend à prendre la forme d'un sphéroïde ou d'un ellipsoïde de révolution, aplati aux extrémités mêmes de l'axe autour duquel s'effectue le mouvement. Parmi les planètes qui nous restent à explorer, nous en trouverons plusieurs qui présentent, comme la Terre, une forme sphéroïdale, mais avec des aplatissements beaucoup plus considérables à leurs pôles. Or, leur mouvement de rotation est précisément beaucoup plus rapide.

1. Voici la position des sommets des axes de l'ellipse équatoriale :

Sommets du grand axe.	{	12° 3' Long. E. (Congo.)
	{	192° 3' Long. E. (Iles Sandwich.)
Sommets du petit axe.	{	102° Long. E. (Archipel de la Sonde.)
	{	78° Long. O. (Isthme de Panama.)

2. Renvoyons, pour le développement de ces divers sujets de géographie physique, au savant et éloquent ouvrage que vient de publier M. Elisée Reclus, *LA TERRE, description des phénomènes de la vie du globe*.

Un mot encore sur la forme et les dimensions de la Terre.

On se fera une idée de la courbure de la surface du globe sur une étendue limitée de pays, par les résultats suivants : un voyageur qui part d'un point donné et s'en éloigne, s'abaisse en réalité de plus en plus au-dessous de l'horizon de ce point. Quand il aura parcouru 111 kilomètres, longueur d'un degré, il se trouvera à 971 mètres au-dessous du point de départ, abstraction faite des différences de niveau provenant de la pente ou des inégalités du terrain. L'horizon de Paris, prolongé jusqu'à Marseille, planerait au-dessus de cette ville à une hauteur de plus de 30 000 mètres, ou de 7 lieues et demie.

En raison de l'aplatissement des pôles, la circonférence d'un méridien est plus courte que celle de l'Équateur d'environ 67 kilomètres. La première mesure 40 003 414 mètres; la seconde, 40 070 376 mètres.

Il résulte des nombres qui précèdent, que la surface de la Terre entière est d'environ 510 millions de kilomètres carrés. Comme celle de la France est de 54 millions d'hectares, elle n'est guère plus de la millième partie de la surface totale (environ la 940^e partie). De cette immense étendue, les mers réunies embrassent plus des trois quarts¹, l'autre quart comprend les terres, les continents et les îles. Or, il est curieux de voir que tout un hémisphère du globe terrestre renferme les terres, tandis que l'autre hémisphère est presque tout entier occupé par les eaux. Prenez un globe, placez-le de manière qu'il se présente à vous, avec Paris pour point central, et éloignez-vous à distance. Vous apercevrez sur l'hémisphère tourné vers vous, l'Europe, l'Asie et l'Afrique entières, l'Amérique du Nord et une partie de l'Amérique du Sud. Placez-vous au contraire à l'opposé, en face des antipodes de Paris, et sauf la Nouvelle-Hollande et la pointe inférieure de l'Amérique

i. Mers, 383 260 000 kil. carrés: terres, 126 640 000 kil. carrés.

méridionale, vous verrez un hémisphère presque entièrement couvert par l'Océan, çà et là parsemé de petites îles.

L'un des dessins de la planche VI peut donner une idée de cette distribution des parties solides et liquides de la surface terrestre.

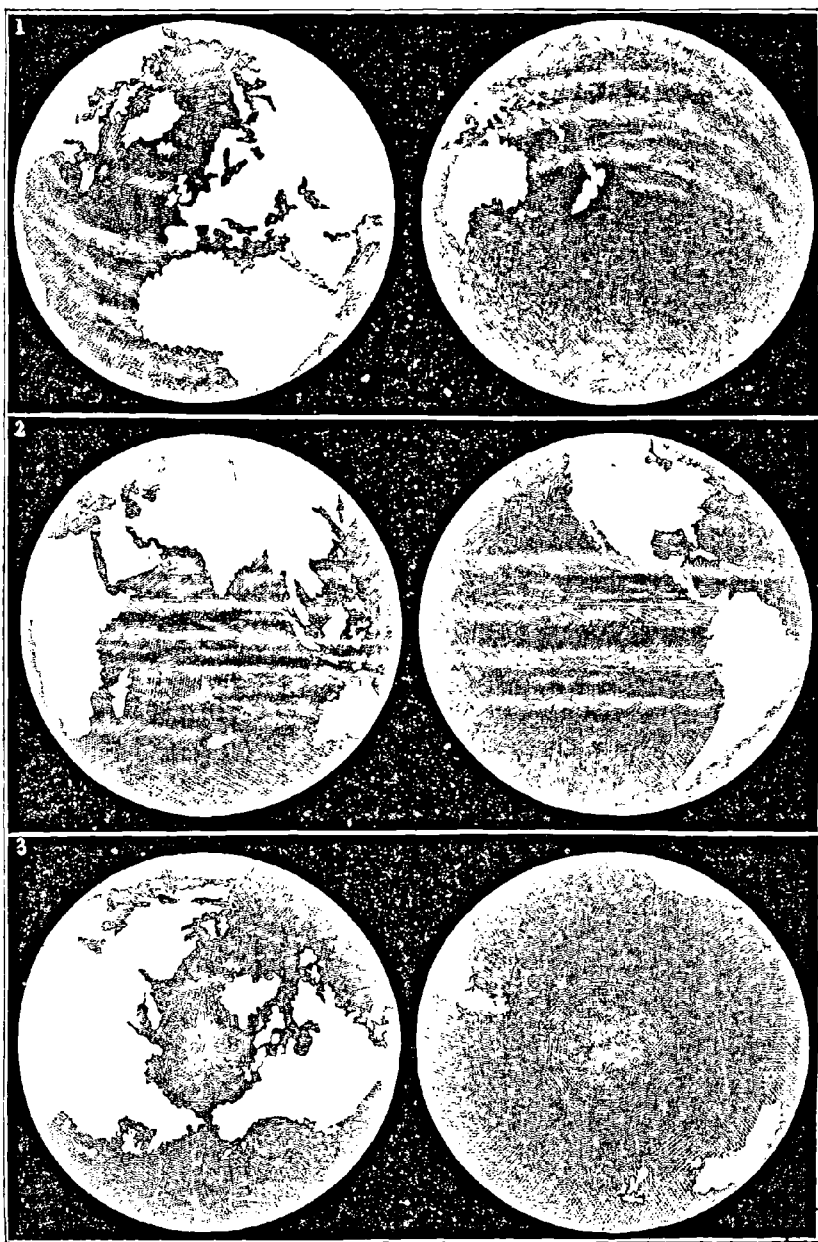
Si de l'évaluation de la surface du globe, on passe à celle du volume et du poids, on arrive à des nombres dont il est difficile de se faire une idée juste, tant ils s'élèvent au-dessus de nos appréciations habituelles.

Concevons un volume cubique de mille mètres en longueur, largeur et hauteur : c'est ce qu'on nomme un kilomètre cube. Le sphéroïde terrestre contient plus de mille milliards de volumes pareils ! (1 083 000 000 000). Des expériences et des calculs, dans le détail desquels il serait trop long d'entrer, ont établi la densité moyenne de la matière qui forme la Terre : nous disons la densité moyenne, parce que les différentes couches sont spécifiquement d'autant plus lourdes, que de la surface elles approchent plus du centre. Cette densité est telle, qu'à égalité de volume, la matière terrestre pèse près de cinq fois et demie autant que l'eau (5,44). On évalue au double la densité des parties centrales.

De là, pour le poids de la Terre entière, le nombre énorme de : 5 875 000 000 000 000 000 tonnes de mille kilogrammes.

L'enveloppe aérienne entourant le globe à une hauteur qui n'est pas encore exactement connue, mais qui dépasse probablement 100 kilomètres, ne pèse pas moins de 5 263 000 000 000 000 tonnes ; c'est le poids d'une sphère de fer fondu mesurant 216 kilomètres de diamètre, ce n'est pas même cependant la millionième partie (la 1 116 000^e) du poids de la Terre solide et liquide.

Telles sont les dimensions, telle est la masse de la planète qui nous sert de demeure. Que sont en comparaison, et



LA TERRE VUE DE L'ESPACE.

1° Hémisphère terrestre et hémisphère maritime; 2° la Terre vue en face de l'Équateur,
3° Hémisphères vus en face des pôles.

considérées sous l'unique point de vue de la matière, les œuvres du travail humain, individuel et collectif ?

Cependant, cette sphère qui nous paraît si colossale n'est qu'un grain de sable vis-à-vis de notre étoile centrale, qu'une des moyennes planètes du système solaire, qu'un point perdu dans l'espace occupé par le monde qui les comprend toutes. Quelle idée devons-nous donc nous faire de la profondeur des espaces célestes, lorsque, nous élançant plus tard hors du groupe dont la Terre fait partie, nous verrons que ce vaste ensemble n'est lui-même qu'un atome au sein de l'univers visible.

Nous venons de parler du poids total de l'atmosphère : c'est un point de pure curiosité. Mais la pression que cette masse fluide exerce sur chaque partie du sol, sur les êtres organisés qui s'y développent ou s'y meuvent, sur les liquides et les vapeurs, est d'une importance extrême pour la constitution de ces êtres et pour les conditions physiques du milieu qui les renferme. La densité de l'atmosphère, la loi de la décroissance de cette densité, des couches inférieures aux couches supérieures, sont autant de faits qui ont un intime rapport avec la température du sol à ses diverses altitudes, avec les climats, et par suite avec la distribution de la vie végétale et animale à la surface¹.

D'autre part, il y a une relation non moins étroite entre la constitution de l'enveloppe gazeuse dans le sein de laquelle nous sommes plongés, et la façon dont les rayons de lumière en traversent l'épaisseur.

Tout le monde sait qu'un rayon lumineux se propage en ligne droite, toutes les fois qu'il traverse un milieu homogène, c'est-à-dire d'une densité invariable en tous ses points. L'objet que ce rayon lumineux nous fait voir est en ce cas

1. Voyez LA TERRE, par Elisée Reclus ; II^e partie : *l'Océan, l'atmosphère, la vie.*

dans une direction précisément rectiligne. Il est là où l'œil nous le fait voir. Si, au contraire, avant d'arriver à l'œil de l'observateur, le rayon lumineux a dû traverser des milieux de densités différentes, et dans une direction oblique, chaque changement de densité l'a dévié de sa route. Lorsqu'il pénètre dans l'œil, la déviation totale est cause que l'objet ne paraît plus dans la direction vraie du point qu'il occupe. Son image ou sa position apparente n'indique plus sa position réelle. Ce phénomène de déviation a lieu dans l'atmosphère, où il prend le nom de *réfraction atmosphérique*. On com-

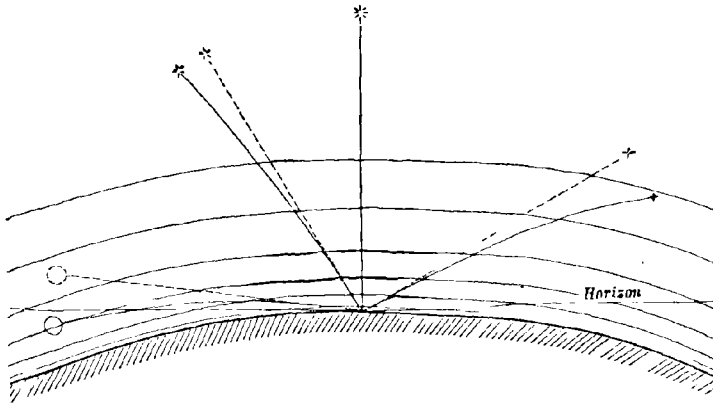


Fig. 57. — Réfraction atmosphérique; ses effets sur la position des astres dans la voûte céleste.

prend de quelle importance est la réfraction pour les observations astronomiques, puisque tous les astres se trouvent ainsi déplacés, et que l'erreur résultant de ce déplacement n'est pas la même en tous les points de la voûte céleste : elle est d'autant plus considérable, que les couches traversées sont plus épaisses ou se présentent plus obliquement aux rayons lumineux. Tous les astres se trouvent de la sorte inégalement relevés, rapprochés du zénith.

Il résulte de là une conséquence assez bizarre, c'est que le Soleil ou la Lune sont encore mathématiquement couchés, c'est-à-dire se trouvent réellement au-dessous du plan de

l'horizon, que déjà leurs disques entiers sont visibles. La durée du jour est donc directement augmentée par la réfraction. Le même phénomène a lieu le soir. Mais la réfraction prolonge cette durée, alors même que le Soleil a disparu pour la vue. Les couches supérieures de l'atmosphère sont encore illuminées, quand la surface du sol est déjà dans l'ombre. Elles réfléchissent vers la Terre une portion de cette lumière, de manière à nous faire passer du jour à la nuit par des gradations insensibles. Telle est la cause du crépuscule du soir. Un phénomène semblable produit l'aurore avant le lever du Soleil. Enfin la durée des crépuscules et des aurores varie suivant les saisons et suivant les latitudes.

Non-seulement la position apparente des astres est altérée par la réfraction de l'atmosphère¹, mais, pour la même raison, leur forme même s'en trouve modifiée. Cela est surtout vrai pour les disques du Soleil et de la Lune. La réfraction, dont l'intensité est croissante à mesure qu'on s'approche plus de l'horizon, relève davantage les parties inférieures du cercle lumineux, de sorte que l'astre, déjà aplati dans sa moitié supérieure, l'est plus encore dans sa moitié la plus basse. C'est cette déformation que nous avons constatée en parlant de la forme du disque solaire, et que nous avons représentée dans les figures 1 et 2 de cet ouvrage (pages 22 et 23).

Ajoutons, pour terminer ce que nous avons à dire de l'enveloppe gazeuse dont notre planète est entourée, que l'atmosphère, en disséminant de tous côtés la lumière du Soleil, interpose entre les astres et la Terre un rideau lumineux qui voile pendant le jour la voûte étoilée. Sans cette lumière

1. Des tables de correction ont été calculées pour les diverses hauteurs; ces tables permettent de trouver la position vraie d'un point lumineux, quand on en connaît par l'observation la position apparente. Néanmoins, on évite d'observer trop près de l'horizon, et l'on attend que l'astre, en vertu de la rotation diurne, ait atteint une hauteur suffisante, ou même son maximum de hauteur, au moment de la culmination ou du passage supérieur au méridien : de cette façon, les images télescopiques sont aussi beaucoup plus nettes.

diffuse, le ciel, au lieu de cette teinte azurée que nous lui connaissons, présenterait un fond noir sur lequel les étoiles se détacheraient et brilleraient en plein jour.

§ 2. Mouvement de rotation de la Terre. — Son uniformité, sa durée. — Différence entre les jours sidéraux et les jours solaires. — Vitesses de rotation à diverses latitudes. — Ce qu'il arriverait si la rotation venait à cesser brusquement. — Preuves du mouvement de rotation : invariabilité des pôles de la Terre.

La Terre tourne autour du diamètre de ses pôles en 86 164 secondes de *temps moyen* : la durée d'une rotation entière est donc plus courte de 236 secondes que celle du *jour moyen* de 24 heures. C'est cette durée qui constitue le *jour sidéral*, la base fondamentale de la mesure du temps en astronomie, le régulateur du temps civil.

Tout le monde connaît le phénomène du *mouvement diurne*, mouvement apparent du ciel étoilé par lequel se manifeste le mouvement réel de notre globe sur son axe : lever et coucher du Soleil, de la Lune et d'un grand nombre d'étoiles ; arcs décrits d'un mouvement uniforme autour d'un point du ciel qui semble immobile et qui reste situé à une hauteur constante sur chaque horizon. Personne n'ignore que le mouvement apparent dont nous parlons ayant lieu de l'Orient vers l'Occident, le sens de la rotation terrestre est précisément contraire, et s'effectue dès lors d'Occident en Orient. Mais ce qui est moins connu, c'est la raison de la différence de durée qui existe entre le jour sidéral et le jour solaire ; ce qu'on sait moins, c'est que, tandis que le jour sidéral conserve sa durée constamment la même¹ pendant une longue suite de siècles, les jours solaires d'une même année sont inégaux

1. On verra plus loin, toutefois, que l'invariabilité de la vitesse du mouvement de rotation de la Terre n'est pas absolue ; mais il faudra des milliers d'années avant que le changement soupçonné devienne directement appréciable.

en longueur. Entrons dans quelques détails sur le premier point; nous aurons bientôt l'occasion d'insister sur le second.

Supposons une pendule bien réglée, c'est-à-dire marchant uniformément, n'importe d'ailleurs l'heure qu'elle marque. Puis, à l'aide d'une lunette dont l'axe est fixé dans le plan méridien¹, notons l'instant précis où une étoile vient passer par ce plan, entraînée qu'elle est par le mouvement diurne. Cette étoile va être notre point de repère pour mesurer la durée du jour sidéral ou de la rotation de la Terre. La lunette restant dans la même position, les deux nuits suivantes, puis plusieurs nuits de suite si bon nous semble, nous noterons de même les instants du passage de l'astre au méridien. La comparaison des temps écoulés nous conduira à cette conséquence, qu'ils sont toujours rigoureusement égaux d'une rotation à l'autre; que tous les jours sidéraux sont de même longueur, quelle que soit d'ailleurs l'étoile qu'on ait choisie, pourvu que ce ne soit ni le Soleil, ni la Lune, ni une planète : cette longueur est 86164 secondes ou 23 heures 56 minutes 4 secondes, si la pendule a été réglée sur le temps moyen que nous allons bientôt définir.

Que maintenant, par la même méthode, on compare les intervalles qui s'écoulent entre les passages successifs du centre du Soleil au méridien, on constate les deux résultats suivants : 1° ces intervalles ne sont pas rigoureusement égaux entre eux, et, comme c'est à leurs durées qu'on donne le nom de *jours solaires*, on en conclut que les jours solaires d'une même année sont inégaux; 2° le Soleil est plus long à revenir au méridien que l'étoile; en moyenne, le retard de chaque jour est de 3 minutes 56 secondes (temps moyen); autrement dit, la durée moyenne d'un jour solaire est de 24 heures.

- 1. On appelle *méridien* d'un lieu de la Terre le plan vertical, indéfiniment prolongé dans l'espace, qui passe par les points Nord et Sud de l'horizon de ce lieu. Quand une étoile passe au méridien, elle est au point le plus élevé de sa course diurne apparente. De là, le nom de *culmination* donné à ce passage.

Voilà des faits bien constatés, dont il s'agit maintenant de donner l'explication. Disons auparavant que la durée du jour sidéral étant parfaitement constante, tandis qu'il n'en est point ainsi de celle du jour solaire, c'est naturellement la première qui doit servir de régulateur à l'autre, et c'est en effet ce que font les astronomes qui règlent leurs horloges sur le temps sidéral¹.

La raison des phénomènes précédents est très-simple.

La Terre, comme toutes les autres planètes, est animée de deux mouvements principaux : l'un de rotation autour d'un de ses diamètres, l'autre de circulation autour du Soleil. Le mouvement de rotation est uniforme; l'axe autour duquel ce mouvement s'effectue reste parallèle à lui-même tout en se déplaçant dans l'espace avec le sphéroïde auquel il appartient. Rapporté aux étoiles dont la distance est comme infinie, le mouvement de rotation donne lieu aux mêmes apparences que si la Terre restait immobile au milieu de l'espace : l'orbite immense qu'elle décrit autour du Soleil n'étant qu'un point presque imperceptible vis-à-vis des distances stellaires. On reconnaîtra donc qu'une rotation entière s'est effectuée, quand le plan méridien BOA qui contenait, à un moment donné, une certaine étoile située dans la direction BE (fig. 58), est venu après son mouvement de rotation se placer parallèlement à lui-même en A'O'B', de manière à contenir de nouveau l'étoile E. Telle est la durée du jour sidéral.

Mais le jour solaire est plus long, comme on va voir. En effet supposons qu'au même méridien BOA, on ait noté, à midi, le passage du centre du Soleil par son plan, au moment

1. Le jour sidéral se divise, comme le jour solaire, en 24 heures. Chaque heure sidérale contient 60 minutes, chaque minute sidérale 60 secondes. Cette inégalité des jours solaires a fait choisir pour unité du temps civil, un jour fictif, qu'on nomme jour solaire *moyen*, parce qu'il est la moyenne de tous les jours solaires de l'année. C'est ce jour moyen qu'on partage en 24 heures. L'heure moyenne est donc plus longue que l'heure sidérale, laquelle du reste n'est employée, comme le jour sidéral, qu'en astronomie.

où l'on constatait à l'opposé le passage au méridien d'une étoile à minuit. Quand un jour sidéral est écoulé, la Terre ayant parcouru l'arc OO' de son orbite, concave vers le Soleil, le méridien OA s'est placé en $O'A'$ parallèlement à sa direction primitive : il contient bien l'étoile, mais il lui reste à tourner encore d'un certain angle $A'O'S$ pour se trouver de nouveau en coïncidence avec le centre du Soleil. Au fond, la raison de

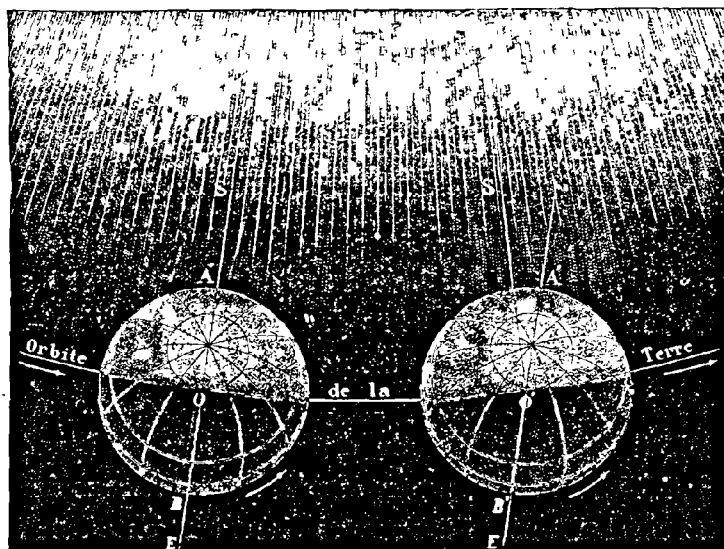


Fig. 58. — Durées comparatives du jour sidéral et du jour solaire.

la différence de durée est, comme on voit, tout entière dans ce double fait : d'une part la distance pour ainsi dire infinie de l'étoile comparée à la distance de la Terre au Soleil, et d'autre part le mouvement de translation de notre planète autour de l'astre radieux.

L'axe polaire, prolongé de part et d'autre du globe, coupe la Terre en deux points qui sont, pour nous, les pôles immo-

1. Cet angle est précisément égal à celui que décrit, en un jour sidéral, la ligne joignant les centres de la Terre et du Soleil, ligne qu'on nomme le *rayon vecteur* de la Terre.

biles du ciel¹. En réalité, par le fait de la translation de la Terre, l'axe décrit, en restant parallèle à lui-même, une surface cylindrique, qui coupe la voûte étoilée suivant une courbe semblable à l'orbite de la Terre : mais les étoiles sont si éloignées que la perspective de cette courbe est de dimensions insensibles. L'axe semble passer toujours par les mêmes points du ciel.

Puisque la Terre a la forme d'une sphère, et qu'elle tourne avec une vitesse angulaire uniforme autour d'une ligne idéale de direction invariable, il doit résulter de ce mouvement des vitesses différentes pour les divers points de sa surface. Aux deux pôles, cette vitesse est nulle; mais des pôles à l'Équateur elle s'agrandit sans cesse, puisque les rayons des cercles décrits par les points successifs d'un méridien, ou si l'on veut les distances à l'axe de rotation, croissent à mesure que ces points sont plus voisins de l'Équateur. En vingt-quatre heures, le cercle décrit par un point du globe situé à la latitude de Paris est parcouru en entier, tout comme le cercle parallèle décrit à la latitude de Reikiawitz en Islande, ou comme l'Équateur décrit par un point des environs de Quito. Or, ces cercles sont de longueurs bien différentes. De là, des vitesses réelles fort inégales, et qui sont : pour Reikiawitz, 202 mètres; pour Paris, 305 mètres; pour Quito, 464 mètres par seconde. C'est, si l'on préfère, 727 kilomètres, 1098 kilomètres et 1670 kilomètres, respectivement parcourus en une heure, par chacun des points du globe qui se trouvent à ces diverses latitudes.

Comment se fait-il, qu'emportés avec une telle vitesse, nous ne nous apercevions point de notre mouvement? C'est que la masse entière du sol, l'atmosphère et les nuages² participent

1. Immobilité relative. Nous verrons qu'en vertu d'un balancement conique de l'axe terrestre, qui produit le phénomène connu sous le nom de *précession des équinoxes*, ces pôles se déplacent lentement d'année en année.

2. Je ne sais quel esprit inventif, sérieux ou plaisant, avait imaginé d'utili-

au même mouvement d'ensemble, et que nous n'avons de point de repère dans aucun objet immobile un peu voisin de nous. Cette vitesse dont tous les corps situés à la surface de la Terre sont animés, et qui va en croissant de chaque pôle vers l'Équateur, donnerait lieu à la catastrophe la plus terrible et la plus générale qu'on puisse imaginer, si par impossible la rotation de la Terre venait à cesser brusquement. Un tel événement serait le signal de la destruction la plus complète de tous les êtres organisés, broyés par un choc formidable ou entièrement consumés; il résulte en effet des calculs d'Helmholtz, que la force de rotation de la Terre convertie en chaleur par un arrêt subit, suffirait à la combustion complète de 15 sphères de houille ayant chacune le volume de notre globe. Ce calcul est bien propre à donner une idée de la prodigieuse quantité de mouvement que possède le globe terrestre en vertu de sa seule rotation; mais la constance des lois de la nature nous laisse sans crainte devant l'hypothèse d'un semblable événement.

Le mouvement de rotation de la Terre, soupçonné par quelques anciens, a été scientifiquement démontré, il y a seule-

ser le mouvement de rotation de la Terre pour le mode de locomotion le plus rapide, le plus simple et le plus économique qu'on puisse concevoir. Il voulait qu'on s'élevât, en ballon par exemple, à une hauteur inaccessible aux courants aériens, condition qui n'est d'ailleurs pas indispensable. Puis, le ballon restant immobile dans cette atmosphère calme, il ne s'agissait plus que d'attendre le moment où la Terre, tournant sous lui, viendrait présenter le pays de destination aux yeux des voyageurs, pour effectuer la descente. Une montre bien réglée, la connaissance exacte des longitudes, il n'en fallait pas davantage pour aborder à coup sûr, à la condition toutefois de ne jamais voyager que de l'est à l'ouest: tout voyage du nord au sud, ou du sud au nord, se trouvant naturellement interdit par la direction de la rotation terrestre. Ce roman n'avait qu'un défaut, c'est de supposer que les couches atmosphériques ne participent pas au mouvement de rotation de la partie solide du globe terrestre. L'inventeur ne s'était pas dit que, dans l'hypothèse d'une atmosphère immobile, pendant que nous tournons à Paris avec une vitesse de 305 mètres par seconde, il devait en résulter, en sens contraire, un vent dix fois plus violent que les ouragans les plus terribles. L'absence d'un tel ouragan aérien n'est-elle pas la preuve expérimentale convaincante de la participation de l'enveloppe atmosphérique au mouvement de rotation de la Terre?

ment trois siècles, par Copernic (1543). Dans son immortel ouvrage des *Révolutions célestes*, le chanoine de Thorn dévoile le véritable système du monde, basé sur l'immobilité relative du Soleil et sur le double mouvement de rotation et de translation de la Terre, enfin rangée au nombre des planètes. Ce n'est pas sans peine que la nouvelle doctrine triompha de ses puissants adversaires, qui du reste ne se contentèrent point de lui opposer leurs arguments, comme le prouve la persécution subie par Galilée (1633). Personne aujourd'hui ne croit plus à l'immobilité de la Terre, et les preuves de la rotation sont si nombreuses et si concluantes, que nous nous contenterons d'en faire une énumération rapide, en renvoyant le lecteur pour les détails aux traités de cosmographie.

Un premier témoignage est celui de l'analogie : nous avons vu le Soleil, Mercure et Vénus, doués de mouvements de rotation : nous verrons bientôt la Lune, Mars, Jupiter, Saturne, tourner aussi autour d'un de leurs diamètres. A cette preuve, il faut joindre l'invraisemblance du mouvement simultané que tous les astres, étoiles, planètes, Soleil devraient effectuer en 24 heures autour de notre globe, s'il était immobile. Un tel mouvement supposerait dans les astres les plus éloignés des vitesses effrayantes et nécessiterait d'ailleurs une concordance dont la seule pensée réduit l'hypothèse à l'absurde : tandis que la Lune parcourrait 23 kilomètres par seconde, le Soleil 9200 kil., Jupiter 4600, Saturne 88 000, l'étoile la plus voisine de notre monde devrait franchir dans le même temps près de 2 milliards de kilomètres, et serait ainsi animée d'une vitesse dépassant 6000 fois la vitesse de propagation des ondes lumineuses.

Viennent ensuite les preuves expérimentales : la déviation orientale, très-petite à la vérité, mais constatée par l'observation, qui a lieu dans la chute d'un corps tombant d'une certaine hauteur sous l'influence de la gravité ; cette déviation est la conséquence de l'excès de vitesse absolue que la rota-

tion terrestre imprime à un corps plus éloigné de son centre. Puis, c'est la déviation apparente du plan d'oscillation d'un pendule librement suspendu en un point, ou du plan de rotation d'un tore ou gyroscope, admirables expériences dues à Léon Foucault.

Citons enfin la forme même du sphéroïde terrestre, forme qu'on démontre, soit par le calcul, soit par l'expérience, être la conséquence forcée du mouvement de rotation et de l'état primitif fluide ou pâteux de la Terre; par un effet combiné de la force centrifuge développée, ainsi que de la gravité mutuelle des particules matérielles qui composent notre planète¹, la masse a dû prendre la forme d'un ellipsoïde aplati aux deux pôles de rotation.

Nous verrons plus loin que l'axe de rotation de la Terre, au lieu de rester parallèle à lui-même, comme nous l'avons dit et comme on peut le supposer avec une approximation suffisante pour l'intelligence des phénomènes que nous allons décrire, est dévié lentement sous l'influence de la masse énorme du Soleil et de la masse beaucoup plus petite, mais beaucoup plus rapprochée, de la Lune, agissant l'une et l'autre sur le renflement équatorial. Il en résulte que le mouvement de rotation, cause primitive de l'existence de ce bourrelet, est lui-même modifié par une réaction sur la masse de ce dernier. Mais la direction de l'axe polaire paraît invariable relative-

1. Les mesures géodésiques ont prouvé, nous l'avons vu, l'aplatissement de la Terre. D'autre part, les expériences du pendule ont fait voir que la force de la pesanteur est moindre à l'équateur qu'aux pôles, et que la diminution totale est une fraction égale à la 194^e partie de la gravité, de sorte que le poids d'un même corps, transporté des pôles à l'équateur, serait diminué d'environ cinq grammes par kilogramme. Or cette diminution est due à deux causes : un point de l'équateur étant plus éloigné de 21 kilomètres du centre de la Terre qu'un point situé aux pôles, l'intensité de la pesanteur y est diminuée d'une fraction de sa valeur que le calcul évalue à $\frac{1}{550}$; de plus, à l'équateur, la vitesse de rotation développe une force centrifuge qui réduit la même intensité de $\frac{1}{259}$; ces deux fractions en s'ajoutant font une somme précisément égale à $\frac{1}{104}$. Ce double effet va du reste en diminuant graduellement de l'équateur vers chaque pôle.

ment au globe lui-même, de sorte que la position géographique des deux pôles ne change pas, ainsi que le prouve l'invariabilité constatée des latitudes des divers points de la Terre.

§ 3. — Mouvement de translation de la Terre autour du Soleil; éléments de l'orbite. — Vitesse de translation de la Terre. — Mouvement apparent annuel du Soleil sur la voûte céleste; explication. — Le jour moyen; temps moyen et temps sidéral; année tropique. — Les saisons; leurs durées inégales. — Variations dans les durées des journées et des nuits, suivant les latitudes, aux diverses époques de l'année. — Zones et climats astronomiques. — Constance des éléments de l'orbite terrestre.

L'orbite que la Terre décrit annuellement autour du Soleil est une courbe plane, c'est-à-dire entièrement contenue dans un plan qui passe par les centres des deux astres : c'est ce plan qu'on connaît sous le nom d'*écliptique*. Comme toutes les orbites planétaires, l'orbite terrestre est une ellipse dont l'un des foyers est occupé par le Soleil, et dont les dimensions sont exprimées par les nombres suivants, que nous avons eu déjà l'occasion de donner en parlant des distances où nous nous trouvons du Soleil :

Distance périhélie.	0.98323
Demi-grand axe ou distance moyenne.	1.00000
Distance aphélie.	1.01677
L'excentricité de l'orbite terrestre est donc	0.01677

Il ne s'agit que des dimensions relatives, celles qui caractérisent la forme de l'orbite, et montrent entre quelles limites oscillent les distances de notre planète au Soleil. Voici quelles sont les mêmes dimensions exprimées, soit en rayons de l'équateur, soit en kilomètres :

	Rayons équatoriaux.	Kilomètres.
Distance périhélie	22 800	145 500 000
Demi-grand axe.	23 200	148 000 000
Distance aphélie.	23 600	150 500 000

La différence des distances extrêmes est donc de 800 rayons de l'équateur, 5 000 000 de kilomètres ou 1 260 000 lieues.

La longueur totale de l'immense courbe décrite par la Terre est, en nombres ronds, de 930 millions de kilomètres, 232 millions 500 mille lieues. Enfin la durée du voyage de circumnavigation que nous faisons ainsi tous les ans, portés par notre

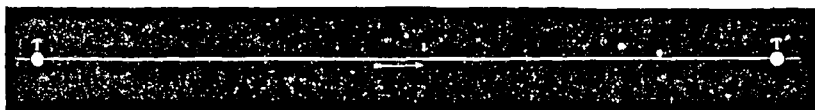


Fig. 59. — Chemin parcouru en un quart de jour par la Terre sur son orbite.

navire céleste, est de 365 jours moyens et un peu plus d'un quart de jour (exactement $365^{\text{d}}, 2563744$ ou 365 jours 6 heures 9 minutes 10 secondes $\frac{2}{3}$). Il est aisé d'en déduire la vitesse moyenne de la Terre. En un jour, elle franchit 2 544 200 kilomètres; c'est 2602 kil. par heure, 29 450 mètres par seconde. Mais cette vitesse est variable : elle diminue quand la Terre s'éloigne du Soleil, de sorte qu'à l'aphélie, elle n'est plus que de 28 960 mètres par seconde; elle augmente quand la distance au Soleil diminue, pour atteindre, au périhélie, le maximum de 30 000 mètres. On voit ainsi que, tandis que la Terre effectue une rotation entière autour de son axe, elle s'avance sur son orbite d'une longueur qui n'est pas moindre de 200 fois son diamètre. Dans la figure 59, on voit combien est grand le chemin parcouru en six heures, relativement aux dimensions de son globe. Un point de l'équateur qui se meut avec la vitesse de 465 mètres par seconde autour de l'axe, est transporté dans le même temps à une distance de 29 450 mètres, la translation de la Terre lui fait parcourir le long de l'orbite un chemin 63 fois plus considérable que celui dû au seul mouvement de rotation.

Que l'on songe maintenant aux dimensions du globe, à la masse énorme de la Terre, et l'imagination restera confondue en présence de ce mobile gigantesque qui franchit l'espace avec une telle rapidité. Un calcul de deux physiciens con-

temporaires, Helmholtz et Mayer, analogue à celui que nous avons rapporté plus haut, donnera peut-être une idée du prodigieux mouvement qui emporte notre globe. Ces savants ont cherché quelle serait la chaleur développée par le seul fait d'un arrêt brusque de la Terre dans son orbite, arrêt qui équivaldrait à un choc effroyable. Ils ont trouvé que cette chaleur suffirait non-seulement pour fondre le globe tout entier, mais encore pour réduire une grande partie des masses minérales dont il est formé à l'état de vapeur.

Le mouvement de rotation, nous l'avons vu, est uniforme, tandis que la vitesse de translation de la Terre est variable. Il résulte de là que les jours solaires ne sont pas égaux, c'est-à-dire qu'entre deux retours consécutifs du même plan méridien au Soleil, le temps écoulé varie suivant la position de la Terre sur son orbite; l'arc de rotation qui mesure l'excès du jour solaire sur le jour sidéral est tantôt plus petit, tantôt plus grand que l'arc moyen. Cette inégalité est accrue par une autre cause qui est l'obliquité du plan de l'écliptique par rapport au plan de l'équateur de la Terre. Pour remédier à ce défaut d'égalité, les astronomes ont pris pour la durée du jour solaire, la moyenne des durées inégales des jours solaires de toute une année. C'est ce qu'on nomme le *jour moyen* dont la division en 24 heures, ou 86 400 secondes, sert à mesurer le temps civil et souvent aussi le temps astronomique¹. Telle est l'unité à laquelle nous rapportons toutes les durées indiquées dans cet ouvrage, et qui nous a servi plus haut à dire que :

Le jour sidéral, durée d'une rotation de la Terre, vaut 23 heures 56 minutes et 4 secondes de temps moyen².

Maintenant que nous savons quel est, en réalité, le mou-

1. De là l'*équation du temps*, c'est-à-dire la différence du *midi astronomique*, heure à laquelle passe réellement le centre du Soleil au méridien d'un lieu, et du *midi moyen*, milieu du jour moyen. De là, cette espèce de paradoxe qui a fait dire qu'une montre bien réglée ne doit pas marcher avec le Soleil.

2. Ou, si l'on veut, un jour solaire moyen est égal à 1 jour sidéral, augmenté de 3^m 56^e 555 de temps sidéral.

vement de translation de la Terre autour du Soleil, mouvement dont nous n'avons pas plus conscience que du mouvement de rotation, indiquons rapidement les apparences par lesquelles il se manifeste à nos yeux. S'il est vrai que notre planète se meuve ainsi dans une orbite fermée, autour du Soleil relativement immobile, à mesure qu'elle marchera dans un sens en décrivant un certain arc de sa trajectoire, l'astre radieux semblera décrire un arc pareil en sens contraire. En sens contraire, quand on considère isolément les arcs décrits : mais si l'on compare, dans la figure 60, la courbe réelle dé-

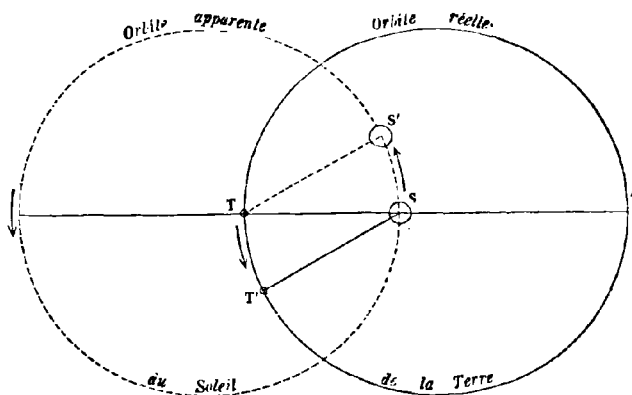


Fig. 60. — Orbite réelle de la Terre, et orbite apparente du Soleil.

rite par la Terre avec la courbe apparente décrite par le Soleil, on voit tout de suite que les sens sont les mêmes. De sorte que le mouvement propre du Soleil — qui cause le retard de son passage au méridien ou, ce qui revient au même, l'inégalité du jour solaire et du jour sidéral — ayant lieu d'Occident en Orient, le mouvement réel de la Terre s'effectue aussi dans le même sens. Le Soleil doit donc se déplacer à tout instant sur le fond étoilé du ciel, et son centre coïncider, d'un jour à l'autre, avec des étoiles différentes. Pendant le jour, ce déplacement n'est pas sensible, quand on ne prend pas une mesure rigoureuse de la position du Soleil. Mais il suffit de songer

qu'au déplacement dont il s'agit correspond un mouvement analogue du ciel pendant la nuit, pour comprendre que l'aspect des constellations doit varier durant tout le cours d'une année. Grâce à la translation de la Terre, en effet, le ciel défile progressivement sur l'horizon d'un lieu donné, sinon dans son entier, du moins dans la portion susceptible de s'élever par le mouvement diurne au-dessus de cet horizon.

La durée de l'année est, nous l'avons vu, d'environ 365 jours $\frac{1}{4}$. Il s'agit ici de jours solaires moyens. Combien, pendant la même durée, notre globe exécute-t-il de rotations entières sur son axe? 366 $\frac{1}{4}$. En d'autres termes, si le nombre des jours solaires de l'année est de 365 $\frac{1}{4}$, le nombre des jours sidéraux est précisément plus grand d'une unité. C'est là une conséquence directe de la translation de la Terre, combinée avec son mouvement diurne de rotation. Le même fait se reproduit d'ailleurs nécessairement dans toutes les planètes, quel que soit le nombre de rotations accomplies pendant une révolution complète autour du Soleil, et quelles que soient les durées de leurs jours sidéraux et solaires. Rappelons-nous qu'après une rotation entière, le Soleil, qui au point de départ passait au méridien en même temps qu'une étoile donnée (fig. 58), se trouve en retard d'environ 4 minutes. A la rotation suivante, nouveau retard qui s'ajoute au précédent, et ainsi de suite, jusqu'à ce que la révolution annuelle étant terminée, les choses se trouvent au même état qu'à l'origine. Or, si pour revenir à une coïncidence du Soleil avec l'étoile qui sert de comparaison, la Terre a effectué 366 rotations sur son axe, l'étoile aura passé 366 fois au méridien, tandis que le Soleil, justement en retard d'un passage, sera revenu au méridien une fois de moins qu'elle, c'est-à-dire seulement 365 fois.

Nous avons donné plus haut la durée précise de la révolution sidérale de la Terre, de ce qu'on nomme l'*année sidérale*. Mais il ne faut pas confondre cette durée avec celle de l'*année*

tropicque, qui est celle adoptée dans la mesure du temps civil. Voici la raison de cette différence. Parmi les points que la Terre parcourt successivement sur son orbite, il en est dont la détermination précise a pour nous une grande importance, parce que ce sont les points de départ des saisons : ce sont les équinoxes et les solstices. Les retours successifs de notre planète à l'un de ces points, par exemple à l'équinoxe du printemps, servent à définir l'*année tropique*, dont la durée est ainsi l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux passages consécutifs de la Terre à l'équinoxe du printemps. Or, depuis 2000 ans environ, on sait que le retour à l'équinoxe est toujours en avance sur le retour du Soleil à la même étoile, et qu'ainsi l'année tropique est un peu plus courte que l'année sidérale¹. D'un grand nombre d'observations, on a conclu pour la durée de l'année tropique :

365^m,2422166, c'est-à-dire 365 jours moyens 5 heures 48 minutes 47 secondes, 52. La différence de l'année tropique à l'année sidérale est donc de 20^m 23^s,11.

Enfin, pour achever ce que nous avons à dire du mouvement de translation de la Terre et de son orbite, ajoutons que le grand axe de cette orbite n'a pas, sur son plan, une position invariable, de sorte que l'un de ses points, le périhélie par exemple, se déplace chaque année en avançant dans le sens du mouvement de la Terre. L'année sidérale ne doit donc pas non plus s'entendre du retour de la Terre à un même point de son orbite.

Passons à d'autres phénomènes d'un grand intérêt pour nous autres habitants de la Terre, phénomènes qui ont leur cause dans le double mouvement de notre planète.

D'un jour de l'année à l'autre, les habitants d'un même lieu voient le Soleil s'élever au-dessus de leur horizon, à des hau-

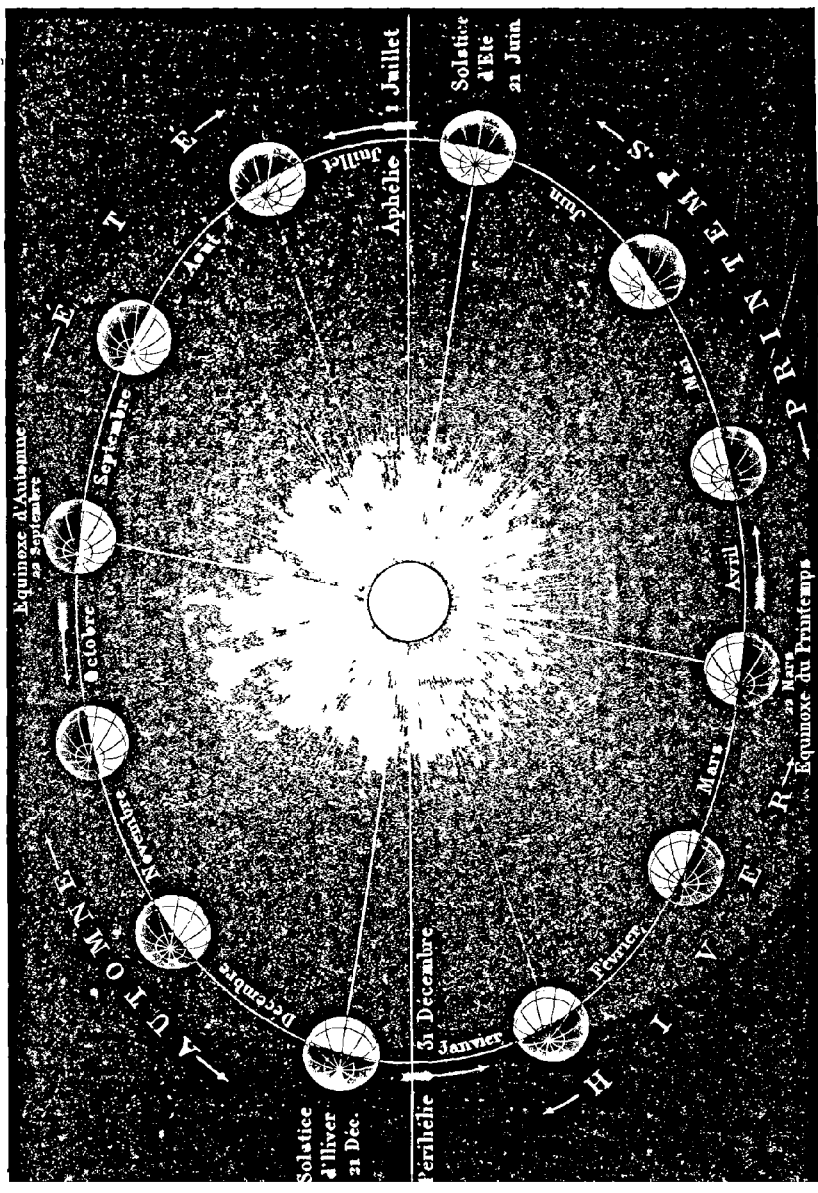
1. Pour la cause de ce phénomène, connu sous le nom de *précession des équinoxes*, voyez la Troisième partie du CIEL.

teurs variables, les mêmes d'ailleurs pour les lieux qui ont même latitude. Les points de l'Orient ou de l'Occident où l'astre radieux se lève et se couche, changent de place; le Soleil à midi s'élève plus ou moins haut, et la durée de son séjour diurne au-dessus de l'horizon donne aux jours et aux nuits des longueurs inégales et variables. De là des températures, des conditions climatiques très-diverses; de là, les *Saisons*.

D'autre part, ces conditions elles-mêmes changent, non-seulement d'un hémisphère à l'autre de la Terre, mais encore pour le même hémisphère, selon la latitude du lieu considéré. De là, les climats, les zones glaciales aux longs jours et aux longues nuits, les zones tempérées, les zones torrides, et les régions voisines de l'Équateur qui ont chaque année deux étés et deux hivers, et où la durée du jour est sans cesse égale à celle de la nuit.

La raison astronomique de tous ces phénomènes réside, je le répète, dans les mouvements simultanés de la Terre. Mais il est une circonstance qui influe sur leur succession d'une façon prédominante, et sur laquelle je vais prier le lecteur de fixer son attention. Qu'il jette les yeux sur la planche VII, qui représente l'orbite de la Terre et la position de notre planète en divers points de cette courbe : il sera frappé de voir que l'axe de rotation n'est ni perpendiculaire au plan dans lequel l'orbite est tracée, ni couché dans ce plan, mais qu'il forme avec lui un certain angle, à peu près égal aux deux tiers d'un angle droit ($66^{\circ} 32' 44''$.) Cette inclinaison est constante pendant toute l'année, ou du moins ne varie qu'entre des limites extrêmement faibles. En outre, l'axe reste toujours parallèle à lui-même. C'est le parallélisme de l'axe qui rend compte de la position à peu près invariable du pôle céleste au-dessus de l'horizon de chaque lieu terrestre, pourvu

1. Le plan de l'équateur de la Terre est donc incliné sur le plan de l'écliptique de $23^{\circ} 27' 16''$. C'est à cet angle qu'on donne le nom d'*obliquité de l'écliptique* : sa valeur varie entre d'étroites limites.



ORbite DE LA TERRE

L'année et les saisons terrestres. — Parallélisme de l'axe de rotation.

qu'on y joigne un fait aujourd'hui parfaitement prouvé, je veux dire la distance presque infinie des étoiles à la Terre.

L'axe restant parallèle à lui-même, il est clair qu'il en est de même du plan de l'Équateur, et par conséquent de la trace de ce plan sur l'écliptique. Que résulte-t-il de là? C'est que, deux fois à chaque révolution annuelle de la Terre, cette trace va passer par le Soleil; en d'autres termes, deux fois par an, le Soleil est dans l'équateur de la Terre : ces deux positions diamétralement opposées sont celles des deux *Équinoxes*. Tout le reste de l'année, le Soleil est au nord ou au sud du plan de l'Équateur, dont il est d'autant plus éloigné que la Terre est elle-même plus éloignée des équinoxes. Enfin, deux fois par an, la Terre atteint une position telle, que la distance angulaire du Soleil à l'Équateur devient maximum, et égale à l'obliquité de l'écliptique. Ce sont les époques des *Solstices*.

Avant de dire quelles sont les conséquences de ces positions principales de la Terre, donnons l'ordre et les dates de leur succession :

Vers le 20 mars, la Terre se trouve au premier de ces points, qu'on nomme l'Équinoxe du Printemps. Puis viennent le Solstice d'Été aux environs du 21 juin, l'Équinoxe d'Automne près du 22 ou du 23 septembre, et enfin le Solstice d'Hiver qui tombe ordinairement du 20 au 22 décembre. Chacun de ces points marque l'origine de la saison dont il porte le nom. Les époques précises de ces quatre positions fondamentales de la Terre sur son orbite varient chaque année, mais dans une limite assez restreinte, comme on peut s'en rendre compte au moyen du tableau suivant :

COMMENCEMENT DES QUATRE SAISONS DANS L'HÉMISPÈRE BORÉAL.

En 1869.		En 1870.	
PRINTEMPS.	Le 20 mars à 1 ^h 41 ^m du soir.	Le 20 mars à 5 ^h 41 ^m du soir.	
ÉTÉ.	Le 21 juin à 10 ^h 13 ^m du matin.	Le 21 juin à 4 ^h 5 ^m —	
AUTOMNE..	Le 23 sept. à 0 ^h 37 ^m —	Le 23 sept. à 6 ^h 18 ^m du matin.	
HIVER. . . .	Le 21 déc. à 6 ^h 32 ^m du soir.	Le 22 déc. à 0 ^h 22 ^m —	

Quand la Terre est à l'un ou à l'autre des Équinoxes, le plan de l'Équateur prolongé passe précisément par le centre du Soleil. Les deux pôles de la planète sont alors symétriquement placés par rapport à l'astre radieux, et le cercle de séparation de l'hémisphère éclairé et de l'hémisphère obscur se trouve être un méridien. Que résulte-t-il de cette position particulière? Que chaque point de la Terre, quelle que soit d'ailleurs sa latitude, décrit dans la lumière la moitié de la

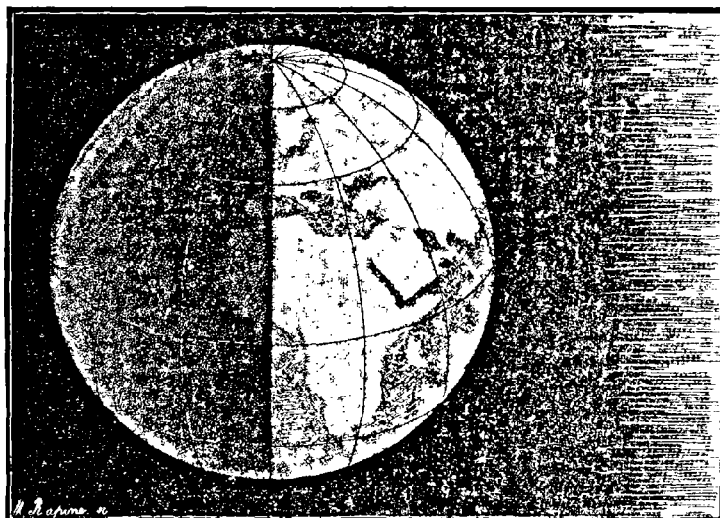


Fig. 61. — La Terre aux équinoxes : égalité générale du jour et de la nuit.

circonférence que lui fait parcourir la rotation du globe : l'autre moitié est décrite dans l'ombre. C'est ce que la figure 61 fait aisément comprendre.

Ainsi, à l'époque des équinoxes, la durée du jour est égale à celle de la nuit par toute la Terre. Le Soleil reste douze heures au-dessus de chaque horizon, douze heures au-dessous.

De l'Équinoxe du Printemps au Solstice d'Été, la Terre parcourt la portion de son orbite qui correspond aux mois d'avril, de mai, de juin. Son axe restant toujours parallèle à lui-même, l'un de ses pôles, le pôle nord, se tourne de plus

en plus vers le Soleil; pendant la même période, le pôle austral au contraire s'en détourne sans cesse. Le jour et la nuit sont de plus en plus inégaux en durée, et cette inégalité atteint son maximum vers le 21 juin, le jour du Solstice (fig. 62). Le cercle de séparation de l'ombre et de la lumière s'est progressivement éloigné du pôle. Il en résulte que la durée des nuits de l'hémisphère boréal a été sans cesse en décroissant, le jour grandissant au contraire, et cela dans des propor-

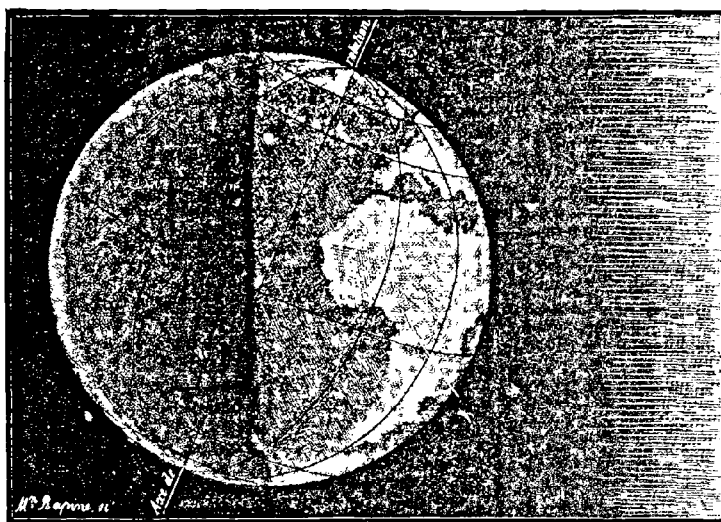


Fig. 62. — La Terre à l'époque des Solstices : inégalité de durée du jour et de la nuit.

tions d'autant plus grandes, qu'il s'agit de lieux de la Terre plus éloignés de l'Équateur. L'hémisphère austral a vu, pendant cette période, se succéder des phénomènes inverses; à l'Équateur seul, le jour a continué d'être égal à la nuit.

Du 21 juin au 22 septembre, la Terre passe du Solstice d'Été à l'Équinoxe d'Automne. Pendant cette seconde période, c'est toujours le pôle nord qui est tourné vers le Soleil, tandis que le pôle sud reste plongé dans l'ombre; les alternatives du jour et de la nuit présentent en ordre inverse, pendant l'Été, les mêmes phénomènes que pendant le Printemps.

Ainsi, pendant six mois, les régions voisines du pôle boréal ont continuellement eu le Soleil au-dessus de leur horizon, celles du pôle austral l'ont toujours eu au-dessous. De là, pour ces déserts glacés, un jour de six mois, puis une nuit de six mois, tempérée il est vrai par un crépuscule continu. A chaque vingt-quatre heures, par le fait de la rotation diurne, le Soleil y décrit en rasant l'horizon une courbe, sinon tout à

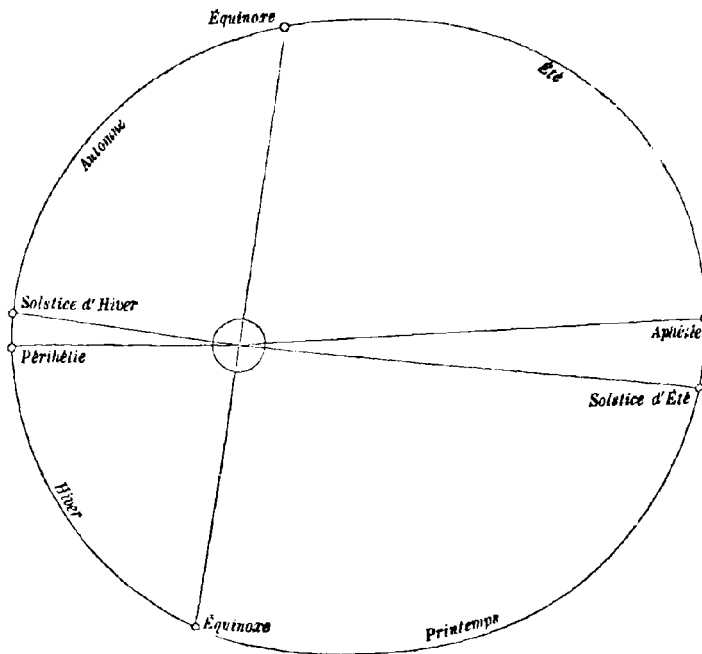


Fig. 63. — Orbite de la Terre. — Inégalité de durée des différentes saisons.

fait parallèle à ce plan, du moins formant une double spirale dont une moitié monte sans cesse jusqu'au Solstice d'été; ce jour-là, le Soleil est élevé au-dessus de l'horizon du pôle de $23^{\circ} 27'$; alors il commence à redescendre et décrit la seconde moitié de ses spires depuis le 20 juin jusqu'à l'origine de l'Automne, c'est-à-dire jusqu'à l'équinoxe du 22 septembre. A cette époque, il se couche pour ne plus reparaitre qu'au bout de six mois.

Si l'on a bien compris cette marche de la Terre pendant une moitié de l'année, on verra aisément que pendant l'autre moitié les choses se passeront dans un ordre symétriquement inverse. A l'Équinoxe d'Automne, égalité de durée des jours et des nuits par toute la Terre. L'automne et l'hiver de l'hémisphère boréal seront le printemps et l'été de l'hémisphère austral. Les mêmes inégalités dans la durée relative de la nuit et du jour se représenteront : la seule différence proviendra de l'inégalité de durée des saisons symétriques dans les deux hémisphères¹.

1. Le Solstice d'été ou de juin est l'époque des plus longues journées de l'hémisphère boréal de la Terre, et par conséquent celle des plus courtes nuits : c'est, en même temps, pour l'hémisphère austral l'époque des plus longues nuits et des plus courtes journées. L'inverse a lieu, cela se comprend de soi, pour le Solstice d'hiver ou de décembre.

Voici, du reste, un tableau des durées relatives du jour et de la nuit, pour l'époque des Solstices, à diverses latitudes de la Terre :

Latitudes.	Durée de la journée la plus longue, ou de la plus longue nuit.			Durée de la nuit la plus courte, ou du jour le plus court.		
	12 ^h	0 ^m	0 ^s	12 ^h	0 ^m	0 ^s
0° ou Équateur.	12	0	0	12	0	0
15°	12	53	25	11	6	35
23° 27' Tropiques.	13	26	46	10	33	14
30°	13	56	4	10	3	56
45°	15	25	42	8	34	18
60°	18	29	42	5	30	18
66° 35' Cercles polaires.	24	0	0	0	0	0

Voici maintenant les mêmes durées calculées de degré en degré pour les lieux dont les latitudes sont égales à celles des principales régions de la France :

42°	15 ^h	4 ^m	0 ^s	8 ^h	56 ^m	0 ^s
43°	15	11	0	8	49	0
44°	15	14	10	8	45	50
45°	15	25	42	8	34	18
46°	15	33	35	8	26	25
47°	15	41	49	8	18	11
48°	15	51	2	8	8	58
49°	15	55	32	8	4	28
50°	16	9	5	7	50	55
51°	16	19	15	7	40	45

Enfin, aux latitudes polaires de 70°, 75°, 80°, le Soleil reste levé pendant 64, 104 et 134 jours de 24 heures ; il reste couché pendant les mêmes durées dans

Un mot maintenant de cette inégalité des saisons.

Répétons une fois encore que l'orbite de la Terre n'est pas un cercle, mais une ellipse, et que le Soleil n'est pas à son centre, comme le laisse croire la planche VII, mais à l'un des foyers. De plus, le grand diamètre de l'Écliptique — c'est le nom astronomique de l'orbite de la Terre — ne passe pas exactement par les Solstices. Dans la figure 63, ces différences ont été exagérées à dessein. On y voit tout de suite que l'Hiver doit être la plus courte, et l'Été la plus longue des quatre saisons : les deux autres saisons sont de durées intermédiaires, et c'est le Printemps qui est la plus longue des deux.

Cela serait vrai, par le fait seul de l'inégalité des arcs parcourus, alors même que la Terre décrirait avec une vitesse constante toutes les portions de son orbite. Mais l'inégalité de durée est encore accrue d'une autre manière. Nous savons déjà que chacune des planètes se meut autour du Soleil avec une vitesse variable, d'autant plus rapide, qu'elle est plus rapprochée du foyer commun. La Terre, dont le périhélie tombe vers le 1^{er} janvier, et l'aphélie vers le 1^{er} juillet, se meut donc moins vite pendant les saisons estivales de l'hémisphère nord que pendant les saisons hivernales : ce qui, je le répète, doit contribuer encore à l'inégalité de durée de ces périodes.

les saisons opposées. A 85°, la durée du plus long jour et de la plus longue nuit est de 160 jours. Par exemple, dans l'hémisphère boréal, le Soleil apparaît à cette latitude, pour la première fois, le 8 mars ; jusqu'au 3 avril la journée va en augmentant progressivement de durée, et à partir de cette date, il ne se couche plus jusqu'au 10 septembre ; puis il se couche de nouveau, et jusqu'au 5 octobre il y a une succession de journées et de nuits. A partir de cette dernière époque, le Soleil disparaît de nouveau complètement pendant une période de 160 jours.

Il ne faut pas oublier que les heures du lever et du coucher du Soleil calculées dans le tableau précédent sont celles de l'apparition et de la disparition de son centre ; il n'est pas tenu compte de la réfraction atmosphérique qui le fait lever plus tôt et coucher plus tard. La durée de la nuit comprend celle du crépuscule du matin et du soir, qui prolonge la clarté du jour au point qu'à la latitude de Paris, le jour du Solstice d'été, il n'y a presque pas de nuit complète ; dans les régions polaires, le crépuscule atténué et abrégé aussi considérablement les ténèbres de leurs longues nuits.

Voici les durées moyennes des saisons, dans l'ordre où nous les avons parcourues :

	Jours.		Jours.
Printemps	92,9	Automne	89,7
Été	93,6	Hiver	89,0

Les deux premières saisons ne diffèrent entre elles, comme les deux autres, que des sept dixièmes d'un jour, c'est-à-dire de 16 à 17 heures. Mais le Printemps surpasse l'Automne de 3 jours, 2 dixièmes, et l'Été est plus long que l'Hiver de 4 jours, 6 dixièmes. Ces différences d'ailleurs varient d'une année à l'autre¹.

C'est aux extrémités du grand diamètre de son orbite que la Terre s'éloigne et se rapproche le plus du Soleil. Elle se trouve ainsi à sa distance maximum ou *aphélie* (37 600 000 lieues), dans les premiers jours de juillet, et à sa distance minimum ou *périhélie* (36 400 000 lieues), quelques jours après le Solstice d'Hiver, le 31 décembre ou le 1^{er} janvier environ. Le Soleil est donc plus loin de nous pendant les saisons de Printemps et d'Été, que pendant les saisons d'Automne et d'Hiver de l'hémisphère boréal. Cette circonstance prouve que ce n'est pas à la diminution seule de la distance réelle du Soleil qu'il faut attribuer l'augmentation de la chaleur ou plutôt de la température d'un lieu de la Terre. On va voir que les variations des saisons météorologiques ont pour causes principales, d'une part l'obliquité de l'écliptique ou l'inclinaison de l'axe de rotation sur l'orbite, d'autre part les inégalités de durée que l'excentricité de l'orbite terrestre et la variation de vitesse de la Terre occasionnent dans les saisons successives.

1. Dans 47 siècles environ, le déplacement du périhélie dont nous avons parlé plus haut (page 177), aura amené ce point à coïncider avec l'équinoxe du printemps. Alors le printemps et l'été réunis auront même durée que l'automne et l'hiver. De plus, l'hiver sera égal au printemps, et la durée de l'automne égale à celle de l'été.

Pendant le Printemps et l'Été de l'hémisphère boréal, le Soleil séjourne sur l'horizon d'un lieu plus longtemps qu'en Automne et en Hiver : la durée de la journée dépasse d'autant plus celle de la nuit, qu'on est plus rapproché du Solstice. C'est là une première raison de l'élévation de température, pendant les saisons estivales : or, la cause en est dans l'inégalité de durée des saisons, c'est-à-dire à la fois dans l'excentricité de l'orbite terrestre et dans l'inégalité de vitesse de notre planète, conséquence de cette même excentricité. Une autre cause non moins puissante provient de la hauteur apparente du Soleil. L'arc diurne décrit par l'astre radieux s'élève à des hauteurs croissantes, de l'Équinoxe du Printemps au Solstice d'Été, pour repasser en sens inverse par les mêmes positions, du Solstice d'Été à l'Équinoxe d'Automne. Les rayons qu'il envoie sur les divers points de l'hémisphère boréal traversent l'atmosphère moins obliquement qu'en Hiver et en Automne ; et l'intensité de la chaleur reçue est d'autant plus forte que cette obliquité est moindre, circonstance aisée à expliquer par la moindre épaisseur des couches atmosphériques traversées par ces rayons. D'ailleurs, abstraction faite de l'atmosphère, l'obliquité dont nous parlons est déjà cause que la chaleur reçue par une même étendue de la surface terrestre est d'autant moins considérable que la hauteur du Soleil sur chaque horizon est elle-même moins grande. Or, la variation des hauteurs méridiennes du Soleil suivant les saisons a pour cause première l'obliquité de l'écliptique, l'inclinaison de l'axe de rotation de notre globe sur le plan de son orbite.

Les explications qui précèdent s'appliquent à l'hémisphère austral pendant les saisons d'Automne et d'Hiver de l'hémisphère boréal, lesquelles sont pour lui le Printemps et l'Été. Et comme le Soleil y est en outre à une moindre distance de la Terre, l'intensité de la chaleur y est plus grande : comme aussi dans les saisons hivernales du même hémisphère, le froid doit être plus intense. En somme, il paraît que ces

inégalités se compensent, et les températures moyennes de l'année sont à peu près les mêmes au nord et au sud de l'Équateur.

Il ne s'agit, dans tout ce qui précède, que des influences purement astronomiques, abstraction faite des mille causes qui, suivant les lieux, modifient ces données générales et font du climat la résultante d'une série d'éléments divers. En restant au même point de vue, il est facile aussi de comprendre pourquoi les maximum de chaleur et de froid ne tombent pas aux Solstices mêmes, mais quelque temps après, en juillet et en janvier. A partir du 20 juin en effet, la Terre, déjà échauffée par les journées de printemps, continue à recevoir du Soleil, pendant le jour, plus de chaleur qu'elle n'en perd pendant la nuit : la température s'accroît encore. Au contraire, après le 21 décembre, la Terre, déjà refroidie par les longues nuits de la période automnale, continue à se refroidir encore, parce qu'elle perd plus de chaleur par rayonnement pendant la nuit qu'elle n'en reçoit pendant la journée.

Du reste, les saisons sont bien différentes pour tous les points d'un même hémisphère. De l'Équateur à l'un et à l'autre Pôle on passe, par degrés insensibles, d'une chaleur intense à un froid extrême; il y a lieu de distinguer néanmoins sur la surface du globe cinq zones ou climats, qui se succèdent dans l'ordre suivant :

La *zone torride* qui comprend, au nord et au sud de l'Équateur, tous les pays où le Soleil monte deux fois par an jusqu'au zénith; elle est bornée par les tropiques, cercles parallèles à l'Équateur, menés à 23 degrés de latitude septentrionale ou méridionale;

Les deux *zones tempérées* qui s'étendent de part et d'autre des tropiques, jusqu'à une latitude de 66 degrés, c'est-à-dire jusqu'aux cercles polaires; pour tous les pays compris dans ces zones, le Soleil ne s'élève jamais jusqu'au zénith, et la limite

de ses plus faibles hauteurs méridiennes est comprise entre 66 degrés et l'horizon ;

Enfin, les deux *zones glaciales* ou circumpolaires. Là, le Soleil s'abaisse jusqu'à l'horizon et disparaît même au-dessous, pendant des temps qui varient entre un jour et six mois. Il ne s'y élève jamais à plus de 46 degrés, et au pôle même la hauteur maximum est moitié moindre.

Les étendues superficielles de ces zones sont très-inégales : la zone torride embrasse les 40 centièmes de la surface totale du sphéroïde terrestre ; les deux zones tempérées, les 52 centièmes, et enfin les deux zones glaciales, les 8 centièmes. Ainsi les deux zones tempérées, les plus favorables à l'habitabilité humaine et au développement de la vie civilisée, forment plus de la moitié de l'étendue de la Terre ; les zones glaciales, pour ainsi dire inhabitables, en forment une fraction très-petite. Dans ces nombres, les terres et les eaux sont d'ailleurs confondues.

Les phénomènes que nous venons d'étudier se rattachent tous directement à la rotation de la Terre et à son mouvement annuel de translation dans l'espace. La durée de cette rotation ou du jour sidéral, l'inclinaison et le parallélisme de l'axe, la durée de l'année, la forme de l'orbite, ses dimensions réelles sont autant d'éléments qui se combinent pour produire les phénomènes dont nous parlons, dans l'ordre même que l'observation constate. Si tous, ou certains d'entre eux venaient à changer, les jours et les nuits, les saisons et les climats changeraient aussi, et les conséquences qui en résulteraient pour les conditions de la vie sur notre planète pourraient produire, soit subitement, soit à la longue, les modifications les plus profondes, les bouleversements les plus considérables.

Déjà nous avons vu que la durée du jour sidéral peut être considérée comme invariable. Il en est de même de l'année :

l'excentricité et l'obliquité de l'écliptique seuls changent lentement; mais si la forme de l'orbite terrestre et l'inclinaison de l'axe de rotation varient insensiblement, la variabilité périodique de ces éléments se trouve contenue entre d'étroites limites. Enfin, la source de la lumière et de la chaleur, le Soleil, foyer de la vie du globe terrestre et des autres planètes, voit sans doute diminuer peu à peu l'intensité de ses radiations; mais le calcul a prouvé qu'il faudrait des millions d'années avant que cet affaiblissement pût modifier sensiblement les climats terrestres. Ainsi donc, à moins de catastrophes imprévues et improbables, les conditions astronomiques de notre planète peuvent être considérées comme invariables.

IV

LA LUNE C.

§ 1. — Phases de la Lune; son mouvement apparent; révolution synodique et révolution sidérale. — Mouvement de translation de la Lune autour de la Terre; éléments de l'orbite. — Forme réelle de la trajectoire lunaire dans l'espace. — Dimensions apparentes et réelles; surface et volume du globe lunaire. — Rotation de la Lune. — Égalité de durée des deux mouvements de rotation et de révolution.

Par ses apparitions et disparitions successives et périodiques, par la variété des formes qu'affecte sa partie lumineuse et l'inégal éclat que projette sa lumière sur l'atmosphère et sur le sol, la Lune est certainement de tous les astres celui qui donne le plus de diversité à l'aspect des nuits terrestres. La lueur blanche et douce dont elle inonde le paysage fait le charme de tous ceux qui sont sensibles aux beautés de la nature : aussi les poètes ne se sont-ils pas fait faute de l'introduire dans leurs descriptions, comme les peintres dans leurs tableaux. Mais la présence de la Lune dans la voûte étoilée n'est pas moins intéressante pour les astronomes que pour les artistes, pour la science que pour la poésie, et l'on comprendra que c'est au seul point de vue astronomique que nous devons en parler ici.

Quand la Lune brille au ciel, alors même qu'elle ne nous montre qu'une faible partie de sa moitié éclairée, l'éclat de sa lumière efface les plus petites étoiles visibles à l'œil nu. Le nombre des étoiles éteintes de la sorte est d'autant plus con-

sidérable, que la Lune est plus près d'être dans son plein : alors la lueur de la Voie Lactée se confond avec celle dont l'atmosphère est illuminée, et les plus brillantes étoiles restent bientôt seules perceptibles à la vue simple. En outre, comme la durée de la visibilité nocturne de notre satellite augmente avec son éclat, jusqu'à remplir les nuits entières, il n'est bientôt plus possible aux astronomes de faire des observations un peu délicates, à moins qu'ils ne se proposent précisément d'étudier la Lune elle-même, ou encore les étoiles les plus brillantes. Heureusement pour les observateurs, la Lune disparaît périodiquement du ciel, rendant ainsi à la voûte céleste, quand l'air est pur et serein, toute sa splendeur et sa magnificence.

Ce qui fait de la Lune un des corps célestes les plus intéressants à étudier et à connaître, c'est sa grande proximité de la Terre, qu'elle accompagne incessamment dans ses évolutions autour du Soleil. Quoi de plus curieux, en effet, que ce petit système dans le vaste système du monde solaire, que cette terre en miniature, exécutant perpétuellement autour de notre Terre une série de mouvements entièrement semblables à ceux que notre globe effectue lui-même autour du Soleil ! Plus tard, quand nous verrons d'autres planètes, accompagnées aussi de corps plus petits, former avec eux autant de mondes analogues, nous nous rendrons plus aisément compte des phénomènes que ces satellites doivent offrir au corps central, si nous connaissons en détail tous ceux que présentent simultanément la Lune et la Terre.

Occupons-nous d'abord de notre satellite, tel qu'il apparaît à l'œil nu, sans le secours d'aucun instrument d'optique.

Deux faits sont connus de tout le monde : le premier, c'est que, dans un intervalle de vingt-neuf à trente jours, la Lune se montre sous une série d'apparences qu'on nomme ses *phases*, et qui se reproduisent périodiquement dans le même

ordre. Le second fait, c'est qu'elle présente toujours la même face à la Terre, de manière à ne nous laisser voir jamais qu'un de ses hémisphères : l'autre moitié du globe lunaire reste à jamais invisible pour nous. Or, ces deux faits sont la manifestation évidente des deux mouvements dont la Lune est affectée, mouvement de circulation autour de la Terre, mouvement de rotation sur elle-même : ces deux mouvements, par une curieuse coïncidence, s'effectuent dans un même intervalle de temps. Suivons la Lune dans le cours d'une de ses périodes, et nous nous convaincrons à la fois de la réalité de ces deux mouvements, et de l'égalité de leurs durées.

On sait qu'il y a *nouvelle Lune*, lorsque notre satellite n'est plus visible, ni pendant le jour ni pendant la nuit. C'est qu'alors il occupe dans le ciel une position voisine du lieu du Soleil ; il tourne vers nous son hémisphère obscur, rendu par cela même invisible, et d'ailleurs perdu dans les rayons solaires. Quatre jours environ s'écoulent entre la disparition de la Lune le matin, à l'Orient, et sa réapparition à l'Occident le soir, un peu après le coucher du Soleil : c'est au milieu de cet intervalle qu'est l'instant précis de la Lune nouvelle, et c'est à partir de cette position qu'elle se dégage peu à peu des rayons solaires. On la voit d'abord (pl. VIII)¹ sous la forme d'un croissant très-délié, dont la convexité est tournée vers le point où se trouve le Soleil, au-dessous de l'horizon ; en ce moment, on aperçoit très-distinctement toute la partie obscure du disque de la Lune, dont la teinte légère et comme transparente est connue sous le nom de *lumière cendrée*. Entraîné par le mouvement diurne, l'astre se couche bientôt à l'horizon. Le lendemain, le même phénomène se reproduit : mais déjà le croissant est moins délié, la partie lumineuse

1. Pour toutes les phases, suivre les dessins de cette planche.

plus large, et la Lune, un peu plus éloignée du Soleil, se couche aussi un peu plus tard que la veille.

Le quatrième jour après la *nouvelle Lune*, la forme et l'apparence de notre satellite, qui passe au méridien trois heures après le Soleil, est celle qu'on a représentée dans le 2^e dessin de la planche VIII. La lumière cendrée est encore très-sensible, bien qu'elle diminue de plus en plus, pour disparaître tout à fait à la phase suivante, à celle qu'on nomme le *premier quartier*.

C'est entre le septième et le huitième jour de la Lune qu'elle se montre à nous sous la forme d'un demi-cercle, en partie visible pendant le jour, et que le mouvement diurne n'amène au méridien que six heures environ après le passage du Soleil : on dit alors qu'elle est *dichotome* (divisée en deux parties égales). Déjà, dans la phase précédente, les taches dont le disque de la Lune est parsemé étaient visibles. En ce moment, ces taches se distinguent avec une grande netteté sur le demi-cercle lumineux.

Entre le premier quartier et la *pleine Lune*, sept jours s'écoulent de nouveau, pendant lesquels la forme de la partie éclairée approche de plus en plus d'être celle d'un cercle complet; la Lune se levant et se couchant de plus en plus tard, mais en tournant toujours vers l'Occident la partie circulaire de son disque. Enfin, elle nous montre entièrement sa partie éclairée quinze jours environ après la nouvelle Lune; alors c'est à minuit qu'elle parvient au plus haut de sa course, en langage astronomique, qu'elle passe au méridien : au même instant le Soleil lui-même passe sous l'horizon au méridien inférieur; c'est-à-dire que, relativement à la Terre, la Lune est précisément à l'opposé du Soleil.

Depuis l'époque de la pleine Lune jusqu'à la nouvelle Lune suivante — cette seconde moitié de la lunaison se nomme le *décours* — la forme circulaire de la partie éclairée du disque décroît progressivement et finit par se présenter

comme au début de sa marche, sous la forme d'un croissant fort délié. Mais alors c'est vers l'Orient que la convexité sera désormais tournée, de sorte que c'est toujours du côté du Soleil que regarde le demi-cercle terminant la portion éclairée. Au milieu de l'intervalle qui sépare la pleine Lune

de la période suivante, le *dernier quartier* donne une phase semblable au *premier quartier*, mais inversement située.

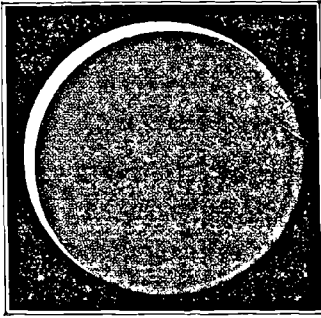
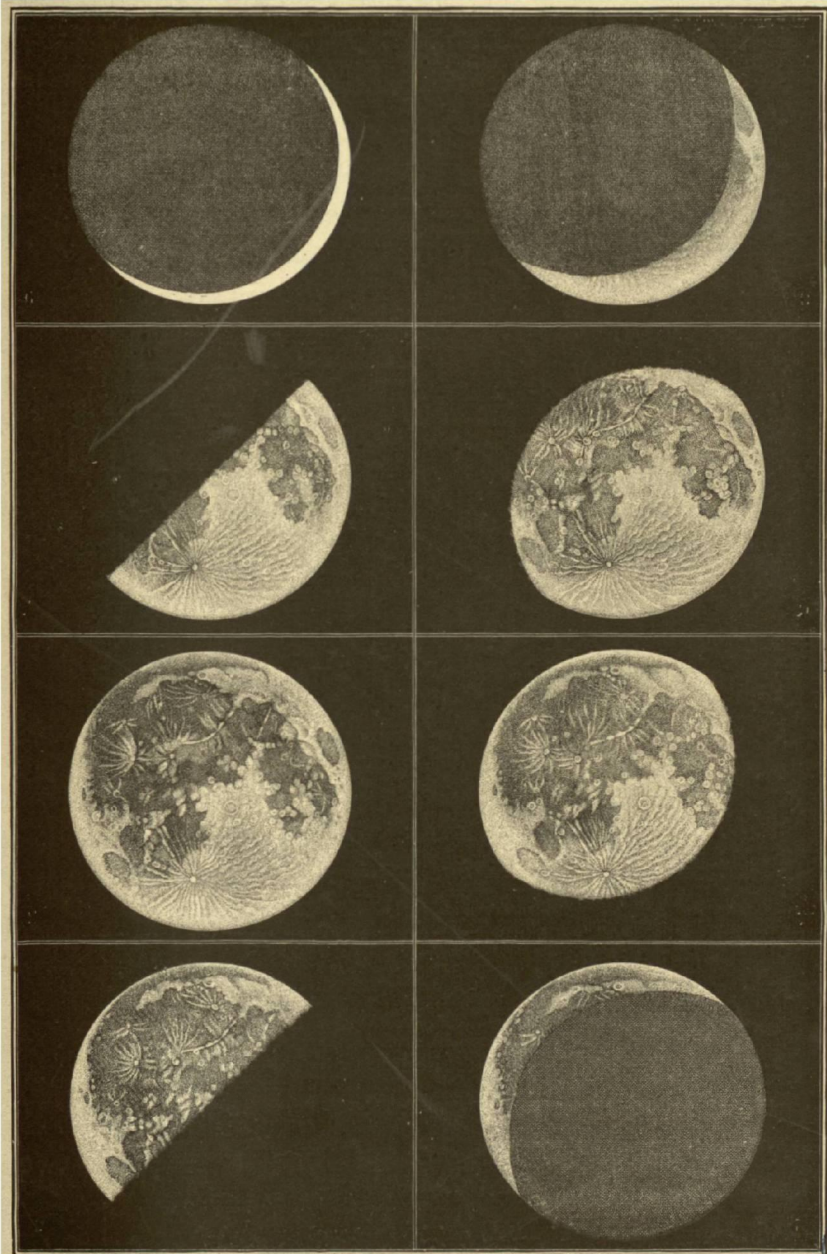


Fig. 64. — Dernière phase de la Lune.
Lumière cendrée.

Dans cette seconde partie de la période lunaire ou *Lunaison* — c'est le mot propre — la position apparente de la Lune dans le ciel se rapproche de plus en plus de celle du Soleil. Vers les derniers jours, elle précède de très-peu

son lever, jusqu'à ce qu'elle se confonde de nouveau dans ses rayons pour disparaître et ramener une Lune nouvelle, origine d'une nouvelle lunaison. La lumière cendrée redevient progressivement visible, après le dernier comme avant le premier quartier, au fur et à mesure de la diminution de la portion éclairée du disque.

Le mouvement de circulation de la Lune autour de la Terre se traduit encore à nos yeux par un phénomène non moins caractéristique que celui de ses phases; nous voulons parler du mouvement apparent qui l'entraîne en sens contraire du mouvement diurne, c'est-à-dire, d'Occident en Orient. Ce déplacement est très-rapide, et il suffit, pour le constater, d'observer attentivement pendant quelques heures la position qu'occupe son disque sur la voûte céleste : si l'on a eu soin de noter et d'évaluer approximativement sa distance à une étoile voisine, on voit qu'au bout de peu de temps cette distance a notablement varié (fig. 65), et que la direction du



LES PHASES DE LA LUNE

mouvement propre de notre satellite est précisément opposée à celle du mouvement diurne. En 24 heures, le disque lunaire parcourt ainsi en moyenne un peu plus de 13° , et au bout de 27 jours $\frac{1}{3}$ environ, il a fait le tour entier du ciel.

Le mouvement propre de la Lune s'explique de la manière la plus simple, en admettant, comme nous l'avons dit plus haut, que cet astre se meut

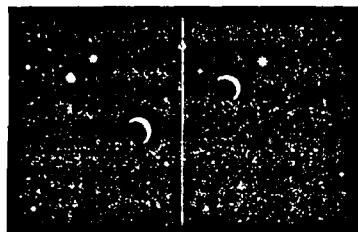


Fig. 65. — Mouvement propre du disque lunaire sur la voûte céleste.

autour de la Terre, en même temps que notre planète tourne elle-même autour du Soleil. Cette circulation rend également compte de la succession des phases, comme la figure 66 va nous le faire comprendre.

En effet, supposons un instant la Terre immobile, et examinons quelles apparences doit nous présenter le globe lunaire, pendant le cours d'une de ses révolutions autour de notre globe. La Lune se trouve d'abord dans la direction de la ligne qui joint le centre de la Terre au centre du Soleil. Elle tourne vers nous son hémisphère obscur, elle est invisible : c'est l'époque de la nouvelle Lune ou de la *conjonction*. Dans les positions suivantes, la Lune s'éloigne du Soleil, et, par le fait, nous montre des portions de plus en plus grandes de son hémisphère éclairé, d'abord sous la forme d'un croissant, puis, au premier quartier d'un demi-cercle, et plus loin d'un disque qui approche de plus en plus d'un cercle complet. La Lune arrive à l'opposé du Soleil : c'est l'époque de la pleine Lune ou de l'*opposition*. Dans la seconde moitié de son orbite, la Lune doit reprendre les mêmes apparences dans un ordre inverse; mais, tandis que le bord circulaire était tourné vers l'Occident dans la première moitié de la révolution, on voit que dans la seconde moitié, c'est au contraire vers l'Orient qu'il est tourné. La *conjonction* et

l'opposition reçoivent la dénomination commune de *syzygies*; le premier et le dernier quartiers se nomment les *quadratures*, et les quatre phases intermédiaires sont les *octants*.

Nous avons déjà dit qu'on nomme *lunaison* l'intervalle de

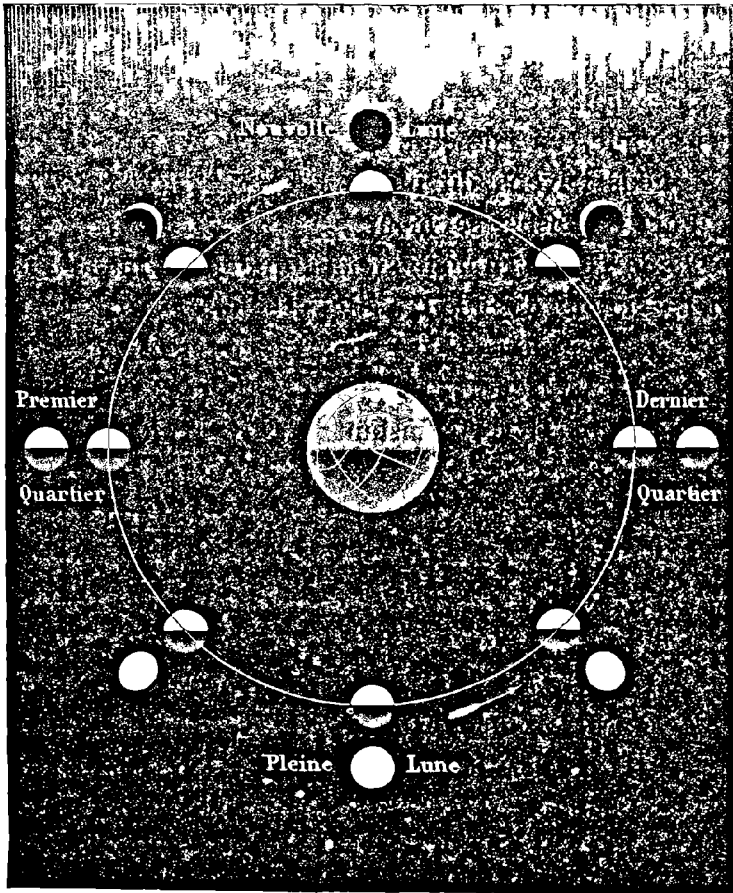


Fig. 66. — Orbite de la Lune. Explication des phases.

temps qui s'écoule entre deux nouvelles Lunes consécutives. Cet intervalle est de 29 jours, 12 heures, 44 minutes, 3 secondes. On appelle *révolution synodique* le mouvement qui ramène la Lune dans deux positions identiques, relativement au Soleil et à la Terre; mouvement dont la durée est par con-

séquent celle de la Lunaison. On nomme *révolution sidérale* l'intervalle entre deux retours consécutifs du disque lunaire au même point du ciel ou à la même étoile : sa durée, de deux jours moindre environ que la révolution synodique, est exactement 27 jours 7 heures 43 minutes 11,5 secondes. Pourquoi cette différence entre deux périodes produites l'une et l'autre par le même phénomène, qui est le mouvement de circulation de la Lune autour de la Terre? Cette différence provient de ce que la Terre ne reste pas immobile pendant le cours de la Lunaison, ainsi que, pour simplifier, nous l'avons supposé un instant dans l'explication des phases. Or, pendant que la Lune tourne autour de la Terre, celle-ci tourne autour du Soleil, et on va comprendre aisément que telle est la cause de la différence de durée des révolutions synodique et sidérale.

Considérons la Lune au moment de la conjonction. A cette époque, les centres de la Lune, de la Terre et du Soleil sont dans un plan perpendiculaire à l'écliptique : le Soleil et la Lune ont même longitude. La ligne TL va couper la sphère

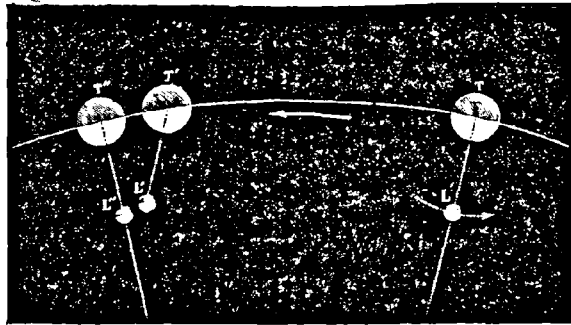


Fig. 67. — Différence de durée de la révolution synodique et de la révolution sidérale.

céleste en un point qui servira de repère pour reconnaître que la révolution sidérale est achevée. Alors en effet le rayon vecteur LT' qui joint la Lune à la Terre aboutira de nouveau en ce point, marqué, je suppose, par une étoile, et sa

direction sera parallèle au rayon vecteur TL. Mais par cela même, la Lune ne sera point encore en conjonction : il faudra qu'elle décrive en outre sur son orbite un arc mesurant l'angle compris entre la ligne TL' et le rayon qui du centre de la Terre aboutit au Soleil, c'est-à-dire un arc ayant précisément la même amplitude que celui décrit par la Terre entre les positions T et T'. La durée d'une lunaison entière ou d'une révolution synodique dépasse donc celle de la révolution sidérale, et un calcul des plus simples fait voir que cette différence s'élève à environ 2 jours 5 heures.

En considérant la Terre comme immobile, l'orbite que la Lune décrit autour d'elle est une ellipse, dont le centre de notre planète occupe un des foyers, et dont l'excentricité est égale à 0.055 ; cette orbite est moins allongée par conséquent que l'orbite de Mercure, mais elle diffère beaucoup plus du cercle que l'orbite de la Terre et surtout que celle de Vénus. Sur cette courbe, notre satellite se meut d'Occident en Orient, c'est-à-dire dans le sens de tous les mouvements planétaires.

La distance de la Lune à la Terre varie pendant tout le cours de chacune de ses révolutions, comme le témoignent, d'ailleurs, les variations de son diamètre apparent. Voici les nombres qui expriment les longueurs relatives de cette distance, quand la Lune est au *périgée*, à *l'apogée*¹, ou à sa distance moyenne :

Distance maximum ou apogée	1.0549
— moyenne	1.0000
— minimum ou périgée	0.9451

Pour traduire ces nombres en mesures connues, en kilomètres ou en lieues, il suffit de connaître la parallaxe de la Lune, c'est-à-dire l'angle sous lequel on verrait le rayon équatorial de la Terre, si l'on se plaçait à une distance de notre planète égale à la distance moyenne de la Lune. Cette paral-

1. De $\kappa\epsilon\pi\tau$, *près de*, $\alpha\pi\omicron$, *loin de*, et $\gamma\eta$, *terre*.

laxe est $57' 2''$, nombre beaucoup plus grand que la parallaxe solaire, et qui indique pour la Lune une distance près de 400 fois plus petite que celle du Soleil. Voici les nombres qui en résultent :

	En rayons de l'équateur.	En kilomètres.
Distance apogée.	63.583	397 350
— moyenne	60.273	376 240
— périgée	56.964	355 130

Il y a donc près de 7 rayons terrestres, ou 42 000 kilomètres en nombre rond, de différence entre la distance apogée et la distance périgée lunaires. Quant à la distance moyenne,



Fig. 68. — Dimensions apparentes de la Lune, à ses distances extrêmes et moyenne de la Terre.

pour se la fixer dans la mémoire, il suffit de se rappeler qu'elle vaut, à peu de chose près, 30 diamètres de notre globe, de sorte que 30 globes égaux à la Terre, rangés en file ou en chapelet à partir du centre de notre planète, iraient aboutir au centre de la Lune. Il s'agit ici, du reste, de la distance des centres mêmes des deux astres; pour avoir celles des deux points les plus rapprochés des surfaces des deux globes, il y aurait à retrancher des nombres donnés plus haut la somme des longueurs réunies de leurs rayons, c'est-à-dire 1.273 des nombres de la première colonne, 14 500 de ceux de la seconde.

Ainsi, dans les circonstances les plus favorables, c'est-à-dire quand la Lune est périgée et que son disque est au zénith du

lieu de l'observation, 340 600 kilomètres ou 85450 lieues seulement nous séparent de notre satellite ; c'est moins de 9 fois la circonférence équatoriale de la Terre. On trouverait sans doute des marins qui, dans le cours de leurs voyages, ont parcouru un chemin aussi long, chemin que les trains express de nos voies ferrées franchiraient certainement en moins de trois cents jours. Supposons que l'espace qui sépare la Lune de la Terre soit entièrement rempli d'air, de manière à permettre au son de se propager d'un globe à l'autre. Si, à l'époque de la pleine Lune, une éruption volcanique avait lieu à la surface de notre satellite, le bruit de l'explosion ne nous parviendrait que 13 jours 8 heures après l'événement, de sorte que nous n'en serions avertis qu'à peu près à la nouvelle Lune suivante. Le calcul suppose que la température de l'espace serait de 0°. Il faudrait un peu moins de temps, 8 à 9 jours environ, à un boulet de canon pour franchir la même distance, en supposant qu'il conservât sa vitesse constante de 500 mètres à la seconde. La lumière enfin, le plus rapide de tous les mouvements, bondit de la Lune à la Terre en 1 seconde $\frac{1}{4}$.

Il ne s'agit ici que de mobiles à vitesses constantes ; on pourrait aussi calculer le temps que mettrait un corps à tomber du centre de la Lune au centre de la Terre, ou ce qui revient au même, le temps que mettrait la Lune à se réunir à notre planète, si la force tangentielle qui, combinée avec la pesanteur, lui fait décrire son orbite, venait à être subitement anéantie. Au bout de 6 jours 5 heures 40 minutes et 13 secondes, la catastrophe, dont nous n'avons pas besoin de décrire les épouvantables conséquences, serait consommée.

En supposant toujours la Terre immobile dans l'espace, l'orbite elliptique de la Lune offre un développement de plus de 2 400 000 kilomètres, et, comme elle parcourt ce chemin en 27 jours $\frac{1}{3}$, sa vitesse moyenne est d'environ 1022 mètres par seconde. Mais cette vitesse est variable ; elle s'accroît

quand la Lune se rapproche de la Terre, elle diminue quand la distance des deux astres augmente.

Il s'en faut d'ailleurs que l'ellipse lunaire représente le chemin que notre satellite parcourt en réalité dans l'espace. Pour ne considérer que la ligne décrite par la Lune à l'intérieur du monde solaire, abstraction faite du déplacement de tout le système, cette ligne se trouve déjà fort compliquée. La Terre circule autour du Soleil dans une orbite dont le rayon moyen est égal à 386 fois celui de l'orbite elliptique de la Lune. Or, comme celle-ci ne cesse d'accompagner la Terre pendant cet immense voyage, mais en conservant les positions relatives indiquées par son mouvement circumterrestre, il en résulte que la forme de son orbite réelle est beaucoup plus compliquée que l'ellipse. C'est une ligne ondulée dont la figure 69 donne le développement pour une lunaison entière, et la figure 70, pour toute une année¹.

Si la Terre et la Lune, au lieu de se mouvoir simultanément le long de leurs orbites réelles, de manière à occuper les cinq positions indiquées sur la figure 69, étaient restées, la première

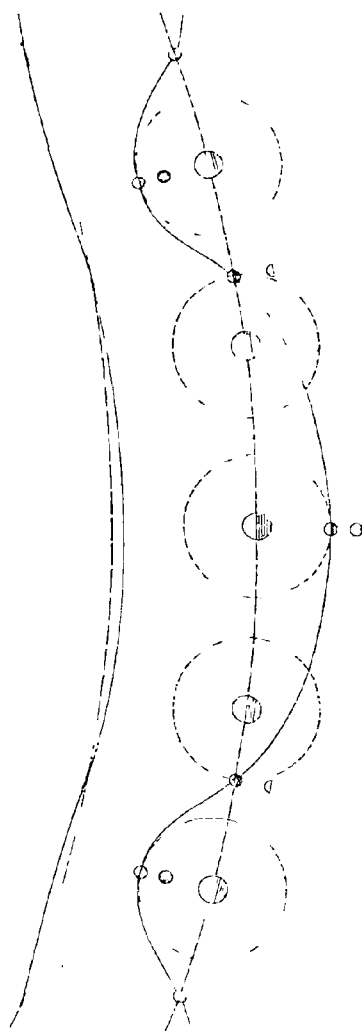


Fig. 69. — Forme sinuuse de l'orbite lunaire, 1° amplifiée; 2° dans ses vraies dimensions relatives.

1. Le calcul démontre que la courbe décrite par la Lune dans l'espace est toujours concave du côté du Soleil; elle n'offre donc pas les inflexions que nos

immobile, et la seconde circulant dans l'orbite tracée autour du globe, ne voit-on pas que les apparences eussent été précisément les mêmes, du moins en comparant les positions des deux astres autour du Soleil? C'est ainsi qu'une personne placée sur le pont d'un navire en marche, croit qu'en tournant autour du mât, elle se meut dans

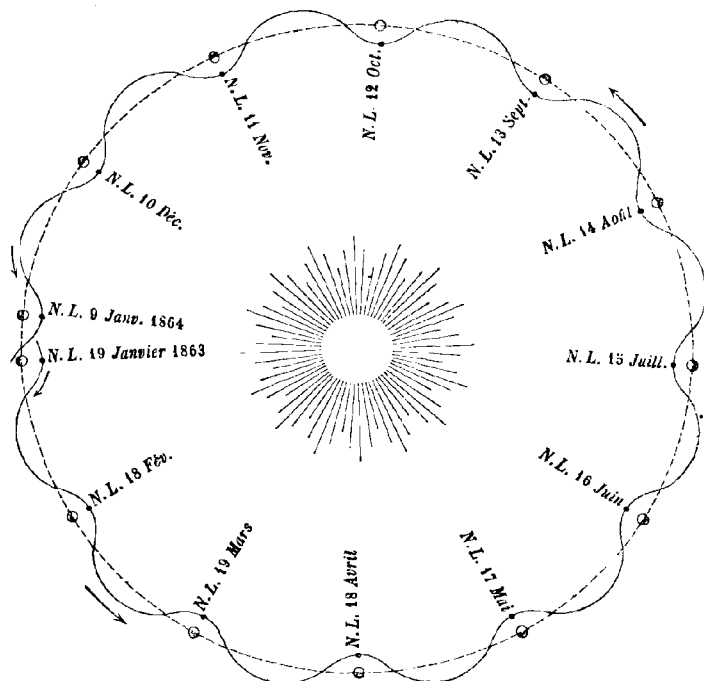


Fig. 70. — Courbe décrite, en une année, par la Lune autour de la Terre.

un cercle, tandis que la ligne qu'elle décrit à la surface de la mer est une courbe sinucuse, dont la forme est analogue à celle de l'orbite réelle de la Lune. En réalité, le chemin que parcourt alors cette personne est encore plus compliqué, et pour en dessiner la véritable forme, il faudrait tenir compte

figures indiquent. On conçoit qu'il eût été impossible de donner la forme rigoureuse de l'orbite lunaire, les proportions se trouvant ici nécessairement altérées.

à la fois de son propre mouvement, du mouvement du navire sur la mer, et du double mouvement de rotation et de révolution de la Terre elle-même. On verra plus tard que le Soleil se meut aussi dans l'espace, entraînant avec lui la Terre, les autres planètes et leurs satellites, d'où résultent, pour les orbites de tous ces corps, des formes sinueuses dont le degré de complexité varie avec le nombre des mouvements divers dont ils sont animés.

Le plan de l'orbite lunaire est incliné d'environ $5^{\circ} 9'$ sur celui de l'écliptique. La Lune, dans son mouvement de révolution, se trouve donc tantôt au-dessus ou au nord, tantôt au-dessous ou au sud de ce plan, par lequel il passe nécessairement deux fois à chaque période. C'est aux deux points particuliers que notre satellite occupe à l'époque de ces passages, qu'on donne le nom de *nœuds* ; le *nœud ascendant* est celui qui correspond au passage de la Lune du sud au nord de l'écliptique ; le *nœud descendant*, au passage opposé. Du reste, la position de ces nœuds varie d'une révolution à l'autre ; ils se déplacent dans un sens opposé au mouvement de la Lune, de manière à faire un tour entier tous les 18 ans $\frac{2}{3}$: c'est ce mouvement qu'on connaît en astronomie sous le nom de rétrogradation des nœuds de la Lune. Enfin, le grand axe de l'orbite ne reste pas non plus immobile dans son plan, de sorte que la position du périégée varie aussi à chaque révolution ; au bout de 9 ans, il fait le tour entier du ciel.

Un mot maintenant des dimensions de la Lune, telle qu'on les déduit de son diamètre apparent et de sa distance.

Son disque, vu à l'œil nu et apprécié sans mesure rigoureuse, nous semble avoir à peu près les mêmes dimensions apparentes que celles du Soleil. Le diamètre lunaire est néanmoins, en moyenne, un peu plus petit que le diamètre moyen du Soleil : il mesure, d'après Henderson, $31' 8'', 2$. Mais au périégée, il s'élève jusqu'à $32' 57''$ et dépasse ainsi notablement

le diamètre solaire ; à l'apogée, il descend à $29' 31''$ (fig. 68). Ces nombres sont relatifs au centre de la Terre ; mais, à la surface, la distance de la Lune varie, selon que l'astre, entraîné par le mouvement diurne, est plus haut ou plus bas au-dessus de l'horizon, ou pour parler un langage conforme à la réalité, selon que l'observateur entraîné par la rotation de la Terre est plus ou moins près du point de la surface pour lequel la Lune est au zénith, au moment de l'observation. C'est en ce point que les dimensions de la Lune sont les plus grandes possibles, et alors son diamètre apparent est

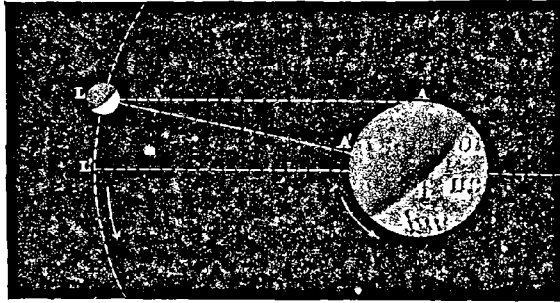


Fig. 71. — Différence des distances de la Lune, à l'horizon et au zénith.

égal à $31' 27''$; il dépasse d'environ $19''$ celui qu'on a calculé plus haut pour le centre de la Terre.

En tout cas, soit à son lever soit à son coucher, la Lune a des dimensions plus grandes à l'horizon, qu'au moment où, passant au méridien, elle atteint sa culmination maximum. La figure 71 rend compte de ce fait. Considérons un observateur situé en A à la surface de la Terre et ayant la Lune L sur l'horizon ; sa distance à l'astre est la ligne AL. Que la rotation de la Terre l'amène en A', la distance de la Lune ne sera plus que A'L. La première distance diffère peu de la distance des centres des deux astres ; la seconde, au contraire, n'est guère que la première diminuée du rayon terrestre, c'est-à-dire de la 60^e partie à peu près de la distance totale.

Il résulte de là que la Lune passant, par le fait du mouvement de rotation de la Terre, de l'horizon d'un lieu à son zénith, ce lieu se trouve par cela même rapproché de notre satellite d'environ 1600 lieues. Le disque lunaire devrait donc nous sembler plus gros au zénith qu'à l'horizon. Or tout le monde éprouve une illusion opposée. Au lever et au coucher de la Lune, son disque nous paraît énorme; il semble au contraire diminuer insensiblement, à mesure que l'astre s'éloigne des objets situés à l'horizon et monte dans la voûte étoilée. Je l'ai dit à propos du disque solaire : c'est une pure illusion. Pour s'en convaincre, il suffit de prendre la mesure exacte des deux diamètres, et le résultat qu'on trouve par une appréciation rigoureuse, indépendante de notre façon de juger, est entièrement opposé à la première apparence. Comment explique-t-on généralement ce phénomène assez singulier? Par une erreur spontanée de notre jugement. Quand le disque lumineux de l'astre est à l'horizon, il semble placé au delà de tous les objets interposés à la surface du sol, plus éloigné dès lors qu'au zénith où rien ne le sépare de nous. Or un objet qui conserve les mêmes dimensions apparentes est pour nous, selon les habitudes instinctives de notre œil, d'autant plus volumineux qu'il nous paraît plus éloigné. C'est ce qui arrive sans doute pour la Lune à l'horizon ¹.

Quelles sont les dimensions réelles de la Lune? La réponse à cette question est facile, puisqu'on connaît et la grandeur apparente du diamètre lunaire, et la distance où nous sommes de l'astre. Son diamètre réel mesure 870 lieues, ou plus exactement 3484 kilomètres. C'est, comme on peut le vérifier, un peu plus du quart du diamètre équatorial de la Terre ².

1. Si, lorsque le disque de la Lune apparaît à l'horizon avec ces dimensions illusoire, on se met à le regarder à l'œil nu, mais à travers le creux de la main ou dans un tube non muni de verres, l'illusion disparaît : il ne paraît point alors dépasser en grosseur le disque lunaire vu au zénith.

2. Le diamètre de la Terre étant 1, celui de la Lune est 0.273125.

En supposant la Lune sphérique, sa surface totale vaut un peu moins de la 13^e partie de la surface du globe terrestre, c'est-à-dire qu'elle mesure environ 38 millions de kilomètres carrés : c'est à peu de chose près quatre fois la superficie du continent européen, une étendue presque égale à celle du

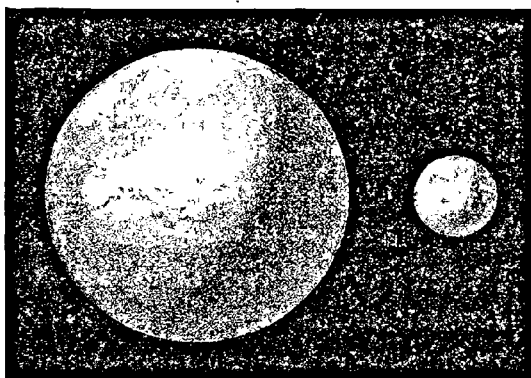


Fig. 72. — La Terre et la Lune, dimensions comparées.

Nouveau-Monde ou du continent formé par les deux Amériques. Enfin, si de l'étendue superficielle on passe au volume, on trouve que celui de la Lune est 0,0204, c'est-à-dire un peu plus de la quarante-neuvième partie du volume de la Terre, plus du tiers du volume de la planète Mercure. Il faudrait 62 400 000 globes lunaires pour combler l'intérieur de l'immense sphère du Soleil.

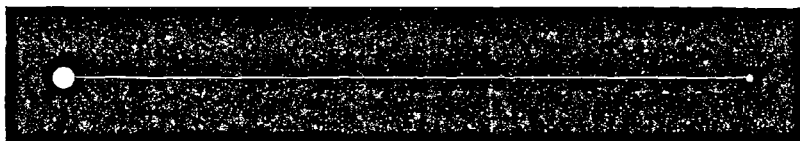


Fig. 73. — La Terre et la Lune, dans leurs vrais rapports de dimensions et de distance.

En examinant la Lune à l'œil nu, quand son disque est complètement éclairé, et en étudiant la physionomie particulière

que lui donnent ses taches pendant plusieurs révolutions successives, on reconnaît que c'est toujours le même hémisphère qu'elle tourne vers nous. Faut-il conclure de là qu'elle n'est pas douée d'un mouvement de rotation, qu'elle échappe ainsi à cette loi commune à tous les corps célestes dont les astronomes ont pu observer en détail la surface, loi qui associe le mouvement de translation au mouvement de rotation autour d'un diamètre de direction à peu près invariable ?

Tout au contraire : il résulte de ce fait que le globe de la Lune tourne sur lui-même, dans le sens commun à tous les mouvements de rotation et de translation, d'Occident en Orient. Seulement la durée de la période de rotation — et c'est là le caractère distinctif et original de la rotation lunaire — est précisément égal à la durée de la révolution sidérale de notre satellite, c'est-à-dire à 27 jours 7 heures 43 minutes et 11,5 secondes. Comme j'ai vu bien des personnes considérer cette conclusion comme paradoxale, il me semble nécessaire d'entrer à ce sujet dans quelques explications, de manière à lever l'objection que je leur ai souvent entendu faire, objection provenant de la fausse idée que se faisaient ces personnes du mouvement de rotation d'un corps mobile. « Puisque la Lune, disaient-elles, nous présente toujours la même face, c'est qu'elle ne tourne point sur elle-même. Si elle tournait sur un axe ou pivot, elle devrait nous présenter successivement toutes ses faces. » Telle est l'objection dans sa simplicité.

Elle serait fondée, si la Lune et la Terre étaient deux corps immobiles, dépourvus d'un mouvement de translation dans l'espace. Dans ce cas, la rotation lunaire serait indiquée par un déplacement apparent plus ou moins rapide des taches qui recouvrent le disque. Le temps que mettrait l'une d'elles à revenir au même point du disque serait précisément égal à la durée de la rotation. Si au contraire, dans cette hypothèse, la Lune ne tournait pas sur un de ses diamètres, cette immobilité se traduirait à nos yeux par l'immobilité des taches lunaires :

la Lune montrerait aussi la même face. Mais on sait que ni la Lune ni la Terre ne sont immobiles dans le ciel.

Pour résoudre cette difficulté, précisons bien le sens du phénomène : qu'est-ce qu'un mouvement de rotation ? Comment reconnaît-on qu'un corps, une sphère par exemple, a exécuté autour d'un de ses diamètres une rotation entière ? Évidemment, lorsque la sphère a présenté successivement l'une de ses faces à tous les points de l'espace indéfini qui l'entoure. Si l'on divise la rotation entière en quatre périodes, voici comment (fig. 74) la sphère se présenterait au début de chacune de ces périodes à un observateur immobile :

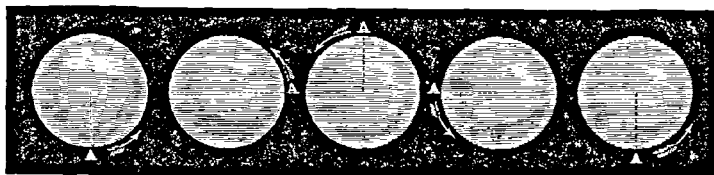


Fig. 74. — Mouvement de rotation d'une sphère supposée immobile.

or, que la sphère, pendant le temps précis qu'elle met à effectuer cette rotation autour d'un axe, exécute un mouvement de révolution autour de l'observateur immobile ou non, il n'en est pas moins évident que la rotation entière se sera effectuée, si la face dont le point A forme le centre apparent s'est successivement montrée à toutes les régions de l'espace. Or, tel est le cas de la Lune, après une révolution complète sur son orbite, ainsi que le fait voir la comparaison des figures 74 et 75¹.

Nous dirons plus loin comment il n'est pas rigoureusement exact d'affirmer que la Lune présente toujours la même face à la Terre ; en réalité notre satellite éprouve un léger balan-

1. La sphère de la figure 74 occupe cinq positions qui ont été placées à tort dans un ordre inverse des cinq positions de la Lune dans la figure 75. Mais cela ne change rien à la démonstration.

gement de l'est à l'ouest, et un autre du nord au sud. En outre, le point central du disque n'est pas identiquement le même pour des observateurs situés en des lieux différents à la surface de la Terre. Ces balancements ou librations sont dus à des causes que nous aurons l'occasion de définir : il suffit de savoir qu'ils ne modifient point le fait fondamental de l'égalité de durée, qui caractérise les deux mouvements simultanés de rotation et de révolution de la Lune.

Les nombres que nous venons de donner ne nous renseignent que sur l'importance géométrique du globe lunaire,

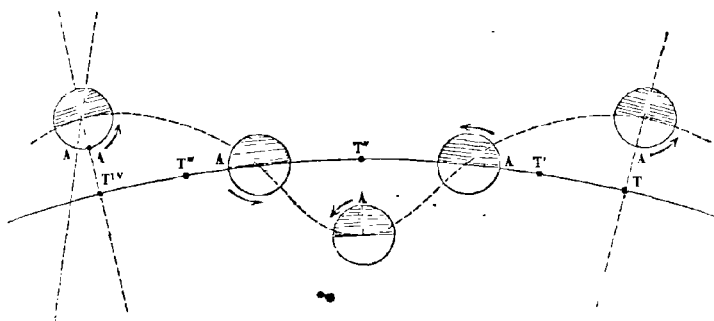


Fig. 75. — Réalité du mouvement de rotation de la Lune dans l'intervalle d'une lunaison.

mais ne nous disent rien sur la matière dont il est composé. Le télescope lui-même va nous faire voir quelle forme cette matière a prise sous l'influence des forces internes et comment elle s'est agglomérée, ici en vastes plaines, là en une multitude d'aspérités, de collines, de montagnes circulaires, de pics et d'aiguilles pyramidales ayant plus ou moins d'analogie avec nos montagnes terrestres. Mais quelle est la nature des roches dont ces aspérités sont formées, celle du sol uni des vallées et des plaines? ce sont là des questions dont la solution serait aussi intéressante qu'elle est difficile en réalité.

Toutefois, la mécanique céleste fournit à cet égard quelques données. La connaissance rigoureuse du mouvement qui entraîne la Lune autour de la Terre, la certitude où l'on est,

depuis la grande découverte de Newton, que c'est la pesanteur qui relie l'astre dans son orbite, ont permis de calculer la masse de notre satellite. Nous donnerons plus loin une idée des méthodes qui permettent un calcul de ce genre, nous dirons comment les astronomes ont pu peser les corps célestes, évaluer leurs masses et leurs densités. Appliquées à la Lune, ces méthodes nous apprennent que la masse de notre satellite est la 81^e partie de la masse de la Terre, ou la 26 000 000^e partie de celle du Soleil : la densité de la matière dont il est composé est donc égale aux 602 millièmes de la densité moyenne de notre globe.

Traduisons ces évaluations en nombres exprimant des quantités usuelles :

Le poids de la Lune vaut environ 72 000 000 000 000 000 000 tonnes de mille kilogrammes. Sa densité moyenne, rapportée à celle de l'eau, est 3.27 ; c'est dire que le globe lunaire pèse plus de trois fois et un quart autant qu'un globe d'eau de même dimension ; cette densité, comparée à celle de quelques minéraux de la croûte terrestre, nous permettra de nous faire une idée de la composition de la matière lunaire. On trouve ainsi que certains basaltes, le fer et le manganèse phosphatés, ont à peu de chose près le même poids spécifique que cette matière. La substance complexe dont sont formés quelques aérolithes est encore plus propre peut-être à nous fournir un terme de comparaison : aussi est-il curieux de trouver les nombres 3.41, 3.54 pour les densités de quelques-uns de ceux qui ont été recueillis après leurs chutes à la surface de la Terre.

Enfin, il est encore un élément qu'il faudra faire entrer en ligne de compte, quand on voudra comparer la constitution physique de la Lune à celle de notre globe terrestre : je veux parler de l'intensité de la pesanteur à sa surface. Cette intensité varie d'un astre à l'autre, étant d'autant plus grande que la masse totale est plus considérable, mais en même temps d'autant plus faible que le rayon de l'astre est plus grand, ou

ce qui est la même chose, que la surface du sol est plus éloignée du centre. En appliquant ces principes à la Lune, on arrive à ce résultat, que la pesanteur à sa surface est comprise entre $1/5$ et $1/6$ de celle qui presse les corps sur le sol terrestre. Si donc on imaginait un homme transporté dans notre satellite, si l'on supposait en outre que ses forces musculaires restassent les mêmes dans ce nouveau séjour, il y pourrait soulever sans plus d'effort des poids cinq à six fois aussi lourds que sur la Terre, et son propre corps lui semblerait cinq à six fois plus léger. On peut tirer de ce fait fondamental d'importantes conséquences, pour l'évaluation des forces qui ont été capables de soulever à de prodigieuses hauteurs les masses de rochers formant les montagnes lunaires.

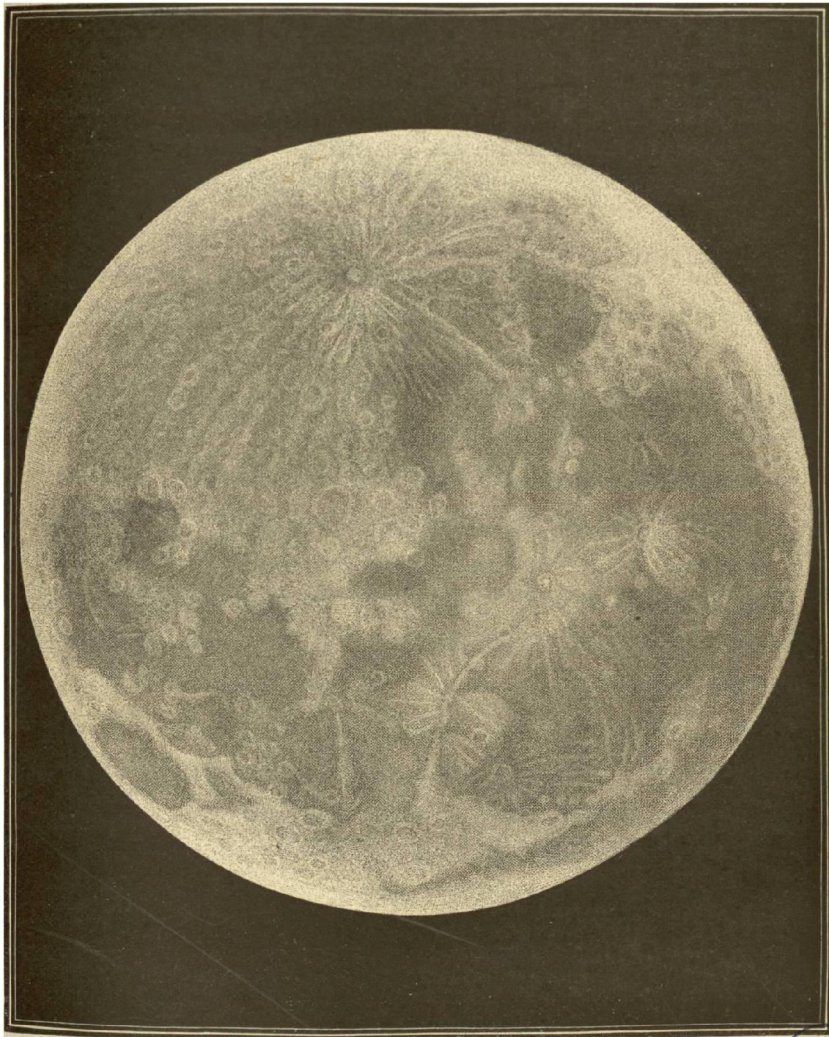
§ 2. — Les taches lunaires vues à l'œil nu. — Les mers ou plaines ; les montagnes. — Caractère volcanique des montagnes de la Lune. — Cirques, cratères, pics et pitons. — Hauteurs des montagnes. — Bandes brillantes et rainures.

Le monde que nous allons explorer, au sein duquel nous pénétrerons pour ainsi dire, grâce à sa faible distance et à la puissance des instruments d'optique, semblable à la Terre par quelques caractères généraux, en diffère profondément par tous les autres. Si, comme nous venons d'en faire l'hypothèse, il était donné à un habitant de la Terre d'être transporté subitement à la surface de la Lune, il serait frappé du plus étrange spectacle : la configuration du sol, tout recouvert d'aspérités, de cavités circulaires, de pics élevés, l'aspect du ciel, où les étoiles brillent en plein jour, l'âpreté des lumières et des ombres, l'éternel silence qui règne dans ces régions désolées, la rigueur des températures, tantôt glacées, tantôt torrides, les singulières conditions de l'existence des êtres organisés, si toutefois la vie y est possible, tout se réunirait pour confondre en lui les notions qui lui sont le plus familières.

Cependant, quels que soient les contrastes qui séparent le monde lunaire de notre globe, on verra que cette variété qui se manifeste avec une richesse merveilleuse, ici comme dans toutes les œuvres de la nature, est l'effet d'un petit nombre de causes, ou plutôt le résultat de simples modifications d'éléments qui sont au fond les mêmes pour tous les corps célestes. La simplicité des lois qui régissent les phénomènes astronomiques fait resplendir l'unité de structure du monde solaire d'un éclat incomparable.

La vue de la pleine Lune, à l'œil nu, par un ciel très-pur, permet déjà de distinguer les principales taches sombres ou brillantes, dont la permanence, nous l'avons dit plus haut, prouve que c'est toujours la même face ou le même hémisphère qu'elle tourne vers nous. De l'est à l'ouest, en remontant vers le nord, se succèdent plusieurs larges espaces grisâtres dont l'aspect uniforme contraste avec la moitié méridionale du disque, presque tout entière constellée d'une multitude de points brillants. Les bords nord-est et nord-ouest terminent le disque par des teintes plates, blanches et très-lumineuses, tandis que les régions centrales participent au ton général de la partie australe.

On avait donné jadis le nom de *mers* aux grandes taches sombres qui parsèment la moitié septentrionale de la Lune, et qui envahissent une partie de la moitié australe à l'occident et à l'orient. Cette dénomination a persisté jusqu'à nous, mais on verra bientôt qu'il ne faut point y attacher de sens précis. Les mers lunaires sont maintenant regardées comme des plaines, tandis que les parties les plus brillantes sont principalement des régions montagneuses. Je vais décrire sommairement les unes et les autres, en priant le lecteur de suivre ma description sur la planche IX qui représente la pleine Lune, vue à l'œil nu ou à l'aide d'une lunette d'un faible pouvoir grossissant. L'image est renversée et telle qu'on la voit dans une lunette astronomique.



LA LUNE VUE DANS SON PLEIN

Je commence par les mers.

Tout près du bord occidental, on voit une tache grise, de forme ovale, isolée au milieu de la teinte lumineuse du bord : c'est la *Mer des Crises*. Entre cette tache et le centre du disque, un large espace sombre, découpé par une sorte de promontoire aigu, a reçu le nom de *Mer de la Tranquillité*. Elle projette vers l'ouest deux appendices, dont le plus occidental et le plus grand forme la *Mer de la Fécondité*, tandis que l'autre, plus petit et plus rapproché du centre, est la *Mer de Nectar*. Si maintenant de la Mer de la Tranquillité on remonte vers le nord, on trouve la *Mer de la Sérénité*, traversée dans toute la longueur par une raie plus brillante à peu près rectiligne, et qui donne à la tache entière la forme de la lettre grecque majuscule Φ . La *Mer des Vapeurs* est comme un prolongement, vers le centre, de celle de la Sérénité. Enfin la *Mer des Pluies*, de forme ronde, la plus vaste de toutes celles qu'on vient de passer en revue, termine au nord la série des taches grisâtres auxquelles on est convenu de conserver le nom impropre de mers. Il faut ensuite redescendre vers l'est pour trouver l'*Océan des Tempêtes*, dont les contours plus vagues vont se perdre, vers le sud, dans la *Mer des Humeurs* et dans la *Mer des Nuées*, à peu de distance d'un point lumineux d'où partent, dans toutes les directions, des sillons blanchâtres d'une grande longueur.

Ce dernier point, qu'on peut considérer comme le centre des régions montagneuses qui environnent le pôle austral, n'est autre chose que Tycho, une des plus importantes élévations de l'hémisphère visible de la Lune.

Ou distingue encore, au-dessus de la Mer de la Sérénité, et dans le voisinage du pôle boréal, une tache étroite allongée de l'est à l'ouest, et connue sous le nom de *Mer du Froid*; sur la limite du bord nord-ouest, une tache d'une forme ovale fort allongée; c'est la *Mer de Humboldt*; et enfin sur le bord extrême du sud-ouest, la *Mer Australe*, dont on n'aperçoit

sans doute qu'une partie. Toutes ces prétendues mers projettent, sur leurs rives ou dans leur prolongement, des taches sombres plus petites qui ont reçu les noms de golfes, de lacs ou de marais. Citons-en quelques-uns.

Entre les mers de la Sérénité et du Froid s'étendent le *Lac des Songes* et le *Lac de la Mort*. Les *Marais de la Putréfaction* et des *Brouillards* occupent la partie occidentale de la Mer des Pluies, dont la rive septentrionale forme un golfe arrondi connu sous le nom de *Golfe des Iris* ou des *Arcs-en-ciel*. Le *Golfe de la Rosée* est le prolongement vers l'extrême nord-ouest de l'Océan des Tempêtes. Enfin, citons encore le *Marais du Sommeil* à l'ouest de la Mer de la Tranquillité; le *Golfe du Centre*, qui est le prolongement méridional de la Mer des Vapeurs, puis le *Golfe des Marais*, qui s'avance jusque sur le bord méridional de la Mer des Pluies.

Quant aux grands espaces lumineux et brillants qui encadrent les taches grisâtres que nous venons de décrire, ils n'ont pas reçu — nous ignorons pourquoi — de dénominations générales.

Les taches lunaires que nous venons de décrire, examinées à l'œil nu, ne nous apprennent rien encore sur la structure réelle du sol de notre satellite. C'est au télescope qu'il faut maintenant les étudier, ainsi que les régions brillantes qui les entourent et dont nous n'avons rien dit encore, sinon qu'elles diffèrent d'éclat avec les premières. Mettons donc l'œil à un instrument d'une moyenne puissance, à une lunette permettant un grossissement de 20 à 60 diamètres. Choisissons l'époque où la Lune est à l'un ou à l'autre de ses quartiers, c'est-à-dire quand le disque nous présente éclairée sa moitié occidentale ou sa moitié orientale.

Un spectacle merveilleux s'offre aussitôt à notre vue (planche X). Toutes les parties blanches ou brillantes du disque nous apparaissent parsemées d'une multitude prodigieuse de cavités de forme circulaire ou ovale et de dimensions très-



LA LUNE AU PREMIER QUARTIER
D'après une photographie de Warren de la Rue.

diverses. C'est dans les régions centrales, ou mieux sur les limites de la partie éclairée de la Lune, que ces accidents de la surface semblent le mieux accuser la structure dont nous parlons et qu'il est impossible de méconnaître. Ce sont comme autant de coupes dont les bords ou arêtes, en forme de remparts, s'élèvent à la fois au-dessus du niveau général et au-dessus du fond même de la cavité. Chacune d'elles est vivement éclairée du côté même de la lumière, c'est-à-dire à l'extérieur pour le demi-cercle qui présente sa convexité aux rayons solaires, et à l'intérieur pour l'autre moitié de l'enceinte qui leur présente sa concavité. Au contraire, du côté de la moitié obscure du disque, on aperçoit des ombres très-accusées qui achèvent de dessiner à merveille la forme générale de tous ces accidents du sol. Le fond même de la coupe est tantôt très-lumineux, tantôt d'une teinte plus sombre, et dans quelques-unes des cavités, on aperçoit très-nettement des éminences qui portent ombre sur le sol intérieur. Leurs dimensions, avons-nous dit, sont très-variées. Les unes paraissent comme de petits trous dont le sol est criblé. Les autres sont comme de vastes cirques, ou enceintes circulaires renfermant quelquefois, à leur intérieur et sur leurs bords, des cavités d'une dimension beaucoup moindre.

Ce premier coup d'œil jeté, à l'aide d'une lunette, sur le disque de la Lune, nous démontre avec une pleine évidence que le sol lunaire est couvert d'aspérités et de dépressions. Ces aspérités ne sont autre chose que les montagnes de la Lune.

Continuons notre exploration.

Nous avons vu que la forme des accidents du sol est tantôt circulaire, tantôt ovale. Y a-t-il une réelle différence entre ces deux aspects? Non, comme nous pourrions aisément nous en convaincre. Remarquons cette circonstance. La forme exactement circulaire appartient à toutes les cavités, à toutes les enceintes situées dans les régions centrales du disque. Quand on

examine celles qui s'éloignent du centre pour se rapprocher peu à peu des bords, on voit que leur forme devient insensiblement ovale ou elliptique, et l'ovale est d'autant plus allongé que la cavité qu'on examine est plus rapprochée du bord, quelle que soit d'ailleurs la direction qu'on ait choisie pour faire cet examen. En outre, le plus grand diamètre de chaque ellipse est toujours parallèle à la portion d'arc de cercle du bord lunaire, qu'on obtient en joignant le centre du disque au centre de la cavité considérée. La plus simple réflexion sur ces circonstances singulières nous oblige à reconnaître que la forme réelle de chaque cavité, de chaque enceinte, est la forme circulaire. L'apparence elliptique n'est due qu'à un effet de perspective, provenant de ce que chaque cercle se trouve tracé sur les diverses parties d'une moitié de sphère. Les portions de surface qui se trouvent en face de notre rayon visuel perpendiculairement à sa direction nous apparaissent non déformées; les autres, au contraire, sont vues obliquement, et leur déformation est d'autant plus considérable qu'elles appartiennent à des régions vues sous une obliquité plus grande.

Supposons maintenant que nous ayons observé la Lune à l'époque précise du premier quartier. Le lendemain et les jours suivants, si le ciel le permet, continuons notre examen.

Nous verrons la lumière envahir successivement les régions orientales du disque, et de nouvelles aspérités peu à peu apparaître, dont les sommets seuls étaient d'abord éclairés par le Soleil (suivre toujours la planche X). Rien n'est plus curieux que de voir se dessiner d'abord, au sein de l'ombre, la paroi intérieure d'une cavité nouvelle sous forme de croissant, puis peu à peu la lumière grandir, pénétrer au fond de la coupe, et en éclairer tout le contour. D'autres fois, c'est un point lumineux isolé dont le sommet brille, tandis que la base de l'éminence est tout entière encore plongée dans la nuit. On assiste de la sorte en réalité au lever du Soleil sur la Lune. Au dernier quartier, les ombres ont une direction opposée; mais les

mêmes phénomènes se présentent en sens contraire, et les mêmes régions étant vues alors au coucher du Soleil, ce sont les versants orientaux des montagnes qui reçoivent sa lumière.



Fig. 76. — Cratère lunaire, après le lever du Soleil.

A mesure que la Lune suit ainsi son cours, et que sa phase éclairée s'agrandit, on voit, comme on devait s'y attendre, les ombres des montagnes diminuer d'étendue, le fond des plaines

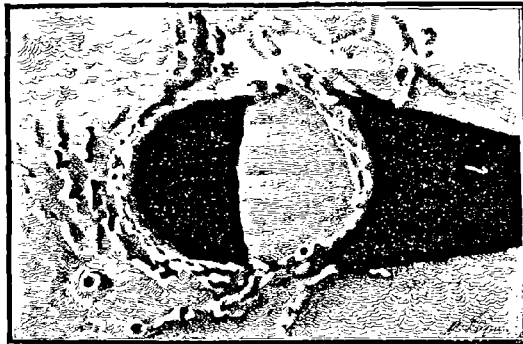


Fig. 77. — Cratère lunaire avant le coucher du Soleil.

s'éclairer d'une lumière plus vive, et la structure de notre satellite se déployer devant nos yeux dans tous ses détails.

On a donné aux cavités lunaires de petites et de moyennes dimensions, le nom de *cratères* ou de *volcans*, à celles qui affectent des dimensions plus considérables, celui de *cirques*,

et les montagnes isolées, de forme pyramidale ou conique qui s'élèvent le plus souvent à l'intérieur des cirques, sont des *pics* ou *pitons*. Les plus importantes des montagnes lunaires ont reçu des dénominations particulières empruntées aux noms des savants les plus illustres de l'antiquité et des temps modernes. Quant aux appellations générales dont il vient d'être question, elles sont justifiées par le caractère éminemment volcanique que tous les astronomes reconnaissent aux montagnes lunaires.

Les chaînes de montagnes sont relativement peu nombreuses à la surface de l'hémisphère visible de la Lune. La plupart se trouvent dans la partie septentrionale du disque. Les Alpes, le Caucase, les Apennins sont les plus remarquables. Cette dernière chaîne sépare les Mers de la Sérénité et des Vapeurs, de la Mer des Pluies qu'elle entoure d'une enceinte de forme semi-circulaire. Elle est facile à voir dans le dessin que nous avons donné plus haut de la pleine Lune. Citons encore les Karpâthes et les monts Ourals qui séparent l'Océan des Tempêtes de la Mer des Pluies et de celle des Nuées; les monts Dœrfeļ et Leibnitz, au pôle austral; les Pyrénées, qui séparent les plaines de la Fécondité et du Nectar; vers l'est, les monts Altaï, voisins de cette dernière mer, présentant un développement de 100 lieues du nord au sud; et enfin les Cordillères et les monts d'Alembert, sur le bord occidental de la Lune. Les Apennins, les plus considérables de ces chaînes de montagnes, n'offrent cependant qu'un développement de cent cinquante lieues de longueur. Il y a d'ailleurs une différence caractéristique entre les chaînes lunaires et les chaînes terrestres. Tandis que celles-ci s'étendent le plus souvent en ligne droite, ou parallèlement à un grand cercle de la sphère, formant une série de systèmes qui se coupent sous divers angles, et dont chacun correspond à une époque particulière de soulèvement, les chaînes de montagnes de la Lune sont presque toutes développées en arcs de cercle, comme si

elles avaient appartenu jadis à d'immenses cirques ou circonvallations. Elles ont, sous le rapport de la forme, quelque analogie avec le cirque de la Bohême.

Un mot maintenant de la hauteur des montagnes de la Lune.

Les plus élevées de toutes sont dans le voisinage du pôle austral : c'est là qu'on trouve le mont Dœrfel, dont le sommet atteint 7600 mètres d'altitude, les monts Casatus et Curtius, de 6956 et 6769 mètres, et la montagne annulaire de Newton, de 7264 mètres de profondeur. « L'excavation de cette dernière est telle, dit Humboldt, que jamais le fond n'en est éclairé ni par la Terre, ni par le Soleil, » circonstance qui tient aussi à sa position extrême près du pôle sud de la Lune. Dans les régions boréales, on trouve aussi des hauteurs considérables : Calippus, dans le Caucase, Huyghens, dans les Apennins, atteignent respectivement 6216 et 5550 mètres de hauteur. La crête de cette dernière chaîne est bordée, sur un de ses côtés, de précipices d'une effrayante profondeur, et au lever du Soleil, les pics dont elle est formée vont projeter leurs ombres à une distance de plus de 130 kilomètres. Les montagnes en forme de dômes ou de pyramides, isolées au centre des cirques ou des cratères, sont généralement moins élevées que les sommets de leurs enceintes. Mais, si l'on mesure leurs hauteurs à partir du niveau du sol inférieur, on trouve encore des sommités qui dépassent les plus hautes montagnes de notre Europe : le piton du cratère de Tycho a 3000 mètres de hauteur, et celui d'Ératosthène, à l'extrémité de la chaîne des Apennins, s'élève de 4800 mètres au-dessus du fond du cirque.

En résumé, d'après les nombreuses mesures dues à Beer et Mædler, 39 montagnes lunaires sont supérieures à la cime de notre Mont-Blanc, et 6 ont plus de 6000 mètres, rivalisant ainsi avec les plus hautes cimes des Cordillères des Andes, de notre continent américain. Les dimensions en diamètre des

aspérités lunaires ne sont pas moins étonnantes que leurs hauteurs verticales. Citons les immenses cirques de Ptolémée, de Copernic et de Tycho, dont les diamètres mesurent respectivement 180, 96 et 88 kilomètres, et plus de trente autres cirques de plus de 80 kilomètres de dimensions transversales. Le cirque de Shickardt est un des plus considérables de l'hémisphère visible de la Lune : son diamètre ne mesure pas moins de 256 kilomètres ou 64 lieues; et la hauteur de l'une des montagnes qui le bordent est 3200 mètres. Circonstance singulière! un observateur placé au centre de l'immense plaine circulaire qui forme Shickardt ne pourrait apercevoir le sommet des hautes montagnes qui l'environnent de tous côtés. Leur distance et la courbure du sol sont telles, que les bords du cratère plongent sous l'horizon visible. Quelle différence avec les cratères de nos volcans « qui, à la distance de la Lune, seraient à peine visibles au télescope. » (Humboldt.) Du reste, parmi les cratères proprement dits, il n'est pas rare d'en trouver qui offrent des diamètres de 4 à 5 lieues.

Les montagnes de la Lune sont d'origine volcanique.

C'est là un fait capital qui ressort directement de la forme arrondie, annulaire des grandes vallées, des cirques et de toutes les cavités plus petites, auxquelles on a donné, nous l'avons vu, le nom de cratères ¹.

Mais, si l'origine ignée paraît la seule vraisemblable pour toutes les aspérités montagneuses et cratériformes, ce n'est

1. Depuis longtemps, tous les astronomes s'accordent à considérer les formations du sol lunaire comme dues à une réaction des forces internes contre l'écorce extérieure du globe. Robert Hooke « attribua ces phénomènes à l'effet de feux souterrains, à l'irruption de vapeurs élastiques, ou même à un bouillonnement dégageant des bulles qui viennent crever à la surface. Des expériences faites avec des boues calcaires en ébullition lui parurent confirmer ses vues; et dès lors on compara les circonvallations et leurs montagnes centrales aux formes de l'Etna, du pic de Ténériffe, de l'Hécla et des volcans de Mexico. » (Humboldt.) Sir John Herschel n'est pas moins affirmatif à cet égard : « Les montagnes lunaires, dit-il, offrent au plus haut degré le vrai caractère volcanique, tel que le présentent le cratère du Vésuve et les districts volcaniques des Champs phlégréens ou du Puy-de-Dôme. » (*Outlines of Astronomy.*)

pas à dire qu'elles soient uniquement le produit d'éruptions volcaniques dans le sens restreint du mot. La Lune a été primitivement, comme la Terre, un globe fluide, à la surface duquel le refroidissement, dû au rayonnement calorifique, a déterminé la formation d'une écorce solide. C'est cette écorce qui a été le siège des phénomènes subséquents dont les traces subsistent aujourd'hui sous la forme d'aspérités de dimensions très-différentes; et les causes de cette série de productions sont, sans aucun doute, les forces expansives des gaz et des vapeurs que la haute température du noyau développait incessamment. A l'origine, l'écorce solide de la Lune, moins épaisse, était par cela même moins résistante; et comme elle n'avait point encore été bouleversée par les secousses antérieures, elle devait présenter en tous ses points à peu près la même homogénéité et la même épaisseur. La force expansive des gaz agissant alors perpendiculairement aux couches superficielles et suivant les lignes de moindre résistance, dut briser l'enveloppe et produire des soulèvements de forme circulaire. C'est sans doute à cette période qu'il faut rapporter la formation des immenses circonvallations dont l'intérieur est aujourd'hui occupé par les plaines appelées mers. Nous avons déjà fait ressortir la forme circulaire de la Mer des Crises et de celles de la Sérénité, des Pluies et des Humeurs. Leurs enceintes, à demi ruinées par des révolutions postérieures, forment encore aujourd'hui les plus longues suites d'aspérités du sol lunaire, les chaînes de montagnes des Karpathes, des Apennins, du Caucase et des Alpes, les monts Hémus et Taurus.

Puis vinrent de nouveaux soulèvements, mais qui, survenus à une époque où la croûte du globe lunaire avait acquis une plus grande épaisseur, ou encore provenant de forces élastiques moins considérables, donnèrent lieu aux plus grands cirques, déjà bien inférieurs en dimensions aux formations primitives. Tels paraissent être les cirques de Shickardt, de Grimaldi, de Clavius.

Apparurent ensuite une foule de cirques de dimensions moyennes, dont les enceintes couvrirent le sol tout entier de la Lune, et qui se formèrent au sein même des circonvallations primitives. On comprend aisément la raison de la diminution successive des dimensions des montagnes annulaires, cratères et cirques. Chaque cirque est dû, comme nous l'avons dit, à un soulèvement en bulle, en vessie, dont l'affaissement a produit à l'intérieur une cavité de forme elliptique et sur les bords une ou plusieurs enceintes sous forme de remparts. Or, les dimensions de ces boursoufflements durent être en rapport et avec l'intensité de la force interne qui les produisait, et avec la résistance de la croûte solide, ou plutôt pâteuse, du globe lunaire. Il est probable que ces deux causes ont concouru pour produire les effets signalés plus haut, de sorte qu'en général ce sont les plus grands cirques ou cratères qui furent formés les premiers. La planche XI, que nous devons à la bienveillance de M. Warren de la Rue, et qui représente, d'après une de ses magnifiques photographies lunaires, les montagnes des environs de Tycho, permet de reconnaître aisément l'âge relatif de plusieurs formations cratériformes; et l'on y voit clairement qu'en général les plus petits cratères sont en effet les plus réguliers, que la plupart se sont formés sur les parois des cratères plus considérables, de sorte que les circonvallations de ceux-ci en sont ébréchées, et de circulaires qu'elles étaient à l'origine, ont pris une forme polygonale.

Mais c'est le moment de faire une distinction entre les deux natures de sol qui caractérisent la surface de notre satellite. Le premier constitue ce qu'on a nommé dès le début le sol continental; c'est celui des régions montagneuses qui recouvrent presque toute la partie australe de l'hémisphère visible. « Sa structure poreuse, dit un observateur bien familiarisé avec les études sélénologiques, M. Chacornac¹, son grand pou-

1. *Note sur les apparences de la surface lunaire.*

voir réflecteur et surtout son élévation au-dessus des plaines, l'ont fait distinguer nettement du sol nivelé, dont la couleur sombre, la surface lisse lui donnent toutes les apparences des plaines d'alluvion, suivant l'expression de sir J. Herschel. » Les mers de la Lune sont-elles, en effet, des plaines d'alluvion? Non, pas précisément dans le sens terrestre de ce mot. L'astronome que nous venons de citer récuse en effet cette expression comme impropre. Mais il s'appuie sur de nombreux et très-intéressants phénomènes, pour admettre qu'à la période primitive où les plus grandes circonvallations

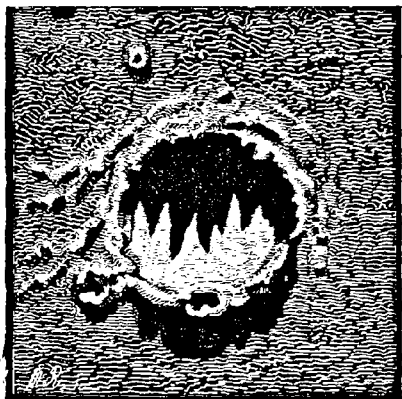


Fig. 78. — Cirque à fond elliptique, en forme de coupe.

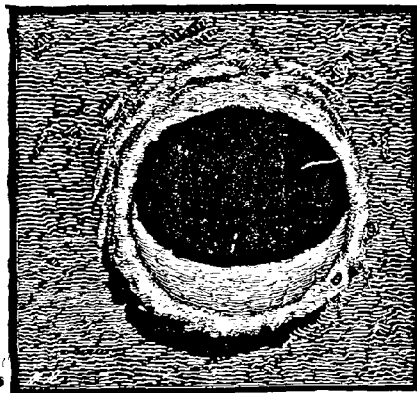


Fig. 79. — Cirque comblé ou à fond plat.

ont apparû, a dû succéder une sorte de diluvium général ou d'épanchement boueux. « Cet épanchement aurait enseveli sous une masse brune plus des deux tiers de la surface visible de la Lune, le fond de tous les grands cratères, en s'étalant d'une extrémité à l'autre, sensiblement sur un même niveau. »

En effet, parmi les cratères innombrables dont les cavités criblent la surface du sol lunaire, les uns présentent, à l'intérieur, une excavation de forme régulièrement conique, ou plutôt elliptique, parfaitement évidée, et dont les bords ou remparts sont intacts. D'autres, au contraire, ont leurs encein-

tes ébréchées, et le fond de la cavité est plat et de niveau avec le sol des vallées environnantes. (Voir les figures 78 et 79.) C'est surtout sur le rivage des mers que se rencontrent ces cratères en partie démolis et dont il paraît évident que la cavité a été remplie par l'épanchement que signale M. Chacornac. « La configuration de ces rivages présente de vastes baies semi-circulaires, dont l'entrée est en partie obstruée par les débris de l'enceinte ruinée, précisément dans la direction du large (figure 80), comme cela a lieu du reste pour le fond

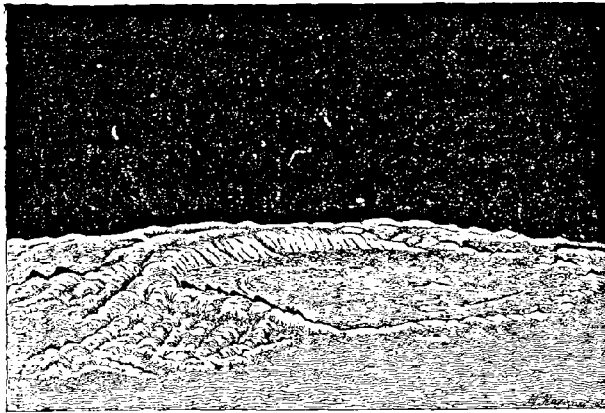


Fig. 80. — Cratère enseveli sur les rives de l'Océan des Tempêtes, d'après un dessin de M. Chacornac.

du cratère de l'île Saint-Paul (Océan Indien), envahi de nos jours par les eaux de l'Océan. » Le Golfe des Iris, sur le bord de la mer des Pluies, est un des exemples les plus remarquables de cet envahissement. Mais on peut en citer beaucoup d'autres, parmi lesquels nous nommerons au hasard, Hippalus et Doppel Mayer, dans la mer des Humeurs; Davy et Bonpland, dans celle des Nuées; Fracastor, sur le rivage austral de la mer de Nectar. Plusieurs des cratères qui se sont soulevés à l'intérieur même des plaines paraissent en partie couverts par la même irruption de matières liquides; M. Chacornac cite les cirques Kiès et Lubiniezyk comme des types curieux

de cette formation. « Chacun d'eux présente des remparts de quarante-cinq lieues environ de développement, s'élevant à pic, au sein d'un immense désert, jusqu'à deux ou trois cents mètres de hauteur. » D'autres cirques paraissent enfouis presque entièrement, et l'on ne voit plus que de faibles vestiges de leurs enceintes. Nous citerons un cirque immense, voisin du cratère Flamsteed, qui s'est élevé depuis sur les bords de l'enceinte primitive.

D'après ces vues, auxquelles les faits observés donnent un grand degré de vraisemblance, on voit que la différence d'aspect du sol des montagnes et du sol des plaines est due à une différence d'origine. On s'explique alors « l'apparence raboteuse, rugueuse, accidentée d'aspérités, de boursoffures scoriformes qui donnent au sol continental l'aspect du mâchefer. » On comprend le contraste que présente « l'apparence lisse des surfaces dites maritimes, semblables à du plâtre coulé, ou mieux encore à une immense plaine de boue desséchée. »

Maintenant, à quelle crise attribuer l'apparition de ce diluvium? Il est difficile de répondre à cette question, dont la solution exigerait que l'on connût parfaitement les états antérieurs par lesquels a passé notre satellite. Le savant observateur, à qui nous avons emprunté les rapprochements si curieux qui précèdent, attribue l'origine des épanchements boueux à la précipitation des gaz non permanents qui constituaient autrefois l'atmosphère lunaire. « On comprend en effet, dit-il, que, notre satellite étant parvenu à un certain degré de refroidissement, la pression atmosphérique favorisât la précipitation des gaz et des vapeurs qui se répandirent sous forme de pluie sur tous les points de la surface, et comblèrent ainsi les grands cratères formés de toutes parts, tandis que ceux de l'époque postérieure à la consolidation de ces fluides sont complètement à l'abri de tout dépôt sédimentaire. »

Il y a, comme on le voit, entre les volcans de la Lune et les

volcans terrestres, en même temps que certaines analogies, des différences faciles à saisir. Le côté commun, ou de res-

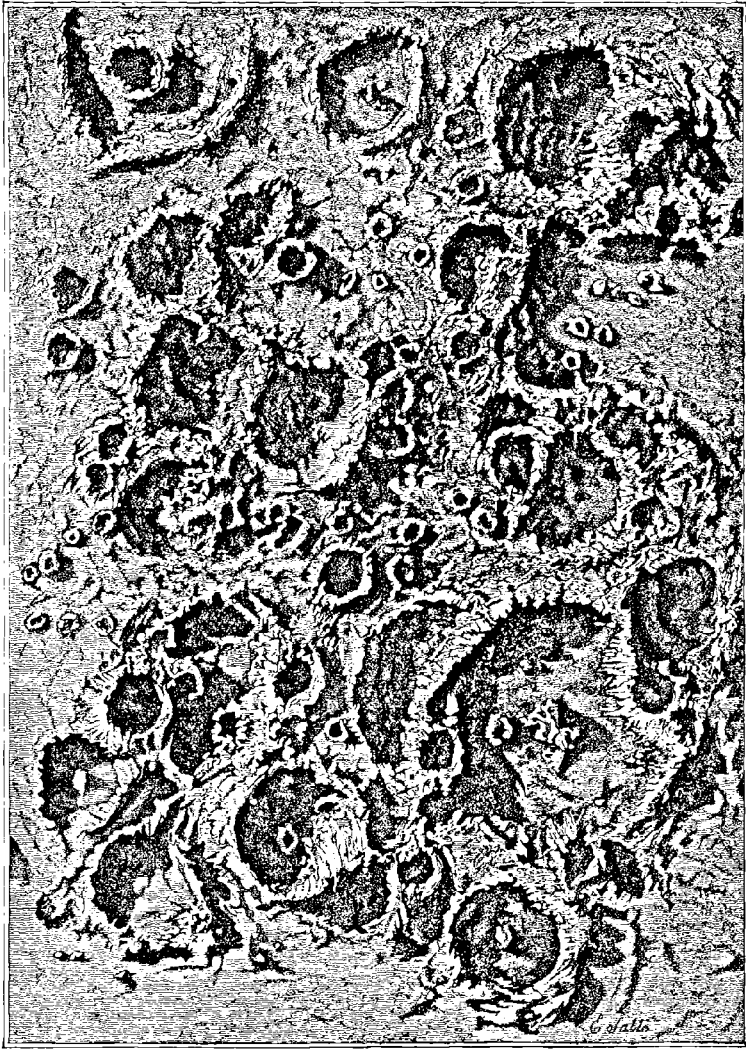


Fig. 81. — Montagnes des environs S. E. de Tycho, d'après Nasmyth,

semblance, consiste principalement dans l'origine ignée ou plutonienne, comme disent les géologues. Mais il est probable que les phénomènes qui ont été, sur le globe lunaire, la con-

séquence des actions intérieures, ne se sont pas, en général, passés de la même façon que les phénomènes éruptifs terrestres. On peut assigner à cette différence des raisons de plusieurs ordres. D'abord, les substances composant la masse de notre satellite sont sans doute tout autres que celles qui forment le noyau de la Terre : tout au moins, comme on le

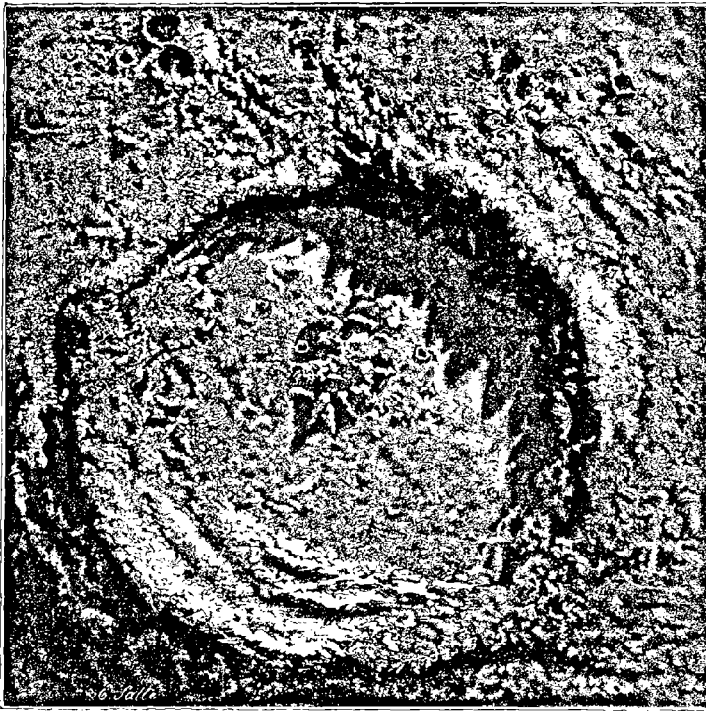


Fig. 82. — Le cirque de Copernic, d'après l'amiral Smyth.

sait avec certitude, leurs densités moyennes diffèrent beaucoup. La pesanteur à la surface étant, sur la Lune, cinq à six fois moindre que la pesanteur à la surface de notre globe, on comprend combien ce seul élément est susceptible de modifier les effets dus aux actions souterraines ; il faut y ajouter l'absence ou la presque nullité de la pression atmosphérique. Les cônes d'éruption des volcans terrestres s'élèvent le plus

souvent à une grande hauteur au-dessus du sol des plaines ambiantes, tandis que le cratère proprement dit offre une profondeur beaucoup moindre. Ce cratère doit être plutôt considéré comme l'orifice évasé d'une cheminée étroite qui communique profondément avec les couches internes du globe. Sur la Lune, il en est tout autrement : c'est la cavité intérieure qui est la plus profonde, et les flancs de l'enceinte sont moins élevés par rapport au niveau du sol extérieur, de sorte que la



Fig. 83. — Le pic de Ténériffe et ses environs, d'après Piazzì Smyth.

montagne paraît plutôt formée par l'affaissement d'une bulle primitive que par une éruption volcanique proprement dite. La comparaison des cratères lunaires que représentent les figures 81 et 82 avec le volcan de Ténériffe et les cratères de soulèvement de l'île de la Réunion (fig. 83 et 84), fera comprendre mieux qu'une description la différence de structure que nous venons de signaler.

Peut-être, parmi les cratères de petites dimensions, dont la profondeur ne permet pas de voir le niveau interne, en est-il qui sont tout à fait analogues aux cratères des volcans

terrestres. On a vu que ce sont en général ceux dont l'origine paraît la plus récente.

Enfin, il est possible aussi que la différence de structure que l'on remarque entre le sol lunaire et le sol continental de notre globe, tiennent à ce qu'aucune formation véritablement sédimentaire n'est venue détruire, effacer les traces des formations plutoniennes. C'est l'opinion de Humboldt : « On peut

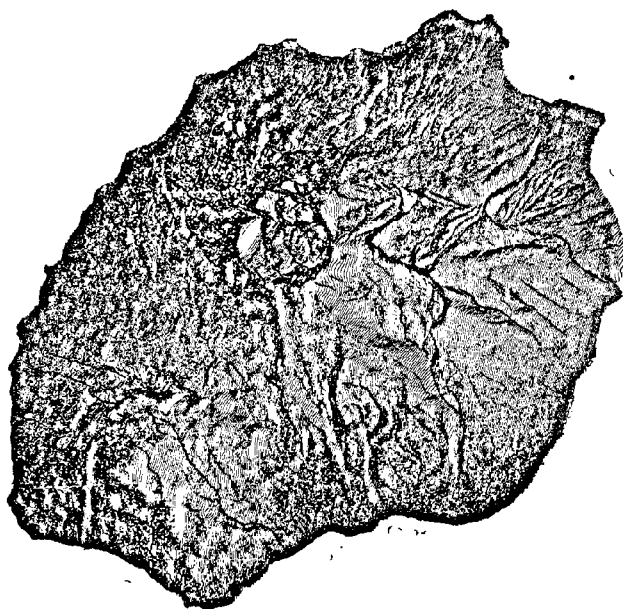


Fig. 84. — Relief topographique de l'île Bourbon (la Réunion), d'après L. Maillard.

se figurer notre satellite, dit-il, à peu près tel que dut être la Terre dans son état primitif, avant d'être couverte de couches sédimentaires riches en coquilles, de graviers et de terrains de transport, dus à l'action continue des marées ou des courants. A peine peut-on admettre qu'il existe dans la Lune quelques couches légères de conglomérats et de détritiques formés par le frottement. Dans nos chaînes de montagnes, soulevées au-dessus des crevasses dont le sol terrestre est sillonné, on commence à reconnaître, çà et là, des groupes partiels

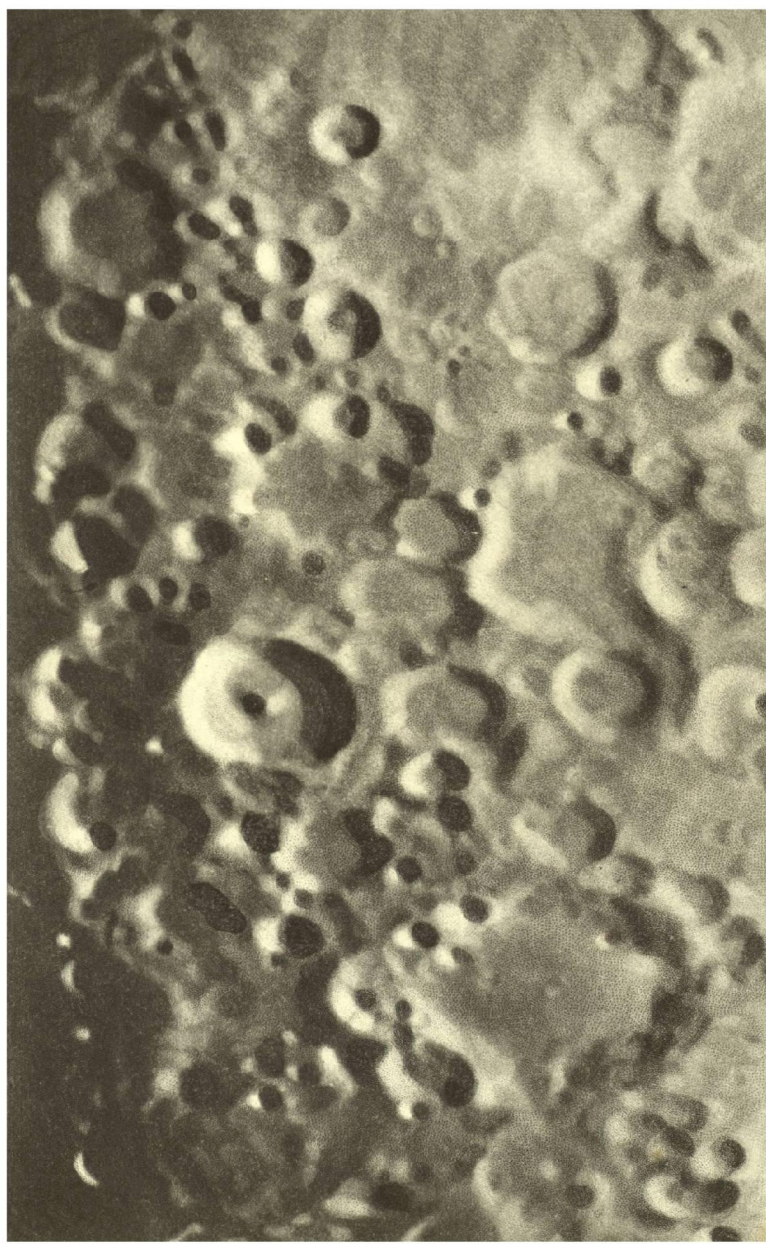
d'éminences qui représentent des espèces de bassins ovaux. Combien la Terre ne nous paraîtrait-elle pas différente d'elle-même, si nous la voyions dépouillée des formations tertiaires et sédimentaires, ainsi que des terrains de transport ! »

« L'enceinte montagneuse de la Bohême, d'une forme moins régulière, il est vrai, que les grands cirques de la Lune, les rappelle néanmoins; et par la forme et par les dimensions.

Nous avons vu qu'un assez grand nombre des cirques et des cavités des cratères lunaires renferment à leur intérieur des montagnes isolées en forme de pics ou de pyramides. Il en est même où l'on observe plusieurs sommets de ce genre : ainsi, l'enceinte de Copernic présente six montagnes centrales. Circonstance singulière, aucune de ces aspérités n'atteint en hauteur les bords de l'enceinte; la plupart même sont à un niveau inférieur à celui de la surface lunaire d'où le cratère est sorti. D'après Mædler et Jules Schmidt, un grand nombre de montagnes centrales ont une altitude inférieure de 2000 mètres au bord moyen du rempart circulaire, et qui est encore de 200 mètres au-dessous du niveau moyen du sol dans cette partie de la Lune. Humboldt, en citant ces faits, rapporte l'opinion de Léopold de Buch, qui ne regarde pas ces masses comme produites par l'éruption volcanique, et les assimile « aux grands dômes trachytiques, fermés au sommet, qui sont répandus en si grand nombre à la surface de la Terre, tels que ceux du Puy-de-Dôme et du Chimborazo. »

Une disposition très-fréquente des montagnes lunaires consiste dans l'existence des cratères parasites formés postérieurement aux cirques et cratères principaux, le plus souvent sur les bords de leurs enceintes. On peut en voir un grand nombre dans le dessin que nous donnons des environs de Tycho, d'après la photographie de M. Warren de la Rue (planche XI). Le grand cirque de forme elliptique, Maginus, situé au sud-est de Tycho, est remarquable sous ce rapport. Les bords de ces cratères secondaires empiètent même souvent les uns sur les

TYCHO $\frac{1}{2}$



NORD

WARREN DE LA RUE, Phot.

OUEST

D. J. POUND, Sculp.

LES MONTAGNES DE LA LUNE.

Facsimile d'une Photographie de M^r Warren de la Rue (96 centim. de diamètre)

autres; et il en résulte des séries de déformations qui permettent aisément de les ranger par ordre d'ancienneté. Or, en opérant cette classification par âges successifs, on retrouve la loi que nous avons énoncée plus haut, d'après laquelle les plus petits cratères sont presque toujours les plus récents.

Il nous reste maintenant, pour terminer cette étude des formations successives du sol lunaire, à dire ce qu'on sait ou plutôt quelles conjectures on a formées sur l'origine des accidents décrits plus haut, sous les noms de *bandes lumineuses*, de *cratères rayonnants* et de *rainures*.

Qu'on veuille bien se reporter au dessin de la planche IX (page 212), on verra partir des deux points principaux, Tycho et Copernic, une série de rayons lumineux qui, traversant les montagnes et les taches voisines, s'étendent à une grande distance des centres étoilés. Plus de cent bandes lumineuses divergent ainsi de Tycho. Aristarque, Copernic, Képler, les Carpathes, offrent des systèmes analogues qui semblent se rejoindre et se relier les uns aux autres (fig. 85). Ces singulières apparences, dont on n'a pu donner encore une explication bien satisfaisante, ne sont visibles qu'aux environs de la pleine Lune. Elles disparaissent pendant les autres phases, ce qui semble démontrer qu'elles ne sont point formées d'aspérités, puisqu'alors elles projetteraient des ombres et seraient au contraire nettement visibles. Doivent-elles leur origine aux éruptions des volcans qui occupent leur centre? S'il en est ainsi, ne pourrait-on y voir autant de fentes remplies après coup de matières blanchâtres et cristallines et formant ainsi à la surface même du sol autant de filons légèrement lumineux? Selon les vues d'un observateur éminent, M. Chacornac, les cirques ou cratères à centres rayonnants ont une origine relativement récente. Lors de l'éruption qui a produit ces cirques, les masses gazeuses, en s'échappant par les cavités volcaniques nouvelles, et en se précipitant dans le vide, ont balayé sur leur passage les matières pulvérulentes et

blanchâtres qui recouvraient les sommités des cratères voisins, d'origine antérieure; de là, ces longues bandes blanches qui rayonnent de Tycho, dans la direction des méridiens ayant ce volcan pour pôle commun. Cette explication des bandes lumineuses singulières qui partent de Tycho, de Proclus, d'Aristarque, de Copernic et d'Euler, jettera peut-être un grand jour sur la constitution physique de notre satellite.

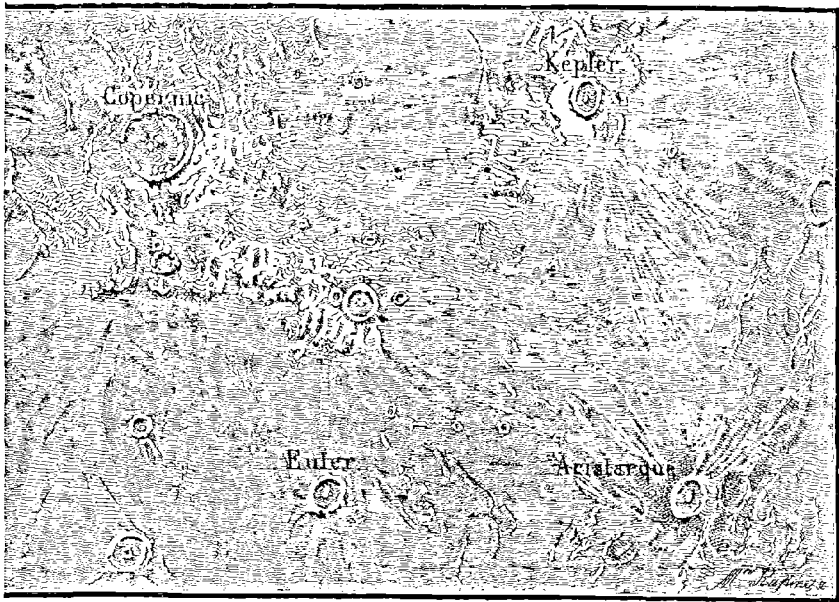
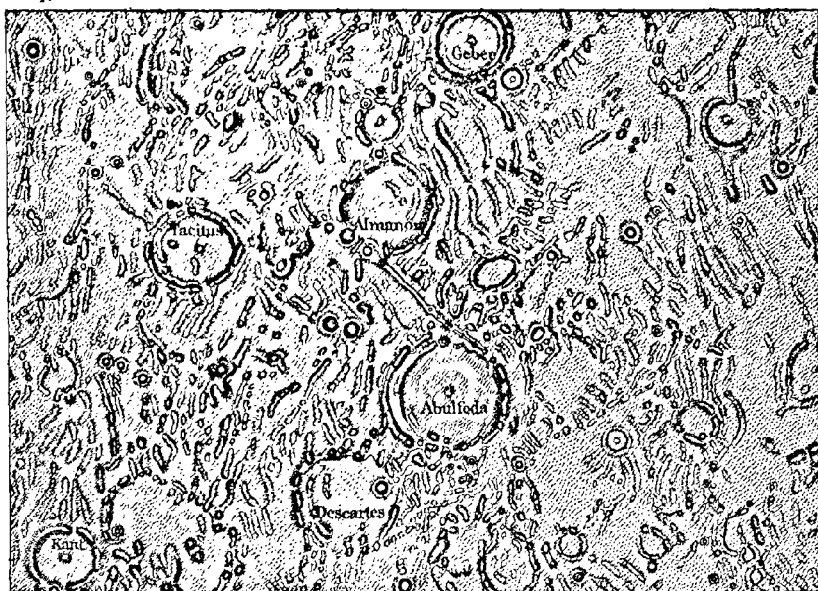


Fig. 85. — Cratères rayonnants de Copernic, de Képler et d'Aristarque.

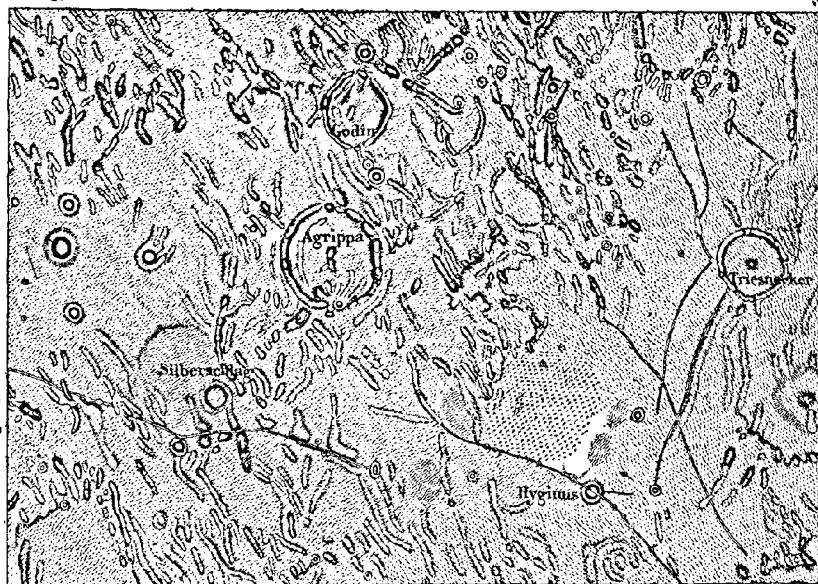
Les *rainures* diffèrent des bandes lumineuses en ce qu'elles sont évidemment formées de deux talus parallèles, très-roides et sans remparts, laissant entre eux une sorte de fossé rectiligne. Blanches dans la pleine Lune, elles apparaissent dans les autres phases comme des lignes noires, l'un des deux bords projetant son ombre sur le fond de la rainure.

On crut d'abord y voir d'anciens lits de rivières desséchées; mais la forme de ces sillons, souvent plus larges au milieu qu'aux extrémités, leur immense largeur qui atteint jusqu'à

1.



2.



Grave chez Erhard Jabonnanerie 42.

TOPOGRAPHIE DE LA LUNE.

1. Cirques, cratères et collines. Rainures d'Abulfeda. 2. Rainures de la partie centrale dans les environs de Sinus Medii.

2 kilomètres, et plus encore leur profondeur, qui varie entre 400 et 600 mètres, n'autorisent pas une semblable hypothèse. D'ailleurs la longueur des rainures est relativement faible; elle reste comprise entre 16 et 200 kilomètres. Enfin, une circonstance qui se présente fréquemment et qui montre bien qu'il n'est pas possible d'y voir d'anciennes rivières, c'est que plusieurs rainures traversent des montagnes, et coupent les bords de cratères élevés, de manière à offrir les niveaux les plus divers. Quelques-unes s'élargissent dans leur parcours, et forment des sortes de vallées ovales. D'autres enfin présentent une série de petits cratères reliés les uns aux autres. Nous reproduisons ici, dans la planche XII, et d'après la belle carte de Mædler, deux régions de la partie montagneuse centrale de la Lune, qui contiennent quelques-unes des rainures les plus singulières.

Beer et Mædler, dans la remarquable étude qu'ils ont publiée et étendue à 70 rainures inconnues avant eux¹, signalent comme un fait important la similitude de direction de la plupart d'entre elles. Tout fait croire que ces singuliers accidents sont les produits de forces naturelles, et non, comme on s'avait aussi supposé, des constructions artificielles, des sortes de canaux, œuvre des habitants de la Lune. Elles semblent dater de la dernière époque de formation de la surface lunaire, et sont dès lors postérieures aux cratères et aux cirques, comme le prouve la rainure d'Hyginus, qui pénètre à l'intérieur de ce cratère en brisant les parois de son enceinte.

Nous ne pouvons terminer ce que nous avons à dire de la constitution géologique de la Lune, sans parler d'un problème d'un haut intérêt, qu'on s'est posé il y a déjà longtemps, mais que des observations toutes récentes ont remis à l'ordre du jour. Puisque le sol de notre satellite accuse partout l'influence de l'action volcanique ou éruptive, cette action a-t-elle cessé

1. Schræter, Pastorff, Gruithuysen et Lohrmann précédèrent les deux savants astronomes allemands dans ces découvertes intéressantes.

ou se manifeste-t-elle encore aujourd'hui? Y a-t-il actuellement des volcans en activité à la surface de la Lune? Des points brillants jadis aperçus sur le disque avaient d'abord fait croire à l'affirmative; l'éclat de certains cratères, notamment d'Aristarque, qui restait visible avec une teinte rougeâtre pendant les éclipses de Lune, semblait confirmer l'hypothèse qu'il y a encore sur notre satellite des volcans en ignition. Mais on a reconnu qu'il s'agissait là, uniquement, d'un pouvoir réfléchissant très-intense et particulier à la nature des cratères observés. Depuis, divers observateurs ont cru constater des changements dans la forme et la disposition de certaines aspérités lunaires, par exemple du cratère Marius, des environs de Cichus, de Messier¹.

Enfin, en octobre 1866, le directeur de l'observatoire d'Athènes, M. Julius Schmidt, constatait la disparition d'un petit cratère, situé dans la mer de la Sérénité, et qu'il avait, à diverses reprises, observé antérieurement. Plusieurs astronomes, MM. Secchi, Wolf, Huggins, étudièrent avec soin ce cratère, dont le nom est Linné, et il paraît résulter de la discussion des observations, de leur comparaison avec les descriptions et les dessins antérieurs, qu'il a subi des changements dont la date remonterait à peu d'années. Il paraît que le cratère aurait été en partie comblé par l'éruption d'une matière blanchâtre qui, se répandant extérieurement, aurait fait disparaître le rempart primitif. Il est donc probable que l'action éruptive n'a pas cessé de se manifester sur notre satellite, et que, pour nous servir d'une expression de M. Élie de Beaumont, « la vie géologique existe encore dans l'intérieur de la Lune aussi bien que dans l'intérieur de la Terre. »

1. Voir, à ce sujet, l'ouvrage de deux astronomes anglais, MM. Webb et Birt, « *Celestial objects for common telescope*, » l'*Annuaire scientifique* de P. P. Dehérain pour 1868, et notre monographie de la LUNE.

§ 3. — Météorologie lunaire. — La Lune a-t-elle une atmosphère? — Raisons qui rendent à peu près certaine l'absence d'air et d'eau à la surface de la Lune. — Aspect d'un paysage lunaire. — L'hémisphère lunaire invisible a-t-il la même constitution physique que l'hémisphère tourné vers la Terre?

J'ai supposé plus haut un habitant de la Terre abordant sur ce sol bouleversé, hérissé de montagnes et couvert de milliers de bouches volcaniques. Je l'ai montré contemplant avec étonnement ce monde étrange. Mais ce que je n'ai point dit encore et ce qui rendrait son séjour plus que pénible, impossible, c'est qu'il ne trouverait pas à la surface de la Lune les éléments les plus indispensables à son existence, l'air et l'eau.

La Lune n'a pas d'atmosphère.

Ce fait semble démontré par les occultations d'étoiles. Lorsque, par le mouvement propre de la Lune à travers les constellations, un des points lumineux de la voûte étoilée vient à passer derrière le bord obscur du disque lunaire, il s'éteint soudainement, sans qu'aucune diminution graduelle de sa lumière accuse l'interposition d'une enveloppe gazeuse. Ce fait s'observe pour les plus petites comme pour les plus grandes étoiles, au milieu des éclipses de Lune, alors que l'atmosphère terrestre n'est plus illuminée par les rayons de notre satellite.

Si d'ailleurs une atmosphère enveloppait le sphéroïde lunaire, quelque faible que fût sa densité, cette atmosphère serait réfringente, c'est-à-dire qu'une étoile, après son immersion réelle derrière le disque, resterait visible encore un instant. De même, elle redeviendrait visible un peu avant sa sortie ou son émergence. De sorte que la durée du phénomène de l'occultation serait, pour cette double raison, moindre que la durée assignée par le calcul et déduite de la connaissance précise et mathématique du mouvement de l'astre. Or, rien de pareil n'a pu être constaté. Il résulte de là que si l'atmosphère

de la Lune existe, sa densité est moindre, on l'a calculé, que la 2000^e partie de la densité de l'atmosphère terrestre. Elle est plus rare que le vide qui subsiste, après une manœuvre aussi complète que possible, sous le récipient des machines pneumatiques les plus perfectionnées.

Les seules objections qu'on puisse faire aux conséquences tirées du fait précédent, c'est, comme Arago l'a remarqué, que le diamètre apparent de la Lune n'est peut-être pas connu avec une suffisante précision ; c'est encore le singulier phénomène signalé par M. Laussedat dans l'éclipse totale de Soleil de 1860, et qui montre arrondies et tronquées les cornes du croissant solaire, près des bords de la Lune. J'ajouterai une remarque personnelle. On sait que les bords lumineux du croissant lunaire forment à l'extérieur une ligue en apparence continue, tandis que vers le centre, l'ellipse terminale marquant la séparation de la lumière et de l'ombre est profondément dentelée. La raison de cette différence est aisée à comprendre : les sommets des cratères et des pics situés au bord du disque forment des séries de dentelures qui se recouvrent par l'effet de la perspective, et en définitive donnent un profil régulier et uniforme ; au centre du disque, au contraire, les aspérités se présentent à nous de face, à vol d'oiseau pour ainsi dire, de sorte que les sommets éclairés par la lumière du Soleil ressortent sur le fond obscur des plaines. Mais quoi qu'il en soit de cette différence, l'uniformité du profil circulaire n'est pas assez complète pour que, dans une occultation d'étoile, on puisse arguer d'une différence entre l'observation et le calcul et conclure à l'existence d'une atmosphère lunaire. Est-il vrai que cette atmosphère soit confinée au fond des plaines les plus basses et des cratères les plus profonds ? Rien ne prouve ni ne contredit cette hypothèse. Ce qui est certain, c'est qu'il ne se forme point de vapeurs visibles à la surface de la Lune, c'est qu'aucun nuage n'y ternit jamais la pureté de son ciel : des nuages, même de faibles dimensions, seraient

aisément aperçus de la Terre ¹. Ajoutons enfin que l'analyse spectrale de la lumière de la Lune n'a révélé aucune différence entre cette lumière et celle du Soleil. M. Janssen, à Rome, MM. Huggins et Miller, en Angleterre, n'ont pu constater que des différences d'intensité, suivant les régions du disque examinées : aucune bande ou raie nouvelle n'a pu être constatée dans le spectre lunaire ².

L'absence d'air à la surface de la Lune implique en effet l'absence d'eau. S'il existait des lacs, des mers, ou simplement des rivières, les liquides qui formeraient ces réservoirs ou ces courants se réduiraient spontanément en vapeur, par le fait seul qu'ils ne seraient point maintenus par une pression at-

1. D'autres moyens existent encore pour s'assurer si la Lune a ou n'a point d'atmosphère. A la distance où nous sommes de notre satellite, distance assez petite pour que nous puissions observer la clarté que la lumière de la Terre donne à ses nuits, les crépuscules doivent être aisés à reconnaître. La ligne de séparation de la lumière et de l'ombre, au lieu d'être nettement tranchée, doit se fondre par une teinte lumineuse d'intensité décroissante du côté de la partie obscure du disque. Or, là, l'observation montre bien des inégalités, des dentelures; mais elles sont très-nettement détachées et n'accusent évidemment que de grandes différences dans les niveaux d'un sol montagneux et accidenté. Schröter seul paraît avoir observé un crépuscule lunaire, en constatant, sur l'extrémité des cornes du croissant, une lueur qui allait en s'affaiblissant du côté de la partie obscure du disque. Schröter concluait de ce fait à l'existence d'une atmosphère de la Lune, dépassant de 450 mètres environ le niveau moyen des plaines.

Enfin quand on examine les ombres portées par les pics, les cratères et en général toutes les élévations si nombreuses dans certaines régions de la Lune, on remarque que ces ombres sont nettement et partout également accusées au sommet comme à la base des montagnes; nulle part, elles ne présentent cette dégradation dans les teintes, qui serait la conséquence naturelle de l'interposition de couches gazeuses ayant une densité croissante.

2. « Si de la matière finement divisée, aqueuse ou autre, est présente autour de la Lune, dit M. Huggins, les raies rouges de la lumière solaire devraient être un peu moins affaiblies que les raies de réfrangibilité plus élevée. S'il y a autour de la Lune une atmosphère libre de toute vapeur et sans pouvoir absorbant, mais suffisamment dense, le spectre ne sera pas éteint au même instant sur toute sa longueur. Les rayons violets et bleus subsisteront après la disparition des rayons rouges. J'ai observé avec le plus grand soin la disparition du spectre de l'étoile ϵ des Poissons, lors de son occultation le 4 janvier 1865, dans le but de surveiller ces divers phénomènes, mais je n'ai découvert aucun signe d'atmosphère lunaire. »

mosphérique. Mais la chaleur solaire agissant plus énergiquement encore, il en résulterait une enveloppe gazeuse, des nuages épais de vapeur. Or, ni à la vue simple, ni à l'aide des télescopes les plus puissants, on n'a pu reconnaître, parmi les taches dont le disque lunaire est parsemé, rien qui indique l'existence du moindre nuage. Jamais la netteté de leurs formes n'a paru altérée par le moindre accident, et l'on sait qu'un nuage de cent mètres de diamètre serait aisément visible. Pas de traces de bandes sombres ou brillantes comme dans Jupiter, de taches mobiles comme dans Mars. Le ciel de la Lune est évidemment d'une sérénité absolue.

Point d'air et point d'eau ! C'est l'absence forcée des vents et des courants, c'est l'immobilité partout, dans le ciel comme sur le sol. Tout au plus, sous l'influence des alternatives de chaleur et de froid, la désagrégation des matières et la rupture d'équilibre des corps pesants entraînant la chute de débris de roches, rompent la monotonie d'une immobilité et d'un silence éternels. Car le son, ne pouvant s'y propager par aucun milieu aérien, se transmet seulement au contact, par les vibrations des molécules solides. Pour un habitant de la Terre, l'astre des nuits ne serait, selon l'expression d'Humboldt, qu'un désert silencieux et muet.

Les paysages lunaires ont donc un aspect tout particulier. Là, les ombres ont partout la même intensité, aux premiers comme aux derniers plans. Tout au plus, la crudité des tons brillants et lumineux qui se détachent sur un ciel presque noir, sur des ombres noires aussi, y est-elle tempérée par les reflets, d'ailleurs fort nombreux dans un sol aussi accidenté. Là, pas de perspective aérienne ; point de ces jeux de lumière, de ces teintes vaporeuses qui donnent aux paysages terrestres tant de charme et de douceur. La réfraction n'y décompose pas la lumière blanche en sept couleurs et en mille nuances variées, l'arc-en-ciel et les phénomènes du même genre sont inconnus à la surface de la Lune. Mais en revanche, les étoiles

et les autres astres brillent en plein jour dans la voûte céleste. La planche XIII et la figure 86 qui représente la vue intérieure d'un cirque, d'après un savant observateur sélénographe, M. Nasmyth, donneront une idée de l'aspect du paysage dans les parties montagneuses de la Lune.

On a vu plus haut que les larges taches sombres, que les premiers observateurs prirent pour des mers, sont aujourd'hui



Fig. 86. — Vue intérieure d'un cirque, d'après un dessin de Nasmyth.

considérées comme de vastes plaines, inférieures de niveau aux vallées des contrées montagneuses. Ce qui a dû d'abord ajouter à l'illusion, c'est que plusieurs de ces taches offrent une couleur vert sombre. Mais d'autres sont grises, rougeâtres, ou encore d'un gris foncé, comme l'acier. L'absence des mers, des eaux et par conséquent des pluies est d'autant plus probable qu'elle explique à merveille la forme actuelle du sol de la Lune, la géologie de ses couches superficielles. Il importe cependant de distinguer entre les régions montagneuses et les

régions des plaines. Ces dernières offrent un sol beaucoup plus uniforme, et il paraît probable que sa surface lisse et polie est due aux couches sédimentaires qui s'y sont déposées à la longue.

Le climat de notre satellite ne doit pas être moins extraordinaire que sa constitution géologique. Pendant près de quinze jours de suite, le Soleil y darde ses rayons, sans qu'aucun rideau nuageux, sans qu'aucun courant aérien vienne en tempérer l'ardeur. A cette température, plus intense que celle de notre zone torride, succède un froid rigoureux, qu'une nuit de quinze jours doit rendre plus glacial que le froid de nos hivers polaires. Il est vrai de dire que, pendant le jour, le rayonnement de la chaleur solaire se fait sans obstacle dans le vide des espaces célestes. Il est permis d'en conclure que les climats des diverses régions de la Lune ont une certaine analogie avec ceux des régions alpestres; de sorte que l'élévation de la température, comme la réverbération d'une lumière intense, y devient surtout insupportable par la continuité de son action.

Il n'y a pas, à proprement parler, de saisons sur la Lune. La faible inclinaison de son axe de rotation maintient le Soleil à une inclinaison presque constante sous chaque latitude. Mais tandis que dans les régions équatoriales, l'astre radieux ne s'éloigne guère du zénith au milieu du jour, dans les régions polaires son disque s'élève à peine au-dessus de l'horizon. Les montagnes des pôles y jouissent en revanche d'une lumière perpétuelle. « Le Soleil ne descend au-dessous du véritable horizon d'un pôle lunaire, que tout au plus d'une quantité égale à l'inclinaison de l'équateur de la Lune, c'est-à-dire de $1^{\circ} 30'$; mais la petitesse du globe de notre satellite fait que, déjà à une élévation de 600 mètres, on voit $1^{\circ} 30'$ au-dessous de l'horizon vrai. Or, il existe au pôle nord des montagnes de 3000 mètres, et au pôle sud de plus de 4000 mètres de hauteur. Par conséquent, le sommet de ces montagnes ne peut

LE CIEL.

PLANCHE XIII.



UN PAYSAGE LUNAIRE.

Vue idéale dans la région montagneuse du sud-ouest.

jamais être caché à la lumière du Soleil. » (Beer et Mædler, *Fragments sur les corps célestes du système solaire.*)

On comprend du reste que l'inclinaison du Soleil, variable selon les latitudes, ne peut avoir sur la Lune la même importance que sur la Terre, puisque les rayons, soit lumineux, soit calorifiques, se transmettent directement à la surface, sans avoir à traverser les couches d'inégale épaisseur d'une atmosphère qui n'existe pas.

Tout ce qu'on vient de lire sur la constitution physique de la Lune s'applique expressément à son hémisphère visible. Est-il permis d'en étendre les conclusions à l'hémisphère que nous ne voyons jamais? Les hypothèses de tout genre faites sur cette autre moitié, et relatives à la différence de sa constitution physique avec la moitié visible, ont-elles un degré quelconque de probabilité¹? Non, il est aisé de voir que la plupart de ces hypothèses, inadmissibles en tant qu'elles sont de simples produits de l'imagination et ne reposent sur aucune observation exacte, ne prouvent qu'une chose, à savoir que leurs auteurs ont ignoré le vrai mouvement de la Lune autour de la Terre. Mais il ne faut pas confondre les romans scientifiques avec les résultats d'une analyse rigoureuse. Un des géomètres contemporains qui ont le plus contribué aux progrès de la difficile théorie de la Lune, Hansen, a démontré que le centre de gravité du globe lunaire doit être situé en arrière de son centre de figure. Il résulte de là que si une atmosphère existe autour de notre satellite, elle doit être excentrique, plus allongée ou plus épaisse du côté opposé à la Terre que dans l'hémisphère visible. Les gaz ou vapeurs qui pourraient se former dans celui-ci auraient donc une tendance à se transporter dans l'hémisphère invisible.

1. Les anciens, par exemple, supposaient l'hémisphère invisible de forme concave, ou encore à moitié transparent. Des modernes se sont imaginé qu'il possédait l'atmosphère, l'eau, les habitants dont semble manquer la moitié tournée vers nous, et que celle-ci a seule le privilège ou le désavantage, comme on voudra, d'être hérissée d'aspérités abruptes et rocailleuses.

Quant à une différence dans la structure géologique des deux hémisphères, rien ne peut la faire considérer comme probable; voici les raisons qui permettent, au contraire, de regarder les deux moitiés de la surface lunaire comme identiques sous ce rapport.

La révolution de notre satellite s'effectue avec une vitesse variable, tandis que son mouvement de rotation est uniforme. Il résulte de ce défaut de concordance entre les deux mouvements, que la Terre se trouve tantôt à l'Orient, tantôt à l'Occident du point de l'espace opposé au même point de la surface de la Lune, considéré comme centre de l'hémisphère visible. Nous découvrons ainsi, soit à l'est, soit à l'ouest, des régions du bord qui sans cette circonstance nous seraient restées cachées. En outre, l'inclinaison du plan de l'orbite lunaire, jointe à celle de son équateur sur le plan de l'orbite terrestre, fait que la Lune nous présente tantôt le pôle nord, tantôt le pôle sud de son globe, et découvre ainsi une certaine partie de ses régions polaires. De ces deux *librations*, c'est le nom donné à ces mouvements apparents, il résulte que sur 1000 parties de la surface de la Lune, 569, c'est-à-dire plus de la moitié, sont visibles pour la Terre, tandis que 431 seulement nous restent inconnues.

Bien plus : les dimensions de la Terre sont très-appreciables, si on les compare à sa distance à la Lune; d'où il suit qu'un observateur, à mesure qu'il se déplace sur le sphéroïde terrestre, voit se déplacer le centre apparent du disque lunaire, ou ce qui revient au même, aperçoit des parties différentes sur ses bords. L'effet de ce déplacement augmente encore les dimensions de la partie de la Lune qui nous est accessible, de sorte que sur 1000 parties, 424 seulement restent définitivement et absolument cachées, 576 sont visibles pour nous. De l'est à l'ouest, la partie de la Lune à jamais inconnue pour la Terre embrasse 1118 lieues; du nord au sud, 1135 lieues; de la latitude boréale de 40° à la même latitude australe,

1083 lieues : tandis que les mêmes dimensions, calculées pour la surface visible, sont respectivement de 1333, de 1317 et de 1367 lieues (Beer et Mædler.) Toute une zone, assez large d'ailleurs, de la moitié de la Lune qui est à l'opposé de la Terre, est donc accessible aux yeux de l'homme. Or, « les observations ne nous ont fait apercevoir — ce sont toujours les deux plus laborieux explorateurs de la Lune qui parlent — aucune différence essentielle entre ces contrées qui forment la septième partie de la surface lunaire cachée à nos regards et celles que nous connaissons : on y trouve les mêmes pays de montagnes et les mêmes *mare* » (les plaines appelées *mers*). De là, à conclure la similitude des parties invisibles, il n'y a qu'un pas.

J'ai dit de la partie actuellement invisible, qu'elle est à *jamais inconnue pour la Terre*. Cela résulte de l'analyse savante de Laplace ¹.

§ 4. — Astronomie pour un habitant de la Lune. — Durée des jours et des nuits. — La Terre vue de la Lune; visibilité en plein jour des étoiles, de la Voie Lactée, des nébuleuses; éclipses de Soleil sur l'hémisphère visible.

Pour terminer la description des particularités physiques qui font de la Lune un corps si différent du globe que nous habitons, voyons si les phénomènes astronomiques sont les mêmes pour elle que pour la Terre. Sans examiner la question intéressante, mais jusqu'ici à peu près insoluble, de l'existence d'êtres vivants et organisés à la surface du satellite de notre petit monde ², nous supposerons un observateur successivement placé dans chacun de ses hémisphères.

1. En voici les conclusions : « La cause qui a établi une parfaite égalité entre les moyens mouvements de rotation et de révolution de la Lune, ôte pour jamais aux habitants de la Terre l'espoir de découvrir les parties de la surface opposée à l'hémisphère qu'elle nous présente. L'attraction terrestre, en ramenant sans cesse vers nous le grand axe de la Lune, fait participer son mouvement de rotation aux inégalités séculaires de son mouvement de révolution, et dirige constamment le même hémisphère vers la Terre. »

2. D'autres, plus hardis que nous, trancheront sans doute la difficulté. Ils

Les phases de la Lune prouvent qu'elle présente tous les points de sa sphère au Soleil dans un intervalle de 29 jours 53 centièmes, ou si l'on préfère de 709 heures environ. Chacun de ces points reçoit donc, pendant 354 heures $\frac{1}{2}$, la lumière solaire ; c'est la durée du jour sur la Lune. Pendant 354 heures $\frac{1}{2}$, le même point en est entièrement privé ; c'est la durée de sa nuit. Il y a, sous ce rapport, parité presque entière entre les deux hémisphères visible et invisible.

Sur la Lune, les jours et les nuits forment-ils des tableaux aussi variés de nuances que les jours et les nuits terrestres ? se succèdent-ils avec des transitions aussi ménagées ? non, et la raison en est aisée à concevoir. L'absence ou du moins la rareté extrême de l'atmosphère lunaire produit du jour à la nuit et de la nuit au jour une transition subite. Je me trompe : la seule dégradation de lumière qu'on y observe est due à la lenteur avec laquelle le Soleil s'élève au-dessus ou s'abaisse au-dessous de l'horizon. Ce n'est que peu à peu que son disque se découvre derrière les plans les plus éloignés du paysage, et il s'écoule près de 10 heures entre le moment où brille le premier point lumineux et celui où le disque entier de l'astre a fait son ascension complète au-dessus de l'horizon :

avanceront, avec de grandes chances d'être crus sur parole, qu'un être organisé ne peut vivre sans air et sans eau, et que les conditions climatologiques de la Lune sont évidemment destructives de tout organisme. Nous ne les contredirons pas. Mais la raison de notre réserve n'est pas moins aisée à comprendre. Si, avant d'avoir observé aucun des innombrables êtres vivants qui peuplent les eaux de notre planète, et avant d'avoir entendu parler de leur existence, quelqu'un apprenait tout à coup qu'il est possible de naître, de respirer et de se mouvoir au sein des eaux, s'il s'en rapportait à sa seule expérience qui lui enseigne que l'immersion prolongée dans un liquide est mortelle à tous les animaux qu'il connaît, comme à l'homme lui-même, sans aucun doute, cette nouvelle lui causerait la surprise la plus profonde. Tel serait notre étonnement, si l'on venait jamais à démontrer par d'irrécusables preuves l'existence d'êtres vivants à la surface de la Lune. Mais la nature est si variée dans ses modes d'action, si multiple dans les manifestations de sa puissance, que nous ne voyons rien là d'absolument impossible : contentons-nous donc de regarder l'existence d'êtres vivants à la surface de la Lune comme une hypothèse bien improbable.

le lever du Soleil est un phénomène qui, sur la Lune, dure près d'une moitié de nos journées, et il en est de même de son coucher.

Le disque de l'astre lumineux s'y montre d'ailleurs nettement terminé, et dépourvu de ces rayons qui sur la Terre l'environnent à une grande distance. Mais s'il est vrai que le Soleil soit entouré d'une atmosphère, cette enveloppe doit être nettement visible dans le ciel lunaire, qui partout ailleurs, nous l'avons dit, présente une teinte sombre et reste en plein jour parsemé d'étoiles. Une fois le Soleil levé, quelle que soit sa hauteur, il projette avec une égale force sa lumière vive et crue sur tous les objets; n'étaient les reflets des aspérités éclairées, montagnes et collines, tout objet plongé dans l'ombre serait, même au milieu du jour, dans de complètes ténèbres, que tempérerait seul l'éclat de la voûte céleste, toute brillante d'étoiles. A la vérité, l'illumination du sol varierait selon les heures du jour, parce qu'une surface éclairée l'est avec d'autant plus de force que l'obliquité des rayons lumineux est moins grande. Pendant la nuit, l'obscurité doit y être si profonde que nos nuits les plus noires ne peuvent en donner une idée. Le ciel, sur la Terre, conserve encore pendant la nuit sa transparence, la teinte foncée des espaces qui séparent les étoiles est toujours colorée et bleuâtre; d'ailleurs, suivant l'heure de la nuit, elle va se dégradant au levant et au couchant. Rien de semblable dans les nuits lunaires: la crudité violente du ton noir que présente le firmament doit être encore accrue par la vivacité des lumières stellaires, et la présence du disque terrestre ne change rien à l'aspect du ciel.

Mais l'intensité de la lumière du Soleil et celle de sa chaleur directe ne sont point tout à fait les mêmes, au milieu du jour, sur chaque moitié de la Lune. En effet, pour les points du méridien lunaire qui nous fait face, il est midi à l'instant précis de la pleine Lune; tandis que, pour l'autre moitié de ce méridien, nos antipodes lunaires, le midi coïncide avec

l'instant de la Lune nouvelle. Or, dans la première position, la Lune est plus éloignée du Soleil que dans la seconde, du double de sa moyenne distance à la Terre. Cela fait, si nous avons bonne mémoire, la 193^e partie de la distance de la Terre au Soleil. Aussi le diamètre apparent de ce dernier astre est-il plus considérable dans le second cas que dans le premier d'environ $1/193$: sa surface rayonnante est plus grande de $1/95$. Mais il y a une compensation dans la longueur moyenne du jour lunaire, plus grande d'une heure 7 minutes pour le méridien central de la face visible.

Pendant les nuits de ce dernier hémisphère, l'observateur lunien verra constamment la Terre sous la forme d'un disque lumineux 14 fois plus grand que celui de la Lune dans notre ciel, et présentant successivement comme elle une série de phases tout à fait analogues. Les nuits n'y seront donc jamais tout à fait obscures, ainsi que le témoigne d'ailleurs la lumière cendrée. A minuit — minuit lunaire — la face dont nous parlons, toujours tournée vers nous, mais invisible parce qu'elle est relativement obscure et se perd dans les rayons du Soleil, aura *Pleine Terre*. Qu'on juge de la lumière qu'elle reçoit ainsi du disque lumineux de notre planète, par celle que nous recevrons, si 14 pleines lunes égales à la nôtre éclairaient en même temps nos nuits (Voyez planche XIV).

Au contraire, la Terre est inconnue pour les observateurs situés dans l'hémisphère invisible, et les nuits y sont d'une obscurité dont on peut se faire une idée si l'on songe qu'aucun crépuscule ne la tempère, et que la seule lumière reçue dans cet hémisphère est celle des étoiles.

Entre ces deux régions, qui forment à elles deux les $6/7$ de la surface entière de la Lune, est la zone des bords qui sont tantôt en vue, tantôt invisibles. Pour cette zone, la Terre se couche et se lève; mais son disque n'y monte que très-faiblement au-dessus de l'horizon. Dans l'hémisphère visible, les phases de la Terre, l'observation de ses taches qui tour à tour



LA TERRE VUE DE LA LUNE.

paraissent et disparaissent par l'effet de sa rotation, peuvent servir de montre pour la mesure du temps. C'est un cadran, presque immobile au même point de la voûte étoilée, et comme une lampe immense suspendue en ce point. D'ailleurs les étoiles défilent avec lenteur dans le ciel noir, derrière ce pendule tournant. Quant aux régions qui composent les parties de la Lune invisibles pour la Terre, aussitôt que le Soleil a disparu de leur horizon, elles se trouvent plongées sans transition dans la plus profonde nuit. Pendant 350 heures, un astronome transporté sous ce ciel si favorable aux études uranologiques pourrait y observer, sans être gêné par aucun nuage, par aucune lumière étrangère, les étoiles et les planètes : la Voie Lactée, les nébuleuses, la lumière zodiacale, les protubérances solaires que l'on ne peut voir, sur notre Terre, que pendant les éclipses totales de Soleil, seraient d'ailleurs constamment accessibles à l'observation, pendant le jour comme pendant la nuit, sur l'un et sur l'autre hémisphère. Enfin, une autre différence qui caractérise l'hémisphère invisible, c'est que le Soleil n'y est jamais éclipsé, tandis que dans l'atmosphère tourné vers nous, des éclipses solaires peuvent durer jusqu'à deux heures.

V

MARS ♂.

§ 1. — Mouvements apparents de Mars; oppositions et conjonctions; quadratures. — Durée de la révolution synodique et de la révolution sidérale de Mars; éléments de son orbite. — Distances de Mars au Soleil et à la Terre.

A une distance du Soleil qui dépasse d'un peu plus de la moitié la distance où la Terre se trouve elle-même du foyer commun, circule la planète Mars, la première des planètes *supérieures*. Son orbite enveloppe complètement l'orbite terrestre, et il en résulte nécessairement qu'au lieu de paraître osciller de part et d'autre du Soleil, comme Vénus et Mercure, sans s'écarter de ses rayons au delà de certaines distances angulaires qui sont leurs élongations maxima, Mars prend toutes les positions possibles relativement à l'astre radieux : tantôt, se trouvant dans la même direction que le Soleil, mais au delà, il se lève et se couche à peu près au même instant que lui et devient invisible pour nous; c'est l'époque de sa *conjonction supérieure*; tantôt, il s'en trouve éloigné, soit à l'Orient, soit à l'Occident, de 90° ; c'est l'époque de ses *quadratures*; tantôt enfin, s'éloignant à 180° du Soleil, il passe au méridien vers minuit; c'est l'instant de son *opposition*, parce qu'alors, la Terre étant située entre le Soleil et Mars, la position de la planète dans le ciel est précisément l'opposé de celle du Soleil lui-même.

C'est dans cette dernière période de son mouvement syno-

dique que Mars se trouve dans la situation la plus favorable aux observations, d'abord parce que passant au méridien vers minuit, sa hauteur au-dessus de l'horizon est la plus grande possible aux heures de la nuit où l'obscurité est la plus profonde ; ensuite et surtout, parce que Mars est beaucoup plus rapproché de la Terre qu'en tout autre point de sa révolution, comme on peut s'en rendre compte en jetant un coup d'œil sur la figure 87.

Alors, en effet, la distance de Mars à la Terre n'est plus, à peu de chose près, que la différence entre leurs rayons vecteurs, c'est-à-dire que la différence entre les distances respectives des deux planètes au Soleil.

Entre deux conjonctions ou deux oppositions consécutives de Mars, il s'écoule en moyenne 779 jours, c'est-à-dire 2 ans et 48 jours 5 : telle est la durée de la révolution synodique, qu'il ne faut pas confondre avec la durée d'une révolution sidérale, ou du temps que Mars met à accomplir autour du Soleil une translation entière. Nous avons déjà vu, en étudiant les mouvements de Vénus et de Mercure, la raison de cette distinction importante qui tient à la marche simultanée de notre planète et de la planète Mars sur leurs orbites respectives. Comme les mouvements apparents de Mars diffèrent notablement de ceux des planètes inférieures, et qu'ils ressemblent au contraire à ceux des planètes supérieures, Jupiter, Saturne, etc., nous allons montrer rapidement par un exemple comment se succèdent les diverses positions relatives des deux planètes Mars et la Terre, positions dont la période constitue une révolution synodique de Mars.

Le 13 février 1869, Mars se trouvait en M (fig. 87) sur son orbite, et la Terre en T sur la sienne. Le Soleil et les deux planètes étant en ligne droite, Mars était en *opposition*. Le 19 mai de la même année Mars s'était transporté en M', la Terre en T', et l'on voit sur la figure que les lignes menées de la Terre

Mars et au Soleil formaient à cette date un angle droit : Mars était donc alors en *quadrature*. A partir de cette époque, les deux planètes ont continué leur route, mais la Terre se meut autour du Soleil, avec une vitesse angulaire et une vitesse réelle supérieures à celles de Mars, de sorte que celui-ci va paraître se rapprocher de plus en plus des rayons du Soleil. Un peu plus d'une année après l'opposition d'où

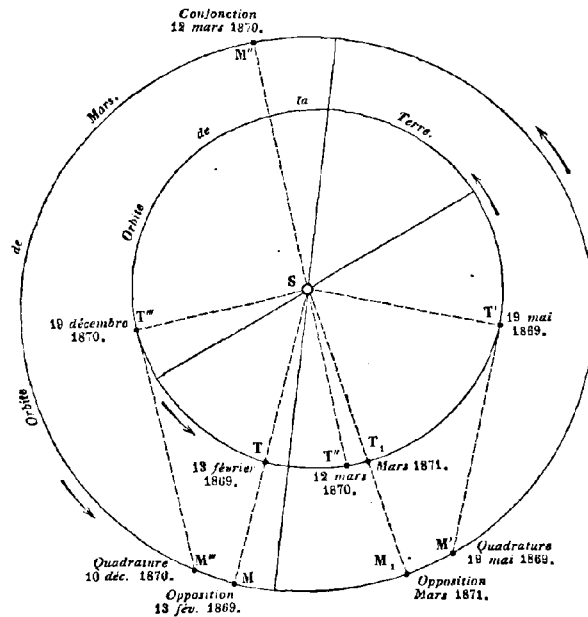


Fig. 87. — Mouvement apparent de Mars; oppositions et conjonctions.

nous sommes partis, le 12 mars 1870, Mars sera en M'' , la Terre en T' , en ligne droite avec le Soleil; mais alors Mars se trouve au delà de celui-ci et devient invisible pour nous, parce que sa lumière se confond dans ses rayons : c'est l'époque de la *conjonction*. Peu à peu, Mars se dégagera du Soleil et s'en éloignera de plus en plus; enfin le 16 décembre de la même année 1870, la Terre étant arrivée en T'' , Mars sera en M''' à 90° du Soleil; c'est encore une *quadrature*.

Mais à partir de cette position, Mars continuera à s'éloigner du Soleil, jusqu'au point M_1 où il se trouvera de nouveau à l'opposé du Soleil par rapport à la Terre T_1 , ce qui doit arriver en mars de l'année 1871. Ainsi, après un intervalle de temps d'un peu plus de deux années, les deux planètes se retrouveront, non pas aux mêmes points de leurs orbites, mais dans une même situation relativement au Soleil. La Terre aura fait dans ce temps un peu plus de deux de ses révolutions, Mars un peu plus seulement d'une des siennes¹.

Le mouvement de Mars est célèbre dans les fastes de l'astronomie. C'est en l'étudiant d'après ses propres observations et celles de son maître Tycho-Brahé, que Képler a découvert successivement les lois qui portent son nom, celles du mouvement elliptique des planètes autour du Soleil. Dans les oppositions, la parallaxe de Mars devient assez forte pour qu'on

1. Sur les 779 jours dont se compose une révolution synodique moyenne de Mars, il faut distinguer une période de 73 jours au milieu de laquelle a lieu l'opposition : pendant tout ce temps, le mouvement de la planète sur le ciel est rétrograde, c'est-à-dire qu'elle semble marcher d'Orient en Occident, avec une vitesse variable qui atteint son maximum le jour même de l'opposition. Au commencement et à la fin de cette période rétrograde, Mars paraît stationnaire. Enfin tout le reste de son mouvement apparent est direct, et la vitesse avec laquelle elle se meut ainsi sur la voûte étoilée atteint son maximum le jour de la conjonction. Ces apparences, ces stations et retrogradations se retrouvent dans le même ordre chez toutes les planètes supérieures, et elles s'expliquent de la façon la plus simple par les mouvements réels simultanés de chacune des planètes et de la Terre elle-même. C'est un effet de perspective qu'on peut rendre évident sans recourir à aucun appareil mécanique : il suffit de deux observateurs tournant avec des vitesses inégales autour d'un point de leur plan représentant le Soleil et à des distances différentes. L'observateur le plus près du centre constatera de la façon la plus simple, par l'examen des positions que son compagnon occupera, soit relativement au centre du mouvement, soit relativement aux objets éloignés qui figurent la voûte du ciel, toutes les circonstances du mouvement synodique d'une planète supérieure : l'opposition, la conjonction, les stations et retrogradations ; l'autre observateur au contraire sera témoin des phénomènes qui caractérisent tous les mouvements apparents d'une planète intérieure, les oscillations ou digressions occidentales ou orientales, la portion rétrograde et la portion directe de chaque révolution synodique.

Nous avons cru devoir nous étendre sur ces questions de géométrie céleste, afin de n'avoir pas à y revenir, quand nous décrirons les autres planètes.

puisse la mesurer et en déduire la parallaxe du Soleil, comme plusieurs astronomes l'ont fait dans ces derniers temps.

Pour effectuer une révolution entière autour du Soleil, il faut à la planète Mars 686^j98, c'est-à-dire 1 année terrestre et 321^j73 : son orbite est donc de 43 jours et demi moins longue que deux années de la Terre. L'orbite qu'elle décrit pendant cet intervalle de temps est une ellipse, dont le plan ne coïncide pas tout à fait avec celui de l'écliptique (l'angle d'inclinaison est de près de deux degrés, 1° 51'). C'est, après l'orbite de Mercure, la plus allongée des orbites des huit planètes principales : son excentricité est égale à 0.0933. Il en résulte, pour ses distances au Soleil, des variations assez considérables et des différences qui atteignent leur maximum aux époques où Mars se trouve aux deux extrémités du grand axe de son orbite, c'est-à-dire à l'aphélie et au périhélie. Voici d'ailleurs quelles sont ces distances :

	En rayons moyens de l'orbite terrestre.	En millions de kilomètres.
Distances de Mars au Soleil	aphélie	1.6658
	moyenne	1.5237
	périhélie	1.3816
		246.3
		225.4
		204.4

On voit qu'entre les distances extrêmes de Mars au Soleil, il y a une différence de 42 millions de kilomètres ou de 10 500 000 lieues, près de la cinquième partie de la distance moyenne. Le développement total de l'orbite mesure, en nombres ronds, 1400 millions de kilomètres, que la planète parcourt avec une vitesse variant de 22 à 26 kilomètres par seconde : en moyenne, Mars franchit plus de 2 millions de kilomètres par jour, ou 23^k.8 par seconde. Sa vitesse de translation est donc à peu près les $\frac{8}{10}$ de la vitesse de la Terre.

Les distances de Mars à la Terre sont très-variables : c'est, comme nous l'avons dit déjà, une conséquence des positions

relatives que les deux planètes occupent sur leurs orbites. A l'époque d'une conjonction supérieure, il faut faire la somme des rayons vecteurs ou des distances de la Terre et de Mars au Soleil pour obtenir leur distance mutuelle (à peu de chose près du moins), tandis qu'à l'époque d'une opposition, c'est au contraire leur différence. Ajoutons que les deux orbites, celle de Mars surtout, étant excentriques au Soleil, les distances minimum de Mars à la Terre varient entre d'assez grandes limites. En se reportant aux figures 30 et 87, on peut voir que si l'opposition a lieu vers le milieu d'août, les planètes seront le plus rapprochées possible l'une de l'autre ; si, au contraire, cette opposition a lieu dans les points opposés des orbites, vers le milieu de février, elles seront notablement plus éloignées. L'inverse a lieu pour les distances maximum, qui seront les plus grandes de toutes, quand la conjonction aura lieu en août, les moindres si elle a lieu en février. En résumé, on trouve que les distances de Mars à la Terre varient du simple au septuple : la plus petite possible est les $\frac{2}{3}$ seulement de la distance moyenne du Soleil à la Terre, c'est-à-dire égale à 55 millions de kilomètres, 14 millions de lieues ; la plus grande atteint près de trois fois la même distance moyenne. Mars est alors éloigné de la Terre d'environ 396 millions de kilomètres ou 99 millions de lieues.

§ 2. — Aspect de Mars à l'œil nu ; couleur, scintillation. — Mars vu au télescope ; ses phases. — Son diamètre apparent varie avec ses distances à la Terre. — Dimensions réelles de son diamètre ; surface et volume. — Masse et densité de Mars ; intensité de la pesanteur à la surface de la planète.

Mars apparaît à l'œil nu comme l'étoile la plus rouge du ciel : aussi les anciens l'avaient-ils surnommé *πυρρός*, *incandescent*, *couleur de feu* ; en sanscrit, *angaraka*, *charbon ardent*. Son éclat varie considérablement, en raison de la variabilité même de ses distances à la Terre : à l'époque de

ses oppositions, Mars brille au ciel comme une belle étoile de première grandeur, dont la lumière est le plus souvent calme et se distingue ainsi des autres étoiles par l'absence de scintillation, caractère commun d'ailleurs à toutes les planètes, mais non absolu, puisque Vénus, Mercure et Mars lui-même ont parfois une lumière scintillante.

Vu au télescope, le point lumineux prend la forme d'un disque nettement terminé, dont la teinte rougeâtre ou rouge jaune n'a fait que diminuer d'intensité sans disparaître : avec un grossissement suffisamment fort, on y remarque principalement vers l'époque de l'opposition ou entre les deux quadratures qui en sont voisines, des taches dont nous donnerons plus loin la description. Bien que la planète emprunte sa lumière au Soleil, et dès lors n'ait jamais qu'un de ses hémisphères complètement éclairé, son disque paraît presque toujours circulaire : il n'a jamais de phases en forme de croissant comme Vénus et Mercure. On conçoit en effet que l'orbite de Mars enveloppant l'orbite de la Terre, nous ne pouvons jamais apercevoir qu'une faible partie de l'hémisphère obscur ; c'est à l'époque des quadratures qu'on voit la portion la plus étendue de cet hémisphère, mais alors même le disque de la planète diffère peu d'un cercle ; il a l'apparence du disque lunaire deux jours environ avant ou après la pleine Lune : l'aspect de Mars en cette circonstance lui a fait donner par J. Herschel le surnom de *gibbeux* (voir la figure 6 de la planche XV). Si faible que soit cette phase, elle témoigne du fait que nous mentionnons plus haut, à savoir que la lumière dont la planète brille n'est autre chose que la lumière du Soleil réfléchi vers la Terre.

A sa distance moyenne, Mars a un diamètre apparent compris entre 9" et 10" (9".57 d'après les mesures micrométriques faites en 1845 et 1847 à l'Observatoire de Paris ; M. Liais a trouvé depuis 9".9). Mais ces dimensions varient énormément, puisqu'aux plus grandes distances de la Terre, le diamètre de

la planète se réduit à $3''.3$ et qu'aux oppositions les plus favorables, il s'élève à $25''.5$, variant ainsi du simple à l'octuple. La figure 88 fait saisir d'un coup d'œil ces différences, que nous avons vues plus haut se traduire par des variations dans l'éclat de la lumière de Mars.

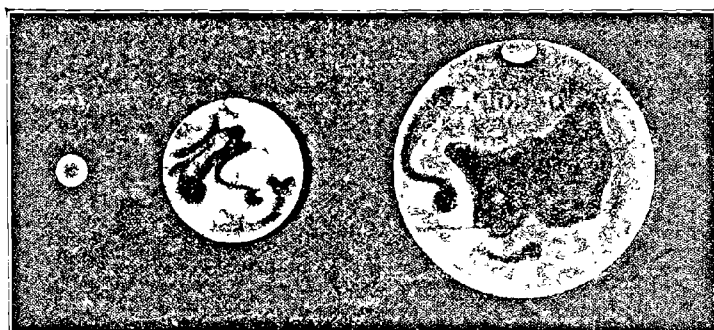


Fig. 88. — Dimensions apparentes de Mars à ses distances extrêmes et moyenne de la Terre.

Des dimensions apparentes passons aux dimensions réelles. Les voici, rapportées aux dimensions correspondantes de la Terre, respectivement prises pour unités :

Diamètre de Mars.	0.537
Surface	—	0.288
Volume	—	0.154

Évalué en kilomètres, le diamètre de Mars est 6850, ou 1700 lieues en nombres ronds, ce qui donne 21 500 kilomètres ou 5375 lieues pour la circonférence de son équateur. Il ne faudrait pas moins de 8 300 000 globes égaux à celui de Mars pour former le volume du Soleil. Enfin, ce même globe vaut 7 fois $1/2$ celui de la Lune et 3 fois environ le globe de Mercure, tandis qu'il est 6 fois $1/2$ moindre que le sphéroïde terrestre. Il paraît bien établi que Mars a une forme ellipsoïdale, qu'il est aplati aux pôles de rotation ou renflé à son équateur ; Mais la détermination de cet aplatissement offre des difficultés

considérables que la plupart des observateurs attribuent aux erreurs de mesures provenant de l'irradiation due aux taches polaires, toujours très-brillantes. Arago, qui a fait avec un grand soin une série de mesures des deux diamètres équatorial et polaire, en a conclu que ce dernier est moins long que le premier de la trentième partie de sa valeur. Herschel, en 1784, évaluait la même quantité à $1/16$; Schrœter à la même époque la regardait comme au plus égal à $\frac{1}{80}$; les premières mesures d'Arago donnaient des nombres non moins divergents; celles faites sous sa direction à l'Observatoire de Paris

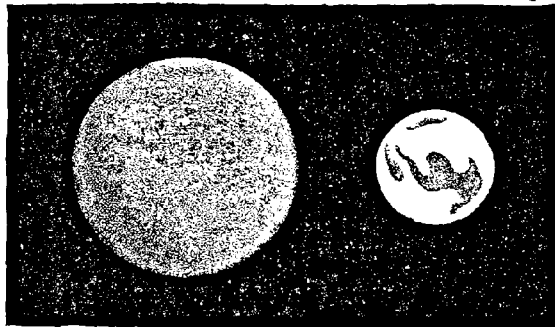


Fig. 89. — Mars et la Terre; dimensions comparées.

en 1845 et 1847 réduisaient l'aplatissement à $\frac{1}{33}$, et enfin des mesures plus récentes l'évaluent seulement au tiers de la valeur adoptée par Arago. M. Kaiser (de Leyde) donne $\frac{1}{48}$ pour l'aplatissement, tel qu'il a pu le mesurer pendant l'opposition de 1862. En supposant que la planète ait été primitivement fluide, la plupart des nombres qui précèdent sont trop considérables pour n'être pas en désaccord avec les lois de l'hydrostatique qui régissent la configuration des corps célestes. Mais peut-être ici l'incertitude des mesures est-elle la seule cause de cette apparente anomalie, et il faut espérer que dans les oppositions prochaines les plus favorables, les astronomes arriveront sur ce point à des données plus précises.

La masse de Mars, calculée d'après les perturbations qu'elle fait éprouver au mouvement de translation de la Terre autour du Soleil, est environ la trois-millionième partie de la masse du Soleil, à peu près $1/9$ de la masse de notre globe (0.107); sa densité moyenne est 0.692, celle de la Terre étant prise pour unité. En rapportant cette densité au poids spécifique de l'eau, on trouve le nombre 3.76 environ, d'où l'on pourrait induire que la matière formant le globe de Mars se rapproche, sous le rapport du poids, d'un grand nombre de nos minéraux terrestres, et aussi de quelques aérolithes; mais il y a toujours, dans les comparaisons de ce genre, une réserve à faire, c'est qu'on ne connaît pas la loi de variation de la densité des couches du centre à la surface de la planète, de sorte qu'en définitive on ignore la densité des matériaux qui composent le sol lui-même. L'intensité de la pesanteur à la surface de Mars est 0.372 : un corps tombant librement dans le vide, sous l'influence de la seule gravité, y parcourt donc 1^m.8 dans la première seconde de la chute.

§ 3. — Mars vu au télescope; taches permanentes de son disque; découverte du mouvement de rotation de la planète par les mouvements apparents des taches. — Les jours et les nuits, les saisons sur Mars. — Étude des taches permanentes; leurs couleurs; les continents et les mers. — Taches variables et mobiles; atmosphère; neiges et glaces des pôles; existence de la vapeur d'eau confirmée par l'analyse spectrale; climatologie et météorologie de Mars.

Si l'on choisit, pour observer Mars au télescope, les époques les plus favorables qui sont, comme on l'a vu, celles où la planète est en opposition, et à sa plus grande proximité de la Terre; si de plus les conditions atmosphériques sont convenables, son disque apparaîtra, sous une forme circulaire et parfaitement limitée, parsemé de taches sombres et de taches brillantes, dont l'éclat et la couleur diffèrent sensiblement. Les parties brillantes, sauf en deux points presque diamétra-

lement opposés, sont d'une teinte rougeâtre caractéristique, tandis que les taches sombres, probablement par un effet de contraste, semblent d'un bleu ou d'un gris verdâtre. Sur toute sa circonférence, le disque est plus lumineux que dans la partie centrale; aussi les taches sombres s'effacent-elles et disparaissent-elles sur les bords. Enfin, aux deux points dont j'ai parlé plus haut, et qui ne sont pas situés à l'extrémité



Fig. 90. — Vues de Mars à deux heures d'intervalle; d'après Warren de la Rue.

d'un même diamètre, deux taches d'inégale étendue et d'une blancheur qui contraste avec les parties rougeâtres, brillent avec un éclat tout particulier¹. Ces deux taches marquent à peu près les pôles de Mars.

Tous ces accidents de la surface de la planète sont en partie permanents, en partie variables. La permanence des taches, c'est-à-dire la constance de leurs contours principaux et de

1. « La couleur des taches polaires — ce sont Beer et Mædler qui parlent — toutes les fois qu'on put les apercevoir distinctement, fut toujours un blanc brillant et pur, en aucune façon semblable à la couleur des autres parties de la planète. En 1837, il arriva une fois que Mars fut pendant l'observation complètement obscurcie par un nuage, à l'exception de la tache polaire qui se montrait distinctement à la vue. » (*Fragments sur les corps célestes du système solaire.*) Arago estimait que l'éclat des taches polaires est plus que double de celui des autres taches brillantes ou des bords du disque.

leurs situations relatives, a été constatée par de nombreuses et minutieuses observations, chose plus difficile qu'on ne le croirait au premier examen. En effet, comme l'observation même des taches le prouve, la planète a un mouvement de rotation sur elle-même assez rapide, puisqu'il s'effectue en 24 heures et demie environ. Il suit de là qu'en quelques heures l'aspect du disque change : c'est ce dont on peut s'assurer facilement en examinant les dessins des figures 90 et 91.

Il paraît que les taches obscures de Mars ont été vues pour

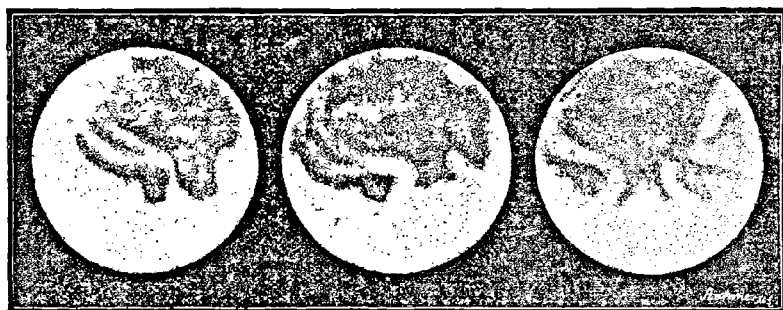


Fig. 91. — Rotation de Mars. Mouvement des taches, d'après les observations de M. Norman Lockyer, pendant l'opposition de 1862.

la première fois par Fontana en 1636 ; Bartoli en vit deux, huit ans plus tard ; et comme elles disparaissaient de temps à autre, cela fit soupçonner le mouvement de rotation, que Cassini découvrit en 1666, et dont il détermina le premier la durée : il trouva que le globe de Mars tourne sur lui-même, d'Occident en Orient, en $24^{\text{h}} 40^{\text{m}}$. Maraldi, W. Herschel, puis de nos jours Beer et Mædler, reprirent, d'après leurs propres observations, le calcul de cette durée ; et tout récemment M. R. A. Proctor, astronome anglais, combinant des observations d'Hooke en 1666, de Dawes en 1856 et 1864, et de Browning en 1867, observations qui s'étendent sur 201 années et ne comprennent pas moins de 71 538 rotations de Mars, a conclu pour la durée de l'une d'elles le nombre de 88 643 se-

condes ou $24^h 37^m 22^s.735$: ce résultat ne diffère d'ailleurs de celui de Beer et de Mædler que d'une seconde.

Telle est la durée du jour sidéral de Mars, plus long de 41 minutes qu'un jour sidéral terrestre. Pour en conclure la durée du jour solaire, il faut se rappeler que Mars achève une de ses révolutions autour du Soleil en 686^j98 , que dès lors son année se compose de 669 rotations et $\frac{2}{3}$, à peu près; et qu'ainsi cette même année, devant comprendre un jour solaire de moins, est formée de $668\frac{2}{3}$ jours solaires de la planète. L'un de ces jours a donc en moyenne une durée de $24^h 39^m 33^s$.

On voit qu'entre Mars et la Terre la différence est peu sensible, sous le rapport du mouvement de rotation : les phénomènes qui en sont la conséquence, la succession des jours et des nuits, le lever et le coucher du Soleil et des étoiles, s'y montrent à peu près les mêmes et se succèdent, à peu de chose près, dans les mêmes intervalles de temps. La vitesse angulaire de rotation y est à peu près la même, mais la vitesse linéaire y est beaucoup moindre que sur notre globe : en un mot, un point de l'équateur de Mars, au lieu de parcourir 465^m par seconde, n'en franchit guère plus de moitié : 243^m . La force centrifuge est donc proportionnellement moins forte, et dès lors son influence sur la diminution de l'intensité de la pesanteur aux diverses latitudes y doit être beaucoup moindre que sur la Terre; c'est sur cette considération que s'appuient divers astronomes pour regarder l'aplatissement donné par les mesures micrométriques comme exagéré.

La position des pôles de Mars a été déterminée d'après le mouvement apparent des taches, et l'on en a conclu $61^{\circ} 18'$ pour l'inclinaison de l'axe de rotation sur le plan de l'orbite. C'est là, comme on l'a vu en visitant les précédentes planètes, un élément fondamental du climat astronomique et sans doute météorologique, puisque celui-ci est, dans une certaine mesure, une conséquence du premier. Avant toute observation

préalable, on peut en conclure que le globe de Mars est partagé en zones glaciales, tempérées et torrides, ayant proportionnellement la même étendue que les zones de la Terre, l'inclinaison de l'axe terrestre ne dépassant celle de l'axe de Mars que de 5° environ. Ainsi, les durées des jours et des nuits, leurs variations selon les latitudes, leurs variations en un même lieu dans le cours de l'année et des saisons, les lon-

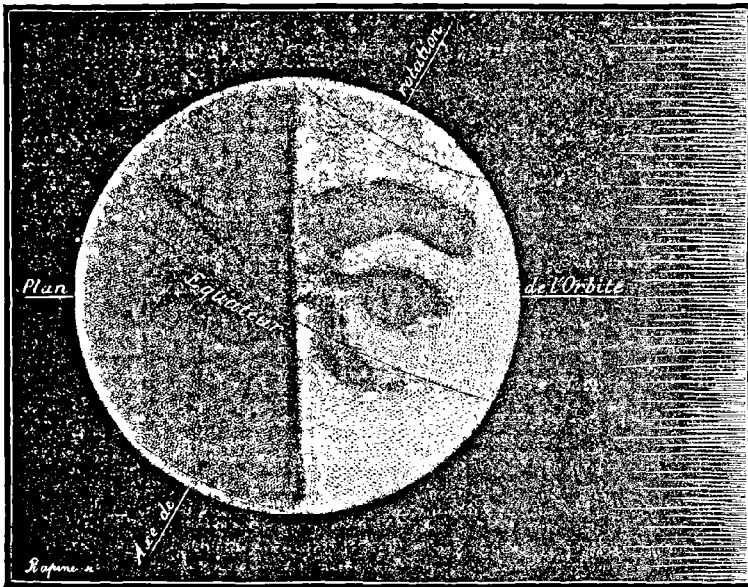


Fig. 92. — Inclinaison de l'axe de rotation. — Mars à l'un de ses solstices.

gues nuits et les longs jours des régions polaires, en un mot tout ce qui regarde la distribution de la lumière et de la chaleur du Soleil, abstraction faite de leur intensité, sont autant de phénomènes presque semblables sur Mars et sur la Terre. Entre les deux planètes cependant, il y a une très-notable différence, c'est celle qui existe entre les durées des saisons. Sur Mars, elles sont beaucoup plus longues, et il y a entre leurs durées relatives des inégalités beaucoup plus considérables, double conséquence de la longueur de l'année de Mars, et de

la grande excentricité de son orbite. Voici comment, pour l'hémisphère boréal de la planète, se partagent les 668 jours solaires de son année :

Le printemps dure . .	191 jours $\frac{1}{3}$
L'été —	181 —
L'automne —	$149 \frac{1}{3}$ —
Et enfin l'hiver —	147 —

Ces nombres sont relatifs aux saisons de l'hémisphère boréal ; mais comme les saisons estivales de cet hémisphère sont les hivernales de l'hémisphère sud et réciproquement, il en résulte que le printemps et l'été réunis durent dans le premier 76 jours de plus que dans le second : le Soleil est donc bien plus longtemps au nord qu'au sud de l'équateur, et dès lors sa chaleur doit s'accumuler dans l'hémisphère boréal en quantité notablement plus grande que dans l'hémisphère austral. Mais, sur Mars comme sur la Terre, il y a une certaine compensation provenant de la différence des distances de la planète à son foyer de lumière et de chaleur. Ainsi, pour prendre un exemple, quand Mars est à sa moyenne distance du Soleil, l'intensité des radiations solaires qui tombent à sa surface est exprimée par le nombre 0.431, en prenant pour unité l'intensité relative à notre globe ; à l'aphélie, ce n'est plus que 0.360, tandis qu'au périhélie la même intensité s'élève à 0.524, augmentant ainsi de près de moitié de l'aphélie au périhélie. Tout compensé, l'hémisphère austral doit avoir des étés plus chauds et des hivers plus froids que l'hémisphère opposé, ainsi qu'il arrive pour la Terre : seulement l'écart est plus considérable sur Mars ; la différence des températures y est probablement plus sensible.

L'étude de la surface de Mars, de ses taches sombres ou brillantes, des variations de forme et d'éclat de quelques-unes, de la permanence des autres, a fourni, comme nous l'avons fait pressentir plus haut, des indications d'un haut intérêt sur

la constitution physique de cette planète, celle de toutes dont la surface est la mieux connue et qui paraît se rapprocher le plus de la Terre. Entrons à ce sujet dans quelques détails.

On s'accorde à voir, dans les taches rougeâtres et brillantes de Mars, les parties solides du sol ou les continents, tandis que les taches sombres bleuâtres en forment les parties liquides ou les mers. Cette distinction est fondée sur l'inégale réflexion de la lumière par les terres et par les eaux ; celles-ci absorbant une notable portion des rayons lumineux doivent réfléchir une lumière moins vive et paraître sombres à côté des terres. Selon M. Lockyer, si l'on admet que les taches obscures sont des mers, les taches les plus sombres sont celles que les terres environnent, sinon de tous côtés, du moins en grande partie.

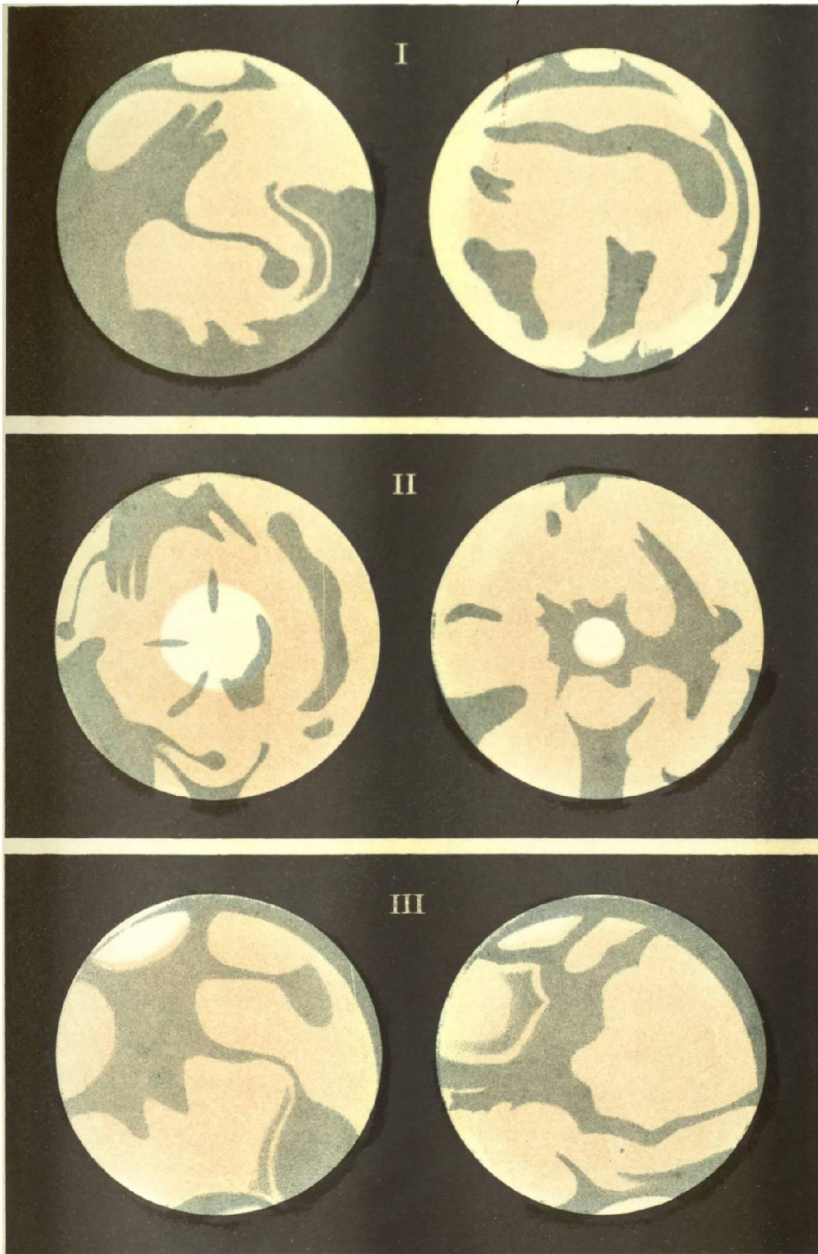
D'où vient la coloration rougeâtre qui caractérise les parties brillantes du disque ? Si Mars était lumineux par lui-même, on eût sans doute attribué cette teinte à la nature même de sa lumière ; mais comme il ne fait que nous renvoyer la lumière blanche du Soleil, il est évident que la couleur est inhérente à la surface de la planète. On a fait à ce sujet plusieurs hypothèses. Les uns ont attribué la teinte rouge des continents à la nature du sol, composé de terrains ocreux, de grès rouges. D'autres (Lambert) ont prétendu que la couleur de la végétation, au lieu d'être verte comme sur notre Terre, est rouge sur Mars : cette explication n'a rien d'in vraisemblable ; mais, si elle est exacte, il doit y avoir dans l'intensité de la teinte, sur chacun des hémisphères de la planète, des variations correspondant aux saisons, de sorte que cette teinte diminue pendant l'hiver, pour renaître au printemps et atteindre en été son maximum.

Enfin, on a cru pouvoir expliquer la couleur des taches par la réfraction des rayons lumineux du Soleil, à travers l'atmosphère de Mars. Arago a réfuté cette hypothèse par une remarque très-simple, à savoir qu'aux bords de la planète la

rougeur devrait être plus prononcée que dans les parties centrales, puisque les rayons lumineux traversent plus obliquement les régions des bords, et dans une plus grande profondeur. Or, c'est le contraire qu'on observe. Ajoutons qu'on ne voit pas pourquoi, dans cette hypothèse, la teinte rougeâtre ne serait pas générale. On ne peut donc assimiler, comme on l'a fait, la lumière rougeâtre de Mars aux lueurs de nos crépuscules.

Quoi qu'il en soit de ces incertitudes que les progrès de la science dissiperont peut-être un jour, Mars est, après la Lune, le corps céleste dont nous connaissons le mieux la constitution physique. Les travaux des deux astronomes allemands que nous avons eu l'occasion de citer et que nous citerons encore, Beer et Mædler, nous permettent de donner ici, planche XV, les hémisphères de Mars vus dans deux situations différentes, en face des pôles et en face de l'équateur. Nous y joignons deux vues de la planète d'après les dessins de l'astronome romain Secchi.

Occupons-nous maintenant des taches polaires. Nous avons vu qu'elles se distinguent des autres par leur éclatante blancheur. Elles n'en diffèrent pas moins par leur variabilité. Mais, circonstance singulière, à mesure que la tache blanche de l'un des pôles diminue, l'autre s'accroît progressivement, de sorte que le minimum correspond toujours à l'été, et le maximum à l'hiver de l'hémisphère où elle est située. C'est ainsi que, pendant l'opposition de 1830, on vit la tache blanche du pôle austral diminuer peu à peu, et ses limites se rétrécir jusqu'à l'époque qui correspond, pour cet hémisphère de Mars, au milieu du mois de juillet de notre hémisphère boréal; puis, à partir de ce moment, elle s'élargit de nouveau (Beer et Mædler). En 1837, on put observer des diminutions semblables dans les dimensions de la tache du pôle boréal. En même temps, les régions blanchâtres du pôle austral prenaient une extension considérable. Or, ces variations corres-



MARS

I. D'après les observations de Beer et Mädler. II. Projection des deux hémisphères sur le plan de l'Equateur. III. D'après les observations du p. Secchi.

E. Guillemin del

Imp. Bequet à Paris..

pondaient également à la saison d'été de l'hémisphère nord, et à l'hiver de l'hémisphère sud de Mars.

Ainsi, de la Terre, nous assistons à la formation des glaces polaires, à la chute et à la fonte des neiges¹ sur le sol d'une planète voisine, et en un mot à toutes les vicissitudes de chaud et de froid qui séparent les saisons de l'hiver et du printemps, de l'automne et de l'hiver. La succession de ces intempéries est aujourd'hui si bien établie, que les astronomes peuvent prédire approximativement la forme, la grandeur relative et la position des taches du pôle boréal et du pôle austral.

J'ai dit que les deux taches blanches n'offrent pas la même étendue, soit pendant leurs hivers, soit pendant leurs étés respectifs. La calotte neigeuse de l'hémisphère austral varie dans de plus grandes limites que celle du pôle opposé : beaucoup plus étendue pendant sa saison d'hiver, elle diminue pendant l'été de manière à n'être plus, en surface, que la cinquième partie de la tache neigeuse du pôle boréal. Cette différence s'explique aisément : par le fait de l'inclinaison de l'axe de la planète sur le plan de l'orbite, c'est le pôle austral qui se trouve tourné vers le Soleil, lorsque Mars est à une de ses plus petites distances du foyer de lumière et de chaleur. L'été n'arrive au contraire, pour le pôle boréal, qu'à l'époque d'une de ses plus grandes distances. A la vérité, ces différences de température se compensent en partie dans le cours d'une révolution ; mais les extrêmes de chaud et de froid n'en subsistent pas moins.

Ainsi donc, Mars offre avec la Terre les analogies les plus

1. « Si les taches polaires sont véritablement de la neige, leur diminution à l'approche de l'été ne peut avoir lieu que par la fonte et l'évaporation continue ; l'épaisseur de cette neige est, d'après toute vraisemblance, très-considérable. Ces parties de la surface se disposant à s'évaporer, doivent par conséquent être extrêmement humides ; or, un sol vapoureux et marécageux est certainement, de toutes les parties d'une surface, celle qui est le moins susceptible de réflexion et qui dès lors doit nous apparaître la plus foncée. » (*Baer et Mädler.*)

curieuses, et il est probable que les habitants de Vénus voient notre planète sous des apparences à peu près semblables à celles que Mars présente au foyer de nos instruments. Comme les pôles de Mars, les pôles de la Terre sont couverts de neiges et de glaces; c'est aussi notre pôle austral qui est le plus envahi, et pour les mêmes raisons astronomiques, par ces produits de la congélation de l'eau. Enfin les pôles de froid, sur Mars comme sur la Terre, ne coïncident pas exactement avec les pôles de rotation. Cette excentricité des pôles de froid est très-évidente dans les vues de Mars que nous donnons dans la planche XV et dans la figure 90 : les taches blanches et brillantes sont loin de se trouver aux extrémités d'un même diamètre de la planète.

S'il tombe de la neige sur Mars, c'est qu'il y a de l'eau vaporisée par la chaleur; dès lors, l'eau doit se répandre à la surface sous forme de nuages qui tombent, tantôt à l'état liquide sous forme de pluie, tantôt à l'état de cristallisation neigeuse. C'est ce que des observations récentes ont mis d'ailleurs hors de doute. En effet, la variabilité souvent très-rapide qu'on observe dans la forme des taches qui parsèment le disque a suggéré l'opinion que ces phénomènes sont dus à l'interposition de masses nuageuses, en avant de ces taches. M. Norman Lockyer, qui a suivi avec soin la configuration des accidents de Mars pendant l'opposition de 1862, s'exprime ainsi dans son intéressant Mémoire : « Bien que la permanence des taches caractéristiques de Mars ait été mise hors de doute, on observe de jour en jour, que dis-je, *d'heure en heure*, des changements de détail dans les nuances des diverses régions, sombres ou lumineuses, de la planète. Ces changements, je n'en puis douter, ont pour cause le passage des nuages en avant des différentes taches. » Les beaux dessins qui accompagnent le Mémoire me paraissent justifier pleinement cette opinion.

L'analyse spectrale confirme toutes ces probabilités de

l'existence d'une atmosphère formée de gaz et de vapeurs. Dans le spectre de la lumière de Mars en effet, le P. Secchi a vu des lignes semblables à celles de la vapeur d'eau de notre atmosphère. W. Huggins a observé une raie dont la position ne coïncidait avec aucune de celles du spectre solaire, d'où la conséquence qu'elle est due à l'absorption de la planète et probablement à l'atmosphère qui l'entoure; d'autres raies lui ont paru identiques à celle qu'on voit dans la lumière solaire quand elle a traversé les couches les plus basses de notre atmosphère, et qui sont dues sans doute à l'absorption par les vapeurs ou les gaz dont ces couches sont formées. Ainsi, Mars possède certainement une atmosphère vaporeuse. Déjà nous avons dit que les bords plus lumineux du disque laissaient présumer l'existence d'une atmosphère qui efface par son éclat les taches sombres, au moment où la rotation les amène vers les bords.

La météorologie de Mars est donc en grande partie connue. Elle doit avoir, je le répète, les plus grandes analogies avec la météorologie de la Terre. Mais en même temps de notables différences les distinguent. Comme l'a remarqué un savant professeur, M. John Phillips, l'échange considérable d'humidité qui se fait périodiquement entre les deux hémisphères, surtout entre les deux pôles, doit donner lieu à des ouragans d'une impétuosité dont nous n'avons guère idée. La fonte des neiges, sur des étendues aussi considérables, ne doit-elle pas produire aussi de terribles inondations périodiques ?

VI

LES PETITES PLANÈTES.

§ 1. — Nombre considérable de corps célestes circulant autour du Soleil entre Jupiter et Mars. — Entrelacement des orbites des petites planètes. — Largeur de la zone. — Éléments des orbites. — Distances minima des petites planètes voisines; leurs conjonctions physiques.

Le nombre des planètes connues du système solaire n'était, il y a soixante-dix ans, que de sept, parmi lesquelles on comptait la dernière grande planète découverte vingt ans auparavant par W. Herschel, Uranus. A l'heure où j'écris ces lignes, ce nombre s'élève à 116, de sorte que, sans compter les comètes nouvelles et les satellites récemment observés, le monde solaire s'est enrichi de cent neuf individus. Il est vrai qu'à l'exception de Neptune, qui fait partie du groupe des grosses planètes, tous ces corps sont d'une petitesse extrême, et, pris à part, n'égalent pas même en grosseur les satellites des planètes principales. Aussi les a-t-on nommés *astéroïdes*, *petites planètes* ou *planètes télescopiques*. Appelons-les simplement *petites planètes*. Cependant c'est un groupe des plus intéressants, et dont l'ensemble donne une physionomie nouvelle au monde solaire, en même temps qu'il jette un nouveau jour sur le problème de sa formation et de ses développements.

Les 108 petites planètes aujourd'hui connues — le nombre s'en accroît chaque année — sont toutes situées entre Mars et Jupiter; les orbites qu'elles décrivent autour du Soleil sont si

voisines les unes des autres et tellement entrelacées, qu'un astronome contemporain, M. d'Arrest, y trouve la preuve évidente d'une commune origine : « Un fait, dit-il, semble surtout confirmer l'idée d'une liaison intime qui rattacherait entre

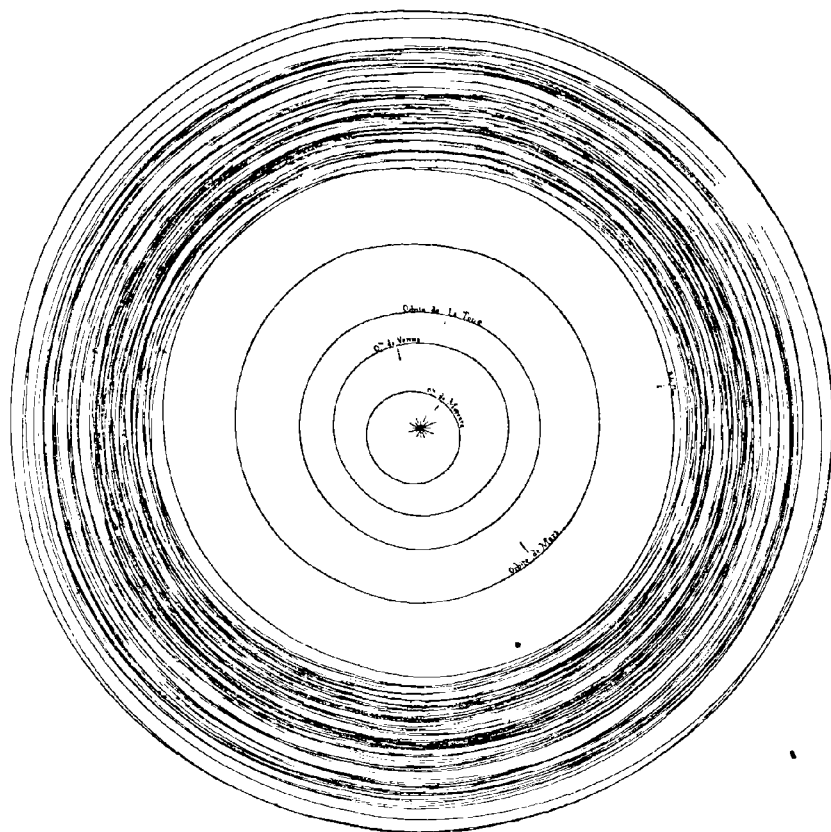


Fig. 93. — Orbites des 108 petites planètes.

elles toutes les petites planètes; c'est que, si l'on se figure leurs orbites sous la forme de cerceaux matériels, ces cerceaux se trouveront tellement enchevêtrés qu'on pourrait, au moyen de l'un d'entre eux pris au hasard, soulever tous les autres¹. »

1. *Sur le système des petites planètes*, 1851, p. 30.7

A l'époque où ces lignes étaient écrites, on ne connaissait encore que 14 petites planètes ; depuis, parmi les nouvelles planètes découvertes, 79 sont venues se placer dans l'intervalle des deux extrêmes. La comparaison de d'Arrest, et la conséquence qu'il en tire, acquièrent donc par cela même un nouveau degré d'évidence.

Depuis longtemps déjà les astronomes, en comparant les intervalles qui séparent du Soleil les planètes anciennement connues, avaient remarqué la distance relativement considérable des deux planètes Jupiter et Mars. L'imagination de Képler, qui jetait parfois l'illustre disciple de Tycho dans des vues théoriques un peu aventureuses, lui fit supposer l'existence d'une planète inconnue, et cette hypothèse parut corroborée par la découverte d'un astronome du dix-huitième siècle, de Titius, qui trouva entre les distances successives des planètes un rapport singulier, connu depuis sous le nom de *loi de Bode*. Voici en quoi consiste ce rapport.

Si l'on pose la série des nombres :

0 3 6 12 24 48 96

et qu'on ajoute à chacun d'eux le même nombre 4, on aura la nouvelle série

4 7 10 16 28 52 100

Or, les termes de cette suite, à l'exception du cinquième, 28, représentaient à peu de chose près, à l'époque de Titius, les distances relatives des planètes alors connues :

Mercure, Vénus, la Terre, Mars, — Jupiter, Saturne.

Cette prétendue loi était formulée, lorsqu'en 1781 Uranus vint compléter la suite. Or il se trouva précisément que la distance de la planète nouvelle s'accordait avec le huitième terme, 196, de la série régulièrement formée. De là à conclure à l'existence d'une planète qui devait combler la lacune

existant entre Jupiter et Mars, il n'y avait qu'un pas. « Le baron de Zach, dit M. Lespiault dans son excellente monographie des astéroïdes¹, alla jusqu'à publier à l'avance, dans l'*Almanach de Berlin*, les éléments de la planète supposée, et il organisa une association d'astronomes pour la recherche de cet astre. Le Zodiaque fut partagé en vingt-quatre zones, dont chacune fut confiée à la surveillance spéciale de l'un des membres de la société. La découverte ne se fit pas attendre, mais c'est d'autre part qu'elle vint. »

En effet, le 1^{er} janvier 1801, à Palerme, Piazzi inaugura le dix-neuvième siècle par la découverte de Cérès, comblant ainsi la lacune signalée par la loi de Titius et de Bode, et dont, à vrai dire, il ne se préoccupait guère. Chose étonnante, Cérès vint précisément se ranger au-dessous du nombre vacant 28, qui exprime la distance de la nouvelle planète au Soleil, si l'on représente par 10 la distance de la Terre. Quinze mois après, une seconde planète, Pallas, venait s'ajouter à la première, ce qui commença à troubler fort les vues des prophètes de la première découverte.

Le savant astronome Olbers, qui venait de trouver Pallas, conçut alors une ingénieuse théorie. Il considéra les deux nouveaux astres comme les fragments d'une planète qui se serait jadis brisée en éclats. Or, les lois de la mécanique démontrent qu'après une explosion pareille, quelle qu'en soit d'ailleurs la cause, les débris lancés dans des directions quelconques doivent rester à une même distance moyenne du foyer de leurs mouvements, le Soleil, et revenir en outre, à chacune de leurs révolutions, passer par le point de l'espace où la catastrophe originaire a eu lieu. Pallas et Cérès satisfaisaient suffisamment à ces conditions. Il en fut de même d'une troisième planète qui, sous le nom de Junon, vint montrer le troisième morceau de la planète hypothétique.

1. *Mémoires de la Société des sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, tome II, p. 171.

Les recherches continuèrent sous l'influence de ces vues, et enfin Olbers lui-même, en 1807, découvrit Vesta. Mais, contradiction bizarre, cette découverte qui semblait devoir consolider définitivement une théorie ingénieuse, et d'ailleurs rationnelle, en vint au contraire ébranler les fondements. La distance et les autres éléments de l'orbite de Vesta offraient des divergences sérieuses avec cette théorie et avec la loi de Bode, qui plus tard reçurent l'une et l'autre leur coup de grâce¹. Depuis 1845, en effet, époque de la découverte de la cinquième petite planète, le nombre de ces corps s'accrut rapidement, et tout fait présumer qu'il s'accroîtra beaucoup encore.

Dans l'état actuel des découvertes, les 108 petites planètes forment une zone presque tout entière circonscrite dans celle des deux moitiés de l'intervalle compris entre Mars et Jupiter, qui est la plus voisine de Mars. Trois seulement sur les 105 dont les éléments sont calculés, Freia, Maximiliana et Sylvia, les plus éloignées du Soleil par conséquent, se trouvent un peu plus rapprochées de Jupiter que de Mars.

La largeur moyenne de la zone est de près de 200 millions de kilomètres, ou 50 millions de lieues²; mais dans cet inter-

1. La planète Neptune, la dernière des planètes connues du système solaire dans l'ordre de la distance, est loin de satisfaire à la formule empirique de Titius. Sa distance, qui serait représentée par le nombre 388, n'est en réalité que 300. Ajoutons, après bien d'autres, que le premier nombre de la série, celui qui correspond à Mercure, n'est pas formé d'une manière régulière. Au lieu de 0, il faudrait 1.5; en ajoutant 4, on trouverait 5.5, tandis que la vraie distance de Mercure est 3.87. Il peut être bon toutefois de retenir, à titre de règle mnémonique, le mode de formation de la série de Titius, d'ailleurs intimement liée à l'histoire des découvertes astronomiques, mais à la condition de considérer cette série comme purement empirique.

2. Cette largeur approche de 70 millions de lieues, quand au lieu de prendre les distances moyennes on considère les distances extrêmes.

La distance périhélie de Flore est en effet de 280 millions de kilomètres; la distance aphélie de Sylvia est de 560 millions : différence 280 millions de kilomètres ou 70 millions de lieues; la largeur de la zone dépasse donc la dis-

valle même, les planètes sont très-irrégulièrement distribuées, puisqu'elles sont au nombre de 73 dans la moitié de la zone située du côté de Mars, de 31 seulement dans l'autre moitié. Il résulte de ces nombres que les 73 petites planètes les plus rapprochées du Soleil ne sont séparées en moyenne les unes des autres que de 293 000 lieues, ou de 3 fois environ la distance de la Lune à la Terre.

- Flore et Sylvia sont les noms des deux planètes extrêmes : la première est à une distance moyenne du Soleil de 81 millions de lieues, la seconde à 130 millions, de sorte que le milieu de la zone est à 105 1/2 millions de lieues de l'astre central. La distance de la Terre au Soleil étant représentée par 10, le nombre que nous venons d'écrire le serait par 28.5. On retrouve là, à peu de chose près, le terme de la série de Bode qui correspondait d'abord à une lacune ; mais l'inégalité de distribution des petites planètes n'ôte-t-elle pas toute valeur à cette coïncidence ?

On vient de voir combien les orbites de tous ces petits astres sont en moyenne rapprochées les unes des autres. En les comparant une à une sous ce rapport, on trouve des distances encore plus petites. Les orbites d'Égérie et d'Astrée présentent un intervalle moyen de 20 000 lieues ; celles d'Euphrosine et d'Hygie de 3300 lieues ; enfin, entre les points les plus rapprochés des orbites de Junon et de Clotho, il n'y a pas plus de 1040 kilomètres, 260 lieues. Mais il faut bien comprendre que ces nombres ne s'appliquent pas aux deux astres eux-mêmes ; d'abord parce que, à une époque donnée, ils se trouvent dans des directions bien différentes, ensuite parce que leurs orbites sont plus ou moins allongées, et que les plans dans lesquels ils se meuvent sont très-diversement inclinés¹.

tance totale aphélie de la planète Mars au Soleil. Mais, comme pour tous les autres calculs semblables, il ne peut être question ici que des petites planètes actuellement connues.

1. Les passages simultanés de deux petites planètes par des points très-

Les formes des orbites sont loin d'être circulaires. La moins allongée de toutes, celle de Freia, l'est proportionnellement beaucoup plus que les orbites de la Terre, de Neptune et de Vénus, qui sont, il est vrai, les plus voisines du cercle, parmi les courbes décrites par les corps de notre monde solaire. La plus allongée est l'orbite de Polymnie, dont le grand diamètre surpasse le plus petit du tiers de sa valeur totale, ce qui donne entre sa plus grande et sa plus petite distance au Soleil une différence de 72 000 000 de lieues. La figure 94 représente la forme et la grandeur relative de ces deux orbites, comparées à l'orbite de la Terre¹.

Les plans dans lesquels se meuvent les petites planètes sont très-diversement inclinés les uns sur les autres. En compa-

voisins, ou, en langage scientifique, leurs *conjonctions physiques* sont des phénomènes dont la probabilité a été l'objet d'études intéressantes dues à M. de Littrow. Cet astronome a reconnu que les 42 premières petites planètes connues donneraient lieu à 18 conjonctions physiques dans la période de dixannées comprises entre 1858 et 1867. M. Lespiault, en citant le travail de M. de Littrow, fait observer avec raison que ces rapprochements seront d'autant plus nombreux qu'on connaîtra un plus grand nombre de ces astres en miniature. Il signale notamment la similitude des éléments des planètes Fidès et Maïa et il ajoute :

« Si l'on néglige l'inclinaison mutuelle des deux orbites, qui n'est que de 2', on peut tracer ces deux orbites sur le même plan, et l'on trouve ainsi deux points d'intersection dont l'un coïncide presque avec le périhélie de Maïa. La distance entre les deux courbes ne s'élève, en aucun point, au-dessus du 20^e du rayon de l'orbite terrestre. A l'époque actuelle, les longitudes moyennes des deux planètes diffèrent d'environ 40^o; mais cette différence diminue constamment, quoique avec lenteur. Lorsqu'elle aura disparu, les deux planètes, malgré leur faible masse et en raison de leur continuel voisinage, exerceront l'une sur l'autre une action peut-être assez considérable pour se réunir en un seul corps, ou pour tourner, comme les composantes d'une étoile double, autour de leur centre commun de gravité. » (*Note sur les petites planètes situées entre Mars et Jupiter.*) Il faut rapprocher de ces considérations ce que nous disons plus loin des deux planètes Junon et Clotho.

1. Ce que nous disons ici des excentricités des orbites se rapporte aux petites planètes connues à l'époque où parut la première édition du *Ciel*. Aujourd'hui, Polymnie est toujours celle dont l'excentricité (0.3397) est la plus considérable; mais c'est Concordia qui, d'après les éléments calculés, a l'excentricité la plus faible, égale à 0.0425, plus que double encore de l'excentricité de l'orbite de la Terre, mais cinq fois moindre environ que celle de Mercure.

rant leurs positions avec le plan de l'orbite de la Terre, on trouve que certains d'entre eux, ceux de Massalia, de Thémis et d'Angelina par exemple, coïncident à fort peu de chose près avec ce dernier plan, tandis que l'orbite de Pallas, ainsi qu'on peut le voir dans la planche I (page 102), s'élève angulairement à $34^{\circ} 42'$, c'est-à-dire à près des deux cinquièmes de l'angle

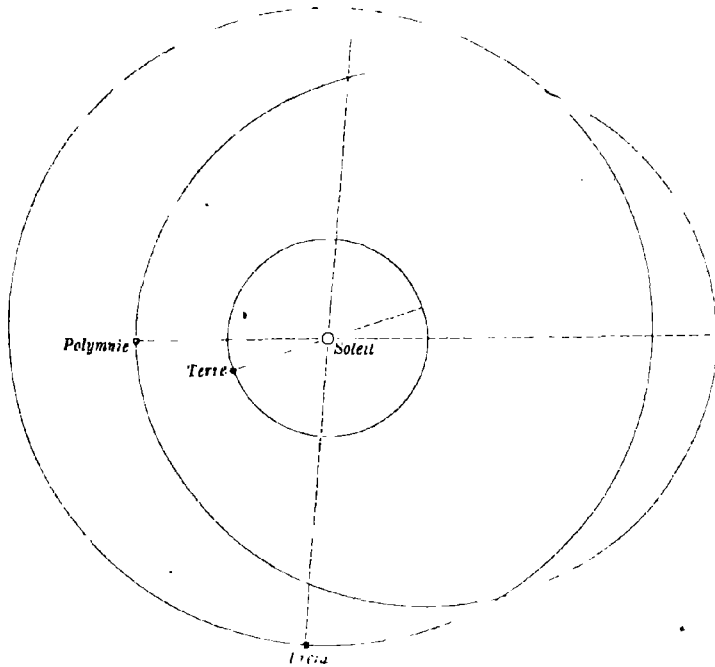


Fig. 94. — Orbites des petites planètes Freia et Polymnie; comparaison de leurs excentricités avec celle de la Terre.

droit; les inclinaisons d'Euphrosine, de Niobé et de Phocéea sont respectivement de $26^{\circ} 1/2$, de 23° et de $21^{\circ} 1/2$ environ.

Il reste, pour terminer ces généralités sur les petites planètes, à dire un mot des durées de leurs révolutions autour

1. Ces inclinaisons considérables ont aussi fait nommer les astéroïdes planètes *ultra-zodiacales*; un grand nombre d'entre elles se trouvent sortir en effet, par le fait de cette inclinaison et de leur mouvement propre, de la zone où se meuvent les planètes principales.

du Soleil. Ces durées sont comprises entre 1193 et 2384 jours solaires moyens, c'est-à-dire entre 3 ans 97 jours, et 6 ans et 192 jours, qui marquent la longueur des années de Flore et de Sylvia. Il arrive, comme pour les distances moyennes, que certaines petites planètes consécutives font leurs révolutions en des temps presque égaux. Pour Égérie et Astrée, la différence n'est pas d'un demi-jour; pour Eunomia et Harmonia, elle n'est guère plus d'un tiers de jour; Iris et Métis, Virginia et Maïa offrent des différences moins grandes encore; les périodes de révolution d'Euphrosine et d'Hygie n'ont que 2 heures et 6 minutes de différence. Enfin, les deux planètes Junon et Clotho, dont les distances moyennes au Soleil sont presque identiques, accomplissent leurs révolutions l'une en 1392ⁱ,3104, l'autre en 1392ⁱ,3044; leurs périodes paraissent donc aussi à peu de chose près identiques, la différence ne s'élevant, d'après les nombres précédents, qu'à 8 minutes 38 secondes. Pour ces deux planètes les autres éléments ont beaucoup de ressemblance : ainsi leurs plans sont inclinés l'un sur l'autre de moins de 3°; leurs excentricités sont égales à peu de chose près; leurs périhélies et leurs nœuds ascendants ne diffèrent que de 10 à 11 degrés. Ce sont, pour ainsi dire, deux *planètes jumelles*, comme les planètes Fidès et Maïa dont il est question plus haut.

Passons maintenant en revue quelques-unes des principales petites planètes, et voyons si l'on est parvenu à obtenir quelques données sur leurs dimensions et leurs constitutions physiques.

§ 2. — Particularités physiques sur quelques-unes des petites planètes. — Vesta, Junon, Cérès et Pallas, leurs dimensions. — Probabilités sur le nombre considérable des corps qui composent l'anneau des petites planètes; limites de leur masse totale. — Comment on cherche et l'on découvre une petite planète.

Vesta est la plus brillante du groupe entier. Elle est visible à l'œil nu par un ciel bien pur, et sa lumière d'un jaune pâle est cependant plus blanche que celles des trois planètes découvertes avant elle. Elle met trois ans et huit mois à accomplir sa révolution entière autour du Soleil, à une distance moyenne de 87 millions 250 mille lieues. Comme son orbite est relativement plus allongée, il n'y a guère entre ses distances extrêmes qu'une différence de 8 000 000 de lieues de 4 kilomètres. Son diamètre réel, mesuré par Mædler, est de 100 lieues environ. Ce n'est pas la trente-deuxième partie du diamètre de la Terre, de sorte que la surface de notre globe comprend plus de mille fois celle de Vesta. Voilà donc une planète, dont la superficie entière n'est guère que la neuvième partie du continent européen. Enfin le volume de la Terre est à peu près 31 000 fois celui de Vesta.

Junon offre l'aspect d'une étoile de huitième grandeur : c'est dire qu'elle est invisible à l'œil nu. Sa couleur est rougeâtre et l'éclat de sa lumière subit des variations, dont l'intensité n'est pas moins remarquable que la rapidité. Ce phénomène n'est pas particulier à Junon : on l'observe dans Vesta, qui devient parfois très-éclatante, dans Cérès et dans plusieurs autres petites planètes. Comment expliquer ce phénomène ? Les savants ont fait, à ce sujet, diverses hypothèses. Les uns supposent que les diverses faces de ces petits corps ne réfléchissent pas la lumière solaire avec la même intensité, que quelques-unes sont formées de facettes cristallines, ou encore possèdent une lumière propre. D'autres croient que les

petites planètes sont des corps très-peu réguliers, nous présentant par conséquent tantôt des faces très-étendues, tantôt des faces plus étroites : c'était l'opinion d'Olbers, qui, regardant les premières petites planètes connues comme des fragments d'une planète unique, brisée et réduite en pièces, devait trouver très-naturelle l'irrégularité de forme de ces fragments. Qu'on admette l'une ou l'autre de ces hypothèses, elles n'en reposent pas moins toutes sur le fait d'une rotation réelle. Peut-être en étudiant avec soin les périodes de ces variations, parviendra-t-on à déterminer les durées des mouvements rotatoires. Celui des observateurs contemporains qui s'est le plus distingué par le grand nombre de petites planètes qu'il a découvertes, M. Goldschmidt, avait commencé, quelques années avant sa mort, ces intéressantes recherches.

Junon s'éloigne du Soleil, à son aphélie, de près de 111 millions de lieues, à son périhélie de 86 millions et demi ; sa distance moyenne est dès lors de 98 millions 750 mille lieues, et il existe une différence de 25 millions de lieues entre ses distances extrêmes à l'astre central. Son orbite est, comme on voit, très-différente du cercle.

D'après Mædler, son diamètre mesure environ 140 lieues ; il est ainsi 23 fois moindre que celui de la Terre. Sa surface est près du double de celle de Vesta, et son volume est la 12 000^e partie de celui du globe terrestre. Junon parcourt son orbite en 1592 jours $\frac{1}{3}$, ou en 4 années terrestres et 4 mois.

La 69^e des petites planètes dans l'ordre des distances, et, on l'a vu, la première dans l'ordre des découvertes, *Cérés*, paraît comme une étoile rougeâtre dont l'éclat est intermédiaire entre ceux de Junon et de Vesta.

Un illustre observateur, Schrœter, avait cru trouver dans l'apparence vaporeuse de son disque la preuve de l'existence d'une atmosphère très-étendue. Le même fait semblait se présenter pour Pallas, et il en concluait que chacune de ces deux

planètes est entourée d'une enveloppe gazeuse de 200 lieues d'épaisseur. Depuis, on a reconnu qu'il y avait là un effet d'irradiation dû à l'imperfection de son télescope.

Cérès tourne en 1680 jours $3/4$ (4 ans 7 mois environ) autour du Soleil, dont elle est à une moyenne distance de 102 millions 250 mille lieues. Mais à sa distance minimum, elle est plus rapprochée de 8 millions de lieues qu'à son plus grand éloignement. La chaleur et la lumière reçues par un astre dont la distance au foyer solaire varie dans des proportions aussi considérables, varient elles-mêmes d'intensité dans des limites assez étendues. Mais comme on ne sait rien de la constitution physique de Cérès, ni de l'état de sa surface, on ne peut guère tirer de ces données de conclusions certaines, relatives aux variations réelles de la température de la planète.

Le diamètre de Cérès a été mesuré plusieurs fois. Mais les résultats ne s'accordent guère; tandis qu'il est de 185 lieues, suivant Schrœter, de 65 lieues seulement d'après W. Herschel, Argelander l'évalue à 90 lieues. En adoptant cette dernière évaluation, et en la réduisant d'après la nouvelle parallaxe solaire, on trouve que la surface de Cérès est un peu supérieure à la 1300^{e} partie de celle du globe terrestre, de sorte qu'il faudrait environ 45 000 volumes égaux au sien pour former le volume de la Terre.

Arrivons à *Pallas*, qui tourne en 1683 jours et demi autour du Soleil, dans une orbite presque aussi allongée que celle de Junon, très-inclinée sur le plan de notre orbite et à une distance moyenne de 102 millions 500 mille lieues: les distances de Cérès et de Pallas ne diffèrent que de 111 000 lieues. A son aphélie, Pallas s'éloigne du Soleil jusqu'à 125 millions de lieues, tandis qu'à son périhélie, elle en est à peine à 90 millions.

Vue à l'époque de sa moyenne distance à la Terre, Pallas

a l'aspect d'une étoile de 7^e à 8^e grandeur, d'une belle couleur jaune. Son diamètre est évalué à 246 lieues (Lamont). C'est la plus considérable de toutes les petites planètes, bien que

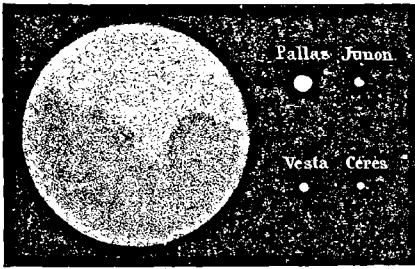


Fig. 95. — Dimensions comparées de la Terre et des planètes Junon, Cérés, Pallas et Vesta.

son diamètre soit encore 12 fois moindre que celui de la Terre, sa surface 136 fois moindre et son volume 1600 fois plus petit que le volume du sphéroïde terrestre. Tous ces nombres, on le comprendra, sont approximatifs, et je les donne surtout pour qu'on arrive à

se faire une idée un peu nette de l'importance relative des corps célestes du système solaire. La figure 95 contribuera à fixer dans la mémoire les dimensions des quatre petites planètes principales, Junon, Cérés, Pallas et Vesta, comparées entre elles et à celles de la Terre.

Les quatre planètes sur lesquelles nous venons de donner quelques détails sont parmi les plus considérables du groupe. La petitesse de presque toutes les autres est telle, qu'on n'a pu mesurer directement leurs diamètres; elles apparaissent dans les lunettes comme des points lumineux sans diamètre sensible. Il est probable que les moins gros de ces astres microscopiques ont à peine quelques lieues de rayon, ce qui rend leur étendue superficielle inférieure à celle d'un de nos plus petits départements. M. Lespiault, à qui j'emprunte cette comparaison, ajoute qu'un bon marcheur ferait aisément dans sa journée le tour de quelques-uns de ces globes en miniature.

Pendant combien d'années encore trouvera-t-on des petites planètes faisant partie de l'anneau, et circulant entre Jupiter

et Mars? C'est une question assez difficile à résoudre. Il est probable qu'on connaît aujourd'hui, je ne dirai pas les plus gros de ces corps, mais ceux que leurs distances à la Terre rendent le plus aisément visibles. La découverte des autres devient donc de plus en plus difficile, et l'accroissement de leur nombre est en partie subordonné au perfectionnement des instruments d'optique et des cartes célestes.

On entend si souvent, depuis une vingtaine d'années, parler des découvertes de nouvelles planètes, qu'on sera peut-être curieux de connaître les méthodes, les procédés employés à cet effet par les observateurs. Et d'abord, qu'on le comprenne bien, ce n'est point le hasard qui préside à ces travaux. Depuis la découverte de Piazzi jusqu'à notre époque, c'est grâce à des recherches spéciales et systématiques qu'on est parvenu à enrichir de la sorte le monde solaire. Voici comment :

Ce n'est pas, je l'ai déjà dit, par son aspect qu'une planète se distingue, au milieu de la voûte étoilée, de la multitude des points lumineux qui l'entourent, surtout lorsqu'il s'agit d'astres très-petits, dont le diamètre est insensible. C'est par son mouvement propre, par son déplacement progressif qu'on parvient à la reconnaître. Pour cela, que faut-il? Des cartes célestes très-minutieuses, donnant les très-petites étoiles, et dont une révision incessante permette de constater l'apparition d'étoiles nouvelles. Tel est le premier instrument de travail, indispensable pour une telle recherche. L'astronome qui entreprend la confection des cartes célestes exécutées avec ce détail et cette précision est donc le collaborateur forcé de celui qui découvre les planètes. Ajoutons que souvent ces deux collaborateurs ne font qu'un. A la vérité, il n'est pas nécessaire d'explorer le ciel entier. Il suffit d'examiner les régions voisines de l'écliptique, parce que l'orbite d'une planète venant nécessairement couper deux fois par révolution la trace même de l'orbite de la Terre, il suffit d'observer l'astre à l'un ou à l'autre de ces passages.

La figure 96 reproduit, à une échelle réduite, l'une des cartes construites par un observateur distingué, M. Chacornac, à qui l'astronomie doit, outre de nombreuses observations de divers genres, la découverte de 8 petites planètes. Toutes les étoiles des treize premières grandeurs s'y trou-

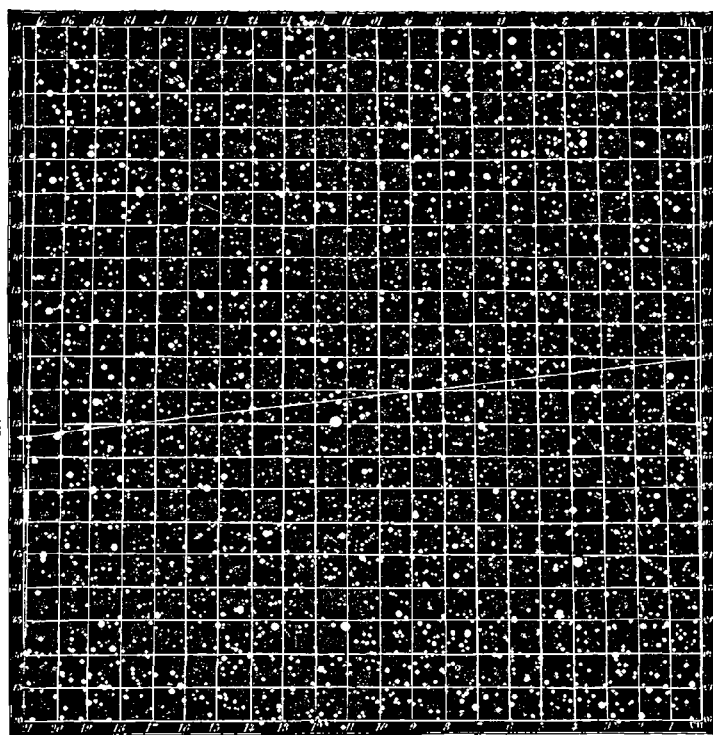


Fig. 96. — Carte écliptique, d'après l'atlas de M. Chacornac.

vent marquées. Muni d'une carte de ce genre et d'une lunette astronomique assez puissante pour permettre de voir dans le ciel toutes les étoiles inscrites dans la carte, l'observateur qui voudra se livrer à la recherche des petites planètes procédera de la façon suivante :

Il disposera au foyer de sa lunette 6 fils se coupant deux à deux à angles droits et éloignés l'un de l'autre, de façon à

embrasser dans le ciel précisément le même espace qu'un des petits carrés de la carte. Puis il braquera son instrument sur la région du ciel représentée par la portion de la carte qu'il veut explorer, de façon à comparer successivement tous les carrés aux parties correspondantes du ciel. Il peut ainsi s'assurer s'il y a identité dans le nombre et les positions des étoiles marquées et des étoiles observées. Vient-il à trouver dans la lunette un point lumineux qui ne soit pas marqué sur la carte? De deux choses l'une : la carte étant bien faite, il se peut que le nouvel astre soit une étoile d'éclat

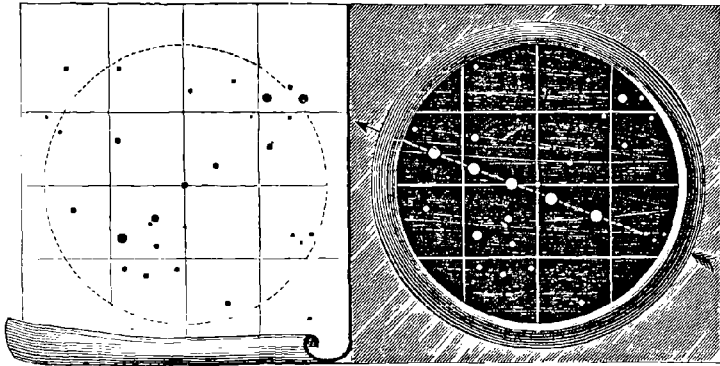


Fig. 97. — Découverte d'une petite planète au moyen des cartes éclipitiques.

variable, et qui n'était pas visible à l'époque de la construction; ou bien, l'observateur a affaire à une planète nouvelle. Comment distinguer ces deux hypothèses également possibles? En examinant si l'astre nouveau reste invariablement fixé au même point, ou au contraire, s'il se meut relativement aux étoiles voisines : le mouvement propre d'une planète est en général assez sensible, pour que l'observateur puisse le constater dans la nuit même de l'observation. Dans ce dernier cas, il a trouvé une nouvelle planète, ou peut-être une comète. Je ne puis entrer ici dans le détail des manœuvres délicates qui ont pour objet la vérification du mouvement

propre. La figure 97, qui représente, à gauche un fragment de la carte même, à droite le champ de l'instrument, suffira à donner une idée du résultat. On peut y voir le point lumineux qui, par ses positions successives sur le champ étoilé du ciel, indique la présence d'un astre appartenant à notre monde solaire.

Il n'est pas besoin de dire, je suppose, tout ce que de telles recherches, d'ailleurs si laborieuses, exigent de patience et de perspicacité.

VII

JUPITER ζ .

§ 1. — Jupiter vu à l'œil nu. — Éléments de son orbite; sa vitesse de translation autour du Soleil. — Distances au Soleil et à la Terre. — Diamètre apparent; dimensions réelles. — Son mouvement de rotation, jours et nuits; saisons; climats astronomiques et météorologie. — Masse et densité de Jupiter; intensité de la pesanteur à sa surface.

De la région du monde solaire où nous venons de voir que circulent les plus petits astres de notre système, nous passons sans transition à la plus volumineuse de toutes les planètes, au colossal Jupiter.

A l'œil nu, Jupiter apparaît comme une étoile de première grandeur, dont l'éclat, variable avec sa distance à la Terre, rivalise quelquefois avec celui de Vénus, et est assez grand pour donner des ombres aux objets pendant les nuits sans lune. Sa lumière est calme : elle ne scintille que dans des cas très-rares. Mais si, pour l'examiner, on vient à se servir d'une lunette un peu puissante, le point lumineux se change par le grossissement en un disque nettement terminé, le plus souvent accompagné de trois ou quatre petites étoiles qui oscillent en des temps assez courts autour de la planète centrale : ces quatre étoiles sont les satellites de Jupiter. Vénus, Mercure et Mars, nous l'avons vu, sont privés de compagnons; la Terre n'en a qu'un. Jupiter, avec ses quatre lunes, que la puissante attraction de sa masse oblige à circuler autour de lui, va donc nous présenter le spectacle d'un petit monde,

analogue au monde solaire dont il fait partie, et qu'il semble reproduire sur une plus petite échelle.

Jupiter accomplit sa révolution autour du Soleil en un peu moins de 12 années (11 ans 314^j.76 ou 4332.6 jours moyens terrestres). L'orbite qu'il décrit dans cette période est une ellipse dont l'excentricité, égale à 0.048, est ainsi près du triple de l'excentricité de l'orbite terrestre, et dont le plan est très-peu incliné sur le plan de l'écliptique (de 1° 19' environ). Il résulte de ces données que les distances moyenne et extrêmes de Jupiter au Soleil sont les suivantes :

	Distance de la Terre au Soleil = 1.0000.	Kilomètres.
Distance périhélie.	4.9518	732 000 000
— moyenne	5.2028	770 000 000
— aphélie	5.4537	807 000 000

L'orbite de Jupiter offre un développement de plus de quatre milliards huit cents millions de kilomètres, ou de douze cents millions de lieues. La vitesse moyenne de la planète est donc de 1 115 000 kil. par jour, 12 900 mètres par seconde, c'est-à-dire égale aux 43 centièmes de la vitesse de la Terre.

Jupiter étant, comme Mars, une planète supérieure, se trouve tantôt en opposition, tantôt en conjonction avec la Terre et le Soleil : en un mot, son mouvement apparent est analogue à ceux de Mars et des petites planètes, et sa révolution synodique présente les mêmes alternatives de mouvement apparent direct, séparé du mouvement rétrograde par deux stations, c'est-à-dire par deux positions où Jupiter semble stationnaire sur la voûte étoilée. L'explication de ces apparences est identique à celle que nous avons donnée du mouvement de Mars. Seulement, la durée de la révolution synodique est moindre ; elle ne s'élève qu'à 399 jours, dont 121

sont employés par Jupiter à parcourir l'arc rétrograde, et les 278 autres à accomplir son mouvement direct.

Des mouvements simultanés de la Terre et de Jupiter sur leurs orbites respectives, des positions relatives qui en sont la conséquence, il résulte que les deux planètes sont à des distances l'une de l'autre continuellement variables. Aussi voit-on varier en sens inverse les diamètres apparents du disque de Jupiter observé au télescope. A l'époque des oppositions correspondent des dimensions plus grandes qu'à l'époque des conjonctions où les deux astres sont à leur plus grand élo-

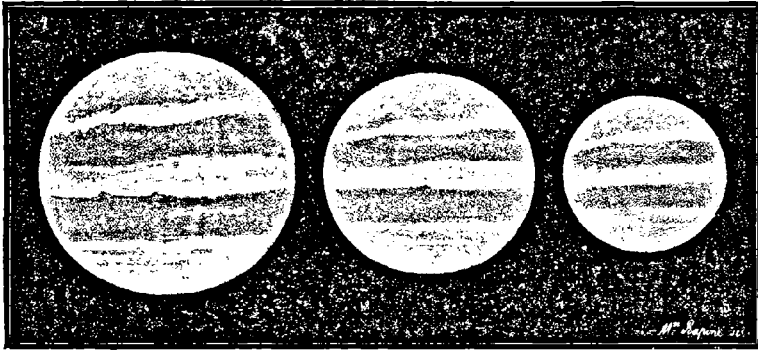


Fig. 98. — Dimensions apparentes du disque de Jupiter, à ses distances extrêmes et moyenne à la Terre.

ignement. En résumé, à la distance moyenne de Jupiter à la Terre, son diamètre mesure $38''4$; à sa distance maximum, qui est de 955 millions de kilomètres, le diamètre se réduit à $30''$; et enfin, il atteint $46''$ dans les oppositions les plus favorables, c'est-à-dire, quand la distance des deux planètes n'est plus que de 585 millions de kilomètres. Ces différences sont rendues sensibles dans les dessins de la figure 98.

Vu de la Terre, Jupiter paraît toujours sous la forme d'un disque lumineux, de forme elliptique, mais ne présentant pas de phases sensibles, bien que l'on soit assuré qu'il ne brille pas de sa lumière propre. Nous verrons plus loin qu'on a des

preuves convaincantes de l'opacité de la planète, de sorte que l'absence de phases est une simple conséquence de l'immensité de l'orbite de Jupiter, qui enveloppe toujours l'orbite terrestre à une grande distance.

Des nombres qui mesurent les distances de Jupiter à la Terre d'une part, et d'autre part son diamètre apparent, on déduit par un calcul facile ses dimensions réelles. Mais il faut, pour cela, tenir compte de sa forme vraie qui est celle d'un sphéroïde, ou d'un ellipsoïde de révolution. Jupiter, nous allons

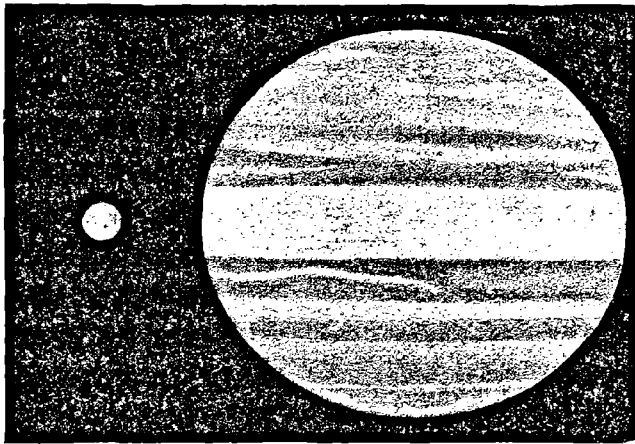


Fig. 99. — Jupiter et la Terre; dimensions comparées.

le voir bientôt, tourne sur lui-même, autour d'un de ses diamètres, et, comme la Terre, il est aplati à ses pôles de rotation. Cet aplatissement a été mesuré par un grand nombre d'astronomes, parmi lesquels nous citerons Cassini I, Rochon, Schrœter, Struve, Beer et Mædler et Arago : il est, à peu de chose près, égal à $\frac{1}{18}$, c'est-à-dire que la différence du diamètre équatorial et du diamètre polaire est la 18^e partie du premier. On trouve alors que le diamètre équatorial de Jupiter vaut 11.160 fois le diamètre de l'équateur terrestre, c'est-à-dire en nombre rond 142 000 k., ou 35 500 lieues; tandis que le diamètre des pôles est de 134 000 k. ou 33 500

lieues. C'est environ 4000 kilomètres pour la dépression de chaque pôle. La circonférence de l'équateur de Jupiter offre un développement de 444 500 k., et l'ellipse méridienne 433 500 k. Enfin, le volume de la planète est 1234 fois le volume du globe terrestre. Vu à la distance où nous sommes de la Lune, cet immense globe nous apparaîtrait avec un diamètre apparent de 21°, environ 40 fois aussi considérable que celui de notre satellite : la surface de son disque embrasserait, sur la voûte céleste, environ seize cents fois l'espace qu'occupe la pleine Lune vue de la Terre.

Dès que l'invention des lunettes eut permis de distinguer nettement la forme de Jupiter, on vit sur son disque des taches grisâtres, sous forme de bandes à peu près parallèles. Cassini attribue la découverte des bandes à Galilée ; d'autres prétendent qu'elles ont été vues pour la première fois à Rome, par le P. Zucchi, en 1630 ; quoi qu'il en soit, c'est Cassini I qui en fit le premier une observation assidue dès juillet 1665, et qui, par l'observation du mouvement d'une tache sur le disque, découvrit le mouvement de rotation de la planète et en détermina la durée. La tache observée par cet illustre astronome lui parut se mouvoir d'Occident en Orient et effectuer une rotation entière en 9^h 55^m 53^s : tel est le nombre qu'il donne comme le résultat d'observations séparées par un intervalle de 8 années. Plus tard, d'autres taches observées près des bandes lui fournirent une durée de rotation plus faible. Maraldi, W. Herschel, Schrœter dans le siècle dernier, puis, dans le nôtre, Airy, Beer et Mædler, ont mesuré la durée de la rotation par l'observation des retours successifs d'une même tache au centre du disque ; mais les résultats, bien que peu différents, varient cependant non-seulement d'une tache à l'autre, mais encore pour une même tache selon la période de rotation observée. En général, la rotation est d'autant plus rapide que la tache qui en a fourni la durée est plus voisine de l'équateur de la planète. D'où l'on a tiré cette

conséquence que les taches aperçues sur le disque ne sont pas des parties fixes de la surface, mais probablement des accidents atmosphériques, analogues aux nuages qui flottent dans l'atmosphère de la Terre. Il y a toutefois à cette hypothèse une difficulté, c'est de concevoir comment une masse nuageuse peut subsister si longtemps à peu près au même lieu : la tache observée par Cassini a été vue pendant 2 années consécutives, puis elle disparut, et redevint visible cinq ans plus tard, « dans la même forme et dans la même situation

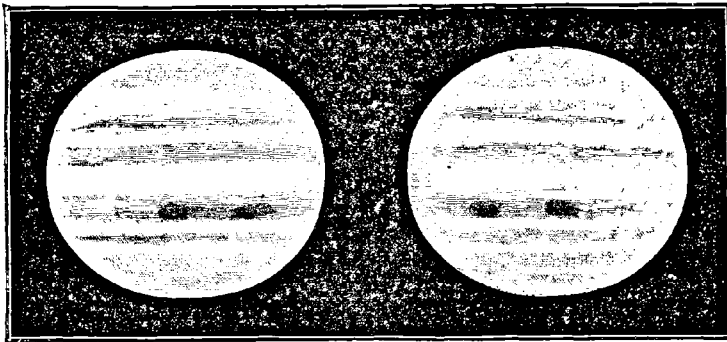


Fig. 100. — Rotation du globe de Jupiter. Déplacement apparent de deux taches, dans l'intervalle de 37 minutes 15 secondes, d'après Beer et Mædler.

qu'auparavant à l'égard du centre de Jupiter. » Ce qui n'est pas douteux, c'est le mouvement de rotation de la planète, qui, d'après les plus récentes déterminations, s'effectue en $9^{\text{h}} 55^{\text{m}} 26^{\text{s}}.5$ ou en $0^{\text{d}}.4135$. Un point situé à l'équateur de l'immense globe parcourt donc, en vertu de ce mouvement, 12450 mètres, 3 lieues $1/2$ environ par seconde. C'est plus du double de la vitesse angulaire de rotation de la Terre, 26 fois celle d'un point de son équateur ; aussi, comme nous l'avons vu plus haut, l'aplatissement de Jupiter est-il environ 17 fois aussi grand que celui de notre globe. Du double mouvement de rotation et de translation de la planète que nous étudions, résultent des conséquences faciles à établir pour sa

climatologie, du moins en tant que celle-ci dépend des phénomènes purement astronomiques. Mais il faut tenir compte, pour cela, de l'inclinaison de l'axe de rotation de Jupiter sur le plan de son orbite. L'angle qui la mesure diffère très-peu d'un angle droit (voyez fig. 101), de sorte que le plan de l'équateur coïncide presque avec celui de l'orbite. Les zones polaires analogues aux zones glaciales de la Terre occupent donc sur Jupiter un espace relativement très-restreint. Les jours et les nuits qui ont, à l'équateur, une durée égale et constante de $4^{\text{h}} 57^{\text{m}} 43^{\text{s}}$, offrent dès lors aux autres latitudes une faible diffé-

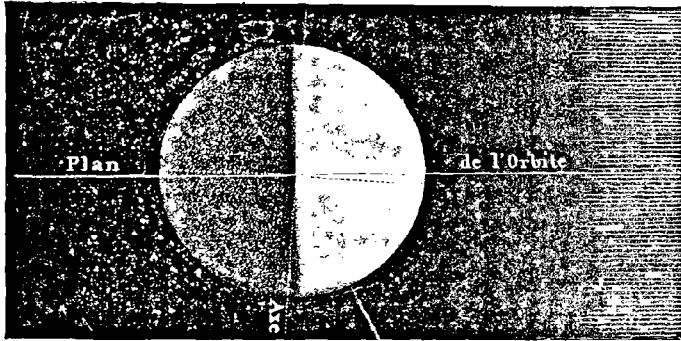


Fig. 101. — Inclinaison de l'axe de Jupiter sur le plan de l'orbite.

rence à une époque quelconque de l'année de la planète, année qui se compose d'ailleurs de 10 478 rotations de Jupiter, ou de 10 477 jours solaires *joviens*. Il résulte de tous ces nombres que, sur Jupiter, le jour solaire moyen ne surpasse que de 3 secondes la durée même de la rotation, c'est-à-dire le jour sidéral.

Quant aux deux zones polaires, elles ne comprennent chacune que 3 degrés environ en latitude : c'est là seulement que la durée du jour et celle de la nuit atteignent et dépassent la durée de la rotation. A chacun des pôles, le Soleil reste visible pendant près de six de nos années pour disparaître ensuite pendant le même intervalle de temps.

Astronomiquement parlant, les saisons de Jupiter sont donc très-peu variées, à cause de la faible inclinaison du plan de son orbite sur celui de son équateur. L'été règne pendant la longue période de sa révolution dans les zones équatoriales, tandis que les régions tempérées jouissent d'un printemps perpétuel, et qu'enfin un hiver presque continu est le lot des zones polaires. Pour se faire une idée de ce qu'y sont les alternatives des saisons, il faut se rappeler d'ailleurs que chacune dure près de trois de nos années, que l'été et le printemps durent ensemble plus de 6 ans, l'automne et l'hiver environ 5 ans et 7 mois.

La masse de Jupiter a été déduite du mouvement de ses satellites, et trouvée égale à $\frac{1}{1050}$ de la masse du Soleil. Si l'on adopte pour la masse de la Terre le nombre $\frac{1}{320000}$, déduit de la nouvelle parallaxe $8'' 90$, on voit que la masse de Jupiter vaut environ 305 fois la masse de notre globe. Sa densité est 0.247, si l'on prend pour unité la densité du globe terrestre, et 1.34, si on la compare à celle de l'eau. Enfin, la pesanteur à la surface a, sur Jupiter, une intensité égale à 2.465 fois celle de l'intensité de la pesanteur terrestre. Si l'on admet que la densité des couches qui composent le globe de la planète va comme celle des couches terrestres, en croissant de la surface au centre, les couches superficielles n'y sont sans doute pas plus denses que l'eau. Il est donc fort possible que la surface de Jupiter soit liquide, si la température toutefois n'est pas assez faible pour y maintenir à l'état solide les substances légères dont nous parlons.

A la distance où Jupiter se trouve du Soleil, l'intensité de la lumière et de la chaleur reçues par la planète n'est plus que les 37 millièmes de l'intensité de la chaleur et de la lumière solaires, au moment où elles arrivent à la surface de notre globe. Jupiter est donc 27 fois moins échauffé et éclairé que la Terre; mais cela ne peut s'entendre évidemment que de l'insolation aux limites des atmosphères des deux planètes, et

il faudrait, pour tirer de là quelques conséquences vraisemblables sur la météorologie de Jupiter, connaître la constitution de son enveloppe atmosphérique et aussi celle du sol lui-même. Ceci nous amène à dire ce qu'on peut préjuger de cette constitution, dans l'état actuel de nos connaissances astronomiques.

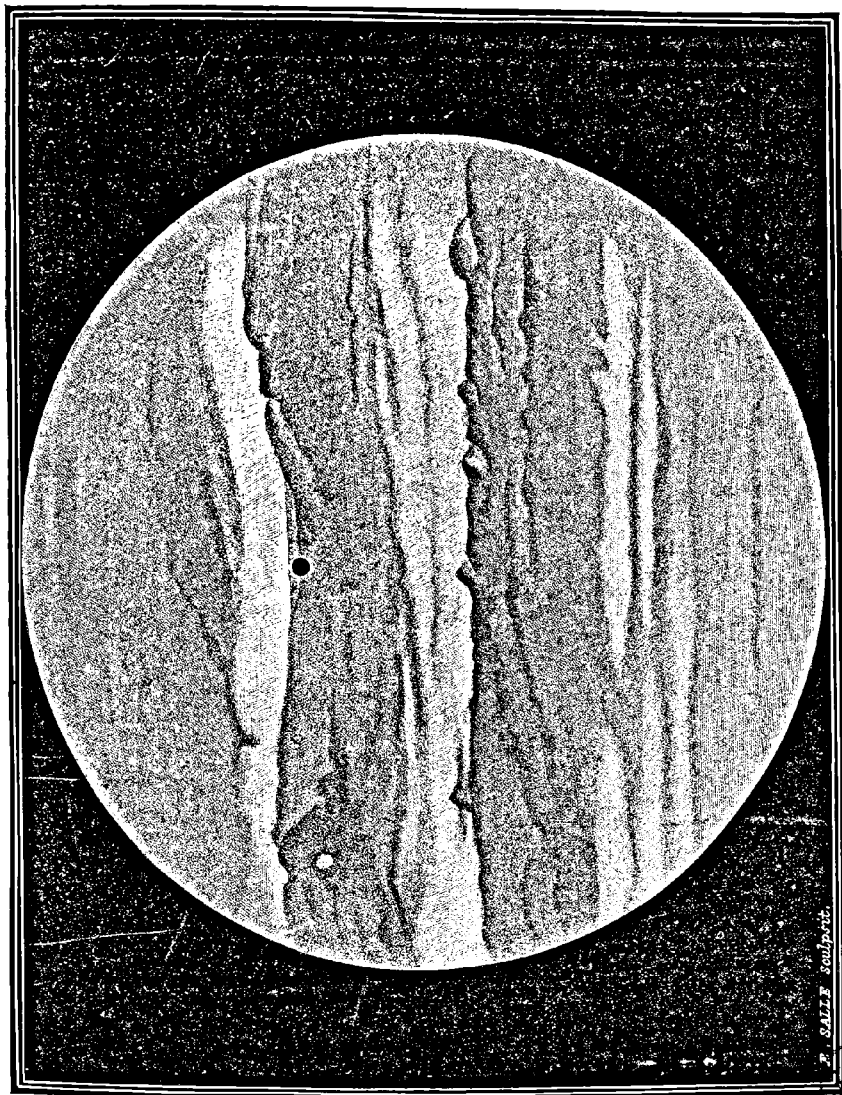
§ 2. — Constitution physique de Jupiter. — Bandes lumineuses et obscures. — Taches variables et taches permanentes. — Hypothèses diverses; vents alizés, courants équatoriaux. — Atmosphère de Jupiter; analogie de sa constitution avec celle de la Terre, d'après l'analyse spectrale.

Le disque de Jupiter, comme on peut s'en rendre compte en examinant les dessins de son disque que reproduisent nos figures et notamment la planche XVI, fac-simile d'un magnifique dessin de M. Warren de la Rue, est généralement sillonné de bandes grisâtres, plus ou moins sombres, séparées par des espaces plus lumineux. Leur nombre, leurs positions, leur étendue ne restent pas toujours les mêmes : on en a vu quelquefois jusqu'à huit, tandis qu'à d'autres époques une seule persistait; cette dernière, la plus large de toutes, et qu'on voit presque toujours, est située dans l'hémisphère boréal, et très-voisine du centre de la planète. Une autre bande obscure, située dans l'hémisphère austral, et aussi près du centre, est également presque permanente. Cependant l'une et l'autre ont disparu à la fois : Hévélius, W. Herschel ont observé Jupiter, le premier en 1647, le second en 1793, sans que son disque offrît aucune trace de bandes.

Les bandes principales sont presque toujours parallèles à l'équateur de Jupiter; et parmi les autres, plus étroites ou plus éloignées de la partie centrale, et qui d'ailleurs apparaissent ou disparaissent parfois en quelques heures, les unes sont parallèles à cette même direction, les autres affectent une direction plus ou moins inclinée à la première. Enfin,

outre ces zones de forme longitudinale, on voit de temps à autre des taches particulières, de formes variées : c'est à l'aide de ces taches, le plus souvent adhérentes aux bandes obscures, et qui en forment les accidents, qu'on a déterminé la durée du mouvement de rotation, et l'on sait que certaines d'entre elles sont restées visibles pendant des années. Si même on en croit Cassini et Maraldi, l'une d'elles, observée en 1665 pour la première fois et disparue après deux ans, reparut au même point en 1672, en 1677, en 1685, et ce serait encore la même tache que Maraldi revit en 1713, c'est-à-dire 48 ans après sa première apparition constatée.

La planche XVI donne l'aspect que présentait Jupiter le 13 octobre 1856 ; elle montre son disque traversé par deux larges bandes obscures situées de part et d'autre de l'équateur, et séparées par une bande brillante. Deux autres bandes brillantes, dont l'une est sillonnée de bandes beaucoup plus étroites, limitent les deux premières du côté des pôles. L'éclat lumineux du disque vers ces dernières régions est notablement plus faible que dans la zone équatoriale, ainsi que dans les deux bandes brillantes limitant les bandes sombres de la planète. Ces phénomènes sont fort intéressants : mais qu'en peut-on conclure relativement à la constitution physique de Jupiter ? Il y a un premier point qui ne semble pas contestable, c'est que le parallélisme à peu près constant des bandes, dans le sens de l'équateur et des parallèles de la planète, s'explique par le mouvement de rotation, par la vitesse angulaire considérable de ce mouvement. En vertu de ce mouvement même, s'il y a à la surface de la planète des parties fluides, liquides ou gazeuses, on conçoit que la vitesse avec laquelle elles sont entraînées tende à les disposer en longues bandes semblables à celles qu'on observe ; et, comme c'est à l'équateur que la vitesse absolue est la plus grande, c'est là aussi que ces masses devront s'accumuler en plus grande partie. C'est ce que l'observation constate en effet. Voici quelle est, d'après W. Hers-



JUPITER

D'après un dessin de Warren de la Rue.
Bandes sombres et lumineuses; passage et ombre d'un satellite sur le disque.

chel, la cause physique des bandes de Jupiter. Le passage suivant, extrait d'un de ses Mémoires publié en 1793, est cité par Arago dans sa notice sur l'illustre astronome :

« Je suppose, dit-il, que les bandes brillantes et les régions polaires de Jupiter dont la lumière surpasse celle des bandes faibles ou jaunâtres, sont les zones où l'atmosphère de cette planète est le plus remplie de nuages. Les bandes faibles correspondent aux régions dans lesquelles l'atmosphère, complètement sereine, permet aux rayons solaires d'arriver jusqu'aux portions solides de la planète où, suivant moi, la réflexion est moins forte que sur les nuages. »

Dans un Mémoire précédent, W. Herschel attribuait à des vents réguliers, dont la cause serait analogue à celle qui produit les alizés terrestres, la réunion en bandes parallèles des nuages de l'atmosphère équatoriale de Jupiter. Il y a un fait d'observation qui confirme jusqu'à un certain point l'exactitude de cette hypothèse. C'est celui-ci : les bandes obscures et les zones brillantes ne sont visibles que dans les régions centrales, elles s'affaiblissent près des bords du disque. D'après Beer et Mædler, les taches s'évanouissent $1^h 25^m$ environ après leur passage au centre, c'est-à-dire, quand elles occupent une position dont la différence de longitude avec le centre est d'environ 54° ; cela suppose une atmosphère très-dense, en admettant que la cause d'affaiblissement de la visibilité des taches provienne de l'interposition de couches atmosphériques de plus en plus profondes. La lumière réfléchie par les parties diaphanes de l'atmosphère doit en effet aller en croissant à mesure que les rayons visuels traversent plus obliquement les couches, c'est-à-dire à mesure que l'œil observe des régions plus voisines des bords. Le contraire arrive pour les nuages ou les parties opaques de l'atmosphère de Jupiter : elles paraissent d'autant moins brillantes que les rayons solaires les éclairent plus obliquement. Ainsi, d'une part, les taches et bandes obscures sont moins sombres à me-

sure qu'elles s'éloignent du centre, et les zones brillantes perdent de leur éclat vers les bords. La différence d'éclat des unes et des autres diminue et finit par devenir assez faible pour qu'on ne puisse plus les distinguer.

En résumé, l'explication des bandes lumineuses et obscures est assez satisfaisante, si l'on regarde les zones brillantes comme des masses de nuages, et les autres comme les parties transparentes de l'atmosphère. Mais, est-ce la partie solide de Jupiter qu'on aperçoit à travers celles-ci, et, dans ce cas, que sont les taches plus sombres, plus ou moins permanentes, qui ont servi à mesurer la rotation ? Si ce sont des parties liquides par exemple, de la surface, pourquoi ne s'accordent-elles pas toutes à donner la même durée pour le mouvement de rotation ; pourquoi accusent-elles une rotation d'autant plus rapide qu'elles sont plus équatoriales ? Le mouvement propre que cette différence de vitesse a forcé d'attribuer aux taches, a été expliqué par l'existence de contre-alizés analogues aux vents supérieurs qui règnent, sur notre globe, au-dessus de la région des alizés proprement dits.

Cassini avait constaté ce fait de la rotation plus rapide des taches à mesure qu'elles sont plus rapprochées de l'équateur : « Au commencement de l'année 1692, dit-il, il parut des taches qui étoient près de l'équinoxial de Jupiter, dont la période n'étoit que de 9 heures 50 minutes, et généralement toutes les taches qui passèrent plus près du centre de Jupiter, parurent avoir un mouvement plus vite que celles qui en étoient plus éloignées. Ces taches qui avoient un mouvement plus prompt que les autres, étoient aussi plus près de son équinoxial, qui est parallèle aux bandes ; ainsi, suivant l'analogie des bandes de Jupiter avec nos mers, on pourroit comparer le mouvement de ces taches à celui des courants, qui sont plus grands près de l'équateur de la Terre que dans tout autre endroit. »

Fontenelle, puis W. Herschel admirent, pour l'explication

de la formation des bandes, l'existence de vents alizés dans Jupiter. Le principal effet de ces vents est de réunir les vapeurs équatoriales en bandes parallèles. De plus, ils entraînent les taches ou nuages accidentels avec des vitesses variables. De là, les diverses valeurs obtenues pour la durée de la rotation. Arago, en rapportant cette opinion, fait une réserve sur la direction de ces vents qui, d'après lui, souffleraient dans une direction opposée à celle des alizés terrestres, puisque ces derniers, tendant vers l'ouest, ralentiraient le mouvement de rotation au lieu de l'accélérer.

Pour résoudre cette difficulté, il suffit d'admettre que ce sont les alizés supérieurs ou contre-alizés qui déterminent le mouvement propre des taches. C'est l'hypothèse qu'on adopte aujourd'hui, et elle explique en effet le phénomène dont il s'agit ici. Mais nous ferons remarquer que même en considérant les alizés proprement dits comme ceux qui donnent lieu au mouvement propre des taches, on peut rendre compte du même phénomène. Si les taches sont des accidents atmosphériques ayant un mouvement propre, comme tous les astronomes le pensent, ce n'est pas la rotation du globe de Jupiter qu'on détermine, mais la rotation des nuages ou mieux la différence de durée de la rotation de Jupiter et du mouvement propre du nuage. Or, si l'on suppose que ce nuage se forme à une latitude donnée, puis soit entraîné vers l'équateur par une cause analogue à la cause des vents alizés terrestres, son mouvement de rotation éprouvera un retard, mais ce retard sera d'autant plus considérable que la latitude du point où le nuage s'est formé sera plus grande. Les taches qui auront des points de départ plus voisins de l'équateur paraîtront se mouvoir plus vite que les autres, et c'est aussi ce que l'observation constate.

A la vérité, pour savoir quelle est la véritable explication, si c'est à l'existence d'alizés ou de contre-alizés que les phénomènes en question sont dus, il y aurait lieu de procéder à

des observations plus précises que les instruments astronomiques actuels rendraient comparativement plus faciles. En attendant, on ne peut guère que faire des conjectures.

En résumé, tout ce qu'on doit inférer de l'étude des bandes et des taches dont le disque de Jupiter est sillonné, c'est que cette planète est entourée d'une atmosphère sans doute très-dense et dans laquelle des masses de vapeur analogues à nos nuages sont en suspension. Quelques-uns de ces accidents ont une durée parfois très-longue, et leurs mouvements propres sont assez lents : des taches examinées par Beer et Mædler n'étaient pas animées d'une vitesse supérieure à 35 lieues par 24 heures ; c'est la vitesse d'un vent léger sur notre Terre. La stabilité de l'atmosphère de Jupiter est due sans doute aux faibles et lentes variations des saisons, et aussi à la grande intensité de la pesanteur à la surface.

On a cherché tout récemment par l'analyse du spectre de sa lumière, à obtenir sur la nature de l'enveloppe gazeuse de la planète quelques données plus positives. Voici ce qu'ont trouvé deux observateurs versés dans ce genre de recherches, MM. Huggins et Miller : « On voit, disent-ils, dans le spectre de Jupiter des raies qui indiquent l'existence autour de cette planète d'une atmosphère absorbante. Une bande foncée correspond à quelques raies atmosphériques terrestres, et indique probablement la présence de vapeurs semblables à celles de l'atmosphère de la Terre. Une autre bande n'a pas sa correspondante parmi les raies d'absorption de notre atmosphère, et nous signale la présence de quelque gaz ou vapeur n'existant point dans l'atmosphère terrestre. »

§ 3. — Le monde de Jupiter ; ses quatre satellites ou lunes. — Leurs orbites, leurs distances à la planète. — Dimensions, masses, changements d'éclat et couleurs des satellites. — Leurs mouvements de rotation.

Donnons maintenant quelques détails sur le système des quatre corps célestes qui circulent autour de cette planète, et

qu'elle entraîne avec elle dans son mouvement de translation.

C'est à Galilée (7 janvier 1610) qu'on doit la découverte des quatre satellites de Jupiter, et la première détermination des durées de leurs révolutions autour de la planète centrale. Invisibles à l'œil nu, ils apparaissent dans une lunette de faible puissance comme de petites étoiles qui oscillent de part et

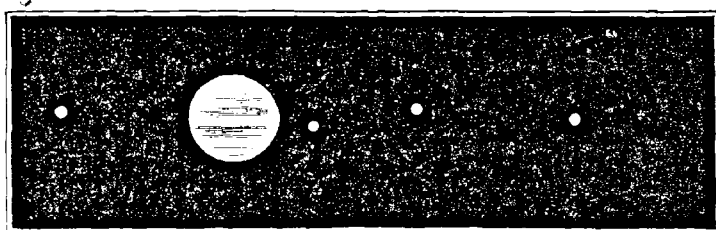


Fig. 102. — Jupiter et ses quatre satellites.

d'autre du disque de Jupiter, le plus gros d'entre eux ayant à peu près l'éclat d'une étoile de sixième grandeur.

Les orbites que décrivent les satellites sont des courbes peu différentes du cercle et dont les plans n'ont qu'une très-faible inclinaison sur l'équateur de Jupiter. Voici quelles sont les durées des révolutions et les distances des satellites au centre de la planète :

	Durées des révolutions				
	en jours		moyens.		
I ^{er} satellite	1 ^j	18 ^b	27 ^m	33 ^s	4j.275
II ^e —	3	13	14	36	8.582
III ^e —	7	3	42	33	17.291
IV ^e —	16	16	31	50	40.426

	Distances des satellites au centre de Jupiter	
	en rayons de la planète.	en kilomètres.
I ^{er} satellite	6.049	430 000 ^k
II ^e —	9.623	682 000
III ^e —	15.350	1 088 000
IV ^e —	26.998	1 914 000

Ces distances sont relatives aux centres des satellites et de

Jupiter, de sorte que, pour avoir les distances aux points les plus voisins de leurs surfaces, il faudrait, des nombres précédents, retrancher la somme des rayons de chaque satellite et de Jupiter, ce qui les diminuerait chacune, à peu de chose près, de 72 000 kilomètres.

En raison de la faible inclinaison des plans de leurs orbites sur le plan de l'orbite de Jupiter, les trois premiers satellites passent, à chacune de leurs révolutions, dans le cône d'ombre

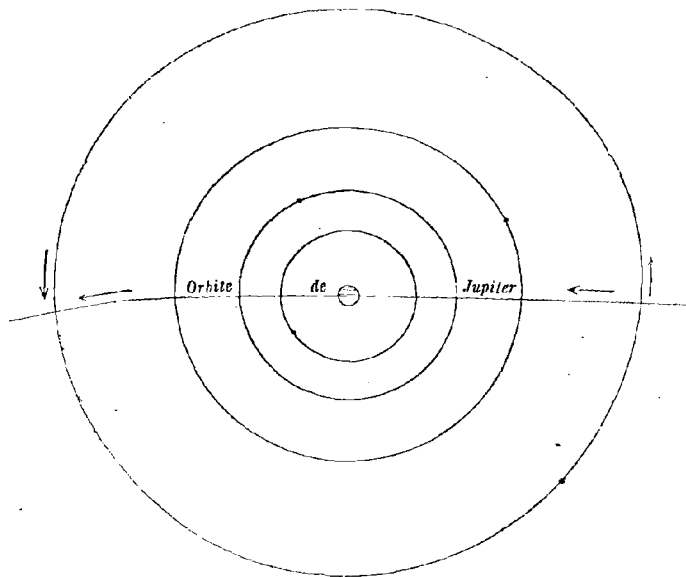


Fig. 103. — Orbites des satellites de Jupiter.

que la planète projette à l'opposé du Soleil. Il en résulte une éclipse de Soleil pour chacun de ces corps, et, pour Jupiter comme pour la Terre, une éclipse du satellite immergé dans l'ombre. En outre, suivant les positions différentes de Jupiter et de la Terre relativement au Soleil, il arrive que les satellites, même avant leur immersion dans l'ombre, ou après leur sortie, sont occultés par le disque de Jupiter. C'est ce qui arrive toujours pour les deux premiers satellites, et l'on ne peut jamais, de la Terre, observer que leur émergence ou leur im-

merision ; tandis que le troisième et le quatrième disparaissent et reparaissent quelquefois du même côté du disque. Quant au satellite le plus éloigné, il subit aussi des éclipses ; mais à cause de sa distance et de l'inclinaison plus grande de son orbite, il arrive qu'il passe au-dessus du cône d'ombre, ou n'y

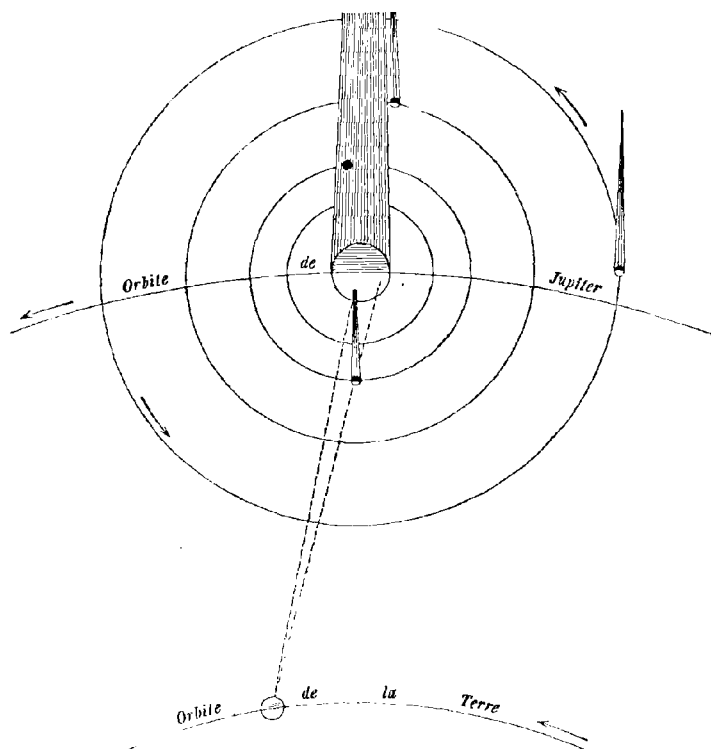


Fig. 104. — Explication de la disparition simultanée de trois des satellites de Jupiter.

plonge qu'en partie. Ses éclipses n'ont donc pas lieu à chacune de ses révolutions autour de Jupiter.

Il existe entre les mouvements des trois premiers satellites un rapport particulier, d'où résulte cette conséquence, constatée d'ailleurs par les observations, que les trois satellites les plus voisins de Jupiter ne peuvent subir d'éclipses simultanées : quand le second et le troisième sont éclipsés en même

temps, le premier est en conjonction avec la planète; si tous deux passent au-devant de Jupiter, de façon à produire pour celui-ci des éclipses de Soleil simultanées, le premier satellite se trouve en opposition, c'est-à-dire éclipsé lui-même. La circonstance que nous venons de rappeler ne s'applique d'ailleurs qu'aux éclipses réelles des satellites, c'est-à-dire à leurs passages dans le cône d'ombre, et non pas aux simples occulta-

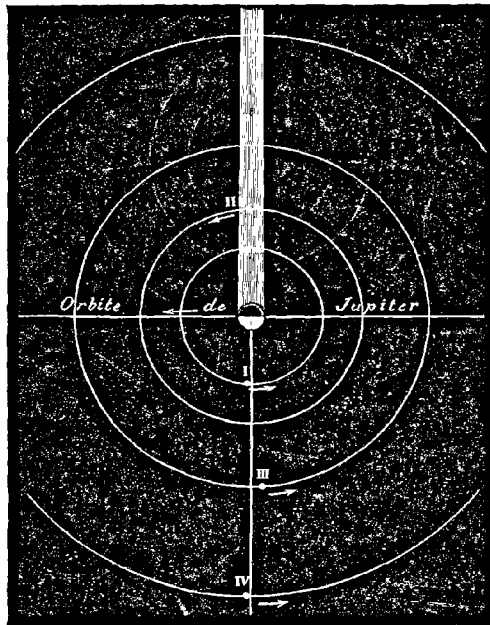


Fig. 105. — Jupiter sans satellite apparent; positions des quatre satellites dans la nuit du 21 août 1867.

tions par le disque qui les font disparaître aux yeux des observateurs placés à la surface de la Terre.

Il arrive quelquefois que les quatre satellites disparaissent à la fois pour nous, les uns étant éclipsés ou occultés, les autres se trouvant projetés sur le disque lumineux de Jupiter. Cette circonstance s'est présentée dans la nuit du 21 au 22 août 1867 : de 10^h 13^m (temps moyen de Paris) à 11^h 58^m la

planète a paru complètement privée de ses compagnons ; le 1^{er}, le 3^e et le 4^e satellite étaient tous trois en avant du disque avec lequel ils se confondaient, et le 2^e se trouvait éclipsé par son passage dans le cône d'ombre de Jupiter.

En passant au-devant du disque, les satellites éclipsent le Soleil pour les points de la surface de Jupiter qu'atteignent leurs cônes d'ombre. De la Terre, on aperçoit alors une petite tache noire, de forme circulaire, se mouvant avec une vitesse uniforme, ce qui permet de la distinguer des taches à l'aide

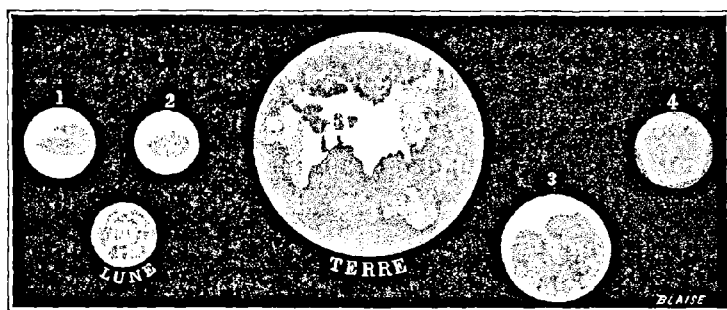


Fig. 106. — Dimensions des satellites de Jupiter comparées à celles de la Lune et de la Terre.

desquelles on détermine la rotation de la planète : on peut voir, sur le disque de Jupiter que représente la planche XVI, une tache semblable indiquant une éclipse totale de Soleil produite par le passage d'un des satellites au-devant de la planète. Le satellite lui-même se détache à gauche sur le fond plus sombre d'une des bandes de Jupiter. C'est une preuve directe du fait que nous avons annoncé plus haut, que le disque de Jupiter n'est pas lumineux par lui-même et ne fait que réfléchir la lumière du Soleil.

Struve a mesuré les diamètres apparents des satellites de Jupiter, et il résulte de ses déterminations que le 1^{er} vu de la planète a, à peu de chose près, les mêmes dimensions que la Lune vue de la Terre ; le 2^e et le 3^e soustendent un angle de 18', et le 4^e satellite un angle de 9' seulement. Mais si, des

dimensions apparentes on passe aux dimensions réelles, voici les nombres qu'on trouve :

	Diamètres celui de la Terre étant 1.	Diamètres en kilomètres.	Volumes celui de la Terre étant 1.
I ^{er} satellite	0.32	4080	0.033
II ^e —	0.27	3450	0.020
III ^e —	0.47	6000	0.104
IV ^e —	0.33	4200	0.036

Le 3^e satellite est, comme on voit, le plus volumineux des quatre : sa grosseur atteint cinq fois celle de notre Lune qui a, à peu près, les dimensions du second satellite : il est presque le double du volume de Mercure et à peu près égal aux deux tiers du globe de Mars. Voilà donc de simples satellites plus importants, sous le rapport des dimensions, qu'une des planètes principales et à plus forte raison que la multitude des planètes télescopiques. Les masses réunies des quatre satellites forment environ la 6000^e partie de la masse de Jupiter : c'est le 20^e à peu près de la masse de la Terre.

Cassini, à qui l'on doit, comme nous l'avons vu, de nombreuses observations du système de Jupiter, avait remarqué des variations dans l'éclat de la lumière des satellites et il en concluait qu'ils étaient probablement doués de mouvements de rotation. W. Herschel crut pouvoir déduire de la comparaison suivie de l'intensité de chaque satellite avec les positions qu'il occupe dans son orbite autour de la planète, que chacun de ces astres est animé, en effet, d'un mouvement de rotation et que la durée de ce mouvement est précisément celui de sa révolution. On sait que c'est ce qui a lieu pour la Lune. Des observations de Beer et de Mædler ont confirmé ce résultat important, du moins pour le 1^{er}, le 2^e et le 4^e satellite ; pour le 3^e, ils n'ont rien pu dire de précis. Suivant le P. Secchi, ce 3^e satellite a un mouvement de rotation rapide, différant beaucoup par sa durée du mouvement de révolution :

c'est en observant des taches à la surface du disque de l'astre que l'astronome romain a obtenu ce résultat.

Enfin, les satellites de Jupiter, outre leurs différences de volume et d'éclat lumineux, se distinguent encore par la teinte de leur lumière. D'après W. Herschel, les trois premiers sont ordinairement d'un blanc plus ou moins vif, mais le second est quelquefois d'un blanc cendré ou bleuâtre; et le quatrième, souvent très-sombre, a une teinte rouge-orangé. A la vérité, Beer et Mædler ont fait sur ce point des observations qui ne concordent pas avec celles d'Herschel; le 4^e leur a paru bleuâtre; la couleur du 3^e tirait sur le jaune, et en la comparant avec celles du 1^{er} et du 2^e, la lumière de ceux-ci paraissait bleuâtre. Cette différence vient-elle des instruments employés ou des circonstances atmosphériques; ou bien, accuse-t-elle une variation réelle dans les causes qui produisent ces colorations? Il est difficile de se prononcer entre ces hypothèses.

VIII

SATURNE 5.

§ 1. — Saturne vu à l'œil nu ; son mouvement apparent et la durée de sa révolution synodique. — Translation de Saturne autour du Soleil ; durée de sa révolution sidérale ; éléments de son orbite ; variations de ses distances au Soleil et à la Terre. — Dimensions apparentes et dimensions réelles de son globe ; sa forme aplatie aux pôles. — Surface, volume, masse et densité de Saturne ; intensité de la pesanteur à sa surface.

Si Jupiter est la plus grosse des planètes du monde solaire, Saturne est le plus riche des systèmes secondaires dont ce monde se compose. Ce n'est plus seulement de quatre, mais bien de huit satellites que la planète centrale est entourée, et si les évolutions de ces huit lunes ne donnent pas lieu à des éclipses aussi fréquentes que dans Jupiter, les habitants de Saturne jouissent d'un spectacle bien autrement étrange, et probablement unique dans le système planétaire : je veux parler des anneaux qui environnent à distance le globe central en circulant sans cesse autour de lui. On le voit : plus nous avançons dans notre exploration du monde solaire, plus nous trouvons matière à admirer l'étonnante variété de constitution des corps qui le forment : tantôt ce sont des planètes isolées, comme Mercure, Vénus et Mars ; tantôt un groupe de corpuscules célestes, comme les planètes télescopiques ; ailleurs, la matière se subdivisant encore nous montrera, sous l'apparence de la lumière zodiacale ou des étoiles filantes, des anneaux nébuleux. Puis c'est la Terre, accompagnée par la Lune dans son

évolution annuelle autour du foyer commun ; et enfin vient le groupe des grosses planètes qui ne se distinguent pas seulement des autres par leurs dimensions énormes, mais par le nombre des corps secondaires maintenus dans leur sphère d'attraction et formant avec elles de véritables mondes en miniature.

Jusqu'ici toutefois, quelle que soit la variété des éléments de toutes ces parties de notre monde, il y avait un point commun de ressemblance : la forme de chaque corps était toujours celle d'un sphéroïde régulier. Tout au plus pouvait-on prévoir, par l'hypothèse des amas annulaires de corps d'ailleurs isolés, le phénomène particulier qu'offrent les anneaux de Saturne. Il a fallu l'intervention des lunettes pour reconnaître et étudier l'intéressante structure de la plus volumineuse des planètes après Jupiter. Mais avant de décrire, avec les détails qu'ils méritent, les anneaux de Saturne, entrons dans quelques détails sur les éléments astronomiques et physiques de la planète elle-même.

Saturne, vu à l'œil nu, a l'aspect d'une étoile de première grandeur, mais d'un éclat moins intense que Jupiter ; sa lumière n'est pas scintillante. Son mouvement apparent sur la voûte étoilée, beaucoup plus lent que celui des deux planètes supérieures que nous venons de décrire, offre du reste les mêmes alternatives ; tantôt il est direct, tantôt il est rétrograde, tantôt il est nul, et alors Saturne paraît stationnaire au milieu des étoiles. Tous les 378 jours en moyenne, la planète se retrouve dans une même situation relativement à la Terre et au Soleil : c'est la durée de sa révolution synodique, qui d'ailleurs se divise en deux parties, l'une de 239 jours environ, consacrée au mouvement direct d'Occident en Orient ; l'autre de 139 jours, que Saturne met à parcourir son arc rétrograde, d'Orient en Occident. Il est inutile d'entrer de nouveau dans l'explication de ces apparences, explication que nous avons donnée en décrivant le mouvement apparent synodique

de Mars, la première des planètes supérieures, et à laquelle nous renvoyons nos lecteurs.

La révolution sidérale de Saturne a une durée de $10759^{\text{m}},22$, ou de 29 ans et 167 jours. C'est le temps qu'il lui faut pour parcourir l'orbite qu'il décrit autour du Soleil, dans un plan incliné de $2^{\circ} 30'$ sur le plan de l'orbite terrestre. Cette immense courbe n'a pas un développement moindre de 8 milliards 860 millions de kilomètres, ou 2 milliards 215 millions de lieues, de sorte que Saturne se meut avec une vitesse moyenne de translation d'environ 9 kilomètres et demi par seconde, vitesse trois fois moindre que celle de la Terre. Du reste, cette vitesse varie, parce que l'orbite n'étant pas circulaire, mais elliptique, les distances de Saturne au Soleil sont variables elles-mêmes, et que nous avons vu que le mouvement d'une planète est d'autant plus rapide qu'elle se rapproche plus du foyer de l'attraction. L'excentricité de l'orbite est égale au nombre 0.056, c'est-à-dire plus que triple de celle de l'orbite terrestre, et la distance moyenne de la planète au Soleil vaut environ neuf fois et demie celle de notre Terre au même astre.

Voici d'ailleurs les distances de Saturne au Soleil, exprimées en rayons moyens de l'orbite de la Terre et en millions de kilomètres :

	Distance de la Terre au Soleil = 1.0000	Millions de kilomètres.
Distance périhélie.	9.0046	1 330
— moyenne	9.5388	1 411
— aphélie	10.0730	1 490

Il y a, comme on voit, une différence d'environ 160 millions de kilomètres ou 40 millions de lieues entre les distances de la planète au Soleil, quand elle occupe, à près de quinze ans d'intervalle, les deux positions opposées situées aux extrémités du grand axe de son orbite : cette différence surpasse la distance même du Soleil à la Terre. Le disque solaire, vu de Saturne, n'a plus qu'un diamètre moyen de $3'20''$, et sa surface est ré-

duite à la 90° partie de celle sous laquelle nous le voyons nous-mêmes. C'est donc dans cette proportion que sont affaiblies les radiations calorifiques et lumineuses de l'astre, quand elles parviennent à la surface de Saturne.

Les distances de Saturne à la Terre varient naturellement selon les positions respectives des deux planètes sur leurs orbites. A l'époque de l'opposition, elles sont les plus petites possible, puisqu'alors la Terre est entre Saturne et le Soleil; elles atteignent au contraire leurs valeurs maxima à l'époque de la conjonction : l'excentricité des orbites, l'inclinaison de leurs plans rendent d'ailleurs ces distances extrêmes variables elles-mêmes. Bornons-nous donc à dire qu'actuellement, c'est quand Saturne se trouve en opposition en décembre, qu'il se rapproche le plus de nous : sa distance à la Terre est alors d'environ 296 millions de lieues. Quand la conjonction tombe en juin, cette distance atteint et même dépasse 400 millions de lieues, de sorte qu'il n'y a pas moins de 100 millions de lieues de différence entre les distances extrêmes.

Il résulte de ces variations de distance des changements inverses dans l'éclat de Saturne vu à l'œil nu, et, quand on l'examine à l'aide de lunettes assez puissantes pour faire voir son disque nettement limité, des variations correspondantes dans les dimensions de son diamètre apparent. La figure 107 donne une idée exacte de ces variations.

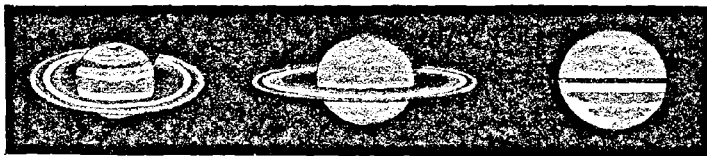


Fig. 107. — Dimensions apparentes de Saturne à ses distances extrêmes et moyenne de la Terre.

Le disque de Saturne, comme celui de Jupiter et pour les mêmes raisons, se montre toujours entièrement éclairé, sans

qu'on y puisse distinguer aucune phase; mais les ombres noires que projettent ses satellites en passant au-devant de lui, et celle que porte l'anneau sur son globe, ne laissent aucun doute relativement à l'origine de sa lumière. Comme tous les autres globes planétaires, le globe de Saturne est opaque et l'éclat dont il brille est emprunté au Soleil.

Sa forme est très-sensiblement elliptique, c'est-à-dire aplatie aux extrémités d'un même diamètre, qui sont précisément les deux pôles de rotation. Des mesures faites par W. Herschel en 1805 avaient même fait penser que la figure du globe de Saturne n'était pas régulière et que son plus grand diamètre était celui qui aboutissait à 45° , à égale distance entre l'équateur et les pôles; mais Bessel a prouvé que l'attraction réciproque du globe et de l'anneau ne pouvait avoir donné lieu à cette forme singulière, comme Herschel l'avait supposé. La régularité de la forme ellipsoïdale a été confirmée d'ailleurs par des mesures nouvelles, et l'aplatissement est compris entre $\frac{1}{9}$ et $\frac{1}{10}$; c'est le plus considérable de tous les aplatissements connus des sphéroïdes planétaires.

Les dimensions réelles de Saturne se déduisent de son diamètre apparent et de sa distance. Son diamètre équatorial est plus de neuf fois et demie le diamètre équatorial de la Terre (9.652; le diamètre polaire est 8.614). Le rayon de Saturne vaut environ 61 600 kilomètres ou 15 400 lieues, ce qui fait 386 000 kilomètres ou 96 500 lieues pour le développement de la circonférence de son équateur. La dépression polaire n'est pas inférieure à 6600 kilomètres.

La surface de Saturne vaut 84 fois la surface du globe terrestre; son volume est 715.6 fois aussi grand que celui de la Terre; il vaut donc environ la 1780^{me} partie du volume du Soleil, ou les $\frac{3}{5}$ du volume de Jupiter. Mais sa masse est proportionnellement beaucoup plus petite: elle n'est guère que la 3500^{me} partie de la masse du Soleil, par conséquent 92 fois seulement la masse de la Terre. Il en résulte pour la

densité moyenne de la matière qui compose le globe de Saturne, un nombre assez faible, égal à 0.120, quand on prend la densité du globe terrestre pour unité : c'est seulement les deux tiers de la densité de l'eau; le potassium parmi les métaux; certains bois, comme le cyprès, l'érable, l'olivier, ont des densités voisines de celle de Saturne. Peut-être le globe de Saturne est-il entièrement liquide, ou encore formé d'un noyau

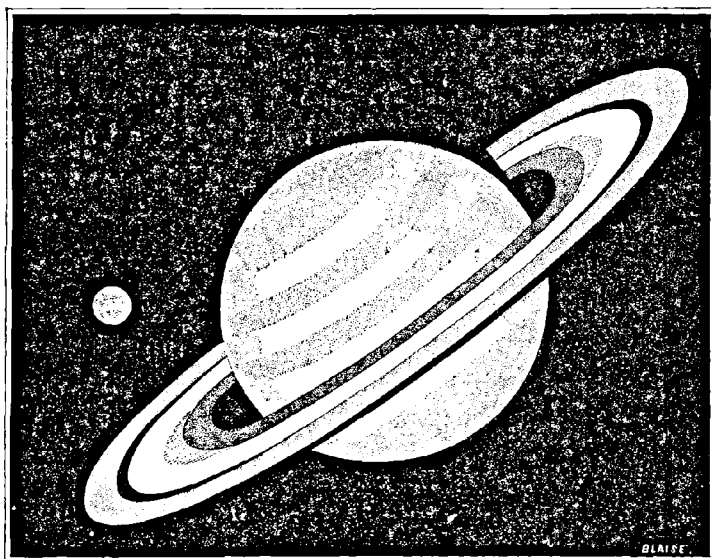


Fig. 108. — Saturne et la Terre; dimensions comparées.

solide enveloppé de couches épaisses, liquides et même gazeuses : on n'a pas de données positives qui permettent de se prononcer sur des hypothèses aussi conjecturales. La pesanteur à la surface de la planète surpasse d'un dixième environ l'intensité de la pesanteur à la surface de la Terre. Un corps qui tombe y parcourt donc, dans le vide, pendant la première seconde de la chute, $5^m,40$, et au bout de ce temps sa vitesse acquise est double, $10^m,80$.

§ 2. — Mouvement de rotation de Saturne. — Les jours et les nuits; les saisons; chaleur et lumière du Soleil; leur intensité à la surface de Saturne. — Les anneaux de Saturne.

En observant le disque de Saturne avec un télescope d'une grande puissance, on voit qu'il est sillonné de bandes parallèles à la direction de son équateur, les unes blanches, les autres plus ou moins sombres, et d'une couleur grise, jaunâtre ou blanchâtre. W. Herschel, en étudiant quelques irrégularités que présentaient ces bandes et en suivant leurs déplacements sur le disque, a reconnu en 1794 que la planète était animée d'un mouvement de rotation, et il a évalué à 10 heures un quart, environ, la durée de ce mouvement. Depuis, de nouvelles déterminations ont permis d'obtenir cette durée avec plus de précision, et on la fixe à 10 heures 29 minutes 27 secondes.

Voilà donc encore une grosse planète, dont la période de rotation n'est pas moitié de celle de Mercure, de Vénus, de Mars et de la Terre. Le jour et la nuit s'y succèdent de cinq en cinq heures, en moyenne. Mais la longueur de l'année, qui ne comprend pas moins de 24 631 rotations complètes — 24 630 jours solaires de Saturne — est cause que les saisons modifient très-lentement les durées des nuits et des jours.

Quant aux saisons mêmes, elles sont beaucoup plus variées que sur Jupiter, puisqu'en raison de l'inclinaison assez considérable de l'axe sur le plan de l'orbite (64 degrés environ), Saturne présente au Soleil à un peu plus de 14 ans d'intervalle, tantôt l'un, tantôt l'autre de ses pôles de rotation. Pour un même lieu de la surface de son globe, les hauteurs du Soleil sur l'horizon sont donc plus variables encore que sur la Terre; mais si l'on veut se faire une idée des changements de température qui en sont la conséquence, il est important de remarquer que la hauteur dont nous parlons varie avec une lenteur trente fois plus considérable que sur notre globe.

Chaque saison de Saturne dure plus de sept de nos années, et il s'écoule dès lors un temps double entre les équinoxes d'automne et de printemps, comme entre les solstices d'hiver et d'été.

Mais on n'aurait qu'une idée incomplète des phénomènes que présentent les jours, les nuits et les saisons de Saturne, si l'on ne tenait pas compte des modifications produites dans ces éléments par l'existence des appendices annulaires dont cette magnifique planète est entourée, et par la présence sur ses divers horizons de huit satellites ou lunes, qui l'escortent dans son long voyage de trente ans. Décrivons donc successivement le système des anneaux qui l'enveloppent d'une triple ceinture, et celui des corps célestes qui se meuvent périodiquement autour de lui.

Les dessins de la planche XVII montrent Saturne tel qu'il a été observé, à un peu plus de trois ans d'intervalle, en deux points de son orbite assez éloignés pour modifier sensiblement ses positions, relativement à la Terre et au Soleil; tous les détails du disque et des anneaux que permettent d'apercevoir les plus puissants instruments s'y trouvent reproduits.

A l'origine de la découverte de cet étrange système, les lunettes venaient d'être inventées. La faiblesse de ces instruments « jeta Galilée, dit Arago ¹, dans une grande perplexité. » Une lettre au grand-duc de Toscane nous apprend que Saturne lui semblait *tricornis*. « Lorsque j'observe Saturne, y dit-il, avec une lunette d'un pouvoir ampliatif de plus de trente fois, l'étoile centrale paraît la plus grande; les deux autres, situées l'une à l'Orient, l'autre à l'Occident, et sur une ligne qui ne coïncide pas avec la direction du zodiaque, semblent la toucher. Ce sont comme deux serviteurs qui aident le vieux Saturne à faire son chemin et restent toujours à ses côtés. Avec

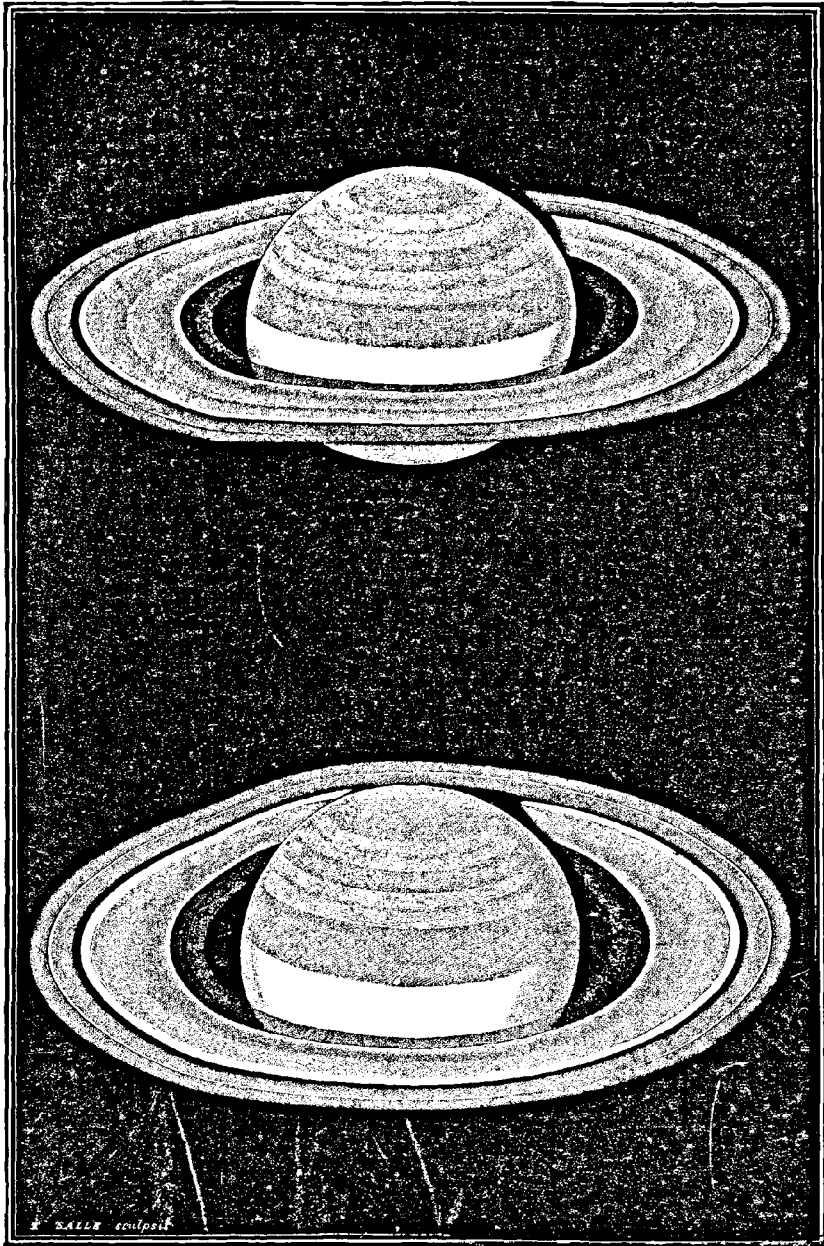
1. *Astronomie polaire*, IV, 442.

une lunette de moindre grossissement, l'étoile paraît allongée et de la forme d'une olive. » Plus tard, Saturne parut isolé à l'illustre astronome, et parfaitement rond. Il regarda ses observations précédentes comme des illusions d'optique.

Huyghens observa les appendices de Saturne, et en donna le premier l'explication vraie, que la théorie du mouvement de la planète et l'emploi d'instruments plus puissants ont définitivement confirmée.

Tout autour de Saturne, et à peu près dans le plan de son équateur, s'étend un système de trois anneaux d'inégales largeurs et d'une épaisseur relativement très-mince. L'anneau extérieur, le plus éloigné de la planète, est séparé de l'anneau intermédiaire par un vide qui rend ces deux appendices indépendants l'un de l'autre, tandis que l'anneau intérieur, le plus rapproché de Saturne, paraît contigu au second. Leurs nuances sont aussi très-diverses; l'anneau intermédiaire, le plus brillant des trois, est plus lumineux que le globe de Saturne; l'anneau extérieur offre une teinte grisâtre, à peu près de la même nuance que les bandes obscures du disque. Tous les deux sont opaques et projettent sur Saturne une ombre très-prononcée. L'anneau intérieur, au contraire, est obscur et transparent. Il se détache devant le globe de Saturne comme une bande sombre, mais au travers de laquelle on aperçoit la partie lumineuse du disque. Il y a donc autour de Saturne trois anneaux distincts; en outre, le premier et le troisième offrent des subdivisions qui porteraient à cinq le nombre de ces appendices singuliers. Mais on n'est pas certain que ces subdivisions accusent une séparation réelle. Afin que l'on ait une idée nette des positions et des largeurs des anneaux, nous donnons dans la figure 109 une vue du système, tel qu'il apparaîtrait à un observateur placé au-dessus du plan des anneaux, dans le prolongement de l'axe polaire de Saturne.

Quelques données maintenant sur les dimensions des anneaux.



SATURNE.

D'après les observations de Bond, de Struve et les dessins de Warren de la Rue;
novembre 1852 et mars 1856.

La largeur de l'anneau extérieur est de 3940 lieues de 4 kilomètres. Le vide qui le sépare du second anneau mesure 850 lieues, tandis que celui-ci, le plus large de tous, a 7900 lieues. Enfin, les dimensions en largeur de l'anneau obscur sont de 3480 lieues. C'est en tout, pour les trois appendices annulaires, y compris le vide qui les sépare, à peu près

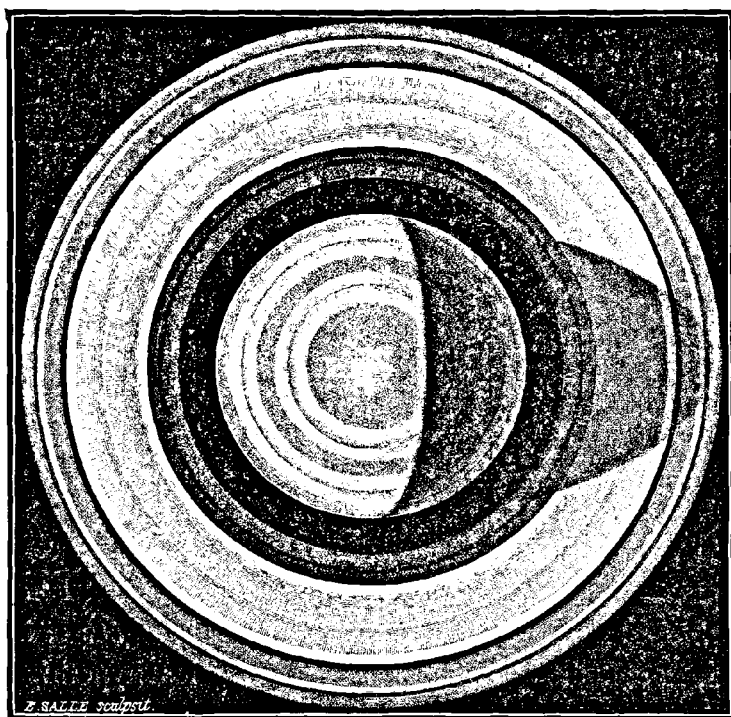


Fig. 109. — Plan de Saturne et de son système d'anneaux.

16 000 lieues, c'est-à-dire plus que le rayon de la planète. Comme entre Saturne et l'anneau obscur, l'intervalle mesure 2760 lieues, il résulte de la combinaison de ces nombres que le système des trois anneaux présente un développement diamétral de 68 600 lieues.

J'ai dit que l'épaisseur était relativement faible : Herschel l'évalue à 100 lieues.

Comment un tel système matériel, solide ou liquide, peut-il se soutenir, sans point de contact ou d'appui avec la planète? Comment ses diverses parties résistent-elles à l'effort que l'attraction de Saturne exerce sur chacune d'elles? Il semble que cet immense pont devrait peu à peu se désagréger, puis, catastrophe dont les cieux n'ont jamais présenté l'exemple aux regards de l'homme, se précipiter dans une chute effroyable sur le sol de Saturne. Laplace a abordé ce problème. Il a fait voir que l'équilibre n'est possible et stable qu'autant que la section de l'anneau, de forme elliptique, présente en plusieurs points des inégalités de largeur ou de courbure. C'est, en effet, ce que l'observation a constaté : le centre de gravité de l'anneau ne coïncide pas avec celui de la planète, et il en résulte de lentes oscillations dans leurs positions relatives. De plus, condition essentielle, l'anneau doit tourner sur lui-même dans son plan, avec une vitesse d'un peu plus de dix heures. Les observations d'Herschel s'accordent ainsi avec les résultats du calcul, puisque ce laborieux et fécond astronome a déduit de ses observations de 1790 une durée de rotation de 10 heures 32 minutes¹.

A la vérité, on ignore complètement quelle est la constitution physique de ces étranges appendices. S'il est assez peu probable qu'ils soient formés de matières agrégées et à l'état solide, il reste toujours à décider entre les hypothèses qui considèrent les anneaux comme formés de masses liquides ou

1. Il résulte d'un savant Mémoire de l'astronome russe Otto Struve, que le système des anneaux de Saturne a subi de remarquables changements. La largeur des anneaux brillants va en croissant, de sorte que l'intervalle qui les sépare de Saturne diminue sans cesse. C'est l'anneau intermédiaire, le plus lumineux de tous, dont la largeur s'accroît proportionnellement davantage.

Ces modifications continueront-elles de se produire dans le même sens, ou bien seront-elles suivies de changements inverses? Graves questions qui intéressent la conservation de l'appendice annulaire. Il est peut-être réservé aux générations futures d'assister au plus émouvant de tous les phénomènes que puisse présenter à l'homme le monde solaire dont sa demeure fait partie. Peut-être verra-t-on dans les cieux le grandiose et formidable spectacle du cataclysme produit par la dislocation des anneaux de Saturne.

gazeuses. La transparence de l'anneau le plus voisin de la planète militerait en faveur de ce dernier état. Enfin, depuis qu'on s'est aperçu du rôle important que jouent les aérolithes dans le monde solaire, on a imaginé une quatrième explication des anneaux de Saturne¹. Ce seraient autant d'essaims de ces petits corps, voyageant de concert et distribués en régions plus serrées les unes que les autres. Il n'y a rien là d'impossible; seulement, aucune observation, aucun fait positif n'est venu jusqu'ici donner à l'une quelconque de ces suppositions sa sanction véritable.

Dans son mouvement autour du Soleil, l'axe de Saturne reste parallèle à lui-même. Il en est donc de même des anneaux, et comme leur inclinaison sur le plan de l'orbite est loin d'être nulle, il en résulte que le Soleil éclaire tantôt l'une des faces du système, tantôt l'autre. En deux positions diamétralement opposées, le Soleil n'éclaire plus l'anneau que par sa tranche : c'est alors l'époque des équinoxes de Saturne.

Que résulte-t-il, pour la Terre, de ces positions diverses? Évidemment que les anneaux, par des effets de perspective dont la figure 110 rend aisément compte, apparaissent tantôt plus, tantôt moins ouverts, et que pendant une moitié de l'année de la planète, la partie antérieure de l'appendice se projette sur l'hémisphère nord; pendant l'autre moitié, la courbure est en sens inverse, et l'on voit l'anneau découvrir une partie de l'hémisphère sud. Enfin, à deux époques particulières, l'anneau n'étant plus éclairé que par la tranche disparaît à peu près entièrement. Les instruments les plus puis-

1. Cette explication n'est autre que celle proposée par Cassini II dans ses *Éléments d'Astronomie*, 1740, page 338. Voici en quels termes : « Cette apparence (celle des anneaux) dont nous ne voyons aucun exemple dans les autres corps célestes, nous a donné lieu de conjecturer que ce pouvait être un amas de satellites, tous disposés à peu près sur un même plan, lesquels font leurs révolutions autour de cette planète : que leur grandeur est si petite qu'on ne peut les apercevoir chacun séparément, mais qu'ils sont en même temps assez près l'un de l'autre pour qu'on ne puisse point distinguer les intervalles qui sont entre eux, en sorte qu'ils paraissent former un corps continu. »

sants montrent alors une légère ligne lumineuse dans le prolongement de l'équateur de Saturne, et sur le disque une ligne obscure.

Je donne ici deux dessins qui représentent Saturne dans cette position particulière. L'un (fig. 111) montre la planète telle qu'elle a été observée par M. Bond, en novembre 1848. L'autre (fig. 112), également dû au même savant astronome, a pour

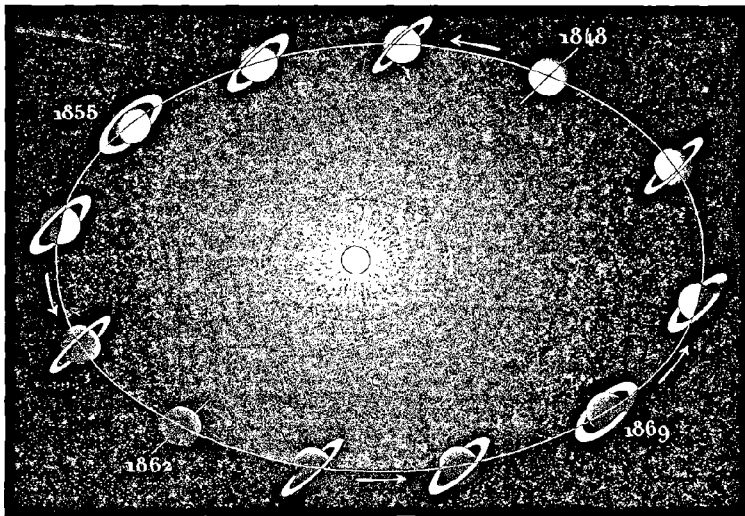


Fig. 110. — Explication des phases des anneaux de Saturne. Disparitions périodiques des anneaux.

objet l'explication des apparences de la première figure. Le rapport des deux dessins est assez clair pour me dispenser de tout développement.

Outre cette disparition qui est indépendante de la position de la Terre dans son orbite, il s'en présente encore une autre qui a lieu, lorsque la Terre se trouve être précisément dans le plan de l'anneau. Un observateur, placé sur notre globe, ne voit alors l'anneau que par sa tranche : son regard ne peut dominer ni l'une ni l'autre de ses faces. Seulement il arrive encore qu'en dehors du disque apparaissent quelques points

brillants, qui accusent les inégalités de courbure que Laplace a montré être une condition d'équilibre pour le système, et

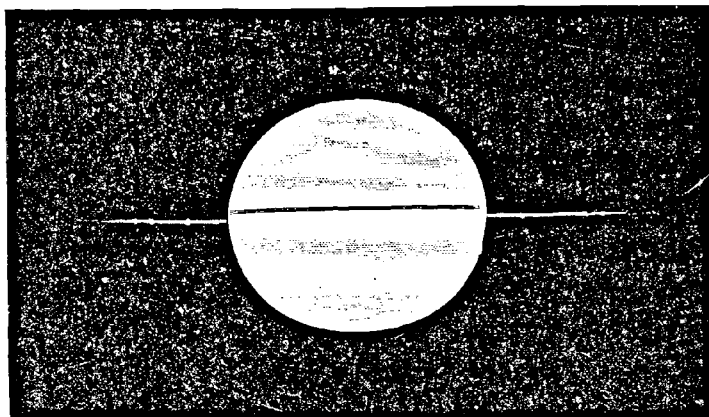


Fig. 111. — Saturne, le 28 novembre 1848, d'après M. Bond. Points brillants visibles à l'époque de la disparition de l'anneau.

dont l'existence se trouve ainsi confirmée par l'observation. Sur le disque, la tranche apparaît comme une ligne sombre très-

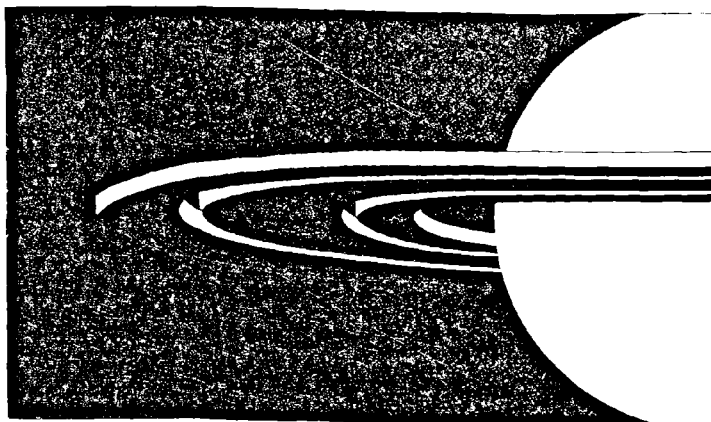


Fig. 112. — Explication des points brillants qui accompagnent Saturne pendant la disparition de l'anneau.

fine. Mais ces apparences sont invisibles dans les instruments de moyenne puissance.

Tel nous apparaît Saturne, à l'énorme distance où il se trouve de la Terre. Nous l'avons dit, c'est le plus riche des systèmes ou mondes secondaires, dont l'ensemble forme le monde solaire : il se distingue de tous les autres, non-seulement par son triple anneau, témoignage encore subsistant de la formation des planètes, mais encore par ses huit satellites, dont la circulation incessante autour du globe central ajoute à la variété des phénomènes de son ciel.

Voici les noms des huit lunes de Saturne avec leurs distances au centre de la planète évaluées en lieues, et les durées de leurs révolutions évaluées en jours solaires terrestres :

		Distances au centre de Saturne.		Durées des révolutions.			
		En rayons de Saturne.	En lieues.				
I.	Mimas. . . .	3.36	51 750	0 ^j	22 ^b	37 ^m	23 ^s
II.	Encelade. . .	4.31	66 400	1	8	53	7
III.	Tethys. . . .	5.34	82 200	1	21	18	26
IV.	Dione	6.84	105 300	2	17	41	9
V.	Rhea.	9.55	147 100	4	12	25	11
VI.	Titan	22.14	341 000	15	22	41	25
VII.	Hyperion. . .	26.78	412 500	21	7	7	41
VIII.	Japet.	64.36	991 000	79	7	53	40

Les quatre premiers satellites sont tous plus voisins de Saturne que la Lune ne l'est de la Terre. Ils le seraient plus encore, si l'on mesurait leurs distances aux points de leur surface les plus rapprochés. Mimas n'est plus guère alors en moyenne qu'à une distance de 36 350 lieues, et Dione, à 90 000 lieues. Leurs distances à l'arête de l'anneau extérieur sont plus courtes encore, et Mimas s'en rapproche jusqu'à 17 450 lieues. Mais il faut observer que les plans des orbites des satellites sont inclinés sur le plan de l'anneau.

D'autre part, Japet est plus de dix fois aussi éloigné de Saturne que nous le sommes de notre satellite, de sorte que la sphère d'attraction du globe central s'étend à près d'un million de lieues, et que le monde de Saturne mesure environ

deux millions de lieues dans son plus grand diamètre. La figure 113 montre le système des orbites, comme si leurs plans coïncidaient avec le plan de l'orbite de Saturne. Ces courbes ne sont pas circulaires, mais leur excentricité est peu exactement connue, et la forme ovale serait peu sensible d'ailleurs à une si petite échelle.

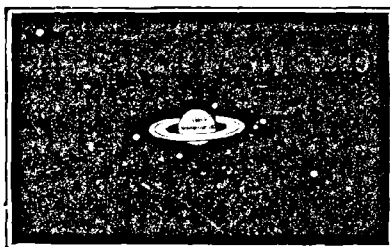


Fig. 113. — Saturne et ses satellites, d'après J. Herschel.

On voit par les durées des révolutions, combien les mouvements des satellites sont rapides, et comme leurs phases doivent varier à des intervalles rapprochés pour les habitants de la planète centrale. Mimas passe de l'état de nouvelle lune à celui de pleine lune en moins de 12 heures, un peu plus d'un jour de Saturne. En un ou deux jours, les quatre lunes suivantes présentent la même succession d'apparences. Seul, Japet accomplit sa révolution entière en un temps plus long que notre mois lunaire.

Plusieurs des satellites de Saturne sont très-difficiles à voir, et exigent, pour être distingués sur le fond sombre du ciel, des observateurs exercés, armés d'instruments puissants¹. Néanmoins on a pu évaluer le diamètre de Titan, le plus grand de tous. Ce diamètre ne serait pas moindre que la seizième partie de celui de Saturne. C'est aussi plus de la moitié du diamètre terrestre. Ainsi, un des corps secondaires de ce monde merveilleux dépasse en grosseur des planètes telles que Mercure et Mars; son volume est environ neuf fois celui de notre Lune.

1. Cela explique pourquoi ils ont été découverts à de si longs intervalles les uns des autres : le 4^e a été vu pour la première fois par Huygens en 1655; le 5^e par Cassini, en 1671; le 1^{er} et le 2^e par Cassini en 1684; le 6^e et le 7^e par W. Herschel en 1789; enfin le 8^e a été découvert en 1848 seulement par Bond et Lassell.

J'ai dit quelles doivent être, pour le globe de Saturne, les alternatives des journées et des nuits et celles des saisons. On comprendra, en se reportant à ce qu'on sait de l'inégalité des jours et des nuits à la surface de la Terre, que des inégalités semblables ont lieu pour un même endroit de la planète dans le cours de l'année, et au même instant, pour les diverses lati-

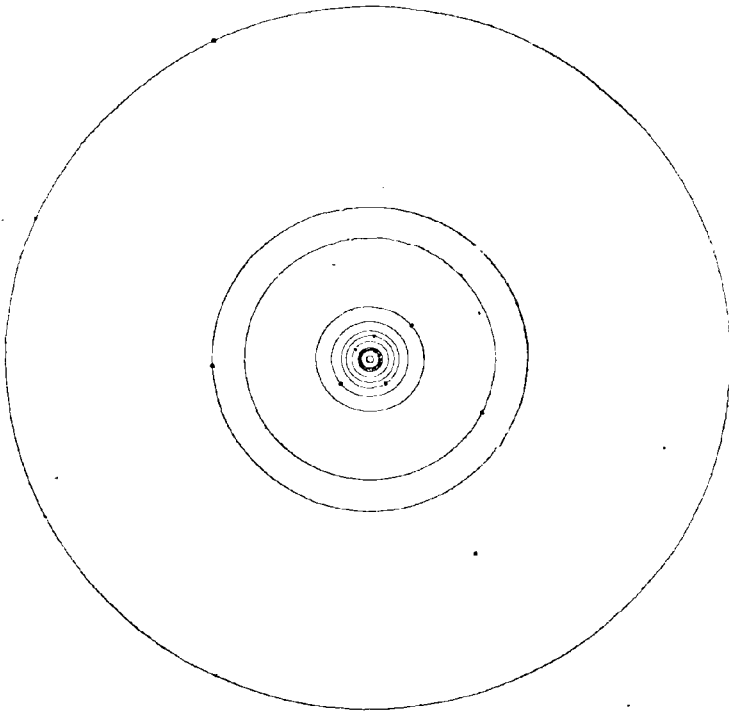


Fig. 114. — Plan des orbites des satellites de Saturne.

tudes. Aux deux pôles et dans toute l'étendue des zones polaires, ces inégalités atteignent leur maximum. Pendant quinze de nos années, le Soleil ne quitte pas le pôle boréal, et une nuit de même longueur enveloppe le pôle sud de Saturne : c'est l'inverse qui se présente pour les quinze années qui suivent. Sans doute, un froid intense est la conséquence de cette privation si prolongée des rayons de lumière et de chaleur. Est-ce

à ce long hiver, aux glaces et aux neiges dont se couvrent sans doute les régions polaires, qu'il faut attribuer la zone blanche qu'on a remarquée tout autour des pôles¹? A une telle distance les détails physiques disparaissent, et l'on est réduit à de simples hypothèses. L'atmosphère de Saturne est sans doute très-épaisse, surtout près des régions équatoriales : les bandes brillantes dont le disque est entouré sont probablement produites par la réflexion de la lumière sur d'immenses masses nuageuses, que la rapidité du mouvement de rotation accumule incessamment. Les bandes sombres indiqueraient une atmosphère plus sereine, à travers laquelle on peut apercevoir la surface moins réfléchissante, et dès lors plus obscure, de la planète.

L'analyse spectrale a d'ailleurs confirmé récemment ces prévisions. D'après M. W. Huggins, « le spectre de Saturne est faible, mais on y découvre quelques raies semblables à celles qui distinguent le spectre de Jupiter. Ces raies sont moins fortement indiquées dans la lumière des anses des anneaux et nous montrent ainsi que le pouvoir absorbant de l'atmosphère autour des anneaux est plus faible que celui de l'atmosphère entourant le globe de la planète. Un savant français, M. Janssen, a trouvé tout récemment que plusieurs des raies atmosphériques sont produites par la vapeur d'eau. Il est vraisemblable que cette vapeur aqueuse existe dans les atmosphères de Jupiter et de Saturne. » Le P. Secchi a trouvé une pareille analogie entre les spectres lumineux des deux planètes; de plus, il a observé dans celui de Saturne des raies qui ne coïncident avec aucune des raies telluriques produites par l'absorption de notre atmosphère. L'atmosphère de Saturne con-

1. Les régions polaires de Saturne n'ont pas ordinairement le même éclat, et on a constaté que le plus lumineux, le plus blanc des deux pôles est toujours celui de l'hémisphère qui se trouve opposé au Soleil à l'époque de l'observation. Il y a là une évidente analogie avec les variations qu'on observe dans l'intensité lumineuse et l'étendue des calottes polaires de Mars. Il est permis d'en conclure que ces phénomènes sont dus à des causes semblables.

tient donc sans doute des gaz qui n'existent pas dans la nôtre.

D'après une observation intéressante de M. Chacornac, qui a pu suivre l'un des satellites de Saturne, pendant son passage apparent sur le disque de la planète, les bords de ce disque sont plus lumineux que les régions centrales. On sait que l'inverse a lieu pour Jupiter. Il paraît résulter de ce fait que l'atmosphère de Saturne est d'une constitution analogue à celle des atmosphères de la Terre et de Mars.

Transportons-nous maintenant en pensée sur un point du globe de Saturne. De là, jetons un coup d'œil sur les apparences que la voûte céleste y doit offrir pendant le jour et pendant la nuit.

Si nous partons de l'un ou de l'autre pôle, en nous avançant jusqu'au 63° degré de latitude, nous aurons à parcourir tous les lieux de l'hémisphère saturnien où le triple anneau n'est jamais visible. Seuls, les satellites s'élèvent sur l'horizon, et présentent au spectateur l'aspect varié de leurs phases.

A partir de cette latitude, le système annulaire commence à être visible. Mais c'est seulement pendant les deux saisons de printemps et d'été que la face des anneaux tournés vers l'hémisphère où nous sommes placés reçoit les rayons du Soleil, et illumine par réflexion les nuits de la planète. Pendant la journée, leurs arcs n'envoient qu'une faible lumière, analogue sans doute pour la nuance et l'éclat à la lumière de la Lune, quand elle est visible en plein jour. La forme et l'étendue des immenses arches lumineuses varient d'ailleurs suivant la latitude. En partant du 63° degré, pour s'avancer vers l'Équateur, on les voit s'élever de plus en plus au-dessus de l'horizon. D'abord, c'est une faible partie de l'anneau extérieur, puis cet anneau dans sa largeur totale. Aux latitudes moyennes de 45°, on aperçoit les deux premiers anneaux, et entre eux le vide qui les sépare. A mesure qu'on descend vers les régions équa-

toriales, le système entier devient visible, mais en même temps, les rayons visuels ayant une direction plus oblique, les anneaux diminuent de largeur apparente. A l'Équateur même, ils ne sont plus visibles que par leur tranche intérieure. Cette tranche se présente alors comme un immense ruban lumineux qui s'étend d'Orient en Occident, en passant par le zénith.

Pour donner une idée du magnifique spectacle que pré-

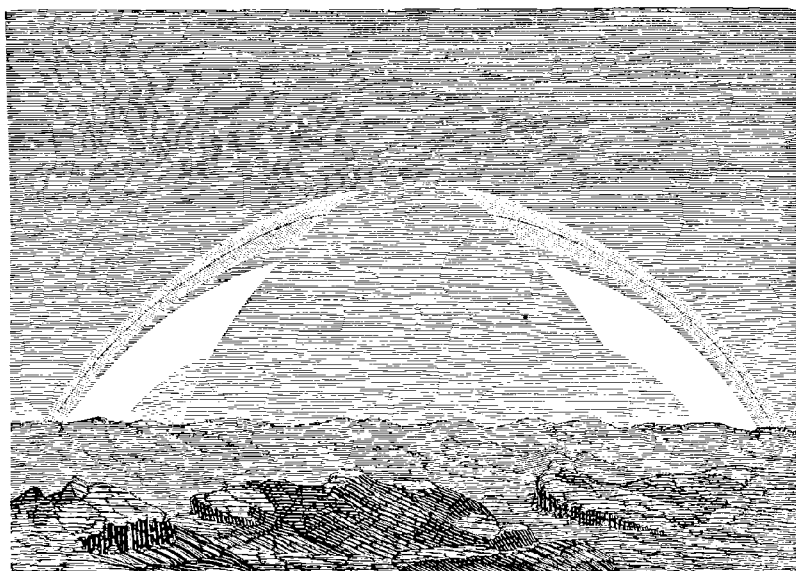


Fig. 115. — Les anneaux vus de Saturne, à une latitude d'environ 28 degrés. Vue idéale prise à minuit, entre les équinoxes et les solstices saturniens.

sente la voûte étoilée pendant les nuits des saisons estivales, nous avons dessiné, en nous conformant aux lois de la perspective, l'apparence des anneaux, pour une latitude comprise entre le 25° et le 30° degré. Ce sont deux vues idéales prises à minuit, l'une quelque temps après l'équinoxe, l'autre au début de l'été, vers l'époque du solstice.

Dans le premier de ces paysages saturniens (fig. 115), le système annulaire forme une arche immense, interrompue par

un large vide au sommet. Le ciel est visible à travers l'étroite rainure qui sépare les deux anneaux principaux. Il apparaît aussi au-dessous de l'arche. Quant à l'interruption du sommet, elle est produite par l'ombre que projette Saturne dans l'espace, et ne se distingue du reste du ciel que par l'absence des étoiles. Il est possible, d'ailleurs, que cette portion éclipsée des anneaux soit quelquefois rendue visible par la réfraction des rayons solaires dans l'atmosphère de la planète. Peut-

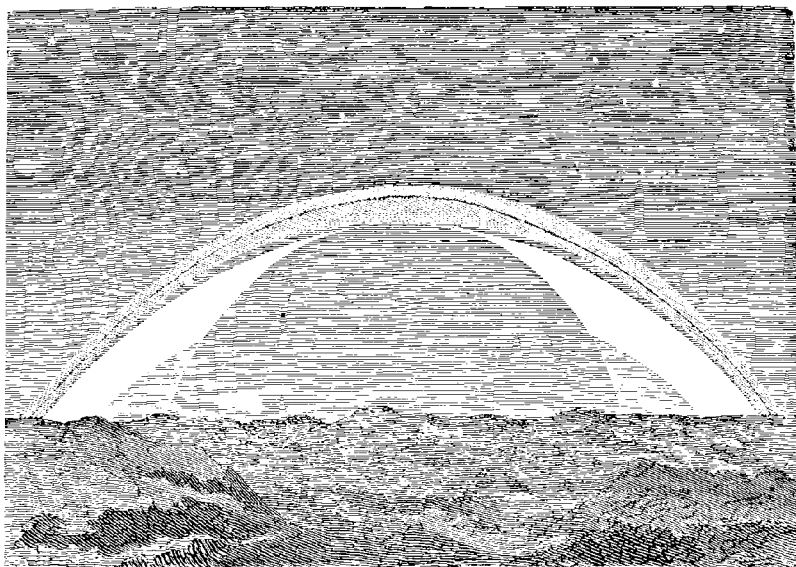


Fig. 116. — Les anneaux vus de Saturne, à une latitude de 28 degrés environ. Vue idéale, à minuit, vers l'époque des solstices de Saturne.

être la bande éclipsée prend-elle, sur les bords de l'ombre, une teinte colorée, analogue à la nuance rougeâtre de la Lune pendant les éclipses totales.

Le second paysage idéal (fig. 116) laisse voir l'anneau extérieur dans son entier : l'ombre de Saturne n'atteint aux solstices que les anneaux intérieurs.

Il faut ajouter qu'aux autres heures de la nuit, la position de l'ombre n'est pas la même. Elle n'occupe plus le milieu de

l'arc. Il résulte de là qu'après le coucher du Soleil, c'est la portion occidentale qui apparaît la première. Peu à peu, à mesure que la nuit augmente, l'arc occidental diminue; l'autre portion apparaît à l'Orient, jusqu'à ce qu'il y ait égalité à minuit entre les longueurs des deux arcs. A partir de minuit, la portion occidentale diminue encore et finit par disparaître, tandis que l'arc oriental augmente de longueur.

Qu'on ajoute à l'étrange beauté de ce spectacle la présence des satellites offrant des phases diverses, les uns dans leur plein, les autres à l'état de nouvelles lunes, d'autres dans leurs décours, et l'on se fera une idée de la variété d'aspect des nuits de Saturne.

Pendant la période des saisons hivernales, les anneaux présentent leurs faces obscures et ne sont visibles, pendant la nuit, que négativement, c'est-à-dire par l'absence des étoiles sur toute la zone céleste qu'ils recouvrent. Cependant, vers le matin et vers le soir, ils peuvent réfléchir la lumière que leur envoie la moitié lumineuse de Saturne; à l'Orient et à l'Occident, ils se montrent sans doute comme une lueur légère, semblable à la lumière cendrée de la Lune, ou encore à la lumière zodiacale.

Mais si les nuits d'hiver sont privées de la lumière des anneaux, les journées de la même saison offrent, en revanche, les plus curieux phénomènes. La rotation diurne, en faisant mouvoir en apparence le Soleil selon des arcs circulaires, tantôt plus, tantôt moins élevés sur l'horizon, est cause que l'astre radieux subit, lorsqu'il passe derrière les anneaux, de longues et fréquentes éclipses. A la vérité, la durée de ces phénomènes est moindre qu'on ne l'avait supposé d'abord, parce que la courbe apparente décrite par le Soleil n'étant pas parallèle aux arcs des anneaux, cet astre, éclipsé dès son lever, reparait à travers le vide qui les sépare pour disparaître encore. C'est à 23° de latitude que les anneaux produisent les éclipses solaires les plus prolongées. Pendant la

durée de dix années terrestres, ces éclipses se succèdent continuellement avec deux interruptions de durées relativement courtes, et pendant une longue série de rotations de Saturne, le Soleil reste complètement invisible. Plus près de l'Équateur ou plus près du pôle, les éclipses solaires sont encore très-fréquentes, mais leur durée est de moins en moins considérable.

Si l'on juge de la perte de la lumière par l'intensité de l'ombre projetée sur le disque de Saturne, les nuits artificielles produites par ces éclipses sont sans doute fort obscures, bien que la réfraction atmosphérique empêche qu'elles soient absolues, en donnant lieu à une lumière crépusculaire.

Pour un observateur placé sur les anneaux, le spectacle du ciel serait bien différent. A moins de le supposer sur la tranche, dans le sens de l'épaisseur, il verrait une longue nuit de quinze ans succéder à un jour de même durée.

Pendant la période d'illumination de chacune des faces des anneaux, le Soleil est éclipsé toutes les dix heures et demie. Ces éclipses, dues à l'interposition du disque de Saturne, produisent des nuits partielles dont la durée varie entre une heure et demie et deux heures, pour une grande partie de la largeur des anneaux. Ce sont les mêmes phénomènes qui causent l'échancrure de l'arc lumineux vu de Saturne, telle que la représentent à deux époques diverses nos deux vues idéales. Mais pendant près de quinze autres années, la même face des anneaux est entièrement privée de la lumière du Soleil. Cette longue nuit est en partie compensée par la lumière qu'envoie l'hémisphère éclairé de Saturne, ou du moins la partie visible de cet hémisphère. A chaque période de dix heures et demie, l'immense globe apparaît sous des phases diverses. C'est d'abord un point lumineux qui grandit à l'horizon, en prenant de plus en plus la forme d'un demi-croissant (fig. 117), mais beaucoup moins recourbé que celui de la Lune. Au bout de cinq heures un quart, c'est à peu près un demi-cercle qui em-

brasse à lui seul la huitième partie de toute la voûte céleste et dont la surface est ainsi de plus de vingt mille fois celle du disque lunaire (fig. 118). Sur ce disque, on aperçoit une zone obscure, divisée par une ligne lumineuse : ce sont les ombres projetées par les anneaux sur la planète. Les autres bandes brillantes et obscures, et sans doute beaucoup de détails physiques que nous ne pouvons voir à l'énorme distance où nous



Fig. 117. — Vue idéale d'une phase de Saturne, pour un point de la face obscure de l'un des anneaux.

sommes de Saturne, distinguent les diverses parties de ce disque immense.

Plus on s'éloigne de l'anneau intérieur, plus la portion visible de la planète grandit; mais ses dimensions apparentes diminuent au contraire avec la distance, sans cesser d'être considérables. Les figures 117 et 118 donneront une idée de l'aspect de Saturne, vu d'un point pris sur l'anneau intermédiaire, à deux époques qui diffèrent entre elles d'environ trois heures¹.

1. Dans ces deux vues idéales, comme dans les deux précédentes, nous avons

Signalons encore pour terminer cette revue des phénomènes célestes, tels qu'ils se montrent aux habitants de Saturne, les nombreuses éclipses produites par les huit satellites, soit quand ils passent au-devant du disque solaire, soit quand ils se plongent dans le cône d'ombre de la planète. Ces phénomènes peuvent être aperçus de la Terre : c'est ainsi que

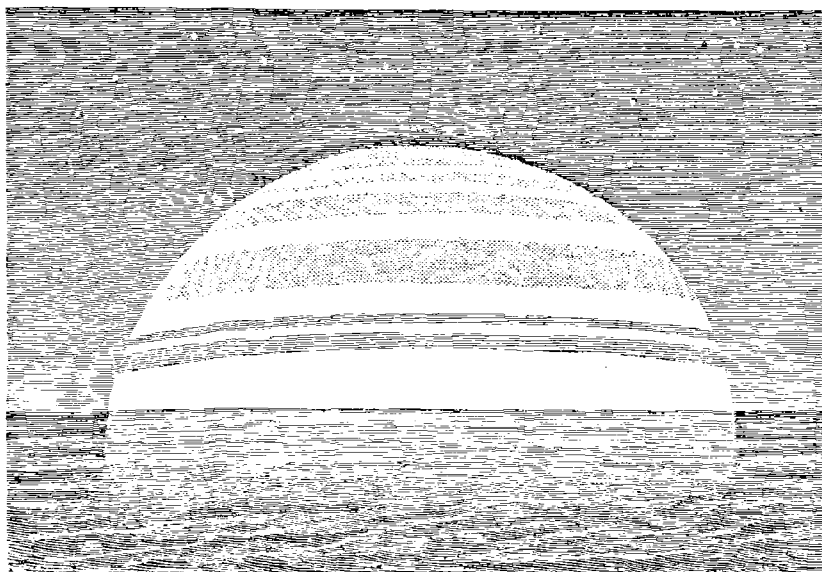


Fig. 118. — Le globe de Saturne vu de l'anneau.

M. Lockyer, en avril 1862, a constaté la présence de l'ombre projetée par Titan sur le disque de Saturne, c'est-à-dire une

donnée au sol de Saturne, comme à celui des anneaux, une structure tout imaginaire. Sans doute, si la surface de la planète est solide, elle est sillonnée d'aspérités considérables; mais, comme l'observation ne donne rien, nous avons dû rester dans le vague qu'elle exige. Nous avons supposé le sol de l'anneau liquide. On a fait cette hypothèse; mais, en vérité, nous ne savons rien à cet égard, et je me hâte d'en prévenir le lecteur pour qu'il ne se fasse point une fausse idée des connaissances des astronomes à ce sujet. Enfin, nous supposons dans nos paysages une atmosphère analogue à l'atmosphère terrestre, ce qui est très-vraisemblable, mais enfin hypothétique. Quant aux formes apparentes des anneaux et des phases de la planète, elles sont construites avec exactitude. C'était ici, à vrai dire, le seul point essentiel.

éclipse totalē de Soleil pour la région ainsi momentanément obscurcie. M. Dawes a fait une observation analogue. M. G. P. Bond, dont la science déplore la perte récente, avait aussi vu l'ombre du satellite sur la planète, le 10 octobre 1848. Mais aucun de ces savants n'avait, je crois, observé le satellite lui-même.

C'est une observation de ce genre, bien connue des astronomes, et due à M. J. Chacornac (à l'aide du grand télescope à miroir argenté de L. Foucault), que nous mettons ici sous les yeux du lecteur. La figure 119 est la reproduction d'un dessin que l'auteur a eu l'obligeance de nous communiquer;

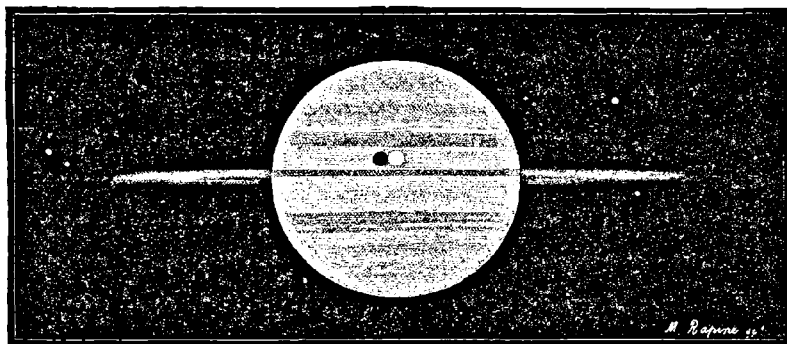


Fig. 119. — Passage de Titan sur le disque de Saturne, le 1^{er} mai 1862, d'après M. Chacornac.

elle laisse voir très-nettement le disque de Titan se détachant comme un cercle plus brillant que le fond lumineux de la planète. L'ombre paraît tangente au satellite lui-même. Ce qu'il importe de remarquer, c'est que, dès le début de l'observation, l'ombre avait paru visible, tandis que c'est seulement quand le satellite se fut avancé jusqu'au tiers du rayon de Saturne que son éclat permit de le voir; on sait que le phénomène inverse se présente pour les satellites de Jupiter. Titan disparut, de l'autre côté, à pareille distance. Cette particularité prouve nettement, comme nous l'avons dit en parlant de la

constitution de Saturne, que les bords du disque sont plus lumineux que les régions centrales, circonstance que M. Bond avait déjà constatée. Les bandes sombres de l'hémisphère austral présentaient une teinte rougeâtre, très-légère et comme vue au travers d'un voile, qui n'existait pas dans les bandes boréales. Ces dernières, plus sombres que les autres, offraient une teinte grise.

IX

URANUS ♅.

Découverte d'Uranus, par W. Herschel, au siècle dernier. — Forme et dimensions de son orbite. — Dimensions apparentes et dimensions réelles. — Satellites d'Uranus; inclinaison de leurs orbites et sens de leurs mouvements. — Masse, densité, pesanteur à la surface.

Le Monde solaire connu des anciens comprenait tous les corps célestes dont nous venons d'étudier les mouvements et la constitution physique, à l'exception des petites planètes et des satellites de Jupiter et de Saturne. Il y a un siècle, le nombre des planètes n'avait point augmenté, et les confins du système ne s'étendaient pas au delà de Saturne. Il était donné au plus fécond et au plus ingénieux observateur des temps modernes, à l'illustre William Herschel, de doubler le rayon de la sphère qui embrasse les astres soumis à l'attraction du Soleil, en découvrant une planète nouvelle, la planète Uranus.

C'est le 13 mars 1781, entre dix et onze heures du soir, qu'Herschel, occupé à explorer avec son télescope la constellation des Gémeaux, y découvrit une étoile dont le diamètre considérable fixa son attention. Il reconnut bientôt que le nouvel astre se déplaçait, et le prit d'abord pour une comète. Les observations, soumises au calcul par les géomètres, finirent par démontrer qu'il s'agissait là d'un corps dont la grande

distance au Soleil et l'orbite presque circulaire ne pouvaient laisser de doute sur sa nature : c'était bien une véritable planète.

Uranus a le plus souvent — cela dépend de sa distance à la Terre — l'éclat d'une étoile de sixième grandeur. Il est donc quelquefois visible à l'œil nu. C'est là du reste une petitesse toute relative, qui tient à l'immense distance de la planète au Soleil et par suite à la Terre, et à la faible intensité de la lumière que le premier de ces astres lui envoie. Mais si l'on examine le point lumineux avec une lunette d'un fort pouvoir grossissant, la forme circulaire du disque apparaît avec netteté, et son diamètre apparent devient susceptible de mesure.

L'orbite décrite par Uranus autour du Soleil enveloppe l'orbite de la Terre à une si grande distance, qu'il est impossible d'apercevoir dans le disque de la planète aucune apparence de phases. Elle tourne pour ainsi dire toujours vers nous sa moitié éclairée.

Cette orbite n'est pas un cercle parfait, mais bien comme celles des autres planètes une courbe ovale, de sorte que, pendant tout le cours de sa révolution qui dure environ 84 ans — plus exactement 30 686 jours $\frac{8}{10}$ — la distance d'Uranus au Soleil varie sans cesse, s'élevant au maximum à 742 millions de lieues, au minimum à 675 millions, en moyenne à 710 millions. C'est, on le voit, une différence de 68 millions de lieues environ entre ses distances extrêmes, entre l'aphélie et le périhélie d'Uranus.

Son éloignement de la Terre varie plus encore, il est le plus grand possible, lorsque les deux planètes sont de part et d'autre et à l'opposé du Soleil, le plus faible au contraire, si les deux planètes se trouvent du même côté de l'astre central. Dans le premier cas, Uranus est en conjonction, et sa distance à la Terre peut s'élever jusqu'à 775 millions de lieues, tandis que dans les oppositions cette distance peut descendre à 640 millions.

Son diamètre apparent, vu de la Terre, varie alors dans une proportion qui est figurée dans le dessin suivant :

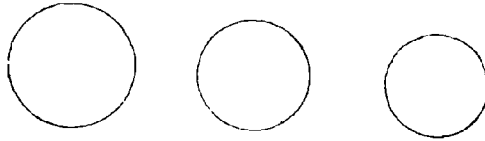


Fig. 120. — Dimensions apparentes d'Uranus à ses distances moyenne et extrêmes de la Terre.

De la distance d'Uranus et de ses dimensions apparentes, on a conclu ses dimensions réelles, qui en font un corps sphéroïdal 74 fois $\frac{1}{2}$ aussi volumineux que notre Terre, le diamètre de notre globe étant 4 fois et un cinquième moindre que celui d'Uranus (4.2085). C'est 13 400 lieues environ pour le diamètre, 42 250 lieues pour la périmétrie de la planète. La figure 121 montre les grosseurs comparées d'Uranus et de la Terre.

Les astronomes ne sont pas d'accord sur la question de savoir si le globe d'Uranus est parfaitement sphérique ou s'il est aplati à ses pôles de rotation. W. Herschel affirmait ce dernier fait, et Mædler a déterminé, il y a quelques années, un aplatissement d'un dixième, qui laisserait supposer une grande vitesse dans le mouvement de rotation d'Uranus sur son axe.

D'autres astronomes, tels qu'Otto Struve, n'ont pu constater d'aplatissement sensible. Mais ce fait n'est peut-être pas en contradiction avec les observations de Mædler et d'Herschel, et voici pourquoi. Il suffirait, comme le remarque Arago¹, de supposer par analogie que l'équateur d'Uranus coïncide à peu

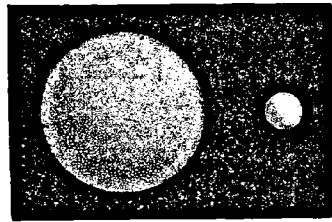


Fig. 121. — Uranus et la Terre, dimensions comparées.

1. *Astronomie populaire*, IV, 493.

près avec les plans des orbites de ses satellites, pour expliquer comment il a pu se faire qu'à des époques différentes, les observateurs soient arrivés à des résultats différents. L'axe de rotation de la planète serait alors presque couché sur l'orbite de la Terre ; si cet axe est tourné vers notre globe, l'ellipsoïde nous semblera circulaire ; s'il est dans une direction rectangulaire avec la première, il apparaîtra sous la forme d'un disque aplati. La figure suivante explique clairement et la différence de position et celle qui en résulte pour la forme apparente du disque :

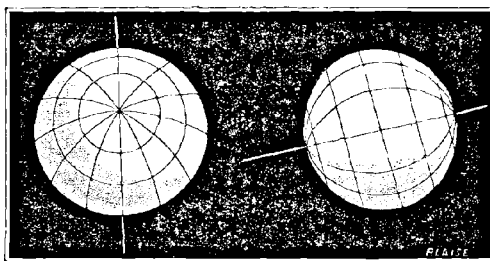


Fig. 122. — Différences entre les formes apparentes d'un globe aplati vu dans deux positions rectangulaires.

Je viens de parler des satellites d'Uranus. Uranus est en effet le centre d'un petit monde, peuplé comme celui de Saturne, outre la planète principale, de 4 lunes ou satellites qui tournent dans des plans à peu près perpendiculaires au plan de l'orbite. Ces quatre corps dont les révolutions durent, depuis 2 jours $1/2$ pour le plus rapproché, jusqu'à 13 jours $1/2$ environ pour le plus éloigné d'Uranus, compensent peut-être, pendant les nuits de la planète, par la réflexion de leur lumière, la faible intensité de la lumière qui éclaire ses jours. Le Soleil en effet n'apparaît, dans Uranus, que comme un faible disque dont l'étendue superficielle est 370 fois moindre que celle du disque solaire vu de notre globe. La chaleur reçue est donc aussi 370 fois moindre que la nôtre.

Nous donnons ici les dimensions relatives des orbites des

quatre satellites, supposés couchés sur le plan de l'orbite de la planète centrale. J'ai dit qu'en réalité, leurs mouvements s'effectuent dans une direction perpendiculaire à ce plan. Une autre particularité, unique dans le système solaire, distingue encore le monde d'Uranus : le sens des mouvements des satel-

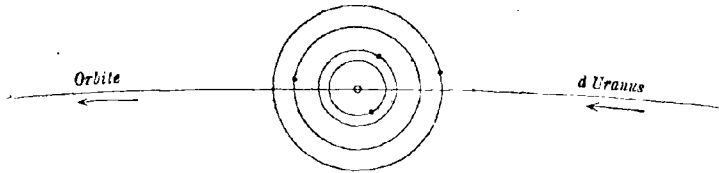


Fig. 123. — Système des satellites d'Uranus ; dimensions relatives des orbites.

lites est rétrograde, c'est-à-dire inverse de celui de tous les mouvements connus des satellites et des planètes. Cette anomalie tient peut-être à la même cause que la très-grande inclinaison des orbites. Voici les noms, les distances au centre d'Uranus et les durées des révolutions de ces quatre corps célestes ¹ :

	Distances en rayons d'Uranus.	Distances en kilomètres.	Durées des révolutions.
Ariel	7.44	197 000	2 ^j 12 ^h 28 ^m
Umbriel	10.37	275 000	4 3 27
Titania	17.01	450 000	8 16 52
Oberon	22.75	600 000	13 11 6

Des variations dans l'intensité lumineuse de ces corps, si difficiles à observer à cette énorme distance, ont fait croire à des mouvements de rotation que l'analogie d'ailleurs porte

1. On a cru quelque temps à l'existence de huit satellites d'Uranus ; deux ayant été découverts par W. Herschel auraient décrit des orbites beaucoup plus étendues que les quatre satellites dont nous venons de parler. Les deux autres auraient été compris entre le second et le troisième, et entre celui-ci et le quatrième. Mais, on n'a revu positivement ni les uns ni les autres. Les quatre satellites aujourd'hui reconnus ont été baptisés des noms d'*Ariel*,

facilement à admettre, mais qui sont jusqu'ici purement hypothétiques. On ne sait rien de plus positif sur leurs passages dans l'ombre projetée par Uranus, sur leurs éclipses et sur celles du Soleil qui doivent résulter de leurs passages devant le disque de ce dernier corps. On peut présumer cependant qu'il y a dans ces phénomènes, comme dans les phases des satellites, leur présence simultanée ou leur absence au milieu du ciel des nuits d'Uranus, une grande variété d'apparences pour la planète centrale du système : c'est comme une répétition du monde de Jupiter.

Quant à la constitution physique d'Uranus, les observations restent muettes jusqu'à présent. Aucune particularité du disque n'est visible à une telle distance. Les calculs astronomiques seuls nous renseignent sur sa masse qui est quinze fois celle de la Terre, de sorte qu'en tenant compte du volume, on ne trouve pour la densité de la matière qui compose son globe que le sixième environ de celle de la Terre : c'est un peu plus de la densité de la glace.

A la surface d'Uranus, la pesanteur agit avec une intensité légèrement plus forte (un 20^{me}) qu'à la surface de la Terre, de sorte que les phénomènes d'équilibre et de mouvement sont à peu près les mêmes, avec cette différence que les couches superficielles y ont sans doute une grande légèreté spécifique.

Umbriel, Titania et Oberon. M. Lassell, qui a étudié avec une grande attention la planète Uranus et qui en a exploré les alentours avec un télescope d'une grande puissance et dans les meilleures conditions atmosphériques, regarde les quatre satellites ainsi nommés comme étant les seuls dont l'existence soit bien prouvée. J. Herschel, dans la 6^e édition de ses *Outlines of astronomy*, adopte cette opinion, qui paraît fort vraisemblable.

X

NEPTUNE ♆.

Découverte de Neptune. — Idée de la méthode qui a présidé aux recherches de cette planète. — Distance, dimensions apparentes et réelles, masse et densité. — Satellite de Neptune.

A une distance moyenne du Soleil, d'un milliard 110 millions de lieues, c'est-à-dire de plus de trente fois le rayon de l'orbite de la Terre, circule la plus éloignée des planètes connues du monde solaire. L'orbite presque circulaire qu'elle décrit autour du foyer commun est si étendue, que la planète ne met guère moins de 165 ans à accomplir sa révolution totale.

Cette planète est Neptune. Vingt-trois ans à peine nous séparent de l'époque où elle a été vue pour la première fois, de sorte qu'elle n'a encore parcouru sous nos yeux que la septième partie de son orbite. La date récente de sa découverte et l'immense éloignement où la planète se trouve de la Terre expliquent donc aisément le peu de données qu'on possède sur Neptune. Mais un autre genre d'intérêt vient en partie compenser cette insuffisance : je veux parler de la méthode même qui a servi de base à la découverte de la planète et qui en fait jusqu'à présent un objet unique dans les annales de l'astronomie.

On sait que parmi les corps, aujourd'hui connus, dont l'ensemble forme le système solaire, huit seulement avaient

été distingués par les anciens de la multitude des points brillants qui parsèment la voûte céleste; les dimensions des uns, le Soleil, la Lune et la Terre, le mouvement propre des autres, Mercure et Vénus, Mars, Jupiter et Saturne, au milieu des constellations, furent les caractères particuliers de cette distinction. Plus tard, le télescope agrandit le champ de la vision de l'homme et permit à l'astronomie moderne de joindre au groupe de ces huit astres un nombre assez considérable d'astres nouveaux. Uranus, les petites planètes, les satellites de Jupiter, de Saturne et d'Uranus furent successivement rangés dans la famille primitive. Mais, pour découvrir tous ces corps célestes, quelle fut la méthode employée? Une attentive et minutieuse révision de toutes les parties du ciel étoilé, la comparaison des cartes célestes et du champ d'un instrument d'optique, la reconnaissance fortuite du déplacement d'un point lumineux. Dans tout cela, nulle prévision fondée sur la théorie, aucune idée préconçue sur la future découverte, due au zèle persévérant des chercheurs et à d'heureux hasards.

La méthode qui a présidé aux recherches et à la reconnaissance définitive de Neptune fut tout autre.

Je dirai plus loin quels sont les principes des mouvements des astres autour de leurs foyers de révolution, comment ils agissent et réagissent les uns sur les autres, de manière à troubler la régularité de leurs mouvements, comment les perturbations observées se rattachent aux lois mêmes qui les régissent. Or, dans le nombre de ces perturbations, il en était dont l'explication théorique ne semblait pas possible, et que les astronomes avaient essayé en vain de rattacher aux influences des corps célestes connus. Les tables construites pour la planète Uranus ne s'accordaient point avec les observations, et la marche de cet astre était troublée par une cause inconnue.

Cette cause était néanmoins depuis quelque temps soupçonnée par Bouvard, l'astronome qui avait calculé les tables

d'Uranus. Mais la solution complète du problème fut l'œuvre d'un savant aujourd'hui célèbre, de M. Le Verrier¹. C'est à lui que revient l'honneur d'avoir déterminé par des calculs, tout entiers basés sur la théorie de la gravitation universelle, les éléments approximatifs d'une planète jusqu'alors inconnue, à l'action de laquelle il fallait attribuer les anomalies apparentes de la marche d'Uranus : « M. Le Verrier, dit Arago, a aperçu le nouvel astre sans avoir besoin de jeter un seul regard vers le ciel ; il l'a vu au bout de sa plume ; il a déterminé par la seule puissance du calcul la place et la grandeur approximatifs d'un corps situé bien au delà des limites jusqu'alors connues de notre système planétaire, d'un corps dont la distance au Soleil surpasse 1100 millions de lieues, et qui, dans nos puissantes lunettes, offre à peine un disque sensible. Ainsi, la découverte de M. Le Verrier est une des plus brillantes manifestations de l'exactitude des systèmes astronomiques modernes. Elle encouragera les géomètres d'élite à chercher avec une nouvelle ardeur les vérités éternelles qui restent cachées, suivant une expression de Pline, dans la majesté des théories. » Le résultat des recherches théoriques de M. Le Verrier fut publié le 31 août 1846. Moins d'un mois après, le 23 septembre, un astronome de Berlin, M. Galle, découvrit Neptune à peu de distance de la position assignée.

Neptune est invisible à l'œil nu. Il a, dans les télescopes, l'aspect d'une étoile de huitième grandeur. Son mouvement apparent est d'une lenteur extrême. Mais, comme l'orbite

1. Il est juste de dire, pour échapper à tout reproche de partialité à ce sujet, qu'un géomètre anglais d'un mérite incontesté, M. Adams, avait abordé, en même temps que M. Le Verrier, le grand problème de mécanique céleste dont il s'agit. Ses conclusions étaient à peu de chose près les mêmes, et, de la part des deux savants géomètres, le mérite est égal. Mais, le travail de M. Adams n'ayant été publié qu'après la découverte de l'astre n'eut pas naturellement le même retentissement. Une telle coïncidence est un témoignage de plus à joindre en faveur de la perfection des théories astronomiques et de la puissance du calcul.

qu'il décrit autour du Soleil offre l'immense développement de près de 7 milliards de lieues, sa vitesse réelle est néanmoins considérable : elle est d'environ 464 000 kilomètres par jour ou de 5^k,4 par seconde. C'est naturellement la plus faible des vitesses planétaires connues.

Comme toutes les autres planètes, Neptune se trouve tantôt plus rapproché, tantôt

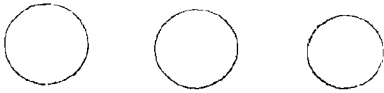


Fig. 124.— Dimensions apparentes du disque de Neptune à ses distances moyenne et extrêmes de la Terre.

plus éloigné de la Terre. A l'époque des conjonctions, il peut se trouver distant de nous de 1180 millions de lieues, tandis que sa distance

maximum, dans les oppositions, peut s'abaisser à 110 millions de lieues au-dessous de la première. Ses dimensions appa-

rentes varient donc en inverse de ces distances, et la figure 124 montre entre quelles limites oscille le diamètre de son disque¹.

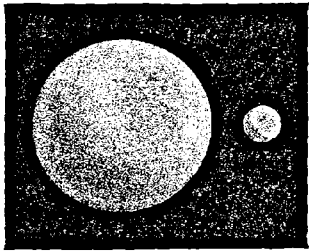


Fig. 125. — Neptune et la Terre; dimensions comparées.

Quant aux dimensions réelles, elles sont assez considérables, et font de Neptune la troisième planète du système solaire, dans l'ordre de la grosseur. Son diamètre, 4.387 fois aussi grand que le dia-

mètre de la Terre, mesure 14 000 lieues de 4 kilomètres, ce qui donne à la périphérie une longueur de 44 000 lieues. La surface du globe de Neptune est plus de 19 fois celle de la Terre, et son volume est 84 fois celui de la planète que nous habitons.

En se reportant à la figure 4, page 27, on voit à quelle faible dimension se réduit le diamètre apparent du Soleil, vu

1. Ce disque n'a offert jusqu'ici aucune trace sensible d'aplatissement. On n'y peut non plus distinguer aucune tache, de sorte que la durée de sa rotation reste inconnue.

de la surface de Neptune. L'intensité de la chaleur et de la lumière reçues par cette planète n'est plus, à cette distance énorme, que la millième partie de la chaleur et de la lumière reçues par la Terre. Mais comme on ne sait rien des conditions physiques et atmosphériques, ni de la rotation de Neptune, il n'est permis d'en rien conclure sur l'état climatérique de la planète.

A une distance à peu près égale à celle de la Lune à la

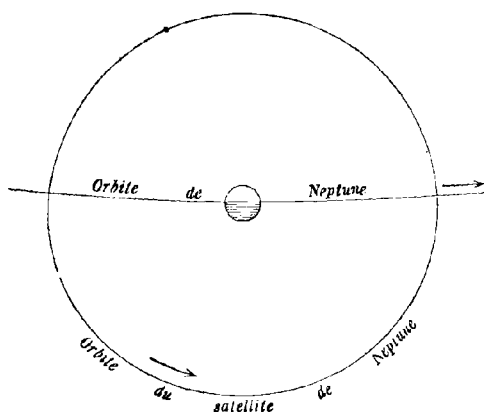


Fig. 126. — Orbite du satellite de Neptune.

Terre, c'est-à-dire de 100 000 lieues environ, un satellite décrit autour de Neptune¹, en 5 jours 21 heures, une orbite circulaire qui a permis aux géomètres de calculer la masse de la planète centrale. Cette masse, égale à environ la dix-sept millième partie de celle du Soleil, équivaut à 18 fois la masse

1. Cette découverte est due à l'astronome Lassell, qui a cru voir plus tard un second satellite. Comme ce dernier astre n'a point été revu, nous ne le mentionnons que pour mémoire. Des observateurs ont cru reconnaître aussi que Neptune est entouré d'un anneau; mais il est aujourd'hui certain que cette apparence, qui s'était déjà présentée pour Uranus, doit être considérée comme une illusion d'optique.

M. Lassell nous écrit de Malte, où il a fait à l'aide de son magnifique télescope de si intéressantes observations, que, dans sa pensée, le second satellite de Neptune n'a pas plus d'existence réelle que l'anneau supposé.

de la Terre. De là, pour la matière qui compose le globe de Neptune, une densité qui ne surpasse guère le cinquième de la densité moyenne de la Terre ; rapportée à la densité de l'eau, elle est égale à 1.15. C'est, à peu de chose près, le poids spécifique du succin, un peu plus que celui de l'eau de la mer et un peu moins que celui de la houille. Mais si, comme il est présumable, la densité des couches va en croissant de la surface au centre, il en résulte que les couches superficielles sont plus légères encore. Neptune, Uranus et Jupiter sont les trois grosses planètes qui se rapprochent le plus sous le rapport de la densité. Quant à la pesanteur à la surface de la planète que nous venons d'étudier, elle est un peu moins forte qu'à la surface de la Terre (environ les 95 centièmes). Un corps, dans la première seconde de sa chute, parcourrait donc, sur Neptune, s'il tombait dans le vide, une distance égale à 4^m,66; sa vitesse acquise serait, à cet instant, de 9^m,32.

COUP D'ŒIL D'ENSEMBLE
SUR LE MONDE PLANÉTAIRE.

A la planète Neptune se termine, dans l'état actuel des connaissances astronomiques, le système du monde planétaire, mais non pas la sphère d'attraction du Soleil, ainsi que nous allons le voir dans le livre suivant. D'autres corps célestes ou des agrégations de matière imparfaitement condensée circulent encore dans les mêmes régions; mais comme les uns et les autres se distinguent profondément des planètes tant sous le rapport des éléments de leur mouvement qu'au point de vue de leur constitution physique, il est nécessaire d'en faire un groupe distinct de celui que nous venons d'étudier et de décrire.

Avant de quitter le monde planétaire proprement dit, on peut se demander si les orbites de Mercure et de Vénus forment bien les confins réels du domaine que les planètes parcourent, s'il n'y a pas entre Mercure et le Soleil une ou plusieurs planètes encore inconnues, que leur proximité des rayons de l'astre a empêché jusqu'ici d'apercevoir; si, au delà de Neptune, il n'existe pas aussi d'autres planètes que leur éloignement et la lenteur de leur mouvement propre ont fait échapper jusqu'à ce jour aux regards des astronomes. Cela

est possible ; et même, en ce qui concerne les astres hypothétiques circulant entre Mercure et le Soleil, astres qu'on a nommés pour cela planètes *intra-mercurielles*, on a cru, ces dernières années, être passé de l'hypothèse à une observation réelle. Un médecin français, M. Lescarbault, ayant observé et suivi sur le disque solaire un point noir dont le mouvement était tel qu'il était impossible de le confondre avec une tache, crut naturellement avoir découvert une planète, à laquelle fut donné le nom de Vulcain. Malheureusement, aucune observation nouvelle et authentique n'a pu encore confirmer positivement cette découverte, qui fut d'autant plus remarquée qu'à la même époque (1859) M. Le Verrier déduisait de la théorie du mouvement de Mercure la probabilité de l'existence d'une masse perturbatrice, circulant entre Mercure et le Soleil. Aujourd'hui que le disque solaire est l'objet d'une étude presque continue, on peut espérer de retrouver Vulcain à l'un de ses passages, si toutefois cette planète existe réellement. Quant à découvrir un nouvel astre au delà des limites connues du monde solaire, une planète *extra-neptunienne*, c'est là une recherche difficile sans doute, mais non impossible. Peut-être y arrivera-t-on par une méthode pareille à celle qui a fait trouver Neptune, c'est-à-dire en cherchant la cause des perturbations que l'on pourra constater par la suite dans le mouvement de ce dernier corps.

Quoi qu'il en soit, voici quelques données sur les dimensions actuelles du système planétaire.

Le diamètre de l'orbite de Neptune peut être considéré comme celui d'une sphère embrassant le monde solaire dans son ensemble ; et l'on sait qu'il est égal à 60 fois la distance du Soleil à la Terre, c'est-à-dire à 8 milliards 890 millions de kilomètres. Telles sont les dimensions diamétrales de notre système planétaire. La lumière mettrait à le traverser de part en part 8 heures et 17 minutes ; un boulet de canon, qui conserverait une vitesse uniforme de 450 mètres par seconde

ferait cet immense trajet en 626 ans; il faudrait 845 ans à une onde sonore. L'étendue, en épaisseur, du monde planétaire est beaucoup plus petite. En l'évaluant dans un sens perpendiculaire au plan de l'orbite de la Terre, elle est de 19 à 20 fois moindre que l'étendue diamétrale, c'est-à-dire égale à environ 470 millions de kilomètres. Si toute la matière du Soleil et des planètes était uniformément répartie dans la sphère qui s'étend jusqu'à Neptune, sphère dont le volume n'est pas moindre que 338 quadrillions de fois le volume du globe terrestre, la densité de l'espace supposé homogène, ainsi rempli, ne serait guère plus qu'un demi-trillionième de la densité de l'eau; c'est dire que l'hydrogène, le plus léger des gaz connus, serait encore plus de 400 millions de fois aussi dense.

Les planètes aujourd'hui connues se rangent naturellement, nous l'avons dit, en trois groupes qui se distinguent les uns des autres par des caractères assez nettement tranchés, comme aussi les corps célestes de chacun de ces groupes ont entre eux de nombreuses similitudes. Entrons à ce sujet dans quelques détails.

Le groupe des *planètes moyennes*, c'est-à-dire de moyenne grosseur, comprend Mercure, Vénus, la Terre et Mars : ce sont les quatre planètes les plus rapprochées du Soleil. Au contraire, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune, de beaucoup les plus volumineuses, et qui pour cela forment le groupe des *grosses planètes*, sont les plus éloignées du foyer du monde solaire. Enfin, dans une région intermédiaire et qui, avant le dix-neuvième siècle, semblait former une lacune dans la succession des corps circulant autour du Soleil, se trouve la légion innombrable des *petites planètes* aux orbites entrelacées et qui toutes sont remarquables par leur petitesse. On peut juger d'un coup d'œil, en examinant la planche XVIII, où le Soleil et les planètes sont représentés dans leurs vraies dimensions relatives, à l'exception des petites planètes qui

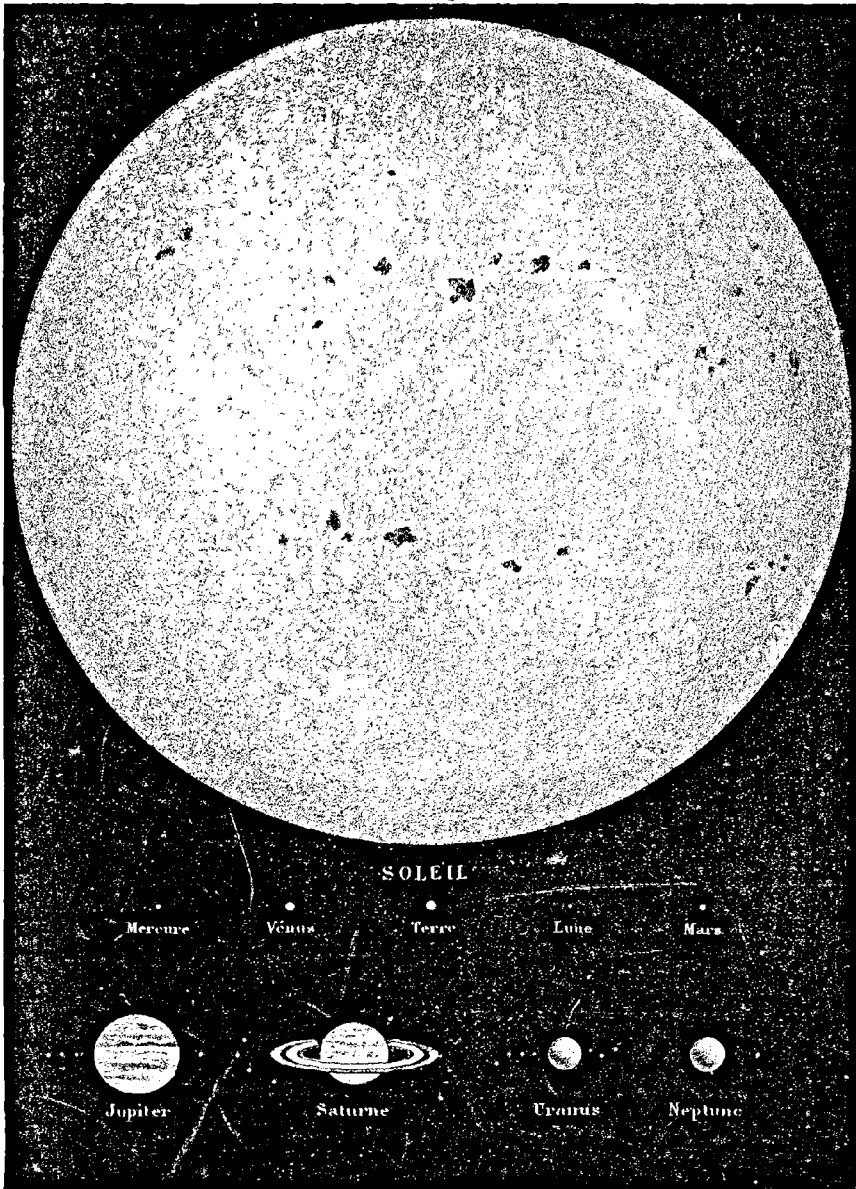
eussent été invisibles à cette échelle, si ce premier caractère suffit à différencier les groupes. Quant au Soleil, c'est de toutes façons l'astre prépondérant de tout le système. Son volume vaut plus de 600 fois les volumes réunis de toutes les planètes ; et sa masse est relativement plus considérable encore : si le globe solaire était placé dans l'un des plateaux d'une balance, il faudrait mettre, dans l'autre plateau, 740 fois le poids de toutes les masses planétaires pour l'équilibrer.

De l'ordre des distances au Soleil et des grosseurs des planètes, passons à d'autres éléments et voyons quelles sont leurs analogies. Sous le rapport des masses et des densités, les groupes se distinguent encore nettement. En effet, voici comment les planètes se rangent :

	Planètes.	Masses.	Densités.
Grosses planètes.	Jupiter.	304.000	0.247
	Saturne.	92.000	0.128
	Neptune	18.000	0.211
	Uranus.	16.000	0.216
Petites planètes.	Insensibles.	Inconnues.
Planètes moyennes.	La Terre	1.000	1.000
	Vénus	0.806	0.940
	Mars	0.107	0.692
	Mercure	0.061	1.140

Les masses réunies du premier groupe valent environ 220 fois les masses du troisième. Les densités, à peu de chose près égales entre elles dans chaque groupe, sont en moyenne cinq fois plus faibles dans le groupe des grosses planètes que dans celui des planètes moyennes. La matière paraît donc, à l'origine, s'être divisée en portions plus petites dans le voisinage du Soleil que dans les régions éloignées du système, et, de plus, s'y être beaucoup plus condensée.

Les mouvements de rotation et la forme des globes planétaires, qui est une conséquence de la vitesse rotatoire, vont nous fournir de nouvelles analogies. Les planètes moyennes



DIMENSIONS COMPARÉES DU SOLEIL ET DES PLANÈTES PRINCIPALES

tournent sur leur axe en des temps presque égaux, à peu près en 24 heures, vitesse 25 fois $1/2$ plus rapide que la vitesse de rotation du Soleil. Jupiter et Saturne tournent encore 2 fois $1/2$ plus vite; aussi la forme de leurs globes est-elle considérablement aplatie, tandis que celle des sphéroïdes constituant les planètes moyennes est beaucoup plus approchée de la sphère. Enfin, parmi ces dernières, seule notre Terre a un satellite, tandis que les grosses planètes en ont dix-sept à elles quatre et peut-être davantage. Est-ce là encore un caractère qui se rattache physiquement à la plus grande vitesse du mouvement de rotation? C'est probable.

Quant aux petites planètes, ce qui les différencie des autres, outre leur faible volume individuel, c'est beaucoup plus les éléments de leurs mouvements que leurs caractères physiques encore à peu près complètement inconnus. L'entrelacement de leurs orbites, la grande excentricité de la plupart d'entre elles, leurs fortes inclinaisons, voilà surtout, avec leur nombre considérable et leur accumulation en une région resserrée du monde solaire, ce qui empêche de les confondre aussi bien avec l'un qu'avec l'autre des deux groupes qu'elles séparent. Mercure seul peut leur être comparé pour l'excentricité et l'inclinaison de son orbite.

On a beaucoup agité la question de l'habitabilité des planètes du monde solaire. On s'est demandé si la Terre seule est embellie à sa surface par les productions de la vie animale et végétale, si elle est seule habitée et gouvernée par des êtres intelligents et sensibles. L'astronomie ne peut aborder qu'indirectement ces questions intéressantes, dont la solution restera longtemps sans doute dans le domaine des conjectures. Mais nous avons vu avec quel soin minutieux elle rassemble tous les éléments du problème, toutes les données que l'observation peut fournir sur les conditions physiques et météorologiques propres à chacun des corps du monde solaire. En par-

tant de ces données, encore bien insuffisantes, c'est la planète Mars qui paraîtrait différer le moins de la Terre, et qu'on pourrait supposer, avec le moins d'in vraisemblance, en possession d'une flore et d'une faune semblables à la faune et à la flore terrestres. Mais cette ressemblance n'est qu'une pure hypothèse ; car une simple différence dans la constitution chimique des deux atmosphères, par exemple, peut la détruire.

Sans doute, en s'en tenant aux vagues analogies, il y a de fortes probabilités que la plupart des planètes et de leurs lunes sont habitées. Mais quel est le genre d'organisation des êtres végétaux et animaux qui les peuplent ? C'est ce dont il est plus difficile encore de se faire une idée, dans l'état actuel de la science. D'ailleurs, n'est-il pas probable que les âges des planètes sont fort différents, et que, même en supposant qu'elles ont dû ou doivent passer les unes et les autres par les mêmes phases géologiques, ces phases sont loin d'être les mêmes aux mêmes époques ?

LIVRE TROISIÈME.

LES COMÈTES.

ÉTOILES FILANTES. — LUMIÈRE ZODIACALE.

On vient de voir combien est immense l'espace où se meuvent les corps du système planétaire, et quelle faible portion de cette étendue est occupée par la matière condensée en globes ou en astres distincts. L'océan fluide où nagent tous ces corps, et qui sert à transmettre avec une vitesse prodigieuse les ondes lumineuses et calorifiques émanées du Soleil et des étoiles, ou réfléchies à la surface des globes planétaires, n'est-il point parcouru par des astres d'une autre nature? n'est-il pas sillonné par des traînées d'autres corpuscules d'origine extra-terrestre? Ce sont là des questions auxquelles il a été fait déjà une réponse préliminaire, dans l'énumération que nous avons faite des astres qui composent le monde solaire. On a vu que, outre le Soleil, les planètes et leurs satellites, il existe dans les mêmes régions du ciel une innombrable quantité d'autres corps, gravitant comme ceux que nous avons décrits déjà, autour du foyer commun, mais différant profondément de ces derniers par leur aspect et surtout par les éléments de leur mouvement et

leur constitution propre. Ce sont, en premier lieu, les *comètes* ; puis des essaims de corpuscules voyageant çà et là, dans divers sens, au travers des espaces interplanétaires, et donnant lieu, quand la Terre les rencontre, aux apparitions des *étoiles filantes* ou *bolides*, parfois même aux chutes de pierres ou *aérolithes* ; enfin, une agrégation de matière, disséminée aussi dans les mêmes régions, mais qui semble plus particulièrement resserrée dans le voisinage du Soleil, et qu'on désigne sous le nom de lueur ou de *lumière zodiacale*.

Il nous reste donc, pour achever le tableau du monde solaire, à décrire ces astres et ces agrégations corpusculaires qui, par leur origine probable et leur nature physique, diffèrent beaucoup des planètes. Cette étude offrira d'autant plus d'intérêt, qu'on commence à soupçonner entre les comètes et les essaims de météores, entre ceux-ci et la lumière zodiacale, entre eux tous et certaines nébuleuses étrangères à notre système, des rapports de similitude et d'origine. Commençons cette étude par les comètes.

I

LES COMÈTES.

§ 1. — Aspect des comètes. — Nébulosité, noyau lumineux; queues simples et multiples. — En quoi les comètes se distinguent des autres corps du monde solaire. — Formes et inclinaisons des orbites qu'elles décrivent autour du Soleil. — Sens, tantôt direct, tantôt rétrograde, de leurs mouvements.

Si l'on s'en rapporte à l'étymologie du mot, *comète* signifie astre *chevelu*. Le plus souvent, en effet, une comète apparaît comme une étoile dont le noyau lumineux est entouré d'une nébulosité plus ou moins brillante, à laquelle les astronomes anciens donnaient le nom de *chevelure*. Indépendamment de cette auréole vaporeuse, le noyau de l'astre est fréquemment accompagné d'une traînée dont la longueur varie d'une comète à l'autre ou pour une même comète : cette traînée lumineuse, cet appendice nébuleux est ce qu'on nomme la *queue* de la comète¹. La forme de la chevelure, ses dimensions apparentes et réelles, la forme et les dimensions de la queue sont extrêmement variables. On a vu des comètes à deux et à plusieurs queues.

L'auréole vaporeuse qui, avec le noyau lumineux, forme la *tête* de la comète, la traînée unique ou les queues multiples

1. Autrefois, on employait le nom de *barbe* pour désigner la queue de la comète, quand l'appendice vaporeux précédait le noyau dans le sens du mouvement de l'astre, circonstance qui se présente toujours dans la partie de l'orbite qui suit le passage de la comète au périhélie. Les Chinois donnent à la queue la dénomination un peu prosaïque de *balai*.

dont la tête est accompagnée, peuvent-ils être considérés comme des caractères spécifiques des comètes? Tout astre qui en serait dépourvu doit-il être rangé dans une autre catégorie? Il n'en est rien. Il existe, en effet, des comètes dépourvues de queues et de noyau brillant. Telle est celle que nous montre le second dessin de la figure 127, et qui est formée d'une simple nébulosité arrondie¹. D'autres, comme la comète représentée dans le premier dessin de la même figure, ont un

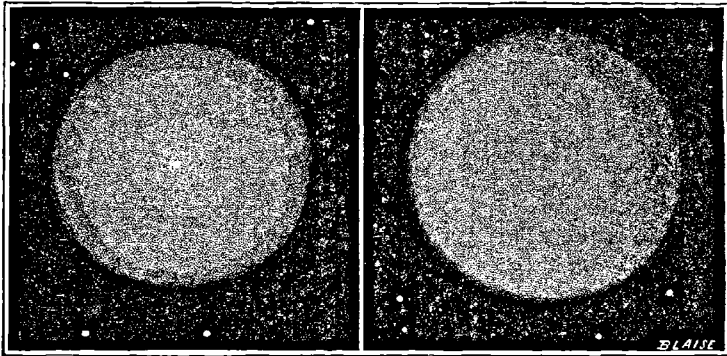
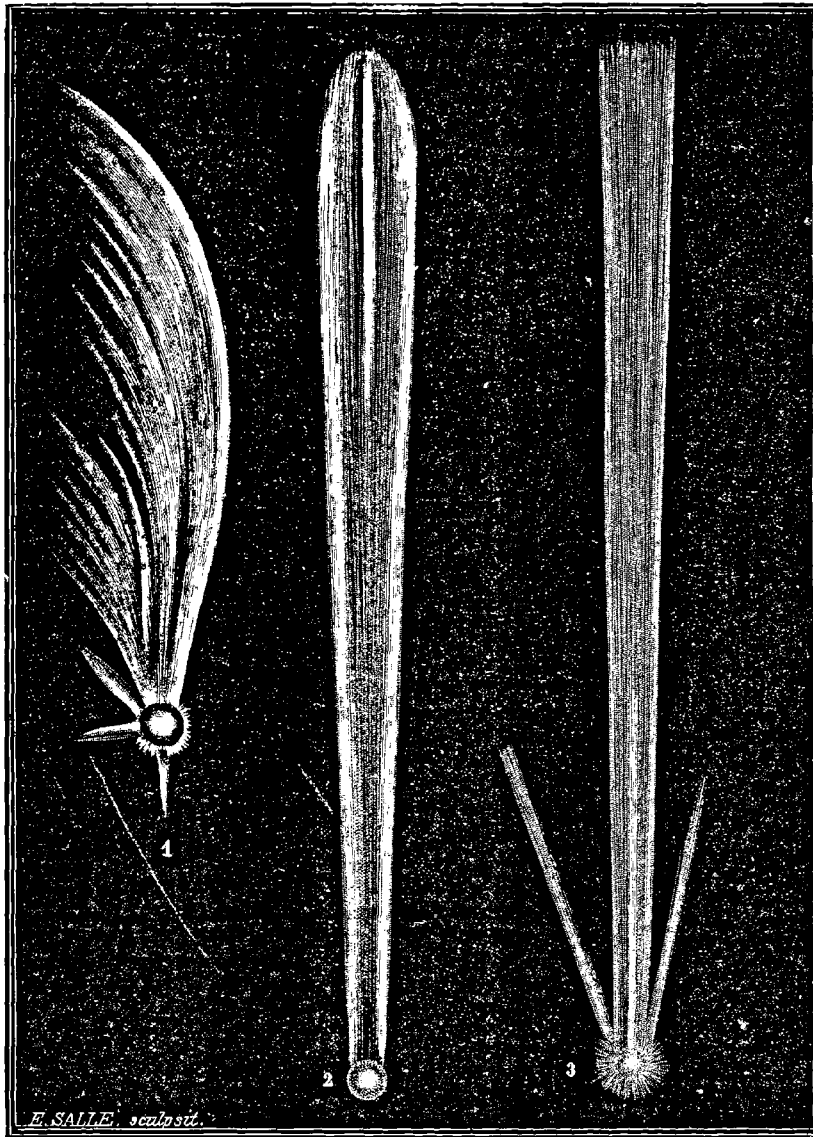


Fig. 127. — 1. Comète dépourvue de queue. — 2. Nébulosité cométaire sans queue ni noyau.

noyau entouré d'une nébulosité, mais n'offrent aucune apparence de queue.

Le caractère nébuleux de la tête n'est pas lui-même indispensable; et l'on voit des comètes qui apparaissent dans le ciel comme de simples étoiles, au point que des observateurs ont pu confondre une planète avec une comète. L'histoire astronomique du dernier siècle offre un exemple frappant de cette confusion qui, du reste, ne peut être de longue durée. Quand W. Herschel découvrit dans les régions éloignées du

1. Nous étudierons plus loin d'autres amas d'apparence vaporeuse dont la nature est profondément distincte de celle des comètes. Ce sont les *nébuleuses*; mais, dès maintenant, nous pouvons signaler une différence entre ces deux genres de nébulosité: les nébuleuses conservent une position fixe, tandis que les comètes se déplacent rapidement sur la voûte céleste.



FORMES DES COMÈTES

1. Comète de 1577, observations de Cornelius Gemma. — 2. Comète de 1680, d'après J. C. Sturm. — 3. Comète de 1769.

monde solaire la planète qui porte le nom d'Uranus, il prit d'abord cet astre pour une comète. Aucune trace de nébulosité n'avait cependant induit en erreur l'illustre astronome de Slough : c'est sur la forme présumée et encore mal déterminée de son orbite qu'il se fondait. Mais il est vrai de dire que, parmi les nombreuses comètes observées jusqu'à ce jour, soit à l'œil nu, soit dans les télescopes, la plupart se distin-

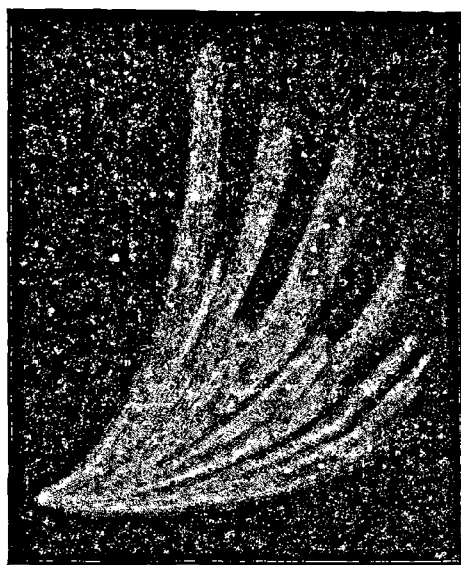


Fig. 128. — Comète de 1744 ou de Chéseaux, à queues multiples, d'après un dessin du temps.

guent par une nébulosité qui entoure le noyau, et un grand nombre, surtout parmi les plus brillantes, possèdent une traînée lumineuse ou queue¹. Chez d'autres, la queue, étalée en éventail, se divise en plusieurs branches, comme si l'astre avait en réalité plusieurs queues distinctes. Les planches XVIII à XXIII et les figures 128 à 133 donnent une idée de la forme variée de ces appendices cométaires.

1. Cette queue, du reste, d'abord peu étendue quand la planète est éloignée du Soleil, se développe ordinairement et prend des proportions d'autant plus

Les comètes, avons-nous dit, font partie de notre monde solaire, au moins pendant leur période de visibilité. Comme les planètes, elles gravitent autour du Soleil, en parcourant avec des vitesses très-variables des courbes extrêmement allongées. C'est la forme des orbites cométaires qui va nous fournir le premier de leurs caractères spécifiques.

Tandis que les planètes aujourd'hui connues se meuvent le long de courbes fermées, presque circulaires, et restent ainsi continuellement visibles pour nous, sinon à l'œil nu, du moins avec l'aide des lunettes, la plupart des comètes circulent autour du Soleil, en décrivant soit des ellipses extrêmement allongées, soit des courbes à branches infinies, ou qui du moins nous semblent telles. Il résulte de là que les comètes ne sont observables que dans une portion très-restreinte de leur parcours, lorsqu'elles se rapprochent le plus du Soleil et de la Terre. En outre, comme les durées de leurs révolutions sont d'autant plus considérables que les dimensions de leurs orbites le sont elles-mêmes davantage, il n'a été possible de constater le retour que d'un très-petit nombre de ces satellites du Soleil. Il en est de même de quelques-unes qui paraissent ne devoir jamais reparaitre dans notre monde. Voici pourquoi :

Qu'on jette un coup d'œil sur la figure 129, elle représente les trois genres de courbes décrites par les diverses comètes observées. La première courbe de forme ovale, ayant le Soleil à son foyer, est l'*ellipse*. C'est une courbe fermée ou rentrante. Si allongée soit-elle, il est clair que l'astre qui la décrit doit revenir périodiquement, à des époques plus ou moins éloignées, à moins de perturbations provenant du passage de la comète près de masses assez puissantes pour changer la forme de son orbite.

La seconde courbe est d'une forme qui a beaucoup d'analogie avec celle d'une parabole. Elle est ouverte en sens inverse, c'est-à-dire que l'astre est plus voisin du périhélie; elle diminue, en sens inverse, quand la comète s'éloigne du Soleil.

logie avec l'ellipse. Elle s'en distingue néanmoins par ce fait que ses deux branches s'éloignent à l'infini et ne reviennent jamais sur elles-mêmes. C'est la *parabole*. Mais il est possible que les comètes dont les orbites semblent paraboliques décrivent en réalité des ellipses extrêmement allongées, qui se confondent avec la parabole pendant la période entière de visi-

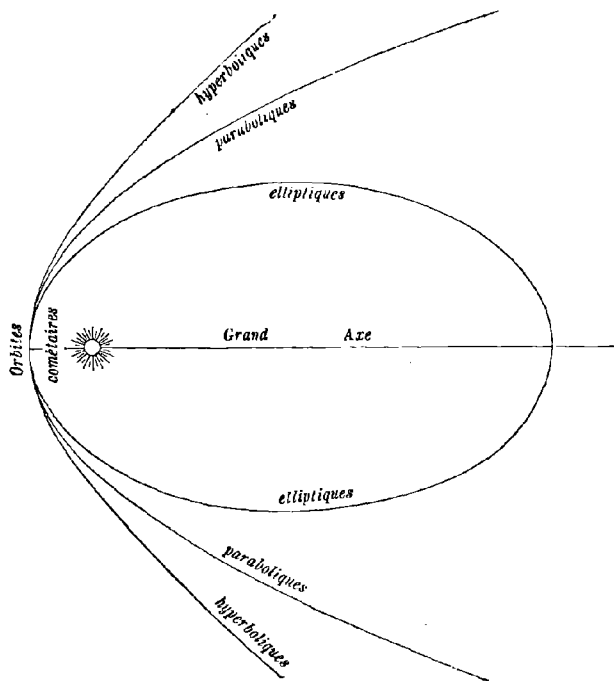


Fig. 129. — Formes des orbites cométaires.

bilité de l'astre. Dans ce cas, la durée des révolutions est la plupart du temps si grande qu'on ne peut point constater leur retour ; mais, rigoureusement, ce retour peut avoir lieu.

Il n'en est plus de même, lorsque la comète décrit la troisième courbe, à laquelle les géomètres donnent le nom d'*hyperbole*. Les deux branches de l'hyperbole non-seulement sont infinies, mais elles se distinguent essentiellement de l'ellipse, en ce qu'elles s'éloignent de plus en plus de la forme ren-

trante qui caractérise cette dernière, et avec laquelle une portion d'hyperbole ne peut jamais être confondue que dans le voisinage du sommet commun. Eh bien, il paraît établi que plusieurs comètes se meuvent dans des courbes de ce genre, de sorte qu'après avoir une fois fait partie de notre monde solaire, elles s'en éloignent à tout jamais, allant peut-être chercher dans les profondeurs du ciel un autre soleil, qu'elles abandonneront plus tard comme le nôtre.

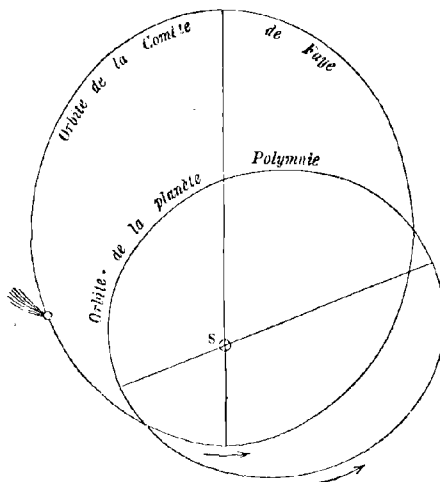


Fig. 130. — Comparaison de l'excentricité des orbites planétaires et des orbites cométaires.

Parmi les orbites cométaires elliptiques, aujourd'hui connues, celle même qui se rapproche le plus du cercle est de beaucoup plus allongée que l'orbite planétaire qui s'en éloigne le plus. Dans la figure 130, où se trouvent tracées, d'une part l'orbite la plus excentrique des planètes connues, et d'autre part l'orbite cométaire la moins allongée, on peut se rendre compte de cette différence.

Ainsi, les comètes se distinguent des planètes par un premier caractère, qui est l'extrême allongement des courbes qu'elles décrivent autour du Soleil.

Il en est deux autres qui ne sont pas moins importants que

celui-là : c'est, en premier lieu, que les inclinaisons des orbites, au lieu d'être renfermées comme celles des orbites planétaires entre de faibles limites, prennent toutes les grandeurs possibles. Il en résulte que les comètes sillonnent en tous sens la voûte étoilée ; bien différentes en cela des autres astres du monde solaire, dont les routes ne s'écartent jamais beaucoup de la zone assez étroite connue sous le nom de Zodiaque.

En second lieu, le sens du mouvement est tantôt celui de l'Occident à l'Orient, tantôt le sens contraire, ou si l'on se rappelle la signification de ces mots, tantôt direct, tantôt rétrograde. Or, on doit avoir présent à la mémoire ce fait fondamental, que toutes les planètes du monde solaire se meuvent dans le même sens, c'est-à-dire d'Occident en Orient, ou de droite à gauche, pour un observateur placé sur la face septentrionale du plan de l'orbite de la Terre.

Telles sont les différences essentielles qui font des comètes une famille particulière de corps célestes, fort intéressants au double point de vue de leurs mouvements et de leur constitution physique, et donnant à la physionomie du groupe solaire, déjà si variée, une richesse incomparable.

§ 2. — Comètes périodiques du monde solaire. — Comète de Halley ; son retour en 1759 et en 1835. — Comète d'Encke, ou à courte période ; accélération de son mouvement. — Dédoublément de la comète de Gambart. — Éléments des principales comètes périodiques.

Malgré les protestations souvent renouvelées des astronomes, on entend encore formuler contre ces savants un singulier reproche. Qu'une comète visible à l'œil nu et remarquable par son éclat et les dimensions de sa queue, vienne à rendre visite aux régions du ciel où se trouve la Terre, et l'on est assuré d'entendre nombre de gens s'étonner que l'apparition de l'astre n'ait point été prophétisée. On va comprendre

pourquoi les savants ne peuvent, en général, annoncer l'approche d'une comète encore invisible, comme ils annoncent la position d'une planète ou les phénomènes des éclipses.

Toutes les comètes, nous l'avons vu, ont le Soleil pour foyer de leur mouvement. Toutes, en venant visiter notre monde, décrivent une courbe autour de l'astre radieux, courbe dont la concavité est toujours tournée vers le Soleil. Mais on vient aussi de voir que la plupart des orbites cométaires sont si allongées, qu'elles semblent être des paraboles dont les branches s'éloignent à l'infini; d'autres seraient même des branches d'hyperbole. Qu'en faut-il conclure pour les comètes qui décrivent dans l'espace de semblables trajectoires? Ou elles ne reviendront jamais, l'immense distance à laquelle elles s'éloignent du Soleil les entraînant peut-être dans la sphère d'attraction de quelque autre monde; ou bien, si elles doivent revenir, ce ne sera sans doute qu'au bout d'un intervalle de temps considérable, après des milliers de siècles. Ainsi, la plupart des comètes, quand elles sont observées, visitent pour la première fois les régions célestes occupées par notre monde; ou bien, si elles sont venues déjà, c'est à des époques tellement éloignées de la nôtre qu'aucune observation humaine n'a pu être transmise jusqu'à nous, si tant est qu'à cette époque l'homme existât déjà sur la Terre. Dans ces deux hypothèses, comprend-on l'impossibilité manifeste d'une prédiction scientifique? Les éléments de cette prédiction manquent encore après une première et unique observation: où les eût-on pris avant la venue de l'astre?

Un certain nombre de comètes, il est vrai, se meuvent dans des orbites fermées, dans des ellipses. Mais parmi ces dernières, il faut distinguer encore les comètes à courtes périodes de celles dont les révolutions durent pendant des siècles, et dont les observations antérieures sont inconnues ou si confuses, qu'il était impossible de baser sur elles seules aucun calcul. Pour celles-là, néanmoins, la science est à même de

prédire leur retour, sinon à jour fixe, du moins entre des limites certaines. Quant aux comètes périodiques, dites comètes à courtes périodes, leurs mouvements sont connus avec une précision qui permet aisément d'en annoncer le retour et d'indiquer, à jour fixe, les divers lieux qu'elles doivent occuper sur la voûte étoilée.

Entrons, à cet égard, dans quelques détails.

La première des comètes, dont la périodicité a été bien constatée, tant par l'observation que par les calculs, porte le nom de Halley, astronome anglais du dix-septième siècle. C'est à ce savant qu'on doit, en effet, l'identification de la comète de 1682 avec celles de 1531 et de 1607, et la prédiction du retour de l'astre pour la fin de 1758 ou le commencement de 1759¹. L'événement justifia la prédiction. Bien plus, à cette dernière époque, l'astronomie cométaire s'éleva, par un coup d'essai qui fut son triomphe, à la hauteur des autres théories astronomiques. Un géomètre français, Clairaut, calcula quel devait être, sur la marche de la comète annoncée, l'effet des perturbations dues aux deux grandes planètes Jupiter et Saturne dans le voisinage desquelles l'astre chevelu devait passer. Il assigna 618 jours de retard, 100 jours dus à l'action de Saturne, 518 à celle de Jupiter. Le retour de l'astre à son périhélie devait ainsi correspondre au milieu d'avril 1759 avec une incertitude d'un mois en plus ou en moins, incertitude provenant de termes que Clairaut, pressé par le temps, avait dû négliger dans son calcul².

1. Halley avait remarqué la presque identité des éléments des orbites des deux comètes qui avaient paru, à 75 ans d'intervalle, en 1607 et 1682. En remontant 76 ans plus haut, il trouva que l'orbite de la comète de 1531, malgré des différences imputables à l'inexactitude des observations, offrait également beaucoup de ressemblance avec l'orbite de la comète de 1682. Enfin, à des intervalles à peu près égaux, il trouvait les apparitions des comètes de 1305, 1380 et 1456. Halley avait déjà exprimé l'opinion que la différence entre les deux plus récentes périodes était due à l'action de Jupiter.

2. Arago, *Astronomie populaire*, II, p. 280.

Depuis, en 1835, la comète de Halley a reparu dans nos régions; mais cette fois son passage fut prédit avec une précision telle, qu'il y eut seulement entre le calcul et l'observation trois jours de différence.

La forme de l'orbite de la comète de Halley est indiquée dans la figure 131, qui donne aussi celles de cinq autres co-

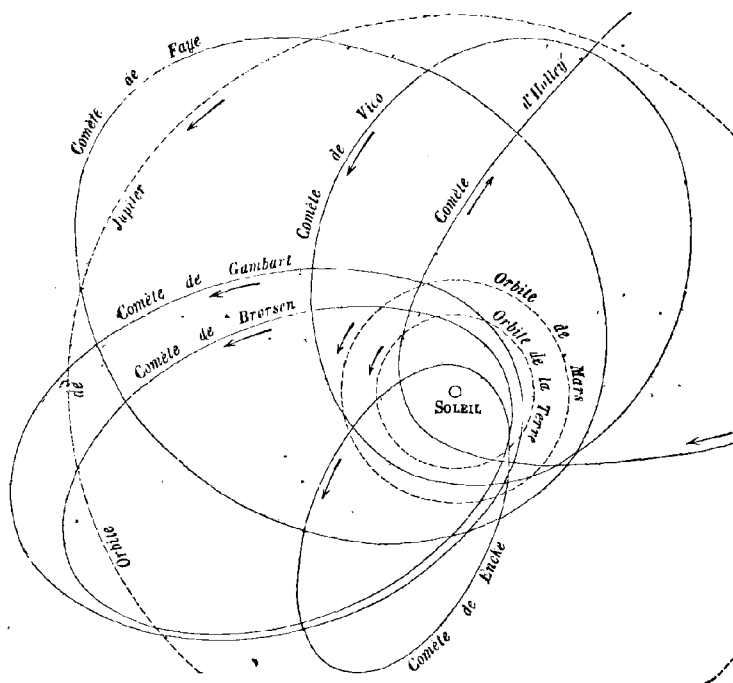
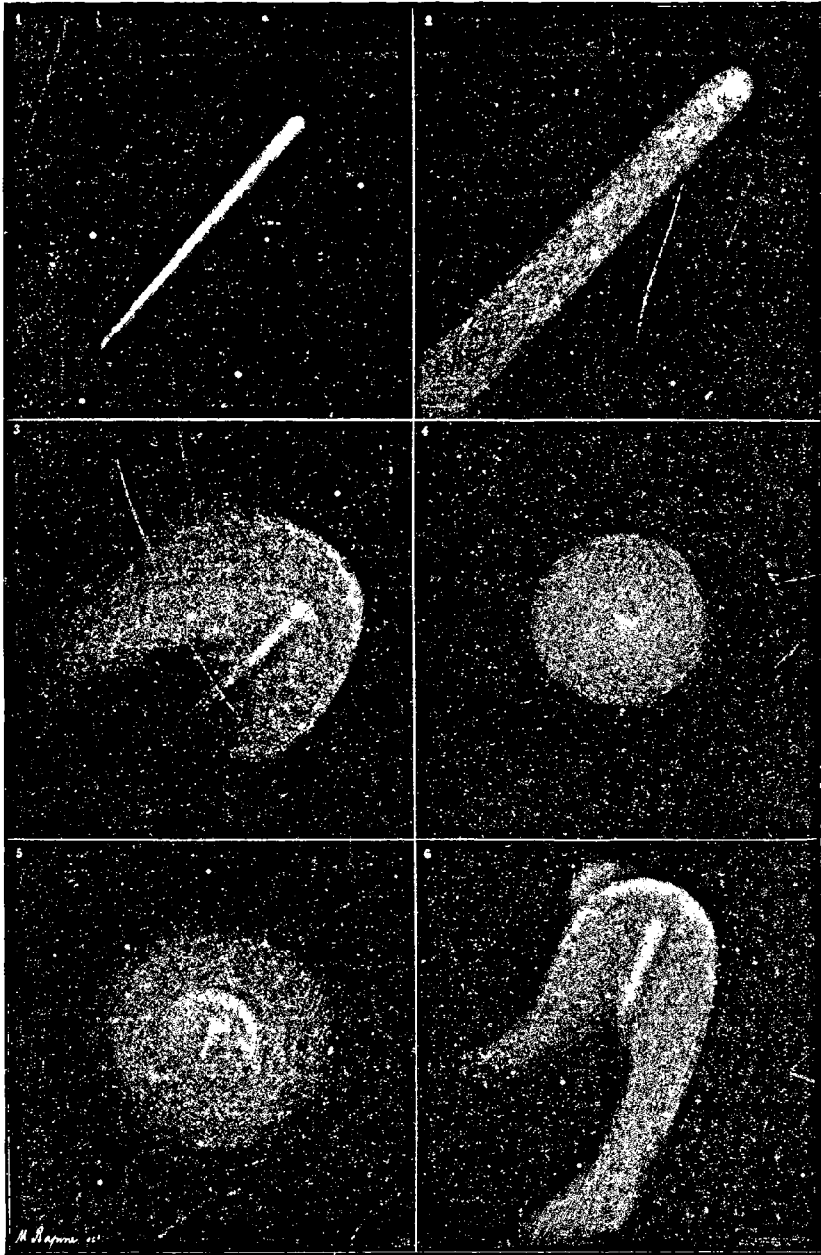


Fig. 131. — Orbites de six des comètes périodiques du monde solaire.

mètes à courtes périodes du système solaire. Cette orbite, trop allongée pour figurer ici dans son entier développement, est complètement représentée dans la planche V (page 101), où l'on peut voir qu'elle dépasse, à son point le plus éloigné du Soleil, l'orbite même de Neptune. Aussi faut-il plus de 76 ans — 27 866 jours — à la comète de Halley pour parcourir cette courbe immense. Ce qui distingue surtout un tel astre des planètes du système, c'est que la forme excentrique



COMÈTE DE HALLEY

D'après J. Herschel. — 1. La comète vue à l'œil nu, dans Ophiucus, le 24 octobre 1835. — 2. *Id.* vue dans une lunette de sept pieds de foyer. — 3, 4, 5, 6. Détails de la tête de la comète, de la fin d'octobre 1835 au commencement de février 1836.

de son orbite, tantôt la rapproche du Soleil à une distance moindre que celle de Vénus, et qui ne dépasse pas vingt-deux millions 500 mille lieues, et tantôt l'éloigne du foyer de chaleur et de lumière à une distance plus de 60 fois aussi grande, qui atteint à peu près un milliard 300 millions de lieues. Ces variations énormes dans les distances forcent à admettre dans l'intensité de la chaleur et de la lumière que la comète reçoit du Soleil les plus étonnantes différences. Et, en effet, cette intensité varie dans la proportion de 3600 à l'unité, ou si l'on préfère, la lumière et la chaleur du Soleil arrivent à la comète avec une force 3600 fois plus considérable au périhélie qu'à l'aphélie. La comète de Halley se meut d'Orient en Occident, dans un plan incliné sur l'orbite de la Terre de la cinquième partie d'un angle droit. On peut voir dans la planche XIX les divers aspects sous lesquels elle s'est montrée en 1835, soit dans son ensemble, soit dans les parties de la nébulosité qui en formait la tête.

En suivant l'ordre des découvertes, c'est la comète d'Encke que nous avons maintenant à décrire.

Invisible à l'œil nu, elle se présente dans les télescopes sous la forme d'une masse vaporeuse, à peu près sphérique, dépourvue à la fois de queue et de noyau lumineux. Circonstance singulière, la nébulosité de la comète d'Encke varie en même temps de forme et de dimensions, et c'est précisément à l'époque de ses plus courtes distances au Soleil qu'on l'a vue sous un plus faible volume.

De toutes les comètes dont le retour périodique a été constaté, c'est celle qui accomplit sa révolution autour du Soleil dans le plus court intervalle de temps. Cette durée est en moyenne de 1205 jours, un peu moins de trois ans un tiers. Elle se meut d'Occident en Orient dans une courbe telle, que sa distance à l'astre central varie entre 13 millions et 156 millions de lieues.

Ainsi, voilà un astre qui, à chacune de ses révolutions, pénètre jusqu'à l'intérieur de l'orbite de Mercure, pour dépasser, tout près de celle de Jupiter, la région des petites planètes. Depuis 1818, époque de sa découverte, tous ses retours, au nombre de quinze, ont été régulièrement constatés; mais, circonstance remarquable, la durée de sa révolution va en diminuant sans cesse, de sorte que, si cette diminution progressive suit toujours le même ordre, on pourra calculer l'époque, encore bien éloignée du reste, où la comète ira, en décrivant une spirale, se plonger dans la masse incandescente ou dans l'atmosphère du Soleil. Ce rapprochement continu a été attribué à la résistance d'un milieu qui remplirait les régions de l'espace, voisines du foyer de notre monde¹.

La comète d'Encke est aussi spécialement désignée par l'appellation de *comète à courte période*.

Parmi les sept autres comètes, dont le calcul et l'observation ont à la fois confirmé la périodicité, et qui portent les noms de Gambart ou de Biela, de Faye, de Vico et de Brorsen,

1. Il semble étonnant, au premier abord, qu'une résistance au mouvement puisse produire une accélération dans la durée des révolutions successives. La première tendance de l'esprit est d'y voir, au contraire, une cause de ralentissement. Mais avec un peu de réflexion, il est aisé de se convaincre de l'exactitude de la première explication, ou, du moins, de sa probabilité. J'ai fait voir dans un autre ouvrage (*LES MONDES, XIX^e causerie*) comment la théorie rend compte de ce résultat, l'accélération étant une conséquence directe de la résistance du milieu et de la théorie de la gravitation universelle. Cette explication serait ici prématurée, puisque c'est dans la troisième partie du CIEL que se trouve l'exposé des lois astronomiques. Le milieu que l'on suppose pour expliquer l'accélération de la période de la comète d'Encke serait-il l'anneau nébuleux qui forme la lumière zodiacale? Ou encore ne pourrait-on attribuer le même phénomène aux perturbations que subit l'astre à ses passages périodiques à travers les essaims d'étoiles filantes ou l'anneau des planètes télescopiques? Toutes ces questions sont encore à l'état de problème, et ce n'est pas, on le comprendra, le lieu de discuter les divers degrés de probabilité de chacune d'elles. On verra plus loin que M. Faye, attribuant à la chaleur solaire une force répulsive, a exposé, il y a quelques années, une théorie de la constitution physique des comètes qui rendrait compte à la fois et de la forme des appendices de ces astres et de l'accélération de la période que l'observation a constatée pour la comète d'Encke.

de Winnecke, de d'Arrest et de Méchain, il n'y a guère que la première qui mérite une mention spéciale. Les autres, toutes télescopiques, n'ont offert jusqu'ici, sous le rapport de leur aspect physique, aucun intérêt particulier¹.

Il n'en est pas de même de la comète de Gambart. Découverte en 1826, elle effectua sa première réapparition dans l'automne de 1832, et causa une vive émotion par l'annonce, un peu prématurée, qu'elle devait à son passage venir rencontrer et heurter la Terre. Des calculs plus précis démontrèrent, bien avant l'événement, que la comète arriverait au point commun des orbites des deux astres un mois avant notre globe, et qu'ainsi toute rencontre était évidemment impossible. Mais l'alarme était donnée. Les imaginations s'exaltèrent et l'idée de la fin du monde — de notre monde terrestre en tout cas — envahit nombre de cervelles. Croirait-on que parmi les personnes même qui eurent confiance dans la précision des calculs astronomiques, il s'en trouva qui craignirent tout au moins un dérangement pour l'orbite de notre planète. Sans doute, pour elles, une orbite était quelque chose de matériel, un cercle métallique par exemple, un rail céleste. « Comme si, dit Arago en rapportant cette plaisante conception, la forme de la route parabolique qu'une bombe va parcourir dans l'espace en sortant du mortier, pouvait dépendre du nombre et de la position des courbes que d'autres bombes auraient anciennement décrites dans les mêmes régions² ! »

Plus loin nous dirons quelques mots de cette question qui

1. Disons toutefois que la comète de Faye a fait sa troisième réapparition en 1865. Elle a été revue à Paris et à Copenhague sous la forme d'un noyau lumineux entouré d'un halo circulaire. La durée de sa période paraît subir, comme celle d'Encke, une diminution sensible.

2. Peut-être aussi ces personnes entendaient-elles par là que la masse de la comète était capable, par le rapprochement des deux astres, de troubler la marche de la Terre, et, par suite, de modifier les éléments de son orbite, hypothèse qui n'a pu se vérifier, la masse cométaire étant beaucoup trop faible, mais qui n'a rien que de très-rationnel.

peut un jour intéresser vivement les habitants du globe terrestre, à savoir, du danger et de la probabilité de la rencontre d'une comète et de la Terre.

Si la comète de Gambart ne réalisa point les craintes qu'on avait conçues, elle subit elle-même plus tard une étrange transformation : elle se dédoubla. Dès 1846, elle apparut sous la forme de deux comètes, d'inégales grandeurs, qui s'éloignèrent de plus en plus. En 1852, les deux comètes reparurent voyageant de concert, mais la distance des deux noyaux, qui

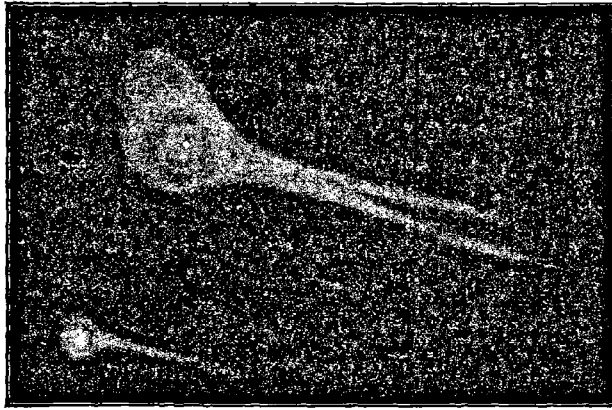


Fig. 132. — Dédoublément de la comète de Gambart, d'après les dessins de Struve.

était déjà de 60 000 lieues en 1846, s'élevait alors à un demi-million de lieues. Ce qui est plus étrange encore, c'est qu'elle n'a pas été revue à son retour de 1865, lequel devait avoir lieu à la fin de l'année : la matière dont elle se compose serait-elle entièrement dispersée sous forme d'essaim de météores, ainsi que le donne à penser l'identité présumée de son orbite et des étoiles filantes de décembre ? Les annales de l'astronomie avaient enregistré déjà de semblables transformations ; mais comme il s'agissait de comètes qui n'ont point reparu, les savants hésitaient à croire à la réalité d'un fait sur lequel il ne peut y avoir désormais aucun doute.

Voici d'ailleurs pour toutes les comètes périodiques citées plus haut les durées des périodes de révolution, ainsi que leurs distances extrêmes au Soleil, exprimées en millions de kilomètres :

Comètes	Périodes de révolution.		Distances au Soleil.	
			Aphélie.	Périhélie.
Comètes d'Encke. . . .	3	29	623	52
— de Vico. . . .	5	46	764	177
— de Winnecke . . .	5	54	—	—
— de Brorsen . . .	5	58	864	103
— de Gambart . . .	6	61	941	132
— de d'Arrest, . .	6	64	876	180
— de Faye. . . .	7	44	971	316
— de Méchain. . .	13	60	—	—
— d'Halley	76	78	5150	90

Toutes ont leur mouvement dirigé dans le sens même du mouvement des planètes, d'Occident en Orient. Parmi les comètes périodiques déjà citées, celle de Halley fait seule exception.

Nous nous bornerons aux détails qui précèdent relativement aux éléments astronomiques des comètes périodiques. Il nous reste à donner quelques détails sur les comètes à longues périodes ou dont le retour n'a pu être constaté ; nous dirons ensuite ce qu'on croit savoir de la constitution physique de ces astres étranges, si différents du moins de ceux que nous avons eu à étudier jusqu'ici.

§ 3. — Nombre considérable des comètes qui viennent visiter notre monde solaire; comètes télescopiques. — Comètes à longues périodes. — Grandes comètes visibles à l'œil nu. — Constitution physique des comètes; masse, densité, nature de leur lumière.— Danger qui pourrait résulter de la rencontre d'une comète avec la Terre.

Faut-il prendre à la lettre la comparaison de Kepler, qui assure que les comètes sont répandues dans le ciel avec autant de profusion que les poissons dans l'Océan? Arago, adoptant l'hypothèse d'une égale distribution des comètes dans toutes

les régions du système solaire, et fondant ses calculs sur le nombre des comètes observées entre le Soleil et Mercure, évalue à dix-sept millions et demi le nombre de ces astres qui sillonnent probablement le système solaire en deçà de ses limites connues, c'est-à-dire de l'orbite de Neptune¹.

Quoi qu'il en soit de ces hypothèses, l'observation prouve d'année en année que le nombre des comètes est vraiment considérable. Sans parler des réapparitions, on en voit sans cesse de nouvelles arriver des profondeurs de l'espace, décrire autour du Soleil la courbe qui témoigne de la puissance attractive de l'astre radieux, et s'éloignant la plupart pour des siècles, retourner loin de lui achever une fois encore leurs immenses évolutions.

Depuis deux ou trois siècles seulement qu'on les observe avec soin, plus de deux cents ont été enregistrées². En y joignant celles dont les annales plus anciennes ont noté l'apparition, il en faudrait compter cinq ou six cents, parmi lesquelles il n'y en a que quarante environ dont la période de révolution ait pu être calculée.

Sur ce dernier nombre, cinq comètes effectuent leurs mouvements dans des périodes qui varient entre 69 ans et 75 ans.

1. Dès 1765, Lambert, basant ses calculs sur d'autres données, regardait comme une évaluation très-modique celle qui faisait mouvoir, seulement jusqu'à Saturne, 500 millions de comètes. Voy. *Lettres cosmologiques*, p. 43, édit. de 1784.

2. Depuis l'invention des lunettes, le nombre des comètes observées s'est considérablement accru, parce qu'aux comètes visibles à l'œil nu, relativement très-rares, sont venues se joindre les comètes dont l'éclat est trop faible pour qu'on puisse les voir autrement qu'au télescope. Il ne se passe guère d'année maintenant qu'on n'en découvre deux ou trois, et même davantage : en 1846, on en a trouvé huit; dans chacune des années 1857, 1858 et 1863, on a découvert six comètes nouvelles. On reconnaît une comète télescopique à peu près comme une petite planète, en observant le déplacement du point lumineux et nébuleux par rapport aux étoiles voisines. Mais c'est du côté de l'Orient, avant le lever du Soleil, ou du côté de l'Occident, après son coucher, que doivent se faire surtout les recherches, parce que ces astres ne deviennent visibles que dans une portion restreinte de leurs orbites, quand ils commencent à se dégager des rayons solaires, ou qu'ils n'y sont point encore plongés.



COMÈTE DE DONATI

D'après P. G. Bond. — 1. Le 24 septembre 1858. — 2. Le 26 septembre.

Mais que dire de celles qui mettent des milliers d'années à accomplir leurs révolutions, de cette fameuse comète de 1680, dont le périhélie est si voisin du Soleil, que Newton évaluait à deux mille fois la chaleur du fer rouge la température subie par l'astre dans ce passage ? Sa période est de 8814 ans. Mais il en est de plus longues encore, et la période de la comète de juillet 1844 n'a pas été estimée moindre de cent mille années. Si le calcul est exact, voilà une comète dont le retour sera observé, dans mille siècles, par les astronomes de l'an 101 844 ! Au milieu de cette immense période, elle aura été se perdre dans l'espace à une distance qui ne vaut pas moins de quatre mille fois celle du Soleil à la Terre.

La vitesse des comètes, diminuant comme celle des planètes, à mesure que s'accroissent leurs distances au Soleil, varie entre des limites très-étendues, et à leur plus grande distance de l'astre central, cette vitesse est excessivement faible : c'est ainsi que la comète de 1680 ne parcourt guère, à son aphélie, que trois mètres par seconde.

Parmi les nombreuses comètes observées, il en est très-peu qui soient visibles à l'œil nu et un plus petit nombre encore qui frappent le public par leurs grandes dimensions et l'éclat de leur lumière. Ce sont celles-là néanmoins qui présentent le plus d'intérêt, à cause des phénomènes dont leurs queues et leurs nébulosités sont le théâtre, phénomènes bien propres à jeter un certain jour sur leur constitution physique.

Au nombre des comètes les plus remarquables des siècles passés, il faut citer la grande comète de 1500, que le peuple d'Italie avait surnommée *il signor Astone* ; la comète dite de Charles-Quint, de 1556, qui, selon les calculs des astronomes, ayant déjà paru en 1264, devait faire sa réapparition vers 1860 et n'a pas été revue ; celle de 1686, dont le noyau brillait comme une étoile de première grandeur ; la comète de 1744, aux queues multiples, et celle de 1769, qu'on peut voir repré-

sentées d'après des dessins du temps dans la planche XVIII et dans la figure 128.

La période écoulée du dix-neuvième siècle a été riche en brillantes comètes visibles à l'œil nu. Nous reproduisons ici quelques-unes des plus remarquables : c'est d'abord la grande comète de 1811, dont l'apparition a fait une sensation extraordinaire, et qui ne doit revenir qu'au bout de trente siècles. Sa nébulosité ne mesurait pas moins de 450 000 lieues de diamètre, tandis que le noyau lumineux n'embrassait guère que

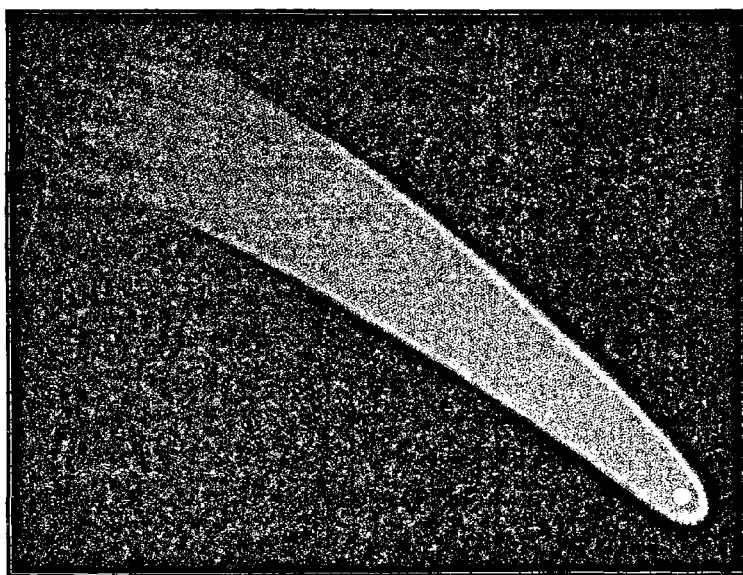
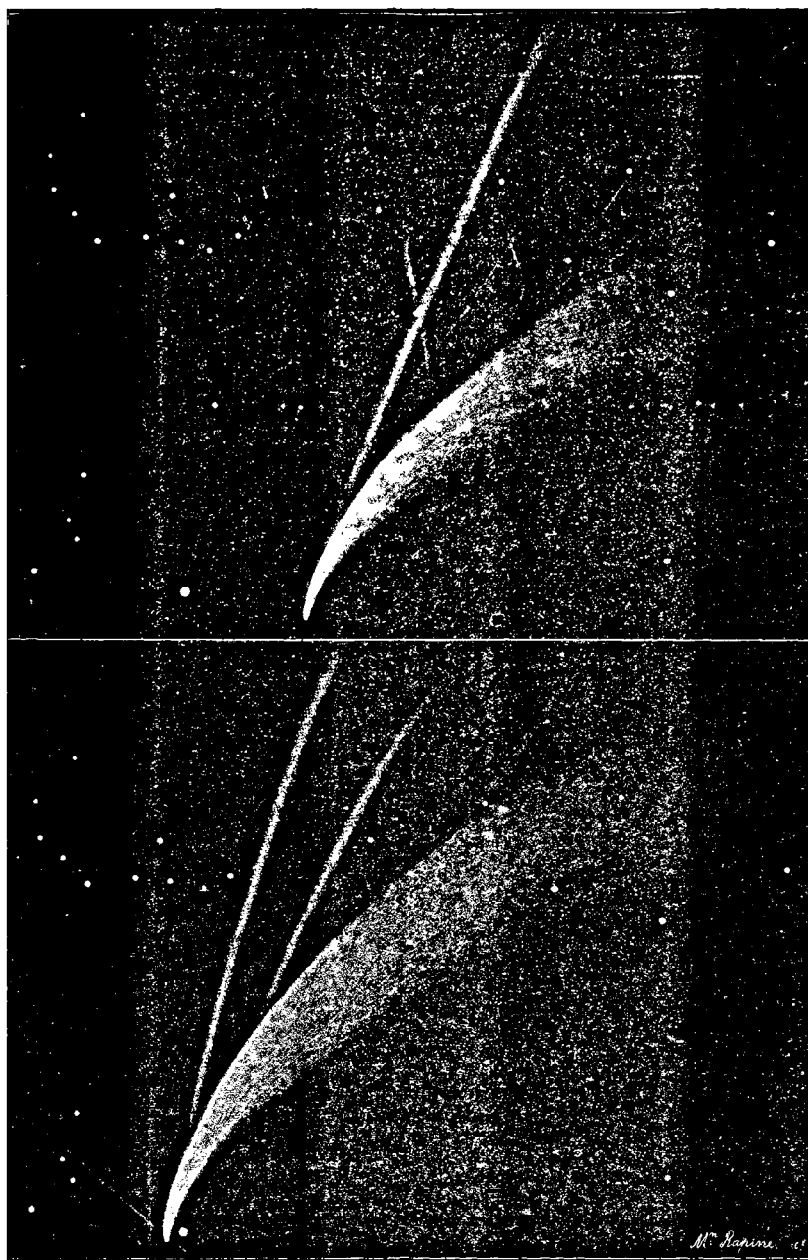


Fig. 133. — Grande comète de 1811, d'après un dessin du *Speculum Hartwellianum* de l'amiral Smyth.

170 lieues. La queue, de dimensions prodigieuses, atteignit une longueur de 45 millions de lieues.

La grande comète de 1843 fut l'une des plus brillantes qu'on ait observées jamais. Non-seulement le noyau, mais une portion de la queue fut visible en plein jour. Cette queue était en outre fort remarquable par sa longueur et plus encore par l'uniformité de sa largeur. C'est, de toutes les comètes con-



COMÈTE DE DONATI

† D'après P. G. Bond. — 1. Le 3 octobre 1858. — 2. Le 5 octobre,

nues, celle qui s'est le plus approchée du Soleil. Au moment de sa plus courte distance au centre du foyer de notre monde, le noyau n'était plus qu'à 190 000 lieues de ce centre, et par conséquent à 12 000 lieues seulement de la surface du Soleil.

Dans ces dernières années, quatre comètes visibles à l'œil nu ont été l'objet des observations les plus intéressantes.

La plus brillante de toutes, la comète de Donati, a fait son apparition en 1858. Aperçue à Florence, pour la première fois, le 2 juin, par l'astronome dont elle porte le nom, elle devint visible à l'œil nu vers les premiers jours de septembre et bientôt se distingua, au milieu des constellations boréales, par l'éclat du noyau brillant et le magnifique développement de sa queue. Les personnes qui ont été témoins du spectacle splendide offert par les nuits où ce bel astre fut visible, pourront reconnaître et suivre, dans les planches XXI, XXII et XXIII, l'aspect de la comète à diverses époques, et sa marche à travers la voûte étoilée¹.

En 1861, 1862 et en 1865, trois autres comètes furent également visibles, bien qu'inférieures en éclat à la comète de 1858. On trouvera plus loin (fig. 134 et 135 et pl. XXIII) des représentations détaillées de la tête et des enveloppes nébuleuses des deux premiers de ces astres, détails intéressants au point de vue de leur constitution physique. Les problèmes qui se rattachent à l'étude de cette constitution sont nombreux et d'une solution difficile. On peut se demander en premier lieu quelle est la nature de la matière qui les compose, si cette matière est entièrement gazeuse, ou si les noyaux renferment des parties liquides ou même solides; quelle est leur masse,

1. Les observations de la comète de Donati, qui ont été très-nombreuses en Europe et en Amérique, ont été recueillies et discutées par l'astronome américain G. P. Bond, dans un magnifique ouvrage enrichi d'un grand nombre de planches, *Account of the great comet of 1858*. C'est à cette publication que nous avons emprunté les dessins de plusieurs de nos planches.

quelle est leur densité ; si la queue est de même nature que la chevelure ou le noyau, en vertu de quelle influence se forment ces appendices singuliers qui, presque nuls quand la comète est éloignée du Soleil, se développent à mesure qu'elle s'en approche, pour diminuer ensuite et finalement disparaître dans la seconde moitié de l'orbite de l'astre.

Vient ensuite la question de la lumière qui rend les comètes visibles dans l'espace. Les comètes brillent-elles d'un éclat qui leur est propre ; empruntent-elles leur lumière au Soleil, ou bien nous envoient-elles des rayons provenant à la fois de ces deux sources ? D'autre part, peut-on conjecturer quelque

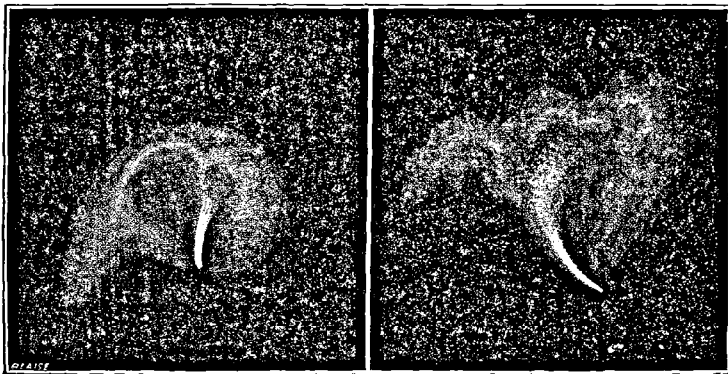
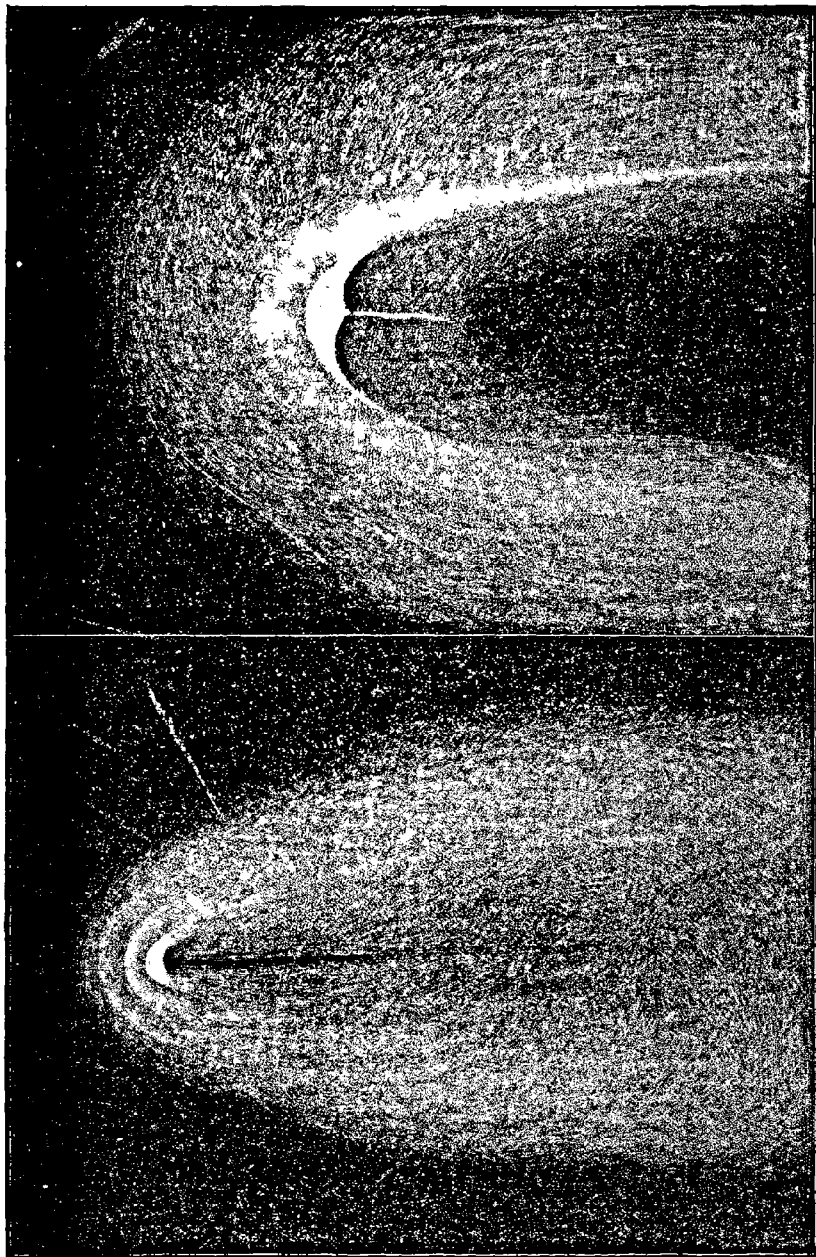


Fig. 134. — Comète de 1862. Formes et positions des aigrettes lumineuses le 23 août, à 1 h. du matin et à 9 h. du soir.

chose de plausible sur leur température, sur les changements qu'apportent à cet élément les prodigieuses variations de distance qui sont la conséquence de l'extrême allongement de leurs orbites ? Enfin, quelle est la cause des modifications que subissent ces astres étranges, non-seulement d'une révolution à l'autre, mais, sous nos yeux mêmes, pendant la courte durée d'une apparition unique ? Non-seulement la queue se forme, se développe, diminue et disparaît, mais encore l'enveloppe même du noyau est sujette à de curieuses transformations. Qu'on



TÊTES ET NOYAUX DES COMÈTES

1. Comète de Donati, d'après G. F. Bond, le 29 septembre 1858.
2. Comète de 1861, d'après Warren de la Rue, le 2 juillet.

jette un coup d'œil sur les dessins des figures 134 et 135, dessins qui représentent le noyau et la tête de la comète de 1862, à des intervalles d'un jour au plus; on sera surpris de la rapidité des changements de position et de forme des aigrettes lumineuses qui s'échappaient successivement du noyau dans une direction presque toujours opposée à celle de la queue. Dans un intervalle de dix-sept jours, l'habile observateur à qui nous devons la communication de ces dessins, M. Chacornac, a pu suivre treize émissions distinctes, pareilles à des jets de vapeur, et alternativement dirigées vers le Soleil

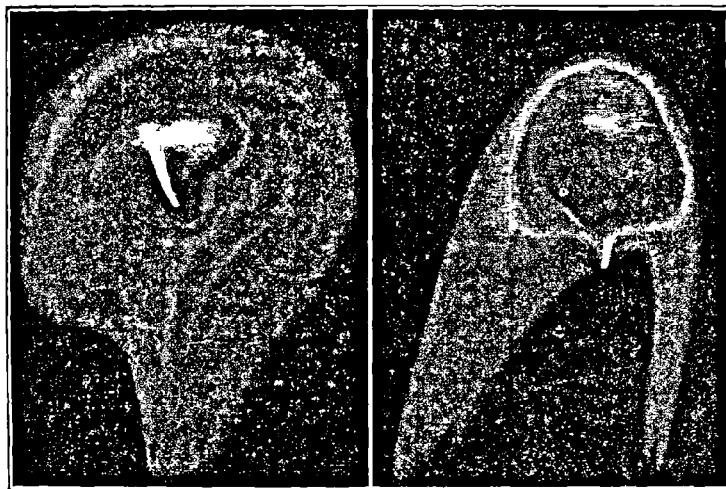


Fig. 135. — Comète de 1862. Aspect de la tête de la comète, le 23 août, à 9 h. du soir, et le 24 août, à la même heure.

et à l'est de cet astre, c'est-à-dire à l'opposé du mouvement de la comète. Après chacune de ces émissions, la matière nébuleuse accumulée à l'extrémité du jet paraissait refoulée par une force répulsive émanée du Soleil, puis s'écoulait dans la direction de la queue.

Diverses hypothèses ont été proposées depuis deux siècles et même antérieurement, pour l'explication des phénomènes cométaires et notamment pour celle de la formation et du dé-

veloppement des queues. Aucune n'a encore réuni l'assentiment général des astronomes. D'après Apien, Cardan, Tycho-Brahé, la queue ne serait qu'une simple apparence optique due à la réfraction subie par la lumière du Soleil, quand elle traverse le milieu gazeux et transparent de la nébulosité qui environne le noyau. Cette idée a été reprise de nos jours et soutenue par Gergonne, qui a fait voir qu'on peut rendre compte des formes variées de l'appendice cométaire, par celles des caustiques par réfraction que produit la masse nébuleuse et réfringente, selon la nature optique des couches traversées par la lumière. Mais cela suppose un milieu réfléchissant, s'étendant à une grande distance du noyau, et qu'on ne peut admettre à cette distance, soit comme une atmosphère de la comète, soit comme une extension de l'atmosphère du Soleil.

Il paraît plus probable, et on peut même considérer comme certain, que les queues ont une existence réelle, que ce sont des agglomérations de corpuscules détachés de la nébulosité cométaire par une sorte de force répulsive et entraînées hors de l'attraction du noyau, dont elles suivent le mouvement en vertu de leur seule vitesse acquise. Mais qu'est-ce que cette force répulsive ? Est-ce une force réelle due à l'action mécanique des radiations solaires, comme l'ont pensé Kepler, Euler, Laplace ? Cette action, qui se concevait aisément dans la théorie de l'émission, est difficile à admettre aujourd'hui que la théorie des ondulations lumineuses l'emporte définitivement. Est-ce une répulsion apparente due à la différence de pesanteur de la matière qui forme la queue et du milieu où elle se meut ? Telle était la manière de voir de Newton, et, après lui, de Hooke, de Boscowitch ; celui-ci comparait l'émission de la queue à l'opposé du Soleil, à l'ascension des vapeurs qui s'élèvent, en vertu de leur légèreté spécifique, au-dessus des couches plus denses de l'atmosphère. Est-ce, comme le pense sir John Herschel, une action de l'électricité positive du Soleil, laquelle, à mesure que la comète s'approche de l'astre,

l'électrise par influence ? Le noyau se chargerait ainsi d'électricité négative, tandis que la nébulosité électrisée positivement serait refoulée loin de la source, c'est-à-dire à l'opposé du Soleil, et irait former la queue. Enfin, est-ce une force polaire, analogue au magnétisme, comme l'a soutenu Bessel, qui voyait dans cette hypothèse un moyen d'expliquer les balancements des aigrettes lumineuses ?

Il y a quelques années, un géomètre français, M. E. Roche, professeur à la Faculté des sciences de Montpellier, a repris, par l'analyse mathématique, l'étude de la figure des comètes. En n'admettant d'abord que les effets ordinaires de la chaleur solaire et de la force de gravitation, ce savant reconnut qu'on pouvait expliquer ainsi la formation des auréoles successives, détachés du noyau par la chaleur ; que, par un effet analogue à celui des marées, la matière cométaire ainsi soulevée et formant d'abord deux bourrelets, l'un du côté du Soleil et l'autre à l'opposé, devait, en dépassant les limites de l'attraction nucléale, s'écouler de part et d'autre et donner lieu à deux queues symétriquement placées. L'hypothèse était donc incomplète, puisqu'en général la queue existe seulement à l'opposé du Soleil. Mais, à la même époque, M. Faye, discutant les théories proposées et les récentes observations de la comète de Donati, se prononçait pour l'hypothèse d'une force répulsive réelle, due à la chaleur solaire, agissant en raison inverse du carré de la distance, proportionnellement non pas aux masses, mais aux surfaces, sur la matière excessivement raréfiée. Le savant astronome fit voir que cette hypothèse rendait compte, non-seulement du développement des queues par le refoulement des aigrettes et des auréoles, de leur courbure, mais encore de l'accélération du mouvement de l'astre, telle que l'observation l'a constatée pour la comète d'Encke, et depuis, pour celle de Faye. En effet, en introduisant cette force nouvelle dans ses formules, M. E. Roche a montré que la théorie et l'observation donnaient sensiblement les mêmes

formes pour les appendices cométaires. Mais il reste à savoir, et c'est là une question qui est du ressort de l'expérience, si une telle force physique accompagne réellement l'émission calorifique d'une source aussi puissante que la chaleur solaire.

A ces questions d'un grand intérêt, et, il faut le dire, encore bien obscures, s'en joignent d'autres qui ont eu, à plusieurs reprises, le privilège de captiver l'attention du public. Nous avons vu que la comète périodique de Gambart a failli, en 1832, rencontrer la Terre. Que fût-il résulté d'un pareil événement ?

Il y a un siècle, les savants considérait encore les comètes comme des astres dont la rencontre avec notre globe, ou avec une planète quelconque, pouvait amener pour ces derniers corps les plus funestes conséquences.

« Quand on considère le mouvement des comètes, dit Lambert dans ses *Lettres cosmologiques* (édition Mérian, p. 5), et que l'on réfléchit sur les loix de la pesanteur, on s'aperçoit sans peine que leur approche de la terre pourroit y causer les événements les plus sinistres, y ramener le déluge universel, ou la faire périr dans un déluge de feu, la briser en menue poussière, ou du moins la détourner de son orbite, lui enlever sa lune, qui pis est, l'enlever elle-même, l'emporter au delà des régions de Saturne, et nous faire souffrir un hiver de plusieurs siècles, auquel ni les hommes, ni les animaux ne seroient capables de résister. Les queues mêmes des comètes ne seroient plus des phénomènes sans conséquence, si, en s'éloignant de nous, les comètes les laissoient, en tout ou en partie, dans notre atmosphère. »

Maupertuis, à la même époque, avait déjà décrit à peu près de la même manière les accidents que la crainte d'une rencontre de la Terre et d'une comète faisait imaginer alors aux astronomes. Seulement à côté des inconvénients possibles, il énumérait les avantages qu'on pourrait retirer de l'action à

distance de ces astres, comme le changement des saisons en un printemps perpétuel, l'acquisition de nouvelles lunes, d'un anneau à l'instar de celui de Saturne. Puis il ajoutait :

« Quelque dangereux que seroit le choc d'une comète, elle pourroit être si petite, qu'elle ne seroit funeste qu'à la partie de la terre qu'elle frapperoit : peut-être en serions-nous quittes pour quelque royaume écrasé, pendant que le reste de la terre jouiroit des raretés qu'un corps qui vient de si loin y apporterait. On seroit peut-être bien surpris de trouver que les débris de ces masses que nous méprisons, seroient formés d'or et de diamants; mais lesquels seroient les plus étonnés, de nous ou des habitants que la comète jetteroit sur notre terre? Quelle figure nous nous trouverions les uns aux autres !. »

Aujourd'hui les astronomes semblent bien revenus de ces craintes. Non-seulement, selon eux, la probabilité du choc est si faible qu'il n'y a pas lieu de s'inquiéter d'un tel événement; mais encore la masse de la plupart des comètes paraît une si petite fraction de la masse du globe terrestre, que le choc dont il s'agit serait tout à fait insensible.

Cette manière de voir s'appuie sur des considérations et sur des faits qui la rendent très-probable. On a vu quelles perturbations considérables la comète de Halley avait subies, dans l'intervalle de 1682 à 1759, de la part des planètes Jupiter et Saturne, tandis qu'elle-même ne troublait pas d'une manière sensible les mouvements de ces corps. La comète de Lexell, en passant en mai 1767 dans le voisinage de Jupiter, fut troublée par la masse de la colossale planète, et son orbite modifiée au point qu'elle devint périodique : elle revint au périhélie en juin 1770; on ne la revit pas en 1776. A son retour de 1779, elle passa de nouveau près de Jupiter, et son orbite fut une seconde fois tellement altérée que la comète n'a

1. *Lettre sur la comète; Œuvres de M. de Maupertuis*, p. 203. Dresde, 1752.

pas été revue depuis. Cependant, on n'a observé aucune perturbation dans le mouvement de Jupiter ni dans celui de ses satellites. Ajoutons que, le 3 juillet 1770, la même comète passa à une distance de la Terre égale à 6 fois seulement la distance de la Lune, et, d'après les calculs de Laplace, si sa masse eût été seulement égale à la 5000^e partie de celle de la Terre, la durée de l'année sidérale eût été augmentée d'une seconde. Or, rien de semblable n'a été constaté.

Il paraît donc que la masse de ces deux comètes était très-faible. Mais en serait-il de même de toutes les comètes ? A notre avis, il est au moins prudent de ne pas trop généraliser en pareille matière. S'il existe des comètes dont la nébulosité paraît entièrement gazeuse, et si diaphane que de petites étoiles sont restées visibles au travers de la chevelure, il en est d'autres dont le noyau est sans doute fort dense, puisque leur lumière était assez vive pour être perceptible en plein jour, même dans le voisinage du Soleil. M. Roche a évalué la masse de la comète de Donati à environ la 20 000^e partie de la masse de la Terre, c'est-à-dire à 53 fois celle de l'atmosphère terrestre. C'est le poids d'une sphère d'eau de 400 kilomètres de rayon. Il est clair que la rencontre d'une telle masse, venant à choquer notre globe avec la vitesse considérable dont elle est animée, ne serait pas pour nous sans danger.

De la chaleur propre aux comètes et de la nature de lumière qu'elles émettent, on sait peu de chose encore.

Sans doute, dans le voisinage du Soleil, l'action de la haute température de l'astre radieux ne peut manquer de se faire sentir sur les couches extérieures des noyaux cométaires ; et c'est ainsi, nous venons de le voir, qu'on se rend compte de la formation des aigrettes lumineuses qui, se détachant de la masse centrale et refoulées par une force inconnue, vont donner naissance à la queue. D'autre part, il paraît avéré que la lumière des comètes est, en partie du moins, empruntée au Soleil. Mais n'ont-elles pas en outre un éclat qui leur est propre ? et, dans

cette dernière hypothèse, cet éclat est-il dû à une sorte de phosphorescence ou à l'état d'incandescence du noyau ?

L'analyse spectrale a déjà fourni quelques résultats intéressants, répondant en partie à ces questions. La lumière de quelques comètes (celles de Brorsen, de Winnecke, observées par MM. Huggins, Secchi et Wolf, de la comète II de 1868, par M. Huggins), analysée à l'aide du prisme, a donné un spectre continu très-faible, avec trois bandes brillantes inégalement espacées, indiquant d'une part que la lumière de la chevelure ou celle de la queue est la lumière du Soleil réfléchie, d'autre part que le noyau de l'astre, lumineux par lui-même, était un gaz en ignition. M. Huggins a constaté l'identité des trois raies de la comète de 1868 avec celle du spectre du carbone, réduit à l'état de vapeur. La composition chimique de certaines comètes serait donc principalement celle d'une masse gazeuse de carbone incandescent : la chaleur et la répulsion solaire combinées produiraient les aigrettes et les enveloppes successives, puis la queue, par un refoulement violent et rapide de la matière réduite à un état de ténuité excessive. Ayant alors perdu la propriété d'émettre elle-même de la lumière, cette matière, en se condensant, soit par le refroidissement, soit par une action chimique, deviendrait susceptible de réfléchir la lumière solaire et se montrerait à nous sous la forme d'appendices ou de queues¹.

1. Voyez un Mémoire d'Huggins, *Observations of Comet II 1868*, présenté à la Société royale de Londres, le 2 juillet 1868; et, du même, *On some observations of Comets*, dans le *Philosophical Magazine* de juin 1869.

II

LES ÉTOILES FILANTES.

§ 1. — Aspect des étoiles filantes à l'œil nu ; leur éclat apparent, les diverses formes de leurs traînées ; couleurs de leur lumière. — Les bolides. — Nombre des étoiles filantes visibles à l'œil nu ; averse, pluies et essaims de météores ; étoiles filantes sporadiques. — Évaluation du nombre total des étoiles filantes, soit visibles à l'œil nu, soit télescopiques, qui pourraient se voir de tous les points de la Terre, pendant le jour et pendant la nuit. — Essaims météoriques du 10 août et du 12 au 14 novembre ; leur périodicité. — Principales pluies d'étoiles filantes qui reviennent périodiquement dans le cours de l'année.

Lorsque j'étais enfant, j'aimais beaucoup à contempler, en compagnie d'un ou deux camarades, couchés comme moi sur l'herbe, le ciel étincelant des belles et profondes nuits d'été. Nous devisions ensemble sur les étoiles et nous nous demandions ce que pouvaient être ces milliers de feux, dont chacun semble un œil qui, des profondeurs infinies de l'éther, plonge son regard vers nous. Une chose surtout nous étonnait grandement dans ce spectacle, dont la mise en scène est à la fois si simple et si splendide, c'était de voir, de temps à autre, une étoile s'élançer tout à coup, décrire en silence un long trait de feu et aussitôt disparaître. Était-ce une des étoiles qui brillaient auparavant dans le ciel que nous voyions ainsi s'évanouir, ou bien un feu nouvellement allumé qui ne faisait que passer devant nous ? Nous eussions été bien embarrassés de répondre à ces questions dont la pensée nous était si naturellement suggérée par la vue du phénomène ; d'ailleurs, nous

avons entendu dire que chaque étoile filante est l'âme d'un trépassé qui s'élançe de la terre au séjour céleste, et, sans ajouter grande foi à cette explication naïve, elle ne laissait pas que d'avoir sur nos jeunes cerveaux une certaine influence, en nous plongeant dans de longues et vagues rêveries.

Depuis, je ne me suis pas contenté de la légende populaire, bien qu'elle ait servi de thème à l'une des plus jolies et des plus poétiques chansons de notre Béranger; et, bien que j'aime à me reporter aux souvenirs de l'enfance, j'avoue que je n'éprouve aucun regret, aucune désillusion à voir la fiction faire place à la réalité, l'explication mystique et superstitieuse à la théorie scientifique et naturelle, le phénomène des étoiles filantes se rattacher au système du monde, et devenir, dans toute l'acception du mot, un phénomène cosmique : on va voir que la poésie et l'imagination n'y perdent rien.

Il ne se passe pas de nuits, quand le ciel est complètement découvert de nuages, où un observateur, posté de manière à embrasser tout l'horizon céleste, n'aperçoive une ou plusieurs *étoiles filantes*. Tout le monde sait qu'on nomme ainsi des points lumineux qui, apparaissant subitement au milieu des étoiles, semblent glisser sur la voûte du firmament, en laissant le plus souvent l'impression d'un sillon de feu qui s'évanouit après une durée variable. Les étoiles filantes ont l'aspect des étoiles ordinaires, et comme celles-ci elles offrent, au point de vue de l'éclat de leur lumière, divers ordres de grandeur. Il n'est pas rare d'en voir qui atteignent le premier ordre, et qui brillent aux yeux avec les dimensions apparentes des planètes les plus étincelantes, comme Jupiter ou Vénus. D'autres sont à peine perceptibles et exigent, pour être vues, toute l'attention des observateurs qui se livrent à l'étude de cette branche spé-

ciale de l'astronomie : il en est enfin qui ne sont visibles qu'au télescope.

Le sillon lumineux que l'étoile laisse derrière elle indique très-nettement la direction de sa course apparente ou trajectoire. Est-ce une traînée réelle, ou bien ne doit-on voir là qu'une pure apparence, due à la persistance sur la rétine de l'impression un peu vive que produit le mouvement rapide d'un point lumineux ? Il est probable que le phénomène est très-souvent, sinon toujours, le résultat simultané de ces deux causes, et ce qui le prouve, c'est qu'on cite des cas nombreux où la traînée phosphorescente est restée visible longtemps après la disparition de l'étoile. La forme de la traînée est tantôt celle d'une ligne droite, tantôt celle d'un arc légèrement courbé, et varie en définitive avec la forme de la trajectoire elle-même. Les unes ont dans toute leur longueur une épaisseur uniforme ; d'autres s'amincissent au début et d'autres à la fin de l'apparition ; quelquefois elles affectent l'apparence d'un fuseau allongé notablement plus large au milieu qu'aux extrémités de la traînée. On a vu assez souvent des étoiles filantes décrire des courbes sinueuses, rentrantes ou serpentineuses ; mais tout ceci ne doit s'entendre que des formes apparentes des trajectoires ou des traînées, puisque, à moins d'être en réalité rectilignes, elles sont nécessairement déformées par l'effet de la perspective.

La longueur des arcs décrits par les étoiles filantes, la durée de leur visibilité sont très-variables, ainsi que leur éclat. Quand le diamètre apparent est appréciable à l'œil nu, que l'étoile a l'aspect d'un globe enflammé, qui se meut alors le plus souvent avec lenteur, on donne au météore le nom de *bolide* ; mais on ne sait pas d'une manière positive s'il y a une différence essentielle entre les bolides et les étoiles filantes. On croit plutôt à l'identité d'origine des deux espèces de météores, qui ne différeraient entre eux que par certains caractères physiques, et notamment par les circonstances de leur

apparition. La lumière des uns et des autres est souvent colorée, bien que la couleur blanche soit celle qu'on observe le plus communément : il y en a de jaunes, de rouges, de bleues, de vertes, et quelquefois ces couleurs se succèdent pendant la durée de l'apparition du météore.

Le nombre des étoiles filantes qu'on peut observer chaque nuit est très-variable. Il y a d'abord des circonstances indépendantes de leurs apparitions qui influent naturellement sur leur visibilité : les nuits sont plus ou moins longues, selon l'époque de l'année où l'on observe ; le ciel est plus ou moins pur ; la clarté répandue par la Lune dans l'atmosphère peut, selon l'âge de la lunaison, empêcher à des degrés divers les plus petits météores d'être perceptibles à la vue simple. Mais, outre ces causes tout extérieures au phénomène, il y en a qui semblent lui être propres et qui rendent les apparitions d'étoiles filantes très-nombreuses à certaines époques, tandis qu'elles sont relativement assez rares le reste du temps. En certaines nuits, et à certaines heures de la nuit, elles se succèdent avec tant de rapidité, qu'on a donné au phénomène le nom caractéristique de *pluie*, d'*averse météorique*, et l'ensemble des étoiles qui se montrent ainsi à la fois dans le ciel en quelques heures se désigne sous le nom d'*essaim d'étoiles filantes*. Au commencement de ce siècle, on ne connaissait guère encore que deux ou trois essaims qu'on distinguait par la date du mois ou du jour de leur apparition : il y avait l'essaim du 10 août, l'essaim de novembre, etc. Quant aux étoiles filantes, beaucoup plus rares, qui apparaissaient comme isolées dans les autres nuits de l'année, on les distinguait des étoiles des essaims par la dénomination d'*étoiles sporadiques*, c'est-à-dire dispersées, disséminées.

Mais, depuis qu'on a étudié et observé les météores avec plus de soin, de persévérance et d'exactitude, on est parvenu à reconnaître un grand nombre d'autres essaims, moins importants en général que les premiers, mais offrant les mêmes ca-

ractères, et notamment celui d'une périodicité à peu près régulière, de sorte que chacun d'eux redevient visible chaque année, quand la Terre est elle-même revenue au même point déterminé de son orbite. La distinction des météores en essaims et en étoiles sporadiques tend peu à peu à disparaître, à mesure que les étoiles qu'on croyait isolées se rangent en groupes nouveaux, ou peuvent se rattacher à des groupes déjà connus.

Avant de décrire quelques-unes des apparitions les plus remarquables, disons un mot du nombre probable des étoiles filantes qui se présentent à la Terre dans le cours d'une année. En laissant de côté les quelques nuits où ont lieu les pluies météoriques extraordinaires, divers observateurs ont fixé à 5 ou 6, d'autres à 7 ou 8, le nombre moyen des étoiles filantes qu'un seul observateur peut voir dans l'intervalle d'une heure, en un même lieu ; mais il paraît certain que ce nombre doit être augmenté. Depuis qu'on a compris l'importance de ces observations, on s'est attaché à les recenser plus complètement en multipliant le nombre des observateurs, et en fixant à chacun d'eux une région particulière du ciel à explorer. Le professeur Newton (d'Yale Collège, États-Unis) s'est ainsi assuré que douze observateurs voient en moyenne cinq fois autant d'étoiles filantes qu'un seul. Il évalue à 30 environ le nombre horaire moyen, pour un seul horizon. Mais, comme chaque horizon n'embrasse évidemment qu'un cône de visibilité bien inférieur à l'espace céleste découvert au-dessus de lui, et que l'épaisseur des couches aériennes masque un grand nombre de météores, il a calculé qu'il faudrait 10 000 stations semblables fixées en divers points de la Terre, pour ne laisser échapper aucune étoile filante. Il est ainsi conduit à admettre une moyenne de 30 000 étoiles filantes, visibles à l'œil nu, en une heure, ou du moins qu'on pourrait apercevoir à l'œil nu, s'il faisait nuit sur tout le globe terrestre, et si la voûte du ciel, parfaitement sereine, était observée à la fois dans 10 000 stations composées

chacune de 12 observateurs. C'est plus de 26 millions d'étoiles filantes par année¹.

Ce n'est pas tout. Il ne s'agit là que des étoiles visibles à l'œil nu. Or, de certaines observations télescopiques de météores, M. Newton conclut que les étoiles filantes invisibles à l'œil nu (mais perceptibles à l'aide d'un télescope grossissant environ 60 fois) doivent être 250 fois plus nombreuses que les autres. On voit donc que c'est par millions qu'il faudrait évaluer le nombre horaire, par milliards le nombre de météores dont les feux, visibles ou invisibles, sillonnent la voûte azurée dans le cours de chaque année de la Terre.

Arrivons maintenant aux apparitions en masses, à celles qui ont fait considérer les étoiles filantes comme formant parfois de véritables agglomérations, des essaims météoriques, et auxquelles on réserve plus particulièrement les noms de *pluies*, de *flux* ou d'*averses*. Ce n'est pas d'ailleurs, comme on va le voir, seulement par le nombre des météores que ces apparitions sont remarquables, mais principalement par le fait qu'elles reviennent périodiquement, soit à date à peu près fixe après un intervalle d'une année, soit après un laps de temps plus considérable, embrassant plusieurs années successives.

Les premières pluies d'étoiles filantes dont la périodicité ait été constatée sont aussi les deux plus importantes par le nombre des météores : l'une tombe vers le 10 août; l'autre pendant les nuits du 12 au 14 novembre.

Bien avant que la science se soit occupée de ces phénomènes, l'apparition des étoiles filantes d'août était populaire : on la connaissait en Irlande sous le nom de *pluie de Saint-Laurent*,

1. M. Herrick (de New-Haven, Connecticut), qui s'est beaucoup occupé de cette branche de l'astronomie, croit que « le nombre moyen des étoiles filantes qui, dans les mêmes hypothèses, seraient visibles, chaque jour, dans toute l'atmosphère et à l'œil nu, surpasse probablement 2 000 000. » C'est à peu près le triple de l'évaluation du professeur Newton.

les traînées lumineuses des météores n'étant autre chose, pour les naïves populations de l'Irlande catholique, que les larmes brûlantes du martyr dont la fête tombe précisément le 10 août. C'est sans doute à une coïncidence analogue entre un phénomène naturel et des croyances religieuses qu'est due l'ancienne tradition répandue, dit-on, dans les montagnes de la Thessalie : dans la nuit du 6 août, ou de la *Transfiguration*, le ciel s'entrouvre, et à travers cette ouverture apparaissent des flambeaux. Toutefois, les observations un peu précises de l'averse du 10 août ne remontent qu'à la fin du dernier siècle, et c'est seulement en 1836 ou 1837 que MM. Quételet et Herrick ont nettement accusé sa périodicité. La nuit du 9 au 10 août n'est d'ailleurs que la nuit du maximum, mais les nuits précédentes et les nuits suivantes sont elles-mêmes marquées par un nombre d'étoiles filantes dépassant le nombre moyen des nuits ordinaires. Parmi les observations les plus remarquables de cette période, citons celles de 1839, où Capocci et Nobile ont compté, à Naples, 1000 étoiles filantes en quatre heures, celles faites en 1836, à Bourbonne-les-Bains, par M. Walferdin qui en a dénombré 316 en une heure. En comparant les observations des trente dernières années entre elles, on trouve que le phénomène offre des variations assez notables : très-faible en 1841, 1843, 1853, il a eu au contraire des recrudescences marquées, en 1840, 1844, 1848, 1863. Il est difficile de dire si ces différences ont été réelles, ou si elles dépendaient des circonstances de l'observation.

La période de novembre a fourni des faits plus extraordinaires encore, et les apparitions du 12 novembre 1799 et de la nuit du 12 au 13 novembre 1833 sont dignes d'être mentionnées. Humboldt et Bonpland, qui se trouvaient à Cumana à la première de ces dates, rapportent qu'entre deux et quatre heures du matin, le ciel fut sillonné d'innombrables traînées lumineuses, qui traversaient incessamment, du nord au sud, la voûte céleste. On aurait cru voir un brillant feu d'artifice

tiré à une hauteur immense; de gros bolides ayant parfois un diamètre apparent de une fois et une fois un quart celui de la Lune, mêlaient leurs trajectoires aux longues bandes lumineuses et phosphorescentes des étoiles filantes. Au Brésil, au Labrador, au Groënland, en Allemagne, dans la Guyane française, on observa le même phénomène.

L'apparition du 12 au 13 novembre 1833 ne fut pas moins extraordinaire. « On aperçut les météores, dit Arago, le long de la côte orientale de l'Amérique, depuis le golfe du Mexique jusqu'à Halifax, de 9 heures du soir au lever du Soleil, et même, dans quelques endroits, en plein jour à 8 heures du matin. Les étoiles étaient si nombreuses, elles se montraient dans tant de régions du ciel à la fois, qu'en essayant de les compter on ne pouvait guère espérer d'arriver qu'à de grossières approximations. L'observateur de Boston (M. Olmsted) les assimilait, au moment du maximum, à la moitié du nombre de flocons qu'on aperçoit dans l'air pendant une averse ordinaire de neige. Lorsque le phénomène se fut considérablement affaibli, il compta 650 étoiles en 15 minutes, quoiqu'il circonscrivît ses remarques à une zone qui n'était pas le dixième de l'horizon visible. Ce nombre, suivant lui, n'était que les deux tiers (? les trois quarts) du total; ainsi il aurait dû trouver 866, et pour tout l'hémisphère visible, 8660. Ce dernier chiffre donnerait par heure 34 640 étoiles. Or, le phénomène dura plus de 7 heures; donc le nombre de celles qui se montrèrent à Boston dépasse 240 000; car, on ne doit pas l'oublier, les bases de ce calcul furent recueillies à un moment où le phénomène était déjà notablement dans son déclin¹. »

Nous verrons tout à l'heure des observations plus récentes

1. Les années suivantes, jusqu'en 1830, donnèrent encore lieu à l'observation de nombreuses étoiles filantes, dans cette même nuit du 12 au 13 novembre ou dans celle du 13 au 14, tant en Europe qu'en Amérique. L'apparition de 1838 a été signalée par une coïncidence qui est peut-être liée au phénomène, celle d'une aurore boréale.

confirmer la périodicité de l'averse du 12 au 14 novembre, et, de plus, asseoir sur des bases positives une théorie nouvelle et originale qui relie les essaims d'étoiles filantes aux comètes et à certaines nébuleuses. En attendant, signalons les principales époques où les étoiles filantes ont coutume d'apparaître par masses plus ou moins nombreuses.

Vers le 2 janvier, a lieu une averse météorique dont les anciennes traditions paraissent avoir noté le souvenir, et qui a été observée en Suisse, en 1835 et 1838; à Bossekop, en 1839, par M. Bravais pendant son expédition scientifique dans les régions polaires; et enfin en 1840, par M. Quételet en Belgique. Vers le 28 du même mois, a lieu un second flux d'étoiles filantes. Il n'y en a aucun en février, bien que les anciennes observations chinoises et les chroniques du moyen âge signalent plusieurs apparitions dans ce mois : il y a lieu de faire une remarque pareille pour le mois de mars. En avril, aux environs de la date du 20, essaim d'étoiles filantes, observées en masse, en 1803, en Virginie et dans le Massachusetts, et en 1838 dans le Tennessee. Les mois de mai et de juin sont, sous ce rapport, les moins remarquables de l'année : c'est à peine si l'on trouve trace, dans les anciennes chroniques, de quelques averses d'étoiles filantes, et les observations modernes sont muettes à cet égard. Le mois de juillet, notamment vers les derniers jours, est au contraire signalé par plusieurs pluies météoriques assez abondantes : ainsi les 28 et 29 juillet des années 1848 et 1849 ont donné un nombre extraordinaire d'étoiles filantes observées à Aix-la-Chapelle par M. Heis, à Bonn par M. Schmidt. Vient ensuite l'essaim du 10 août, dont le retour périodique est annoncé plusieurs jours d'avance par une recrudescence dans le nombre horaire des étoiles filantes de chaque nuit. Il faut aller ensuite jusqu'à la date des 18-20 octobre pour retrouver une averse météorique nettement caractérisée. Enfin, après le flux si remarquable des nuits du 12 au 14 novembre, dont nous avons donné en

détail les apparitions de 1799 et de 1833, et qui a reparu avec un éclat extraordinaire en 1867, on ne trouve plus que les deux essaims de décembre, l'un du 6 au 7, l'autre du 11 au 13 de ce dernier mois de l'année.

§ 2. — Origine cosmique des étoiles filantes. — Hauteurs moyennes des météores aux instants de leur apparition et de leur extinction dans les régions élevées de l'atmosphère. — Les étoiles filantes se meuvent avec une vitesse égale à la vitesse des planètes et même des comètes. — Points rayonnants des principaux essaims. — Identification des courants de météores et des masses cométaires. — Théorie de Schiaparelli.

Quelle que soit la nature physique des étoiles filantes, des bolides et des aérolithes — masses minérales qui, de temps à autre, tombent des hauteurs de l'atmosphère sur le sol — il est aujourd'hui prouvé que leur origine commune est *cosmique* ou extra-terrestre. En un mot, ce sont des corps qui circulent dans les régions interplanétaires et qui deviennent visibles, quand, venant à rencontrer la Terre le long de son orbite, ils pénètrent plus ou moins avant dans son atmosphère.

Cette origine avait été soupçonnée, même par les anciens. Mais c'est seulement depuis la fin du dernier siècle que des observations précises ont permis d'appuyer sur des preuves positives une opinion d'abord toute conjecturale, et qui d'ailleurs était loin, il y a un siècle à peine, d'être partagée par les hommes de science. Pour la plupart d'entre ceux-ci, les étoiles filantes ou tombantes étaient des météores atmosphériques, prenant naissance, s'allumant et s'éteignant dans les hautes régions de l'air ; elles s'y formaient par la réunion de matières inflammables, d'exhalaisons sorties du sol et que leur légèreté spécifique avait entraînées dans les hauteurs. Chladni (1794) paraît être le premier, dans les temps modernes, qui ait considéré les bolides comme ayant une origine extra-terrestre. L'idée lui en avait été du reste suggérée, ainsi que Chladni le

rapporte lui-même, par le physicien Lichtenberg, auquel il avait demandé son opinion sur la nature des météores ignés : « La meilleure manière d'expliquer ces phénomènes serait d'attribuer à ces météores une origine plutôt *cosmique* que *tellurique*, c'est-à-dire de supposer que c'était quelque chose d'étranger qui arrivait du dehors dans notre atmosphère, à peu près comme Sénèque avait bien expliqué la nature des comètes, qu'on a pourtant regardées, pendant beaucoup de siècles, comme des météores atmosphériques. » Les mémoires de Chladni, les travaux de deux jeunes étudiants allemands, Brandes et Benzenberg, puis ceux d'un grand nombre d'observateurs qui vinrent à leur suite, en Angleterre, en Allemagne, en France, en Belgique et aux États-Unis, ont fini par donner à la théorie nouvelle une consécration définitive, en créant une nouvelle branche de l'astronomie physique. Passons rapidement en revue les preuves de l'origine cosmique des étoiles filantes.

C'est d'abord la grande hauteur à laquelle le point lumineux fait sa première apparition dans l'atmosphère, et la hauteur, considérable encore, à laquelle il disparaît aux yeux de l'observateur. Brandes et Benzenberg, en 1798, sont les premiers qui aient songé à déterminer la distance où se trouvent du sol les météores, quand ils s'enflamment et quand ils s'éteignent. Ayant choisi des stations suffisamment distantes, ils purent déterminer la parallaxe de quelques étoiles filantes dont diverses circonstances leur avaient permis de reconnaître l'identité. Ils en conclurent ainsi la hauteur de ces étoiles, principalement à l'instant de leur disparition, et ils trouvèrent qu'elle variait de 7 à 23 milles d'Allemagne, ou de 52 à 170 kilomètres. Deux étoiles filantes, dont les hauteurs initiales et finales furent également mesurées, avaient commencé à paraître à des hauteurs de 118 et de 127 kilomètres, pour s'éteindre à 77 et à 85.

Depuis, de nombreuses recherches de ce genre ont été faites

et ont confirmé l'exactitude de ces premières mesures. Ainsi, d'après Weiss, les étoiles filantes du 10 août commencent, en moyenne, à s'enflammer quand elles parviennent à une distance verticale au-dessus du sol égale à $114^k 6$ et elles s'éteignent à une hauteur de $87^k 9$. Le professeur Newton a trouvé, pour les mêmes distances, $112^k 4$ et 90^k , et M. A. S. Herschel, un des plus assidus observateurs des météores, $118^k 4$ et $91^k 6$. La moyenne est, comme on voit, en nombres ronds, de 120 kilomètres pour la hauteur d'apparition, de 90 kilomètres pour celle de leur extinction.

Ces nombres n'indiquent que les hauteurs moyennes, et certaines étoiles filantes s'enflamment à des distances beaucoup plus considérables encore. Les hauteurs initiale et finale d'une étoile, vue simultanément à Berlin et à Breslau, n'auraient pas été inférieures à 460 et à 310 kilomètres. Plusieurs étoiles filantes observées à la fois à Paris et à Orléans en 1855, par les astronomes de l'Observatoire, étaient également à plus de cent lieues de hauteur. Il y aurait donc, sans parler des étoiles télescopiques, sans doute plus élevées encore, des étoiles filantes qui s'enflamment bien au delà des limites présumées de l'atmosphère¹?

Mais un élément d'une grande importance qui se déduit immédiatement de la hauteur des étoiles filantes, c'est la longueur réelle des trajectoires qu'elles parcourent sous les yeux des observateurs, depuis l'instant de leur apparition jusqu'à celui de leur extinction. Un calcul simple donne alors

1. Comme l'incandescence de ces corps ne semble pas pouvoir être attribuée à une autre cause qu'à la chaleur développée par le frottement de leur masse contre les particules atmosphériques, avec ou sans développement d'électricité, ou, si l'on veut, par la transformation de leur force vive, les faits qui précèdent tendent à prouver que l'atmosphère terrestre est beaucoup plus élevée qu'on ne le croyait, d'après les mesures crépusculaires : « La grande élévation des étoiles filantes, disait à ce sujet sir John Herschel, fait soupçonner une espèce d'atmosphère supérieure à l'atmosphère aérienne, plus légère et pour ainsi dire plus ignée. » (*Lettre à M. Quételet.*)

approximativement la vitesse avec laquelle le point lumineux a franchi cet arc : or, on a trouvé ainsi que certaines étoiles filantes se meuvent à raison de 30 à 70 kilomètres par seconde, c'est-à-dire avec une rapidité qui atteint et même dépasse les vitesses planétaires. C'est là une preuve péremptoire de l'origine cosmique de ces corps, qui ne peuvent être considérés comme des météores proprement dits, puisque leur passage dans l'atmosphère de la Terre n'est qu'une circonstance fortuite pour ainsi dire, une des phases, la dernière peut-être, il est vrai, de leur existence indépendante et individuelle.

Arrivons maintenant à une autre preuve non moins décisive de leur origine extra-terrestre.

L'observation des pluies météoriques, notamment de celles d'août et de novembre, a bientôt mis en évidence un caractère fort remarquable des trajectoires des étoiles filantes appartenant à un même essaim : c'est une certaine communauté dans la direction de ces trajectoires. Tandis que les météores isolés semblent émerger de tous les points du ciel et suivre, dans leur route apparente, des lignes qui se coupent dans tous les sens, les étoiles filantes périodiques paraissent le plus souvent décrire sur la voûte céleste des droites ou courbes ayant un point de rayonnement commun.

Dès 1799, Humboldt remarquait une direction commune dans les nombreux météores qui ont signalé la nuit du 13 novembre. En 1833, 1834, 1837, les observateurs notèrent la constellation du Lion, et spécialement la région environnant l'étoile Gamma, comme le point de départ des essaims du même mois. Au contraire, les étoiles filantes du 10 août ont été reconnues, dès 1839, comme ayant pour point rayonnant commun l'étoile Algol de Persée, ou des régions très-voisines de cette étoile, entre Persée et le Taureau. Depuis, d'autres points de divergence ont été constatés, soit pour une partie des météores qui font leurs apparitions à ces deux époques,

soit pour d'autres essaims. Mais un point capital, sur lequel Olmstedt a insisté avec une grande raison, et que toutes les observations ultérieures ont confirmé, est celui-ci : Le point commun de radiation, d'où les étoiles paraissent émerger, ne change pas pendant toute la durée du phénomène, bien que le mouvement diurne entraîne ce point à des hauteurs di-

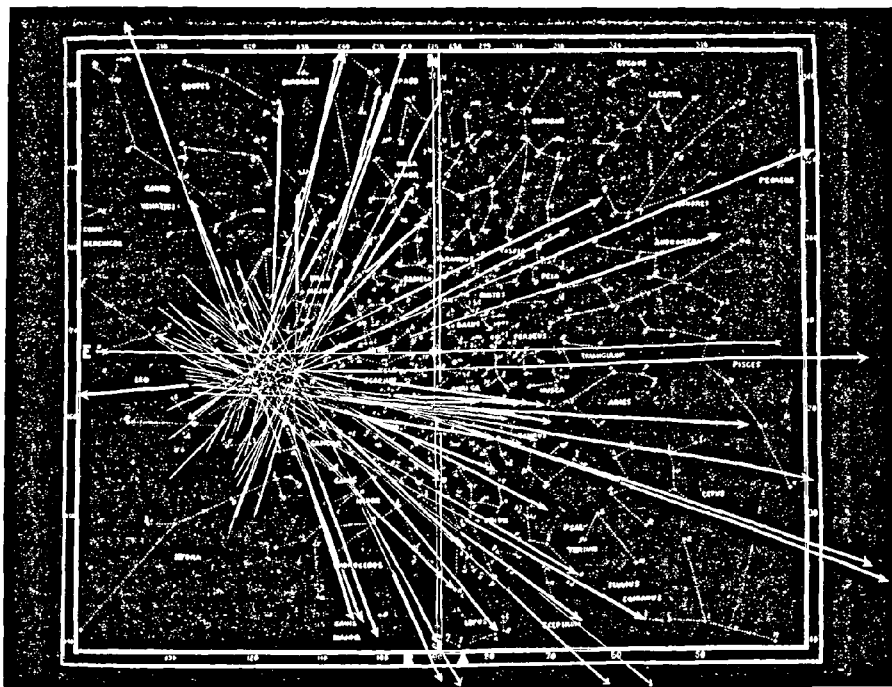


Fig. 136. — Point rayonnant des météores de novembre, dans la constellation du Lion. Trajectoires des étoiles filantes observées à Greenwich dans la nuit du 13 au 14 novembre 1866.

verses au-dessus de l'horizon. Ainsi, il est manifeste que les orbites des étoiles filantes sont complètement indépendantes du mouvement de rotation de la Terre, ce qui revient à dire que l'origine des météores est cosmique et non pas atmosphérique, comme on se l'imaginait encore vers la fin du dernier siècle. C'est là un fait qui ne souffre aucune interprétation opposée, et qui prouve sans réplique qu'avant de pénétrer

dans notre atmosphère, les étoiles filantes se mouvaient dans les espaces interplanétaires.

Un second point, qui ajoute à l'intérêt de l'observation précédente et en confirme la haute valeur, a été non moins bien établi, dès 1834, par l'astronome Encke. Ce savant, basant ses calculs sur les observations du flux de novembre 1833,

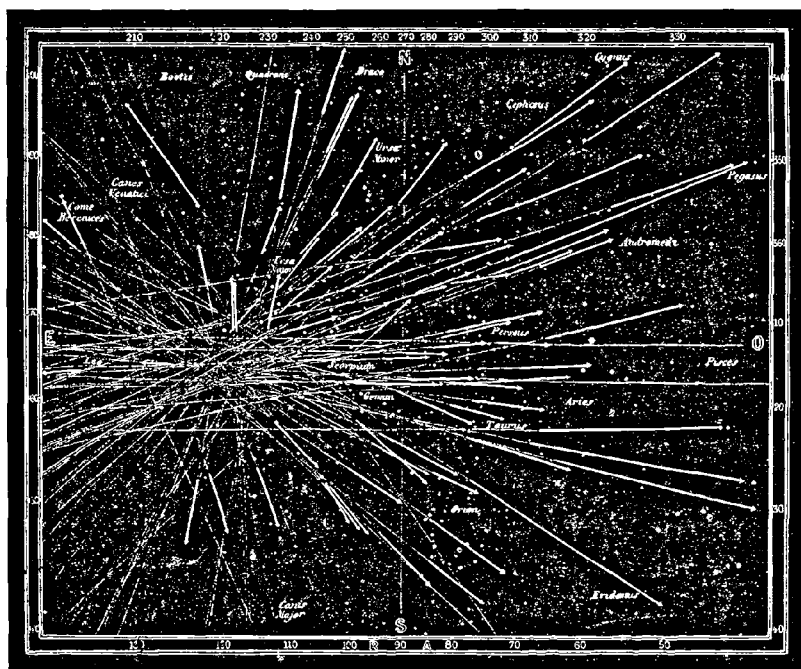


Fig. 137. — Trajectoires de 83 étoiles filantes observées dans la nuit du 13 au 14 novembre 1866, à l'Observatoire de Glasgow, par A. S. Herschel et H. Mac Gregor. Point rayonnant dans le Lion.

faites en Amérique, a fait voir que le point de radiation des météores était précisément celui vers lequel le mouvement de translation entraîne la Terre à l'époque du 13 novembre. La tangente à l'orbite terrestre va couper alors, en effet, le point de la constellation du Lion que nous avons signalé. De même, le point de divergence des essaims d'août, c'est-à-dire la constellation de Persée, est précisément la région du ciel vers

laquelle se dirige notre planète à la date du 10 de ce mois.

La conséquence à tirer de cette coïncidence n'est pas douteuse. Les étoiles filantes de chaque essaim, qui paraissent diverger, suivent en réalité des routes parallèles, ou du moins à peu près parallèles : leur commune direction est celle de l'élément de l'orbite de la Terre, aux époques de chaque apparition. Pour expliquer leur divergence apparente, il suffit

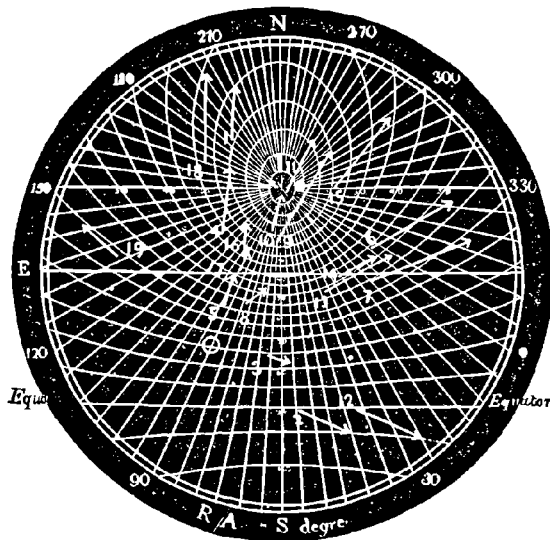


Fig. 138. — Point rayonnant de l'essaim d'étoiles filantes du 18 au 20 octobre, d'après A. Herschel, Étoile θ des Gémeaux.

d'invoquer les lois de la perspective et de rappeler un fait d'observation que chacun peut aisément vérifier. Quand le vent est assez fort pour rendre sensible le mouvement des nuages qui couvrent le ciel, si l'observateur se tourne vers le point de l'horizon d'où vient le vent, il voit les nuées se mouvoir avec des directions en apparence différentes; en face de lui, elles semblent monter et gagner progressivement le zénith; de chaque côté, au contraire, leurs mouvements affectent des directions de plus en plus inclinées avec la pre-

mière, de sorte que le parallélisme réel se trouve transformé en une divergence apparente.

L'étude du rayonnement des essaims de météores mérite, comme on voit, toute l'attention des observateurs; aussi a-t-elle été, depuis 1833, et est-elle surtout maintenant l'objet de leurs recherches assidues. C'est en étendant ces recherches aux étoiles filantes jusque-là considérées comme isolées ou sporadiques, qu'on a peu à peu reconnu qu'un grand nom-

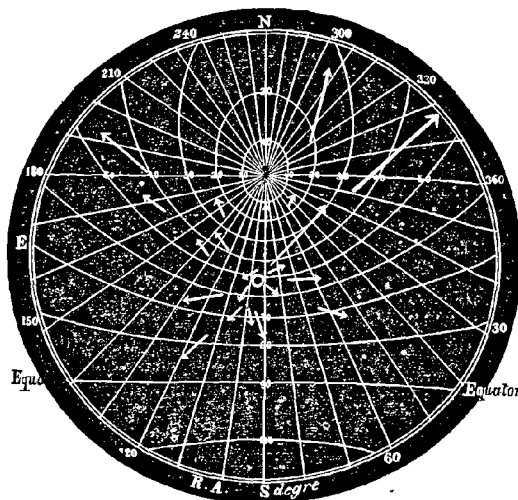


Fig. 139. — Point rayonnant de l'essaim d'étoiles filantes du 11 au 13 décembre, d'après A. Herschel. Étoile ν d'Orion.

bre ont aussi des trajectoires qui rayonnent vers un point ou vers une région plus ou moins limitée du ciel. Ces points qu'on nomme *points rayonnants*, ou simplement *radiants*, sont aujourd'hui très-nombreux. Nous nous contenterons de donner ici la position de ceux qui correspondent aux principaux essaims d'étoiles filantes que nous avons mentionnés plus haut. Nous y joindrons plusieurs dessins qui prouvent aux yeux, avec la clarté de l'évidence, la réalité de la divergence des trajectoires des essaims auxquels ces trajectoires se rap-

portent. Toutes ces lignes qui se croisent et s'entre-croisent (fig. 136 à 139) et, finalement, vont passer dans une région relativement resserrée du ciel sont les lignes parcourues par les étoiles et projetées sur l'horizon du lieu de l'observation¹.

ESSAIS D'ÉTOILES FILANTES OU COURANTS MÉTÉORIQUES.	POSITIONS DES POINTS RAYONNANTS.			AUTORITÉS.
	Ascensions droites.	Décli- naisons.	Étoiles voisines.	
2 janvier.	234°	51°	C Quadrant.	A. Herschel.
28 janvier.	233	26	γ Cour. boréale.	Schiaparelli.
20 avril.	277	34	α Lyre.	A. Herschel.
10 août.	44	55	K Persée.	»
18-20 octobre. . . .	90	15	v Orion.	»
25-26 octobre. . . .	98	25	ε Gémeaux.	Herrick.
14 novembre.	149	23	x Lion.	Iwining.
11-13 décembre. . .	100	33	θ Gémeaux.	Greg.

En résumé, la hauteur considérable à laquelle les étoiles filantes s'allument et s'éteignent aux confins de notre atmosphère, la vitesse énorme avec laquelle elles décrivent la portion de leurs trajectoires que rend visible le filet de lumière et la traînée phosphorescente qu'elles laissent après leur disparition, vitesse qui atteint et dépasse celles des planètes dans leurs orbites; enfin, la direction commune suivie par la majorité des météores d'un même essaim, qui se traduit par un rayonnement apparent à partir d'une même région de la voûte céleste; la périodicité du retour des essaims, d'où il résulte que la Terre, en revenant chaque année ou après un intervalle de plusieurs années aux mêmes points de son orbite, rencontre précisément les mêmes groupes de ces météores; tous ces

1. Nous devons la communication de ces documents précieux à l'obligeance de M. Alexandre Herschel et de M. Williams, secrétaire de la *Société astronomique* de Londres. Nous sommes heureux de pouvoir leur adresser ici nos remerciements.

faits constatés par les observations de trois quarts de siècle ne permettent plus de mettre en doute l'origine cosmique des étoiles filantes. Il est donc certain que des corps, ou mieux des corpuscules célestes, ne brillant pas d'ordinaire d'une lumière qui leur soit propre, voyagent en grand nombre, par bancs plus ou moins pressés, dans les espaces interplanétaires. Leurs mouvements affectent une certaine régularité, puisque la Terre les rencontre à intervalles réguliers, dans les mêmes régions du ciel et dans des directions peu variables.

La question est maintenant de savoir si ces agglomérations de matières circulent autour du Soleil, comme les planètes dans des orbites elliptiques, ou comme les comètes dans des orbites beaucoup plus allongées, paraboliques ou même hyperboliques. Peut-on calculer approximativement les éléments de ces orbites ? Peut-on savoir si les essaims forment des masses plus ou moins sphéroïdales, ou des anneaux continus, avec centres de condensation, ou enfin simplement de longues traînées qui se déroulent le long de leurs orbites. Tous ces problèmes ont été agités, et quelques-unes des solutions proposées semblent s'accorder si bien avec les faits, avec les observations recueillies, qu'elles méritent d'être introduites dans la science au titre d'hypothèses au moins fort vraisemblables.

On avait commencé par considérer les essaims comme formant des anneaux continus de matière circulant autour du Soleil. C'est ainsi qu'on attribuait les apparitions du 10 août et du 11 au 13 novembre à la rencontre de la Terre avec un anneau de ce genre, qui coupait le plan de notre orbite en deux régions correspondant aux passages de notre planète à ces deux époques. La figure 140 donne une idée de cette hypothèse. Mais une étude plus complète des éléments des orbites de ces deux essaims n'a pas permis de s'y arrêter.

C'est alors qu'un astronome italien, M. Schiaparelli, direc-

teur de l'Observatoire de Milan, a conçu une théorie nouvelle qui assimile les courants de météores aux comètes elles-mêmes.

Essayons de la résumer sur ses points essentiels.

M. Schiaparelli part de ce fait d'observation que la vitesse moyenne des étoiles filantes est environ une fois et demie celle

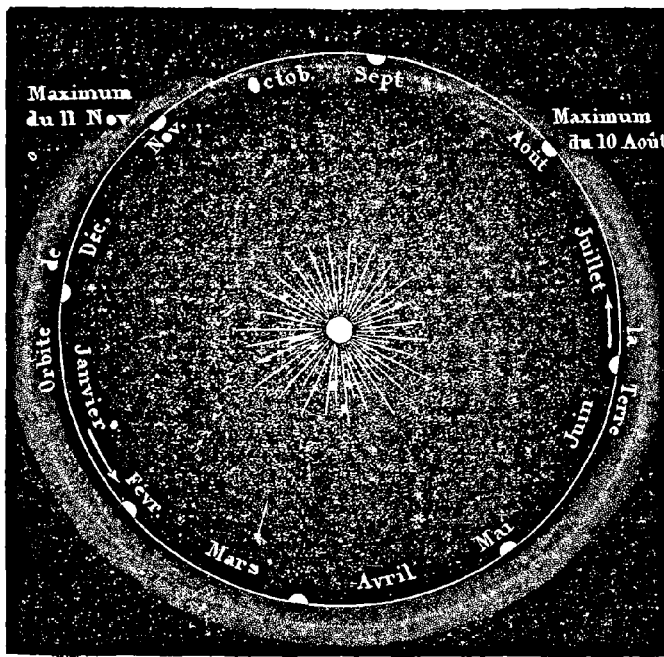


Fig. 140. — Explication des essaims d'août et de novembre dans l'hypothèse d'un anneau météorique continu et de forme elliptique.

de la Terre; vitesse incompatible avec l'hypothèse d'une orbite peu allongée, et comparable au contraire à celle d'un corps qui décrit une orbite parabolique. D'où la conclusion que les essaims d'étoiles filantes n'appartiennent pas au système solaire ou du moins n'ont pas la même origine que les planètes. Les inclinaisons de leurs orbites, qui ont comme celles des comètes toutes les valeurs possibles, le sens de leurs mouvements, les uns directs, les autres rétrogrades, rendent

plus probable l'identité de leur origine avec les corps cométaires; et leur constitution physique, qui en fait des masses de matière incohérente et désagrégée, semble fournir une analogie de plus entre ces deux natures de corps célestes.

Il examine alors, d'après les lois des mouvements des corps célestes, ce qui doit se passer quand une masse nébuleuse, d'une forme quelconque, arrive à pénétrer dans la sphère d'attraction du Soleil, à une distance de cet astre encore considérable, assez petite toutefois pour que l'action de la masse solaire soit prépondérante sur celle des autres étoiles. Il trouve que la masse nébuleuse, composée d'une multitude de corpuscules isolés, doit, à mesure que son mouvement la rapprochera du Soleil, se transformer peu à peu en un courant de forme parabolique, qui peut mettre des années, des siècles et des myriades d'années à passer, partie par partie, au périhélie de son orbite, en formant dans l'espace un fleuve dont les dimensions transversales sont très-petites relativement à sa longueur. Ceux de ces courants qui sont rencontrés par la Terre dans son mouvement annuel, se rendent visibles à nous comme autant de pluies d'étoiles filantes divergeant de certains points.

Le nombre des courants météoriques qui traversent les espaces du système solaire à toutes les distances et dans toutes les directions possibles est vraisemblablement très-grand. La rareté énorme de la matière contenue dans ces courants leur permet de s'entre-croiser sans se troubler. Ils peuvent éprouver des transpositions et des déformations progressives dans l'espace comme des fleuves qui changent lentement de lit, éprouver des interruptions, devenir quelquefois doubles ou multiples, et même encore dans des circonstances particulières devenir des anneaux elliptiques fermés. Les astéroïdes de novembre paraissent faire partie d'un anneau de cette espèce en voie de formation. Enfin, dans certains cas particuliers, quand le courant rencontre par exemple une planète, les per-

turbations que subissent les corpuscules dont il se compose peuvent être telles qu'il soit disloqué dans l'espace, et que ses parties dispersées, suivant des orbites nouvelles, très-différentes les unes des autres, donnent lieu aux apparitions des étoiles filantes isolées.

La théorie de M. Schiaparelli a reçu d'ailleurs une consécration frappante. Ayant calculé les éléments de l'orbite des étoiles filantes de l'essaim d'août, dans l'hypothèse de la vitesse parabolique, et d'après la direction qu'indique la connaissance du point rayonnant de ces météores, ce savant a reconnu qu'il y avait une identité presque complète entre ces éléments et ceux de la comète II de 1862. La durée de la révolution est d'un peu plus d'un siècle. M. Schiaparelli croit pouvoir en conclure que les *Perséides* (c'est le nom donné aux étoiles filantes d'août, d'après la constellation d'où elles semblent émerger à cette époque) ne sont autre chose qu'un fragment de la nébulosité de la comète de 1862¹.

Or une analogie pareille existe précisément pour l'essaim de novembre, pour les *Léonides* (en adoptant la méthode de dénomination des essaims de M. Schiaparelli). Une comète découverte en 1866 par M. Tempel, et dont la période de révo-

1. « Une pareille étoile filante, dit M. Schiaparelli, ayant une révolution périodique d'un peu plus d'un siècle, est un phénomène capable de donner de sérieuses inquiétudes. Oppolzer a calculé la distance minimum à laquelle la comète passe relativement à l'orbite de la Terre et l'a trouvée inférieure au diamètre de l'orbite lunaire. La Terre parcourt cet espace en un peu plus de 6 heures. Un pareil rapprochement, si la comète passait au nœud le 10 août un peu avant midi, pourrait aisément devenir une véritable traversée que la Terre ferait dans les parties les plus denses de la comète. »

Il serait en effet curieux d'être ainsi bombardé par des milliards d'étoiles filantes et de bolides. Comme la plupart s'éteignent à une très-grande hauteur, il n'y aurait que les morceaux de résistance qui parviendraient jusqu'au sol, et s'ils étaient très-nombreux, il pourrait y avoir quelque danger. En tout cas, en traversant les hautes régions de l'air les étoiles filantes transforment leur force vive en chaleur, et la somme totale de chaleur ainsi communiquée à la Terre en un temps très-court, pourrait fort bien n'être pas sans influence sur la température des couches inférieures et du sol. Qui sait si nous ne pourrions pas être ainsi tous brûlés ?

lution est d'un peu plus de 33 ans, a aussi des éléments presque identiques avec ceux de l'orbite que parcourent les étoiles filantes de novembre. Excentricité, grand axe, inclination, sens du mouvement, positions du nœud ascendant et du périhélie, tout à peu de chose près est le même dans les deux orbites. De là, à conclure à l'identité d'origine, à la liaison physique et réelle de l'agrégation météorique et de la comète, il y a d'autant moins à hésiter que la théorie en question s'accorde, non-seulement avec les lois connues des mouvements des corps célestes, mais encore avec les principales circonstances des apparitions de météores.

Du reste, la périodicité de 33 à 34 ans de l'essaim de novembre avait été soupçonnée depuis longtemps, et même calculée avec une certaine rigueur, il y a quelques années. Olbers, après une étude approfondie des diverses apparitions de novembre qui établissent une périodicité annuelle, à jour fixe, incontestable, crut voir dans les averses extraordinaires de 1799 et de 1833 l'indice probable d'une période plus étendue dont la durée serait, comme on voit, d'à peu près un tiers de siècle. Il partit de là pour prédire un nouveau maximum dans les nuits du 12 au 14 novembre 1867. Les observations de ces dernières années ont complètement confirmé les vues de ce savant professeur. En effet, le nombre horaire des étoiles filantes s'abaisse peu à peu à partir de 1833; en 1848, il n'était plus que de 110, et en 1858, que de 40 météores. Mais, peu à peu, il a repris une marche croissante, qui ne pouvait manquer d'attirer l'attention des astronomes. Le professeur Newton, du collège d'Yale (États-Unis), reprit à nouveau l'étude de la question de la périodicité prédite par Olbers, et il crut pouvoir annoncer pour la nuit du 13 ou celle du 14 novembre 1866 un flux extraordinaire d'étoiles filantes, visible de presque tous les points de la Terre, et qui devait se produire probablement pour la dernière fois avec une aussi grande intensité dans le siècle actuel.

Déjà, en 1865, le phénomène avait présenté un grand éclat : 280 météores par heure étaient notés à Greenwich de minuit à cinq heures du matin. On les vit seulement après minuit jusqu'au lever du Soleil, et c'est entre une heure et deux heures qu'ils parurent en plus grande abondance. Les observateurs étaient donc prévenus, et un grand nombre furent à leurs postes dans les deux nuits du 13 et du 14 novembre 1866.

La prédiction du professeur Newton s'accomplit, et les résultats confirmèrent pleinement ses calculs. En France, en Angleterre, en Italie, en Grèce, en Espagne, le phénomène apparut dans toute sa splendeur, dans la nuit du 13 au 14 (le temps généralement couvert, en Europe du moins, ne permit pas de faire des observations dans la nuit du 12 au 13). Les résultats les plus complets, au point de vue du nombre des météores observés, sont venus d'Angleterre, où les astronomes, stimulés par les prédictions d'Olbers et de Newton et par les notices du savant et laborieux observateur A. Herschel, avaient concentré toute leur attention et leurs efforts pour cette nuit. Voici, du reste, les nombres donnés par les astronomes de l'Observatoire de Greenwich ; les nombres prouvent, sans aucun doute, que si le phénomène ne s'est pas montré avec toute la magnificence des nuits de novembre aux dates célèbres de 1799 et de 1833, du moins il a atteint une intensité assez forte pour justifier la prédiction d'Olbers et les calculs de MM. Newton et Adams' :

Étoiles filantes observées à Greenwich dans la nuit du 13 au 14 novembre 1866.	}	de 9 à 10 heures	10
		— 10 à 11 —	15
		— 11 à 12 —	168
		— 12 à 1 —	2032
		— 1 à 2 —	4860
		— 2 à 3 —	832
		— 3 à 4 —	528
		— 4 à 5 —	40
		Total des météores.	8485

1. M. Newton, par une discussion approfondie des anciennes apparitions de

Pour l'année 1867, on avait prévu que la rencontre de l'essaim de novembre par la Terre aurait lieu à un instant correspondant à une heure assez avancée de la matinée pour l'Europe, et par conséquent ne serait guère visible qu'en Amérique. C'est ce que l'observation a confirmé. Les étoiles filantes n'ont commencé à paraître un peu nombreuses, en France et en Italie, qu'après 5 ou 6 heures du matin, tandis qu'aux Antilles, aux États-Unis, les observateurs furent témoins d'une apparition splendide, consistant en myriades de météores, d'étoiles filantes mélangées de bolides aux couleurs les plus variées. La grande majorité avait encore la constellation du Lion pour point rayonnant.

Enfin, en 1868, à la même date, c'est-à-dire dans la nuit du 13 au 14 novembre, le phénomène s'est encore montré très-brillant au sud de l'Europe, au cap de Bonne-Espérance et en Australie, sans atteindre toutefois l'éclat qu'il présentait deux ans auparavant; on ne s'attendait pas à cette recrudescence, qui prouve que l'arc de l'orbite sur lequel, d'après la théorie de Schiaparelli, il existe une condensation de météores, est beaucoup plus étendu qu'on ne l'avait d'abord supposé.

Le rapprochement si curieux qui résulte de la comparaison des orbites d'août et de novembre avec les orbites des comètes de 1862 et de 1866, a suggéré la pensée que plusieurs autres essaims étaient peut-être dus pareillement au voisinage de certaines comètes, dont les orbites rasant de près l'écliptique. Si ces corps laissent après eux, sur leur route, des traî-

novembre, avait établi dans un Mémoire publié par la revue *American Journal of Science and Arts*, qu'on pouvait en rendre compte en supposant que la matière météorique se meut dans des ellipses dont la période serait de 180 jours, de 185 j. 4, de 354 j. 6, de 376 j. 6, ou de 33 années $1/4$. Il faisait remarquer que, pour se prononcer entre ces diverses orbites, il y aurait à calculer les perturbations que les diverses planètes doivent faire subir à leurs éléments. M. Adams, en étudiant la question à ce point de vue, a montré que la période de 33 ans $1/4$ devait être considérée comme la plus probable.

nées de matière météorique, la rencontre de ces traînées par la Terre doit en effet produire aussi des apparitions d'étoiles filantes et de bolides. Déjà, on a reconnu certaines concordances remarquables, et il paraît, par exemple, fort vraisemblable que l'essaim du 6 décembre est une traînée qui a appartenu à l'origine à la comète de Biela ou de Gambart. On a vu que cette comète s'est dédoublée, qu'elle n'a point été revue à la fin de 1865, ainsi que l'annonçaient ses éphémérides, de sorte qu'on peut se demander si ses fragments ne se sont pas divisés encore, et réduits au point de n'être plus visibles que quand notre planète vient à les rencontrer dans l'espace : alors les corpuscules qui pénètrent dans notre atmosphère devenant une dernière fois lumineux s'y vaporisent pour faire désormais partie intégrante de la Terre.

Si ces hypothèses deviennent un jour des faits d'une authenticité reconnue, on pourra dire que parmi les comètes, ces nébuleuses qui errent d'étoile en étoile, il en est qui vont de temps à autre se ranger sous les lois d'un système solaire et accroître le nombre des astres qui le composent ; puis quelques-unes d'entre elles, se dissolvant à la longue sous l'action perturbatrice des planètes qu'elles rencontrent, accroissent peu à peu la masse de ces derniers corps : c'est ainsi que les immenses cétacés absorbent et dévorent par myriades les poissons ou autres petits êtres, qui pullulent dans l'Océan comme les essaims de météores dans les régions interplanétaires.

§ 3. Nature physique des étoiles filantes. — Leur analogie, sinon leur identité, avec les bolides proprement dits. — Explosions des bolides, chutes de pierres, aérolithes. — Premières hypothèses sur les pierres tombées du ciel ; éruptions des volcans lunaires. — L'origine cosmique des aérolithes et des bolides se démontre comme celle des étoiles filantes. — Analyse minéralogique et chimique des météorites ; comparaison avec les roches terrestres ; classification de M. Daubrée.

Une question d'un haut intérêt se pose maintenant.

Quelle est la constitution physique ou chimique des étoiles

filantes? Sont-elles des masses gazeuses, liquides ou solides? Entre-t-il dans leur composition d'autres corps simples que les corps aujourd'hui connus, qui forment notre propre planète?

En répondant à ces questions, on aurait des données, d'autant plus précieuses qu'elles seraient plus positives, sur la matière qui circule dans les espaces célestes, sur les comètes elles-mêmes; bien plus, comme l'a fait remarquer Humboldt, nous nous trouverions ainsi directement en rapport avec le ciel dont la population ne nous est en majorité accessible que par la vue, c'est-à-dire par les sensations que déterminent dans nos organes les ondulations de l'éther émanées des divers corps célestes.

Mais on a vu que les étoiles filantes n'apparaissent que dans les plus hautes régions de l'atmosphère, qu'elles s'éteignent et sans doute s'évaporent bien avant d'arriver jusqu'au sol. Une seule méthode, l'analyse spectrale, pourrait donc nous renseigner sur leur état physique et chimique, du moins au moment de leur combustion. En étudiant de cette façon la lumière des étoiles filantes des 9 et 10 août 1866, A. Herschel a trouvé que les traînées et quelques noyaux d'étoiles étaient formés d'une substance gazeuse en ignition, renfermant notamment de la vapeur de sodium. La présence du sodium dans l'atmosphère à cette hauteur n'étant pas probable, A. Herschel en conclut que ce corps simple appartenait bien aux étoiles filantes analysées. D'autres spectres ont indiqué pour la constitution des météores des agglomérations de parcelles solides incandescentes. En novembre 1868, le P. Secchi a analysé la lumière d'une étoile très-vive, dont la traînée était restée visible pendant un quart d'heure : son spectre, formé de raies et de bandes brillantes, rouges, jaunes, vertes, bleues, indiquait un gaz lumineux. En rapprochant ces résultats de ceux qu'a donnés l'analyse des spectres de la lumière des comètes, on y trouve alors un témoignage

de plus en faveur de la théorie qui attribue à ces divers corps une même origine. Plus tard, on arrivera sans doute à des conclusions plus certaines.

D'ailleurs, si les étoiles filantes proprement dites ne sont accessibles qu'aux instruments d'optique, il n'en est plus de même des bolides, que nous avons vus mêlés aux étoiles filantes dans les pluies de météores. Les bolides diffèrent-ils réellement des étoiles filantes? ou bien ne sont-ce que les mêmes corps de dimensions réelles plus considérables? Ordinairement, les bolides se présentent avec des diamètres apparents assez gros pour être approximativement évalués. Aussi leur apparition a-t-elle lieu quelquefois en plein jour. Humboldt rapporte qu'un de ses amis fut témoin en 1788, à Popayan, de l'apparition d'un bolide, dont la lumière était si brillante, que la chambre où l'observateur se trouvait fut tout entière illuminée, bien qu'à ce moment le Soleil ne fût caché par aucun nuage. Dans plusieurs relations d'apparitions de bolides que nous avons sous les yeux, les témoins comparent le disque du météore à celui de la Lune pour la grosseur : il y a eu sans doute, dans bien des cas, une exagération due à l'impression très-vive que cause une lumière éclatante, surtout quand le phénomène est inattendu.

Les bolides laissent presque toujours des traînées phosphorescentes, ou des nuages plus ou moins lumineux, qui persistent quelquefois très-longtemps après la disparition du météore. C'est ainsi que l'amiral Krusenstern a vu un bolide dont la traînée resta visible, sous forme d'un petit nuage, pendant une heure entière. Comme les étoiles filantes, les bolides affectent les couleurs les plus variées. Dans la nuit du 14 novembre 1868, le P. Secchi en a vu un dont le noyau a présenté successivement toutes les couleurs de l'arc-en-ciel : sa traînée est restée suspendue dans l'air comme une immense goutte, rouge en bas, irisée dans tout le reste de son étendue. La succession de couleurs remarquée dans ce bolide indique

sans doute les phases diverses par lesquelles passe le phénomène de combustion, ou encore la variété de composition chimique des substances formant le météore. Peut-être les bolides ne diffèrent-ils des étoiles filantes que par leur volume et leur état physique, les premières étant de petites masses qui se réduisent entièrement à l'état gazeux par leur rapide passage et leur déflagration dans l'atmosphère : les bolides, tout en appartenant au même essaim, sont peut-être des masses solides, beaucoup plus volumineuses, dont la superficie seule devient incandescente, qui pénètrent plus avant dans l'atmosphère, et, éprouvant une résistance croissante, voient diminuer leur vitesse. Alors, l'attraction du globe terrestre devenant prépondérante, ces masses sont précipitées à la surface du sol, souvent après avoir fait explosion en nombreux fragments. Les aérolithes ou pierres tombées du ciel seraient donc identiques avec les bolides, qui eux-mêmes ne semblent pas différer essentiellement des étoiles filantes et ont en tout cas, les uns et les autres, une même origine¹.

Ce qui est certain, c'est qu'on cite un certain nombre de pluies de pierres qui ont été précédées ou accompagnées de

1. Les corpuscules composant les traînées de météores rencontrées par la Terre sont certainement troublés dans leur marche, par l'attraction de la masse de notre planète, d'une manière très-inégale, selon leurs distances, leurs vitesses et leurs masses propres. On conçoit même que quelques-uns d'entre eux deviennent alors des satellites de la Terre, décrivant autour d'elle des orbites plus ou moins excentriques et finissant, à la longue, par tomber à la surface. Cette hypothèse pourrait expliquer les apparitions isolées de bolides, et leur chute sur le sol; mais elle ne peut s'appliquer à tous les bolides, comme le prouve l'exemple singulier que nous allons citer :

Il résulte en effet des calculs de M. A. Tissot, répétiteur à l'École polytechnique, qu'un bolide, observé le 5 septembre 1868, en divers points de la France et de l'Italie, se mouvait avec une vitesse considérable (79 kilomètres par seconde) dans une orbite hyperbolique, ayant le Soleil pour foyer. Voilà donc, au contraire, un bolide qui serait venu directement des profondeurs de l'espace, et, après avoir traversé le système solaire avec une rapidité bien supérieure à celles des corps planétaires, puis frôlé les hautes régions de notre atmosphère, se serait éloigné définitivement, échappant ainsi par sa vitesse même à l'action attractive du Soleil et à celle de la Terre.

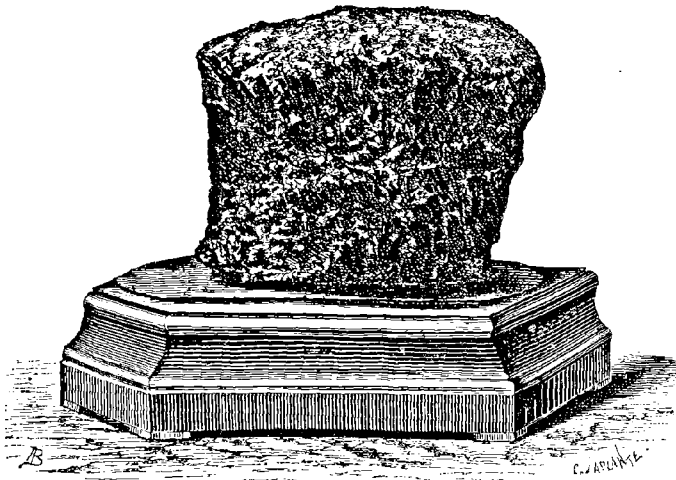


BOLIDE ET SA TRAÎNÉE .

E. Guillemin del

Imp. Bequaert à Paris.

l'apparition d'un bolide. Le 26 avril 1803, à Laigle, département de l'Orne, quelques minutes après l'apparition d'un grand bolide, se mouvant du sud-est au nord-ouest et qu'on aperçut à Alençon, à Caen et à Falaise, une explosion effroyable, suivie de détonations pareilles au bruit du canon et d'un feu de mousqueterie, partit d'un nuage noir isolé dans un ciel très-pur. Un grand nombre de pierres météoriques encore fumantes furent trouvées à la surface du sol, sur une étendue de terrain qui ne mesurait pas moins de 11 kilomètres, dans



[Fig. 141. — Météorite tombée à Juvinas (Ardèche) le 15 juin 1821 (42 kil.).

le sens de sa plus grande longueur. La plus grosse de ces pierres pesait moins de 10 kilogrammes.

Plus récemment, dans la soirée du 15 mai 1864, l'identité des aérolithes et des bolides a été mise hors de doute par l'apparition, l'explosion et la chute d'un splendide météore qui a pu être observé sur une grande étendue de la France. Un globe d'une lumière éclatante, laissant derrière lui une traînée blanchâtre, se sépara en plusieurs fragments semblables aux étoiles d'une fusée et disparut. Un bruit pareil au grondement prolongé du tonnerre suivit l'explosion de quel-

ques minutes, et une pluie de pierres qui eut lieu sur une région d'environ deux lieues carrées (principalement sur le territoire de la commune d'Orgueil [Tarn-et-Garonne]), permit d'examiner la nature de la substance d'origine extra-terrestre qui composait le bolide. Nous pourrions multiplier le récit des faits de même nature, qui paraissent aujourd'hui plus fréquent, parce que l'attention des savants et de toutes

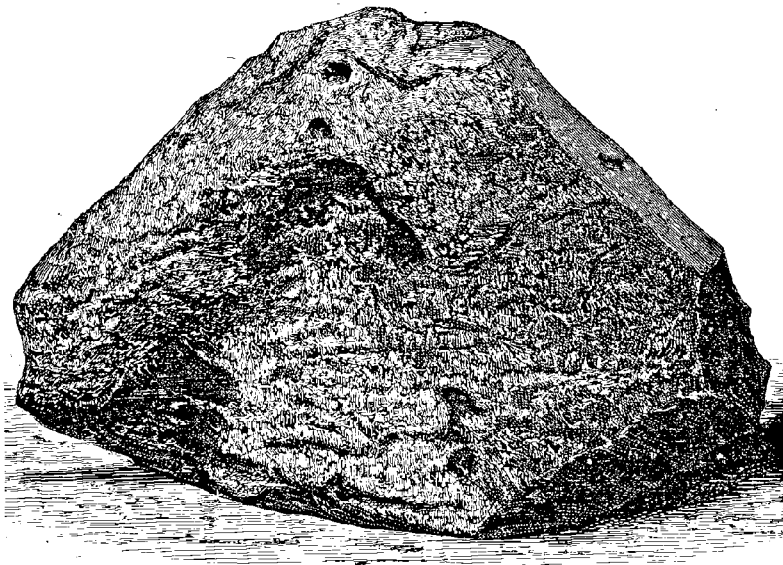


Fig. 142. — Masse de fer météorique pesant 625 kilogr., trouvée en 1828 par Brard à Caille (Alpes-Maritimes).

les personnes qui s'intéressent à la science est éveillée au sujet de ces phénomènes d'un si haut intérêt.

Bornons-nous à dire que de nombreux fragments de roches de même origine ont été recueillis dans divers musées. Nous devons à l'obligeance de M. Daubrée la possibilité de reproduire ici, figures 141 et 142, deux des plus beaux échantillons des météorites aujourd'hui connues. Le premier est un bloc de fer pur qui ne pèse pas moins de 625 kilogrammes ; il a été trouvé dans une plaine du département du Var, fai-

sant aujourd'hui partie des Alpes-Maritimes. Il est fort remarquable par sa texture cristalline, visible même sur ses couches superficielles, mais rendue plus apparente encore par une section faite artificiellement à l'un de ses angles. C'est une des richesses des galeries minéralogiques du Muséum d'histoire naturelle de Paris, qui, grâce au zèle de M. Daubrée, voit s'accroître chaque jour le nombre des aérolithes recueillis en divers points du globe. L'autre bloc, d'un poids qui dépasse 42 kilogrammes, provient de la chute d'un aéro-lithe tombé le 15 juin 1821, à Juvinas (Ardèche).

Les résultats fournis par de très-nombreuses analyses de la composition chimique des météorites montrent que ces corps ne présentent aucun élément simple étranger à la Terre. On y a reconnu jusqu'à présent vingt-deux corps simples, que M. Daubrée range ainsi d'après l'ordre décroissant de leur importance¹ :

Le *fer*, qui est absolument constant, tant à l'état de métal qu'à l'état de sulfure, et qu'on trouve en outre à l'état oxydé dans les masses pierreuses ; le *magnésium*, à l'état de silicate, quelquefois de phosphure ; le *silicium* ; l'*oxygène*, dans la partie pierreuse des météorites ; le *nickel*, principal compagnon du fer ; le *cobalt* ; le *chrôme* ; le *manganèse* ; le *titane*, plus rare que les précédents ; l'*étain* ; le *cuiivre* ; l'*aluminium*, le *potassium*, le *sodium* et le *calcium* qui existent dans certaines météorites à l'état de silicates multiples ; l'*arsenic*, le *phosphore* ; l'*azote* qu'on a trouvé dans la météorite charbonneuse d'Alais ; le *soufre* ; le *chlore* ; le *carbone* et enfin l'*hydrogène*.

Quant aux combinaisons que ces éléments forment entre eux et qui existent également dans les roches terrestres, ce sont, entre autres, le péridot, le pyroxène, le feldspath anorthite, le fer chromé, la pyrite magnétique, le fer oxydulé. En

1. Voir le Mémoire d'un haut intérêt publié l'an dernier par M. Daubrée : *Expériences synthétiques relatives aux météorites*.

comparant entre eux les échantillons provenant de chutes très-diverses, qui ont eu lieu à des époques et dans des régions très-différentes, M. Daubrée est arrivé à une classification assez simple, basée sur la présence ou l'absence du fer métallique. Il nomme *SIDÉRITES* les météorites qui renferment ce métal, et *ASIDÉRITES* celles qui n'en contiennent pas. Puis, suivant que la première classe renferme ou non, avec le fer métallique, des matières pierreuses, il les subdivise en *holosidères*, qui sont composées, comme les météorites de Charcas et de Caille, de fer pur, puis en *syssidères*, où le fer, bien que non seul, existe en masses continues, et enfin en *sporadosidères*, où il se trouve en grains disséminés. Ces types principaux se subdivisent encore. Mais ce qui est surtout remarquable, ce sont les conséquences que le savant minéralogiste et géologue a déduites d'une série d'expériences où les roches terrestres ont été comparées aux météorites. Plusieurs de ces roches offrent de grandes analogies de composition avec ces dernières; mais toutes appartiennent aux régions profondes du globe et sont surtout des roches magnésiennes du type périclase, que M. Daubrée croit pouvoir considérer comme « le produit le plus direct d'une scorification qui se serait opérée, dans notre planète, à une époque extrêmement reculée. » Mais les météorites, si elles ont avec certaines roches terrestres des ressemblances si frappantes, diffèrent considérablement de la plupart de celles qui forment l'écorce de notre globe. On n'y a rien trouvé jusqu'ici qui ressemble aux matériaux constitutifs des terrains stratifiés : ni roches arénacées, ni roches fossilifères, c'est-à-dire rien qui rappelle l'action d'un océan sur ces corps, non plus que la présence de la vie.

III

LUMIÈRE ZODIACALE.

Aspect de la Lumière Zodiacale dans les diverses régions de la Terre. — Existence probable d'un grand anneau lumineux situé entre la Terre et le Soleil.

Dans les soirées des mois de février, de mars et d'avril, et surtout dans celles voisines de l'équinoxe du printemps, alors que dans nos climats le crépuscule est de courte durée, si l'on examine l'horizon vers l'ouest, un peu après le coucher du Soleil, on aperçoit une large lueur qui s'élève en forme de cône à travers les constellations étoilées. C'est cette lueur que les astronomes appellent la *Lumière Zodiacale*. Les spectateurs non prévenus, ou peu familiers avec l'aspect ordinaire du ciel, pourraient la confondre soit avec une portion de la Voie Lactée, soit avec des restes de la lumière crépusculaire, soit encore avec une aurore boréale. Mais, avec un peu d'attention, il est impossible de s'y méprendre. La forme triangulaire ou conique du fuseau lumineux, son élévation et sa position inclinée sur l'horizon en font un phénomène à part et qui mérite une mention particulière.

A mesure que les jours s'allongent, et avec eux la durée du crépuscule, la lueur zodiacale disparaît, invisible du moins pour nos climats. Mais elle reparaît le matin à l'orient, dans les matinées qui avoisinent l'équinoxe d'automne, en septembre et en octobre, où l'aurore a également peu de durée, pour

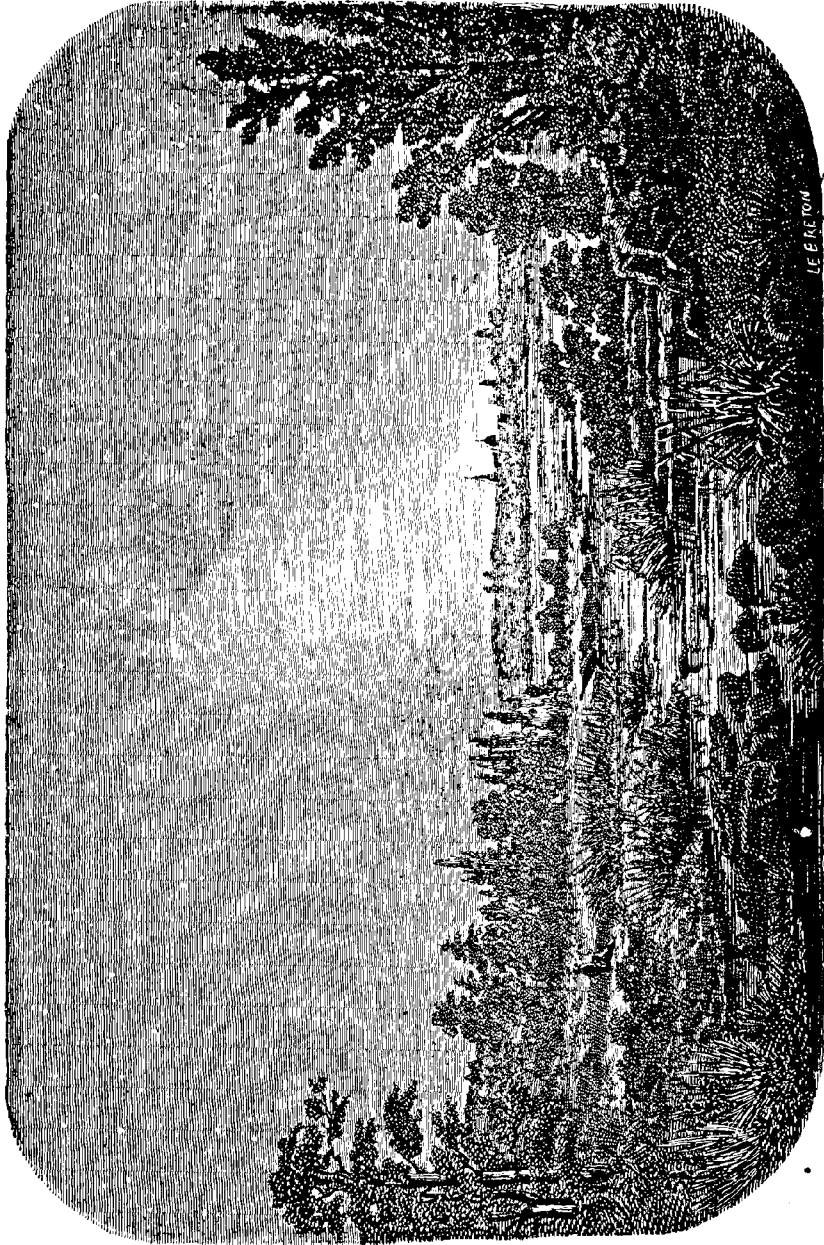
disparaître de nouveau pendant la période des longues nuits et des longs crépuscules¹. La cause de cette disparition n'est pas seulement la durée et l'intensité de la lueur crépusculaire : l'axe du cône qui forme la lumière zodiacale coïncide à peu de chose près avec l'écliptique ; dès lors, son inclinaison sur l'horizon varie avec celle de ce dernier plan. On s'explique ainsi pourquoi la lumière zodiacale est plus aisément visible à certaines époques qu'à d'autres, le matin que le soir, ou inversement : c'est qu'alors, au lieu d'être couchée sur l'horizon, elle s'élève moins obliquement. Dans les régions intertropicales, la lueur est toujours moins inclinée, et parfois elle monte perpendiculairement dans le ciel : de là sa visibilité plus grande, que favorise encore le calme et la pureté du ciel pendant la nuit.

L'éclat dont brille cette lueur est comparable à celui de la Voie Lactée, ou encore à la queue de certaines comètes, laissant voir au travers, par sa transparence, jusqu'aux plus petites étoiles. Cependant, selon Mairan, qui s'est beaucoup occupé du phénomène, dans les jours les plus favorables à l'observation sa lumière est plus intense que celle de la Voie de lait et plus uniforme ; moins blanche toutefois, et tirant un peu vers le jaune et le rouge dans les parties les plus voisines de l'horizon. Ce n'est alors que vers les extrémités qu'il put apercevoir les petites étoiles sur lesquelles la lueur se projetait.

1. L'horizon des grandes villes, éclairé par des milliers de becs de gaz ou d'autres lumières, rend l'observation de la lueur zodiacale très-difficile, pour ne pas dire impossible à toute époque. En revanche, dans les stations convenablement situées, on a pu la voir à des époques de l'année fort diverses, même dans les zones tempérées, pourvu toutefois qu'il n'y ait pas de Lune. C'est ainsi que M. Heis (de Munster) cite des observations faites par lui dans le mois de décembre, en Allemagne, et que M. Jones l'a observée, à la même époque de l'année, au Japon. M. Chacornac a observé la lumière zodiacale en janvier et février à Paris, en décembre à Lyon. Un fait peu connu, et qu'il a constaté, c'est que la lueur est assez intense pour effacer les étoiles de douzième à treizième grandeur : « Il n'est pas douteux, m'écrit-il, que cette matière masque d'un voile rouge jaunâtre la région du ciel sur laquelle elle se projette. »

LE CIEL.

PLANCHE XXVI.



LUMIÈRE ZODIACALE.

Son aspect en Europe, d'après les observations de M. Heis à Munster.

Cette couleur d'un jaune rougeâtre a été pareillement observée en 1843, par Arago et les autres astronomes de l'Observatoire de Paris, qui pouvaient alors la comparer à la queue de la comète de cette même année. D'ailleurs, dès 1707, la même teinte rouge était déjà signalée par Derham.

Maintenant, si des régions tempérées des deux hémisphères on s'avance vers les contrées tropicales, la Lumière Zodiacale augmente en intensité et en hauteur; on peut l'observer pendant toute l'année. Écoutons à ce sujet l'illustre Humboldt, rapportant dans son *Cosmos* les impressions que lui causa, dans ses voyages, la vue de ce curieux phénomène. « L'intensité lumineuse, beaucoup plus grande, que la Lumière Zodiacale présente en Espagne sur les côtes de Valence et dans les plaines de la Nouvelle-Castille, m'avait engagé déjà, avant que je quittasse l'Europe, à l'observer assidûment. L'éclat de cette lumière, je pourrais dire de cette illumination, augmenta encore d'une manière surprenante, à mesure que je m'approchai de l'équateur sur le continent américain ou sur la mer du Sud. A travers l'atmosphère toujours sèche et transparente de Cumana, dans les plaines d'herbes ou Llanos de Caracas, sur les plateaux de Quito et sur les lacs du Mexique, particulièrement à des hauteurs de huit à douze mille pieds, où je pouvais séjourner plus longtemps, je vis la lumière zodiacale surpasser quelquefois en éclat les plus belles parties de la Voie Lactée, comprises entre la proue du Navire et le Sagittaire, ou, pour citer des régions du ciel visible dans notre hémisphère, entre l'Aigle et le Cygne ¹. »

Voyons maintenant s'il est possible de se rendre compte de la nature de la lueur zodiacale, qui évidemment n'est pas un phénomène météorologique, puisque sa participation au mouvement diurne, sa visibilité dans des régions de la Terre fort éloignées les unes des autres, enfin son inclinaison à peu

1. *Cosmos*, t. II, p. 594.

près constante le long de l'écliptique indiquent suffisamment que la cause qui produit de telles apparences est reléguée hors de l'atmosphère, dans les espaces célestes.

Parmi les explications qu'on en a données, la plus vraisemblable est celle qui fait de la Lumière Zodiacale un anneau nébuleux aplati, entourant le Soleil à une certaine distance. Il est remarquable, en effet, que la direction de l'axe du cône ou de la pyramide, prolongée sous l'horizon, passe toujours par le lieu du Soleil (fig. 143).

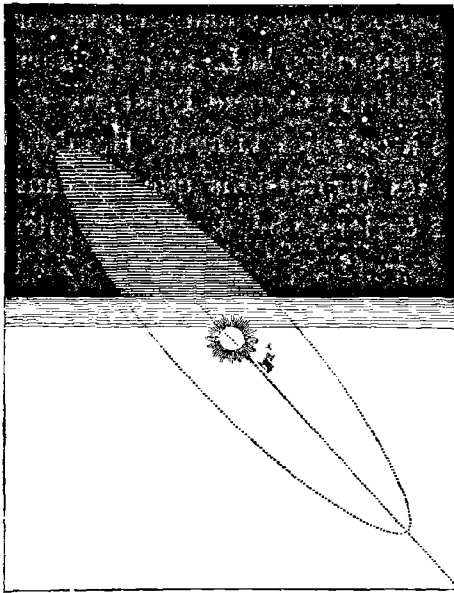


Fig. 143. — Position et inclinaison de la Lumière Zodiacale au-dessus de l'horizon; la direction de l'axe prolongée en dessous passe par le Soleil.

On a cru d'abord que cette direction coïncidait précisément avec l'équateur; mais il paraît plus certain que c'est avec le plan de l'orbite de la Terre, ou de l'écliptique¹.

L'amplitude du grand axe de l'anneau est variable, ou si l'on veut, la distance du sommet du cône au milieu de sa base, à l'horizon, est plus ou moins considérable suivant les époques². Des considérations géométriques fort simples permettent d'en conclure que la partie la plus dense de l'anneau lumineux

1. Cependant de récentes observations (de M. Heis, à Munster, et de M. Jones, au Japon) faites simultanément présentent l'axe du cône lumineux comme formant un petit angle avec ce dernier plan.

2. D'après les observations de M. Liais, au Brésil, la véritable forme de la lueur zodiacale n'est pas celle d'un cône, mais bien d'une zone qui entoure tout le zodiaque, de l'est à l'ouest, depuis le coucher du Soleil jusqu'à son lever. La Terre serait donc tout entière plongée dans la nébulosité.



LA LUMIÈRE ZODIACALE

A JAPON.

d'après les observations de M. Jones

Imp. Lemerrier & C^{ie} Paris

tantôt s'étend jusqu'à l'orbite de la Terre et même la dépasse, tantôt est renfermée à l'intérieur de cette même orbite. Ce qu'on peut expliquer de deux manières : soit en admettant que la forme de l'anneau est elliptique ou ovale, soit, s'il est circulaire, en supposant qu'il est excentrique au Soleil.

Maintenant, de quelle nature est cette masse lumineuse ? Mairan en avait fait une atmosphère du Soleil, participant au mouvement de rotation de l'astre. Mais il est prouvé que la distance limite à laquelle une enveloppe gazeuse de l'astre peut s'étendre est tout au plus égale aux $\frac{9}{20}$ de la distance du Soleil à Mercure. Faut-il la considérer comme une zone de vapeurs abandonnées à l'origine par le Soleil, alors que notre étoile centrale passait de l'état de nébuleuse à celui d'une sphère fluide condensée ? C'était là l'opinion de Laplace : « Si dans les zones abandonnées par l'atmosphère (primitive) du Soleil, dit-il, il s'est trouvé des molécules trop volatiles pour s'unir entre elles ou aux planètes, elles doivent, en continuant de circuler autour de cet astre, offrir toutes les apparences de la lumière zodiacale, sans opposer de résistance sensible aux divers corps du système planétaire, soit à cause de leur extrême rareté, soit parce que leur mouvement est à peu près le même que celui des planètes qu'elles rencontrent. »

Une autre hypothèse, qui se rattache d'ailleurs à cette dernière, considérerait la Lumière Zodiacale comme formée de myriades de corpuscules solides, analogues aux aérolithes, circulant dans un mouvement d'ensemble, mais séparément, autour du foyer de notre monde solaire. La lumière de l'anneau serait produite alors par l'accumulation de cette multitude de points brillants, réfléchissant vers nous la lumière empruntée par chacun d'eux au Soleil. Cette explication rendrait compte de la variation d'intensité de la Lumière Zodiacale, à des époques différentes ; il suffirait d'admettre que la condensation des corpuscules ou la densité de l'anneau n'est point la même dans toute son étendue, et que son mou-

vement de circulation autour du Soleil en présente successivement à la Terre les diverses parties. Enfin, un certain nombre de savants regardent la Lumière Zodiacale comme un anneau vaporeux qui appartient à la Terre, en l'environnant à une certaine distance. Mais c'est là une opinion qui ne nous paraît nullement justifiée par les apparences du phénomène.

Je passe sous silence diverses autres théories aujourd'hui complètement abandonnées. Mais il faut avouer, en terminant ce que nous avons à dire de cet intéressant phénomène, qu'il n'est pas permis de se prononcer d'une façon définitive sur sa nature, tant que les observations resteront aussi vagues et aussi peu nombreuses. Cassini et Mairan ont observé dans le cône lumineux des petitements momentanés, qu'on expliquerait peut-être par les mouvements rapides des corpuscules, présentant alternativement des faces d'inégale grandeur; à peu près comme on voit les grains de poussière scintiller dans le rayon de Soleil qui pénètre à l'intérieur d'une chambre obscure. C'est une explication qu'il faut présenter avec d'autant plus de réserve que l'observation de Mairan et de Cassini n'a pas été, que nous sachions, renouvelée. D'après M. Liais, la Lumière Zodiacale n'offre pas de traces de polarisation, d'où il résulte, ou bien que la matière dont elle est formée est lumineuse par elle-même, peut-être phosphorescente, ou bien qu'elle se compose de corpuscules incohérents, isolés, dont chacun en particulier réfléchit la lumière solaire.

Il reste en outre à rendre compte des intermittences d'éclat signalées par Humboldt, des ondulations brusques qu'il a vues traverser la pyramide lumineuse : Arago ne pensait pas qu'on pût expliquer ce fait par de simples variations dans les couches de notre atmosphère.

DEUXIÈME PARTIE



LE MONDE SIDÉRAL

ANDR M DI JES
A got

L O R A I T
i c l e e

LYNX

LE LION



CASSIOPEE Eto le Pole re CHARIOT
LE CYGN CIPHIF PETIT OURSE DRAGON au GRANDE OURSE BOUVES

LE CIEL DE L'HORIZON DE PARIS . Côte Nord

vu a Minuit le 20 Decembre

DEUXIÈME PARTIE.

LE MONDE SIDÉRAL.

LIVRE PREMIER.

LES ÉTOILES.

Imaginons une sphère ayant le Soleil à son centre, et dont la surface idéale s'étende à une distance de trente fois le rayon moyen de l'orbite de la Terre ; cette sphère, nous l'avons vu, comprendra dans sa vaste enceinte tous les corps célestes, les comètes exceptées, qui effectuent périodiquement leurs révolutions autour du Soleil. Sans se préoccuper de savoir s'il existe d'autres planètes plus éloignées encore que Neptune, si les comètes à longues périodes qui, après avoir brillé une fois dans nos régions, vont s'enfoncer dans l'espace à des profondeurs dépassant plusieurs milliers de fois la distance du Soleil à la Terre, appartiennent à notre monde, il est permis de regarder la sphère idéale dont on vient de parler, comme donnant une mesure approximative des dimensions du système solaire.

Toutefois, allons plus loin. Triplons en pensée le rayon de

cette sphère; donnons-lui pour rayon cent rayons de l'orbite terrestre, à peu près trois milliards sept cents millions de lieues! Espace énorme dont l'imagination ne se fait que difficilement une idée un peu précise, et qu'un rayon de lumière mettrait dix-huit jours à traverser d'outre en outre, malgré sa foudroyante vitesse de soixante-quatorze mille cinq cents lieues par seconde.

Cependant nous verrons bientôt que cette immense étendue n'est qu'un point, quand on la compare aux dimensions de la portion de l'univers que notre vue peut atteindre. Les plus rapprochés de nous des innombrables systèmes dont cette portion se compose, s'éloignent des confins du système solaire à une distance deux mille fois aussi grande que le rayon de la sphère qui vient de nous servir à en mesurer les limites.

On ne pouvait donc guère espérer qu'il fût jamais possible, même à l'aide des plus puissants télescopes, de découvrir les particularités physiques de corps célestes aussi prodigieusement distants. Mais grâce à d'ingénieuses méthodes et à des procédés d'une extrême délicatesse, les dernières investigations de la science ont fourni aux observateurs la plus riche série d'intéressants phénomènes. La constitution même de l'univers visible s'est ainsi peu à peu révélée : la distribution des astres, leurs groupes, leurs mouvements, l'intensité et la couleur de leur lumière et mille autres faits curieux sont autant de points dont la constatation décisive est venue donner à l'astronomie sidérale le plus haut intérêt. Depuis quelques années, un problème dont la solution semble bien autrement étonnante a été abordé : appliquant la méthode si délicate et si précise de l'analyse spectrale à l'étude des lumières stellaires, les physiciens et les astronomes y ont cherché le secret de la constitution intime des corps que ces lumières rendent visibles pour nous. Grâce à ces précieuses et difficiles recherches, on a pu acquérir déjà quelques données sur

la composition chimique des substances dont sont formées les étoiles et les nébuleuses.

Telles sont les questions dont il nous reste à nous occuper maintenant; tel est le champ immense qu'il nous reste à explorer, pour achever la description de l'Univers. Jusqu'ici, nous n'en avons observé pour ainsi dire qu'une contrée, une contrée si grande pour nous que ses dimensions nous étonnent, si petite vis-à-vis du reste du monde qu'elle est comme un point perdu dans son immensité. Nous sommes donc encore au début de notre voyage, puisque c'est le ciel tout entier, dans ses détails comme dans son ensemble, que nous allons maintenant parcourir. Heureusement la connaissance que nous avons acquise du système dont la Terre fait partie, c'est-à-dire du monde solaire, nous sera d'un grand secours pour l'étude du monde sidéral, en nous donnant à chaque instant des termes de comparaison pour juger par analogie des autres systèmes.

I

LES ÉTOILES.

Scintillation des étoiles. — Apparente fixité de leurs distances relatives. — Classification des étoiles selon l'éclat de leur lumière; divers ordres de grandeur. — Nombre des étoiles visibles à l'œil nu. — Évaluation approchée du nombre des étoiles visibles dans les plus puissants télescopes.

Nul spectacle, disais-je au début de cet ouvrage, n'est à la fois aussi touchant et aussi grandiose que celui du ciel par une belle nuit. Si l'on a soin de choisir pour observatoire une station bien à découvert, comme l'est une plaine unie, le sommet d'une colline ou encore l'horizon de la mer; et si l'atmosphère un peu humide possède toute sa transparence et sa pureté, on voit des milliers de points lumineux étinceler de toutes parts, accomplissant lentement et avec ensemble leur marche silencieuse. Le contraste de l'obscurité qui règne à la surface de la Terre avec cette voûte resplendissante donne une profondeur indéfinie à l'océan céleste qui surplombe nos têtes. Mais laissons là la magnificence du spectacle, pour l'étudier lui-même dans ses plus minutieux détails.

Commençons par nous occuper des apparences.

Un premier caractère commun à toutes les étoiles, c'est un changement d'éclat, incessant et très-rapide, qui a reçu le nom de *scintillation*. Ce phénomène est accompagné de variations de couleurs également brusques qui ont la même cause que les disparitions et réapparitions successives de la

lumière. Toutes les étoiles scintillent, quel que soit leur éclat, du moins dans nos régions tempérées. Mais l'intensité de ce mouvement lumineux n'est pas la même pour toutes, et d'ailleurs elle varie à la fois avec le degré de pureté du ciel, avec l'élévation des étoiles au-dessus de l'horizon, et avec la basse température des nuits. Selon Arago, la scintillation est due à la différence de vitesse des rayons de diverses couleurs traversant les couches atmosphériques, inégalement chaudes, denses ou humides. Aussi dans les régions tropicales, où les couches atmosphériques sont plus homogènes, n'observe-t-on plus de scintillation, pour les étoiles dont la hauteur au-dessus de l'horizon dépasse 15° , ou le sixième de la distance de l'horizon au zénith. « Cette circonstance, dit Humboldt, donne à la voûte céleste de ces contrées un caractère particulier de calme et de douceur. »

Quant aux planètes, elles scintillent peu ou point; il est rare qu'on observe des traces de ce phénomène dans Saturne et dans Jupiter, mais il est plus sensible pour Mars, Vénus et Mercure. Cette différence suffit dans nos climats, pour donner un premier moyen de distinguer une planète d'une étoile, lorsqu'on n'est pas très-familier avec la configuration des groupes célestes.

Un autre caractère spécifique des étoiles, c'est que leurs diamètres sont sans dimensions appréciables. A l'œil nu, cette distinction serait insuffisante, puisque, la Lune et le Soleil exceptés, les planètes les plus considérables n'ont pas non plus de diamètres sensibles. Mais, tandis que le grossissement des instruments d'optique nous montre les planètes principales sous la forme de disques nettement terminés, les lunettes les plus puissantes ne font jamais voir une étoile que comme un point lumineux, sans dimensions. La distance qui nous sépare de ces astres est si grande, qu'il n'y a pas lieu de nous étonner d'un tel résultat. Wollaston affirme que le diamètre apparent de la plus brillante étoile du ciel, de Sirius, ne

vaut pas la cinquantième partie d'une seconde d'arc. Mais bâtons-nous de dire que ce résultat laisse encore une belle marge aux dimensions réelles de cette étoile, puisqu'à la distance où elle se trouve de nous, un diamètre apparent aussi petit représenterait néanmoins un diamètre réel de 4 500 000 lieues : c'est encore plus de 12 fois le diamètre de notre Soleil.

Ajoutons enfin que l'absence de dimensions apparentes appréciables ne suffirait pas pour distinguer absolument les étoiles des planètes, puisqu'un certain nombre de celles-ci n'apparaissent dans les télescopes que comme de simples points lumineux. Arrivons donc au caractère spécifique permanent, dont la constatation empêchera toujours de confondre une étoile avec l'un des astres connus ou inconnus qui font partie de notre groupe solaire. Ce caractère, le voici :

Les étoiles proprement dites conservent entre elles, à très-peu de chose près, leurs distances relatives. Elles forment donc, sur la voûte céleste, des groupes apparents d'une configuration presque invariable ; il faut des siècles pour constater leur changement de position autrement que par des mesures extrêmement délicates. Une planète au contraire se déplace rapidement en traversant ces groupes, au point que dans l'intervalle d'une nuit, de quelques nuits au plus, ce déplacement est très-sensible. De là l'ancienne dénomination d'*étoiles fixes*, par opposition aux étoiles *errantes* ou *planètes*.

Il faut bien se garder toutefois de donner à cette dénomination de *fixes* une rigueur qu'elle n'a pas, et l'on verra bientôt que les étoiles se meuvent réellement avec une rapidité qui ne le cède en rien à celle qui anime les astres de notre système. L'immense éloignement est seul cause de cette immobilité apparente, qui n'existe plus, dès que des observations précises embrassent un intervalle de temps suffisant, quelques années par exemple.

Un fait qui frappe tout le monde, c'est la grande diversité

d'éclat des étoiles qui parsèment le ciel. On y remarque tous les degrés d'intensité, depuis la lumière éblouissante de Sirius, jusqu'à la lumière à peine perceptible des dernières étoiles visibles à l'œil nu. D'où vient cette différence d'éclat? C'est ce qu'on ne saurait dire d'aucune étoile en particulier; mais il est facile de comprendre qu'elle peut résulter de circonstances multiples, telles que le plus ou moins grand éloignement, les dimensions réelles et variées des astres, enfin l'éclat intrinsèque de la lumière propre à chacun d'eux. Quoi qu'il en soit, les astronomes, sans se préoccuper d'abord des causes inconnues qui peuvent influencer sur l'intensité de la lumière stellaire, ont partagé les étoiles en classes ou *grandeurs*. Quand on parle d'une étoile de *première*, de *seconde*, de *cinquième grandeur*, il est donc bien entendu que cette façon de parler est tout entière relative à l'intensité apparente, et qu'il n'en faut rien préjuger, ni sur les dimensions réelles de l'astre, ni sur sa distance, ni même sur son éclat intrinsèque¹.

D'ailleurs, comme les étoiles rangées par ordre d'éclat formeraient une progression décroissant par degrés insensibles, les classes adoptées sont toutes de convention et dès lors arbitraires. Les six premières grandeurs comprennent toutes les étoiles visibles à l'œil nu. Mais l'emploi des télescopes les plus puissants permet aujourd'hui d'apercevoir des étoiles d'un éclat beaucoup plus faible, et qui peut descendre jusqu'à la 16^e et la 17^e grandeur. En vérité la progression n'a pas de limite inférieure; elle s'étend de plus en plus, à mesure que les progrès de l'art de l'opticien augmentent le pouvoir de pénétration des instruments.

Pour se faire une idée des intensités lumineuses respectives des étoiles des six premiers ordres de grandeur, sui-

1. Ce que nous disons ici d'une étoile particulière n'est plus vrai rigoureusement quand on considère l'ensemble des étoiles. On verra plus loin que le calcul des probabilités permet, dans ce cas, de déduire de l'éclat des étoiles d'une certaine grandeur des conséquences sur leur distance moyenne.

vant l'échelle adoptée par les astronomes, on n'a qu'à jeter les yeux sur le dessin suivant, où les étoiles sont figurées par des disques dont la surface est en raison de leur éclat :

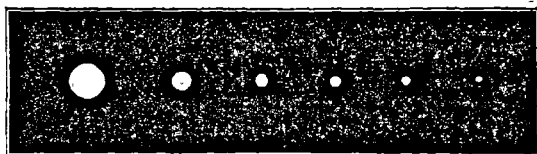


Fig. 144. — Éclat relatif des étoiles des six premières grandeurs.

Mais, je le répète, il ne faut pas croire que les étoiles rangées dans une même classe soient toutes pour cela de même intensité. C'est ainsi que la lumière de Sirius est évaluée comme égale à quatre fois celle de l'étoile Alpha de la constellation du Centaure; et cependant, l'une et l'autre sont mises par les astronomes au nombre des étoiles de première grandeur. Aussi, s'est-on trouvé dans l'obligation d'adopter des classes intermédiaires, qu'on distingue par les numéros d'ordre des classes voisines principales. Ainsi entre la 1^{re} et la 2^{me} grandeur, il y a les étoiles de 1.2 et de 2.1 grandeur; entre la 2^{me} et la 3^{me}, celles de 2.3 et de 3.2, etc.

Voici les noms des vingt étoiles les plus brillantes des deux hémisphères, qu'on a coutume de considérer comme formant la première classe : elles sont ici rangées par ordre d'éclat :

1 Sirius.	8 Véga.	15 Antarès.
2 Éta d'Argo ¹ .	9 Procyon.	16 Atair.
3 Canopus.	10 Bêteigeuze ² .	17 L'Épi de la Vier- ge.
4 Alpha du Centaure.	11 Achernar.	18 Fomalhaut. . .
5 Arcturus.	12 Aldebaran.	19 Bêta de la Croix.
6 Rigel.	13 Bêta du Centaure.	20 Pollux.
7 La Chèvre.	14 Alpha de la Croix.	

Enfin, Régulus du Lion est aussi rangée par quelques astronomes dans la première grandeur, tandis que d'autres n'ad-

1. On verra plus loin que l'éclat de cette étoile a subi d'étonnantes transformations; elle est descendue récemment à la sixième grandeur.

2. L'éclat de cette étoile est variable.

mettent dans cette classe que les dix-sept premières étoiles. Ces divergences n'ont pas d'importance.

A mesure qu'on descend l'échelle des intensités ou des grandeurs, le nombre des étoiles contenues dans chaque classe va en croissant rapidement. C'est ainsi qu'on évalue à 65 le nombre d'étoiles de tout le ciel comprises dans la seconde grandeur; à 200 environ, celles de troisième; à 425, le nombre des étoiles de quatrième grandeur; à 1100, celles de cinquième, et à 3200, celles de sixième grandeur. En faisant la somme de tous ces nombres, on trouve un peu plus de 5000 étoiles pour les six premières grandeurs, qui comprennent à peu près toutes celles qu'on peut apercevoir à l'œil nu.

La petitesse de ce nombre étonne presque toujours les personnes qui n'ont point cherché à se rendre un compte exact de la quantité d'étoiles qui brillent sur la voûte céleste pendant les plus belles nuits. A l'aspect de cette multitude de points étincelants qui parsèment le ciel, qui ne se sent disposé à croire qu'ils sont innombrables et se comptent, sinon par millions, du moins par centaines de mille? C'est là cependant une véritable illusion. Tous les observateurs qui se sont donné la peine de faire un dénombrement exact des étoiles perceptibles à l'œil nu, ont compté au maximum, et en moyenne, 3000 étoiles dans toute la partie de la voûte céleste qu'on peut apercevoir au même instant. Or, cette portion n'est jamais que la moitié du ciel entier. Sans entreprendre une vérification aussi laborieuse, on peut s'assurer à peu près de l'exactitude de l'évaluation dont il s'agit, en se bornant à compter les étoiles qu'on parvient à distinguer à l'œil nu, dans une région limitée du ciel, par exemple dans l'un des trapèzes formés par les étoiles principales d'Orion, du Lion, de Pégase ou de la Grande-Ourse.

Argelander a publié un catalogue exact des étoiles visibles sur l'horizon de Berlin, pendant le cours d'une année. Ce ca-

atalogue comprend 3256 étoiles¹ dont voici la distribution selon l'ordre des grandeurs :

1 ^{re} grandeur.....	14
2 ^e —	51
3 ^e —	153
4 ^e —	325
5 ^e —	810
6 ^e —	1871

Il y a en outre 13 étoiles variables, 15 amas et 4 nébuleuses. D'après Humboldt, il y a 4146 étoiles visibles sur l'horizon de Paris, dans tout le cours de l'année, et, comme ce nombre va croissant à mesure qu'on s'approche de l'équateur, c'est-à-dire à mesure que le double mouvement de la Terre permet de découvrir, en une année, une portion plus étendue du ciel, on trouve déjà 4638 étoiles visibles à l'œil nu, sur l'horizon d'Alexandrie (Basse-Égypte).

Je le répète, c'est un nombre compris au maximum, entre 5000 et 6000 étoiles environ pour le ciel entier. Encore s'agit-il des vues des personnes habituées aux observations astronomiques, et effectuant une telle révision par les nuits les plus pures. Quand l'atmosphère est éclairée par la Lune, le crépuscule, ou comme il arrive dans les grands centres de population, par l'illumination des maisons et des rues, les dernières grandeurs s'effacent et le nombre des étoiles visibles est beaucoup plus limité. Du reste, plus la scintillation est vive, plus il est facile de distinguer les très-faibles étoiles.

1. M. Heis (de Munster) assure que sa vue est si pénétrante, qu'il aperçoit à l'œil nu 2000 étoiles de plus que celles consignées par Argelander dans sa *Nouvelle Uranométrie*. D'autre part, il est bien des vues qui distinguent au plus les étoiles de cinquième grandeur, et ne voient aucune de celles de sixième. Le degré de visibilité des étoiles à l'œil nu dépend aussi beaucoup de l'état de l'atmosphère, de sa pureté plus ou moins grande et de l'altitude des lieux. Les Parisiens et en général les habitants des grandes villes, pour s'assurer de ces différences, n'ont qu'à comparer le ciel étincelant des campagnes avec celui qu'ils entrevoient à travers l'épaisse brume qui surplombe leur cité.

Un mot maintenant du nombre des étoiles qu'on ne peut apercevoir sans le secours du télescope. Là, nous allons retrouver ces nombres prodigieux de points lumineux que notre imagination nous fait voir, à tort, à la vue simple.

Selon l'illustre directeur de l'Observatoire de Bonn, Argelander, la septième grandeur comprend à peu près 13 000 étoiles, la huitième 40 000, la neuvième enfin 142 000. Les évaluations de Struve portent à plus de 20 millions le nombre total des étoiles, visibles dans le ciel entier à l'aide du télescope de 20 pieds construit par William Herschel. Mais, sans aucun doute, ces nombres approximatifs sont bien au-dessous de leur valeur réelle¹. On verra d'ailleurs que la richesse en étoiles des diverses parties du ciel est fort inégale. La grande zone brillante connue sous le nom de Voie Lactée, à elle seule, en contient, suivant Herschel, dix-huit millions. Rien n'est plus curieux que d'examiner, d'abord à l'œil nu, puis à l'aide d'une lunette, un même champ de la surface du ciel. Là, où l'œil distinguait à peine quelques rares étoiles, le télescope en montre successivement des milliers. Les deux dessins ci-dessus permettront, à ceux de mes lecteurs qui n'ont pas en leur possession de lunette un peu puissante, de juger de la surprise qu'on éprouve à faire cette expérience. Ces dessins représentent le même coin de la constellation des Gémeaux.



Fig. 145.—Un coin de la constellation des Gémeaux, vu à l'œil nu.

L'œil nu permet d'y compter sept étoiles. Or le même espace céleste, vu à l'aide d'un télescope de 27 centimètres d'ouver-

1. M. Chacornac considère cette évaluation comme bien inférieure à celle des étoiles comprises entre la première et la treizième grandeur : « Pour ma part, nous écrit-il, d'après les jauges de sir W. Herschel et celles des cartes écliptiques, j'évalue à 77 millions le nombre des étoiles comprises dans les treize premiers ordres de grandeur, si l'on prend la moyenne indiquée dans la préface du catalogue des zones de Bessel réduites par Weiss. » Que serait-ce, si l'on pouvait joindre à ces énumérations, déjà si prodigieuses, toutes les étoiles qui forment les amas stellaires et les milliers de nébuleuses résolubles aujourd'hui connues!

ture, ne renferme pas moins de 3205 étoiles, depuis la troisième jusqu'à la treizième grandeur. C'est un véritable fourmillement de points lumineux.

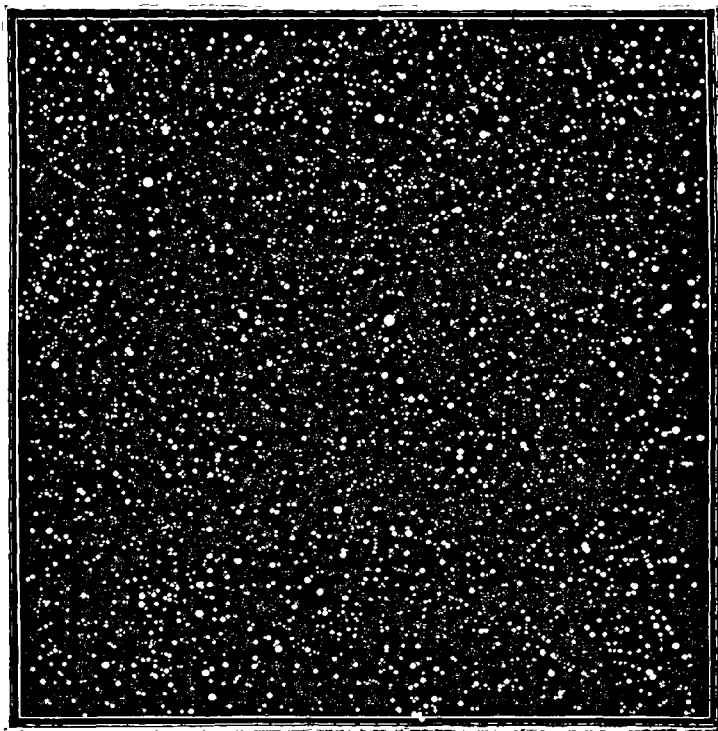


Fig. 146. — Un coin de la constellation des Gémeaux vu au télescope. — Reproduction, sur une petite échelle, d'une des cartes de l'Atlas écliptique de M. Chacornac.

Que serait-ce donc si, appliquant à la même région les instruments beaucoup plus puissants encore, dont la science peut actuellement disposer, l'œil y découvrirait à des profondeurs pour ainsi dire infinies, toutes les étoiles des ordres inférieurs ?

II

LES CONSTELLATIONS.

§ 1. — Révision générale du ciel étoilé. — Constellations visibles sur l'horizon de Paris. — Zone circompolaire boréale. Étoile polaire; Grande et Petite Ourses, Cassiopée; le Dragon, la Girafe, Céphée, le Lynx; la Chèvre et le Cocher; Persée et Algol. — Mouvement de la zone circompolaire; sa position à diverses heures de la nuit et au commencement de chaque saison.

Avant d'étudier en eux-mêmes les phénomènes que présente le ciel étoilé, avant de pénétrer pour ainsi dire au cœur de l'univers visible, pour en saisir la structure merveilleuse et en embrasser par la pensée la prodigieuse étendue, il est bon de se familiariser avec les groupes d'étoiles, tels qu'ils se présentent à l'œil d'un habitant de la Terre. Les mouvements dont les étoiles prétendues fixes sont douées s'effectuant, ainsi que nous l'avons dit plus haut, avec une extrême lenteur, il en résulte que les groupes artificiels ou *constellations* affectent pendant longtemps les mêmes figures. Cette constance de forme, jointe à la différence d'éclat des étoiles principales, nous permettra de nous débrouiller au milieu du chaos de tant de points lumineux disséminés çà et là sur la voûte céleste. Quand nous posséderons de la sorte la carte de notre ciel, nous pourrons suivre avec plus d'intérêt les particularités qui distinguent ces diverses régions, aussi variées en réalité qu'elles semblent uniformes au premier abord.

Choisissons, pour faire cette révision du ciel, une station

quelconque à la surface de la Terre, par exemple l'horizon de Paris. Comme notre globe, en vertu du mouvement diurne, exécute en vingt-quatre heures environ une rotation entière autour de son axe, il en résulte que la portion de la voûte céleste visible dans la station que nous avons choisie défile entièrement devant nos yeux pendant le même temps. Il nous suffirait dès lors de 24 heures pour effectuer notre revue, si l'illumination de l'atmosphère n'effaçait les étoiles pendant le jour. Mais l'alternative du jour et de la nuit ne permet de voir qu'une portion des étoiles visibles en un lieu donné.

Heureusement, le mouvement de la Terre dans son orbite annuelle résout cette difficulté. En vertu de ce mouvement, chaque nuit vient nous montrer de nouvelles étoiles, tandis que d'autres d'abord visibles disparaissent. Dans le cours d'une année, la Terre présente ainsi successivement l'un quelconque de ses hémisphères obscurs à toutes les parties du ciel, à toutes celles du moins qui peuvent correspondre à l'horizon de l'observateur.

Enfin, il ne faut pas perdre de vue que, même dans cette hypothèse, toute une partie de la voûte céleste restera encore invisible. Il va suffire, pour s'en convaincre, de se rappeler quel est l'effet du mouvement diurne de rotation sur l'aspect du ciel en un lieu donné de la Terre, à Paris, je suppose. Un point situé à une certaine hauteur au-dessus de cet horizon, et au nord dans la direction du méridien, reste immobile. C'est l'un des pôles. Puis, autour de ce point les étoiles semblent décrire, du levant au couchant, des cercles de plus en plus grands à mesure qu'elles sont plus éloignées du pôle. Tant que ces cercles ne vont pas atteindre l'horizon par leur arc inférieur, les étoiles ne se lèvent ni ne se couchent et restent constamment visibles : ce sont les étoiles *circumpolaires*.

Au delà, les cercles décrits plongent en partie au-dessous

de l'horizon, grandissant jusqu'à un cercle limité qui est l'équateur. Puis, en s'éloignant encore, les étoiles décrivent des arcs de plus en plus courts, du côté du midi. Les dernières se lèvent à peine pour bientôt se coucher et disparaître.

On conçoit donc qu'il reste toute une zone d'étoiles, lesquelles n'émergeant jamais au-dessus de l'horizon de Paris, sont à jamais invisibles pour tous les lieux de la Terre qui ont cette même latitude. Ce sont les étoiles qui environnent le pôle méridional du ciel, et qu'un observateur découvrirait peu à peu, à mesure qu'il descendrait en s'approchant des régions équatoriales de la Terre¹.

Le ciel tout entier peut donc être considéré en chaque lieu, comme formé de trois zones : la première toujours visible pendant la nuit, quel que soit le jour de l'année, la seconde visible en partie seulement, la troisième toujours invisible.

Passons successivement en revue ces trois zones.

Occupons-nous d'abord de celle qui est toujours en vue, quand le ciel est clair bien entendu, pour tous les points de la Terre qui ont même latitude septentrionale que Paris (48° 50'). Des côtes de la Manche qui avoisinent Saint-Malo, jusqu'au nord des îles du Japon, en passant par Strasbourg, Stuttgart, Vienne, la Russie méridionale, le pays des Mongols et la Mantchourie, puis de Terre-Neuve au nord-ouest des États-Unis, tous les habitants du parallèle terrestre dont je

1. En vertu des deux mouvements de la Terre et de sa forme sphérique, la portion de la sphère céleste visible en un lieu quelconque du globe varie avec la latitude de ce lieu. A l'équateur, c'est le ciel tout entier, hémisphère boréal et hémisphère austral, qui défile devant l'observateur pendant les nuits d'une année entière. Les deux pôles sont couchés à l'horizon, dont ils marquent les points nord et sud ; l'équateur céleste va de l'est à l'ouest en passant par le zénith. A mesure qu'on s'avance de l'équateur vers l'un ou l'autre des pôles, la portion du ciel visible diminue, tout en dépassant la moitié. Enfin, aux pôles mêmes, on ne voit plus qu'une seule moitié du ciel, boréale ou australe, suivant les pôles. L'équateur céleste coïncide avec l'horizon lui-même et le pôle céleste est au zénith.

parle jouissent du même spectacle pendant toute l'année : l'heure seule, ou plutôt l'instant seul diffère.

Toutes les constellations comprises dans cette zone d'étoiles circumpolaires sont représentées dans la planche XXVIII (voyez le frontispice). Essayons de les reconnaître.

Il est minuit, je suppose. Nous sommes à la fin de l'automne, vers le 20 décembre, pendant la nuit du solstice d'hiver. Orientons-nous, et cela fait, tournons nos regards vers le côté nord du ciel. Concevons par la pensée un cercle qui, rasant l'horizon au nord même, vienne se terminer un peu au delà du zénith¹, le centre de ce cercle idéal se trouvera à peu près à égale distance du zénith et de l'horizon : c'est le pôle céleste septentrional. Très-voisine de ce point (à 1° 24'), se trouve une étoile assez brillante, de seconde grandeur : on la nomme la *Polaire*. Comme il est très-important de savoir retrouver cette étoile, dont la position reste à fort peu de chose près invariable dans tout le cours des nuits d'une année, je vais indiquer bientôt le moyen facile de la reconnaître.

Examinons vers la droite, sur la planche XXVIII et dans la figure 148, un groupe de sept étoiles de seconde grandeur. Il appartient à une constellation du ciel boréal connue depuis longtemps sous le nom de la GRANDE-OURSE. Arrêtons-nous un instant en ce point du ciel, d'où nous partirons tout à l'heure pour opérer tous les alignements utiles à notre revue du ciel étoilé. Les sept étoiles que nous avons sous les yeux peuvent se décomposer en deux groupes, dont le premier, à la partie supérieure, figure un quadrilatère qu'on nomme *corps de l'Ourse*, tandis que les trois étoiles inférieures forment la *queue*. Les deux étoiles extrêmes du quadrilatère se nomment les *gardes*². Six des sept étoiles principales de cette

1. Le zénith est, comme on sait, le point du ciel situé verticalement au-dessus de la tête d'un observateur.

2. La Grande-Ourse se nomme aussi vulgairement le *Chariot de David*. Alors les étoiles du quadrilatère en sont les *quatre roues*, tandis que les trois autres forment le *timon*.

constellation sont à peu près égales en éclat, et de seconde grandeur. Mais il est aisé de reconnaître à l'œil nu que l'étoile du corps de l'Ourse la plus voisine de la queue est inférieure aux autres : elle n'est plus guère aujourd'hui en effet que de quatrième grandeur, bien qu'au dix-septième siècle elle ne se distinguât point sous ce rapport de ses voisines. L'étoile du milieu du *timon* est accompagnée, vers la gauche, d'une toute petite étoile nommée *Alcor*, assez facile à distinguer pour

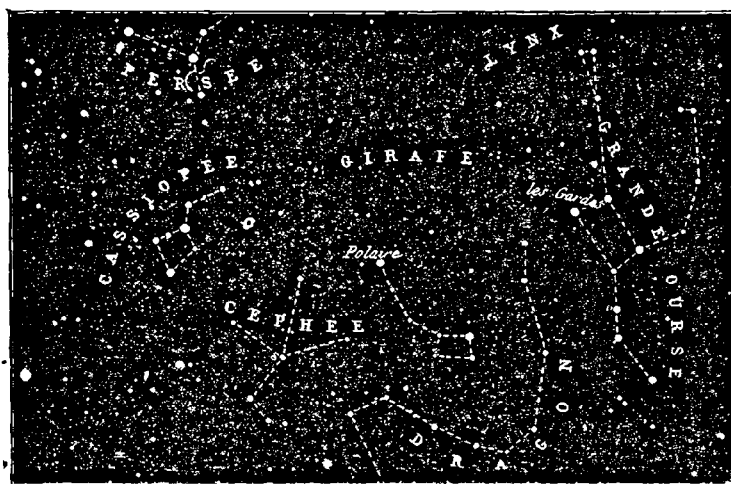


Fig. 147. — Le ciel de l'horizon de Paris. — Constellations circompolaires boréales.

les vues moyennes¹. L'œil nu peut apercevoir jusqu'à cent trente-huit étoiles dans la Grande-Ourse, parmi lesquelles, indépendamment des sept principales, vous remarquerez neuf étoiles de troisième grandeur, quatre de quatrième; les autres forment les deux derniers ordres d'éclat perceptibles à la vue simple.

De la Grande-Ourse, revenons maintenant à l'étoile Polaire.

Prolongeons, pour cela, la ligne droite qui joint les Gardes,

1. Humboldt affirme n'avoir pu distinguer que rarement Alcor, à l'œil nu, sous le ciel d'Europe. Pour mon compte, je la vois sans difficulté et à toute époque sous le ciel peu favorable de Paris.

en nous approchant du centre de la portion du ciel qui est en vue. A une distance d'environ cinq fois l'intervalle qui sépare ces deux étoiles, nous retrouvons la Polaire.

Nous savons que la Polaire joue actuellement un grand rôle dans le ciel boréal, puisque, très-voisine du pôle, cette étoile est pour ainsi dire l'un des pivots de l'axe idéal autour duquel la Terre exécute sa rotation diurne. Il en résulte qu'elle semble immobile, en conservant la même hauteur au-dessus d'un horizon quelconque, tandis que les autres étoiles décrivent autour d'elle des cercles d'inégale grandeur. Ainsi, la Grande-Ourse située d'abord à l'orient du pôle, à l'heure de minuit que nous avons choisie pour le début de notre inspection, va remonter vers le zénith à mesure que la nuit s'écoule. Vers six heures du matin, elle sera au-dessus de la Polaire, tandis qu'à six heures du soir elle occupait une position diamétralement opposée, au-dessous du pôle et près de l'horizon.

Comme toutes les étoiles participent à ce mouvement d'ensemble, il est clair que leurs positions relatives ne sont pas changées, de sorte que les figures des groupes restent toujours les mêmes. Je fais une fois pour toutes cette remarque importante et je continue.

A l'ouest de la Polaire, à la même hauteur au-dessus de l'horizon que la Grande-Ourse, et à peu près à la même distance du pôle, se trouve un groupe de six étoiles dont deux sont de la seconde grandeur, trois de la troisième et une de la quatrième : c'est la constellation de CASSIOPÉE¹, qui renferme soixante-sept étoiles visibles à l'œil nu. Les six dont nous venons de parler forment une sorte de chaise renversée dont la figure, une fois bien comprise, rend cette constellation aisée à reconnaître.

Entre la Grande-Ourse et Cassiopée, se trouve la PETITE-

1. En tirant une ligne de l'étoile du milieu de la Grande-Ourse (la moins brillante des sept) à la Polaire, et en la prolongeant d'une distance à peu près égale, on tombe presque sur l'étoile Bêta de Cassiopée.

OURSE, dont la Polaire est l'étoile la plus brillante. Sur les vingt-sept étoiles visibles à l'œil nu qui la composent, il y en a sept qui forment une figure ayant avec les sept étoiles de la Grande-Ourse une grande ressemblance, mais placée en sens inverse; les quatre étoiles intermédiaires se voient assez difficilement. Cette constellation ne renferme, outre la Polaire, qu'une étoile de 2^{me} grandeur et une de 3^{me}; les 24 autres sont inférieures à la 4^{me}.

Au-dessous de la Petite-Ourse, on peut voir une série d'étoiles formant une ligne sinueuse, qui se prolonge jusque près des Gardes de la Grande-Ourse, et se termine à l'extrémité inférieure par un groupe de quatre étoiles rangées en trapèze. C'est le DRAGON, qui, sur cent trente étoiles visibles à l'œil nu, en contient une seulement de deuxième grandeur et neuf de troisième.

CÉPHÉE, la GIRAFE et le LYNX sont trois autres constellations voisines du pôle, comprenant ensemble 215 étoiles visibles à l'œil nu. La première, entre la Petite-Ourse et Cassiopée; la deuxième, opposée au Dragon; la troisième, du même côté que la seconde. Elles n'offrent ni les unes ni les autres rien de bien remarquable, surtout la Girafe et le Lynx, dont les étoiles les plus brillantes sont au plus de troisième et de quatrième grandeur. Parmi toutes les étoiles qui, sur l'horizon de Paris, ne se couchent jamais, la plus brillante est une étoile de première grandeur connue sous le nom de la *Chèvre*, et qui fait partie de la constellation du COCHER. Vers le 20 décembre, à minuit, la Chèvre est à fort peu près au zénith, ainsi qu'on peut le voir dans la planche XXVIII. On peut trouver cette étoile remarquable, en prolongeant la ligne qui joint les deux étoiles du quadrilatère de la Grande-Ourse, les plus voisines du pôle. Le Cocher, qui renferme soixante-neuf étoiles visibles à l'œil nu, contient, outre la Chèvre, une étoile de deuxième grandeur, trois étoiles de troisième et quatre de quatrième grandeur.

Au nombre des constellations visibles au moins en partie pendant toute l'année, et dont les étoiles environnant le pôle ont reçu pour cette raison le nom d'*étoiles circompolaires*, il faut ranger PERSÉE, qu'on aperçoit dans le voisinage du Cocher. Elle occupe à l'époque et à l'heure que nous avons choisies, une position un peu occidentale, relativement à cette dernière constellation, au-dessus de Cassiopée. Sur quatre-vingt-une étoiles visibles à l'œil nu, une est de seconde grandeur, quatre sont de troisième et quatorze de la quatrième grandeur. C'est dans Persée que se trouve l'étoile *Algol*, célèbre par les variations de sa lumière, qui la font passer alternativement et dans une très-courte période de la seconde à la quatrième grandeur. Nous parlerons plus loin avec détail de cette singulière étoile.

J'ai supposé, pour décrire la zone circompolaire boréale, que nous étions au 20 décembre, à minuit. Mais il est facile de trouver, à l'aide de la planche XXVIII, son aspect et sa position pour une heure quelconque de la nuit, ou pour une autre époque de l'année. C'est en vingt-quatre heures sidérales, en effet, que s'effectue la rotation entière du mouvement diurne : en six heures, un quart du mouvement total est donc accompli. Que résulte-t-il de là ? Qu'une constellation telle que Cassiopée, par exemple, qui à minuit est à gauche du pôle, était au-dessus à six heures du soir et se retrouvera au-dessous, vers l'horizon, à six heures du matin. Dès lors, si l'on fait tourner la planche, de façon à mettre en bas, à l'horizon, chacun de ses quatre côtés, on aura les positions successives des étoiles de la zone circompolaire pour les heures suivantes :

Le 20 décembre :	}	côté horizontal inférieur. . . .	à minuit ;
		côté vertical de droite. . . .	à 6 h. du soir ;
		côté horizontal supérieur. . . .	à midi ;
		côté vertical de gauche. . . .	à 6 h. du matin.

A midi, tout le monde sait que les étoiles restent invisibles à

cause de l'illumination de l'atmosphère. Les constellations et les étoiles n'en occupent pas moins, dans le ciel, la position indiquée dans le tableau ci-dessus. A l'aide d'un télescope ou d'une lunette astronomique d'une certaine puissance, on peut voir en plein jour les étoiles des premiers ordres de grandeur, que la vue simple ne peut percevoir.

Ajoutons que, par une rotation lente de la figure, rien n'empêche de suivre progressivement la rotation de la voûte étoilée, à toutes les heures de la nuit, intermédiaires entre celles que nous venons d'indiquer.

D'un jour à l'autre, cet aspect changera, chaque étoile venant occuper de plus en plus tôt la même position que les nuits précédentes. Cette avance est de six heures tous les trois mois. Par conséquent, si l'on reprend dans le même ordre les quatre positions du tableau précédent, elles correspondent aux époques et aux heures suivantes de l'année :

	Le 22 mars.	Le 20 juin.	Le 22 septembre.
Côté horizontal inférieur.	6 h. du soir.	Midi.	6 h. du matin.
— vertical de droite.	Midi.	6 h. du mat.	Minuit.
— horizontal supérieur.	6 h. du mat.	Minuit.	6 h. du soir.
— vertical de gauche.	Minuit.	6 h. du soir.	Midi.

§ 2. — Constellations visibles au sud de l'horizon de Paris. — Étoiles de la zone équatoriale. — Orion, le Baudrier, Beteigeuze et Rigel; Aldebaran ou l'Œil du Taureau; les Hyades et les Pléiades; Sirius et le Grand-Chien; les Gémeaux, Castor et Pollux, le Bélier, la Baleine et l'Éridan. — Le Lion, Régulus; l'Épi de la Vierge, le Bouvier et la Chevelure de Bérénice; la Perle de la Couronne boréale; le Cancer, l'Hydre et la Licorne. — Antares ou le Cœur du Scorpion, Véga de la Lyre et Atair de l'Aigle; constellations d'Hercule et du Cygne. — Andromède et le Carré de Pégase; les Poissons, Fomalhaut, la Baleine.

Revenons maintenant à notre dénombrement des étoiles visibles à minuit, le 20 décembre.

Jetez les yeux sur la planche XXIX. Elle représente la voûte étoilée vue du côté du sud, telle qu'elle apparaîtra, si l'on

tourne le dos à la zone circompolaire que nous venons de passer en revue. Cette zone immense embrasse à très-peu près la moitié de l'arc d'horizon qui va de l'Est à l'Ouest en passant par le point sud, et s'étend en hauteur jusque vers le zénith. Elle comprend les plus belles constellations, les étoiles les plus brillantes du ciel, et se trouve partagé en deux obliquement par la Voie Lactée.

Orion occupe à peu près le milieu du tableau. Cette magnifique constellation forme un grand quadrilatère, plus haut que large, au centre duquel on aperçoit trois étoiles de seconde grandeur rangées obliquement en ligne droite et bien connues sous le nom populaire du *Râteau* ou des *Trois-Rois*, ou encore du *Bâton de Jacob*. Deux des étoiles du grand quadrilatère sont de première grandeur. On les nomme *Beteigeuze* et *Rigel*. Beteigeuze, dont l'éclat varie périodiquement, est remarquable par la teinte rougeâtre de sa lumière. Sur cent quinze étoiles visibles à l'œil nu, outre les deux plus brillantes, Orion renferme encore quatre étoiles de deuxième grandeur, quatre de troisième et six de quatrième grandeur.

En prolongeant vers le Nord-Ouest la ligne des trois étoiles du *Baudrier d'Orion* — c'est encore un nom donné au *Râteau* — l'œil passe près d'une étoile rouge de première grandeur : c'est *Aldebaran*, la plus brillante de la constellation du TAUREAU. Aldebaran est au milieu d'un groupe de petites étoiles qu'on nomme les *Hyades*. Un peu plus loin dans la même direction, on aperçoit les *Pléiades*, si faciles à reconnaître au milieu du ciel par l'entassement des six étoiles visibles à l'œil nu qui composent ce groupe intéressant. Le Taureau ne contient pas moins de cent vingt et une étoiles, une de première, une de seconde, trois de troisième et quatorze de quatrième grandeur.

Si maintenant vous prolongez vers le Sud-Est d'Orion la ligne qui nous a donné Aldebaran au Nord-Ouest, vous allez rencontrer sur le bord de la Voie Lactée la constellation du

ANDROMÈDE

PERSÉE Algol

La Chevre

LE COCHER

GÉMEAUX
Castor Pollux

CANCER

LION



Régulus	Le Cœur	Procyon	Sirius	Béteigéuse	Aldebaran	Pleiades	ERIDAN	Mira
LIEN	HYDRE	P ^r CHIEN	G ^r CHIEN	ORION	TAUREAU	TAUREAU	BALEINE	

LE CIEL DE L'HORIZON DE PARIS (Côté Sud)

vu à Minuit le 20 Décembre.

GRAND-CHIEN, qui renferme *Sirius*, la plus brillante étoile des deux hémisphères, la plus remarquable par la vivacité de sa scintillation et par son éclatante blancheur. Sur 66 étoiles visibles à l'œil nu dont cette constellation est formée, deux étoiles appartiennent à la seconde grandeur et quatre à la troisième.

Vers l'Ouest, et en ce moment à peu près à la même hauteur que Beteigeuze, brille *Procyon*, de l'autre côté de la

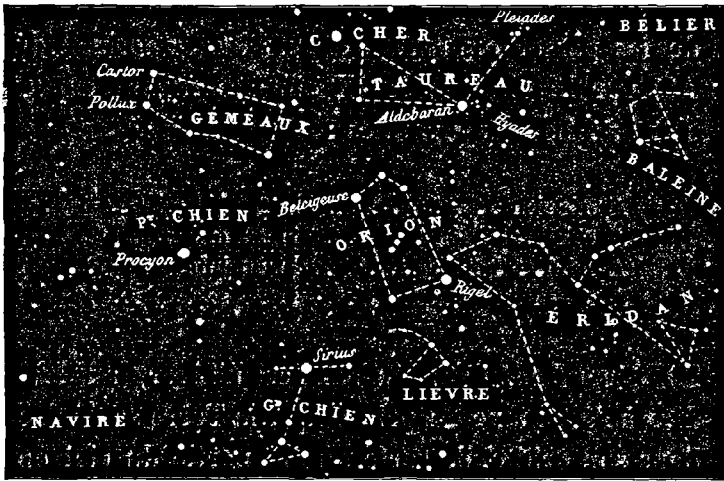


Fig. 148. — Le ciel de l'horizon de Paris. — Zone équatoriale.
Orion, le Taureau, le Grand-Chien.

Voie Lactée. C'est une étoile de première grandeur, la plus brillante de la constellation du PETIT-CHIEN. Il importe de remarquer que Beteigeuze, Sirius et Procyon forment un triangle dont les trois côtés sont presque de même longueur apparente (fig. 148). Cette circonstance permet encore de retrouver aisément ces étoiles.

Au-dessus de Procyon et en remontant vers le zénith, *Castor* et *Pollux*, qui brillent à cinq degrés seulement de distance apparente, nous indiquent les GÉMEAUX, constellation renfermant outre ces deux étoiles, l'une de première et l'autre de se-

conde grandeur, 51 étoiles visibles à l'œil nu. Vers l'Occident et à côté des Pléiades, vous voyez la constellation du BÉLIER, et un peu au-dessous, celles de la BALEINE et de l'ÉRIDAN, qui ne renferment pas, dans la portion du ciel visible sur l'horizon de Paris, d'étoiles de première grandeur.

Mais à mesure que nous énumérons et contemplons cette partie si brillante du ciel, les étoiles défilent entraînées par le mouvement diurne; les unes se couchent et disparaissent à l'Occident, tandis que les autres s'élèvent à l'Orient, nous permettant ainsi d'apercevoir des constellations nouvelles. Avant de les passer en revue, disons que l'horizon du Sud représenté par la planche XXIX offre le même aspect aux époques et aux heures suivantes :

A minuit	le 20 décembre.
A 6 heures du soir	le 22 mars.
A midi	le 20 juin.
A 6 heures du matin	le 22 septembre.

Du 20 décembre, date du solstice d'hiver, au 22 mars, c'est-à-dire à l'équinoxe du printemps, la Terre se déplace peu à peu dans son orbite, de sorte que la partie du ciel opposée au Soleil change progressivement. Par ce mouvement, nous verrions successivement pendant ces trois mois de la saison d'hiver, et aux mêmes heures de la nuit, des constellations de plus en plus orientales.

Il résulte de ce mouvement progressif apparent, dû au mouvement réel de translation de la Terre autour du Soleil, que le 22 mars, à minuit, le tableau de la voûte étoilée du côté du Sud aura presque complètement changé : au lieu d'Orion qui vient alors de se coucher, c'est le Lion qui en occupe le centre. Le ciel offre alors, au sud de l'horizon de Paris, l'aspect de la planche XXX. La Voie Lactée s'est inclinée à l'Occident et rase l'horizon en remontant du côté du Nord. Les principales étoiles du Lion forment une espèce de tra-

pèze surmonté du côté du couchant par un demi-cercle en forme de faucille. C'est à l'extrémité inférieure du manche de l'instrument que brille *Régulus*, étoile de première grandeur, qu'on nomme aussi le *Cœur* du Lion. *Denebola* est l'étoile située à l'autre extrémité du trapèze.

Sur 75 étoiles visibles à l'œil nu dans cette constellation sans compter *Régulus*, il y en a trois de seconde grandeur, quatre de troisième et huit de quatrième.

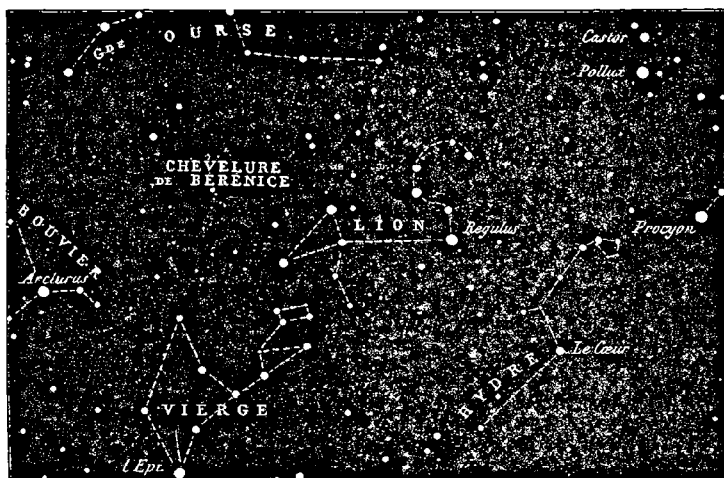


Fig. 149. — Le ciel de l'horizon de Paris. — Zone équatoriale.
Le Lion, la Vierge, l'Hydra.

Trois étoiles de premier ordre brillent encore en ce moment avec *Régulus* dans la zone céleste qui est sous nos yeux. C'est vers le Sud-Ouest, *Procyon*, qui n'est pas encore couché ; puis à la même hauteur que cette étoile, et plus à l'est que le Lion, l'*Épi* de la VIERGE, qui ne tardera pas à passer au méridien ; enfin *Arcturus*, la plus brillante de la constellation du BOUVIER. L'*Épi*, *Arcturus* et *Denebola* du Lion forment les sommets d'un triangle dont les côtés sont presque égaux, et dont la base, à peu près parallèle à l'horizon à cette heure, est la ligne qui joint les deux dernières étoiles (fig. 149).

La Vierge et le Bouvier sont, avec le Lion, les plus importantes constellations actuellement en vue. La première contient 100, la seconde 85 étoiles visibles à l'œil nu; 11 étoiles de la Vierge et 18 étoiles du Bouvier dépassent en éclat la quatrième grandeur.

Entre le Lion et le Bouvier, on remarque un amas de trente-neuf petites étoiles très-rapprochées, et, par cela même, impossibles à distinguer nettement les unes des autres : c'est la

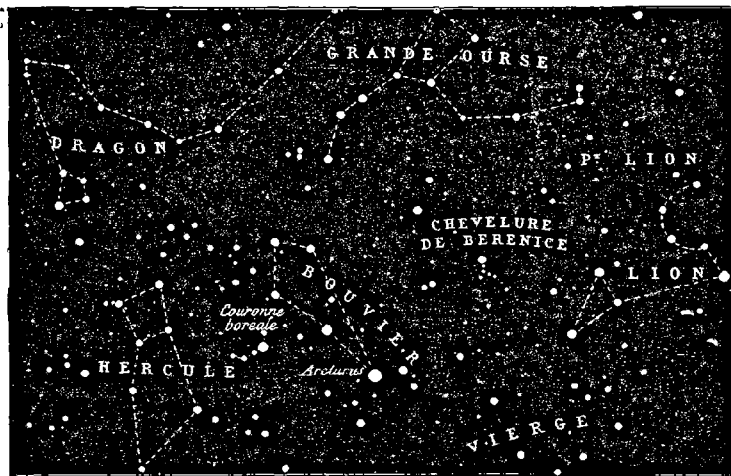


Fig. 150. — Le ciel de l'horizon de Paris. — Zone équatoriale. — Chevelure de Bérénice, Bouvier, Couronne boréale, Hercule.

CHEVELURE DE BÉRÉNICE. A l'est d'Arcturus, six étoiles rangées en demi-cercle et dont la plus brillante se nomme la *Perte*, forment la **COURONNE BORÉALE**, au-dessous de laquelle se trouve la *Tête* du SERPENT et OPHIUCUS. De chaque côté de l'Épi et un peu au-dessous près de l'horizon, on distingue la BALANCE, le CORBEAU et la COUPE. Les deux premières constellations renferment seules quelques étoiles de seconde grandeur. Enfin, sur l'horizon apparaissent, dans les brumes, un petit nombre d'étoiles du SCORPION et du CENTAURE, constellations que nous retrouverons et décrirons plus au complet dans le

COURLONNE
BOREALE

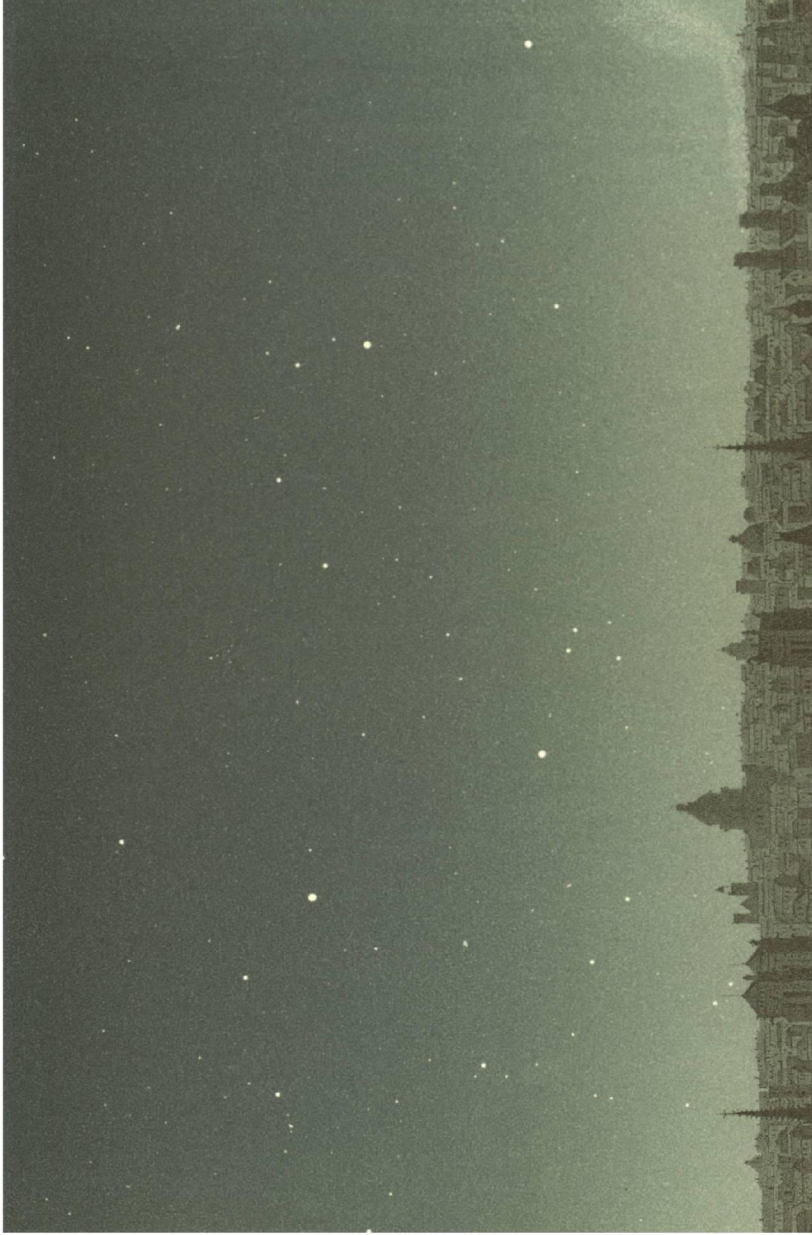
BOUVIER
Arcturus

CHEVELURE
de Bérenice

LION

♂ LION
Régulus

CANCER



LE SERPENT
SCORPION

BALANCE

l'Épi
VIERGE

l'enebola
CORBEAU

COUPE

le Coeur
HYDRE

l'occyon
PETIT CHIEN

LE CIEL DE L'HORIZON DE PARIS (Côté Sud)

vu à Minuit le 22 Mars.

E. Guillemin et Duruy del.

Imp. Lecquet à Paris

ciel de juin ou dans la zone céleste environnant le pôle austral.

Pour terminer l'examen des constellations visibles le 22 mars à minuit, signalons les CHIENS DE CHASSE¹ au-dessus de la Chevelure de Bérénice, le PETIT-LION au-dessus du Lion, le CANCER ou l'ÉCREVISSE à l'occident de Régulus; et enfin, tout près de l'horizon et de la Voie Lactée, l'HYDRE où brille le *Cœur*, étoile variable de second ordre, et la LICORNE au-dessous de Procyon.

La zone que nous venons de décrire occupe, sur l'horizon et à la latitude de Paris, la même position aux époques et aux heures suivantes :

Le 22 mars à minuit;
 Le 20 juin à 6 heures du soir²;
 Le 22 septembre . . . à midi;
 Le 20 décembre . . . à 6 heures du matin.

Le 20 juin, à minuit, c'est-à-dire à l'époque du solstice d'été, c'est une autre partie de la zone équatoriale qui va défilér sous nos yeux. Tournons-nous toujours vers le Sud : l'aspect du ciel sera celui que représente la planche XXXI. La Couronne Boréale et le Bouvier, le Serpent, la Balance et la Vierge qui, le 22 mars, occupaient la partie orientale de la voûte étoilée, sont maintenant à l'Occident. Arcturus est situé verticalement au-dessus de l'Épi. La Voie Lactée, divisée en deux grandes branches, s'élève obliquement de l'horizon méridien ou du Sud vers le Nord-Est.

Trois étoiles de première grandeur brillent à des hauteurs inégales, dans trois constellations différentes. Ce sont, en allant de l'Occident à l'Orient, *Antarès* ou le *Cœur* du SCORPION, qui s'élève à peine au-dessus de l'horizon sur le bord

1. On dit aussi les LÉVRIERS.

2. Il faut faire ici, pour le 20 juin, une remarque analogue à celle déjà exprimée plus haut pour l'heure de midi. A six heures du soir en été, l'éclat de l'atmosphère rend les étoiles invisibles à l'œil nu.

de la Voie Lactée. Vient ensuite *Véga* de la LYRE, qui touche presque au zénith, et enfin, à une hauteur environ moitié moindre, *Atair* la plus brillante étoile de l'AIGLE.

Quelques mots maintenant sur les constellations en vue.

C'est d'abord, à l'ouest de la Couronne boréale, et s'élevant jusqu'au zénith, HERCULE, qui sur un nombre total de 155 étoiles visibles à l'œil nu, n'en renferme que deux approchant de la seconde grandeur et quatorze entre la troisième et la cinquième. C'est vers un point de cette constellation, nous le verrons bientôt, que se dirige actuellement notre Soleil, emportant avec lui tout son monde de planètes, de satellites et de comètes. A l'orient d'Hercule est la Lyre, où nous avons déjà distingué la brillante et blanche *Véga*, aisée à reconnaître par le voisinage de quatre étoiles formant au-dessous d'elle un petit parallélogramme.

En allant toujours vers l'Orient, on rencontre à gauche de la Lyre la constellation du CYGNE, qui traverse la Voie Lactée et dont l'étoile la plus brillante, *Alpha*, est entre la seconde et la première grandeur. Cette étoile forme, avec quatre autres de troisième ordre, une grande croix qui est à cette heure inclinée à l'horizon, et sert à distinguer la constellation à laquelle elles appartiennent.

Alpha du Cygne forme aussi, avec *Atair* et *Véga*, un grand triangle isocèle, c'est-à-dire un triangle dont deux côtés sont presque de même grandeur apparente. Dans le Cygne se trouve une petite étoile, à peine visible à l'œil nu, mais qui est célèbre dans les annales astronomiques : c'est la première dont la distance à la Terre ait été mesurée. Le Cygne ne contient pas moins de 145 étoiles perceptibles à la vue simple ; mais 22 seulement surpassent la cinquième grandeur.

Le RENARD, la FLECHE, le DAUPHIN, entre la Lyre, le Cygne et l'Aigle, n'offrent aucune étoile remarquable.

En se rapprochant de l'horizon et toujours vers l'Orient, on

CYGNE

LYRE
Wega

HERCULE

COURONNE
BOREALE

BOUVIER
Arcturus



AIGLE
Atair

Antares

L'Epi

VERSEAU

DAUPHIN

Atair

SAGITTAIRE

SERPENT

SCORPION

BALANCE

VIERGE

LE CIEL DE L'HORIZON DE PARIS (Côté Sud)

vu à Minuit le 20 Juin.

aperçoit les constellations du VERSEAU et du CAPRICORNE ; puis, en partie dans la Voie Lactée, le SAGITTAIRE. Là, nous retrouvons les étoiles du Scorpion, parmi lesquelles Antarès, qui bientôt disparaîtra sous l'horizon, ainsi que les quatre étoiles avec lesquelles il forme une sorte d'éventail.

Au-dessus du Scorpion, OPHIUCUS et le SERPENT sont entièrement visibles. On y distingue quatre étoiles de seconde grandeur et vingt-sept de la seconde à la cinquième.

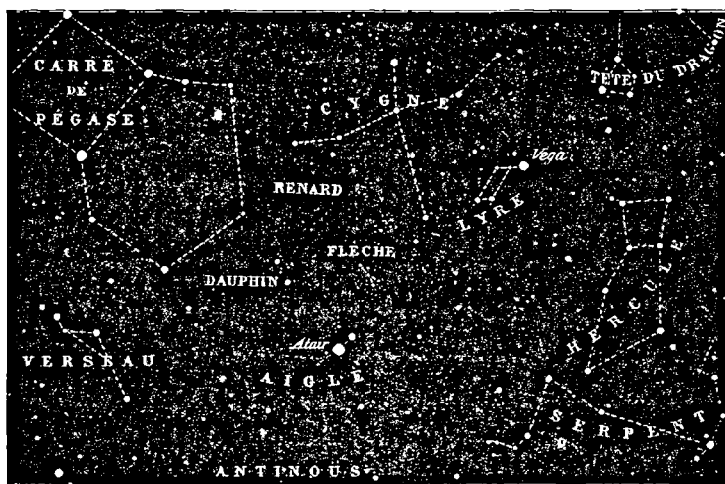


Fig. 151. — Le ciel de l'horizon de Paris. Constellations de la zone équatoriale. La Lyre, le Cygne, l'Aigle.

Là se termine notre révision de la zone équatoriale pour le milieu de la nuit du solstice d'été, zone qui présente la même position aux quatre époques principales suivantes :

- Le 20 juin à minuit ;
- Le 22 septembre à 6 heures du soir ;
- Le 20 décembre à midi ;
- Le 22 mars à 6 heures du matin.

Il ne nous reste plus pour achever cette description des étoiles visibles au-dessus de l'horizon de Paris, qu'à passer

en revue les constellations de la zone équatoriale, telles qu'elles apparaissent au milieu de la nuit de l'équinoxe d'automne.

Nous sommes au 22 septembre, à minuit. Les yeux tournés vers le Sud, nous embrassons du regard toute la partie du ciel qui s'étend de l'Ouest à l'Est jusqu'au zénith. La planche XXXII reproduit l'aspect de la voûte céleste, à cette heure et à cette époque de l'année.

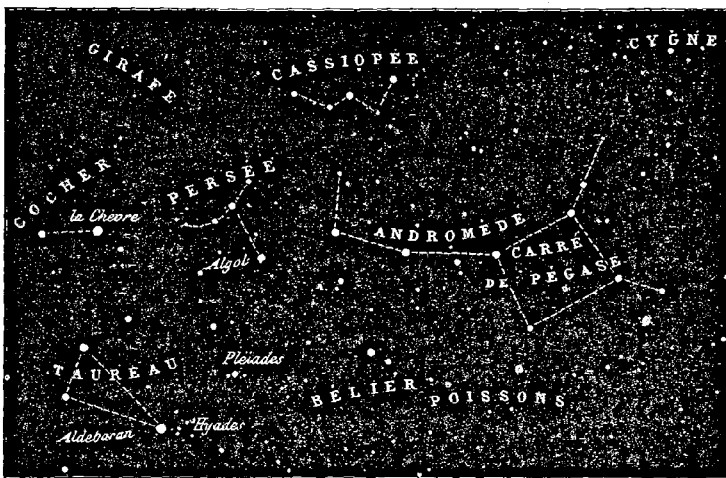


Fig. 152. — Zone équatoriale. — Pégase, Andromède, Persée.

A l'Occident apparaît Atair, dans l'Aigle, et plus haut le Cygne ; à l'Orient, les Pléiades, le Taureau où brille Aldebaran. Orion déjà visible va bientôt monter sur l'horizon. Nous avons fait, on le voit, de décembre à septembre, les trois quarts du tour du ciel ; ou plutôt la voûte étoilée tout entière, si nous y joignons les étoiles actuellement visibles, aura défilé sous nos yeux.

Vers le milieu du ciel, un peu plus rapproché du zénith que de l'horizon, se dessine un grand carré de quatre étoiles, dont trois sont de seconde et une de troisième grandeur. A la suite

et du côté de l'Orient, trois autres étoiles de seconde grandeur et pareillement espacées font avec le carré dont nous parlons une figure beaucoup plus étendue, mais ayant beaucoup de ressemblance avec le groupe des sept étoiles principales de la Grande-Ourse. De ces sept étoiles, trois appartiennent à la constellation de PÉGASE, trois à celle d'ANDROMÈDE, et la plus orientale enfin n'est autre qu'Algol, la variable de Persée. Andromède et Pégase renferment, à elles deux, cent quatre-vingt-onze étoiles visibles à l'œil nu, parmi lesquelles douze seulement surpassent la quatrième grandeur.

Entre le *carré de Pégase* et le Taureau, on rencontre deux constellations : les POISSONS, le BÉLIER. Cette dernière seule renferme deux étoiles assez brillantes, situées à peu près à égale distance des Pléiades et des deux étoiles orientales du carré de Pégase.

Au-dessous des Poissons et du Bélier est la BALEINE, dont les étoiles plongent jusqu'au-dessous de l'horizon. Sur quatre-vingt-dix-huit étoiles visibles à l'œil nu, cette constellation en renferme six de troisième grandeur et deux de seconde; on y distingue en outre une étoile fort remarquable par les variations périodiques de son éclat, qui tantôt augmente jusqu'à la faire voir sous l'aspect d'une étoile de quatrième grandeur et tantôt s'efface assez pour la rendre invisible : c'est *Mira* (la Merveilleuse) ou *Omicron* de la Baleine. Nous décrirons plus loin ces phénomènes de variabilité d'éclat, que présentent plusieurs autres étoiles.

A l'Occident de cette constellation, nous retrouverons le VERSEAU et le CAPRICORNE; puis, tout à fait au Sud et rasant l'horizon, les étoiles du POISSON AUSTRAL, parmi lesquelles on peut distinguer, si l'atmosphère est pure et si les objets terrestres ne lui servent pas de voile, *Fomalhaut*, belle étoile de première grandeur.

La quatrième partie de la zone équatoriale qu'on vient de

passer en revue offre le même aspect aux époques et aux heures suivantes :

Le 22 septembre . . . à minuit;
 Le 20 décembre . . . à 6 heures du soir;
 Le 22 mars à midi;
 Le 20 juin à 6 heures du matin.

Disons, pour terminer cette revue rapide du ciel méridional de l'horizon de Paris, que les quatre planches qui nous ont aidé à reconnaître les diverses constellations peuvent encore servir à d'autres époques de l'année et à d'autres heures de la nuit. Seulement, les groupes d'étoiles, tout en conservant les mêmes positions relatives, seront diversement inclinés sur l'horizon. Plus l'heure sera avancée au delà de minuit, plus il y aura d'étoiles occidentales disparues, plus on verra de nouvelles étoiles à l'Orient. Ce changement qui provient du mouvement diurne se produira de la même façon, si l'on passe d'un jour à l'autre, d'un mois au mois suivant, de sorte qu'à la même heure de la nuit, les étoiles visibles en un même point du ciel appartiennent à des constellations de plus en plus orientales.

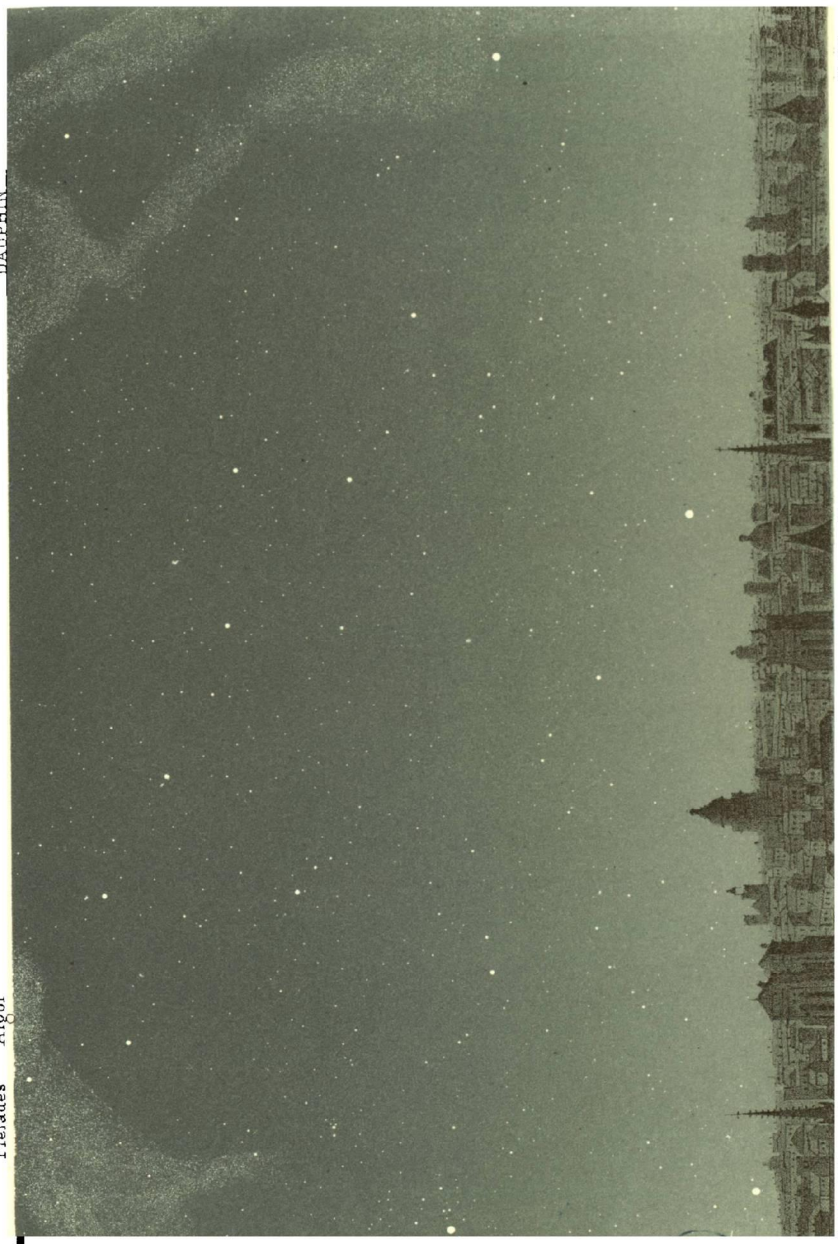
Nous avons déjà dit que ce second mouvement apparent de la voûte étoilée est dû à la translation de la Terre dans son orbite. Aussi s'effectue-t-il avec une grande lenteur; le déplacement qui exige par exemple six heures de rotation diurne demande trois mois entiers de révolution annuelle.

§ 3. — Révision générale du ciel étoilé. — Zone circompolaire australe. — Étoiles invisibles sur l'horizon de Paris. — Aspect du ciel austral; magnificence de la zone d'étoiles qui suit le cours de la Voie Lactée, du Centaure jusqu'au Navire, à Sirius et à Orion. — La Croix du Sud; le Centaure; la constellation du Navire ou d'Argo; l'étoile Éta et Canopus; Achernar. — Absence d'étoiles près du pôle austral; les deux Nuées de Magellan.

De l'hémisphère boréal de la Terre, où nous nous sommes placés jusqu'à présent pour observer la voûte étoilée, trans-

LE CIEL. PL. XXXII.

TAUREAU PERSÉE BÉLIER LÉZARD CYGNE RENARD
 Pleiades Algol DAUPHIN



ORION ERIDAN Mira POISSONS POISSON AUSTRAL VERSEAU CAPRICORNE AIGLE
formakant

LE CIEL DE L'HORIZON DE PARIS (Côté Sud)
 vu à Minuit le 22 Septembre.

E. Guillemin et Darray lith. *Imp. Lecquet à Paris.*

portons-nous dans l'hémisphère austral. Choisissons un lieu dont la distance à l'Équateur soit précisément la même que celle de notre premier poste, c'est-à-dire situé sur le parallèle qui passe par les antipodes de Paris. Supposons-nous placés en un point des côtes de Patagonie, par exemple, près de la pointe sud de l'Amérique méridionale. Là, toutes les étoiles formant la zone circompolaire boréale, et qui sur le parallèle de Paris ne se couchent jamais, seront constamment invisibles. En regardant du côté de l'Équateur, c'est-à-dire vers le Nord, on verra défilér, d'un bout de l'année à l'autre, toutes les constellations de la zone équatoriale que nous venons de décrire. Mais les étoiles s'y trouveront disposées dans un ordre tout à fait inverse, du moins relativement à l'horizon ; de sorte que les deux étoiles du grand quadrilatère d'Orion, je suppose, qui à Paris en forment la base inférieure, apparaîtront à la partie supérieure ; Sirius, qui se montre dans l'hémisphère nord, à gauche et au-dessous d'Orion, s'y trouvera à droite et plus élevé sur l'horizon. Ce changement d'aspect s'explique aisément par le changement complet de position de l'observateur.

Mais si nous jetons les yeux du côté du Sud, nous allons pouvoir contempler toute une série d'étoiles inconnues à la zone terrestre qui s'étend du parallèle de Paris jusqu'au pôle septentrional. Ce sont les constellations qui environnent le pôle austral du ciel, et qui ne se couchent jamais sur notre nouvel horizon. Si donc nous passons maintenant en revue cette nouvelle zone d'étoiles, nous aurons terminé la description de la voûte céleste tout entière.

Nous sommes dans la nuit du 20 décembre, celle de notre solstice d'hiver qui est le commencement de la saison chaude ou le solstice d'été pour l'hémisphère austral. Il est minuit, et nous supposerons naturellement que l'atmosphère entièrement pure nous permette de contempler le ciel dans toute sa

splendeur. La planche XXXIV représente l'aspect de la voûte étoilée à cette heure et à cette époque.

La Voie Lactée, ramifiée en diverses branches, s'élève légèrement inclinée sur l'horizon à gauche, c'est-à-dire du côté de l'Orient. Mais ce qui frappe tout d'abord dans le tableau de la partie du ciel que nous examinons, c'est la multitude de brillantes étoiles qui suivent le cours de la Voie Lactée jusqu'au zénith, et qui, passant par-dessus notre tête, vont derrière nous rejoindre Sirius, Procyon, Aldebaran, jusque près de l'horizon du Nord.

Commençons par les constellations qui composent cette zone éclatante.

A peu près à la hauteur du pôle, ou, si l'on veut, à égale distance de l'horizon et du zénith, quatre étoiles, dont une est de première et deux de seconde grandeur, forment un losange allongé et couché parallèlement à l'horizon. Ce sont les principales étoiles de la CROIX DU SUD.

Au-dessous de la plus brillante de la Croix, et entre deux branches de la Voie Lactée, deux étoiles de premier ordre distinguent la grande constellation du CENTAURE, où l'œil aperçoit encore cinq étoiles de seconde grandeur. Le Centaure s'étend à l'orient et au nord de la Croix, qu'il enveloppe presque entièrement. Nous aurons plus loin l'occasion de reparler de la plus brillante étoile de cette constellation, qui n'est pas seulement remarquable par son éclat; nous verrons qu'elle forme un système de deux soleils, se mouvant l'un autour de l'autre; c'est aussi la plus rapprochée de nous parmi les étoiles dont on a pu mesurer la distance à la Terre.

Au-dessous du Centaure et vers l'horizon, apparaissent un assez grand nombre d'étoiles de troisième et de quatrième grandeur, qui forment la constellation du LOUP. Un rameau détaché de la Voie Lactée traverse le Loup et va se perdre dans le Scorpion, dont quelques étoiles seulement s'élèvent à cette heure au-dessus de l'horizon.

L'AUTEL et le TRIANGLE AUSTRAL, qui longent la Voie Lactée en remontant vers le pôle, et où nous n'avons rien à signaler de remarquable, vont nous ramener au-dessus de la Croix, dans la magnifique constellation du NAVIRE ou d'ARGO. Là, une multitude de brillantes étoiles rangées autour du pôle en zone circulaire donnent à cette région du ciel une splendeur incomparable. *Canopus*, considérée jadis comme la plus éclatante de toute la voûte céleste après Sirius, et qu'une autre étoile

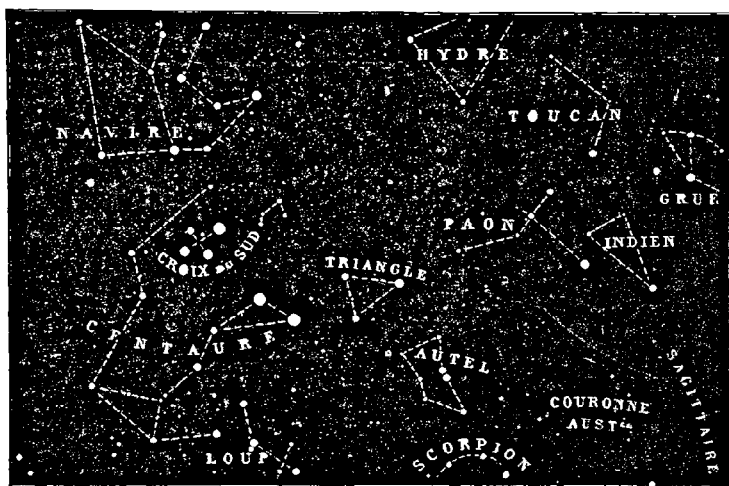


Fig. 153. — Étoiles invisibles sur l'horizon de Paris. — Zone circumpolaire australe. Croix du Sud, Navire, Centaure.

du Navire a fait quelque temps déchoir de son rang, est, à cette heure, voisine du zénith et presque dans le méridien; tandis qu'au-dessus d'Alpha de la Croix, se trouve *Éta* du Navire, qui étonnait le regard, il y a peu d'années encore, par sa magnificence inusitée. C'est cette étoile singulière qui, variant de grandeur à diverses reprises, depuis près de deux cents ans, avait fini par atteindre et dépasser *Canopus*, et par la reléguer au troisième rang dans l'échelle des étoiles de premier ordre : aujourd'hui, elle est à peine visible à l'œil nu.

Du Navire, nous passons, sans rencontrer aucune constellation remarquable, par le POISSON VOLANT, la DORADE, le RÉTICULE, et nous arrivons à l'ÉRIDAN, dont nous avons observé déjà la partie visible dans le ciel de Paris. C'est à l'extrémité de cette constellation la plus voisine du pôle, que brille *Achernar*, belle étoile de première grandeur. A droite d'Achernar, trois étoiles, l'une de second, les deux autres de troisième ordre, forment le PHÉNIX, au-dessous duquel en revenant à l'horizon et au méridien on trouve le TOUCAN et la GRUE, l'INDIEN et le

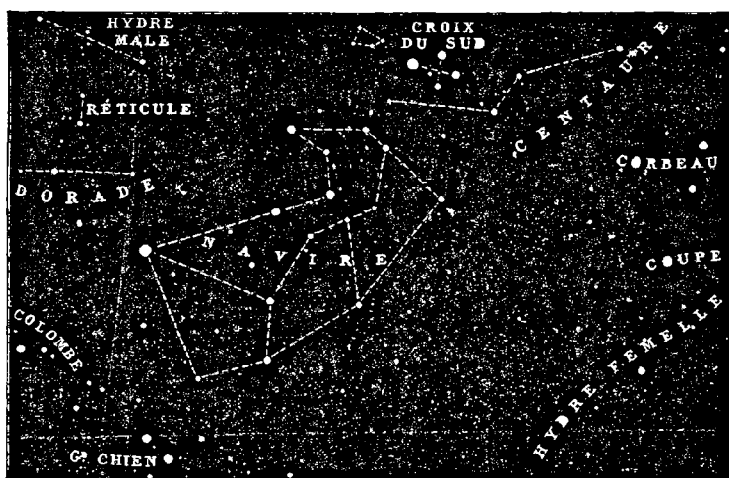


Fig. 154. — Étoiles invisibles sur l'horizon de Paris. — Zone circumpolaire australe. Le Navire.

PAON. Deux étoiles de seconde grandeur et quelques-unes de troisième distinguent ces constellations, dont on peut reconnaître exactement la position dans les figures 153 et 155.

Dans cette énumération des constellations circumpolaires du pôle sud, nous n'avons rien dit des étoiles situées près de ce pôle même. La raison en est simple. Aucune d'elles ne mérite une mention, et, sauf l'étoile Bêta de la constellation de l'HYDRE, n'approche de la troisième grandeur.

Il n'y a donc pas, dans le ciel austral, d'étoile analogue à

NAIRES
ARCTICUS

CROIX
CROICUS

IRIDAN
ACHENA

PHENIX



CROIX DU SUD AU SUD PAON POISSON AUSTRAL
 DUF CENTAURUS TRIANGLE HYDRE INDIEN GRUF

LE CIEL AUSTRAL

LES ÉTOILES INVISIBLES AU DESSUS DE L'HORIZON DE PARIS
 VUES AU SUD DES CÔTES DE PATAGONIE LE 20 DÉCEMBRE À MINUIT

la *Polaire* du ciel boréal. Mais nous avons vu plus haut que cette pauvreté des régions polaires est singulièrement compensée par le nombre et l'éclat des étoiles qui entourent toute la zone dont nous venons de faire la description.

Ajoutons qu'en dehors de la Voie Lactée et dans le voisinage des parties les moins brillantes de la zone, apparaissent deux objets qui donnent à la voûte étoilée un aspect tout particulier : ce sont deux nuées blanchâtres d'inégale grandeur et qui semblent, au premier abord, des portions détachées de la

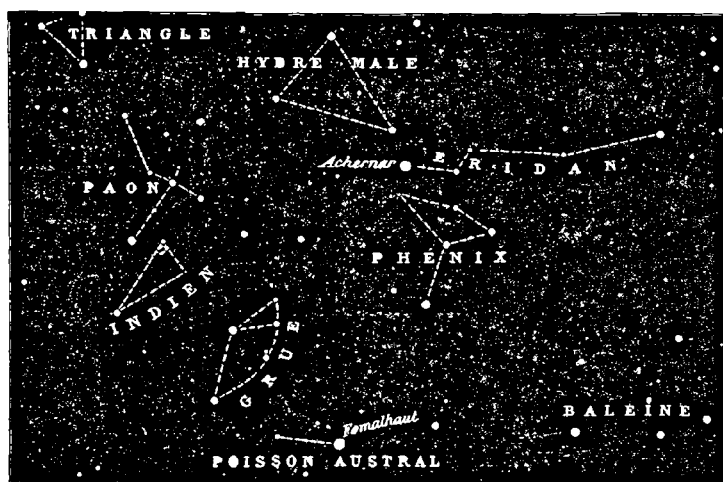


Fig. 155. — Étoiles invisibles sur l'horizon de Paris. — Zone circumpolaire australe. Eridan, Phénix, Grue, Paon, Indien.

Voie Lactée même ; ce sont le GRAND-NUAGE et le PETIT-NUAGE, que les astronomes désignent encore sous le nom commun de NUÉES DE MAGELLAN. Plus loin, nous décrirons en détail ces curieux phénomènes de la voûte céleste.

En tournant la planche XXXIII, de manière à placer à l'horizon successivement chacun de ses côtés, ainsi que nous l'avons fait pour la zone circumpolaire boréale, on aura l'aspect du ciel, à des heures et à des époques différentes de

l'année, pour tous les points du parallèle terrestre qui a même latitude que les antipodes de Paris. Il suffira, pour avoir ces positions diverses, de se reporter à ce que nous ayons dit pour la planche XXVIII, en ayant soin toutefois d'intervertir les deux côtés de droite ou de gauche.

Maintenant que le ciel nous est connu dans ses apparences, pénétrons plus avant dans ses profondeurs, étudions en détail ces milliers de feux, de soleils et de groupes de soleils, que le télescope multiplie avec une si étonnante profusion.

III

LES ÉTOILES.

DISTANCES ET MOUVEMENTS PROPRES.

§ 1. Distances à la Terre de quelques étoiles. — Temps que la lumière met à franchir l'espace qui nous sépare des étoiles les plus voisines. — Hypothèses sur les dimensions des étoiles. — Première idée des dimensions de l'univers visible.

Les étoiles sont des soleils.

Chacun de ces points lumineux, que la vue simple nous fait voir par milliers sur la voûte du ciel, que le télescope nous montre par millions dans les profondeurs de l'espace, brille de sa propre lumière. Chaque étoile est un foyer autour duquel, sans aucun doute, s'échauffent et s'éclairent d'autres corps obscurs analogues aux planètes de notre monde solaire et formant avec le soleil central un système semblable au nôtre. Cette conception grandiose, qui fait de l'univers visible une agglomération indéfinie de soleils, n'est plus une hypothèse gratuite, une simple conjecture ; c'est une des vérités les plus incontestées de l'astronomie. Les données certaines que la science possède aujourd'hui sur l'immense distance des étoiles, même les plus voisines du Soleil, mettent hors de doute ce fait fondamental, à savoir que chaque étoile est une source de lumière et ne peut emprunter l'éclat dont elle brille au Soleil même.

Consignons ici les principaux résultats propres à mettre

cette vérité dans toute son évidence. Plus loin, nous essayerons de donner une idée des méthodes qui ont servi à les obtenir.

Tant que nous sommes restés dans la sphère d'activité de notre monde, il a été possible d'évaluer les distances, en prenant pour mètre, pour unité de mesure, les dimensions mêmes de notre globe. C'est ainsi que, de la Terre au Soleil, on a trouvé pour moyenne distance environ onze mille six cents diamètres terrestres ou trente-sept millions de lieues. Il était tout naturel d'évaluer de la même façon les distances déjà si grandes cependant, qui séparent le Soleil des planètes situées aux confins du système. Mais lorsqu'on voulut mesurer, évaluer les distances des étoiles, de celles même qu'on soupçonnait les plus voisines parce qu'elles étaient les plus brillantes, on ne tarda pas à reconnaître que l'unité précédemment choisie s'évanouissait comme un point mathématique, devant l'immensité de l'espace qui nous sépare de ces astres.

Que dis-je, le rayon lui-même de l'orbite terrestre, cette ligne de trente-sept millions de lieues qu'un boulet de canon ne franchirait qu'en dix années, parut d'abord insuffisant et l'est encore pour le plus grand nombre des distances stellaires. Cependant, les perfectionnements apportés successivement aux méthodes de mesure et aux instruments, ont mis quelques-uns des astronomes les plus habiles à même d'évaluer approximativement les distances d'un certain nombre d'étoiles, et de dire combien ces distances comprennent de fois le rayon moyen de l'orbite de la Terre.

Le premier résultat obtenu s'applique à une étoile presque invisible à l'œil nu, située dans la constellation du Cygne et marquée du n° 61 dans les catalogues célestes¹. La première distance dans l'ordre des découvertes, celle de la 61^e du

1. C'est à l'illustre astronome Bessel que revient la gloire de cette première et importante détermination. Les autres noms qu'on distingue dans les recherches du même genre sont Peters, les deux Struve, Henderson, Maclear, Schlüter et Wichmann.

Cygne, occupe le second rang dans l'échelle des grandeurs : elle est près de trois fois aussi considérable que celle d'une des plus brillantes étoiles du ciel, d'Alpha du Centaure, la plus rapprochée de toutes celles dont on a pu mesurer l'éloignement. Alpha du Centaure est à deux cent vingt-six mille fois la distance moyenne du Soleil à la Terre, à près de huit mille milliards de lieues de nous. Cette effroyable distance, l'imagination la plus puissante cherche en vain à se la figurer ; en vain l'esprit voudrait entasser ligne sur ligne, nombre sur nombre, il n'arriverait jamais à combler l'immensité de cet abîme. Cherchons des images, des comparaisons ; n'espérons pas une précision que les chiffres expriment sans doute dans une certaine mesure, mais que nos sens ne peuvent saisir.

Tout le monde sait avec quelle foudroyante rapidité se ment la lumière : les vibrations ou ondes lumineuses se propagent en parcourant dans une seule seconde trois cent mille kilomètres, à peu près sept fois et demie le tour de la Terre. Eh bien, un calcul très-simple prouve qu'un rayon lumineux, parti d'Alpha du Centaure, n'arrive à notre œil qu'au bout de trois ans et six mois.

Lorsque, sur le sol même de notre Terre, sur ce grain de sable du monde que régit notre Soleil, nous essayons de nous figurer les plus grandes distances, cent lieues, mille lieues je suppose, c'est à peine si nous pouvons nous faire une idée sensible des lignes droites qui ont de telles longueurs. Nous ne nous les représentons bien qu'en associant au sens de la vue la perception du temps : nous nous demandons, par exemple, combien un piéton marchant sans cesse mettrait d'heures, de jours pour les franchir. Qu'est-ce donc que cet intervalle de 74 500 lieues¹ que la lumière traverse en une seconde ?

1. Le nombre de 308 000 kilomètres, que nous avons adopté dans les premières éditions du *Ciel* pour la vitesse de la lumière, a dû être modifié. De remarquables expériences, basées sur une méthode aussi précise qu'ingénieuse, ont conduit M. Léon Foucault à un nombre un peu plus petit : la vitesse de la

Cette distance de 74 500 lieues est déjà comme un abîme pour notre imagination. Mais enfin, à supposer que nous l'em-brassions d'un coup d'œil, cette distance déjà si considérable, associons-la à la courte durée d'une seconde. Songeons qu'une seule journée de vingt-quatre heures contient 86 400 durées semblables, et arrêtons-nous à contempler l'extrême éloignement où parvient le rayon lumineux après un jour de voyage : il se sera enfoncé dans l'espace à une profondeur six fois aussi grande que la distance de Neptune. Eh bien, d'après les résultats qu'on vient de lire plus haut, il n'aurait pas accompli la millième partie de sa route entière ; il lui faudrait continuer à se mouvoir pendant treize cents jours avec cette vitesse indicible, voler, voler toujours pendant trois années et demie avant d'atteindre l'étoile la plus voisine de nous, ce brillant soleil du ciel austral, Alpha du Centaure.

Telle est donc en tous sens la dimension de l'espace vide d'étoiles¹ qui enfouit le monde solaire.

Et cependant, il ne s'agit ici que des étoiles les plus rap-

lumière est seulement de 298 000 kilomètres par seconde. Cette modification jointe à la connaissance du nombre qu'on nomme la *constante de l'aberration* (voyez la III^e partie du *Ciel*) en entraînait une correspondante pour le nombre qui mesure la distance de la Terre au Soleil, réduite alors, comme nous l'avons vu, à 37 000 060 de lieues environ : ce résultat est du reste d'accord avec celui qu'ont donné les déterminations les plus récentes de la parallaxe du Soleil. En attendant qu'une discussion complète des éléments de cette double question ait fait introduire définitivement dans la science ces nombres, plus approchés sans doute que les anciens, nous avons cru devoir les adopter dans cette quatrième édition du *Ciel*. L'inconvénient, s'il y en avait un, serait d'autant moindre, que les modifications dont il s'agit conservent intacts les rapports des distances qui existent entre les divers astres du monde solaire, comme aussi ceux qui donnent les distances des étoiles exprimées au moyen du rayon de l'orbite terrestre. Les nombres que nous avons donnés pour les temps que la lumière met à venir de ces astres jusqu'à nous ne sont nullement altérés par cette double modification en sens inverse : ils ne sont ni plus ni moins considérables.

1. Mais non pas vide de matière, si l'on songe à la multitude prodigieuse de masses nébuleuses qui, selon la théorie de Schiaparelli, sillonnent en tous sens les espaces interstellaires : comètes, traînées météoriques, voyageant de monde en monde, de soleils en soleils.

prochées de nous. De Véga de la Lyre, de l'étrincelant Sirius, la lumière met plus de vingt ans à nous parvenir; de la Polaire il lui faut près d'un tiers de siècle. Enfin, pour traverser l'espace qui sépare la Chèvre du monde où nous vivons, ou si l'on veut, pour franchir 165 800 milliards de lieues, c'est 70 ans et demi qu'il faut à ce courrier si étonnamment rapide : la vie tout entière d'un homme.

Voulez-vous vous faire, à un autre point de vue, une idée de ces distances? Supposez-vous placé à l'une des extrémités de la ligne qui joint notre Soleil à l'étoile Alpha du Centaure. De ce point, le rayon tout entier de l'orbite terrestre serait caché par un fil d'un millimètre de diamètre, reculé à une distance de deux cents mètres de votre œil; autrement dit, une ligne de trente-sept millions de lieues, vue de face à cette distance, n'apparaît plus que comme un point imperceptible.

Voici du reste le tableau des principales distances mesurées, exprimées à la fois en rayons de l'orbite terrestre et en milliards de lieues. Nous faisons suivre ces deux nombres du temps que la lumière met à parcourir les distances qu'ils expriment.

DISTANCES EXPRIMÉES :			
	En rayons de l'orbite terrestre.	En milliards de kilomètres.	En années de la lumière.
Alpha du Centaure.	225 900	33 400	3.55
61° du Cygne.	420 000	61 900	6.58
Sirius.	897 000	132 600	14.10
1830° Groombridge.	912 000	135 000	14.35
Véga.	1 360 000	201 000	21.34
Iota de la Grande-Ourse.	1 551 000	229 500	24.40
Arcturus.	1 623 000	240 200	25.54
Étoile polaire.	1 945 000	287 800	30.60
Chèvre.	4 500 000	663 200	70.53

Un certain nombre d'autres distances sont aussi connues, mais avec une moindre précision; presque toutes d'ailleurs

sont plus considérables encore. Aucune n'est au-dessous de la distance d'Alpha du Centaure.

Ainsi, qu'on imagine une sphère ayant pour centre le Soleil et pour rayon deux cent mille fois la moyenne distance du Soleil à la Terre : aucune des innombrables étoiles que nous voyons resplendir dans nos nuits n'y sera contenue. Et cependant le volume de cette sphère idéale n'est pas inférieur à 275 milliards de fois le volume tout entier de notre sphère planétaire, de celle qui s'étend du Soleil jusqu'à Neptune. Celles des comètes qui sont définitivement conquises à notre monde solaire, ont beau jeu pour accomplir dans ce cirque leurs évolutions les plus excentriques et pour y décrire leurs ellipses si voisines de la parabole.

Si maintenant on recule par la pensée notre Soleil jusqu'aux limites inférieures des distances stellaires, si l'on suppose qu'il s'enfonce dans l'espace jusqu'à la distance de l'étoile la plus voisine, et qu'on calcule, d'après les lois de l'optique, quelle sera l'extinction de sa lumière, on arrive à cette conséquence, qu'il aura tout au plus l'apparence d'une étoile de deuxième grandeur. Telle est la Polaire, telles sont les étoiles principales de la constellation de la Grande-Ourse.

Comprend-on maintenant qu'il soit de toute impossibilité que les étoiles brillent seulement d'une lumière réfléchie. A la distance où les plus rapprochées sont du Soleil, elles reçoivent du foyer de notre monde une lumière dont l'intensité, on vient de le voir, ne dépasse pas celle d'une étoile de seconde grandeur. Si chaque étoile était un corps obscur, la clarté qu'elle recevrait de notre Soleil serait tout au plus égale à celle d'une de nos nuits les plus noires, alors qu'une seule étoile perce au travers des couches épaisses de nuages. Et c'est cette faible lueur qui, réfléchie par le globe de l'étoile et traversant de nouveau l'immense abîme, reviendrait à nous étincelante et vive comme nous la voyons!

On peut donc affirmer, comme de la plus incontestable évi-

dence, cette vérité astronomique que nous énoncions au début de ce chapitre :

Les étoiles sont des soleils. Chacune d'elles est un foyer de lumière et de chaleur, et probablement le centre d'un système qui comprend comme le nôtre des planètes, leurs satellites et des comètes. Chaque étoile est un monde.

Les distances de quelques étoiles étant approximativement connues, est-il possible d'en déduire leurs dimensions réelles, ainsi qu'on a pu le faire pour les planètes et le Soleil? Non, et la raison en est simple : le diamètre apparent des plus brillantes étoiles est si petit qu'il échappe à toute mesure. Les fils les plus fins placés au foyer d'un instrument d'optique cachent en entier le disque de ces astres. Lorsque, par suite du mouvement de la Lune à travers les constellations, le limbe de notre satellite passe devant une étoile, l'occultation se fait instantanément. L'extinction de la lumière, au lieu d'être graduelle, est subite et entière. Ce fait n'a rien d'extraordinaire, quand on songe que le diamètre du Soleil, reculé à la distance de l'étoile la plus rapprochée de nous, ne mesurerait pas un centième de seconde d'arc, quantité angulaire si petite qu'elle est entièrement inappréciable.

Mais si l'on suppose que l'intensité intrinsèque de la lumière soit la même, pour Sirius par exemple, que pour le Soleil de notre système, on peut arriver à des vues assez nettes, bien que conjecturales, sur les dimensions de ce magnifique Soleil. Dans cette hypothèse, le diamètre de Sirius vaudrait 15 fois celui de notre Soleil, de sorte que, même en donnant à sa lumière un éclat intrinsèque triple de celui de la lumière solaire, on aurait encore des dimensions cinq fois plus grandes. Même alors, le volume de Sirius vaudrait cent vingt-cinq fois le volume du Soleil.

Sans doute, pour quelques étoiles, ces nombres sont au-dessous de la réalité; sans doute, dans la multitude des mondes

si éloignés et probablement si différents du nôtre, les dimensions les plus variées distinguent à la fois et le corps central et la sphère où s'étend son action directe.

Ce qu'on vient de lire sur les distances stellaires n'est d'ailleurs qu'une première ébauche des dimensions de l'univers visible. Nous reviendrons sur ce sujet intéressant, quand nous décrirons la structure de ce vaste ensemble, telle que les travaux les plus modernes de l'astronomie sidérale permettent d'en esquisser l'ébauche. Nous considérerons alors non plus les étoiles isolées, mais les groupes, les systèmes de soleils, et les séries de groupes formant des associations de plus en plus nombreuses et de plus en plus étendues.

§ 2. Les étoiles ne sont pas immobiles dans l'espace. — Mesure de leurs mouvements propres; vitesses de quelques-unes d'entre elles. — Translation du système solaire. Point du ciel vers lequel il se dirige actuellement.

On a cru pendant longtemps que les étoiles conservaient invariablement leurs positions relatives, qu'elles étaient, ainsi que le Soleil, immobiles dans l'espace. De là, cette ancienne dénomination d'*étoiles fixes*, par opposition aux *étoiles errantes* ou *planètes*. Les observations astronomiques modernes, rendues beaucoup plus précises par le perfectionnement des instruments de mesure, démontrent décidément la fausseté de cette double idée de la fixité des étoiles et de l'immobilité du Soleil dans l'espace. On peut affirmer aujourd'hui que le mouvement est la loi commune de tous les astres.

Dans notre monde solaire, les planètes et leurs satellites sont animés à la fois, nous l'avons vu, et d'un mouvement de rotation sur leur centre et d'un mouvement de révolution autour du foyer commun. Quant au Soleil, on sait déjà qu'il tourne sur lui-même en vingt-cinq jours environ. Enfin les comètes sont pareillement animées de mouvements rapides

qui les entraînent à de grandes distances hors des limites du monde planétaire.

Eh bien, le Soleil lui-même se meut dans l'espace, entraînant avec lui son nombreux cortège, sans que les distances et les positions relatives de tant d'astres différents en soient aucunement altérées. Membre d'un système plus vaste, d'ailleurs encore inconnu, il décrit dans des milliers, dans des millions de siècles peut-être, une orbite immense. Il en est de même de tous les autres soleils. Les mouvements d'un grand nombre d'entre eux ont été constatés, et déjà l'on peut dire le sens et la vitesse de ces mouvements. Essayons de comprendre, à l'aide d'une comparaison familière, comment il a été possible de s'assurer de l'exactitude de tels faits.

Supposons-nous immobiles au centre d'une vaste plaine que sillonnent en divers sens des routes parcourues par des piétons, des voitures et des trains de chemin de fer. Si ces mobiles sont rapprochés, ils paraîtront se mouvoir avec une assez grande rapidité relative. Mais plus ils s'éloigneront, plus leur vitesse apparente diminuera, jusqu'à ce que, se perdant à l'horizon, ils finissent par se mouvoir avec une extrême lenteur qui approchera beaucoup de l'immobilité. En ce moment, examinons-les avec une lunette dont la puissance optique les rapprochera de notre œil ; au même instant leur vitesse apparente reprendra la valeur qu'elle avait perdue, pour s'évanouir de nouveau à mesure que l'éloignement deviendra plus considérable.

C'est ainsi que les mouvements propres des étoiles, d'abord complètement insensibles, ont fini par se révéler aux astronomes munis d'instruments puissants, pourvus eux-mêmes d'appareils de mesure d'une délicatesse infinie. Ils ont ainsi constaté que plusieurs étoiles se déplaçaient, avec des vitesses inégales et dans des directions différentes. Mais, qu'on ne se fasse pas illusion sur la grandeur de ces déplacements ; qu'on n'aille pas croire qu'ils sont sensibles pendant la durée d'une

observation. Non, ce sont des observations nombreuses, ce sont des années qu'il a fallu pour constater de tels mouvements.

Citons quelques exemples.

La plus brillante étoile du Bouvier, Arcturus, met un siècle entier pour parcourir seulement la huitième partie du diamètre de la Lune. Alpha du Centaure, dans le même intervalle de temps, se déplace d'une quantité égale au cinquième de ce diamètre. Beaucoup d'autres se meuvent avec plus de lenteur encore. Les mouvements les plus rapides sont ceux de la 61^e du Cygne, dont nous avons vu qu'on a mesuré la distance à la Terre, et de deux étoiles du ciel austral, l'une appartenant à la constellation de l'Indien, l'autre à celle du Navire. Toutefois ces trois astres, pour se déplacer sur la voûte étoilée de tout le diamètre lunaire, mettent encore chacun plus de trois siècles, à raison d'un mouvement moyen annuel qui est respectivement de 5^{''}1, de 7^{''}7 et de 7^{''}9 environ.

Il ne s'agit ici que de la vitesse apparente. Pour en conclure la vitesse réelle, il faut connaître les distances des étoiles dont le mouvement propre est mesuré; or cet élément est connu, du moins pour quelques-unes d'entre elles.

On a trouvé ainsi qu'Arcturus se meut dans l'espace absolu avec une vitesse qui n'est pas moindre de 75 600 lieues par heure, 21 lieues par seconde. Voici un tableau de quelques vitesses déterminées¹ :

	Mouvements propres annuels	Vitesse par seconde.
1830 ^e Groombridge	6 ^{''} .974	36 lieues.
Arcturus.	2 ^{''} .250	21 —
61 ^e du Cygne	5 ^{''} .123	16 —
La Chèvre.	0 ^{''} .460	12 —
Sirius	1 ^{''} .234	6 —
Alpha du Centaure	3 ^{''} .580	5 —
Véga.	0 ^{''} .354	2 —
La Polaire.	0 ^{''} .035	0,5 —

1. Ces vitesses sont peut-être encore plus considérables, puisque les lignes parcourues peuvent fort bien n'être pas vues de face. Ce ne sont donc ici que les projections des vitesses.

Ainsi ces étoiles qu'on croyait immobiles sont en perpétuel mouvement. Que dis-je, la vitesse de quelques-uns de ces mondes lointains dépasse de beaucoup celle des corps planétaires, laquelle varie, nous l'avons vu, entre une lieue et demie et 15 lieues par seconde. La Terre qui roule sur son orbite avec une rapidité si prodigieuse se meut trois fois plus lentement qu'Arcturus. C'est pour rendre sensible cette grandeur des mouvements propres des étoiles « qui procèdent avec lenteur, mais sans jamais s'interrompre, et dont les vastes périodes forment comme une horloge éternelle de l'Univers » qu'Humboldt dit dans son *Cosmos* : « Supposons, un instant, qu'un rêve de l'imagination se réalise, que notre vue, dépassant les limites de la vision télescopique, acquière une puissance surnaturelle; que nos sensations de durée se contractent de manière à comprendre les plus grands intervalles de temps, de même que nos yeux perçoivent les plus petites parties de l'étendue; aussitôt disparaît l'immobilité apparente qui règne dans les cieux. Les étoiles sans nombre sont emportées, comme des tourbillons de poussière, dans des directions opposées, les nébuleuses errantes se condensent ou se dissolvent, la Voie lactée se divise par places comme une immense ceinture qui se déchirerait en lambeaux; partout le mouvement règne dans les espaces célestes, de même qu'il règne sur la terre, en chaque point de ce riche tapis de végétaux, dont les rejetons, les feuilles et les fleurs présentent le spectacle d'un perpétuel développement. »

Voyons maintenant comment on a pu parvenir à la connaissance de cet autre fait que le monde solaire tout entier se meut lui-même dans l'espace. L'idée de ce déplacement a été formulée pour la première fois, d'une façon un peu nette, en 1776, par Lalande, qui le regardait comme ayant une liaison nécessaire, logique, avec le mouvement de rotation du Soleil; voici en quels termes il exprimait cette opinion dans l'*Encyclopédie méthodique* :

« La rotation du Soleil, disait-il, indique un mouvement de translation ou un déplacement du Soleil qui sera peut-être un jour un phénomène bien remarquable dans la cosmologie. Le mouvement de rotation considéré comme l'effet physique d'une cause quelconque est produit par une impulsion communiquée hors du centre ; mais une force quelconque imprimée à un corps et capable de le faire tourner autour de son centre, ne peut manquer aussi de déplacer le centre, et l'on ne saurait concevoir l'un sans l'autre. *Il est donc évident que le Soleil a un mouvement réel dans l'espace absolu ;* mais comme nécessairement il entraîne la Terre, de même que toutes les planètes et les comètes qui tournent autour de lui, nous ne pouvons nous apercevoir de ce mouvement, à moins que, par la suite des siècles, le Soleil ne soit arrivé sensiblement plus près des étoiles qui sont d'un côté que de celles qui sont opposées ; alors les distances apparentes des étoiles entre elles auront augmenté d'un côté et diminué de l'autre, ce qui nous apprendra de quel côté se fait le mouvement de translation du système solaire. Mais il y a si peu de temps que l'on observe, et la distance des étoiles est si grande, qu'on ne pourra de longtemps constater la quantité de ce déplacement. »

Fontenelle, Bradley, Tobie Mayer, Lambert avaient également entrevu comme une hypothèse probable le mouvement de translation du Soleil, mais sans la formuler d'une manière aussi précise. « Chaque étoile fixe, dit Lambert dans ses *Lettres cosmologiques*, a dans les plaines de l'espace son orbite tracée, qu'elle parcourt en traînant à sa suite tout son cortège de planètes et de comètes. Si l'on pouvait démontrer que tout corps qui tourne sur son axe doit aussi se mouvoir dans une orbite, on ne pourrait plus disputer à notre Soleil ce dernier mouvement, puisqu'il a le premier. Il y a apparence que le mécanisme du monde exige la liaison de ces deux mouvements, quoique nous n'en voyions pas distinctement la cause. Ce qu'il y a de certain, c'est que le Soleil se déplace.... » Par-

lant plus loin des mouvements propres des étoiles, il ajoute : « Comme ce déplacement apparent des étoiles fixes dépend du mouvement du Soleil aussi bien que du leur propre, il y aurait peut-être moyen de conclure de là vers quelle région du ciel notre Soleil prend sa course. Mais que de temps ne s'écoulera-t-il point avant que nous connaissions celui de la révolution du Soleil ! Une année platonique (26 000 ans) y suffirait-elle ? Peut-être que, dans une pareille année, il ne parcourt qu'un signe de son zodiaque. »

Dans tout ceci, on le voit, il ne s'agit que de prévisions théoriques, de conjectures. Il était réservé à W. Herschel de les appuyer le premier sur la base solide des observations, et il faut avouer que c'était une tâche encore plus ardue que celle de concevoir l'hypothèse elle-même, quelque élevée que fût celle-ci à l'époque où elle fut mise au jour pour la première fois.

De quoi s'agissait-il, en effet ? De démêler, au milieu des mouvements apparents ou réels dont les étoiles sont affectées, le mouvement d'ensemble que doit produire pour un observateur terrestre le déplacement supposé et encore inconnu en direction du système solaire dans l'espace. La précession des équinoxes, la nutation, le mouvement annuel de la Terre autour du Soleil, l'aberration de la lumière sont autant de causes qui modifient, dans un sens ou dans l'autre, les positions des étoiles, jadis supposées fixes, sur la voûte étoilée. Chacune d'elles, en outre, a probablement un mouvement propre, comme on l'a constaté pour un certain nombre d'entre elles, lequel indique une véritable translation dans l'espace. Imaginons qu'on ait déterminé la part qui revient à chacune de ces causes, et qu'on lui ait assigné sa vraie grandeur, puis, qu'on en fasse abstraction, que restera-t-il ? Plus rien, si le Soleil est immobile ; mais si, au contraire, il est entraîné, avec tout son cortège de planètes, vers une certaine région du ciel, on trouvera nécessairement pour résidu de tous les autres déplace-

ments, apparents ou réels, un mouvement d'ensemble. Comme l'avait fort bien prévu Lalande, dans la direction de la plage stellaire vers laquelle il s'avance, les étoiles sembleront s'éloigner les unes des autres : leurs distances angulaires s'élargiront à mesure que le système solaire se rapprochera, tandis qu'à l'opposé, il y aura un mouvement de convergence ; les étoiles se resserront, par le fait seul que nous nous en éloignerons de plus en plus. C'est ainsi qu'un voyageur qui, au centre d'une vaste plaine, s'avance en ligne droite sur une route aboutissant à deux points extrêmes de l'horizon, voit au-devant de lui tous les objets, d'abord rapprochés, s'écarter peu à peu, tandis que derrière lui ceux qu'il quitte se rapprochent progressivement, par un effet de perspective aisé à comprendre. Sur les côtés, les arbres sembleront fuir en sens inverse de sa marche. Tous ces mouvements apparents, en sens divers, ont entre eux, et avec la direction de la route et la vitesse du voyageur, des rapports déterminés, de sorte que, s'il n'avait pas conscience de son propre mouvement, la corrélation dont il s'agit suffirait pour le lui faire reconnaître.

Toutefois, si le problème à résoudre était théoriquement très-simple, la solution par l'observation directe était, au contraire, d'une grande complexité. Avec sa hardiesse et sa persévérance ordinaires, W. Herschel l'aborda, et, dès 1783, il annonçait que la question était résolue, ou pour le moins largement ébauchée. Il avait conclu de la discussion des mouvements propres d'un petit nombre d'étoiles que le Soleil marche vers l'étoile λ de la constellation d'Hercule, en un point du ciel qui, à cette époque, avait 257° d'ascension droite et 25° de déclinaison boréale.

Cinquante ans plus tard, Argelander reprit, sur de nouvelles données, plus nombreuses et plus précises, la détermination du point de convergence. Puis vinrent Bravais, Otto Struve, Gauss, Galloway, dont les recherches ne firent que confirmer celles d'Herschel et d'Argelander. Les calculs com-

binés de Struve et d'Argelander donnent au point en question la position suivante pour l'époque 1840 :

Ascension droite	259° 35',1
Déclinaison boréale	34° 33',6.

Struve réussit en outre à déterminer la vitesse du mouvement de translation. Vu de face, d'un point situé à la distance moyenne des étoiles de première grandeur, le chemin parcouru en une année par le Soleil aurait une valeur angulaire de 0^m.34, ce qui équivaut au nombre 1.623, le rayon moyen de l'orbite de la Terre étant pris pour unité. En résumé :

« Le mouvement du système solaire dans l'espace est dirigé vers un point de la voûte céleste, situé sur la ligne droite qui joint les deux étoiles de troisième grandeur π et μ d'Hercule, à un quart environ de la distance apparente de ces étoiles à partir de π . La vitesse de ce mouvement est telle que le Soleil, avec tous les corps qui en dépendent, avance annuellement dans la direction indiquée de 1.623 fois le rayon de l'orbite terrestre, ou de 240 000 000 de kilomètres. »

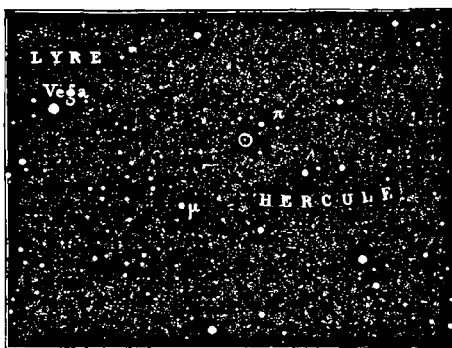


Fig. 156. — Point du ciel vers lequel est dirigé actuellement le mouvement de translation du système solaire.

C'est une vitesse d'environ 660 000 kilomètres par jour, ou 7^k.6 par seconde. Ainsi, l'observation a légitimé une fois de plus les inductions de la théorie. La réalité du mouvement qui entraîne le monde solaire dans les profondeurs de l'éther est prouvée. Il reste à savoir quelle est la nature de ce mouvement, si le Soleil se meut périodiquement autour de quelque centre inconnu, s'il fait partie d'un système stellaire particu-

lier, fragment du grand système de la Voie lactée, ou s'il est le satellite d'un autre soleil. Peut-être le mouvement dont il est animé n'est-il que l'effet des perturbations qu'il éprouve de la part des masses stellaires qui l'entourent à des distances inégales, et qui sont inégalement distribuées dans l'espace.

Dans la première hypothèse, celle d'un mouvement périodique, l'élément rectiligne de la route suivie par le système solaire vers les parages de la constellation d'Hercule, n'est qu'une portion restreinte de l'orbite solaire, et tout ce qu'on en peut déduire, c'est que le foyer inconnu est dans une direction rectangulaire avec celle du mouvement. Avec le temps, c'est-à-dire avec les siècles, on pourra constater un changement de direction et en déduire la courbure de l'orbite, le sens de sa concavité, et en définitive avoir une idée du point de convergence des rayons vecteurs et de la distance du foyer du mouvement. En coordonnant les mouvements propres du Soleil et des étoiles, comme s'ils avaient un foyer commun, Argelander a examiné le degré de vraisemblance que présente l'hypothèse où la constellation de Persée serait le centre général de leurs gravitations. Mædler regarde Alcyone, la plus brillante des Pléiades, comme le soleil central autour duquel nous gravitons, et les Pléiades elles-mêmes, comme le groupe dont la masse détermine notre mouvement. Il est bien évident que ce sont là des hypothèses, intéressantes sans aucun doute, parce qu'elles fixent pour ainsi dire nos idées et donnent un but aux investigations futures, mais qu'il ne faut admettre ni rejeter absolument, en l'absence d'éléments suffisants pour se prononcer en connaissance de cause.

La découverte du mouvement propre du Soleil complète les analogies qui l'ont fait successivement assimiler à toutes les autres étoiles ; car, à mesure que l'astronomie sidérale se perfectionne, le nombre de ces astres dont le mouvement est perceptible à nos mesures devient plus grand, et l'on arrive à cette conclusion irrésistible que tout se meut perpétuellement

dans l'univers, qu'aucun de ses points n'est en repos absolu : l'immensité seule des distances donne une fixité apparente à cette multitude de corps célestes qui brillent par eux-mêmes avec assez d'éclat pour que leur lumière parvienne jusqu'à nous. Seulement des années, des milliers, des millions d'années se sont écoulées depuis l'époque où les vibrations qui agitent leur substance ont ébranlé les premières couches de l'éther environnant, et les mouvements que nous constatons aujourd'hui sont depuis longtemps accomplis en réalité.

Quant à la route que nous suivons dans l'espace, il est probable que nous ne la connaissons jamais d'une manière absolue, et nous en pouvons dire autant de tous les corps du monde solaire. La Lune circule autour de la Terre, mais l'ellipse qu'elle décrit ne nous donne qu'un mouvement relatif; car en même temps la Terre tourne autour du Soleil, et, ce dernier supposé immobile, il en résulte déjà que notre satellite décrit une courbe à inflexions variées, une espèce de cycloïde que les perturbations planétaires compliquent encore. Mais puisque le Soleil se meut, la courbe de l'orbite lunaire est elle-même entraînée dans ce mouvement, et sa forme réelle dans l'espace se complique de nouveau. Qui sait où s'arrête cet enchevêtrement de courbes, cette combinaison d'orbites, dont la dernière connue n'est sans doute qu'apparente? Le Soleil, nous le verrons plus loin, est dans la Voie Lactée, qui paraît être une agglomération de systèmes de mondes, et il est probable qu'il fait partie de l'un de ces systèmes particuliers; mais l'ensemble des astres qui le composent est sollicité par les gravitations de tous les autres, et il en résulte sans doute un mouvement d'ensemble, peut-être dans le plan principal de la grande nébuleuse. La Voie Lactée elle-même, avec ses millions d'étoiles, qu'est-elle dans l'univers visible, sinon un archipel dans l'Océan? mais un archipel en marche, qui vogue dans les profondeurs infinies, comme toutes les autres voies lactées dont les télescopes ont signalé l'existence.

Quand la pensée se plonge dans ces abîmes, elle prend le vertige ; elle perd pied avec la science même qui a su lui ouvrir ces perspectives dans l'infini de l'espace et de la durée !

Si les étoiles se meuvent inégalement et dans divers sens, si le Soleil progresse vers un certain point du ciel, qu'en doit-il résulter à la longue pour l'aspect de la voûte étoilée vue de la Terre ? Une déformation continue qui finira par donner aux constellations d'autres apparences que celles qu'on leur connaît aujourd'hui. « La Croix du Sud, dit Humboldt, ne conservera pas toujours sa forme caractéristique, car ses quatre étoiles marchent en sens différents et avec des vitesses inégales. On ne saurait calculer aujourd'hui combien de myriades d'années doivent s'écouler jusqu'à son entière dislocation¹. » Nous pouvons donc être tranquilles et étudier le ciel tel qu'il est, sans craindre une confusion prochaine : laissons à nos arrière-neveux de l'an 9000 le soin de reconnaître la position que possédera alors l'étoile des Chiens de chasse classée sous le n° 1830 dans le catalogue de Groombridge, que son mouvement propre aura entraînée jusqu'au milieu de la Chevelure de Bérénice.

1. *Cosmos*, III, p. 215.

IV

ÉTOILES DOUBLES ET MULTIPLES.

§ 1. Distinction des étoiles doubles en couples optiques et en couples physiques. — Caractères de ces derniers groupes. — Mouvements de révolution des composantes des étoiles doubles. — Systèmes de soleils multiples.

Il y a dans le voisinage de Véga, la plus brillante étoile de la constellation de la Lyre, une petite étoile dont la forme allongée, reconnaissable à la vue simple, laisse soupçonner la réunion de deux points lumineux. En effet, quand on se sert pour l'examiner d'une lunette d'une faible puissance, on voit distinctement deux étoiles (ϵ et δ , dans les catalogues), séparées l'une de l'autre par un intervalle égal à la neuvième partie environ du diamètre apparent de la Lune¹.

Est-ce là ce qu'on nomme, en astronomie, une *étoile double*? Non, il y a bien, entre cette réunion de deux étoiles et les couples stellaires, une certaine analogie; mais la distance des deux astres est ici beaucoup trop grande et la dénomination d'étoiles doubles est restreinte à celles dont la distance apparente ne dépasse pas la sixième partie de l'intervalle qu'on vient de citer. A l'œil nu, ou même dans des lunettes de moyenne force, un couple d'étoiles aussi rapprochées apparaîtrait comme un simple point lumineux; il faut employer, pour distinguer les étoiles qui le composent, des instruments

1. C'est-à-dire à 3'27".

d'une force optique considérable. En général, on considère comme formant une étoile double tout couple dont les deux étoiles composantes sont à une distance inférieure à $32''$. Si, dans un cercle décrit autour d'une étoile avec un rayon de $32''$, il se trouve deux autres points lumineux, la réunion des trois étoiles ainsi groupées forme une étoile triple. Elle est quadruple ou en général multiple, si le cercle en question renferme quatre, cinq ou un plus grand nombre d'étoiles. D'après cette définition, les deux étoiles (ϵ et δ) de la Lyre ne forment ni une étoile double ni une étoile multiple. Mais si l'on applique une puissante lunette de ce genre à l'examen de chacune des composantes, on trouve que l'une et l'autre sont séparément formées de deux étoiles, mais si rapprochées, que les intervalles séparant les composantes de chaque couple mesurent à peine $3''$, c'est-à-dire seulement la 70^{e} partie de la distance totale des couples eux-mêmes¹. Il y a un siècle, on ne connaissait que vingt groupes de ce genre; aujourd'hui les observateurs en ont recensé plus de six mille².

La réunion de deux soleils dans un petit espace de la voûte étoilée est-elle purement fortuite? Ou bien faut-il la considérer comme une liaison réelle des deux astres, formant un véritable système? Dans la première hypothèse, le rapprochement des deux étoiles n'est qu'apparent; il est dû à un effet de perspective; le rayon visuel qui aboutit à la plus rapprochée des deux, se confondant presque avec celui qui va chercher la seconde à des profondeurs beaucoup plus considérables encore. Dans le second cas, les deux soleils sont à des distances à peu près égales de la Terre, et leur rapprochement apparent vient de la petitesse relative de leur distance mutuelle.

1. Struve.

2. Kirch, Bradley, Flamsteed, Tobie et Christian Mayer, W. Herschel dans le siècle dernier; les deux Struve, Bessel, Argelander, Encke et Gall, Preuss et Mædler, sir John Herschel, dans la première moitié du dix-neuvième siècle, ont attaché leurs noms à la découverte de ces couples aujourd'hui si nombreux et si intéressants.

De là, cette distinction des étoiles doubles en couples optiques et en couples physiques. Dès le début, quand on vit le nombre des étoiles doubles s'accroître incessamment avec les observations, on comprit qu'il était infiniment probable que des réunions de ce genre n'étaient pas toutes dues à la perspective, et l'on admit l'existence de véritables systèmes de soleils, avant même que l'observation eût confirmé directement cette existence. On ne s'était pas trompé. Sur un nombre total de 6000 couples, on compte aujourd'hui plus de 650 systèmes, c'est-à-dire d'association de deux soleils, soumis à la loi de gravitation, c'est-à-dire exerçant l'un sur l'autre une action réciproque analogue à celle qui lie chaque planète au Soleil, et dès lors tournant l'un et l'autre autour du centre commun de gravité.

Il est des groupes plus compliqués encore, des systèmes de trois, de quatre soleils. Dans la constellation d'Orion, au centre d'une nébulosité remarquable que nous aurons bientôt à dé-

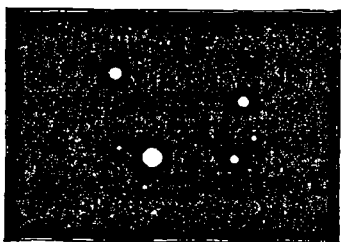


Fig. 157. — Thêta d'Orion, d'après J. Herschel.

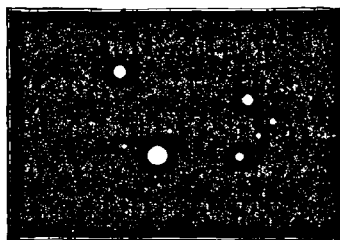


Fig. 158. — Nouvelle étoile dans le trapèze d'Orion, découverte par M. Lassell.

crire, existe une étoile où la vue simple ne distingue qu'un point lumineux. A l'aide d'une lunette puissante, ce point se décompose en quatre étoiles, et quand le grossissement est encore plus considérable, deux des étoiles du trapèze sont elles-mêmes accompagnées de deux autres fort petites étoiles, de sorte qu'il y a là un groupe de six soleils (fig. 157). « Pro-

bablement, dit Humboldt, l'étoile sextuple Thêta d'Orion, c'est celle dont nous venons de parler, constitue un véritable système, car les cinq plus petites étoiles partagent le mouvement propre de l'étoile principale. » Ajoutons que M. Lassell vient de découvrir une septième composante dans ce remarquable système, de sorte que Thêta d'Orion est une étoile septuple. Une étude attentive de ce groupe, sur lequel est fixée l'attention des astronomes, finira par montrer ce qu'il y a de vrai dans l'hypothèse d'Humboldt : verra-t-on un jour les composantes se déplacer sur leurs orbites, et la science s'enrichir d'un fait nouveau bien digne de la méditation des géomètres, celui des mouvements réciproques et simultanés de sept soleils ?

Non-seulement la distinction des étoiles doubles en couples optiques et en couples physiques n'est point arbitraire, fondée comme elle l'est sur des observations précises, mais encore elle a fourni de précieux éléments à la solution des plus importants problèmes de l'astronomie stellaire. Un mot à ce sujet. On peut assurer que les deux composantes d'une étoile double forment un système réel ou physique, lorsqu'on a observé le mouvement de circulation de l'une d'elles autour de l'autre. C'est ainsi que le satellite de Castor¹, ceux de l'étoile Éta de Cassiopée, de ρ du Serpenteire, de Xi de la Grande-Ourse ont achevé leurs révolutions tout entières depuis l'époque (1780) des premières observations.

Quelle magnificence, quelle variété dans la constitution de l'univers sidéral ! Notre monde solaire nous avait donné le spectacle déjà si grandiose d'une étoile centrale entourée de plus de cent corps obscurs et de milliers de comètes, exécutant harmonieusement leurs évolutions éternelles autour d'un

1. Castor est un système binaire auquel, selon Struve, appartient sans doute une troisième étoile qui participe au mouvement propre des deux autres. Voilà donc deux soleils accompagnés d'un troisième soleil, quinze fois plus éloigné des deux premiers qu'ils ne le sont l'un de l'autre.

foyer de chaleur, de lumière et de vie. L'espace indéfini qui enveloppe ce monde nous a montré à de prodigieuses distances des millions d'étoiles, qui sont autant de soleils, environnées sans doute pour la plupart d'un cortège de satellites. Et voilà que parmi ces myriades de systèmes, il en est qui nous présentent l'association plus merveilleuse encore de soleils groupés par deux, par trois, par quatre, et se mouvant eux-mêmes les uns autour des autres de la même manière que les planètes autour de leur centre commun.

Les couples physiques se reconnaissent encore à un autre caractère : c'est lorsque les deux composantes ont un mouvement propre commun, c'est-à-dire de même sens et de même amplitude. Il est alors extrêmement probable qu'il s'agit d'un véritable système.

Quant aux étoiles doubles optiques, elles se reconnaissent au caractère opposé, c'est-à-dire lorsqu'aucune observation n'a permis de constater un mouvement de l'une autour de l'autre, et que l'une des composantes est animée d'un mouvement propre auquel la seconde ne participe point. Tel est le cas des couples formés par Véga, par Atair, par Pollux et Aldebaran. Alors les deux étoiles ne se trouvent associées que par le fait de la direction commune des régions où se trouve chacune d'elles, relativement à la Terre; en réalité, elles sont à des distances très-inégales du système solaire. Cette inégalité même s'est trouvée être d'une haute importance pour l'astronomie; et, si les étoiles doubles de la première espèce ont agrandi les connaissances de l'homme sur la constitution de l'univers, en démontrant l'identité des lois qui régissent les mondes stellaires avec les lois des mouvements des planètes, ce sont les étoiles doubles optiques qui ont fourni le moyen de mesurer les distances et de sonder ainsi les profondeurs du ciel. Leurs distances étant, comme nous venons de le dire, très-inégales, les mouvements propres de chacune des composantes ont pareillement des vitesses très-inégales; la

plus éloignée peut être considérée comme immobile relativement à l'autre, et c'est en mesurant le déplacement annuel de la plus rapide, qu'on est parvenu à déterminer sa parallaxe, et par conséquent sa distance. On a vu plus haut les résultats de ces mesures délicates : nous reviendrons plus loin sur la méthode même qui a donné la solution de ce problème important. Entrons maintenant dans quelques détails sur les principaux couples d'étoiles, dont les mouvements ont été observés et les orbites calculées.

Il existe, dans la constellation de la Grande-Ourse, et tout près de celle du Lion, une étoile désignée dans les catalogues par la lettre grecque ξ (Xi), qui est reconnue comme étoile double depuis 1782. Les deux composantes de ce système sont, l'une de quatrième, l'autre de cinquième grandeur. Le mouvement de circulation de la seconde autour de la première¹ ayant été reconnu, un astronome français, Savary, détermina par le calcul les éléments de l'orbite. Savary trouva cinquante-huit ans pour la durée de la période de révolution qui depuis a été plus exactement calculée; elle est de soixante et un ans, d'où l'on voit que, depuis la découverte du système, l'orbite a été parcourue dans sa totalité, et que le premier tiers de la seconde période est achevé. La forme elliptique ou ovale de l'orbite est très-prononcée; pour trouver une aussi grande excentricité, il faut la comparer aux orbites des comètes périodiques du système solaire, puisque, même dans les planètes télescopiques, il n'existe pas d'orbite qui diffère autant du cercle que celle de Xi de la Grande-Ourse. Mais parmi les étoiles doubles, il en est dont les orbites sont encore plus excentriques : telle est Alpha du Centaure. La période de révolution de cette étoile double dépasse soixante-dix-huit années.

Nous citerons encore, parmi les systèmes d'étoiles doubles

1. Ou mieux, le mouvement de chaque étoile autour d'un foyer commun qui est le centre de gravité du système.

connus avec quelque précision, les périodes de révolution suivantes :

Zêta d'Hercule	36 ans.
Zêta de l'Écrevisse	59 —
Xi de la Grande-Ourse	66 —
Êta de la Couronne boréale	66 —
Alpha du Centaure	78 —
P d'Ophiucus	92 —
Gamma de la Vierge	154 —
61° du Cygne	452 —
Castor	632 —

Il y a, comme on le voit par ce tableau, une grande variété dans la durée des périodes, la dernière surpassant dix-sept fois la première. Mais il est probable qu'on en trouvera de plus divergentes encore. Dans la Chevelure de Bérénice et dans le Lion, il y a deux couples, dont le premier, dit-on, a pour période moins de quatorze années, tandis que le second n'effectuerait son mouvement orbitalaire qu'au bout de douze siècles¹.

Si l'on a pu déterminer la forme de courbes décrites par ces couples de soleils et calculer la durée de leurs mouvements périodiques, il n'en est pas de même, en général du moins, des dimensions réelles des orbites. Pour cela, on le comprend, il faudrait connaître les distances vraies de ces systèmes à la Terre; il en est ainsi, on doit se le rappeler, des deux étoiles doubles, 61° du Cygne et Alpha du Centaure. La distance moyenne des deux soleils qui composent le second de ces systèmes n'est pas moindre de 390 millions de lieues. Comparée aux distances des planètes au Soleil, elle se trouve comprise entre celles de Saturne et d'Uranus. L'orbite du compagnon de la 61° du Cygne a pour rayon moyen quarante-cinq fois environ la distance du Soleil à la Terre : c'est près de 1700 millions de lieues. Rappelons-nous que de telles dimensions

1. Il est vrai que ces deux périodes sont encore l'une et l'autre incertaines. Voilà pourquoi nous ne les avons point insérées dans le tableau qui précède.

sont imperceptibles à la vue simple, tant est immense la distance de ces étoiles, qu'un puissant télescope peut seul doubler.

Que l'astronomie en soit venue au point de calculer avec une certaine approximation, qui sans doute laisse à désirer encore, les éléments de systèmes aussi lointains, c'est certes déjà un admirable résultat, une preuve de la puissance du calcul, lorsqu'il est appuyé sur des observations dignes de confiance. Mais ce n'est pas tout : il est aujourd'hui à peu près démontré que les forces qui régissent les systèmes stellaires sont identiques à celles qui animent les corps du monde solaire, et l'on en a pu déduire une valeur approchée des masses réunies de ces groupes. On a trouvé que la 61^e du Cygne, cette petite étoile à peine visible à l'œil nu, pèse plus du tiers de notre Soleil; on sait aussi que les deux étoiles réunies dont l'association forme Alpha du Centaure ont une masse inférieure à la moitié de la masse du Soleil.

Tout récemment, l'exactitude de ces déductions théoriques a reçu une confirmation éclatante.

Tout le monde connaît Sirius, la plus brillante étoile du ciel entier. En étudiant avec un soin minutieux le mouvement propre de ce magnifique soleil, l'illustre Bessel, un des plus grands astronomes et géomètres du siècle, a soupçonné l'existence d'un satellite dont la masse, agissant sur l'étoile centrale, produisait des variations dans son mouvement. Ce satellite était-il un corps obscur analogue à nos planètes, ou bien un soleil secondaire dont la lumière se confondait dans les éblouissants rayons de Sirius? C'est ce qu'on ignorait. Toutefois, d'autres astronomes élucidèrent le même problème, et l'un d'eux, M. Peters, calcula pour l'orbite inconnue une période de cinquante années; d'après M. Auwers, cette période est de quarante-neuf ans et demi. Les choses en étaient là, lorsqu'un astronome américain, M. Clark, dans la nuit du 31 janvier 1862, appliquant à Sirius la puissante lunette de Cambridge,

découvrit enfin le satellite, cause des perturbations observées. Depuis, il a été revu par d'autres savants¹. Il reste à vérifier par l'observation l'orbite et la période antérieurement calculées.

Ainsi se trouve réalisé l'espoir que W. Struve exprimait, il y a trente ans, dans son remarquable *Mémoire sur les étoiles doubles* : « Si les lois de la gravitation universelle, disait-il, sont la plus sublime découverte qu'ait faite l'esprit humain dans le cours de plusieurs milliers d'années, nous sommes bien près d'être à même de déterminer si ces lois n'appartiennent qu'au système solaire, ou si elles sont communes à l'univers entier. L'astronomie marche donc vers une nouvelle époque où l'on fera voir que la mécanique céleste ne se borne pas aux phénomènes du système solaire, mais peut s'appliquer aux mouvements des étoiles fixes. » Après la vérification de l'hypothèse de Bessel sur l'existence d'un satellite de Sirius, hypothèse appuyée sur des calculs basés eux-mêmes sur la théorie de la gravitation, ne peut-on croire que l'époque prédite par Struve est arrivée? Lorsqu'une branche de la science, inconnue il y a deux siècles à peine, et sérieusement cultivée depuis moins de cent ans, arrive à de tels résultats, que ne doit-on pas espérer des progrès futurs de l'astronomie sidérale?

Sans doute bien des points resteront dans le domaine des conjectures. Mais sans s'écarter des probabilités, il sera possible de se faire une idée de plus en plus juste, et de l'unité des lois qui régissent les corps célestes et de la variété indéfinie des phénomènes qu'ils offrent à l'observation de l'homme.

C'est ainsi qu'il est permis d'assimiler les soleils innombrables qui parsèment l'étendue au corps central de notre monde. Sans doute, autour de chacun d'eux circulent d'autres astres, les uns solides ou liquides, comme nos planètes, les autres presque entièrement gazeux, comme nos comètes. Sans doute,

1. MM. Chacornac et Goldschmith à Paris, Lassell à Malte, Secchi à Rome.

les phénomènes du jour et de la nuit, ceux des saisons, se retrouvent dans ces mondes secondaires, que l'immensité de leur distance rend invisibles. Il suffit d'ailleurs de nous reporter aux phénomènes étudiés dans notre système planétaire pour concevoir ceux dont ils sont le théâtre.

Mais combien plus variés encore doivent être les phénomènes dont nous parlons dans les systèmes de deux, de trois soleils, dont les lumières et les chaleurs diverses tantôt se succèdent, tantôt se combinent. Plaçons-nous en pensée, par exemple, sur une des planètes du soleil triple qui forme Psi de Cassiopée : les mouvements de rotation et de révolution d'une telle planète, combinés avec les mouvements de révolution des trois astres lumineux, amèneront sur son horizon, tantôt l'un, tantôt l'autre des soleils du système, tantôt deux, tantôt trois à la fois. A des périodes de jour et de nuit succéderont des périodes d'un jour continu ; et la température et les saisons varieront en raison même de ces circonstances multiples.

Joignons-y les variétés de couleur qui caractérisent les lumières des étoiles composantes, et qui produiront sur la planète des jours, tantôt rouges, tantôt verts, tantôt bleuâtres, ou encore illuminés des nuances combinées de ces trois couleurs, et l'on se fera peut-être une idée des bizarres effets de lumière, des contrastes singuliers que doit présenter l'aspect des objets, selon l'heure du jour ou selon l'époque de l'année.

§ 2. — Groupes d'étoiles ; agglomérations naturelles de soleils. — Groupes visibles à l'œil nu. — Les Pléiades. — Les Hyades. — Prosepe. — Groupe stellaire de Persée.

Les étoiles visibles à l'œil nu sont-elles disséminées au hasard sur la voûte céleste ? N'y a-t-il entre les plus voisines en apparence, aucune connexion réelle ou physique qui permette de les ranger en groupes naturels ?

Ces questions sont déjà en partie résolues par ce qu'on sait des systèmes d'étoiles doubles et multiples. Bientôt, en explorant les régions du ciel visibles dans les télescopes, nous aurons à passer en revue une multitude d'associations stellaires, dans lesquelles les soleils se trouvent si pressés, si nombreux, et forment des figures si régulières, qu'il est impossible de nier leur dépendance réciproque. Mais, bien avant la découverte de ces îles, de ces archipels de mondes semés avec une profusion si étonnante dans l'infini, la vue simple distinguait un certain nombre de groupes dont les étoiles composantes sont assez rapprochées, pour qu'on ne puisse élever de doute sérieux sur le lien qui les unit.

Tel est, par exemple, le groupe des Pléiades. Tels sont encore les groupes connus sous les noms d'Hyades, de Præsepe ou de la Crèche, de la Chevelure de Bérénice, de Persée. Tous sont visibles à l'œil nu, et les bonnes vues distinguent avec facilité les principales étoiles des Hyades, des Pléiades et de la Chevelure de Bérénice. Argelander, dans son catalogue des étoiles visibles à l'œil nu sur l'horizon de Berlin, inscrit 15 *cumuli* ou amas d'étoiles, que distingue la vue simple ; mais à part ceux dont nous venons de parler, tous exigent de fortes lunettes pour être décomposés en étoiles. Nous les retrouverons en décrivant les nébuleuses.

Voici d'abord (fig. 159) les Pléiades, situées dans la constellation du Taureau, que nous avons si aisément distinguées au nord-ouest d'Orion et d'Aldebaran. Sur quatre-vingts étoiles environ qui forment ce groupe, six sont visibles sans le secours des lunettes. Nous verrons que jadis on en comptait sept, ce qui semble prouver que l'une d'elles est variable et a diminué d'éclat, ou bien a disparu.

La plus brillante, Alcyon, est de troisième grandeur ; Électre et Atlas sont de quatrième ; Mérope, Maïa et Taygète de cinquième. Trois autres encore ont reçu des noms particuliers, bien qu'elles soient au-dessous de la limite de visibilité simple :

ce sont Pleione, Celeno et Asterope, de sixième à huitième grandeur. Toutes les autres enfin ne sont visibles qu'à l'aide de lunettes d'une certaine puissance; mais avec une simple longue-vue, il est déjà possible d'en distinguer un grand nombre.

Dans nos campagnes, les Pléiades¹ sont connues sous le nom de la *Poussinière*, sans doute parce qu'Alcyone apparaît dans le groupe comme une poule entourée de ses poussins.

Les *Hyades*, qui sont voisines des Pléiades, forment un groupe d'étoiles moins nombreuses et moins pressées que cel-

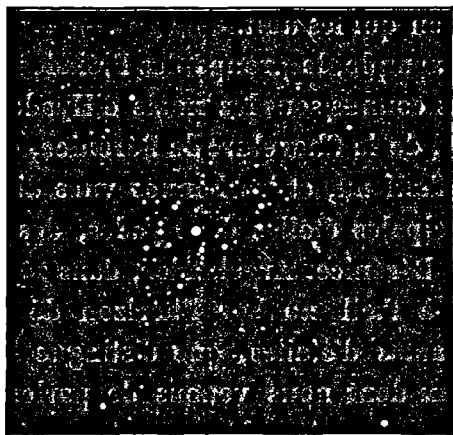


Fig. 159. — Les Pléiades, d'après l'Atlas céleste de Harding.

les-ci. La lumière éclatante d'Aldebaran, qui est, on le sait, de première grandeur, les rend plus difficiles à distinguer à l'œil nu. Elles apparaissent dans la saison des pluies. De là leur nom d'*Hyades*, d'un mot grec qui signifie pleuvoir.

1. Les poètes anciens les nommaient aussi Hespérides ou Atlantides. Quant au nom de Pléiades, on s'accorde à lui donner pour étymologie le nom grec πλειν, qui signifie *naviguer*, parce que, selon de Lalande, au printemps et vers l'époque où elles se levaient avec le Soleil, commençaient les grandes navigations dans la Méditerranée. D'autres disent que ces étoiles étaient redoutées des marins à cause des pluies et des orages qui semblaient s'élever avec elles et qu'ils attribuaient à leur influence.

La liaison des étoiles qui composent ce groupe n'est pas aussi frappante que dans les Pléiades. Néanmoins, il paraît difficile d'admettre qu'elles soient tout à fait indépendantes. En examinant la position des Pléiades et des Hyades dans le voisinage de la Voie Lactée, en observant que ces deux agglomérations sont situées toutes deux dans le prolongement d'un rameau de la grande zone, on arrive à les considérer comme deux amas d'étoiles appartenant à l'immense strate stellaire qui nous entoure, et dans le sein de laquelle on verra que le Soleil est lui-même plongé.

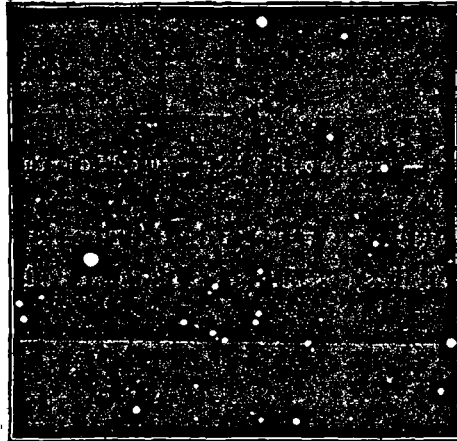


Fig. 160. — Les Hyades, dans la constellation du Taureau, d'après Harding.

Dans la Chevelure de Bérénice, la plupart des étoiles du groupe sont visibles à l'œil nu et se distinguent parfaitement dans le ciel un peu à l'est du Lion. Aucune étoile très-brillante, il est vrai, ne gêne la vue, et n'effaçant leur éclat par son voisinage.

Les deux groupes suivants, l'un situé dans le Cancer et connu sous le nom de *Præsepe* ou de la *Crèche*, l'autre dans Persée, sont visibles à la vue simple; mais il est impossible d'en distinguer les composantes sans le secours des lunettes. Toutefois un instrument d'une médiocre puissance les décom-

pose aisément, et ils prennent alors l'aspect qu'on leur voit dans les deux figures 161 et 162.

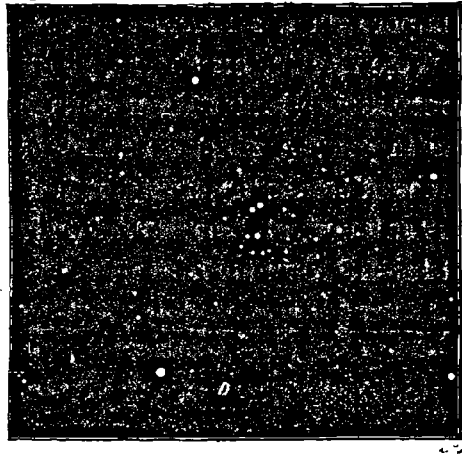


Fig. 161. — Præsepe ou la Crèche, groupe d'étoiles du Cancer.

Les groupes que nous venons de décrire forment une transition entre les étoiles disséminées dans la voûte céleste et les

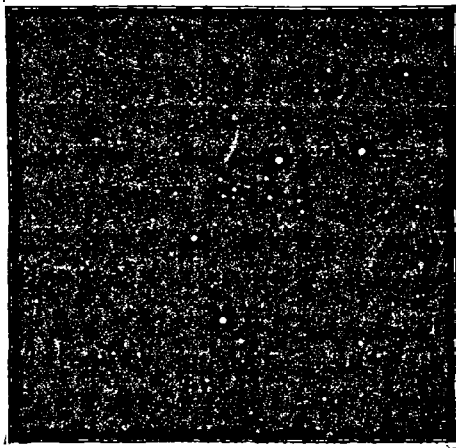


Fig. 162. — Groupe d'étoiles de la constellation de Persée.

amas plus condensés que leur aspect confus a fait désigner sous le nom général de nébuleuses.

Sans doute, si nous pouvions nous déplacer dans l'espace et contempler d'un point suffisamment éloigné l'ensemble des étoiles qui nous semblent isolées, nous les verrions se rassembler, se condenser en un ou plusieurs groupes distincts analogues à ceux des Pléiades; tandis qu'en pénétrant au milieu d'un de ces amas si serrés, nous verrions les étoiles dont il est formé s'écarter et se disséminer sur la voûte céleste de manière à lui donner l'aspect général que nous lui connaissons.

Plus tard, nous reviendrons sur cette considération d'ensemble de l'univers visible, et nous verrons quelle idée on doit se former de sa structure générale.

V

ÉTOILES VARIABLES ET ÉTOILES TEMPORAIRES.

§ 1. Anciennes apparitions d'étoiles nouvelles. — Étoiles variables, périodiques ou temporaires. — Mira de la Baleine et Algol de Persée. — Principales étoiles variables dont la période a été reconnue.

Au point où nous en sommes arrivés de notre description, nous ne savons rien des étoiles, si ce n'est que ce sont des astres brillant d'une lumière qui leur est propre; nous connaissons bien les distances de quelques-unes d'entre elles, les limites inférieures des distances des autres, nous savons qu'elles se meuvent dans les profondeurs de l'éther avec des vitesses égales ou même supérieures à celles des corps célestes de notre monde. Mais nous ignorons si ces soleils lointains sont ou non d'une constitution physique semblable à celle de notre Soleil, et, pour arriver à quelques notions sur ce point intéressant, nous n'avons pour les interroger, vu leurs prodigieuses distances et l'impuissance des télescopes, qu'un seul élément, mais un élément précieux : leur lumière.

Pendant longtemps, tout ce qu'on a pu observer en ce sens, c'est l'éclat lumineux des étoiles, et la couleur de leur lumière. Les astronomes, habitués à considérer les groupes ou constellations et les diverses étoiles dont elles sont formées ont, depuis les temps les plus anciens, remarqué parmi quelques-unes des variations dans leur éclat, signalé l'apparition

d'étoiles jusqu'alors inconnues, les disparitions de quelques autres. Les modernes ont fait plus; ils ont reconnu que ces variations sont assujetties parfois à des périodes régulières et ils en ont mesuré avec soin les durées.

Entrons dans quelques détails sur ces divers points.

On rapporte qu'on voyait jadis à l'œil nu, dans les Pléiades, une septième étoile, qui, ayant paru avant l'embrasement de Troie, puis s'étant effacée, a reparu de nouveau, pour devenir enfin invisible. Cassini cite plusieurs étoiles nouvelles : l'une, au rapport de Pline, fut observée par Hipparque 125 ans avant l'ère vulgaire; mais il paraît certain qu'elle avait un mouvement propre sensible, et que dès lors ce fut sans doute une comète; une autre parut au temps de l'empereur Hadrien; une troisième apparut l'an 389 de notre ère dans l'Aigle, devint aussi brillante que Vénus et dura ainsi trois semaines. Au neuvième siècle, une étoile se montra subitement dans le Scorpion; elle était si éclatante, qu'elle répandait, dit-on, autant de lumière que le quart du disque de la Lune. Enfin, en 945, en 1264, à peu près au même endroit du ciel entre Cassiopée et Céphée, on vit apparaître deux étoiles jusqu'alors inconnues¹. Les étoiles de 1572 et de 1604 qui eurent pour historiens Tycho-Brahé et Képler, et dont nous parlerons plus loin en détail, nous amènent aux observations modernes d'étoiles variables et d'étoiles temporaires. Nous allons successivement décrire ces phénomènes singuliers en commençant par les étoiles dont la variabilité affecte une périodicité régulière.

Il y a, dans la constellation de la Baleine, une étoile marquée, sur les cartes, de la lettre grecque \omicron (omicron) et que les astronomes connaissent aussi sous le nom latin de *Mira*, la merveilleuse. Cette étoile est depuis longtemps remarquée, à

1. Les catalogues chinois signalent aussi plusieurs apparitions extraordinaires d'étoiles nouvelles. Les chroniques du moyen âge parlent d'une étoile d'un éclat éblouissant qui parut en 1012 dans le Bélier.

cause des variations périodiques de son éclat. A chaque intervalle de onze mois, elle passe par les phases suivantes :

Pendant quinze jours, elle atteint et conserve son maximum d'éclat, qui en fait une étoile de seconde grandeur. Sa lumière décroît ensuite pendant trois mois, jusqu'à devenir complètement invisible non-seulement à l'œil nu, mais même dans les instruments¹. Elle reste dans cet état pendant cinq mois entiers, après lesquels elle reparait, pour croître d'une manière continue pendant trois autres mois. Sa période est alors achevée, et elle atteint de nouveau son maximum d'éclat, pour passer une seconde fois par les mêmes phases.

Ces variations singulières, signalées pour la première fois par David Fabricius en 1596, sont connues depuis la fin du seizième siècle, mais la mesure exacte de la période n'a guère été effectuée que trois quarts de siècle après, par Bouillaud. On connaît aujourd'hui la moyenne de cette période avec une grande précision, et on l'évalue à 331 jours 20 heures.

A la vérité, on a découvert aussi des irrégularités dans la période de Mira, mais ces irrégularités mêmes sont soumises à une périodicité qui rend le phénomène plus intéressant encore. Le plus grand éclat ne la range pas non plus toujours dans la même grandeur. Quelquefois elle ne dépasse guère la quatrième, tandis qu'à certaines époques, le 6 novembre 1799, par exemple, sa lumière a été presque aussi brillante que celle des étoiles de première grandeur : elle était à peine inférieure à l'Œil du Taureau; parfois enfin, elle est restée invisible pendant un temps supérieur à plusieurs de ses périodes : ainsi on ne la vit point d'octobre 1672 à décembre 1676.

Mira n'est pas le seul exemple du changement périodique d'éclat de la lumière stellaire; et la durée des variations n'est

1. Nous sommes surpris qu'on n'ait pas poussé les observations de ce singulier astre, pendant la période d'invisibilité, avec les instruments les plus puissants. On sait seulement qu'elle est, alors, au-dessous de la onzième grandeur.

pas toujours aussi longue. *Algol*, dans la Tête de Méduse, constellation de Persée (fig. 163), est au moins aussi intéressante que *Mira* de la Baleine, mais sa période est beaucoup plus courte et elle n'est jamais invisible, même à l'œil nu. Étoile de seconde grandeur pendant deux jours et treize heures et demie, elle décroît soudain, et en trois heures et demie descend jusqu'à la quatrième grandeur. Alors son éclat reprend une marche ascendante, et, au bout d'un nouvel intervalle de trois heures et demie, revient à son maximum. Tous ces changements s'effectuent en moins de trois jours, ou plus exactement, en 2 jours, 20 heures, 49 minutes. Au nombre de ces étoiles variables à courtes périodes, *Delta* de Céphée se distingue par la régularité de ses changements d'éclat qui durent 5 jours, 8 heures, 50 secondes, et qu'on observe depuis 1784. *Delta* de la Balance est l'étoile dont la période de variabilité a la plus courte durée, cette durée étant seulement de 2 jours, 7 heures, 51 minutes. Deux autres étoiles variables, l'une dans la Girafe, l'autre dans le Taureau, ont des périodes de 3 jours, 10 heures, 48 minutes, et de 3 jours, 22 heures, 52 minutes. Enfin deux étoiles du Sagittaire effectuent leurs variations en des périodes d'environ 7 jours.

Parmi les étoiles variables à longues périodes, on remarque *Beteiguse*, l'une des quatre étoiles du grand quadrilatère d'Orion, dont la période est de près de 200 jours. Il en est une dans le Cygne dont les variations s'effectuent en 406 jours, et une autre dans l'Hydre qui revient au même éclat tous les 495 jours. Trois des sept étoiles du Chariot (Grande-

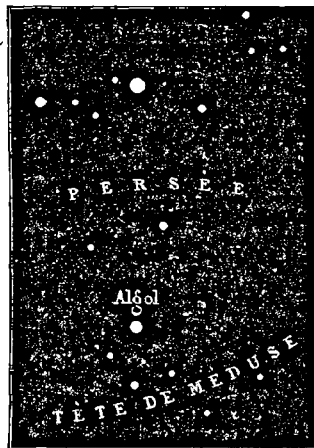


Fig. 163. — Étoile variable de la constellation de Persée.

Ourse) varient dans des périodes encore peu connues, mais qui embrassent certainement plusieurs années¹.

§ 2. — Étoiles nouvelles. — Étoiles temporaires de 1572, ou de Tycho-Brahé, de 1604, ou de Képler, de 1670, de 1848; étoile nouvelle de la Couronne boréale. — Variations singulières de l'étoile Éta du Navire.

Des étoiles variables à périodicité constatée, nous passons aux étoiles nouvelles et temporaires, qui ne diffèrent peut-être des premières que par la durée plus considérable et en tout cas inconnue de leurs périodes. Nous en avons déjà cité plusieurs qui ont apparu subitement, à des époques reculées, en des points du ciel où la visibilité à l'œil nu ne laissait voir auparavant aucune étoile, et qui ensuite ont disparu. Il

1. Le nombre des étoiles simplement variables s'accroît tous les jours, à mesure que les cartes célestes, devenues plus parfaites, permettent de vérifier les moindres changements de position ou d'éclat que subissent les étoiles, depuis la première grandeur jusqu'à la 12^e ou à la 13^e. Les astronomes qui se vouent à la recherche des planètes télescopiques et des comètes sont plus spécialement en état de constater les variations de grandeur des étoiles qu'ils passent en revue. Mais, il est plus difficile et surtout plus long de reconnaître dans les variations une périodicité dont la durée peut être très-considérable.

Résumons ici, d'après Argelander, le tableau d'un certain nombre d'étoiles variables périodiques en donnant la durée de la période principale pour chacune d'elles :

Algol, β de Persée.	2 ^j 20 ^h 49 ^m	Beteigeuze α d'Orion.	196 ^j 0 ^h 0 ^m
δ de Céphée	5 8 49	R du Lion.	312 18 —
η de l'Aigle.	7 4 14	R de la Couronne.	323 — —
ζ des Gémeaux	10 3 35	Mira, σ de la Baleine.	331 20 —
β de la Lyre.	12 21 45	R de Pégase.	350 — —
β de Pégase.	40 23 —	R du Serpent.	359 — —
α de l'Hydre.	55 — —	S du Serpent.	367 5 —
α d'Hercule.	66 8 —	R de l'Écrevisse.	380 — —
R de l'Écu	71 17 —	R du Verseau.	388 13 —
α de Cassiopée.	79 3 —	χ du Cygne.	406 1 30
R de la Vierge.	145 21 —	30 de l'Hydre.	495 — —

Plusieurs de ces étoiles présentent de grandes irrégularités dans leurs périodes. La moitié descendent, à leur minimum d'éclat, au-dessous de la 10^e grandeur. Un travail récent de MM. Schönfeld et Winnecke porte à 40 le nombre des étoiles variables à périodes régulières aujourd'hui connues.

est possible que si les astronomes avaient eu alors à leur disposition des instruments puissants, ils auraient pu constater que cette disparition n'était pas absolue, qu'elle correspondait seulement à un abaissement d'éclat au-dessous de la 6^e grandeur. Nous verrons plus loin un exemple récent d'une étoile qui, considérée d'abord comme nouvelle, était antérieurement marquée sur les cartes célestes parmi les étoiles télescopiques, et, après être devenue visible à l'œil nu, a repris le rang inférieur qu'elle occupait d'abord.

Passons en revue les apparitions les plus fameuses d'étoiles temporaires, dans les temps modernes.

« Un soir, raconte Tycho-Brahé, que je considérais, comme à l'ordinaire, la voûte céleste dont l'aspect m'est si familier, je vis avec un étonnement indicible, près du zénith, dans Cassiopée, une étoile radieuse d'une grandeur extraordinaire. Frappé de surprise, je ne savais si j'en devais croire mes yeux. Pour me convaincre qu'il n'y avait point d'illusion, et pour recueillir le témoignage d'autres personnes, je fis sortir les ouvriers occupés dans mon laboratoire, et je leur demandai, ainsi qu'à tous les passants, s'ils voyaient, comme moi, l'étoile qui venait d'apparaître tout à coup. J'appris plus tard qu'en Allemagne des voituriers et d'autres gens du peuple avaient prévenu les astronomes d'une grande apparition dans le ciel, ce qui a fourni l'occasion de renouveler les railleries accoutumées contre les hommes de science¹. »

C'est dans le courant de novembre 1572 qu'eut lieu cette apparition étrange.

L'étoile nouvelle observée par Tycho n'avait aucune des apparences d'une comète : aucune auréole nébuleuse, aucune queue ne l'accompagnait ; elle demeura d'ailleurs complètement immobile, au même point du ciel, pendant les dix-sept mois qu'elle fut visible. Elle était extraordinairement scintil-

1. *Cosmos*, t. III, p. 167.

lante, et tout d'abord son éclat surpassait celui de Véga, de Sirius, de Jupiter même à sa plus petite distance de la Terre. « On ne pouvait le comparer, dit Tycho, qu'à celui de Vénus en quadrature. » Aussi resta-t-elle visible le jour, en plein midi, quand le ciel était pur. Mais peu à peu sa lumière diminua d'intensité. En janvier 1573, elle était déjà moins brillante que Jupiter; dès le mois d'avril, elle passa de la première à la seconde grandeur, puis elle décrut rapidement et disparut enfin en mars 1574.

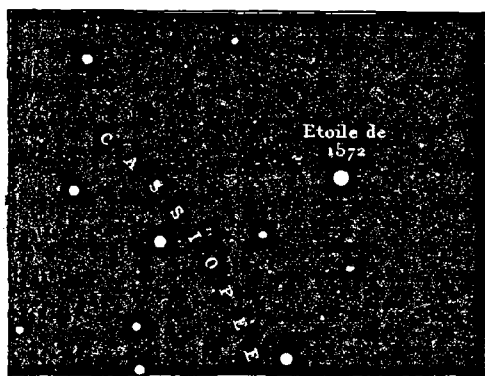


Fig. 164. — La Pèlerine, étoile nouvelle et temporaire apparue en 1572, dans la constellation de Cassiopée.

Non-seulement cette étoile extraordinaire fut variable d'éclat, mais sa couleur même subit des changements rapides : blanche d'abord pendant les deux premiers mois, période de son plus grand éclat, elle passa ensuite au jaune, puis au rouge. Tycho la compare alors à Mars, à Beteigeuze d'Orion, et surtout à Aldebaran. Enfin, dès le printemps de 1573, la couleur blanche reparut et persista jusqu'à la fin.

Plusieurs apparitions semblables avaient eu lieu déjà à des époques plus reculées, dans divers points du ciel; deux d'entre elles notamment, que nous avons citées déjà, en 945 et en 1264, s'étaient fait voir entre Céphée et Cassiopée, presque dans la même région que la *Pèlerine*, surnom donné à l'étoile de

1572; de sorte qu'on crut quelque temps à l'identité des trois astres. Si cette identité était prouvée, il en faudrait conclure que les étoiles temporaires ne sont autre chose que des étoiles variables périodiques, et toute la différence viendrait de l'inégalité de la durée des périodes et de l'intensité des variations.

Depuis l'observation de Tycho-Brahé, plusieurs étoiles temporaires ont été vues dans les constellations du Serpente et du Cygne¹; mais la plus brillante de toutes, celle de 1604, le fut moins que l'étoile de 1572 : elle était surtout remarquable par une scintillation très-vive qui lui donnait, selon l'expression de Képler, toutes les couleurs de l'arc-en-ciel, ou d'un diamant taillé à facettes multiples, exposé aux rayons du Soleil. Elle surpassait les étoiles de 1^{re} grandeur, même Jupiter et Saturne, mais fut moins brillante que Vénus. Découverte en octobre 1604 par Jean Brunowski, élève de Képler, elle fut observée par le grand astronome jusqu'au moment où, en mars 1606, elle finit par disparaître comme la première, sans laisser de traces. Selon Goldschmidt, cette étoile aurait été déjà vue quatre fois, en 393, 798, 1203, 1605, et serait ainsi une étoile variable ayant 405 ans en moyenne pour sa période, et devant faire sa prochaine réapparition en 2015.

Une étoile nouvelle apparut encore le 20 juin 1670 dans une partie de la constellation du Renard voisine de l'étoile β du Cygne. D'abord de 3^e grandeur, elle s'abaissa à la 5^e, puis disparut, et se montra de nouveau, mais comme une étoile de 4^e grandeur, neuf mois après sa première apparition. Revenue invisible en 1672, elle se montra une troisième fois le 29 mars de la même année, mais réduite alors à la 6^e grandeur; depuis on ne l'a plus jamais revue.

1. La plupart des étoiles nouvelles ou temporaires se sont montrées à l'intérieur ou dans le voisinage de la Voie Lactée. Tycho en concluait que ces astres s'étaient formés aux dépens de la matière de cette grande nébulosité, opinion inadmissible, depuis qu'on sait que la Voie Lactée est tout entière composée d'étoiles distinctes ou d'amas d'étoiles.

Près de deux siècles s'écoulèrent sans qu'un phénomène pareil à ceux que nous venons de décrire fût remarqué; en revanche, la variabilité d'un grand nombre d'étoiles et leurs périodes furent établies. En avril 1848, Hind constata l'apparition, dans Ophiucus, d'une étoile nouvelle de 5^e grandeur, de couleur rouge orangé, et qui deux ans plus tard était non-seulement devenue invisible à l'œil nu, mais encore descendue à la 11^e grandeur. Elle a encore aujourd'hui le même éclat.

Enfin, il y a trois ans et demi, vers le milieu de mai 1866,

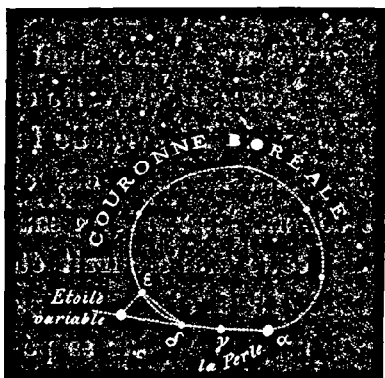


Fig. 165. — Position et grandeur de l'étoile variable de la *Couronne boréale*, le 12 mai 1866.

divers observateurs en Europe et en Amérique¹ furent frappés de l'apparition d'une nouvelle étoile dans la constellation de la Couronne, en un point où ne se voyait auparavant, à l'œil nu, aucun point lumineux. Vers les 10 et 12 mai, l'éclat de cette étoile atteignait celui de la *Perle*, c'est-à-dire la 2^e grandeur; du 13 au 15, elle s'affaiblit jusqu'à la 3-4^e grandeur; puis, après avoir passé par les grandeurs intermédiaires, elle

devint invisible à l'œil nu vers le 20 du même mois. Au télescope, on la vit se réduire à la 10^e grandeur, puis son éclat se ranimer de manière à atteindre, dans les premiers jours d'octobre, la 7^e grandeur. Elle n'est plus aujourd'hui que de 9^e.

En recherchant sur les catalogues et sur les cartes, plusieurs astronomes reconnurent que l'étoile prétendue nou-

1. M. Barker à London Canada West, M. Birmingham en Islande, M. l'ingénieur Courbebaisse à Rochefort.

velle occupait la position précise d'une étoile de 9^e grandeur ; d'où l'on doit conclure qu'il s'agit en effet d'une étoile variable, et que nous avons été seulement témoins de l'une des phases de son maximum. Peut-être est-ce une variable irrégulière, comme sont sans doute aussi les étoiles nouvelles antérieurement signalées ; peut-être est-ce une variable périodique dont la période a une durée considérable : on verra plus loin les raisons qui font pencher plutôt pour la première hypothèse.

Terminons cette étude des étoiles nouvelles, variables périodiques ou variables irrégulières, par la description du plus étonnant de tous les phénomènes de ce genre : je veux parler des variations de l'étoile Éta du Navire, variations qui occupent les astronomes depuis plus d'un siècle, et qui sont telles, qu'on ne sait encore s'il faut classer cette étoile singulière parmi les étoiles temporaires, ou parmi les étoiles périodiques.

Vers la fin du dix-septième siècle, Éta d'Argo n'était qu'une étoile de quatrième grandeur ; mais moins d'un siècle après, en 1751, elle atteignait la seconde. Soixante ans plus tard, elle était redescendue à sa première intensité, pour croître de nouveau jusqu'à l'année 1826. Depuis cette époque, elle a passé par les phases les plus étonnantes, oscillant entre la première et la seconde grandeur, tantôt égale à Alpha de la Croix, puis à Alpha du Centaure, dépassant Canopus et approchant enfin de Sirius. La rapidité de ces changements, leurs périodes inégales, la longue durée de cet état de variabilité, l'impossibilité d'y trouver une loi plus ou moins régulière, ont contribué à faire de cette belle étoile un des plus curieux objets du ciel. Un astronome contem-

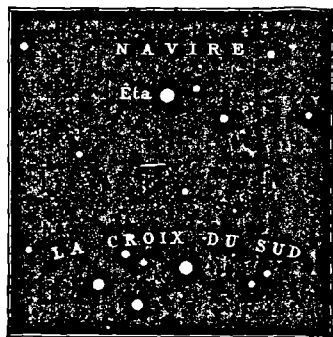


Fig. 166. — Étoile variable Eta du Navire, à son maximum d'éclat.

porain, M. F. Abbott, qui a suivi les variations d'Éta du Navire jusqu'à ces derniers temps, nous apprend qu'après avoir, en 1843, atteint l'éclat de Sirius, elle a diminué progressivement en passant par tous les ordres de grandeurs intermédiaires entre la première et la sixième : en 1863, elle n'était plus visible à l'œil nu.

Nous n'avons mentionné jusqu'ici, parmi les étoiles temporaires, que les étoiles nouvellement apparues, et qui, après s'être montrées un certain temps, sont ensuite devenues invisibles. Mais il faut citer aussi quelques exemples d'étoiles connues des astronomes, et qui, à partir d'une certaine époque, ont disparu du ciel, ou du moins ont diminué d'éclat au point de devenir invisibles. Cassini cite, parmi ces dernières, l'étoile de la Petite-Ourse marquée ϵ dans le catalogue de Bayer et qui avait disparu. Maraldi a constaté pareillement la disparition de plusieurs étoiles, inscrites jusque-là aux catalogues, dans les constellations du Lion, du Scorpion, de la Vierge. A la vérité les catalogues dont il s'agit ayant été construits récemment à l'époque où observaient ces astronomes, il est possible que les étoiles disparues aient été simplement des étoiles variables, dans leurs périodes de minimum d'éclat.

Avant d'exposer les diverses hypothèses que les astronomes ont imaginées pour expliquer les changements que subissent les lumières des étoiles, que leur variabilité soit ou non périodique et régulière, et pour rendre compte de l'apparition d'étoiles nouvelles et de la disparition d'étoiles connues, complétons la description des phénomènes qui peuvent se rattacher à ceux-là, et entrons dans quelques détails sur les couleurs des étoiles. Nous y trouverons aussi quelques exemples de variabilité dont les causes sont probablement liées à celles qui produisent les variations d'intensité lumineuse.

§ 3. — Variété de couleurs que présente la lumière des étoiles. — Étoiles colorées simples. — Couleurs des étoiles doubles et multiples. — Variations observées dans les couleurs des étoiles; causes présumées de ces changements.

Les rapides variations d'éclat que présentent les étoiles observées à l'œil nu, sont accompagnées ordinairement de changements de couleur instantanés : c'est à l'ensemble de ces deux phénomènes qu'on a donné, nous l'avons vu, le nom de scintillation. Or on sait aujourd'hui que ces variations n'appartiennent point réellement à la lumière propre des astres, et qu'il en faut chercher la cause dans l'enveloppe atmosphérique à travers laquelle les ondes lumineuses parviennent à notre œil.

Mais, indépendamment de ces couleurs artificielles, les étoiles n'ont-elles pas des couleurs réelles et constantes, laissant soupçonner des différences réelles dans la nature même de leur lumière? C'est une question à laquelle tout le monde peut répondre, en observant quelques-unes des plus brillantes étoiles de la voûte céleste. On reconnaîtra bientôt que la lumière de Sirius, celles de Véga de la Lyre, de Régulus, de l'Épi, sont parfaitement blanches, tandis que Beteigeuze, la plus brillante étoile d'Orion, et l'Œil du Taureau ou Aldebaran, offrent une teinte rouge prononcée.

Les astronomes grecs, selon Arago, ne connaissaient que des étoiles rouges et des étoiles blanches. Aujourd'hui que cette branche de l'observation est cultivée avec soin, on a reconnu dans la lumière des soleils toutes les couleurs, toutes les nuances de l'arc-en-ciel¹.

1. C'est une détermination délicate, que l'emploi des lunettes rend plus sûre, en dépouillant le point lumineux observé de presque toute sa scintillation, mais qui est sujette à des erreurs provenant des circonstances dans lesquelles se trouve l'observateur, de son instrument, de son appréciation tout individuelle. Nous sommes étonné qu'on n'ait pas encore institué un mode

Parmi les étoiles isolées de teinte rougeâtre, citons encore Arcturus, Antarès, et la fameuse Mira de la Baleine, que nous avons vue déjà parmi les étoiles d'éclat variable. D'après M. Hind, la couleur d'un grand nombre d'étoiles variables est rouge ; mais ce n'est pas là toutefois un caractère essentiel, et si Mira est de couleur rougeâtre, la lumière d'Algol est blanche. Procyon, la Chèvre, la Polaire sont jaunes. La lumière de Castor est verte, et celle de l'étoile Éta de la Lyre offre une couleur bleue prononcée. Toutefois, il faut dire que la couleur blanche légèrement azurée, ainsi que l'a fait remarquer le P. Secchi, est celle de la très-grande majorité des étoiles.

Ces colorations diverses et permanentes ne peuvent guère être attribuées qu'à des différences réelles dans la nature de la lumière émise par chaque soleil. Si l'hypothèse d'une photosphère, ou enveloppe gazeuse incandescente, admise aujourd'hui pour notre Soleil par beaucoup d'astronomes, est étendue à la constitution physique des étoiles, il suffit de supposer une composition chimique différente dans les photosphères de ces astres pour expliquer les différences de couleur. Peut-être aussi le degré de la température des milieux incandescents, ou encore l'absorption de tels ou tels rayons colorés dans une atmosphère extérieure suffiraient-ils à rendre compte du phénomène. Nous reviendrons bientôt sur ces diverses hypothèses.

C'est dans les couples et dans les groupes de soleils que la coloration de la lumière se présente avec tout son éclat et toute sa richesse. La plus grande variété distingue les couleurs des composantes de ces systèmes, déjà si remarquables à tant

d'observation précis, en employant par exemple une échelle chromatique dont les degrés serviraient de termes de comparaison avec les lumières colorées des étoiles*.

* Depuis la publication de la première édition du *Ciel*, nous avons reçu de l'amiral Smyth un Mémoire de ce savant observateur, dont la science déplore la perte récente, et où il propose précisément une échelle chromatique du genre de celle que nous réclamions ici. Ce Mémoire, publié à Londres en 1864, a pour titre : *Sidereal chromatics, on the colours of multiple stars.*

d'autres points de vue. Laissons parler à ce sujet l'illustre et laborieux astronome de Dorpat et de Poulkova, M. W. Struve, qui a consacré treize années de ses veilles à recenser 120 000 étoiles, parmi lesquelles il a trouvé plus de 3000 couples.

« L'attentive observation des étoiles doubles brillantes nous apprend, dit-il, qu'outre celles qui sont blanches, on en rencontre de toutes les couleurs du prisme; mais que, lorsque l'étoile principale n'est pas blanche, elle s'approche du côté rouge du spectre, tandis que le satellite offre la teinte bleuâtre du côté opposé. Cependant, cette loi n'est pas sans exception; au contraire, le cas le plus général est que les deux étoiles ont la même couleur. Je trouve, en effet, parmi 596 étoiles doubles brillantes :

- 375 couples dont les composantes ont la même couleur à la même intensité ;
- 101 couples où la même couleur est à une intensité différente ;
- 120 couples de couleurs totalement différentes.

Parmi les étoiles de la même couleur, les plus nombreuses sont les blanches, et, des 476 étoiles de cette espèce, j'ai trouvé :

- 295 couples où les deux composantes sont blanches ;
- 118 couples où elles sont jaunes ou rougeâtres ;
- 63 couples où elles sont bleuâtres¹.

On crut d'abord que la couleur bleue était un simple effet de contraste; qu'elle était due à la faiblesse de la lumière de l'étoile la plus petite comparée à la lumière jaune, plus éclatante, de l'étoile principale. Mais si cette illusion d'optique peut se présenter quelquefois, l'observation démontre qu'elle n'est qu'accidentelle et qu'il existe des étoiles bleues. En effet, Struve a rencontré tout aussi souvent un satellite bleu

1. *Mesures micrométriques obtenues à l'Observatoire de Dorpat*, p. 33 et 34.

avec une principale blanche qu'avec une principale d'un jaune foncé. D'ailleurs, on cite des couples dont les deux composantes sont bleues. Telles sont les étoiles doubles, Delta du Serpent et la 59^e d'Andromède. Enfin, il y a dans le ciel austral un groupe composé d'une multitude d'étoiles qui sont toutes bleues.

Toutes les nuances possibles, je l'ai déjà dit, se rencontrent dans les étoiles doubles colorées. Le blanc s'y trouve associé avec le rouge clair ou sombre, pourpre, rubis, vermeil. Là, c'est une étoile verte avec une étoile rouge de sang foncé, un soleil principal orangé accompagné d'un soleil pourpre, bleu indigo. L'étoile triple Gamma d'Andromède est formée d'un soleil rouge orangé, accompagné de deux autres soleils dont la lumière est couleur vert d'émeraude.

Deux étoiles que nous avons citées déjà pour leurs distances et pour la durée de leurs révolutions, la 61^e du Cygne et Alpha du Centaure, ont chacune pour composantes deux soleils jaune orangé.

La planche XXXIV donnera une idée de ces associations de couleurs, qui fourniront peut-être plus tard des indices sur la constitution des soleils du monde sidéral. J'y ai joint, d'après John Herschel, un groupe extrêmement remarquable, situé dans la Croix du Sud, près de l'étoile Kappa. Il se compose de cent dix étoiles, dont sept seulement dépassent la dixième grandeur. Parmi les principales, deux sont rouge et rouge vermeil, une est d'un bleu verdâtre, deux sont vertes et trois autres sont d'un vert pâle. C'est un objet très-brillant et d'une grande beauté. « Les étoiles qui le composent, vues dans un télescope d'une ouverture assez grande pour distinguer les couleurs, font l'effet, dit Herschel, d'un écrin de pierres précieuses polychrômes¹. »

J'ai dit plus haut qu'il fallait distinguer la couleur propre

1. *Astronomical observations at the cape of good Hope*, p. 17.



ÉTOILES COLORÉES

1. Amas de κ de la Croix. — 2. Étoile κ de Pégase. — 3. 61° du Cygne. — 4. δ du Serpent. — 5. γ d'Andromède. — 6. η de Cassiopée. — 7. Étoile double du Navire. — 8. 32 de l'Éridan. — 9. σ de Cassiopée. — 10. β du Cygne. — 11. γ du Lion. — 12. α d'Hercule. — 13. η de Persée.

des étoiles, couleur constante, des variations instantanées et souvent renouvelées que produit la scintillation. Cependant, cette constance de couleur n'est pas absolue. Il paraît certain qu'à la longue certaines étoiles changent de couleur. Sirius est le premier exemple constaté de cette modification. Les écrits des anciens le représentent comme une étoile rouge, tandis qu'aujourd'hui ce soleil se distingue par son éclatante blancheur.

Deux étoiles doubles, l'une du Lion, l'autre du Dauphin, notées comme blanches par Herschel, sont formées maintenant d'une étoile principale jaune d'or, accompagnée d'une étoile vert rougeâtre dans le premier couple, vert bleuâtre dans le second¹.

Du reste, cette variation de couleur ne semblera plus étonnante, si l'on se rappelle combien l'éclat de la lumière des étoiles subit lui-même de variations.

1. Cette variation ne semble pas pouvoir s'expliquer par la différence des instruments employés, puisque les miroirs des télescopes d'Herschel donnaient plutôt une teinte rougeâtre à tous les objets, et que c'est Struve, avec la grande lunette de Fraunhofer, qui a constaté la coloration des deux couples

VI

CONSTITUTION PHYSIQUE ET CHIMIQUE DES ÉTOILES.

§ 1. — Analyse spectrale de la lumière des étoiles. — Classification des étoiles en quatre types principaux. — Composition chimique de quelques étoiles remarquables. — Analogies et différences entre la constitution physique des différents types d'étoiles et celle du Soleil. — Explication des couleurs des étoiles; teinte bleue des satellites d'étoiles doubles.

Les mouvements propres des étoiles nous ont fait connaître à la fois leurs distances du système solaire, le mouvement de translation de ce système dans les profondeurs des cieux, enfin les mouvements réels particuliers à chacune d'entre elles. Ces données, si intéressantes qu'elles soient, ne nous ont rien appris de leur constitution, sinon, comme nous l'avons prouvé, que ce sont autant de soleils, brillant de leur propre lumière. Les associations de deux ou trois étoiles, formant de véritables groupes ou systèmes, et se mouvant les unes autour des autres selon les lois de la gravitation universelle, ont agrandi l'idée que l'étude du monde solaire avait pu nous donner de la constitution de l'univers. Mais, pour pénétrer plus avant dans la connaissance des éléments physiques des étoiles, pour savoir au juste ce que sont ces corps si éloignés, les astronomes étaient, il y a peu d'années encore, réduits aux hypothèses; le télescope d'un côté, les instruments de mesures micrométriques de l'autre, avaient épuisé à peu près toute leur puissance.

Restait cependant l'étude physique des lumières stellaires;

celle de leurs variations, et la comparaison de ces lumières avec les autres sources lumineuses et notamment avec notre propre Soleil. Dans cette voie, on a fini par obtenir des résultats positifs, encore bien insuffisants, merveilleux toutefois si l'on songe à la difficulté de l'étude d'aussi faibles sources. Ce sont ces résultats qu'il nous reste maintenant à exposer.

Fraunhofer, après avoir découvert les innombrables raies sombres dont le spectre de la lumière solaire est sillonné, eut le premier l'idée d'étudier au même point de vue les spectres de la lumière des étoiles. Il trouva dans les spectres de Sirius, de Castor, de Pollux, de la Chèvre, de Beteigeuze et de Procyon, un certain nombre de raies noires diversement placées relativement aux couleurs et aux raies du spectre solaire; mais il put reconnaître dans les quatre dernières étoiles l'identité de position d'une ou deux raies et notamment de la raie D, placée comme on sait au milieu du jaune du spectre solaire. Plus tard, en 1860, l'astronome Donati étendit la même étude à un plus grand nombre d'étoiles, en choisissant toujours à cause de leur plus grande intensité lumineuse les étoiles de première grandeur, et il fixa les positions exactes de 13 raies sombres, savoir : Sirius (3 raies), Véga (3 raies), Procyon (3 raies), Régulus (2 raies), Fomalhaut (1 raie), Castor (2 raies), Atair (2 raies), la Chèvre (3 raies), Arcturus (2 raies), Pollux (2 raies), Aldebaran (2 raies), Beteigeuze (3 raies) et Antarès (2 raies).

Tout ce qu'on pouvait conclure de ces premiers résultats, c'est que les lumières des étoiles étudiées avaient entre elles et avec la lumière du Soleil une certaine analogie, c'est qu'elles étaient des sources lumineuses de même ordre. Mais ces conséquences prirent tout à coup une importance extrême, quand la méthode d'analyse spectrale fut découverte par Kirchhoff et Bunsen, et que ces savants l'eurent appliquée à la constitution physique et chimique du Soleil. On put alors, en comparant les positions des raies des spectres stellaires

aux raies brillantes des spectres des gaz et des métaux, étendre aux étoiles les conclusions déjà obtenues pour le Soleil, et connaître dans une certaine mesure la constitution physique et chimique de corps célestes dont la lumière met des années pour venir jusqu'à nous. Huggins et Miller en Angleterre, Secchi à Rome, Janssen, Wolf et Rayet à Paris sont les noms des savants à qui l'on doit, dans cet ordre de recherches, les découvertes les plus intéressantes, dont nous allons donner un résumé rapide.

D'après le P. Secchi, qui a étudié les spectres de plus de trois cents étoiles de diverses grandeurs, on peut ranger les étoiles en trois ou plutôt en quatre classes principales :

La première classe comprend les étoiles blanches ou azurées, et a pour types Sirius, Véga, Atair. Le spectre de leur lumière est traversé par deux grosses raies sombres situées l'une dans le bleu à la limite du vert (raie F du spectre solaire), l'autre dans le violet (voisine de H). Une troisième raie, dans l'extrême violet, est visible dans le spectre des plus brillantes étoiles ;

La seconde classe renferme les étoiles à lumière jaune, et a pour types principaux Arcturus, Pollux, la Chèvre ; la plupart des belles étoiles de seconde grandeur en font partie. Leurs spectres sont, comme le spectre solaire, sillonnés de raies fines et nettes.

Les étoiles rouges, comme Beteiguze, Antarès, Algol, Alpha d'Hercule, Bêta de Pégase, composent la troisième classe, et ont généralement un spectre formé de larges zones brillantes, au nombre de six ou sept, séparées par des intervalles nébuleux, semi-obscurs. L'aspect de ces spectres est celui de cannelures ou d'une série de colonnes éclairées par côté. Les étoiles de cette classe sont moins nombreuses que celles des deux autres et se confondent quelquefois avec la seconde. Ainsi Aldebaran participe à la fois de la seconde et de la troisième classe.

En résumé, Secchi a trouvé, sur 316 étoiles observées, 164 étoiles appartenant à la première classe et ayant pour type Véga de la Lyre, 140 étoiles de la seconde classe, type de notre Soleil, et 12 étoiles seulement dans la troisième classe caractérisée par Alpha d'Hercule.

La quatrième classe, que nous n'avons pas encore indiquée, comprend un certain nombre de faibles étoiles dont le spectre ne diffère de celui de la troisième que par le plus petit nombre des zones claires, et par cette particularité « que la lumière des zones commence brusquement du côté du violet et va en s'affaiblissant insensiblement du côté du rouge, tandis que dans les spectres du troisième type, les mêmes circonstances se présentent dans le sens inverse. »

Cette classification générale rencontre toutefois quelques exceptions qui n'en offrent que plus d'intérêt : le spectre de Gamma de Cassiopée est parfaitement complémentaire du spectre de la première classe. A la place de la raie sombre F du spectre solaire, on y voit une bande lumineuse. Il en est de même de Bêta de la Lyre et de trois petites étoiles du Cygne, de 8^e grandeur, dont les spectres, selon MM. Wolf et Rayet, présentent des raies brillantes.

Voyons maintenant quelles indications l'analyse spectrale stellaire a fournies sur la composition chimique de ces sources lumineuses. Les recherches de W. Huggins ont fourni, sur ce point, les résultats suivants :

Sirius renferme dans son atmosphère du sodium, du magnésium, de l'hydrogène et probablement du fer. Les trois premiers corps se trouvent également dans Véga, blanche comme Sirius, et appartenant comme elle à la première classe du P. Secchi. Le sodium se trouve dans les étoiles de la seconde classe, la Chèvre, Arcturus et Pollux, dont le spectre est analogue au spectre solaire; même résultat pour Alpha du Cygne et pour Procyon. Pollux contient en outre du magnésium et du fer. Aldebaran a un spectre très-riche en fortes

raies, qui indiquent l'existence des éléments suivants : sodium, magnésium, hydrogène, calcium, fer, bismuth, tellure, antimoine et mercure. Cinq de ces corps se trouvent également dans le Soleil. Dans Beteigeuze et dans Bêta de Pégase, étoiles de la troisième classe, l'hydrogène manque, le sodium et le magnésium se trouvent dans toutes les deux ; la première étoile contient en outre du calcium, du fer et du bismuth.

L'absence d'hydrogène dans les étoiles de la troisième classe et la composition chimique des unes et des autres suggéra à W. Huggins les observations suivantes : « Je me hasarde à peine, dit-il, à émettre l'idée que les planètes qui peuvent circuler autour de ces soleils leur ressemblent très-probablement, et, comme elles, ne possèdent point cet élément d'une si haute importance, l'hydrogène. A quelles formes de la vie de semblables planètes peuvent-elles convenir ? Mondes sans eau ! il faudrait la puissante imagination du Dante pour arriver à peupler de telles planètes de créatures vivantes. A part ces exceptions, il est digne d'observer que ceux des éléments terrestres le plus largement répandus dans la vaste armée des étoiles, sont précisément les éléments essentiels à la vie, telle qu'elle existe sur la Terre : l'hydrogène, le sodium, le magnésium et le fer. L'hydrogène, le sodium et le magnésium représentent en outre l'Océan, qui est une partie essentielle d'un monde constitué comme l'est la Terre ¹. »

L'explication des couleurs variées dont nous avons vu que brillent les lumières stellaires, doit se rattacher, selon Huggins, à la composition de leur spectre. Au moment de son émission, la lumière serait blanche pour toutes les étoiles ; mais

1. D'après les récentes études de spectroscopie stellaire, dues au P. Secchi, ce ne serait pas seulement les substances simples et les métaux dont l'existence dans les étoiles se manifesterait par la présence de telles ou telles raies dans leurs spectres, mais probablement aussi des substances gazeuses composées, des hydrocarbures. « Un grand nombre d'étoiles, dit-il, présentent une bande noire dans le vert, très-près du magnésium ; il est probable que c'est plutôt cette vapeur hydrocarbonnée que le magnésium, qui la produit. »

avant de se répandre dans l'espace, elle doit traverser les atmosphères très-diversement composées de chacun de ces soleils. C'est ce trajet qui détermine l'absorption de tels ou tels rayons, selon la nature chimique des vapeurs des atmosphères solaires, et produit pour nous les raies sombres de chaque spectre. Comme ces raies sont plus ou moins intenses et plus ou moins nombreuses dans les diverses régions du spectre, il en résulte pour la couleur de ces régions une diminution d'intensité qui laisse la prédominance aux autres couleurs, moins absorbées. Les étoiles blanches seraient celles où les raies se trouvent à peu près également disséminées dans toute la longueur du spectre. Dans Alpha d'Hercule, étoile de couleur orangée, des groupes intenses de raies sombres affaiblissent les parties vertes, bleues et rouges du spectre, tandis que l'orangé et le jaune conservent leur intensité primitive. Une étude comparative des spectres des composantes d'étoiles doubles a permis à Huggins de constater que la couleur bleue de la plus petite étoile, de l'étoile satellite, est réelle et non pas produite par un effet de contraste.

L'analyse spectrale, appliquée aux étoiles variables, périodiques ou temporaires, a aussi fourni sur la constitution physique et chimique de ces étoiles, des indications précieuses; mais avant de les exposer, résumons rapidement les hypothèses qu'on a proposées à diverses époques pour expliquer les phénomènes singuliers dont on a vu plus haut la description détaillée.

§ 2. — Hypothèses diverses sur les causes de variabilité des étoiles. — Étoiles variables périodiques : mouvements de rotation; faces obscures et faces lumineuses. — Hypothèse de Maupertuis : forme aplatie des globes stellaires. — Variabilité des étoiles doubles. — Étoiles temporaires; analyse spectrale de la lumière de l'étoile nouvelle de la Couronne; combustion de l'hydrogène.

Pour expliquer les variations d'éclat de l'étoile périodique Omicron de la Baleine, Bouillaud supposait (1667) que « cette

étoile est un globe, dont la plus grande partie de la surface est obscure, et l'autre partie est lumineuse : que ce globe a un mouvement propre autour de son axe, et présente à la Terre, tantôt sa partie claire, et tantôt sa partie obscure, ce qui cause la vicissitude de ses apparences¹. » Cette hypothèse devait paraître d'autant plus vraisemblable, qu'on avait découvert une cinquantaine d'années auparavant le mouvement de rotation du Soleil, et qu'il était naturel d'admettre par analogie un pareil mouvement dans les étoiles. Quant au fait de faces plus ou moins lumineuses, il pouvait se justifier de la même manière, en considérant les faces obscures comme produites par un envahissement de taches semblables aux taches noires du Soleil. Cependant Cassini, qui objectait à Bouillaud les inégalités d'éclat de Mira à ses diverses périodes, ne songeait pas à expliquer ces inégalités par les changements survenus dans le nombre et la position des taches : il supposait un mouvement particulier dans les pôles de révolution de l'étoile.

Aujourd'hui, l'hypothèse de la rotation est assez généralement admise, au moins pour les étoiles dont la période est régulière; mais ce n'est pas la seule hypothèse possible, et d'ailleurs elle n'indique rien de certain sur la nature intime des phénomènes qui donnent lieu aux changements d'éclat.

1. En rapportant cette explication, Cassini fait observer que le P. Riccioli l'avait donnée avant Bouillaud. La manière dont le savant jésuite formule son opinion est originale; elle caractérise trop bien la tournure d'esprit de quelques savants de son époque, pour que le lecteur ne nous sache pas gré de la reproduire : « Son sentiment est que les étoiles nouvelles ont été créées dans le ciel dès le commencement du monde, mais que, parmi elles, il s'en trouve quelques-unes qui ne sont pas lumineuses dans toute leur étendue; qu'il y a, par exemple, une moitié de leur globe lumineuse, et une moitié obscure, et que, lorsqu'il plaît à Dieu de faire paroître aux hommes quelque signe extraordinaire, il leur expose la partie éclairée qui étoit opposée à la terre, en la faisant tourner subitement par le moyen de quelque intelligence, ou par quelque faculté attribuée à cette étoile; après quoi, par une semblable révolution, elle se dérobe tout d'un coup aux yeux, ou elle diminue peu à peu, de même que la lune dans son décours. »

Les faces du globe stellaire peuvent être considérées comme inégalement lumineuses, ces inégalités restant constantes pendant de longs intervalles de temps : c'est ce que supposait Bouillaud. Ou bien, les accidents qui, à des époques inconnues, ont éteint partiellement la photosphère sont, comme les taches du Soleil, des accidents variables, et, dans ce cas, les périodes doivent être affectées d'irrégularités, de changements plus ou moins lents. Quelques astronomes considèrent les étoiles variables, comme des soleils dont le refroidissement a successivement consolidé certaines parties de leur surface, en un mot comme des soleils *encroûtés*. On peut encore admettre que les variations d'éclat proviennent de la forme très-aplatie du globe stellaire. C'était l'hypothèse de Maupertuis : mais, dans ce cas, ce n'est plus la rotation qui cause les changements que nous constatons périodiquement dans leur lumière. Maupertuis admettait que certaines étoiles tournant avec une grande rapidité sur leur axe ont un aplatissement considérable, que des planètes circulant autour de ces astres dans des orbites très-excentriques pouvaient en passant au périhélie agir par leur masse sur l'étoile située au foyer, incliner plus ou moins son axe de rotation et faire ainsi qu'elles tournent vers nous des faces différentes. Tantôt ces étoiles se présenteraient à nous par un de leurs méridiens ou par leur tranchant ; en ce cas, elles seraient à leur minimum d'éclat ; tantôt elles se montreraient comme des sphères ayant même diamètre que leur équateur, et alors ce serait l'époque de leur maximum. Cette opinion, toute conjecturale, soulève à la vérité des objections de plus d'un genre.

On a encore imaginé d'autres causes de la variabilité périodique des étoiles : par exemple, l'occultation ou l'éclipse totale ou partielle que des satellites obscurs, des planètes produisent en passant au-devant de l'étoile, sur la ligne qui joint son centre à la Terre. En ce cas, la période de disparition et celles de diminution ou d'augmentation qui précèdent ou qui suivent

la première, devraient être très-courtes comparativement à la période pendant laquelle l'étoile conserve un éclat lumineux constant : c'est précisément le cas pour Algol, dont la phase de diminution a une faible durée relativement à la durée totale de sa période. Au lieu de corps obscurs tels que des planètes, on a supposé des nébulosités dont l'interposition périodique pourrait produire les mêmes effets : comme ces nébulosités peuvent former de longues traînées, analogues par exemple aux traînées météoriques de notre monde solaire, elles rendraient compte d'une manière plus satisfaisante des phénomènes observés que les satellites obscurs. Du reste, disons que cette dernière explication de la variabilité des étoiles a été suggérée par un fait d'observation : quelques-uns de ces astres ont paru, pendant la période du minimum d'éclat, entourés d'une sorte de brouillard.

En résumé, il est difficile de décider laquelle de ces hypothèses diverses est la plus vraisemblable : peut-être toutes sont-elles vraies à divers degrés ; mais, celle qui explique les périodes très-régulières par la rotation, nous paraît la plus probable, et, dans ce cas, le tableau que nous avons donné plus haut (page 502) nous indiquerait en même temps les durées des rotations d'un certain nombre de soleils, les uns tournant sur leurs axes, comme Algol, avec une vitesse neuf fois plus grande que celle de notre Soleil, les autres, telles que l'étoile 30 de l'Hydre, ayant un mouvement de rotation dix-neuf fois plus lent.

Parmi les étoiles variables, on remarque des couples binaires. Telle est Gamma de la Vierge, dont nous avons eu l'occasion de citer le mouvement de révolution. Les deux étoiles qui la composent ont changé d'éclat, et la plus brillante est devenue inférieure à l'autre, au bout de quelques années. La variable Alpha de Cassiopée est aussi une étoile double : suivant Struve, il y en a beaucoup d'autres. « Ce qui est surtout d'une haute importance, ajoute cet éminent

astronome, c'est qu'on peut conclure de ce changement de lumière des étoiles doubles, qu'elles se meuvent autour d'un axe de rotation, et que par conséquent nous avons trouvé une nouvelle analogie entre ce système de plusieurs soleils et notre système planétaire. » Dans l'hypothèse des satellites obscurs, on peut voir que si l'analogie est autre, elle n'est pas moins curieuse.

Les mêmes explications peuvent-elles rendre compte des phénomènes présentés par les étoiles variables non périodiques, par les étoiles nouvelles ou temporaires, par les étoiles qui ont disparu de la voûte des cieux? La régularité du mouvement de rotation ne permet point évidemment de s'arrêter à cette seule hypothèse : il y faut joindre des changements accidentels survenus dans l'astre lui-même. Nous en verrons plus loin des exemples; mais l'interposition d'astres obscurs, de nébulosités opaques étrangères au système de l'étoile variable, peuvent jusqu'à un certain point rendre compte d'un affaiblissement temporaire.

Quant aux étoiles nouvelles qui, comme la Pèlerine de 1572, l'étoile de Képler, etc., ont fait une subite apparition en atteignant presque aussitôt un éclat prodigieux, si ce sont des étoiles variables dont la période d'éclat minimum ou d'extinction complète est très-longue, comment expliquer ces brusques changements d'intensité, ces apparitions presque subites d'astres, qui, du premier coup, atteignent leur plus grand éclat?

On a cherché à s'en rendre compte, en supposant un mouvement très-rapide de l'étoile, mouvement qui la rapproche ou l'éloigne en peu de temps considérablement de la Terre; mais de toutes les hypothèses, c'est évidemment la plus invraisemblable. Arago examinant cette question du mouvement¹, démontre que pour passer de la première à la seconde gran-

1. *Annuaire du Bureau des longitudes pour 1842*, p. 327.

deur par un simple changement de distance, il faudrait six ans à une étoile qui se déplacerait avec la vitesse de la lumière, en parcourant 300 000 kilomètres par seconde. Or l'étoile de 1572 a subi en un mois une pareille variation. Il faudrait donc supposer une vitesse 72 fois plus grande, c'est-à-dire deux cent mille fois supérieure à la vitesse du plus rapide des mouvements d'étoiles connus.

D'un autre côté, si l'on explique ces phénomènes par d'immenses incendies, des conflagrations subites survenues à la surface d'astres jusqu'alors obscurs, par des extinctions progressives amenant la décroissance d'éclat, puis la disparition, de telles catastrophes sont bien faites pour frapper notre imagination et détruire cette idée si ancienne de l'immuabilité des cieux. Peut-être les forces électriques et magnétiques jouent-elles un rôle dans la production de ces gigantesques coups de théâtre. Humboldt semble pencher vers cette idée. Il proteste contre l'hypothèse d'une destruction, d'une combustion réelle des étoiles devenues invisibles. « Ce que nous ne voyons plus, dit-il, n'a pas nécessairement disparu.... L'éternel jeu des créations et des destructions apparentes ne conclut point à un anéantissement de la matière; c'est une pure transition vers de nouvelles formes, déterminées par l'action de forces nouvelles. Des astres devenus obscurs peuvent redevenir subitement lumineux par le jeu renouvelé des mêmes actions qui y avaient primitivement développé la lumière. »

Il est peut-être plus difficile encore d'imaginer que les variations des étoiles temporaires sont dues à des mouvements de rotation. Il faudrait en effet supposer des faces d'un éclat prodigieusement inégal, et, même dans ce cas, on ne comprendrait guère une apparition subite et atteignant d'un seul coup l'intensité maximum. Les changements de couleur seraient pareillement inexplicables.

La vérité est que ce sont des faits, des faits authentiques; et que l'imagination se serait longtemps perdue à en chercher

les causes, si l'application de la méthode d'analyse spectrale n'était venue apporter son contingent d'observations nouvelles à la solution du problème, et jeter un jour tout nouveau sur l'étude si difficile de la constitution physique et chimique des étoiles. La récente apparition de l'étoile nouvelle de la Couronne boréale a été l'occasion heureuse de ces découvertes. Citons les observateurs eux-mêmes, MM. Huggins et Miller : « Le spectre de l'étoile variable de la Couronne se montre formé de deux spectres superposés, le premier formé de quatre raies brillantes, le second analogue au spectre du Soleil, chacun d'eux résultant de la décomposition d'un faisceau lumineux indépendant de la lumière qui donne naissance à l'autre. Le spectre continu sillonné de groupes de raies obscures indique la présence d'une photosphère de matière incandescente, presque certainement solide ou liquide, entourée d'une atmosphère de vapeurs plus froides qui font naître par absorption les groupes des raies sombres. Jusqu'ici, la constitution de cet astre est analogue à celle du Soleil; mais il offre un spectre additionnel formé de raies brillantes. Il y a donc là une seconde source de lumière spéciale, et cette source doit être un *gaz lumineux*. En outre, les deux principales raies brillantes de ce spectre nous apprennent que ce gaz était composé surtout d'hydrogène, et leur grand éclat prouve que la température du gaz lumineux a été plus élevée que celle de la photosphère. Ces faits, rapprochés de la soudaineté de l'explosion de lumière dans l'étoile, de sa diminution d'éclat immédiate et si rapide, de sa chute, en douze jours, de la seconde à la huitième grandeur, nous conduisent à admettre que l'astre s'est trouvé subitement enveloppé des flammes de l'hydrogène en combustion. Il se pourrait qu'il eût été le siège de quelque grande convulsion, avec dégagement énorme de gaz mis en liberté. Une grande partie de ce gaz était de l'hydrogène, qui brûlait à la surface de l'étoile en se combinant avec quelque autre élément. Ce gaz enflammé émettait la lumière caractérisée

par le spectre des raies brillantes. Le spectre de l'autre portion de la lumière stellaire pouvait indiquer que cette terrible déflagration gazeuse avait surchargé et rendu plus vivement incandescente la matière solide de la photosphère. Lorsque l'hydrogène libre eut été épuisé, la flamme s'abattit graduellement, la photosphère devint moins lumineuse, et l'étoile revint à son premier état. » — « Nous ne devons pas oublier, ajoute W. Huggins, que la lumière, messenger cependant si rapide, exige un certain temps pour venir de l'étoile à nous. Cette grande convulsion physique, nouvelle pour nous, était donc déjà un événement passé relativement à l'étoile elle-même. En 1866, elle était depuis des années déjà dans les conditions nouvelles que lui a faites cette violente catastrophe! »

Cette dernière remarque s'applique à tous les phénomènes célestes du monde sidéral. Les rayons de lumière qui émanent des étoiles nous arrivent, à chaque instant, après avoir accompli des voyages dont la durée se compte par années, nous l'avons vu, et probablement par siècles. Ainsi que l'a dit Arago, « l'aspect du ciel, à un instant donné, nous raconte pour ainsi dire l'histoire ancienne des astres. »

Le P. Secchi a étudié aussi, par l'analyse spectrale, la lumière de quelques étoiles variables périodiques, notamment Algol, Mira, Alpha d'Orion, Alpha d'Hercule. Sauf la première, dont le spectre, par l'invariabilité de son type, montre que ses variations d'éclat proviennent d'une éclipse par un corps obscur, les autres sont des étoiles de la troisième classe : « Leur constitution spectrale, indiquant de vastes atmosphères absorbantes, conduit à penser que leur variabilité vient probablement de crises subies par la masse atmosphérique qui les environne. »

Sans doute, les étoiles nouvelles de 1572, de 1604, l'étoile temporaire et si extraordinairement variable Éta du Navire sont des soleils qui, comme l'étoile de la Couronne, ont été

le théâtre d'immenses conflagrations, où l'hydrogène a pu jouer un rôle important. Ces phénomènes ont désormais pour nous et notre monde solaire un haut intérêt, depuis qu'on a constaté l'existence d'une couche de ce gaz et son incandescence tout autour de la photosphère du Soleil.

LIVRE DEUXIÈME.

LES NÉBULEUSES.

Si l'on parcourt des yeux l'espace qui sépare, dans Andromède, le Carré de Pégase de Cassiopée, on ne tarde pas à apercevoir un peu au-dessous de la ligne qui joint ces deux constellations une masse lumineuse, un petit nuage blanchâtre de forme allongée, où la vue ne peut distinguer aucune étoile. En s'aidant d'une lunette, même de grande puissance, la forme se précise, l'ovale paraît mieux limité, mais la lueur douce et pâle de ce petit nuage céleste reste toujours vaporeuse et ne laisse soupçonner aucune lumière stellaire.

C'est une *nébuleuse*, bien connue sous le nom de Nébuleuse d'Andromède¹.

Les espaces célestes sont parsemés d'une multitude d'objets

1. C'est en 1612 que Simon Marius, ou Mayer, a observé et décrit la nébuleuse d'Andromède, la première qui ait attiré l'attention sérieuse des astronomes. Quarante-quatre ans plus tard, Huygens découvrait la grande nébulosité qui entoure l'étoile septuple Thêta d'Orion; une autre nébuleuse fut découverte en 1665, dans le Sagittaire, par Abraham Ihle; Cassini I^{er} en découvrit une quatrième entre Sirius et Procyon. Halley observa la nébuleuse d'Oméga du Centaure en 1677 et celle d'Hercule en 1714. Lacaille, Messier, Herschel augmentèrent bientôt le nombre des nébuleuses connues, soit dans le ciel austral, soit dans le ciel boréal. Depuis la fin du dix-huitième siècle, les catalogues de nébuleuses se sont enrichis de nombreuses observations, et toute une branche de l'astronomie sidérale s'est développée et s'est couverte des fruits les plus précieux.

semblables, variés de dimensions, d'éclat et de forme. Tous ont reçu, à cause de l'apparence nuageuse qu'ils offrent au premier abord, le nom commun de nébuleuses. Un très-petit nombre de nébuleuses sont visibles à l'œil nu, circonstance qui se trouve expliquée à la fois par la petitesse de leurs dimensions apparentes, la faiblesse de leur éclat et souvent le voisinage d'étoiles relativement brillantes. Dans le télescope, elles apparaissent par milliers : on en connaît aujourd'hui plus de cinq mille, et ce nombre augmente à mesure qu'on explore les diverses régions du ciel avec des instruments plus puissants. Mais que sont les nébuleuses ? Sont-ce des agglomérations de matière diffuse, des nuages célestes lumineux par eux-mêmes, ou des groupes d'étoiles condensées, que leur extrême éloignement rend séparément invisibles ? Ces deux hypothèses sont-elles exclusives l'une de l'autre, ou bien sont-elles admissibles toutes deux ? Les faits vont répondre à ces questions, si intéressantes au point de vue de la constitution de l'univers.

En étudiant les groupes naturels d'étoiles, tels que les Pléiades, nous avons constaté ce fait, que les vues un peu faibles n'y distinguent qu'une lucur confuse. Pour les personnes dont il s'agit, les Pléiades ont l'apparence d'une nébuleuse : eh bien, toute proportion gardée, ce fait se reproduit chez tout le monde, pour un assez grand nombre de nébuleuses. Là où les meilleurs yeux ne distinguent aucun point lumineux isolé, les lunettes font apercevoir une multitude d'étoiles distinctes. De là, une première classe de nébuleuses, les *amas stellaires*. Les astronomes donnent ce nom à toutes les nébulosités que les instruments décomposent entièrement en étoiles, sans qu'il reste aucune trace vaporeuse sur le fond du ciel où elles se projettent.

Une seconde catégorie de nébuleuses comprend toutes celles qui se décomposent partiellement en points stellaires, mais où d'autres parties résistent encore à cette résolution.

Viennent enfin les nébuleuses dans lesquelles les plus puissants télescopes ne peuvent distinguer d'étoiles, et que, pour cette raison, on nomme nébuleuses *irréductibles* ou mieux *irrésolues*.

Mais cette classification est toute relative. Elle dépend tout à la fois de la force optique des instruments, de la vue des observateurs et de la pureté du ciel, dans le lieu et au moment de l'observation. Il est fort possible que, parmi les nébuleuses restées irréductibles, ou non entièrement résolues, il en existe à la fois qui sont de simples amas stellaires, d'autres qui sont en réalité de véritables nébuleuses, c'est-à-dire des agglomérations de matière gazeuse ou diffuse, d'autres enfin qui participent de ces deux modes de structure. L'analyse spectrale, on le verra bientôt, a déjà fourni quelques indications sur ces points curieux de l'astronomie sidérale.

Avant d'aborder la description détaillée des nébuleuses de ces divers ordres, disons un mot de la manière dont elles paraissent distribuées dans le ciel étoilé.

Cette distribution est très-inégale dans l'hémisphère céleste boréal, ainsi que dans les parties de l'hémisphère austral visibles dans les latitudes de la zone tempérée septentrionale. C'est dans une zone qui embrasse à peine la huitième partie de la voûte céleste que se trouve la plus grande accumulation de nébuleuses. Les constellations du Lion, de la Grande-Ourse, de la Girafe et du Dragon, celles du Bouvier, de la Chevelure de Bérénice, des Chiens de chasse, mais principalement de la Vierge, forment cette zone qui s'étend d'ailleurs jusqu'au milieu du Centaure, et qui est connue sous le nom de *région nébuleuse de la Vierge*.

A peu près à l'opposé du ciel, une autre agglomération de nébuleuses embrasse Andromède, Pégase, les Poissons, et s'étend plus loin que la première dans la partie australe de la voûte céleste. Circonstance remarquable : les régions voisines

de la Voie Lactée sont les plus pauvres en nébuleuses, tandis que les deux régions les plus riches s'étendent aux deux pôles de cette grande ceinture, où les étoiles sont si nombreuses et si condensées.

« Ces régions si pleines, dit Humboldt, forment un contraste frappant avec les espaces complètement vides de nébuleuses, et pour ainsi dire déserts, qui comprennent, d'une part, Persée, le Bélier, le Taureau, la tête et la partie inférieure du corps d'Orion; de l'autre, Hercule, l'Aigle et toute la constellation de la Lyre. »

Les nébuleuses sont plus uniformément réparties dans la zone céleste qui environne le pôle sud : elles y sont aussi moins nombreuses. En revanche, on y admire deux magnifiques agglomérations qui contiennent à elles seules près de 400 nébuleuses ou amas d'étoiles : ce sont les Nuées de Magellan, que nous étudierons en détail en même temps que la Voie Lactée.

I

AMAS STELLAIRES ET NÉBULEUSES RÉGULIÈRES.

§ 1. Amas d'étoiles de forme globulaire ou sphérique. — Nombre prodigieux d'étoiles de certains amas sphériques. — Amas d'Oméga du Centaure, du Toucan, du Verseau. — Formes bizarres de quelques amas stellaires.

Sur un nombre total d'environ 5000 nébuleuses recensées, on en compte aujourd'hui 400, à peu près la douzième partie, que le télescope est parvenu à décomposer entièrement en étoiles.

Parmi ces amas, un très-petit nombre, nous l'avons dit, sont assez lumineux et assez considérables pour être visibles à l'œil nu. Dans tous, les étoiles sont si rapprochées qu'il est impossible de n'y pas voir de véritables groupes stellaires, de réelles associations, des systèmes de soleils.

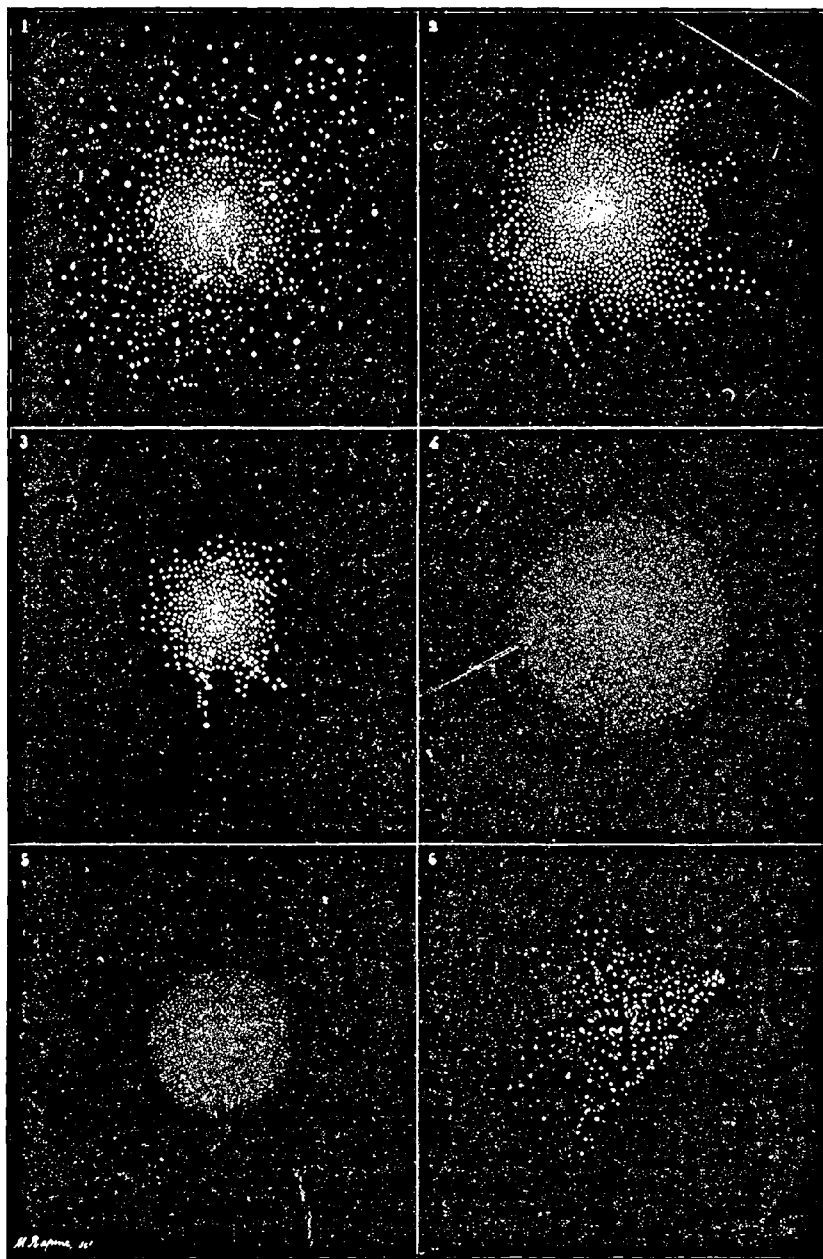
Leur forme généralement arrondie leur donne un aspect cométaire, et les observateurs qui ne seraient point familiers avec la composition détaillée des diverses régions du ciel s'y tromperaient aisément. Mais la permanence de leur forme et surtout de leur position est un caractère qui suffit à les distinguer des comètes.

Il est aussi des amas, mais ce sont les moins nombreux, dont les contours sont très-irréguliers; dans ceux-ci, le nombre des étoiles est ordinairement beaucoup moindre que dans les amas de forme globulaire, et leur distribution y est aussi fort différente. Qu'on jette les yeux sur les dessins (1, 2, 3) de la

planche XXXV. On sera frappé de la condensation remarquable des points lumineux vers le centre. Cette condensation s'explique aisément, si l'on suppose que la forme réelle de l'agglomération est celle d'un globe à peu près sphérique. Alors, même dans l'hypothèse où les étoiles seraient également espacées à l'intérieur de cette sphère, on comprend que le rayon visuel la traverse dans toute l'étendue de son diamètre en face du centre, tandis qu'en s'approchant des bords, il en parcourt des portions de plus en plus petites. La perspective seule suffit donc, en général, à rendre compte de l'agglomération apparente des points lumineux, au centre d'un amas de forme globulaire ou sphérique.

Mais l'accroissement d'éclat du bord au centre est souvent plus rapide que ne permet de l'admettre une égale distribution des étoiles à l'intérieur des amas stellaires. On en a conclu qu'outre la condensation apparente ou purement optique, il existe une condensation réelle qui s'est sans doute produite à la longue, sous l'influence des forces centrales, résultantes des attractions isolées de tous les soleils qui composent de tels systèmes.

« Comment ces systèmes isolés, dit Humboldt (*Cosmos*, III, 153), peuvent-ils se maintenir? Comment les soleils qui fourmillent à l'intérieur de ces mondes peuvent-ils accomplir leurs révolutions librement et sans chocs? » Ces questions qui se posent pour la plupart des nébuleuses, sont les plus difficiles de tous les problèmes de mécanique céleste. Mais il ne faut pas oublier que ces agrégations stellaires sont situées à des distances si grandes, que les corps dont elles sont formées et qui nous semblent très-rapprochés les uns des autres, ont entre eux des intervalles peut-être aussi considérables que la distance du Soleil à l'étoile la plus voisine. Leurs mouvements s'effectuent donc sans doute en toute liberté, dans des espaces aussi vastes que le nécessite l'équilibre général, et avec une lenteur relative proportionnée aux dimensions des orbites.



AMAS STELLAIRES

D'après les dessins de J. Herschel. — 1. Amas de la Balance. — 2. D'Hercule.
3. Du Capricorne. — 4. Du Verseau. — 5. Du Serpent. — 6. Des Gémeaux.

Le nombre des étoiles que renferment les amas de forme globulaire est souvent prodigieux. Nous avons vu que l'amas de la Croix du Sud (pl. XXXIV), si curieux par les couleurs variées de ses étoiles composantes, n'en contient guère que cent dix. Mais Herschel a calculé que plusieurs amas ne renferment pas moins de cinq mille étoiles, agglomérées dans un espace dont les dimensions apparentes sont à peine la dixième partie de la surface du disque lunaire.

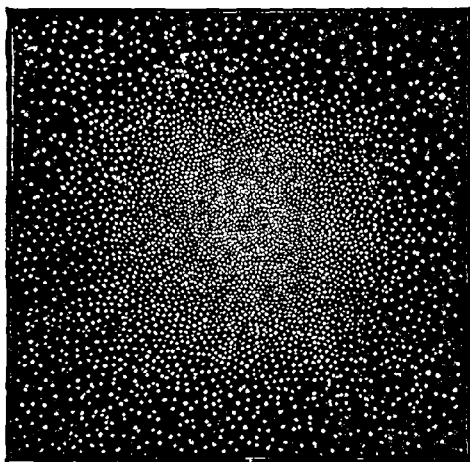


Fig. 167. — Amas stellaire d'Oméga du Centaure, d'après J. Herschel.

Tel est l'amas situé entre les deux étoiles Éta et Zêta d'Hercule (pl. XXXV, 2), l'un des plus magnifiques du ciel boréal. Dans les belles nuits, cet amas est visible à l'œil nu, comme une tache lumineuse de forme ronde; au télescope, il se résout en une multitude d'étoiles et conserve son apparence globulaire, mais frangée, sur les bords, de plusieurs files d'étoiles qui divergent toutes d'un même côté.

L'amas voisin de l'étoile Oméga du Centaure (fig. 167) est aussi visible à l'œil nu, et paraît brillant comme une étoile de quatrième à cinquième grandeur. Dans les instruments d'une

grande puissance, il se résout en une multitude prodigieuse d'étoiles fortement condensées vers le centre, dont l'éclat varie entre la treizième et la quinzième grandeur.

Le bel amas du Verseau, que le dessin de J. Herschel nous montre pareil à une fine poussière lumineuse (pl. XXXV, 4), examiné dans le puissant réflecteur de lord Rosse, apparaît (fig. 168) comme un magnifique amas globulaire entièrement décomposé en étoiles.

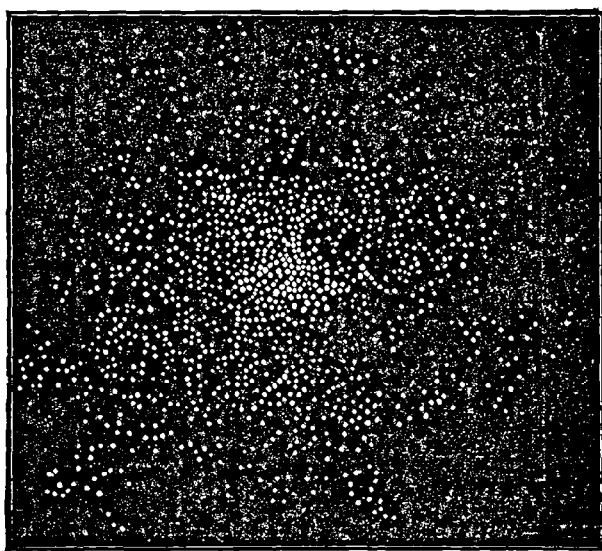


Fig. 168. — Amas du Verseau, d'après lord Rosse.

Mais le plus bel échantillon de ce genre est sans contredit le splendide amas du Toucan, très-visible à l'œil nu dans le voisinage de la petite Nuée de Magellan, en une région du ciel austral entièrement vide d'étoiles. La condensation des étoiles au centre de cet amas est extrêmement prononcée, elle se divise en trois gradations parfaitement distinctes, et la couleur rouge orangé de l'agglomération centrale contraste merveilleusement avec la lumière blanche des enveloppes concentriques.

Les amas de forme sphérique sont ordinairement les plus riches en étoiles et ceux dont la décomposition par les instruments semble la plus aisée. Néanmoins, parmi les autres, il en est dont la résolution, jusqu'alors impossible, a été obtenue par l'emploi des télescopes de la plus grande force optique. Telle est la nébuleuse ovale d'Andromède, que nous allons trouver bientôt au nombre des masses en partie décomposées.

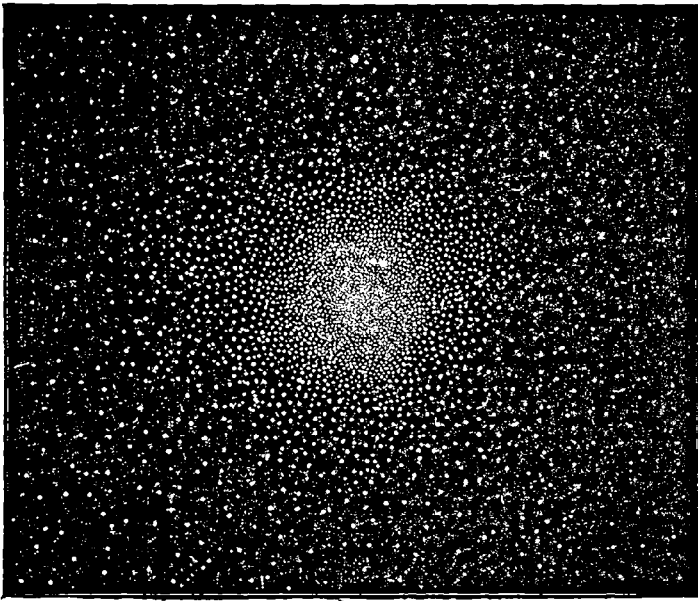


Fig. 169. — Amas du Toucan, d'après J. Herschel.

Voici quelques amas de formes bizarres (fig. 170), où tout indice de concentration a disparu. Le dessin qui représente l'amas des Gémeaux (pl. XXXV, 6) semble un intermédiaire entre ces groupes informes et les puissantes agglomérations sphériques que nous avons passées en revue. Là encore, au sommet de l'espèce de pyramide que forme ce singulier amas, les points lumineux se pressent comme vers une masse prépondérante. Dans les amas de la figure 170, on ne voit plus rien de pareil.

Les amas stellaires ne sont pas également dispersés dans toutes les régions du ciel; c'est dans la Voie Lactée et dans les deux Nuées de Magellan qu'ils sont le plus nombreux. La région la plus riche en amas globulaires est située dans l'hémi-

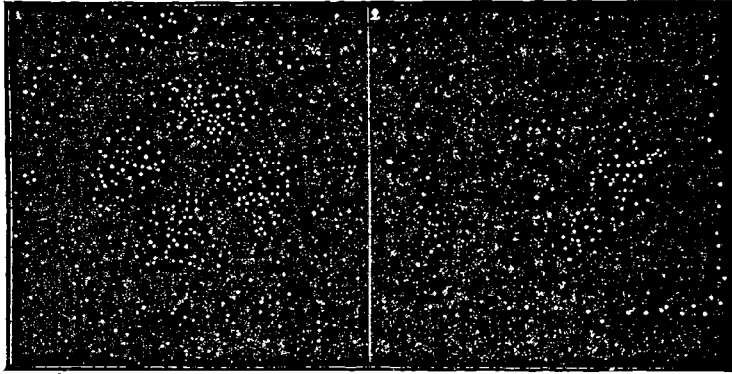


Fig. 170. — Amas de formes singulières, d'après J. Herschel. — 1. Du Scorpion.
2. De l'Autel,

sphère austral¹, où elle forme une portion importante de la Voie Lactée, celle qui se trouve comprise entre les constellations du Loup, de l'Autel, du Scorpion, de la Couronne australe et du Sagittaire.

§ 2. Nébuleuses non résolues en étoiles. — Étude de leur aspect dans les télescopes; formes apparentes, dimensions, éclat lumineux. — Nébuleuses de forme régulière, globulaire, elliptique, annulaire, conique. — Nébuleuse annulaire de la Lyre. — Nébuleuses planétaires et étoiles nébuleuses. — Forme spiraloïde de quelques nébuleuses; nébuleuses des Chiens de chasse, du Lion, de la Vierge.

Les nébuleuses que nous venons de décrire sont toutes décomposables en étoiles que le télescope montre distinctement, qui forment de véritables associations de soleils, et dès lors sont justement désignées par leur nom d'*amas stellaires*. Les

1. Humboldt, *Cosmos*, III.

étoiles composantes de ces groupes sont-elles de même nature que les étoiles en apparence dispersées dans le reste du ciel; ont-elles, dans chaque amas, la même constitution physique et chimique? Ce sont des questions encore bien obscures, sur lesquelles l'analyse spectrale pourra seule jeter quelque jour. La même méthode permettra sans doute aussi de distinguer, parmi les nébuleuses que le télescope est impuissant à décomposer, celles qui sont résolubles, de celles qui en réalité ne sont pas formées d'étoiles : nous parlerons plus loin des observations de ce genre déjà faites par quelques astronomes. Bornons-nous, en attendant, à décrire les nébuleuses non résolues, en ne tenant compte que de leur aspect dans les télescopes, de leurs formes, de leurs dimensions, de l'intensité de leur lumière. Sans doute, les distances très-inégales où nous sommes de ces agglomérations de corps célestes ou de matière diffuse sont pour beaucoup dans cette variété d'aspect. Dans l'état d'ignorance où nous sommes encore de leur structure véritable, de leurs dimensions réelles, de la nature de la matière qui les compose, toute classification est nécessairement arbitraire, et ne peut avoir d'autre but que de mettre un peu d'ordre dans l'inventaire de tant de richesses. C'est donc la forme apparente des nébuleuses que nous considérerons tout d'abord, sans en rien conclure sur leur constitution physique.

Commençons par les nébuleuses de forme régulière.

La forme ronde globulaire ou sphérique est très-fréquente. Sans doute, un grand nombre des nébuleuses qui affectent cette apparence ne sont autre chose que des amas stellaires; un immense éloignement, ou encore l'extrême petitesse des étoiles qui les composent, ne permet pas de distinguer séparément les points lumineux qui se pressent, et dont l'ensemble, même dans les télescopes les plus puissants, ne laisse apercevoir qu'une lueur confuse, phosphorescente.

Ce qui prouve bien la grande probabilité de cette hypothèse, c'est que tout perfectionnement dans la puissance des

instruments d'optique amène la résolution de nébuleuses jusque-là irréductibles, et fait en même temps découvrir à des profondeurs plus grandes de l'espace, des nébuleuses nouvelles.

La figure 171 montre quelques exemples de nébuleuses circulaires et ovales choisies au milieu d'une collection nombreuse

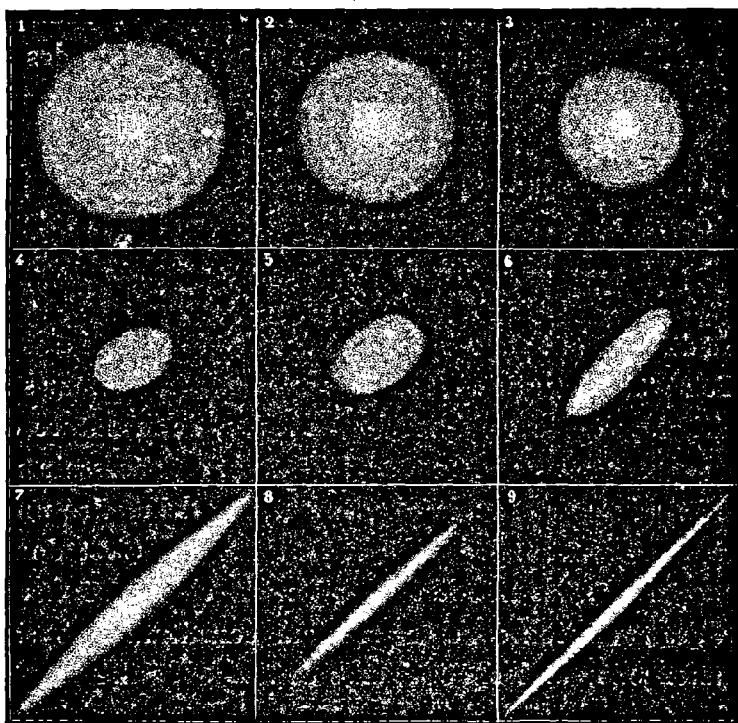


Fig. 171. — Nébuleuses de formes circulaire et ovale, d'après J. Herschel.

de semblables objets. On y voit la forme, d'abord parfaitement ronde, passer par des gradations insensibles aux formes elliptiques les plus allongées, presque jusqu'à la ligne droite. On peut remarquer, en outre, vers le centre de quelques-unes de ces nébuleuses, une condensation marquée de la lumière, qui indique une analogie de composition avec les amas stellaires de forme sphérique. Dans quelques nébuleuses globulaires,

l'éclat nébuleux ne va pas en croissant d'une manière continue, de la circonférence au centre ; la gradation se fait par couches concentriques analogues à celles que nous avons déjà signalées dans l'amas du Toucan. Cette circonstance donne une ressemblance de plus entre les amas globulaires décomposés en étoiles, et les nébuleuses de même forme non encore résolues.

La forme ovale, qui progressivement s'allonge jusqu'à devenir rectiligne, appartient probablement à des amas très-aplatis, qui se présentent à nous vus par la tranche, et dont le degré d'aplatissement peut être attribué soit à leur forme d'ellipsoïde allongé, soit à une inclinaison plus ou moins prononcée vers la région du ciel où nous sommes.

Parmi les nébuleuses de forme ronde ou ovale, il en est un très-petit nombre qui offrent une structure toute particulière et fort curieuse. Je veux parler des nébuleuses annulaires ou perforées. L'une d'elles, fort intéressante, est située dans la constellation de la Lyre, non loin de la brillante Véga, entre les deux étoiles Bêta et Gamma du même astérisme. Un anneau nébuleux, de forme ovale, entoure un espace plus sombre, dont la pâle lueur, uniformément répartie, ressemble à une « gaze légère » étendue sur l'anneau. Telle est l'apparence qu'a présentée d'abord cet objet singulier (fig. 172, 1). Depuis, le télescope de lord Rosse a distingué sur les bords intérieur et extérieur de l'anneau une série de points lumineux : sont-ce des étoiles ? Des lignes parallèles remplissent l'ouverture, et les bords extérieurs sont constellés de franges (fig. 172, 2).

Nous reproduisons ici, d'après les dessins de J. Herschel, deux autres nébuleuses annulaires, l'une ovale, l'autre ronde. La première (fig. 172, 3), qui a beaucoup d'analogie avec la nébuleuse de la Lyre, est située entre les constellations du Cygne et du Renard ; la seconde (fig. 172, 4), dans Ophiucus. La forme ovale de l'anneau est déjà sensible dans la nébuleuse portant le n° 5, qui présente en outre une sin-

gularité que nous retrouverons bientôt : deux étoiles se trouvent situées sur l'anneau, aux extrémités de son plus petit diamètre. Mais, dans une nébuleuse annulaire voisine de la belle étoile triple Gamma d'Andromède (fig. 172, 6), l'anneau est excessivement allongé, et deux étoiles y sont aussi symétriquement placées; seulement, cette fois, c'est à l'extrémité du plus grand diamètre de l'ellipse.

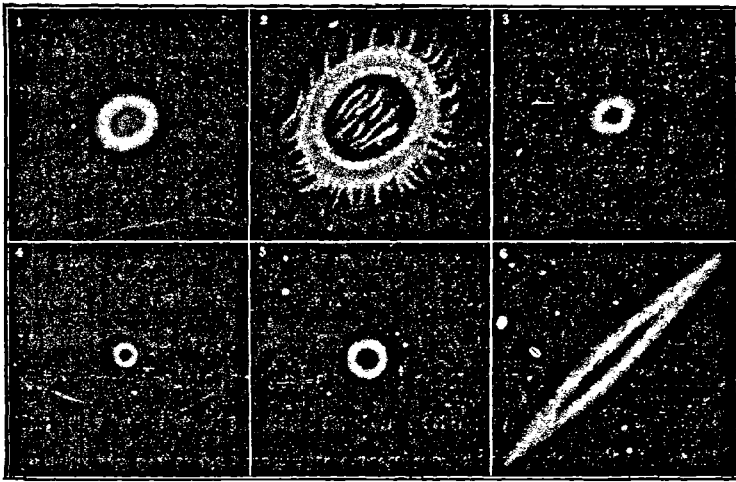


Fig. 172. — Nébuleuses annulaires. — 1. De la Lyre, d'après Herschel. — 2. La même, d'après lord Rosse. — 3. Nébuleuse annulaire du Cygne. — 4. D'Ophiucus. — 5. Du Scorpion. — 6. Près de γ d'Andromède.

Le nom de *nébuleuses planétaires* a été donné à des nébuleuses dont la forme est celle d'un disque uniformément lumineux et qui les fait ressembler à un corps sphérique faiblement éclairé par une lumière étrangère, en un mot, à une planète. On peut voir dans la figure 173 un certain nombre de ces nébuleuses de forme circulaire.

Ce qui différencie ces nébuleuses des amas globulaires ou nébuleuses sphériques, c'est l'égalité de l'éclat sur toute la surface, c'est l'absence de toute condensation lumineuse au centre, de toute dégradation d'éclat du centre à la périphérie.

Ce n'est que sur les bords mêmes du disque nébuleux qu'on aperçoit une légère diminution dans l'intensité dont nous parlons. On en a conclu que ce ne sont point des amas d'étoiles de forme sphérique ou ellipsoïdale, puisque, — nous l'avons vu, — même dans la supposition d'une égale distribution dans l'espace des composantes du groupe, la perspective seule donnerait une condensation apparente vers le centre de l'image. Sont-ce de véritables amas de forme aplatie, et qui se présentent à notre rayon visuel perpendiculairement à leur face circulaire? Ou encore, comme le dit

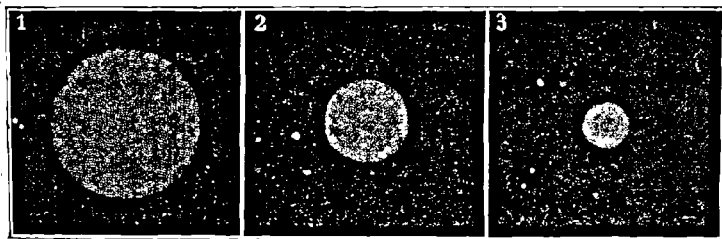


Fig. 173. — Nébuleuses planétaires, d'après J. Herschel. — 1. De la Grande-Ourse. — 2. Des Poissons. — 3. D'Andromède.

J. Herschel, les étoiles de ces nébuleuses seraient-elles rangées en forme d'écaïlle sphérique creuse? Cela semble peu probable. Du reste, l'emploi de télescopes plus puissants a parfois modifié singulièrement l'aspect des nébuleuses dites planétaires, au point de ne plus laisser place aux conjectures qu'avait fait naître l'uniformité de leur éclat. Ainsi la nébuleuse planétaire de la Grande-Ourse, dont la lumière est si uniformément répartie dans le dessin de J. Herschel (fig. 173, 1), a été aperçue avec un tout autre aspect dans le grand télescope de lord Rosse. Le disque s'est changé en une double couronne lumineuse enveloppée d'une bordure frangée; au centre de la nébulosité apparaissent deux points qui ont toute l'apparence d'étoiles (fig. 174). Un autre exemple de ces changements nous est fourni par la nébuleuse plané-

taire voisine de Kappa d'Andromède, qui, parfaitement ronde dans le dessin d'Herschel (fig. 173, 2), apparaît sous la forme d'un anneau lumineux dans celui de lord Rosse (fig. 174, 2).

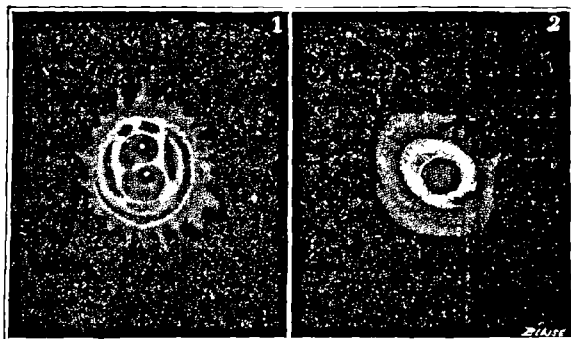


Fig. 174. — Nébuleuses planétaires, d'après lord Rosse. — 1. De la Grande-Ourse. 2. D'Andromède.

Faut-il distinguer des nébuleuses planétaires celles qui ont reçu le nom d'*étoiles nébuleuses*? Ce ne sont autre chose que des nébulosités, tantôt circulaires, tantôt ovales, tantôt annulaires, mais toujours régulières, dans l'intérieur desquelles apparaissent un ou plusieurs points lumineux, sans doute des étoiles, se détachant distinctement de la nébulosité, et d'ailleurs systématiquement placés. Si la nébuleuse est circulaire, l'étoile occupe le centre; dans le cas d'une forme elliptique, deux étoiles sont comme aux deux foyers de la courbe. Nous avons vu plus haut deux nébuleuses annulaires (fig. 172) qui peuvent être rangées aussi parmi les étoiles nébuleuses. On en peut voir une (fig. 175) où trois étoiles sont régulièrement disposées aux sommets d'un triangle équilatéral, tandis qu'une autre nébuleuse très-allongée a deux étoiles placées extérieurement aux deux bouts du plus grand diamètre. Là, comme dans les nébuleuses planétaires, des télescopes d'une très-grande puissance nous font voir, au lieu d'un disque faiblement mais également éclairé, des for-

mes bien plus irrégulières, et où la lumière se distribue

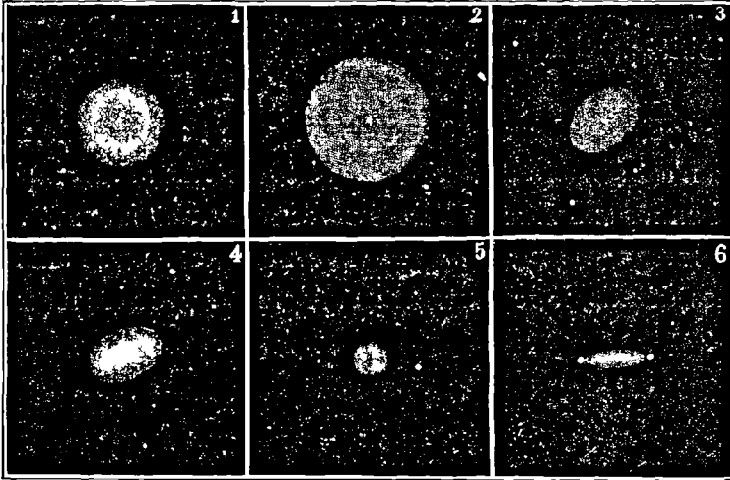


Fig. 175. — Étoiles nébuleuses, d'après J. Herschel. — 1. Du Cygne. — 2. De Persée. — 3. Du Centaure. — 4. Du Sagittaire. — 5. Du Cocher. — 6. D'Andromède.

d'une façon beaucoup plus inégale. Telles sont les étoiles nébuleuses représentées dans la figure 176, d'après les dessins originaux de lord Rosse.

On s'est demandé s'il ne faut pas voir dans les étoiles nébuleuses des soleils enveloppés d'une atmosphère de dimension considérable, rendue visible à ces énormes distances par l'illumination des foyers stellaires: c'est peut-être sous la forme d'une étoile nébuleuse que notre Soleil serait vu des espaces interstellaires, si la zone lenticulaire de la Lumière zodiacale est visible à de telles distances. Cette opinion n'est certes pas dénuée de vraisemblance, bien qu'on puisse aussi, ce nous semble, considérer les étoiles né-

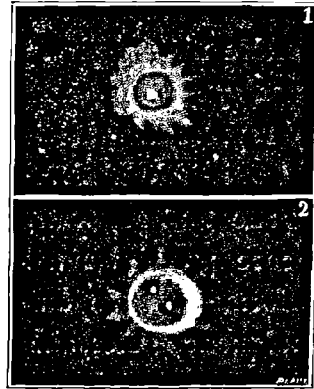


Fig. 176. — Etoiles nébuleuses, d'après lord Rosse. — 1. Des Gémeaux. — 2. Du Navire.

buleuses comme des amas d'une multitude de très-petites étoiles, ayant à leur centre un soleil simple, double ou même multiple, dont l'éclat prépondérant suffirait à expliquer sa visibilité particulière.

La régularité dans les formes d'un grand nombre de nébuleuses n'est sans doute qu'apparente. Elle disparaît en partie, quand on les examine avec des instruments très-puissants, c'est-à-dire lorsque, rapprochées ainsi de notre œil, elles lui laissent voir les détails de leur structure. Alors les grandes masses de

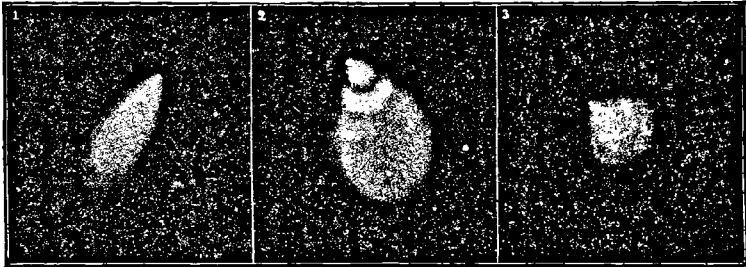


Fig. 177. — Nébuleuses de forme conique ou cométaire. — 1. De l'Éridan (J. Herschel).
2. De Xi de la Licorne (lord Rosse). — 3. De la Grande-Ourse (J. Herschel).

lumière n'étant plus prépondérantes, la forme primitive perd de sa symétrie, comme on le peut voir dans les deux dessins qui représentent la nébuleuse annulaire de la Lyre.

Aussi, je le répète, la classification que nous avons adoptée est-elle tout arbitraire : elle nous permettra donc de ranger encore parmi les nébuleuses régulières celles qui affectent la forme conique ou parabolique, assez semblable à celle de quelques comètes, ainsi que les nébuleuses de forme spiraloïde. Nous donnons ici (fig. 177) trois échantillons des premières de ces nébuleuses, dont la forme a beaucoup d'analogie avec certains amas stellaires : par exemple, l'amas n° 6 de la planche XXXV présente la même disposition en éventail, la même concentration lumineuse au sommet.

Voici encore une nébuleuse (fig. 178) qui se rapproche par sa forme évasée des nébuleuses cométaires, mais qui semble donner en même temps, par un contournement singulier, le premier élément de la nébuleuse spirale.

Dans toutes les nébuleuses que nous venons d'examiner, sauf cette dernière, la régularité des formes se manifeste par une symétrie telle, que chaque objet se trouve partagé en deux parties égales par un axe de figure. Mais il importe d'insister sur ce point, que la régularité disparaît souvent, quand un gros-

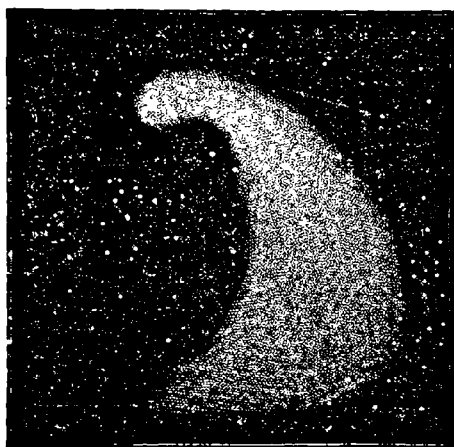


Fig. 178. — Nébuleuse du Navire, d'après Herschel.

sisement supérieur des instruments d'optique vient à montrer avec plus de netteté les diverses parties de la nébuleuse. On est tout étonné de la voir alors se transformer pour l'œil de la façon la plus complète. Nulle part ce changement de forme qui n'a, on le comprend, rien de réel, ne s'est manifesté d'une manière aussi brillante que dans la nébuleuse des Chiens de chasse. Qu'on jette les yeux sur la figure 179 :

On y verra, au centre d'un anneau dédoublé sur la moitié de son contour, une nébuleuse globulaire très-brillante, accompagnée d'une petite nébulosité de forme ronde située en dehors de l'anneau et à une certaine distance. C'est sous cette

forme qu'elle a été vue en premier lieu et dessinée par J. Herschel. Plus tard, observée par lord Rosse à l'aide de son magnifique télescope, la même nébuleuse s'est présentée sous une forme d'une étrangeté merveilleuse (fig. 180). Des spires brillantes, inégalement lumineuses et parsemées d'une multitude d'étoiles, partent du centre de la nébulosité, s'enveloppent les unes les autres en divergeant de plus en plus et finissent enfin par se perdre dans une direction commune. Les filaments extérieurs de cette prodigieuse spirale vont rejoindre la petite

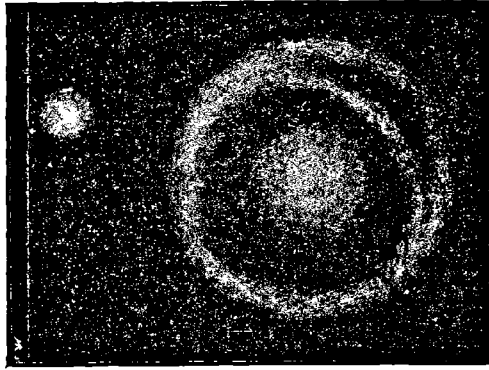


Fig. 179. — Nébuleuse des Chiens de chasse, d'après J. Herschel.

nébuleuse globulaire extérieure, qui d'abord paraissait isolée de l'anneau.

Enfin, d'après les observations plus récentes de M. Chacornac, cette dernière nébuleuse elle-même affecte la forme d'une spirale dont les contours se rattachent avec les spires de la nébuleuse principale.

L'imagination reste confondue en présence d'un spectacle aussi grandiose. Elle se perd à dénombrer les myriades de soleils dont les lumières individuelles agglomérées produisent ces franges nébuleuses d'intensités si diverses, si toutefois il s'agit ici d'une nébuleuse décomposable en étoiles. A calculer les dimensions totales de l'immense système par les dis-

tances probables des atomes de cette poussière de mondes, on reste effrayé de la profondeur des abîmes célestes où le regard humain est parvenu à plonger. Quelles forces singulières ont



Fig. 180. — Forme spirale de la nébuleuse des Chiens de chasse, d'après les dessins et les observations de lord Rosse.

pu produire de semblables tourbillons de soleils? La forme spirale était-elle à l'origine celle des masses gazeuses dont la condensation a donné naissance à chacun des individus de cette association gigantesque, ou bien, est-ce à la longue,

par le mouvement progressif des étoiles composantes, que peu à peu un tel arrangement s'est manifesté? Ce sont là autant de questions que l'esprit se pose, mais dont la solution demandera peut-être bien des siècles. Peut-être la nébuleuse des Chiens de chasse et les autres nébuleuses spirales ne sont-elles actuellement que des agglomérations de la matière dif-

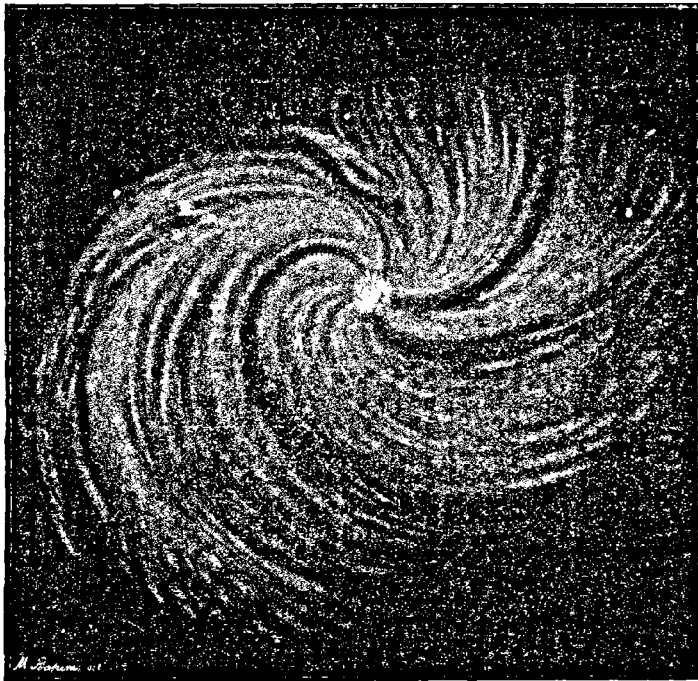


Fig. 181. — Nébuleuse spirale de la Vierge, d'après lord Rosse.

fuse, dont l'existence dans les profondeurs du ciel paraît aujourd'hui décidément confirmée.

Arrivera-t-on à reconnaître dans ces groupes des variations de forme, distinctes de celles qui ont pour cause la puissance des divers instruments, la différence de vue des observateurs? En un mot, pourra-t-on constater les mouvements des parties constituantes des nébuleuses? C'est ce que l'avenir dira.

La forme spiraloïde n'est pas particulière à la nébuleuse

des Chiens de chasse. On peut voir qu'elle est tout aussi nettement prononcée dans la nébuleuse de la Vierge, que représente la figure 181. Les branches lumineuses de cette spirale, au nombre de quatre, sont nettement séparées par des intervalles noirs, et en outre divisées par des spires plus sombres qui indiquent des files d'étoiles moins condensées. Toutes d'ailleurs partent d'un nœud central où la lumière beaucoup plus vive indique une concentration prépondérante.

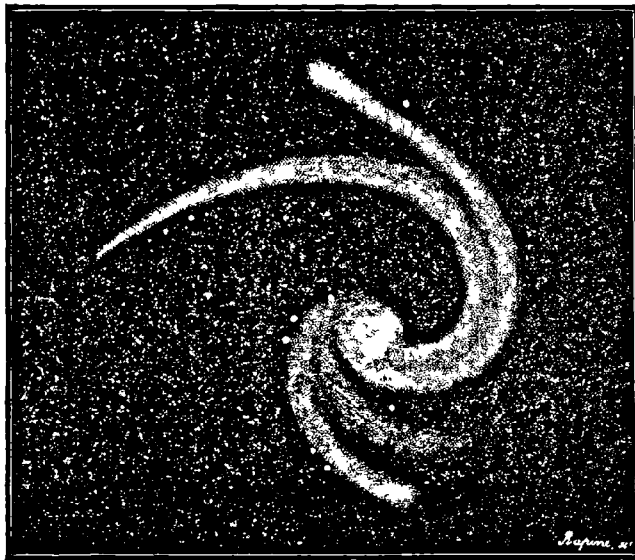


Fig. 182. — Nébuleuse spirale, d'après lord Rosse.

Le nombre des nébuleuses où la forme spiraloïde est plus ou moins accusée était d'abord assez restreint. Mais à mesure que le ciel est exploré par de plus puissants instruments, ce nombre s'accroît. Dans l'important Mémoire publié par lord Rosse, en 1861¹, nous avons noté quarante nébuleuses spirales, et une trentaine encore où cette forme est soupçonnée.

Nous reproduisons ici deux échantillons de ces singuliers objets (fig. 182 et 183), et entre autres une nébuleuse du ciel

1. *On the construction of specula of six feet aperture; and a selection from the observations of nebulae made with them.*

boréal située sur les confins de la Grande-Ourse et du Bouvier. Le centre est comme une large nébuleuse globulaire, à



Fig. 183. — Nébuleuse spirale de la constellation de Céphée, d'après lord Rosse.

condensation très-marquée, de laquelle partent des branches déliées en forme de spires. En plusieurs points de ces branches

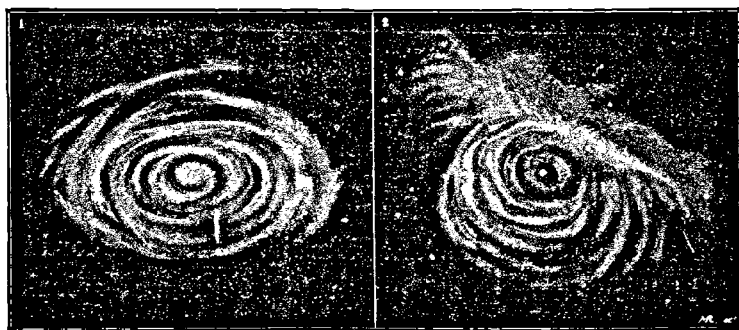


Fig. 184. — Nébuleuses spirales, d'après lord Rosse. — 1. Du Lion. — 2. De Pégase.

on peut remarquer d'autres centres de condensation. J. Herschel l'avait classée parmi les nébuleuses de forme arrondie,

globulaire, sans doute, parce que la nébulosité centrale était la seule que son télescope lui eût fait apercevoir. Un certain nombre d'étoiles sont çà et là disséminées sur l'espace qu'elle occupe. Dans les deux nébuleuses de la figure 184, qui appartiennent la première au Lion, la seconde à Pégase, la forme spiraloïde est moins prononcée. Les spires se rapprochent de la forme elliptique et s'enveloppent les unes les autres.

§ 3. Grandes masses nébuleuses n'affectant aucune forme symétrique ou géométrique. — Diversité d'aspect des nébuleuses, suivant les instruments. — Nébuleuses d'Andromède, du Lion, du Renard, de l'Écu de Sobieski, du Taureau. — Grandes nébuleuses irrégulières d'Orion et du Navire.

Un grand nombre des nébuleuses que nous venons de décrire se distinguent par une régularité, une symétrie de forme qui, jointe à une condensation de la lumière en un point central, ou le long de courbes convergentes, indique, soit un lien unissant toutes les étoiles du groupe, soit une tendance de la matière qui les compose à se réunir en un ou plusieurs centres prépondérants d'attraction.

Outre ces agrégations régulières, les espaces célestes contiennent encore de grandes masses nébuleuses qui affectent les formes les plus diverses, les plus éloignées de toute apparence symétrique. Mais telle est la variété, telle est la richesse du monde sidéral, qu'on peut passer des nébuleuses de forme sphérique aux nébuleuses les plus accidentées et les plus irrégulières, par toutes les gradations imaginables.

Examinons cette lueur de forme ovale allongée (fig. 185). La condensation de lumière qu'on remarque à son centre la fait ressembler, selon l'expression du premier observateur, Simon Marius, « à la flamme d'une chandelle vue à travers une feuille de corne transparente. » C'est la nébuleuse d'Andromède, que j'ai déjà citée plus haut. La forme symétrique de son ensemble, qui la mettait certainement au nombre des

nébuleuses régulières, a disparu dans la puissante lunette de Cambridge (fig. 186). Les masses nébuleuses qui la composent se trouvent séparées par deux longues fissures, et en partie décomposées en étoiles. Bond en a compté plus de 1500. La forme générale primitive se reconnaît encore au centre de la nébuleuse, mais elle est singulièrement altérée, et au lieu d'un point central de condensation lumineuse, on en remarque plusieurs, situés excentriquement.

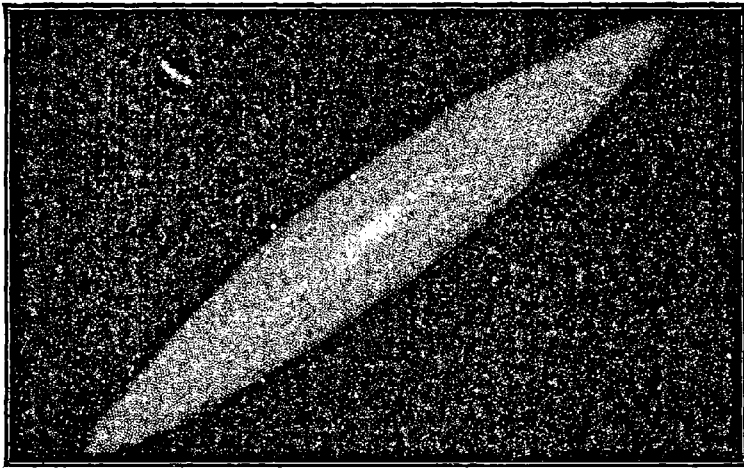


Fig. 185. — Nébuleuse d'Andromède.

Une autre nébuleuse de forme elliptique située dans la constellation du Lion, et que le dessin n^o 7 (fig. 147) représente telle que la vit d'abord J. Herschel, est apparue sous la forme suivante (fig. 187) dans le télescope de lord Rosse : le noyau central est composé d'enveloppes qui affectent une forme annulaire spirale, et les extrémités de l'ovale sont rayées de stries lumineuses rangées de chaque côté de l'axe, comme les arêtes dans la colonne vertébrale des poissons.

Enfin, un autre exemple remarquable de ces transformations optiques, purement apparentes puisqu'elles ne dépendent que de la puissance des instruments, nous est fourni par une

nébuleuse située dans la constellation boréale du Renard. J. Herschel, à qui l'on doit le premier dessin de cette nébuleuse (fig. 189), lui donna le surnom de *Dumb-bell*, à cause de sa ressemblance avec un instrument de gymnastique usité en Angleterre, lequel a la forme d'un battant de cloche. Deux

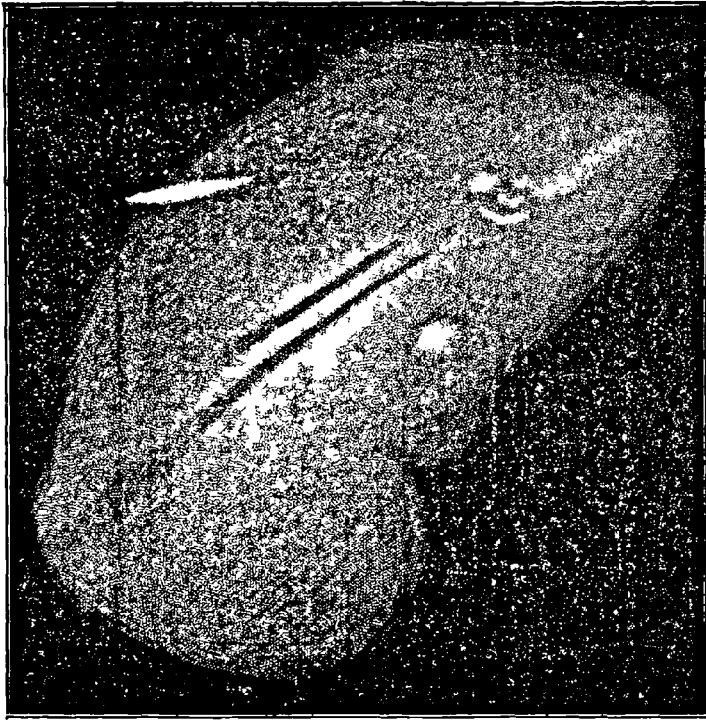


Fig. 186. — Nébuleuse d'Andromède, d'après G. P. Bond.

masses lumineuses symétriquement placées et reliées ensemble par un col assez court, le tout entouré d'une légère enveloppe nébuleuse de forme ovale, lui donnaient une apparence de régularité très-marquée. Cet aspect se modifia dans le télescope de trois pieds d'ouverture de lord Rosse, et les masses nébuleuses y montrèrent une tendance prononcée à la résolution stellaire. Plus tard, dans le télescope de six pieds, les étoiles apparurent nombreuses, mais se détachant encore sur un fond

nébuleux. L'aspect général reprit sa symétrie primitive,

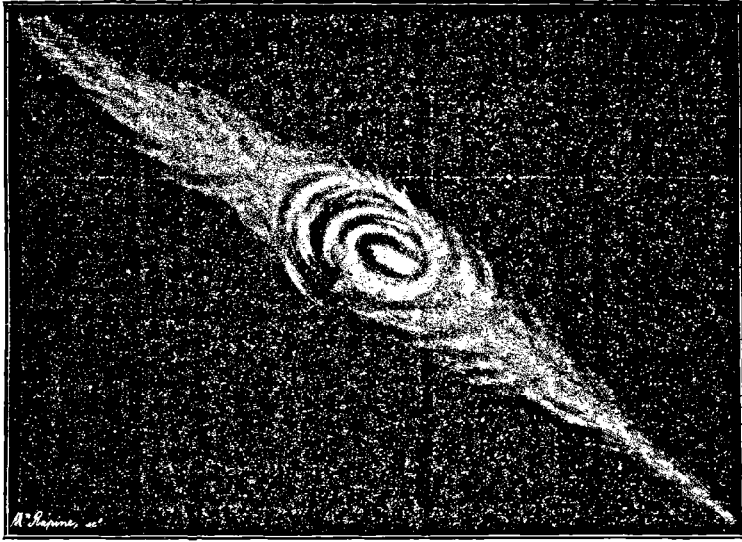


Fig. 187. — Nébulose annulaire elliptique du Lion, d'après lord Rosse.

moins régulière, mais néanmoins frappante encore (fig. 189).

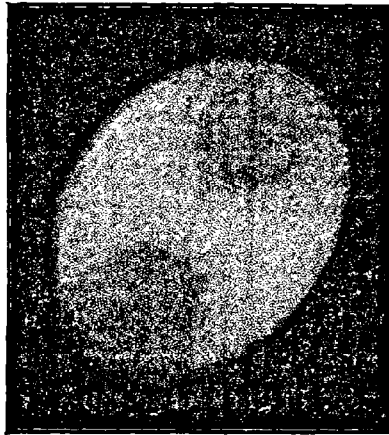
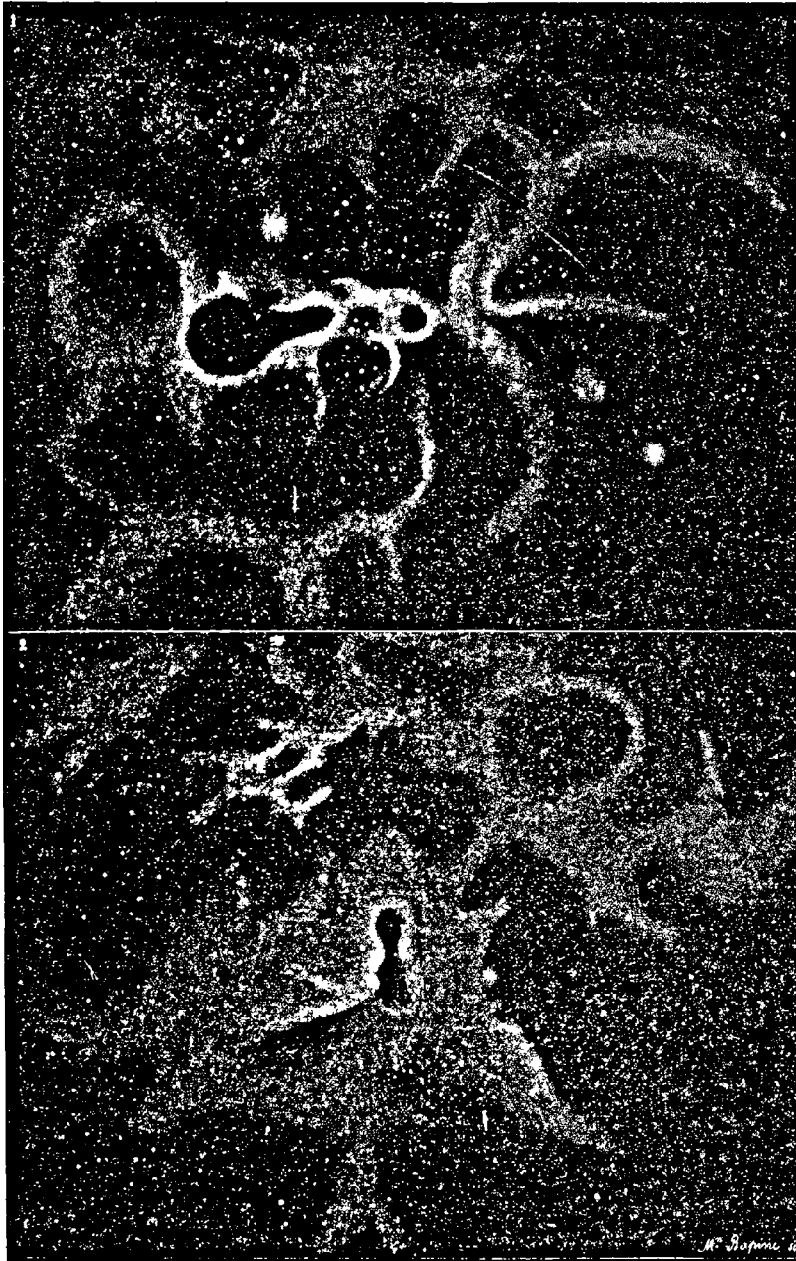


Fig. 188. — Dumb-bell, nébulose du Renard, d'après J. Herschel.

Les nébuleuses irrégulières se présentent parfois sous des formes véritablement bizarres. Tantôt ce sont de longues traî-



NEBULEUSES DE LA DORADE ET D'ÉTA DU NAVIRE

D'après les dessins de sir J. Herschel.

1. Nébuleuse de la Dorade. — 2. Nébuleuse entourant l'étoile γ du Navire.

nées vaporeuses, qui, çà et là, détachent leurs rameaux ; tantôt ces nuées se contournent et prennent les aspects les plus fantastiques. Telle est la nébuleuse de l'Écu de Sobieski. Une partie elliptique, terminée par deux appendices dont l'un est presque rectiligne, lui donne la forme de la lettre grecque

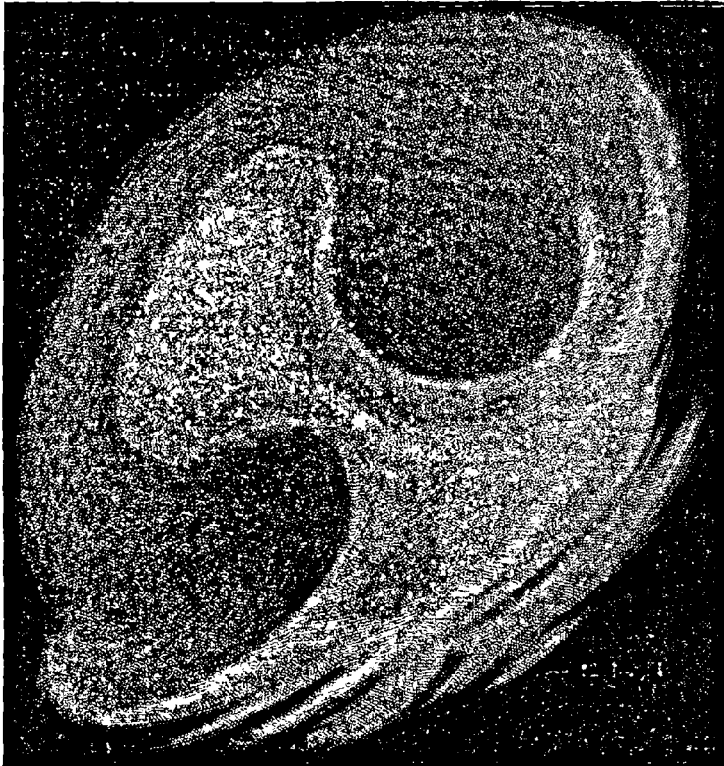


Fig. 189. — Dumb-bell, nébuleuse du Renard, d'après lord Rosse.

majuscule Oméga (Ω). Au milieu de l'un des coudes (fig. 190), on remarque deux centres lumineux pareils à des amas globulaires sphériques.

Une forme plus bizarre encore est celle de la nébuleuse du Taureau, qui, dans les instruments d'une faible puissance, paraît comme un ovale assez régulier. Dans le grand télescope de lord Rosse, elle se présente (fig. 191) comme une gigantes-

que écrevisse dont les antennes et les pattes sont figurées par de longues files d'étoiles.

Au milieu de l'un des deux nuages magellaniques, que nous avons admirés déjà comme un des plus beaux ornements du ciel austral, et que nous décrirons plus loin avec quelques détails, se trouve une nébuleuse dont la forme complexe peut servir de transition pour passer aux grandes nébuleuses irrégulières. C'est la nébuleuse de la Dorade (pl. XXXVI). La partie centrale composée de trois masses annulaires brillantes,

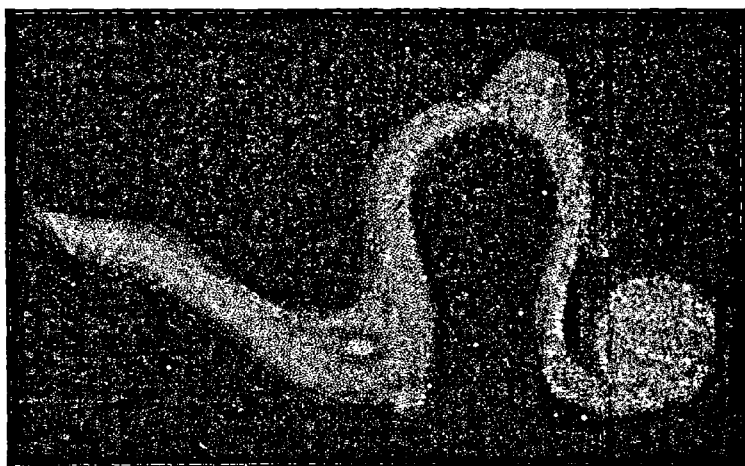


Fig. 190. — Nébuleuse de l'Écu de Sobieski, d'après J. Herschel.

les deux plus petites circulaires, la plus grande en forme de poire, est environnée d'appendices dont la lueur beaucoup plus pâle est parsemée d'un grand nombre de petites étoiles.

Insensiblement nous arrivons aux grandes nébuleuses, dont les masses informes ressemblent à des nuages tourmentés et déchiquetés par la tempête. Mais, là encore, on a retrouvé, à travers les lueurs de ces agglomérations lointaines, des indices de résolution en étoiles, qui semblaient prouver que c'étaient aussi des amas, ou plutôt d'immenses associations d'amas stellaires, de véritables firmaments, des archipels de mondes. Mais

nous verrons bientôt que l'analyse de leur lumière indique nettement désormais qu'elles sont en grande partie formées de véritables nébulosités, de masses gazeuses brillant d'une lumière qui leur est propre. C'est dans le voisinage de la Voie Lactée, au sein des constellations les plus brillantes du ciel

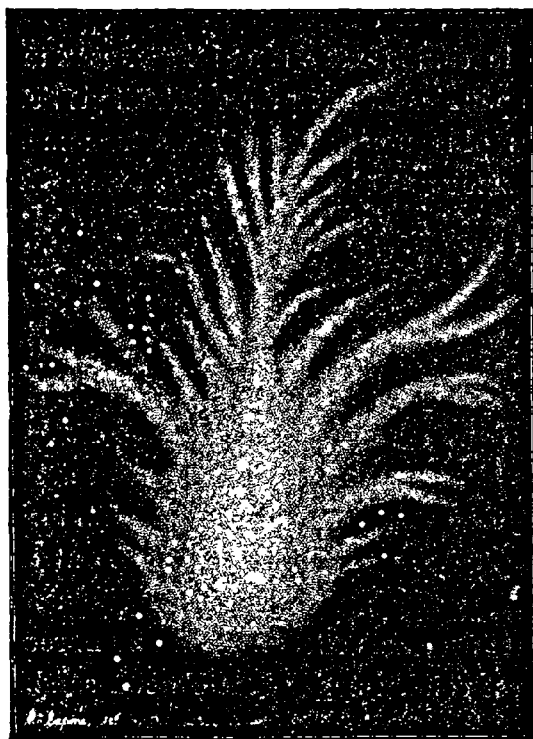


Fig. 191. — Nébulose du Taureau (*Crab nebula*), d'après lord Rosse.

étoilé, que se trouvent les plus grandes nébuleuses de formes irrégulières.

Donnons quelques détails sur deux des plus intéressantes.

L'une, située dans Orion, enveloppe la magnifique étoile septuple Thêta, que nous avons décrite en parlant des systèmes de soleils multiples. L'autre entoure une étoile également remarquable, Éta du Navire, si curieuse par ses brusques et capricieuses variations d'éclat. Des dessins que nous donnons ici

de ces deux grandes nébuleuses (pl. XXXVI et XXXVII) d'après deux illustres observateurs, J. Herschel et G. P. Bond, nous dispensent d'une description qui serait nécessairement vague et incomplète.

Depuis Huygens qui découvrit la nébuleuse d'Orion en 1656, ce magnifique objet a été observé avec un soin de plus en plus minutieux, et les diverses régions plus ou moins lumineuses qui le composent ont été décrites dans tous leurs détails. Peu à peu, les étoiles qui en parsèment l'étendue ayant été reconnues plus nombreuses, les astronomes la crurent d'abord entièrement résoluble en amas stellaires : plus récemment, cette conviction a été ébranlée par les résultats de l'analyse spectrale. J. Herschel compare la portion la plus brillante à la tête d'un animal monstrueux, dont la gueule reste béante et dont le nez se prolonge sous la forme d'une trompe. C'est au bord de l'ouverture qui figure la bouche que se trouvent placées, dans un espace vide de nébulosité, les quatre plus brillantes des composantes de Thêta. Au-dessous du trapèze formé par ces quatre étoiles est la région lumineuse d'apparence pommelée que lord Rosse et Bond ont en partie décomposée. Cette région est remarquable, non-seulement par l'éclat de sa lumière, mais encore par les nombreux centres où cette lumière est condensée, et dont chacun semble former un amas stellaire; d'après lord Rosse, toute la partie du nuage qui avoisine le trapèze se compose d'une masse d'étoiles, ce qui faisait croire à la résolubilité complète de la grande nébuleuse. La forme rectangulaire de l'ensemble est aussi digne d'attention. Les masses nébuleuses qui l'entourent, dont la lueur est beaucoup plus faible que celle de la région centrale, vont se perdre en divergeant tout autour : d'après Bond, elles affectent une forme spirale assez accusée, ainsi qu'en témoigne d'ailleurs le dessin exécuté par cet astronome. Est-il vrai que des changements de forme se soient produits dans l'intervalle des observations les plus modernes, ou bien faut-il

LE CIEL.

PLANCHE XXXVII.



NEBULEUSE D'ORION

D'après un dessin de G. P. Bond.

considérer les variations apparentes comme dues à des circonstances toutes relatives aux conditions où se trouvaient les observateurs¹ ? C'est ce que l'avenir décidera.

Selon J. Herschel, la grande nébuleuse d'Orion occupe sur le ciel un espace dont les dimensions apparentes ont la même étendue que le disque lunaire. Il semble porté à croire qu'elle se rattache à la Voie Lactée, qu'elle est peut-être le prolongement du rameau qui part de Persée, en se dirigeant vers les Pléiades et Aldebaran.

La nébuleuse qui enveloppe Éta du Navire (pl. XXXVI) ne présente, comme celle d'Orion, aucune symétrie dans sa forme ni dans ses contours; mais elle s'en distingue en ce que, jusqu'à présent, aucune de ses parties n'a donné d'indices de résolution en étoiles. Elle est située dans la Voie Lactée même, au sein d'une région si riche en étoiles, qu'on en a compté plus de douze cents sur la surface occupée par la nébuleuse. Les étoiles, d'ailleurs, ne semblent pas faire partie de la nébulosité, sur le fond brillant de laquelle il est plus probable qu'elles se projettent simplement. Vers le centre de la nébuleuse, et tout près d'Éta, on remarque un vide de forme allongée et arrondie, qui laisse apercevoir le fond noir du ciel.

1. « Il est presque impossible de concilier les deux dessins de Bond et d'Herschel, sans admettre la supposition d'un changement considérable qu'aurait subi la région la plus lumineuse dans l'intervalle écoulé entre les époques des deux observations. »

(Liapounow, *Observations de la grande nébuleuse d'Orion, faites à Cazan.*)

« Les observations concernant la distribution et l'éclat de la matière nébuleuse n'accusent *presque* aucun changement de forme, mais bien des fluctuations dans l'état des différentes parties. L'impression générale que j'ai reçue de ces observations est que la partie centrale de la nébuleuse se trouve dans un état d'agitation continuelle comme la surface d'une mer. »

(O. Struve, *Observations de Poulkowa, Mémoires de l'Académie des sciences de Saint-Petersbourg, 1862.*)

II

LES GROUPES DE NÉBULEUSES.

§ 1. Nébuleuses doubles et multiples. — Groupes de nébuleuses; probabilité d'une relation réelle entre les composantes. — Nébuleuse multiple de la Grande Nuée de Magellan.

Nous avons vu plus haut les nébuleuses accompagnées de systèmes d'étoiles doubles ou multiples, placées d'une manière tellement symétrique au sein de la nébulosité, qu'il est impossible de douter de l'existence d'une connexion réelle entre les étoiles et les nébuleuses. Évidemment, ce sont là des groupes physiques d'une constitution toute spéciale.

Il existe aussi des groupes de nébuleuses analogues aux groupes d'étoiles, c'est-à-dire dont les composantes sont liées, sans aucun doute, autrement que par le hasard de la perspective. On retrouve dans ces intéressantes associations les mêmes variétés d'aspect et de forme que dans les nébuleuses simples.

Les unes paraissent formées de deux amas globulaires, dans lesquels la condensation centrale indique, non-seulement une figure sphérique, mais probablement aussi l'existence de véritables centres d'attraction; on en peut voir des exemples dans la figure 192. Tantôt les composantes paraissent entièrement séparées et distinctes, tantôt elles semblent empiéter l'une sur l'autre, soit qu'il n'y ait là qu'une apparence optique, soit que la pénétration ait une réalité physique.

Quelquefois, l'une des composantes est ronde ou globulaire, tandis que l'autre affecte une forme elliptique allongée. La

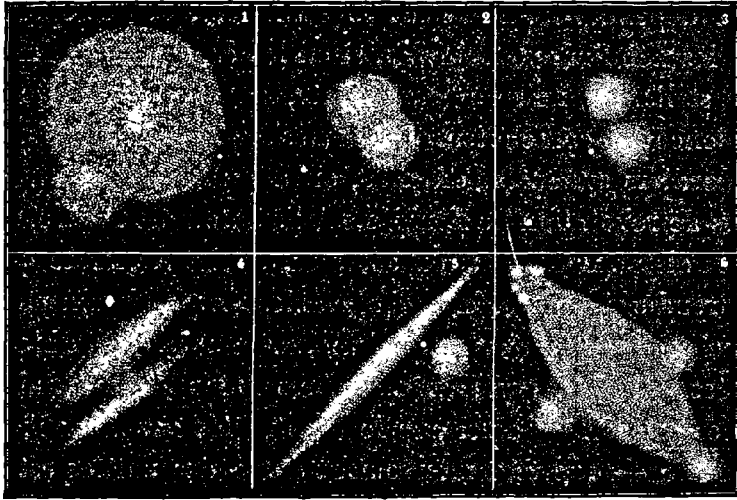


Fig. 192. — Nébuleuses doubles et multiples, d'après J. Herschel. — 1. De la Vierge. — 2. De Bérénice. — 3. Du Verseau. — 4. De la Vierge. — 5. De Bérénice. — 6. Du Grand Nuage (Nuées de Magellan).

nébuleuse représentée dans la figure 193 se compose de deux masses arrondies, terminées par des appendices rayonnants et reliés par une nébulosité commune: le tout enveloppé de légers arcs lumineux semblables à des fragments d'un anneau nébuleux.

Le nombre des centres est souvent plus considérable; il s'élève jusqu'à sept dans les nébuleuses multiples observées par J. Herschel, et dont nous reproduisons un curieux échantillon (fig. 192, 6). Le groupe dont il s'agit est un des nombreux amas qui forment la plus grande des deux Nuées de Magellan.



Fig. 193. — Nébuleuse double, d'après lord Rosse.

On pourrait déduire de cette circonstance que le voisinage de ces sept nébuleuses est une apparence purement optique, si la nébulosité générale qui les enveloppe toutes n'indiquait une réelle dépendance. Du reste, la connexion des composantes dans les nébuleuses multiples, si on les considère comme des amas stellaires, ne sera, sans doute, jamais démontrée avec l'évidence qui caractérise les systèmes des étoiles doubles. Dans ces derniers systèmes, en effet, on a pu étudier les mouvements de révolution de l'un des soleils autour de l'autre, parce que la distance où nous en sommes, quelque grande qu'elle soit, rend ces mouvements observables en un certain nombre d'années. Au contraire, les nébuleuses multiples semblent reléguées à de telles profondeurs dans l'étendue indéfinie des abîmes du ciel — ainsi que le montre leur aspect nébuleux lui-même — que tout mouvement d'une des parties est resté jusqu'ici insensible. Des milliers d'années, des siècles peut-être, seraient nécessaires pour que nous pussions être témoins des changements de position de l'ensemble. Nos télescopes auront beau multiplier leur puissance, la vue perfectionnée pénétrer plus intimement dans la structure de l'univers, nous ne pouvons devancer le temps. Dans la vie des mondes, la durée de notre vie n'est qu'une seconde, comme notre système tout entier n'est lui-même qu'un point au sein de l'infini des espaces.

§ 2. Les Nuées de Magellan. — Position des deux nuages magellaniques dans le ciel austral. — Structure du Petit Nuage et du Grand Nuage; amas stellaires, étoiles isolées, nébuleuses qu'ils renferment.

Lorsqu'on jette les yeux sur les régions de la voûte céleste qui environnent le pôle austral, on ne peut s'empêcher d'être frappé du contraste que présente leur pauvreté stellaire avec la zone éclatante qui longe la Voie Lactée, d'Orion et du Navire au Centaure, en passant par la Croix du Sud. Une

seule étoile de première grandeur, Achernar, d'ailleurs plus éloignée du pôle que les belles étoiles du Centaure et de la Croix, brille dans cette partie du ciel. Mais cette circonstance même rend plus saisissant encore l'aspect singulier de deux taches nébuleuses (voyez la planche XXXIII) qui semblent deux morceaux détachés de la grande zone galactique. Ces deux nébuleuses, inégales en grandeur et en éclat, mais faciles à voir à l'œil nu par une nuit pure et sans lune, sont situées, l'une, la plus grande et la plus brillante, entre le pôle et Canopus, dans la constellation de la Dorade; l'autre, la plus petite et la moins éclatante, ordinairement invisible pendant les pleines lunes, dans l'Hydre mâle, entre Achernar et le pôle.

Toutes deux sont connues des astronomes et des navigateurs sous les noms de *Nuages du Cap*, ou encore de *Nuées de Magellan*. On dit, pour les distinguer : le Grand Nuage (*nubecula major*) et le Petit Nuage (*nubecula minor*). On peut voir dans les figures 194 et 195 la forme générale de ces deux nébuleuses.

Les Nuées de Magellan se distinguent de toutes les nébuleuses que nous avons décrites jusqu'à présent, et par leurs grandes dimensions apparentes, et par leur composition intérieure. Ce dernier caractère les différencie pareillement de la plupart des branches et des rameaux de la Voie Lactée, avec laquelle d'ailleurs elles ne semblent reliées par aucun appendice de nébulosité.

Le Grand Nuage s'étend sur un espace qui n'embrasse pas moins de 12 degrés carrés; c'est deux cents fois environ la surface apparente du disque lunaire. Le Petit Nuage occupe une étendue quatre fois moins grande que l'autre; selon Humboldt, il est environné « d'une sorte de désert » où brille, il est vrai, le magnifique amas stellaire du Toucan, dont il a été parlé plus haut. Si l'aspect extérieur de ces deux remarquables nébuleuses et leur situation dans une région céleste pauvre en étoiles donnent au ciel austral une physionomie toute par-

ticulière, leur structure intime en fait véritablement une des

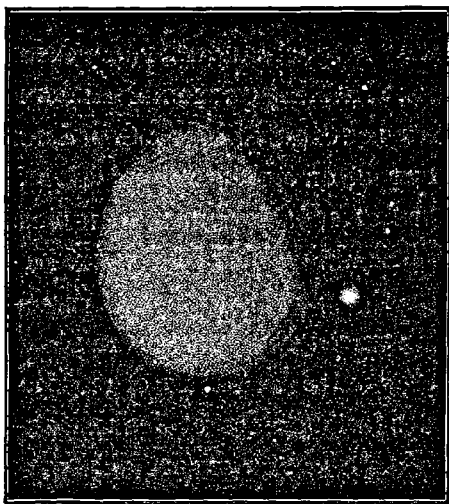


Fig. 194. — Nuées de Magellan. — Le Petit Nuage.

des amas stellaires, les uns de forme irrégulière, les autres —

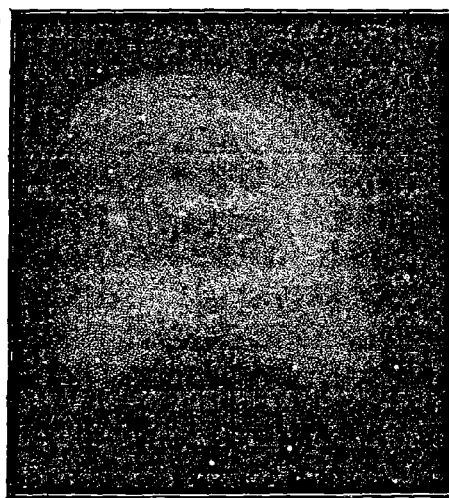


Fig. 195. — Nuées de Magellan. — Le Grand Nuage.

(Humboldt, *Cosmos*) occupe à peine la cinq-centième partie

merveilles du ciel. Explorées à l'aide d'un puissant télescope par J. Herschel, pendant le séjour de cet illustre observateur au cap de Bonne-Espérance, elles se sont l'une et l'autre décomposées en objets multiples dont la figure 196, qui représente une portion du Grand Nuage, peut donner une idée.

Ce sont d'abord un grand nombre d'étoiles isolées, dont l'éclat varie entre la 5^e et la 11^e grandeur. Puis et c'est le plus grand nombre — affectant une forme globulaire, sphérique ou ovale. Enfin, des nébuleuses, les unes isolées, les autres groupées par deux, par trois, etc., la plupart arrondies et régulières. L'une d'elles, connue sous le nom de nébuleuse de la Dorade, déjà décrite plus haut et représentée dans la planche XXXVI, appartient au Grand Nuage. « Cette nébuleuse

de l'aire du nuage, et déjà sir J. Herschel a déterminé dans cet espace la position de 105 étoiles de 14^e, de 15^e et de 16^e grandeur, projetées sur un fond nébuleux dont rien n'altère l'éclat uniforme, et qui a résisté aux plus puissants télescopes. » Les nébuleuses doubles et multiples y sont aussi beaucoup plus nombreuses que dans les zones du ciel les plus riches en objets de cette nature. Ainsi, je le répète, la consti-

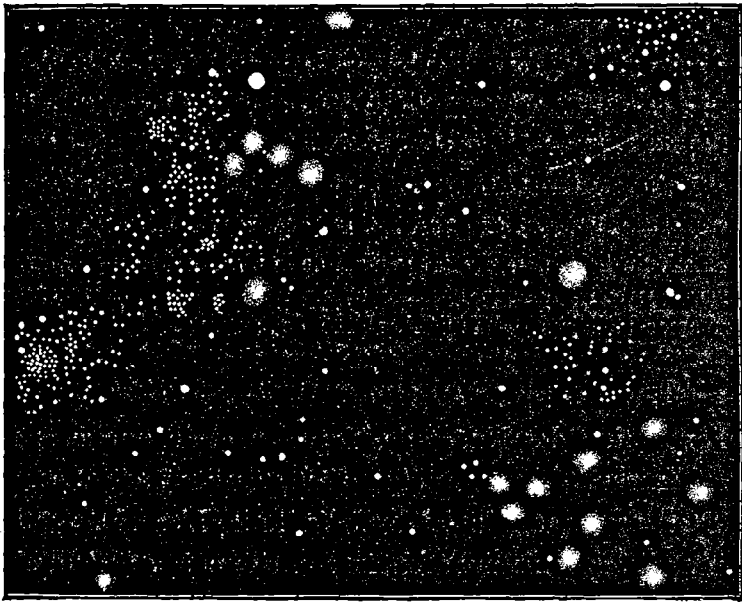


Fig. 196. — Les Nuées de Magellan. — Une portion du Grand Nuage, d'après J. Herschel.

tution de ces singulières nébulosités paraît tout à fait différente de celle de la Voie Lactée, dont elles se trouvent d'ailleurs assez éloignées. Elles se distinguent aussi des autres nébuleuses connues, et semblent comme des miniatures du ciel entier.

Un mot maintenant de la structure de chacune des deux nuées. Dans le Grand Nuage, Herschel a compté 582 étoiles isolées, parmi lesquelles une seule est de 5^e grandeur ; six autres sont de l'ordre immédiatement inférieur et seraient

sans doute visibles à l'œil nu, si leur lumière n'était effacée par la lucur générale. Puis viennent 291 nébuleuses et 46 amas d'étoiles formant autant de groupes distincts.

Dans le Petit Nuage, les étoiles isolées sont proportionnellement plus nombreuses, puisqu'on en compte 200, parmi lesquelles 3 sont de 6^e grandeur, tandis qu'il renferme seulement 37 nébuleuses et 7 amas stellaires.

Ces immenses agrégations, dont les éléments sont eux-mêmes en grande partie des fourmilières de soleils, nous amènent à la plus grande, en apparence du moins, de toutes les nébuleuses que l'œil contemple dans les profondeurs du ciel, à la Voie Lactée.

§ 3. — La Voie Lactée. — Aspect général de la Voie Lactée. — Son parcours à travers les constellations boréales et australes. — Résolution en étoiles et en amas stellaires. — Impénétrabilité de certaines régions de la Voie Lactée.

A l'exception des Nuées de Magellan et de quelques rares amas stellaires, toutes les nébuleuses que nous avons jusqu'ici passées en revue sont invisibles à l'œil nu. L'extrême petitesse de leurs dimensions apparentes contribue à ce résultat, au moins autant que les distances prodigieuses où elles se trouvent du monde solaire, distances qui affaiblissent si considérablement l'éclat des étoiles composantes, ou la lumière des nébulosités diffuses dont elles sont formées.

Il n'en est pas ainsi de la Voie Lactée. La lumière de cette immense zone est assez éclatante; son étendue, qui embrasse en longueur une circonférence entière de la voûte étoilée, et sa largeur sont assez considérables pour qu'on la distingue au premier coup d'œil, toutes les fois que le mouvement apparent du ciel l'amène au-dessus de l'horizon. Cette dernière circonstance se présente, il est vrai, toutes les nuits de l'année et sous toutes les latitudes; mais la Voie Lactée est d'autant

LE CIEL.

PLANCHE XXXVIII.

Grand-Chien

Orion

Taureau

Cocher

Pertuisé

Cassiopeé



Céphée

Cygne

Lyre

Aigle

Serpent

Ophiucus

VOIE LACTÉE BORÉALE

mieux visible qu'elle s'élève à une plus grande hauteur, et il est bien évident qu'il faut, pour la voir ainsi, choisir certaines époques de l'année ou certaines heures de la nuit.

L'apparence générale de la Voie Lactée est celle d'une longue traînée nébuleuse, qui suit à très-peu près la circonférence d'un grand cercle de la voûte céleste. De prime abord, on remarque qu'elle se divise en deux branches principales sur près de la moitié de sa longueur entière. Sa largeur est très-variable : tantôt elle se resserre au point de ne plus occuper que six à huit fois le diamètre lunaire; tantôt elle se répand sur une étendue quatre fois plus grande¹.

Avant de dire ce qu'on sait de la composition et de la structure de cette immense nébuleuse, attachons-nous à la décrire dans son ensemble, en signalant les principales constellations qu'elle traverse dans l'un et l'autre hémisphère. Nous nous aiderons pour cela des deux planches XXXVIII et XXXIX, qui la montrent telle qu'on la voit dans les instruments avec les variations de forme et d'éclat que présentent ses ramifications diverses.

La moitié boréale de la Voie Lactée s'étend depuis l'Aigle et le Serpent jusqu'à la Licorne, à la hauteur et dans le voisinage du baudrier d'Orion. Divisée en deux branches de l'équateur jusqu'au Cygne, elle longe Atair, et traverse, outre les premières constellations citées, la Flèche et le Renard. Près du Cygne, on aperçoit une place obscure, une sorte de trouée à travers laquelle le regard plonge dans les régions lointaines du ciel, par delà les limites de la zone. Un rameau se dirige vers la Petite-Ourse, dans Céphée, et c'est en cet endroit qu'elle approche le plus du pôle nord de la voûte

1. Les six planches où nous avons représenté le ciel étoilé donnent une idée de sa forme et de son aspect, pourvu qu'on n'oublie pas qu'elle n'apparaît, à l'œil nu, ni aussi éclatante, ni aussi nettement limitée, le dessinateur ayant dû, pour le but que nous nous proposons, exagérer ces deux éléments, la forme et l'éclat. Même remarque pour les planches XXXVIII et XXXIX.

céleste. Elle s'en éloigne ensuite sous la forme d'une branche unique et étroite qui traverse Cassiopée, passe dans le Cocher, tout près de la Chèvre, longe la partie orientale des Gémeaux et du Petit-Chien et la partie septentrionale d'Orion. Avant d'arriver en ce point, on aperçoit un rameau qui part de Persée et s'avance jusqu'au près des Pléiades, où il se perd. C'est dans l'Aigle et dans le Cygne que la zone lactée boréale présente le plus d'intensité; dans Persée et près de la Licorne qu'elle est la moins lumineuse.

Suivons-la maintenant dans son trajet à travers l'hémisphère austral.

Après avoir traversé l'équateur et longé Sirius, elle entre dans le Navire, en augmentant progressivement d'éclat. Là, elle se partage en plusieurs rameaux qui s'étendent en éventail sur une grande largeur, et s'évanouissent tous à la fois, pour reparaître un peu plus loin dans la même constellation. Ces rameaux se réunissent dans le Centaure et la Croix du Sud, en un point où la Voie Lactée offre son minimum de largeur. C'est là que se trouve le fameux Sac-à-Charbon, trou obscur en forme de poire, environné de toutes parts par la zone nébuleuse, et où l'œil n'aperçoit qu'une ou deux étoiles. Tout près d'Alpha du Centaure, la Voie Lactée se divise de nouveau en deux branches principales, avec nombreuses ramifications, et la bifurcation continue dans le Loup, l'Autel, le Scorpion, le Sagittaire, jusqu'au Serpent. Alors les deux branches, traversant de nouveau l'équateur, rejoignent la partie boréale de la Voie Lactée, au point même où notre description a commencé.

Dans cet immense parcours, qui embrasse, je l'ai dit, tout un grand cercle de la voûte céleste, la lucur de la nébuleuse est extrêmement variable d'éclat. On a vu que la partie la plus brillante de la Voie Lactée boréale est celle qui traverse l'Aigle et le Cygne. Dans l'hémisphère du Sud, la zone comprise entre le Navire et l'Autel est plus remarquable encore. Mais, comme

LE CIEL.

PLANCHE XXXIX.

Serpent

Opbicus

Scorpion

Autel

Loup

Centaurus



Croix du Sud

Navire

ou

Argo

Grand-Chien

Licorne

VOIE LACTÉE AUSTRALE

le fait observer Humboldt, une circonstance accroit encore la magnificence de la Voie Lactée dans l'hémisphère austral, c'est le voisinage d'une longue zone d'étoiles très-brillantes, que nous avons déjà remarquée en passant en revue les constellations, zone qui part de Sirius, dans le Grand-Chien, pour traverser le Navire, et les belles étoiles de la Croix, du Centaure et du Scorpion. Aussi, selon un observateur anglais, le capitaine Jacob, une personne non prévenue est avertie du lever au-dessus de l'horizon de cette partie du ciel, par l'illumination générale de l'atmosphère, illumination si vive qu'il la compare à la lueur que répand la nouvelle Lune.

Quand on examine la Voie Lactée à l'aide des télescopes, la nébulosité se résout généralement en une multitude d'étoiles très-rapprochées les unes des autres, mais fort irrégulièrement condensées. Les amas stellaires de formes irrégulières y sont surtout très-nombreux : il n'en est pas de même des amas de forme globulaire, qui ne se trouvent guère que dans la partie la plus brillante de la zone australe. « Si quelques régions, dit Humboldt, présentent de grands espaces où la lumière est uniformément répartie, il vient, immédiatement après, d'autres régions où des espaces brillant du plus vif éclat alternent avec des espaces pauvres en étoiles et dessinent sur le ciel des réseaux irrégulièrement lumineux. On trouve même, jusque dans l'intérieur de la Voie Lactée, des espaces obscurs où il est impossible de découvrir une seule étoile, fût-elle de dix-huitième ou de vingtième grandeur. A l'aspect de ces régions absolument vides, on ne saurait se défendre de l'idée que le rayon visuel a pénétré réellement dans l'espace, en traversant l'épaisseur entière de la couche stellaire qui nous environne¹. »

Dans un grand nombre de ses points, la zone nébuleuse a été complètement résolue, de sorte que les étoiles s'y pro-

1. Humboldt, *Cosmos*, III, p. 159.

jettent sur un fond noir, absolument dépourvu de toute nébulosité. Mais dans d'autres régions, derrière les étoiles, on aperçoit encore une lueur blanchâtre qui montre que dans ces directions la Voie Lactée est réellement impénétrable.

Nous examinerons, dans le Livre qui va suivre, quelle est, selon toute probabilité, la forme réelle de la Voie Lactée, et quelles conséquences on en a tirées, pour arriver à comprendre la structure générale de l'univers visible.

III

CONSTITUTION PHYSIQUE ET CHIMIQUE
DES NÉBULEUSES.

§ 1. — Hypothèse de la matière nébuleuse diffuse. — Couleurs et variabilité des nébuleuses. — Les diverses teintes colorées des nébuleuses résolubles s'expliquent par les couleurs des étoiles composantes. — Nébuleuses variables. — Disparition d'une nébuleuse.

Toutes les nébuleuses semées dans les profondeurs du ciel doivent-elles être considérées comme autant d'agglomérations d'étoiles, ne différant des amas globulaires que par la forme générale, le groupement des composantes? Ou bien doit-on penser que dans le nombre de ces nuages célestes, il en est qui sont composés d'une matière diffuse, vaporeuse, ou du moins formés par l'accumulation de corpuscules brillants, d'une grande ténuité relative, et n'ayant d'ailleurs aucune analogie avec les véritables corps célestes, avec les soleils?

L'hypothèse d'une matière nébuleuse, douée d'une lumière propre et répandue par masses immenses au sein de l'étendue, a été proposée, dès l'origine, par les astronomes dont les instruments ne parvenaient point à décomposer ces sortes de nuages cosmiques. Les grandes nébuleuses surtout, comme celle qui environne Thêta d'Orion, à forme irrégulière et tourmentée, avaient beaucoup contribué à l'admission de cette hypothèse, que l'autorité de W. Herschel ne contribua

pas peu à faire adopter. Les nébuleuses globulaires, peu à peu résolues, firent d'abord penser que les amas stellaires affectaient tous la forme arrondie sphérique, avec condensation lumineuse au centre, et c'est ce qui explique pourquoi l'idée de nébulosité réelle fut principalement réservée aux nébuleuses irrégulières.

Cependant, les observations modernes, effectuées avec des instruments d'une puissance inusitée, vinrent peu à peu démontrer l'identité de composition d'un grand nombre de ces dernières nébuleuses, avec les amas stellaires. Des milliers de petites étoiles apparurent, là où l'on n'avait pu voir auparavant qu'une lueur phosphorescente, laiteuse, et, selon l'expression des astronomes, d'un aspect indéfinissable et caractéristique. Les observateurs disaient de la nébuleuse d'Orion qu'elle ne fait naître aucune sensation d'étoiles et qu'on n'y remarque point ces élancements stellaires, indices d'une décomposition probable; la nébuleuse d'Andromède semblait devoir être rangée dans la même catégorie; or celle-ci a été récemment résolue, du moins en partie. Ainsi, l'hypothèse d'une matière diffuse et nébuleuse semblait reculer au fur et à mesure des progrès de l'observation.

Était-ce à dire qu'elle dût être tout à fait abandonnée? L'existence d'une matière de ce genre n'avait rien d'incompatible avec ce qu'on sait de la constitution physique des corps célestes. Les comètes, avec leurs noyaux vaporeux qui manifestent divers degrés de condensation, avec leurs auréoles et leurs queues si diffuses que les étoiles s'aperçoivent au travers, avec leurs faibles masses, prouvaient bien que cette existence serait possible et réelle. L'agglomération, de quelque nature qu'elle soit, qui produit la lueur zodiacale, venait encore à l'appui de l'hypothèse d'une matière nébuleuse. On n'avait néanmoins aucun témoignage positif de son existence, et les partisans de la résolubilité complète de toutes les nébuleuses se bornaient à arguer de la faiblesse relative

des instruments d'optique et de ce fait d'observation mentionné plus haut, que l'emploi de télescopes plus puissants étendait le nombre des amas stellaires proprement dits, tout en accroissant le nombre des nébuleuses irréductibles.

La question en était là, quand plusieurs astronomes se mirent à étudier la lumière des nébuleuses et la constitution de leurs spectres. Ce nouvel examen trancha définitivement la difficulté pendante, en faisant voir que certaines nébuleuses ne peuvent être considérées comme des amas d'étoiles, mais comme des agglomérations d'une matière gazeuse, à l'état d'incandescence. Avant d'indiquer les résultats de ces recherches, mentionnons quelques faits qui se rattachent au même ordre d'idées, nous voulons parler de la différence de couleur et de la variabilité de certaines nébuleuses.

En décrivant le plus beau des amas stellaires, l'amas du Toucan, nous avons vu que la partie centrale est colorée en rose, et enveloppée d'une bordure blanche concentrique. La nébuleuse ayant été entièrement résolue en étoiles, cette coloration appartient évidemment à chacune des composantes. C'est un fait qui n'a rien de surprenant, après ce que l'on a vu des étoiles colorées simples ou doubles. L'amas de la Croix du Sud (pl. XXXI) que nous avons vu formé d'un grand nombre d'étoiles blanches, parsemées de quelques étoiles rouges, vertes et bleues, apparaît comme une nébuleuse blanche. D'un autre côté, nous avons cité un amas du ciel austral entièrement composé d'étoiles bleues.

La coloration de quelques nébuleuses peut donc s'expliquer aisément par la couleur prédominante des étoiles dont elles sont formées. J. Herschel cite une nébuleuse planétaire, dont la lumière a l'éclat d'une étoile de sixième à septième grandeur, et dont le disque, légèrement elliptique, a un bord vif, clair, bien déterminé, et se distingue « par sa couleur qui est d'un beau bleu foncé, tirant un peu

sur le vert¹. » Le même astronome cite trois autres nébuleuses, dont la couleur est celle d'un bleu de ciel un peu clair. Comme ces dernières nébuleuses sont toutes des nébuleuses planétaires, il faut, si l'on admet l'hypothèse d'une matière diffuse, supposer que sa lumière a elle-même une couleur particulière, ce qui d'ailleurs n'offre aucune difficulté. La nébuleuse d'Orion offre, dans toutes ses parties, une teinte bleue verdâtre, d'autant plus remarquable qu'elle se trouve être, comme l'a remarqué le P. Secchi, celle d'un assez grand nombre d'étoiles de la même constellation. On va voir plus loin que cette nébuleuse est formée, au moins en partie, de masses gazeuses incandescentes.

Indépendamment des analogies de couleur, de distribution et, après tout et surtout, de constitution, qu'un grand nombre de nébuleuses présentent avec les étoiles, disséminées ou réunies en couples, il semblerait aujourd'hui constaté qu'il y a entre elles une ressemblance de plus : je veux parler de la variabilité d'éclat.

Deux nébuleuses, situées toutes les deux dans la constellation du Taureau, ont présenté de singuliers phénomènes. La première, voisine d'une étoile de dixième grandeur d'éclat variable, a offert des variations qui semblent correspondre avec celles de l'étoile², et même a fini par disparaître. La seconde nébuleuse, située près de l'étoile Zêta du Taureau, après avoir augmenté graduellement d'éclat pendant plus de trois mois³, disparut.

1. *Outlines of Astronomy*, 6^e édit., p. 645. — 2. D'Arrest, Hind, Chacornac.

3. Observée par M. Chacornac. La disparition ne fut décidément constatée que plus de six ans après le maximum d'éclat. Il eût été intéressant de savoir si aux phases d'accroissement a succédé une période de décroissance, ou si la disparition a été subite. La disparition d'une nébuleuse et la diminution lente et progressive de son éclat recevraient une explication toute naturelle de la théorie de Schiaparelli. Il suffit d'admettre avec cet astronome que, parmi les nébuleuses, il en est qui s'approchent ou s'éloignent du système solaire. Mais ici la disparition ayant suivi un accroissement d'éclat, ne peut s'expliquer par le mouvement de la nébulosité.

Des phénomènes analogues avaient déjà été constatés par W. Herschel. Deux étoiles, entourées de nébulosités circulaires en 1774, ne laissaient plus apercevoir aucune trace de ces enveloppes en 1811. Arago a signalé cet autre fait, qui se rapporte au même ordre de transformations : « Lacaille, dit-il dans une note de la bibliographie de W. Herschel, pendant son séjour au Cap, voyait dans la constellation d'Argo cinq petites étoiles au milieu d'une nébuleuse dont M. Dunlop, avec de bien meilleurs instruments, n'apercevait point de trace en 1825. »

Enfin, nous avons vu précédemment qu'il paraît difficile de concilier les observations et les dessins de la nébuleuse d'Orion, dus à plusieurs astronomes contemporains, sans être obligé d'admettre qu'il s'est manifesté des changements réels dans l'éclat des diverses régions de cette magnifique nébuleuse.

La variabilité, la disparition même d'une étoile, s'expliquent à l'aide d'hypothèses satisfaisantes. Il n'en est plus de même pour une nébuleuse, si l'on admet qu'elle soit nécessairement composée d'étoiles distinctes. Mais ces phénomènes paraissent moins étranges, aujourd'hui qu'on a acquis la certitude de l'existence d'une matière diffuse. Les variations d'éclat, l'extinction progressive ou même subite de la lumière sont, en effet, plus compréhensibles dans des masses de ce genre que dans un groupe d'étoiles.

§ 2. — Analyse spectrale de la lumière des nébuleuses. — Spectres lumineux formés de raies brillantes séparées, prouvant l'existence des nébuleuses gazeuses : nébuleuse annulaire de la Lyre ; Dumb-bell ; nébuleuse d'Orion. — Spectres continus des amas stellaires et des nébuleuses résolubles.

On a vu qu'il existe des différences profondes dans la constitution physique ou chimique des étoiles isolées. Toutes peuvent être sans doute considérées comme des soleils, si l'on

entend par là des astres qui, comme notre Soleil, brillent de leur lumière propre ; mais la matière qui les compose et dont l'incandescence les rend lumineux et visibles à une distance si prodigieuse, n'est pas, dans toutes les étoiles, au même état physique, ni formée des mêmes corps simples. Ce qui a lieu pour les étoiles isolées se rencontre probablement dans les étoiles des nébuleuses stellaires. Peut-être même, ces étoiles appartiennent-elles à des espèces particulières d'astres. C'est l'analyse spectroscopique qui pourra nous renseigner sur ces divers points. Voici, en attendant, ce que cette méthode a déjà révélé relativement à la constitution des nébuleuses.

C'est une nébuleuse de la constellation du Dragon qui a été étudiée pour la première fois de cette manière, par M. Huggins en 1864. Son spectre lui parut formé uniquement de trois raies brillantes isolées, d'où il faut conclure que ce ne peut être un amas d'étoiles distinctes, mais une véritable nébulosité, une agglomération de matière gazeuse, lumineuse ou incandescente. La plus brillante des trois raies observées coïncidait avec la plus forte des raies particulières à l'azote. « Il peut se faire toutefois, dit M. Huggins, que la présence de cette raie seule indique une forme de matière plus élémentaire que l'azote, et que nos moyens d'analyse n'ont pas encore pu nous faire connaître. » La plus faible des raies du spectre de la nébuleuse coïncide avec la raie verte de l'hydrogène. Enfin la raie intermédiaire, peu éloignée de celle du baryum, ne coïncide pas toutefois avec elle.

Outre les trois raies brillantes, on aperçoit aussi une bande colorée, formant un spectre continu extrêmement faible, et presque sans largeur, comme s'il provenait d'un point lumineux situé vers le centre de la nébulosité. La nébuleuse en question, qu'on rangeait auparavant parmi les nébuleuses planétaires, possède en effet un noyau petit, mais très-brillant. Huggins en conclut que probablement la matière formant ce noyau n'est pas à l'état de gaz, comme celle dont il

est environné, qu'elle est sous la forme d'un brouillard de particules solides ou liquides incandescentes.

Le même savant a étudié en tout soixante nébuleuses. Un tiers environ a présenté une constitution analogue à celle de la nébuleuse du Dragon, leurs spectres se réduisant à une ou plusieurs raies brillantes; les autres ont donné au contraire des spectres continus.

Citons parmi les nébuleuses de constitution gazeuse, et dont le spectre est formé de trois raies brillantes, une petite nébuleuse du Verseau, qui, dans le télescope de lord Rosse, apparaissait sous la forme d'un globe coupé par un anneau ou par sa tranche, ainsi qu'on voit Saturne à l'une de ses phases; puis, une autre nébuleuse de structure semblable, mais où l'anneau, vu de face, entoure le globe lumineux. Une nébuleuse en forme de spirale a donné 4 raies brillantes. La nébuleuse annulaire de la Lyre, ainsi que Dumb-bell, la célèbre nébuleuse du Renard, ont des spectres formés d'une raie brillante unique, qui est la plus forte des trois raies de la nébuleuse du Dragon.

Enfin la grande nébuleuse de Thêta d'Orion, qui, par sa teinte bleu-verdâtre, ressemble aux nébuleuses précédentes, a également fourni un spectre composé de 3 raies brillantes; ces raies sont bien définies et leurs intervalles tout à fait obscurs: c'est donc encore une nébulosité gazeuse. Mais il ne faut pas oublier que lord Rosse a vu, dans la nébuleuse annulaire de la Lyre et dans Dumb-bell, des points brillants; que le même astronome, armé de son puissant télescope, a découvert, sur le fond de la nébuleuse d'Orion, de très-petites étoiles rouges (cette teinte est peut-être due à un effet de contraste), étoiles trop fines pour fournir un spectre visible. Tout n'est donc pas dit sur la véritable structure de ces grandes masses; mais il n'en ressort pas moins, de l'analyse précédente, ce fait d'une si haute importance, à savoir que l'hypothèse de W. Herschel sur l'existence d'une matière à

l'état de nébulosité diffuse, brillant de sa propre lumière, était fondée.

La grande nébuleuse d'Andromède est de constitution toute différente. Son spectre n'est plus formé de raies brillantes séparées : il donne une bande de lumière continue, mais il est incomplet : le rouge et une partie de l'orangé manquent. Or, les véritables amas stellaires, les nébuleuses résolues par le télescope en points brillants distincts ont également un spectre continu. Ainsi l'amas stellaire d'Hercule donne un spectre semblable. Ce résultat s'accorde bien avec les observations de Bond, qui a décomposé en partie la nébuleuse d'Andromède, et y a compté, ainsi que nous l'avons rapporté plus haut, jusqu'à 1500 étoiles distinctes.

En résumé, sur soixante nébuleuses dont la lumière a été analysée par Huggins, 41 ont donné un spectre continu. Sur ce nombre, il y a 10 amas stellaires et 15 autres nébuleuses considérées par les astronomes comme résolubles en étoiles. Aucune des 19 autres nébuleuses donnant un spectre formé de raies brillantes n'a pu être résolue en étoiles.

LIVRE TROISIÈME.

STRUCTURE DE L'UNIVERS VISIBLE.

I

LE SOLEIL DANS LA VOIE LACTÉE.

Forme réelle de la couche stellaire qui compose la Voie Lactée. — Position du Soleil à l'intérieur de cette couche. — Idée générale des dimensions de la grande Nébuleuse.

La Voie Lactée, avons-nous dit, se déroule sur le fond du ciel, à peu près le long d'une circonférence de grand cercle de la sphère étoilée, abstraction faite, bien entendu, des irrégularités de sa forme et des inégalités de largeur qu'elle présente. Néanmoins, elle divise la voûte céleste en deux parties qui n'offrent pas tout à fait la même étendue, la plus petite des deux étant celle qui renferme les Poissons, la Baleine, ou si l'on veut les constellations voisines du point équinoxial du Printemps.

Il résulte évidemment de cette apparence générale, que la Voie Lactée entoure de toutes parts le lieu que le Soleil occupe dans l'espace.

Mais quelle est la forme véritable de cette prodigieuse agré-

gation, qui, après l'évaluation de W. Herschel, évaluation déduite d'un nombre considérable de jauges célestes, ne contient pas moins de 18 millions d'étoiles? La faible largeur de la zone, comparée à ses autres dimensions, fait voir qu'elle est formée par une couche de soleils, distribués en amas irréguliers, et compris entre deux plans à peu près parallèles, qui donnent à l'ensemble la figure d'une meule aplatie et dédoublée sur près de la moitié de sa circonférence.

C'est à peu près au centre de cette gigantesque agglomération d'étoiles, vers le milieu de l'épaisseur, et près de la région où a lieu la séparation de la zone en deux couches ou lames principales, que se trouve, perdu dans ce tourbillon de mondes, notre petit monde solaire, dont les dimensions nous ont semblé d'abord si grandes, qu'un second aperçu de l'univers stellaire nous a montré comme une étoile du second ou du troisième ordre, et qui maintenant se trouve n'être plus qu'un atome dans la poussière lumineuse de la Voie Lactée.

La position du Soleil dans la zone rend compte de l'aspect général de tout le firmament, et démontre en outre que toutes les étoiles çà et là disséminées, et en apparence éloignées de la grande nébuleuse, en font vraisemblablement partie.

En effet, quand du point où nous sommes situés, le rayon visuel est dirigé dans le sens de la longueur de la couche stellaire, il rencontre des files pour ainsi dire indéfinies d'étoiles et d'amas d'étoiles, qui donnent à la Voie Lactée sa densité et son éclat maximum. Si, au contraire, l'œil regarde dans des directions de moins en moins inclinées, le rayon visuel traverse des couches de moins en moins épaisses, et la densité doit décroître avec une grande rapidité. Enfin dans le sens perpendiculaire à l'épaisseur de la couche, les étoiles doivent paraître dispersées, comme cela a lieu dans les parties du ciel les plus éloignées en apparence de la grande zone nébuleuse. « C'est ainsi, dit J. Herschel, dans ses *Outlines of Astronomy*, qu'on voit une faible brume répandue dans l'atmosphère en

couches d'une mince épaisseur, paraître à l'horizon comme un banc nébuleux d'une densité très-prononcée, par le simple effet de l'accroissement rapide du rayon visuel. »

La figure 197, qui représente, d'après les vues d'Herschel, une coupe de la Voie Lactée, perpendiculaire à son épaisseur et dans le sens du grand diamètre qui passe par le lieu du Soleil, rend l'explication précédente très-aisée à concevoir.

A l'appui de cette conception si rationnelle, nous mentionnerons la décroissance rapide de la richesse en étoiles, {distinct-

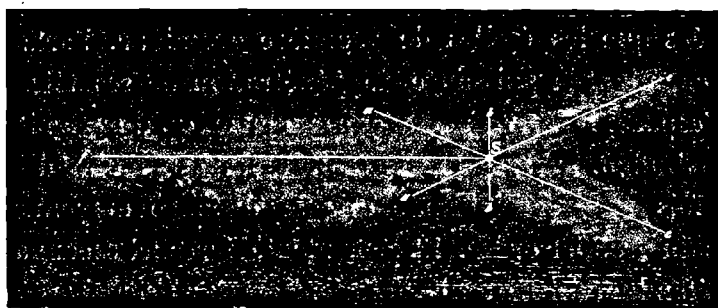


Fig. 197. — Coupe géométrique de la Voie Lactée; position du Soleil dans la zone.

quant les régions célestes qui, de part et d'autre de la Voie Lactée, vont jusqu'aux deux pôles du grand cercle que suit la zone nébuleuse.

Les pôles de la Voie Lactée sont situés, le pôle Nord, près de la Chevelure de Bérénice; le pôle Sud, dans la constellation de la Baleine. Quand, de l'un ou de l'autre de ces points, on s'avance progressivement vers la Voie Lactée, le nombre moyen des étoiles va en croissant, d'abord très-lentement, puis, à partir du voisinage du plan galactique, avec une très-grande rapidité; de sorte que ce nombre est environ trente fois plus considérable dans ce plan que dans les régions polaires dont nous parlons ici.

Jusqu'à présent nous n'avons qu'une idée générale de la forme de la Voie Lactée et de la position qu'occupe le Soleil

au sein de l'immense nébuleuse. Pour compléter ce qu'on sait de sa structure, il faut y joindre quelques notions sur ses dimensions réelles. En comparant l'éclat photométrique des étoiles des divers ordres de grandeur, avec l'ordre de leurs distances probables, W. Herschel est arrivé aux plus étonnantes considérations sur les dimensions de la Voie Lactée. Les étoiles visibles à l'œil nu comprennent, on le sait, les six premiers ordres de grandeur. L'illustre astronome de Slough établit qu'en moyenne celles du sixième ordre, c'est-à-dire les plus petites étoiles visibles à l'œil nu, sont 12 fois plus éloignées que les étoiles de première grandeur. Partant de là, et calculant la puissance de pénétration de ses télescopes dans l'espace, il arrive à cette conséquence, qu'il aperçoit dans les profondeurs du ciel des étoiles situées à une distance 2300 fois plus considérable que la distance moyenne des étoiles du premier ordre. Et cependant, Herschel reconnaissait que l'étendue visible de la Voie Lactée, dans certaines de ses régions, ne faisait qu'augmenter avec la puissance des instruments, que même son grand télescope de 40 pieds ne parvenait point aux limites de la nébuleuse, qu'il déclare *insondable*.

Maintenant, qu'on se rappelle la distance effrayante où nous sommes déjà de l'étoile la plus rapprochée de notre monde, distance telle que la lumière met des années à la franchir, et l'on arrivera à ce résultat prodigieux, que la Voie Lactée, dans la direction des plus lointaines régions accessibles à notre vue, exigerait pour être traversée d'outre en outre par un rayon lumineux, plus de dix mille années. Ainsi, lorsque, mettant l'œil à l'oculaire d'un des grands instruments d'astronomie, nous percevons sur le fond noir du ciel les points lumineux les plus faibles, nous recevons sur notre rétine l'impression d'un mouvement ondulatoire, parti, il y a dix mille ans, de la masse incandescente de soleils pareils au nôtre, et faisant comme lui partie du même groupe sidéral.

Évaluant l'épaisseur de la Voie Lactée, d'après sa largeur apparente, Herschel arrive à ce résultat, que cette épaisseur est environ 80 fois plus grande que la distance des étoiles de première grandeur. Ainsi, la couche stellaire déborde de beaucoup, dans ce sens, l'étendue de la vue simple. D'où résulte cette conséquence, déjà énoncée plus haut, que « non-seulement notre Soleil, mais toutes les étoiles que nous pouvons voir à l'œil nu, sont profondément plongés dans la Voie Lactée et en font une portion intégrante¹. »

1. Struve, *Études d'astronomie stellaire*.

II

STRUCTURE GÉNÉRALE DE L'UNIVERS VISIBLE.

Distances probables des nébuleuses visibles dans les plus puissants télescopes.
Les voies lactées. — Idée générale de la constitution de l'univers.

« Il est extrêmement probable, dit W. Herschel dans son Mémoire de 1818, que quelques-unes des nébuleuses de forme cométaire, plusieurs des nébuleuses stellaires et un nombre considérable d'étoiles nébuleuses, sont des amas déguisés d'étoiles, relégués dans l'espace à de telles profondeurs que le pouvoir de pénétration du télescope n'a pu jusqu'ici les résoudre. » Cette judicieuse opinion, nous l'avons vu, est aujourd'hui devenue une certitude, grâce aux perfectionnements des instruments eux-mêmes.

Les amas d'étoiles sont donc les plus éloignés des objets célestes que l'œil puisse atteindre : l'accumulation, sur un espace étroit, d'une multitude de points lumineux, permet seule d'en distinguer l'ensemble. L'astronome dont nous venons de citer les paroles évaluait la distance de la 75^e nébuleuse du catalogue de Messier, à plus de sept cents fois celle des étoiles de première grandeur. Elle n'est pas visible à l'œil nu, mais elle le deviendrait si sa distance était réduite au quart. En la supposant reculée à cinq fois sa distance actuelle, c'est-à-dire à 35 000 fois la distance de Sirius, le grand téles-

cope herschélien de 40 pieds de foyer la ferait voir encore comme une nébuleuse non résoluble.

Il est donc infiniment probable que, dans le nombre considérable des nébuleuses disséminées en dehors de la Voie Lactée dans les profondeurs du ciel, et qui, bien que résolubles, sont encore indécomposables en étoiles, beaucoup sont aussi éloignées que celle dont il vient d'être question. Plusieurs sans doute le sont beaucoup plus encore. Or, pour arriver jusqu'à nous, les rayons de lumière partis des agglomérations d'étoiles situés à une telle distance ont dû mettre plus de sept cent mille années. Quand on réfléchit à l'immensité de ces durées qui embrassent des milliers de siècles, à la vitesse foudroyante du mouvement lumineux au sein de l'éther, la pensée reste confondue en présence de tels abîmes, dont l'étendue mesure, non pas certes les dimensions de l'univers — elles sont inexprimables — mais celles de la portion de l'univers qui nous environne et dont l'astronomie a étudié la structure.

Nous pouvons maintenant nous représenter l'univers même, ainsi limité, dans son majestueux ensemble.

Dans les profondeurs de l'espace sans bornes, existent de nombreuses agglomérations d'étoiles, qui sont comme les archipels de cet océan indéfini. Chacune de ces voies lactées est elle-même formée d'une multitude d'amas, où les soleils se groupent comme en autant de systèmes, dont la condensation est plus prononcée que dans l'ensemble de la nébuleuse. Les soleils sont les individus de ces associations de mondes. Mais là encore se retrouve la tendance au groupement; et les étoiles doubles et multiples nous font voir des systèmes plus simples de deux ou trois soleils gravitant les uns autour des autres.

Outre ces amas stellaires, il existe d'autres grandes agglomérations, formées de matière non condensée, à l'état de gaz lumineux, ou encore à l'état de corpuscules solides ou liquides incandescents. Doit-on les considérer comme formant les matériaux de futures étoiles, ou bien comme les résidus de mondes

en dissolution ? Toutes les conjectures à cet égard sont permises.

Là se bornerait ce qu'on peut savoir ou simplement conjecturer de la structure de l'univers, si nous ne faisons nous-même partie d'un des plus simples de ces mondes solaires, si l'étude du système planétaire et de son organisation variée ne nous apprenait quel rôle peut jouer l'un de ces millions de corps célestes, qui se meuvent dans l'espace en projetant au loin leurs rayons de chaleur et de lumière.

Chacun de ces groupes élémentaires peut lui-même se subdiviser en groupes plus petits, en systèmes de corps qui gravitent autour d'un corps central, offrant le spectacle toujours merveilleux d'un monde en miniature. Qui sait d'ailleurs ce que nous révélerait l'étude de chacun des soleils qui peuplent l'étendue, s'il nous était donné de pénétrer dans la sphère de leur action et d'observer les phénomènes dont cette sphère est le théâtre ? Mais, si l'imagination a le droit de former sur ce sujet toutes les conjectures, il n'en est pas de même de la science, dont la méthode sévère rejette, sans les condamner, les hypothèses qui n'ont point pour base les faits, l'observation et les conséquences tirées des faits par un raisonnement rigoureux.

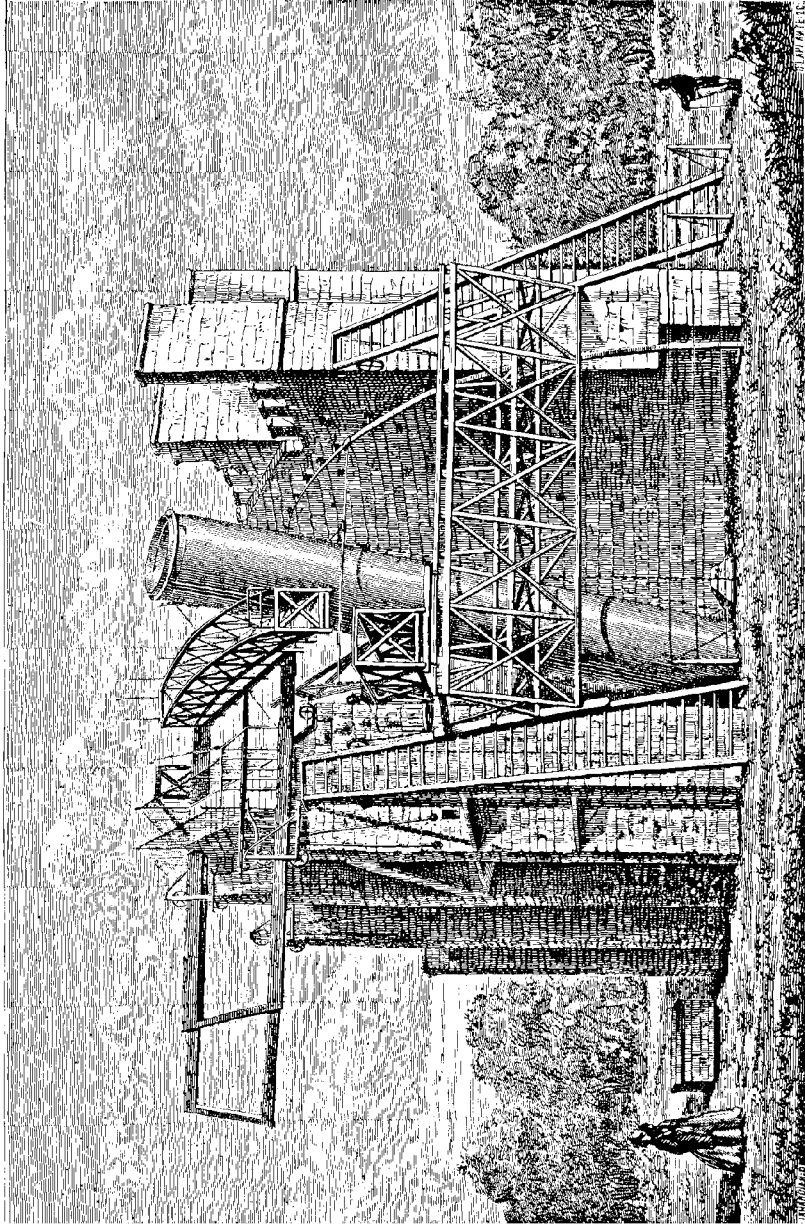
Ici se termine la partie purement descriptive de notre tâche, celle qui avait pour objet de donner un tableau des phénomènes du ciel, d'après les connaissances astronomiques actuelles. Je ne sais si je me trompe, mais j'espère que plus d'un lecteur voudra pénétrer un peu plus avant, et ne sera point fâché de comprendre, autant qu'il est possible sans préparation scientifique préalable, les lois qui régissent les mouvements célestes et rendent raison des phénomènes les plus complexes. Lois simples et sublimes, dont la conquête est pour les savants qui les ont trouvées et pour la raison humaine un éternel honneur !

TROISIÈME PARTIE



LES LOIS DE L'ASTRONOMIE

LES MÉTHODES. — LES INSTRUMENTS.



GRAND TÉLESCOPE DE LORD ROSSE
à Parsonstown (Irlande).

TROISIÈME PARTIE.

LES LOIS DE L'ASTRONOMIE.

LES MÉTHODES. — LES INSTRUMENTS.

Le merveilleux panorama de l'univers visible s'est maintenant déroulé devant nos yeux : le monde solaire, exploré dans chacun des astres qui le composent, nous a fait voir en détail ce qu'est un de ces soleils dont l'infini de l'espace est semé, ce que peuvent être les astres, non lumineux par eux-mêmes, qui circulent autour de chacun d'entre eux, quels sont leurs mouvements, leurs dimensions, leur constitution physique. Le monde sidéral nous a révélé ses magnificences, dans les groupes et les associations gigantesques de ses millions de soleils ; et nous avons pu nous former une idée de la structure et des effrayantes dimensions de l'univers, jusqu'aux dernières limites où la vue peut pénétrer à l'aide du télescope.

En nous arrêtant là dans cette description physique du ciel, le but que nous nous sommes proposé serait, pour ainsi dire, atteint, autant du moins que le comporte le cadre de cet ouvrage. Les résultats sensibles des investigations astronomiques

y ont été passés en revue avec tous les développements propres à en faire saisir l'intérêt et la grandeur.

Et cependant, nous avons dû laisser dans l'ombre, ou effleuré à peine tout ce qui fait de l'Astronomie, envisagée au point de vue de l'intelligence humaine, la plus exacte, la plus admirable, la plus sublime des sciences naturelles. Je veux parler des lois des mouvements célestes, de ces formules aujourd'hui si simples et qui ont exigé tant de dépense de travail, de temps et de génie, pour être enfin découvertes ; de ces précieuses conquêtes de l'esprit, qui l'ont fait pénétrer au cœur même des phénomènes pour en découvrir les rapports et les causes, et qui permettent aujourd'hui aux savants d'en prédire le retour, d'en calculer les variations avec une précision incomparable.

Grâce aux lois astronomiques, les mouvements des corps célestes, leurs distances, leurs dimensions, leurs poids mêmes ont pu être tracés, calculés, évalués. Les positions relatives des corps du système solaire, des planètes et de leurs satellites, et même celles des comètes, positions si variables, influencées par tant d'éléments, peuvent être assignées longtemps d'avance, et fournir ainsi aux autres sciences et aux arts tels que celui de la navigation, les plus précieux documents.

Ce n'est pas dans un tableau physique des phénomènes du ciel que l'on doit s'attendre à un exposé un peu rigoureux de ces lois. L'intervention des sciences mathématiques serait alors obligée, et leur langage, si énigmatique pour qui n'y est point initié, si simple et si clair pour ceux qui en ont fait une étude spéciale, serait le truchement indispensable d'un exposé de ce genre. Mais ce n'est point à dire pour cela qu'on doive se résoudre à n'avoir aucune idée des méthodes et des lois astronomiques, et qu'il y ait là un sanctuaire tout à fait interdit aux profanes. A défaut d'une démonstration rigoureusement mathématique, ne peut-on se contenter d'une exposition claire et

bien définie, de comparaisons justes quoique familières, grâce auxquelles on arrive à saisir l'esprit et la portée des lois et des méthodes? Pour mon compte, je le pense, et c'est ce qui m'a décidé à écrire cette Troisième Partie du CIEL, pour les esprits curieux qui aiment à se rendre compte, et à ne pas toujours croire sur parole.

Les lois des mouvements des planètes, telles que les a formulées Képler; celles de la pesanteur, découvertes par Galilée et étendues par Newton aux mouvements des astres, les phénomènes secondaires qui en dérivent, comme les perturbations planétaires et les marées; la magnifique hypothèse à l'aide de laquelle Laplace a expliqué l'origine et la formation de notre monde, seront l'objet d'un premier Livre.

Viendront ensuite quelques détails sur les méthodes qui ont permis aux savants de prédire les éclipses, de mesurer les distances de la Lune, du Soleil et des étoiles: détails qui feront, je l'espère, comprendre la possibilité de ces mesures et de ces prédictions, que tant de gens même éclairés ont une tendance à suspecter encore. Enfin je terminerai par une description des principaux instruments employés par les astronomes; et nous visiterons ensemble un de ces mystérieux édifices où, pendant le silence de la nuit, tant d'hommes dévoués à la science ont exploré et explorent encore maintenant les profondeurs du ciel.

LIVRE PREMIER.

LOIS DE KÉPLER. — GRAVITATION UNIVERSELLE.

I

LOIS DE KÉPLER.

Les planètes décrivent des ellipses autour du Soleil. — Lois des aires. — Rapport entre les temps des révolutions planétaires et les moyennes distances au Soleil.

Copernic avait jeté les bases de l'astronomie moderne en découvrant le vrai système des mouvements de la Terre et des Planètes autour du Soleil. Galilée consolida l'édifice, en appuyant le système sur des preuves nouvelles.

Mais la forme précise de l'orbite terrestre et des autres orbites planétaires, les vitesses des astres aux diverses époques de leurs révolutions, leurs distances relatives à l'astre central restaient autant d'inconnues, dont la détermination était indispensable pour les progrès futurs de l'Astronomie.

Cette détermination ne se fit pas longtemps attendre.

Grâce au génie et à la patience persévérante de Képler, il s'écoula moins d'un siècle avant la solution complète de ces difficiles problèmes. Prenant pour base de ses recherches les

observations accumulées par son maître Tycho-Brahé, ce grand homme parvint après dix-sept années d'un travail opiniâtre, à la découverte de trois lois, auxquelles la reconnaissance de la postérité a attaché son nom. Ce sont ces lois que nous allons maintenant essayer de faire comprendre, afin de compléter et de préciser les idées dont le tableau du monde solaire nous a donné une première ébauche.

Nous savons qu'une planète quelconque se meut autour du Soleil, en décrivant une ligne continue dont tous les points se trouvent placés dans un même plan idéal contenant en même temps le centre du Soleil. Chaque orbite est ce qu'on nomme en géométrie une courbe *plane*. Quelle est la forme de cette courbe, et quelle position le Soleil occupe-t-il précisément dans son plan ? C'est la réponse à ces deux questions qui forme l'énoncé de la première loi de Képler.

L'orbite de chaque planète est une courbe ovale, une *Ellipse*. Mais enfin, quelle est la définition rigoureuse de l'Ellipse ?

Prenez un fil dont vous attacherez les deux extrémités à deux clous, ou à deux épingles. Enfoncez ces épingles, ces clous, dans un papier, une planche, sur la surface plane enfin où vous voulez tracer la ligne courbe dont il s'agit. Mais ayez soin que la portion du fil comprise entre les deux points fixes reste plus longue que la distance de ces points. Cela fait, à l'aide d'un crayon, tendez le fil, assez pour que ses deux portions deviennent des lignes droites, et de manière que la pointe du crayon puisse marcher sur le papier ou sur la planche. Alors faites mouvoir le crayon le long du fil toujours tendu, la pointe y tracera une moitié de courbe que vous complétez aisément en retournant le fil de l'autre côté de la ligne droite qui joint les points fixes. Le dessin suivant figure l'opération que nous venons de décrire, et montre quelle est la forme de la courbe obtenue.

Telle est la ligne qu'on nomme *Ellipse*, en géométrie.

Les deux points où les extrémités du fil étaient fixées ont reçu le nom de *foyers*, et les deux portions du fil qui aboutissent en chaque point de l'Ellipse sont les *rayons vecteurs*¹ de ce point. Il est facile de voir que la courbe est allongée dans le sens de la ligne qui joint les foyers. Cette ligne en est le plus grand diamètre, et se nomme le *grand axe* de l'Ellipse. Le milieu du grand axe est le centre de la courbe.

Si, en conservant les mêmes foyers, vous prenez, pour décrire l'Ellipse, des fils de plus en plus petits, vous obtiendrez

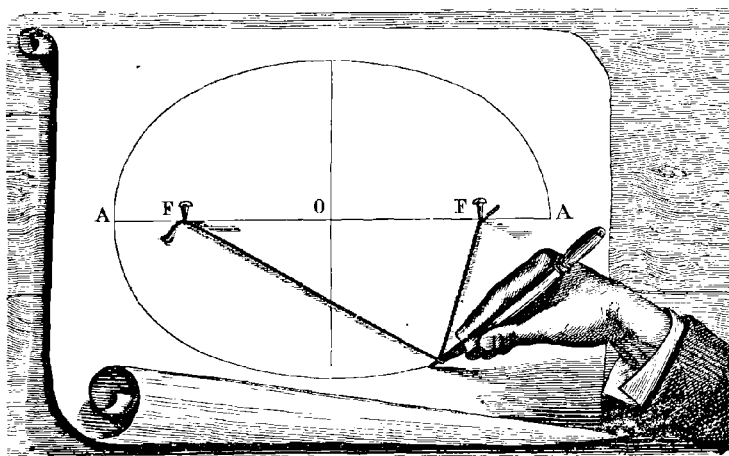


Fig. 198. — Procédé de description de l'Ellipse.

des ellipses de plus en plus allongées. Le contraire arriverait, si vous preniez des fils de longueurs croissantes. Alors les ellipses tracées se rapprocheraient de plus en plus du *Cercle*, sans jamais être, cependant, rigoureusement des cercles.

Enfin, si, avec une même longueur de fil, ce sont les foyers que vous éloignez ou que vous rapprochez, les mêmes différences de forme se présenteront. Dans ce cas, la longueur du

1. Comme la longueur du fil reste constante, la somme des rayons vecteurs est la même en tous les points de l'ellipse. Cette propriété sert, en géométrie, de définition à cette courbe,

grand axe restera la même ; mais plus les foyers seront éloignés, plus la forme ovale sera allongée ; plus ils seront rapprochés, plus cette forme ressemblera au cercle : elle deviendrait un cercle même, si les foyers se confondaient en un même point.

En voilà assez, je pense, pour faire comprendre l'énoncé suivant de la première loi de Képler :

Chaque planète décrit, autour du Soleil, une orbite de forme elliptique, et le centre du Soleil occupe toujours l'un des deux foyers de l'Ellipse.

Nous avons vu déjà que les dimensions des orbites décrites par les planètes diffèrent entre elles ; et que l'allongement de ces courbes, mesuré par le nombre qu'on nomme *l'excentricité de l'orbite*, est loin aussi d'être le même pour toutes. Les unes sont presque circulaires : telles sont les orbites de la Terre, de Neptune, et surtout de Vénus. Les autres sont plus allongées, telles sont celles de Mercure et de la plupart des petites planètes qui circulent entre Jupiter et Mars. Enfin, dans le monde solaire, ce sont les comètes qui ont les orbites les plus allongées, et, parmi les comètes dont le retour a été constaté, celle de Halley se meut dans l'orbite la plus excentrique.

Il résulte évidemment de la première loi de Képler, que la distance d'une planète au Soleil varie continuellement dans le cours d'une révolution, et prend toutes les valeurs possibles entre deux distances extrêmes, qui correspondent aux deux positions occupées par la planète, lorsqu'elle se trouve à l'une ou à l'autre des extrémités du grand axe de l'orbite, en d'autres termes, au périhélie ou à l'aphélie.

La vitesse d'une planète le long de son orbite elliptique est-elle toujours la même en tous ses points ? Non. Le mouvement est d'autant plus rapide que la planète est plus rapprochée du Soleil. Mais de quelle manière cette vitesse varie-t-elle, c'est ce que va nous apprendre la seconde loi de Képler.

Considérons une même planète à diverses époques de sa révolution, et supposons qu'on marque sur son orbite au-

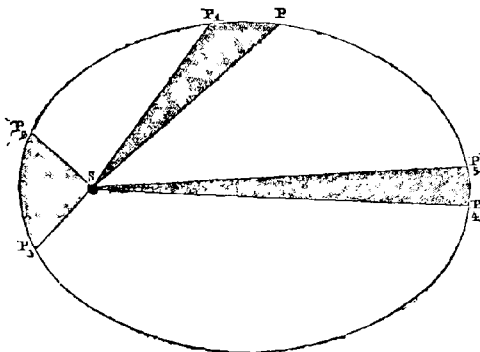


Fig. 199. — Loi des aires; égalité des surfaces écrites en temps égaux par le rayon vecteur d'une planète.

tant d'arcs parcourus par la planète en des temps égaux : PP_1 , P_2P_3 , P_4P_5 .

Nous avons dit que la vitesse de l'astre varie. Cela ne revient-il pas à dire que les trois chemins parcourus sont d'inégale longueur? Évidemment; de sorte que la difficulté consistait à trouver un rapport entre ces longueurs constamment variables. Menons au Soleil les rayons vecteurs¹ de la planète dans chacune des positions considérées : nous formerons ainsi autant de triangles qu'il y a d'arcs comparés. Eh bien, les surfaces ou aires de ces triangles, dont les bases, retenons-le, sont des portions de l'orbite décrites en des durées équivalentes, sont toujours égales. Dès lors, si les durées deviennent doubles, triples, quadruples, etc., les aires des triangles formés par les rayons vecteurs seront doubles, triples, quadruples.

Képler a donc dû formuler ainsi sa seconde loi :

Les aires décrites ou balayées par les rayons vecteurs

1. Dans les orbites planétaires, on ne considère qu'un des deux foyers de la courbe, celui qu'occupe le Soleil; en chaque position de la planète, il n'y a donc aussi qu'un seul rayon vecteur.

d'une planète autour du foyer solaire sont proportionnelles aux temps employés à les décrire.

Ne ressort-il pas clairement de cette seconde loi, que les arcs décrits dans les temps égaux doivent être d'autant plus petits que la planète est plus éloignée du Soleil, d'autant plus grands qu'elle en est plus rapprochée, en un mot que la vitesse de la planète au périhélie est plus grande que sa vitesse à l'aphélie ? Les triangles regagnent ainsi dans le sens de la longueur ce qu'ils perdent dans le sens de la base, et l'égalité de leurs surfaces reste constante.

Les deux premières lois de Képler ne s'appliquent pas seulement aux orbites des planètes principales, mais encore aux orbites des satellites. Ainsi, la courbe décrite par la Lune autour de la Terre considérée comme immobile est une ellipse, et notre globe occupe un de ses foyers. De plus, la vitesse de notre satellite est telle, que si l'on partage son orbite en portions parcourues en des temps égaux, tous les triangles formés par les rayons vecteurs lunaires en ces portions diverses ont en surface une égale étendue.

Arrivons maintenant à la troisième loi de Képler, à celle qui lui a coûté le plus d'efforts. Plus abstraite que les deux premières, mais non moins simple dans sa formule, elle est d'une importance capitale pour l'intelligence des connaissances astronomiques, et mérite à tous égards notre attention.

Les deux premières lois ont pour objet chaque planète considérée à part, isolément, et subsisteraient, alors même que le monde solaire serait réduit à deux astres uniques, le Soleil et une planète. La troisième loi établit une relation entre deux planètes quelconques du système, et dès lors son énoncé disparaîtrait dans l'hypothèse précédente.

Rappelons-nous ce fait fondamental, que les distances moyennes des diverses planètes au Soleil vont en croissant depuis Mercure jusqu'à Neptune, et qu'il en est de même des durées des révolutions de tous ces corps. Mais quel rapport

existe-t-il entre les longueurs de ces périodes et les distances, ou ce qui revient au même, entre les durées des révolutions et les grands axes des orbites? Tel est le problème résolu par la troisième découverte du disciple de Tycho-Brahé.

Écrivons en deux colonnes distinctes les nombres qui mesurent, pour les planètes principales, les durées de leurs révolutions exprimées en *jours moyens*, et ceux qui mesurent leurs doubles distances moyennes au Soleil, exprimées en millièmes de la double distance moyenne de la Terre. Nous aurons ce tableau :

	Durées des révolutions.	Doubles distances moyennes au Soleil
	j. m.	ou grands axes des orbites.
Mercure. . . .	87.96 926	387.10
Vénus.	224.70 019	723.33
La Terre	365.29 637	1 000.00
Mars	686.98 965	1 523.69
Jupiter	4 332.58 482	5 202.80
Saturne	10 759.21 982	9 538.85
Uranus	30 686.82 083	19 192.64
Neptune. . . .	60 126.72 000	30 036.97

Imaginons maintenant qu'on multiplie chacune des durées des révolutions par elle-même. Multiplier un nombre par lui-même, c'est former ce qu'on appelle en arithmétique son *carré*. Cette première opération très-simple donnera donc les *carrés des temps des révolutions* des planètes. Voilà pour la première colonne.

Passons à la seconde. Multiplions aussi par lui-même chacun des nombres qui mesurent les grands axes des orbites. Cette première opération donnera les carrés de ces axes. Multiplions encore chacun des carrés, non point par lui-même, mais bien par le grand axe. Les produits qu'on obtiendra par cette série de doubles multiplications se nomment, en arithmétique, les *cubes* des grands axes.

Ces opérations effectuées, considérons deux carrés provenant de la première colonne, puis les deux cubes correspon-

dants de la seconde. Divisons les deux carrés l'un par l'autre : nous aurons ce qu'on nomme leur rapport. Divisons de même les deux cubes, et comparons les deux quotients¹.

Nous les trouverons égaux. Et cela, quelles que soient les deux planètes que nous ayons choisies. C'est dans l'égalité de ces deux rapports que consiste la troisième loi de Képler, dont voici dès lors l'énoncé :

Les carrés des temps des révolutions des planètes autour du Soleil sont proportionnels aux cubes des grands axes des orbites.

De cette formule découle immédiatement une importante conséquence : c'est qu'il suffit de connaître les durées des révolutions des planètes, pour en déduire les dimensions de leurs grands axes et par suite leurs moyennes distances au Soleil. Alors, si une seule de ces distances est connue en valeur absolue, il en est de même de toutes les autres. La connaissance des distances relatives des différents corps du monde solaire se trouve ainsi ramenée à la recherche d'une seule d'entre elles, de la Terre, par exemple. Plus loin, nous essayerons de faire connaître la méthode qui a permis d'évaluer en rayons de la Terre, et dès lors en lieues, la distance où nous sommes de l'astre central.

Enfin, terminons en disant que la troisième loi de Képler s'applique aux satellites d'une même planète, c'est-à-dire est vraie en particulier pour le monde de Jupiter, pour ceux de Saturne et d'Uranus.

1. Prenons Vénus et Jupiter pour exemples. En ne prenant, pour abrégé, que les deux premières décimales, les carrés des temps sont, pour Vénus, 50 490.0900; et pour Jupiter, 18 771 249.4564. Les cubes des grands axes sont, à une unité près, pour Vénus, 378 450 805 ; pour Jupiter, 140 835 253 325. Divisons les carrés l'un par l'autre, le quotient est le nombre 372. Divisons les cubes l'un par l'autre, le quotient est encore le nombre 372.

Ces deux quotients changeraient si l'on considérait deux autres planètes ; mais leur égalité persisterait. Or, c'est en cette égalité même que consiste la troisième loi de Képler.

II

GRAVITATION UNIVERSELLE.

De la pesanteur à la surface de la Terre ; loi de diminution de la pesanteur avec l'accroissement de la distance. — Chute de la Lune vers la Terre. — Loi universelle de la gravitation. — Comment on peut évaluer le poids du Soleil ou d'une planète quelconque.

Tous les corps, visibles et tangibles, ou mieux, solides, liquides et gazeux, que nous connaissons à la surface de la Terre, sont soumis à la loi de la pesanteur, sont *pesants*. Que signifient ces expressions : corps pesants, pesanteur ? Que toute portion de matière abandonnée à elle-même, dans l'atmosphère ou dans le vide, tombe en suivant la direction de la verticale du lieu de la chute. Que si ce corps est soutenu et reste en équilibre, en repos sur le sol, il n'en exerce pas moins une action, une pression sur celui qui l'empêche de tomber, pression dont il est aisé de vérifier l'existence par l'effort que la main est obligée de faire, quand c'est elle qui sert de soutien¹.

L'expérience prouve que la direction de cette force, connue sous le nom de pesanteur, est toujours une ligne verticale, c'est-à-dire perpendiculaire à l'horizon ou à la surface d'une eau tranquille. Mais comme la Terre est sensiblement sphé-

1. Si le corps dont il s'agit est soutenu par un ressort, la tension constante de ce ressort est aussi la preuve évidente de la continuité de l'action de la pesanteur.

rique, les verticales des différents lieux concourent toutes vers l'intérieur de la sphère, à fort peu près au même point qui en est le centre.

C'est à Galilée qu'on doit l'étude des lois de la pesanteur, de celles qui président à la chute des corps à la surface du globe. Depuis les observations de ce grand homme, on sait que la pesanteur est une force inhérente à la matière même qui compose le globe terrestre; on sait que l'énergie avec laquelle elle s'exerce dépend de la distance du corps qui la subit, de sorte que cette énergie croît quand la distance diminue, décroît au contraire quand la distance augmente.

Par exemple, l'aplatissement aux deux pôles du globe terrestre, ou, ce qui revient au même, le renflement du sphéroïde vers les régions équatoriales, fait que la distance de la surface au centre du globe va en augmentant, à mesure qu'on s'approche de l'équateur. Que doit-il résulter de ce fait? Que l'attraction de la Terre sur les corps pesants s'exerce avec une intensité plus grande aux pôles qu'à l'équateur. Or, c'est aussi ce que l'observation démontre.

D'après quelle loi cette diminution de l'intensité de la pesanteur a-t-elle lieu, quand la distance du corps pesant au centre de la Terre va en croissant? Le voici :

Pour bien comprendre la loi dans sa simplicité, imaginons un corps pesant placé à la surface de la Terre, par conséquent distant du centre de la longueur même du rayon terrestre, en nombre rond, de 1600 lieues. Éloignons-le, par la pensée, à des distances doubles, triples, quadruples, ... décuples. L'action de la pesanteur sur ce corps sera quatre fois moindre à 3200 lieues, c'est-à-dire à la seconde position, neuf fois moindre à la position suivante, seize fois, ... cent fois moindre aux distances consécutives; de la sorte, lorsque les distances augmentent en suivant la progression des nombres 1 2 3 4 5 ... 10, etc., l'intensité de la pesanteur diminue dans la proportion des carrés

de ces mêmes nombres, ou devient 1 4 9 16 25 ... 100 fois plus petite.

Mais comment mesure-t-on l'intensité de la pesanteur ? Par le chemin parcouru dans la première seconde de la chute du corps par exemple. De sorte que si l'expérience a montré que le corps met une seconde pour tomber d'une hauteur de 49 décimètres, à la surface de la Terre, quand il se trouve à une distance double du rayon terrestre, il ne parcourra plus pendant la première seconde de sa chute que 1^m225 ; à une distance 60 fois aussi grande que le rayon de la Terre, il ne tomberait plus que d'une longueur 3600 fois moindre que 4^m9 , ou environ de $0^m001361$... c'est-à-dire d'un peu plus de 1 millimètre $1/3$. Ce nombre donne précisément la mesure de la diminution de l'énergie de la pesanteur terrestre, sur un corps pesant qui se trouverait reculé dans l'espace à la distance moyenne de la Lune.

Si donc la Terre exerce son action sur les corps situés dans l'espace à des distances quelconques, elle doit agir sur la Lune, et cette action doit être précisément égale à celle qui vient d'être calculée.

Telle est la question que se posa le génie de Newton et qu'il résolut, quand il fit voir que la Lune, en se mouvant dans son orbite curviligne, tombe précisément en une seconde de 1 millimètre $1/3$ vers notre globe. C'est cette chute incessante, combinée avec un mouvement centrifuge dont l'action isolée emporterait la Lune dans l'espace, qui produit le mouvement elliptique de notre satellite.

Telle est la généralisation hardie qui servit de point de départ au grand géomètre que nous venons de nommer.

Il alla plus loin : il pénétra plus profondément dans le secret de cette mécanique sublime qui régit les corps célestes. Il étendit à tous les astres de notre monde solaire cette loi de la pesanteur, qu'on nomme quelquefois loi de l'attraction, et qu'il est plus exact d'énoncer sous le titre de *loi de gravi-*

tation, parce qu'elle ne préjuge rien sur la nature de la cause des phénomènes.

Newton fit voir que si les planètes se meuvent autour du Soleil, en décrivant des courbes elliptiques, d'après les lois dont la découverte est due à Képler, c'est qu'elles sont soumises à une force continue résidant dans le Soleil, force dont la direction est celle du rayon vecteur, c'est-à-dire de la ligne droite qui joint la planète au foyer commun. Il démontra que toutes les circonstances des mouvements des planètes s'expliquent à merveille, en supposant que la force de la gravitation est la pesanteur elle-même, s'exerçant du Soleil sur les planètes en raison précisément inverse du carré des distances.

Ainsi la même force, qui précipite à la surface de la Terre les corps abandonnés à eux-mêmes, est celle qui maintient la Lune dans son orbite ; c'est une force de même nature, exercée par le corps prépondérant du système, par le Soleil, qui maintient aussi dans leurs routes elliptiques les planètes et les comètes, et les empêche d'aller, en suivant l'impulsion dont elles sont animées, se perdre dans l'espace et disperser ainsi notre monde.

Par quelle série de raisonnements et d'idées, de calculs et de vérifications, Newton fut obligé de passer pour arriver à cette grande découverte, ce n'est pas le lieu de le dire. Cependant, il est bon qu'on sache que c'est en partant de la deuxième loi de Képler, relative à l'égalité des aires, qu'il démontra la tendance de la force inconnue vers le Soleil : il trouva que cette force est nécessairement dirigée suivant le rayon vecteur.

La troisième loi de Képler, combinée avec la seconde, conduisit Newton à cette autre conséquence, que la grandeur de la force varie en raison inverse du carré des distances. Enfin, il arriva à démontrer que la forme elliptique des orbites planétaires résulte de la loi même de variation de la force en question. D'ailleurs, la nature des substances qui peuvent composer les diverses planètes est tout à fait indépendante du mode

d'action de la gravité, de sorte que la masse du Soleil agirait avec une égale énergie sur l'unité de masse de toutes les planètes, si ces corps se trouvaient tous placés à la même distance du centre commun. Mais comme, en vertu d'un principe universel de mécanique, toute action d'un corps matériel sur un autre suppose nécessairement une réaction, c'est-à-dire une action, égale et de sens contraire, il en résulte que si la Terre et les autres corps du monde solaire pèsent ou gravitent vers le Soleil, le Soleil gravite aussi vers chacun d'eux. Les mêmes lois régissent chaque monde secondaire, composé d'une planète centrale et de ses satellites.

Les modernes travaux d'astronomie sidérale ont permis d'étendre ces lois aux systèmes composés de deux ou plusieurs soleils, et la force ainsi répandue partout dans l'espace a pu prendre le nom légitime de *gravitation universelle* : « Toutes les molécules de matière gravitent les unes vers les autres, en raison de leurs masses, et réciproquement au carré de leurs mutuelles distances. »

Je voudrais terminer ces considérations, un peu abstraites peut-être, mais qu'il est impossible de passer sous silence dans un ouvrage d'astronomie, par un coup d'œil jeté sur l'une des vérités de cette science qui paraît la plus hardie, pour ne pas dire la plus aventureuse. Je veux parler de l'évaluation qu'on trouve dans les Traités, de la masse ou du poids des corps célestes.

Est-il possible de connaître le poids d'un astre, du Soleil par exemple ?

Il faut bien comprendre d'abord ce que cela veut dire. Il ne saurait être question ici, bien entendu, d'une appréciation minutieuse, et si nous avons exprimé en milliards de tonnes métriques une telle quantité, c'était évidemment pour mettre en relief l'immensité de la masse solaire, ou même celle des masses des autres corps du système. Les astronomes prennent une unité de masse ou de poids en rapport avec les quantités

qu'ils veulent mesurer. Ils prennent pour poids comparatif soit la masse du Soleil, soit la masse de notre globe. Ainsi voilà la question de tout à l'heure transformée en cette autre :

Combien la masse du Soleil vaut-elle de fois la masse de la Terre?

S'il était possible de placer successivement notre globe et le Soleil en présence d'un même corps matériel, puis de mesurer la force avec laquelle chacun des deux astres agit sur le troisième à une même distance, le problème serait résolu. Par exemple, on observerait l'espace parcouru par le corps en une seconde de chute vers la Terre, puis l'espace qu'il parcourt dans le même temps en tombant sur le Soleil. Ces deux distances évaluées en nombre au moyen de la même unité donneraient évidemment le rapport des masses respectives du Soleil et de la Terre.

Eh bien, à la surface de notre globe, l'expérience nous dit qu'un corps grave franchit pendant la première seconde de sa chute 4 mètres 9 décimètres, plus exactement 4^m9047 . Et puisque, d'après les théorèmes de Newton, l'attraction d'une sphère agit sur les corps extérieurs tout comme si la masse entière de la sphère était réunie à son centre, on peut et l'on doit considérer le corps grave tombant à la surface du globe terrestre, comme situé à une distance du centre d'attraction égale au rayon de la Terre.

Retenons ce premier résultat :

La masse de la Terre, agissant sur un corps situé à une distance de 6400 kilomètres, le fait tomber en une seconde de 4^m9047 .

D'un autre côté, la Terre elle-même gravite vers le Soleil : l'orbite qu'elle décrit ainsi en une année permet de connaître de combien elle tomberait vers le Soleil pendant la première seconde de chute. On trouve le nombre $0^m003\ 007\ 25$. Mais il faut ramener la mesure de l'énergie attractive du Soleil à ce qu'elle serait à une distance de son centre égale à 6400 kilo-

mètres, ou au rayon terrestre, distance 23 189 fois plus petite que celle du Soleil à la Terre. La loi d'après laquelle Newton a trouvé que l'intensité de la gravitation varie, indique qu'il faut multiplier le nombre précédent par le carré de 23 189. En effectuant les opérations, on arrive enfin à ce second résultat :

La masse du Soleil agissant sur un corps situé à une distance de 6400 kilomètres de son centre, lui ferait parcourir dans la première seconde de chute 1 617 000 mètres.

Il est permis maintenant de comparer la masse du Soleil à la masse de la Terre, puisqu'on sait quelles seraient les actions de ces deux masses sur un corps situé à la même distance de leurs centres, et l'on dira : la masse du Soleil vaut autant de fois celle de la Terre que le nombre 1 617 000 contient 4.9047. La division effectuée donne 329 700, en nombre rond, 330 000.

Cette méthode élémentaire de détermination de la masse du Soleil n'est pas celle qu'emploient les astronomes pour la solution de ce problème important. Mais notre but, en la développant, était seulement de donner une idée de la possibilité du problème. Ajoutons que le nombre auquel on s'arrête aujourd'hui est plus faible que le nombre obtenu par le calcul précédent. Il est compris entre 320 000 et 325 000. Ainsi il faudrait donc au moins 320 000 au plus 325 000 globes, de même poids que la Terre, pour équilibrer le globe solaire.

Pour résoudre un tel problème, il faut, on le voit, connaître la vitesse de chute d'un corps grave sur la planète. Cet élément est directement observable à la surface de la Terre. Pour les planètes qui ont des satellites, cette vitesse se déduit du mouvement de ces corps secondaires dans leurs orbites. Quant aux planètes dépourvues de satellites, il n'a pas été possible de calculer de la sorte l'intensité de la gravité vers chacune d'elles. Mais en étudiant l'influence de leurs masses sur les autres pla-

nètes, et les perturbations que cette influence cause dans leurs mouvements, on est arrivé à des données tout aussi précises sur les masses des corps du monde solaire, comparées, soit à la masse du Soleil, soit à celle de notre globe.

III

PRÉCESSION DES ÉQUINOXES. — NUTATION,
PERTURBATIONS PLANÉTAIRES.

Différence de durée de l'année tropique et de l'année sidérale. — Précession des équinoxes ou rétrogradation des points équinoxiaux. — Révolution des pôles célestes en 25 870 ans. — Période de la nutation. — Causes de la précession ou de la nutation : actions combinées des masses de la Lune et du Soleil sur le renflement équatorial de la Terre.

La rotation de la Terre sur son axe produit le jour ; sa translation autour du Soleil donne l'année. Mais, de même que nous avons dû distinguer deux sortes de jour, l'un sidéral, dont la durée invariable est celle même du mouvement de rotation, l'autre solaire, qui varie de longueur dans le cours d'une révolution terrestre, de même aussi, les astronomes distinguent deux années, l'*année tropique* et l'*année sidérale*.

Si l'on considère le temps qui s'écoule entre deux passages successifs du centre de la Terre au même équinoxe, l'équinoxe du printemps, par exemple, on a ce que l'on nomme l'année tropique, dont la durée exprimée en jours moyens est de 365^j.2422166. Si au lieu de définir ainsi l'année, on cherche le temps que la Terre met à revenir au point de son orbite d'où le Soleil paraît coïncider avec le même point du ciel, avec la même étoile, on a l'année sidérale, dont la durée, évaluée en jours moyens, est de 365^j.2563744.

L'année sidérale surpasse donc l'année tropique d'environ 20 minutes 23 secondes.

D'où vient cette différence et comment l'expliquer par le mouvement de la Terre dans son orbite?

Rappelons-nous que l'équinoxe a lieu, quand le plan de l'équateur terrestre vient passer précisément par le centre du Soleil. Si ce plan restait invariablement parallèle à lui-même, sa ligne d'intersection avec le plan de l'écliptique conserverait pareillement le même parallélisme, et ce serait toujours au même point de l'orbite de la Terre que les équinoxes successifs auraient lieu. Il n'y aurait pas alors de différence entre la durée de l'année tropique et celle de l'année sidérale. Cette dernière durée étant la plus grande, c'est que le point équinoxial a rétrogradé, de sorte que la Terre arrive plus tôt en ce point qu'elle n'y serait venue, s'il était resté immuable. De là, le nom de *précession des équinoxes* donné à ce phénomène.

Que résulte-t-il de là? Que le Soleil correspond, d'année en année, à des étoiles de plus en plus orientales, lorsque la Terre occupe les mêmes positions sur son orbite, de sorte que, peu à peu et progressivement, l'aspect des constellations célestes change pour les mêmes saisons.

Analysons plus encore le phénomène en question. Dire que l'équinoxe rétrograde, c'est dire que le plan de l'équateur a varié de position, et comme l'axe de la Terre est toujours perpendiculaire à ce plan, c'est dire que cet axe lui-même n'est pas rigoureusement resté parallèle. Le point d'intersection de l'équateur avec l'écliptique rétrograde, en moyenne, de $50''2$ par année; ou, ce qui revient au même, l'axe de la Terre se meut, sans cesser de former le même angle avec l'écliptique, de manière à décrire un cône entier, dans un intervalle de 25870 ans environ; de sorte qu'au bout d'une telle période, l'équinoxe ayant accompli une révolution entière sur l'orbite terrestre est revenu occuper sa position initiale.

L'axe terrestre, en exécutant ce mouvement, si lent d'ailleurs, décrit, sur la surface de la voûte étoilée, un cercle

entier. Les pôles célestes sont donc incessamment variables; ils coïncident progressivement, à des époques différentes, avec des étoiles différentes, de sorte que la fixité dont nous avons parlé lors de notre description du ciel est toute relative.

Actuellement, le pôle boréal, très-voisin de la Polaire, s'en rapproche de plus en plus. Cette diminution de distance angulaire continuera jusqu'en l'année 2120 : il n'y aura plus alors entre eux que la moitié environ d'un degré (28'). Passé cette époque, le pôle boréal s'éloignera de la Polaire, passera de la Petite-Ourse dans Céphée, puis sur les bords du Cygne. Dans 12130 ans, c'est-à-dire vers l'an 14 000, l'étoile brillante la plus voisine du pôle boréal sera Véga de la Lyre, qui jouera alors le rôle d'étoile polaire; Canopus, dans le ciel austral, se trouvera de même dans le voisinage de l'autre pôle.

Par la même raison, dans le cours des siècles, on verra des étoiles, invisibles jusque-là dans un lieu, s'élever au-dessus de l'horizon de ce lieu; d'autres étoiles au contraire disparaîtront, et l'aspect du ciel changera ainsi pour les divers points de la Terre.

Le phénomène de la précession des équinoxes, découvert il y a deux mille ans par Hipparque, est depuis un siècle rapporté à sa cause véritable, dont nous dirons un mot plus loin.

Parlons maintenant d'un autre mouvement de l'axe de la Terre, qui s'exécute simultanément avec celui dont nous venons de donner une description sommaire. La période en est beaucoup moins longue, puisqu'elle est de 18 ans $\frac{2}{3}$ seulement.

Le mouvement conique de l'axe de la Terre qui produit la précession des équinoxes, et qui s'effectue en près de 26 000 années, change progressivement, avons-nous dit, la direction de cet axe, mais sans modifier son inclinaison sur le plan de l'écliptique. A la vérité, cette inclinaison varie aussi, en vertu

d'un autre mouvement qui fait osciller l'axe, dans chaque période de 18 ans $\frac{2}{3}$, autour d'une position moyenne qu'il occuperait, s'il n'était influencé que par la précession. On donne le nom de *nutation* à cette oscillation de l'axe de notre globe, qui donne lieu à de légers changements, tantôt en plus, tantôt en moins, dans l'obliquité de l'écliptique¹.

Tous ces mouvements, depuis ceux de rotation et de translation autour du Soleil, jusqu'à ceux de nutation et de précession, sont effectués simultanément par la Terre. On a souvent comparé, et avec justesse, la marche de notre globe à celle d'une toupie qui, tout en tournant sur elle-même avec rapidité, trace sur le sol une ligne qui est sa trajectoire, et en même temps se trouve soumise à un balancement de son axe de figure ou de rotation, analogue aux oscillations de l'astre terrestre. Il y a cette différence, que les divers mouvements de la Terre s'accomplissent avec une régularité mathématique, en des périodes relativement très-longues, et suivant des lois qui permettent à chaque instant d'assigner sa position vraie dans l'espace.

Maintenant que nous avons décrit les phénomènes, indiquons brièvement les liens qui les rattachent à la grande loi du monde solaire, à la gravitation.

Si la Terre était rigoureusement sphérique, la direction de son axe de rotation resterait toujours la même, et conserverait indéfiniment le parallélisme dont nous avons parlé d'abord : c'est là une vérité que démontre la mécanique rationnelle. L'action de la gravité des autres corps célestes ne changerait en rien cette direction, en supposant, ce que l'observation démontre, que les pôles terrestres occupent sur le globe une position invariable.

Mais on sait qu'il n'en est pas ainsi. La Terre est renflée à

1. Le maximum de ces changements ne s'élève pas à 10" d'arc. Par la nutation, le pôle vrai décrit autour du pôle moyen une ellipse dont le demi grand axe est égal à 9" 22, et le demi petit axe à 6" 86.

l'équateur, elle est comme une sphère parfaite, qu'on recouvrirait d'un bourrelet dont l'épaisseur irait en s'amointrissant selon la forme extérieure d'une ellipse, de l'équateur jusqu'aux pôles. Là, l'épaisseur du bourrelet est nulle.

Eh bien, il est prouvé que l'action de la masse du Soleil sur cette sorte d'appendice de la Terre est la cause de la rétrogradation continue des points équinoxiaux, laquelle donne lieu à une avance correspondante des équinoxes successifs. De même, l'action de la masse de la Lune sur le même bourrelet produit un balancement analogue, mais beaucoup plus rapide, celui de la nutation de la Terre¹.

Il est encore un autre genre d'influence qui affecte le mouvement de la Terre, et qui est une conséquence de la loi de gravitation. Cette influence provient des actions combinées des masses des autres planètes sur la masse de notre globe. Comme les actions dont il s'agit sont réciproques, ce que nous pourrions en dire à propos de la Terre s'appliquerait à une planète quelconque prise en particulier : mais développer des considérations aussi abstraites et aussi complexes, serait sortir du cadre de cet ouvrage. Bornons-nous à en signaler l'extrême importance.

Les lois de Képler, que nous avons énoncées et expliquées, et dont Newton a tiré la loi de gravitation, ne sont rigoureusement vraies que si l'on considère isolément une planète et le Soleil. Mais comme les masses des autres planètes agissent sur celle-ci, chacune suivant la loi générale, il en résulte une série de modifications qui altèrent périodiquement le mouvement de la planète. L'inclinaison, la direction du grand axe, l'excentricité de l'orbite, sont surtout les éléments qui varient,

1. Nous avons déjà vu que c'est un astronome d'Alexandrie, Hipparque, qui a découvert la précession des équinoxes. C'est à Bradley (1647) qu'est due la découverte de la nutation. Enfin, d'Alembert a eu la gloire de rattacher rigoureusement ces deux phénomènes à la théorie newtonienne de la gravitation. Laplace a d'ailleurs perfectionné depuis cette belle théorie.

de manière à changer à la fois la position et la forme de la trajectoire suivie par la planète. Ces altérations, qui, bien loin de contredire la loi de gravitation, en sont la confirmation la plus éclatante, sont connues en astronomie sous le nom de *perturbations planétaires*. J'ai dit leur grande importance, non-seulement parce qu'elles permettent de calculer avec précision la position future des corps célestes de notre système, mais encore parce qu'elles peuvent servir — et la découverte de Neptune en est une preuve — à compléter les connaissances que nous avons sur le monde solaire.

Nous allons voir maintenant se manifester d'une façon claire, visible à tous, et dans des périodes extrêmement courtes, l'action des forces combinées du Soleil et de la Lune sur la partie liquide de la surface du globe terrestre.

IV

LES MARÉES.

Phénomènes du flux et du reflux; haute et basse mer. — Époques des grandes marées; coïncidence des phénomènes avec les positions de la Lune et du Soleil. — Théorie des marées déduite de la loi de gravitation; actions combinées du Soleil et de la Lune.

Si l'on voulait comparer la mer à un être immense qui se meut, vit et respire, c'est dans les tempêtes qu'il faudrait voir ses colères, dans les temps de calme ses instants de sommeil, tandis que les mouvements périodiques des marées simuleraient sa respiration régulière et permanente. Mais ce sont là des fictions poétiques sur lesquelles je ne veux point insister : ces grands phénomènes de la nature offrent par eux-mêmes un intérêt assez réel pour qu'il soit superflu de les embellir encore. D'ailleurs, la véritable explication des marées, la liaison de la cause qui les produit à la grande théorie de la gravitation universelle, sont des conquêtes de la science pour ainsi dire toutes récentes, — il n'y a guère qu'un siècle qu'elles sont soumises au calcul, — elles offrent donc encore à bien des gens l'attrait de l'inconnu.

Tout le monde sait que deux fois par jour, à 12 heures 25 minutes d'intervalle environ, les côtes de l'Océan offrent le spectacle de la marée montante : le flot peu à peu s'élève, envahit la plage qu'il recouvre à une hauteur de plus en plus grande, et après 6 heures d'intumescence atteint son maximum.

C'est un beau tableau que celui de ces lames frémissantes qui viennent, avec une croissante fureur, battre les galets et le pied des falaises, en projetant dans l'air leur écume salée.

A peine l'instant de la *haute mer* est-il atteint¹, que le *flot* ou le *flux* cesse; la marée descendante commence, et le *ju-sant* ou le *reflux* succède au *flot*. La mer abandonne alors la plage qu'elle avait envahie, et peu à peu redescend jusqu'à son point de départ : on a alors la *basse mer* ou la *marée basse*. Puis recommence une nouvelle marée montante, suivie d'une basse mer, et ainsi de suite.

Il faut dire que l'instant de la basse mer n'est pas au milieu de l'intervalle qui sépare deux pleines mers consécutives, le flux étant d'une durée plus courte que celle du reflux, ou, si l'on veut, la mer mettant plus de temps à descendre qu'à monter. Cette différence varie suivant les ports : de 16 minutes seulement à Brest, elle est, au Havre, de 2 heures 16 minutes.

Tel est, en gros, le phénomène des marées. Si l'on s'était borné à l'observation de cette périodicité des mouvements de la mer, la science n'eût pas pénétré bien profondément dans le système de leurs causes; elle ne pourrait prédire, comme elle le fait sûrement aujourd'hui, l'intensité des marées pour les différents ports, les époques précises des plus hautes mers, offrant ainsi à la navigation des indications précieuses.

Avant d'aborder l'exposé des causes, je vais donc, pour me conformer à la marche naturelle de la science, préciser davantage les faits.

L'intervalle de deux pleines mers, avons-nous vu, est de 12 heures 25 minutes. Il en résulte que, d'un jour à l'autre, la pleine mer retarde de 50 minutes. Ainsi, la période journalière du phénomène est précisément égale au jour lunaire, qui dure aussi 24 heures 50 minutes. En d'autres termes, les

1. On dit alors que la mer est *étale*.

retards successifs des pleines mers sont ceux que présentent les passages successifs de la Lune au méridien. Si donc on note l'heure de la marée haute dans un port, il sera difficile de prévoir l'heure pour un autre jour. Les marins, profitant de ce fait, prennent leurs dispositions en conséquence, selon qu'ils veulent entrer ce jour-là dans le port ou en sortir.

Remarquons encore ceci : 50 minutes de retard par jour produisent, en 14 jours trois quarts environ, un retard total de 12 heures; c'est un retard de 24 heures ou d'un jour, en 29 jours et demi, c'est-à-dire dans la période d'une lunaison. Les heures des marées sont donc les mêmes de quinze en quinze jours, avec cette différence que celles du matin deviennent celles du soir, et réciproquement. Au bout d'un mois lunaire, l'heure redevient identiquement la même.

Les faits que nous avons constatés jusqu'ici n'ont trait qu'aux heures des marées et à leurs variations. Occupons-nous maintenant de l'intensité du phénomène.

Cette intensité est elle-même fort variable pour une même mer et pour un même port; mais là encore se présente une remarquable périodicité, qui montre que le phénomène se lie aux positions relatives du Soleil, de la Lune et de la Terre.

C'est vers les environs de la nouvelle et de la pleine Lune que la marée haute atteint un maximum, tandis que la marée basse correspondante descend au point le plus bas. Ce sont les *grandes marées*, ou les marées de *syzygies*¹. La hauteur des marées décroît alors de plus en plus, jusqu'à l'époque du premier et du dernier quartier de la Lune. On a alors les *mortes eaux* ou marées des *quadratures*. Puis, à partir de ces deux époques, jusqu'aux syzygies, la hauteur des pleines mers reprend sa marche croissante. Mais, à la vérité, la plus haute, comme la plus basse marée, ne tombe pas le jour même

1. On les nomme *grandes eaux*, *malines* ou *reverdies*.

de la phase lunaire : dans tous les ports de l'Océan, il y a une différence de 36 heures ou d'un jour et demi. C'est donc la troisième marée, qui suit la pleine et la nouvelle Lune, qui est la plus grande, comme aussi la plus petite marée est la troisième qui suit les quadratures.

Ces coïncidences remarquables entre les heures, les périodes des hautes marées et les positions de la Lune et du Soleil par rapport à la Terre, ont fait soupçonner depuis longtemps que la cause du phénomène réside dans ces deux astres. « *Causa*, dit Pline, *in Sole Lunaque....* » Mais de quelle nature est leur influence? C'est le problème qu'il était donné à la science moderne de résoudre. Le premier, Descartes osa déchirer le voile et sonder le mystère, et si ce grand philosophe ne réussit pas dans sa tentative, cela tint à ses idées préconçues sur le système du monde. Il lui reste l'honneur d'avoir osé.

Mais poursuivons l'étude des faits.

La hauteur des marées varie encore avec les inclinaisons de la Lune et du Soleil; elles sont d'autant plus grandes que les deux astres sont plus voisins de l'équateur. Deux fois par an, vers le 21 mars et le 22 septembre, le Soleil est dans l'équateur même. Si, à la même époque, la Lune est voisine du même plan, les hautes marées sont les plus considérables de toutes. Ce sont les marées syzygies *équinoxiales*, parce que la Terre est alors à l'équinoxe du printemps ou à l'équinoxe d'automne. Au contraire, les plus faibles marées ont lieu vers les solstices, si, en même temps que le Soleil, la Lune atteint sa plus petite ou sa plus grande hauteur méridienne.

Enfin, les distances réelles de la Lune et du Soleil à la Terre ont aussi leur influence sur la hauteur des marées. Toutes choses égales d'ailleurs, la hauteur d'une marée est d'autant plus grande que les deux astres sont plus rapprochés de la Terre. Ainsi les marées du solstice d'hiver sont plus fortes que celles du solstice d'été.

Telles sont les circonstances générales qui caractérisent les mouvements périodiques de la mer. Mais il ne faut pas oublier que ce ne sont pas les seules : la force et la direction des vents, la configuration et l'orientation des côtes, la profondeur et l'étendue des mers, les circonstances qui tiennent aux lieux et au temps, sont autant d'influences multiples qui compliquent singulièrement les marées.

Ainsi tout le monde sait que les mers isolées, comme la mer Caspienne, ou peu étendues et communiquant vers l'Océan par des détroits resserrés, comme les mers Noire et Méditerranée, n'ont que des marées insensibles¹. Les côtes opposées de l'Atlantique, qui se présentent en regard, à l'ouest et à l'est les unes des autres, éprouvent des marées fort inégales. Il en est de même des côtes orientales de l'Asie, qui ont de fortes marées, tandis qu'à l'autre rive du Pacifique et dans les archipels océaniques, le flux, très-régulier, n'atteint qu'une faible hauteur.

Pour ne parler que des ports d'Europe, l'intensité du phénomène y est extrêmement variable, même pour des lieux voisins. Prenons un exemple : d'après les calculs des marées pour l'année 1869², la plus forte marée sera celle qui suivra d'un jour et demi la pleine Lune du 5 octobre, un peu avant l'équinoxe d'automne : elle aura lieu le 7.

Si les vents ne contrarient pas le flux, la hauteur de cette marée sera : pour Brest, de 3^m.72 ; pour Granville, de 7^m.13 ; de 3^m.27 pour Cherbourg ; de 4^m.24 pour le Havre. Ces nombres, fort différents pour des ports assez voisins, n'expriment,

1. D'après les observations du savant et regrettable G. Aimé, qui a étudié pendant deux années les ondulations du niveau de la mer à Alger, l'amplitude de la marée luni-solaire s'élève dans ce port à 88 millimètres les jours de syzygies. « Le lac Michigan, qui pourtant n'a pas moins de 62 000 kilomètres carrés, est la plus petite surface lacustre où l'on ait constaté avec précision le retour régulier du flux et du reflux ; l'amplitude de la marée y est, d'après le lieutenant Graham, de 75 millimètres. » (LA TERRE, t. II, par Elisée Reclus.)

2. Par MM. Laugier et Mathieu, *Annuaire du Bureau des longitudes*.

du reste, que la hauteur au-dessus du niveau moyen des eaux, c'est-à-dire de celui qui aurait lieu si les marées n'existaient pas. Il faut les doubler, si l'on veut avoir la hauteur de la pleine mer, au-dessus du niveau de la marée basse, pour le même jour de l'année. Ainsi le port de Granville et celui de Saint-Malo verront les eaux s'élever, le 17 octobre, à une hauteur totale d'environ 14 mètres. Que le vent vienne à favoriser la marée, accroître sa violence et sa hauteur, et l'on peut avoir à craindre de grands désastres.

Il y a loin de ces marées de la côte occidentale de l'Europe aux marées des îles de la mer du Sud, lesquelles ne s'élèvent guère qu'à 50 centimètres. Mais il y en a de plus terribles encore, et parmi elles je me bornerai à citer celles de la baie de Fundy, dans la Nouvelle-Écosse, qui montent, dit-on, jusqu'à une hauteur de 30 mètres.

La raison de ces différences de hauteur tient en grande partie à des circonstances locales. Ainsi les ports de la Manche subissent de fortes marées, parce que le mouvement des eaux trouve un obstacle dans le resserrement des côtes; et plus on pénètre dans l'intérieur du golfe, plus est considérable la hauteur de la marée.

La marée se fait sentir, dans les fleuves, à une distance d'autant plus grande de leur embouchure, que la largeur et la profondeur sont plus fortes. Au moment de la haute mer, les eaux du fleuve refluent, remontent son cours, mais la propagation de cette marée fluviale ne se fait que progressivement et retardant de plus en plus sur l'heure de la marée océanique. Il résulte de là de curieux phénomènes, connus en France sous les noms de *mascaret* et de *barre*.

Mais en voilà assez sur les faits, dont la description détaillée tiendrait d'ailleurs un volume. C'est des causes des marées que je veux maintenant dire un mot.

Ce sont les actions combinées de la Lune et du Soleil sur

la masse liquide dont notre globe est aux trois quarts entouré, qui produisent les mouvements alternatifs du flux et du reflux.

Nous venons de voir que si deux corps, tels que la Terre et la Lune, sont en présence, les molécules dont l'un et l'autre se composent ont une tendance mutuelle, connue sous le nom de *gravitation*, dont l'intensité varie en raison des masses, et inversement au carré des distances. Voyons comment cette action se fait sentir, de la Lune aux molécules liquides dont la mer est formée.

La Terre ayant la forme d'un sphéroïde, la couche liquide qui la recouvre aurait une forme exactement semblable, et constamment la même, sauf les variations accidentelles dues aux causes météorologiques, si la Lune et le Soleil n'existaient point.

Considérons la Lune à un moment donné et isolément. Joignons, par une ligne idéale, son centre au centre de la Terre : cette ligne rencontrera la surface du globe en deux points diamétralement opposés. L'un, le plus rapproché de la Lune, sera le lieu de la Terre pour lequel l'astre des nuits sera au zénith; le point opposé aura la Lune au nadir. En outre, tous les lieux de la Terre qui ont même longitude que les premiers verront, à cet instant, la Lune passer au méridien.

L'attraction de la Lune sur les molécules liquides les plus voisines contre-balance en partie l'attraction de la Terre : elle diminue leur pesanteur dans le sens de la verticale. Ces molécules, que leur fluidité et leur indépendance n'attachent point au sol, à la partie solide de la Terre, s'élèvent donc en vertu de cette attraction. Il en est de même, mais dans une plus faible mesure, pour les molécules voisines, dans tout l'hémisphère tourné vers la Lune, l'attraction étant d'autant plus faible que ces molécules s'éloignent davantage du point qui est comme le sommet de l'hémisphère tourné vers la Lune.

Il résulte de là, que la nappe liquide qui recouvre cet hémisphère s'allonge, se tuméfie du côté de la Lune, et, au lieu de conserver sa forme sphérique, prend — toutes proportions gardées, bien entendu — celle d'un œuf. Il y a marée haute au sommet, marée basse à tous les lieux qui ont la Lune à l'horizon. Si la Terre n'avait pas de mouvement de rotation, cette marée serait permanente, et les eaux resteraient ainsi en équilibre, ou du moins suivraient le seul mouvement de la

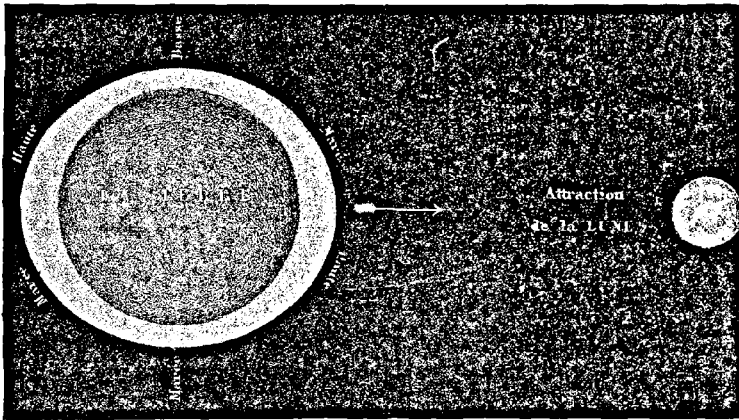


Fig. 200. — Attraction de la Lune sur les eaux de la mer.
Marée lunaire simple.

révolution de la Lune : les marées n'auraient d'autre période que les lunaisons. Mais la Terre, en tournant, présente à la Lune toute sa périphérie, de sorte que l'onde suit le parallèle qui correspond à la position de notre satellite.

Jusqu'ici, on s'explique bien la haute et la basse mer pour l'hémisphère tourné vers la Lune : mais comment se fait-il que les eaux s'allongent aussi, au même instant, à l'extrémité de l'hémisphère opposé ?

On va se rendre compte aisément de cette similitude.

L'attraction lunaire se fait sentir à la fois sur toutes les molécules qui composent la Terre, mais son énergie est d'autant plus faible que ces molécules sont plus éloignées. Si cette

action s'exerçait sur tous les points avec une égale intensité, il en résulterait un déplacement total vers la Lune, mais sans aucune déformation. L'inégalité d'attraction fait que les molécules les plus éloignées restent en arrière : leur pesanteur vers la Terre en est diminuée, et toute la couche liquide de l'hémisphère opposé à la Lune prend précisément la même forme que celle qui est en avant.

Le problème soumis à l'analyse mathématique indique, pour la forme générale de la nappe de l'Océan, celle d'un ellipsoïde allongé dans la direction des rayons de la Terre qui aboutissent à la Lune à chaque instant.

Il y a donc marée haute aussi souvent que la Lune passe au méridien supérieur ou inférieur, c'est-à-dire toutes les 12 heures 25 minutes, et marée basse, toutes les fois qu'elle est à l'horizon d'un lieu, c'est-à-dire dans des périodes d'égales durées.

Mais ce n'est pas la Lune seule qui agit ; il y a aussi des marées produites par l'attraction du Soleil. La masse énorme de cet astre donnerait lieu à d'immenses mouvements, si sa distance, près de 400 fois plus grande que celle de la Lune, ne contre-balançait pas

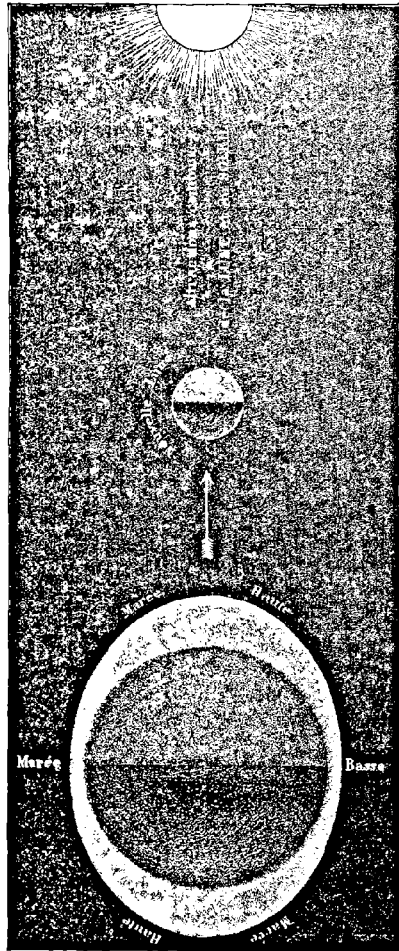


Fig. 201. — Actions combinées de la Lune et du Soleil sur les eaux de la mer. Marée luni-solaire de la nouvelle Lune.

l'intensité due à cette masse. Les marées solaires, bien que beaucoup plus faibles que les marées lunaires, tantôt s'ajoutent à celles-ci, tantôt les contrarient. Elles s'ajoutent, lors-

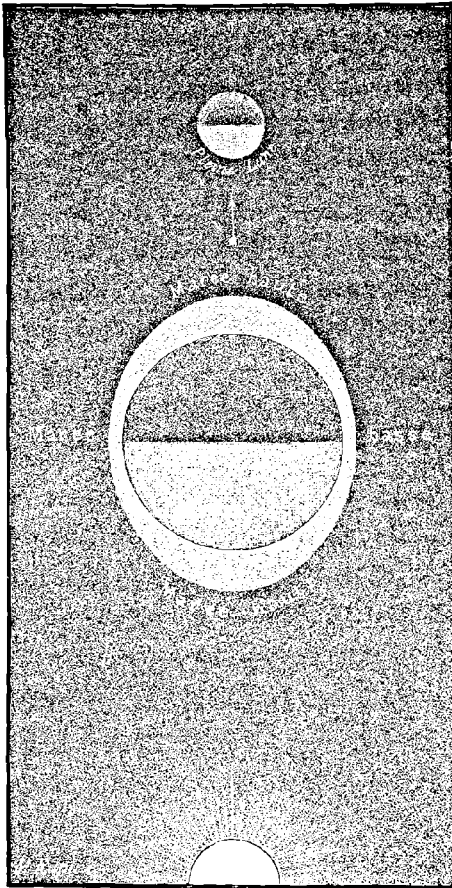


Fig. 202. — Marée luni-solaire des syzygies. Attractions combinées du Soleil et de la pleine Lune.

que les deux astres sont sur une même ligne avec la Terre, ce qui arrive aux syzygies, nouvelle et pleine Lune (fig. 201 et 202). Les actions des deux astres se contrarient, lorsque la position de la Lune est à angle droit avec celle du Soleil, et, dans ce cas, la marée totale ou résultante est minimum (fig. 203.) Le calcul montre que l'action luni-solaire est d'autant plus intense que les astres sont à une plus faible distance du plan de l'équateur. De là, les grandes marées équinoxiales. Enfin, l'action varie en raison inverse du cube de la distance; on comprend donc que les marées doivent

être plus fortes quand la Lune et le Soleil sont plus voisins de la Terre¹, notamment quand la Lune est périgée.

1. Le bourrelet liquide qui constitue les marées, au lieu d'avoir son sommet dirigé suivant le rayon vecteur qui unit les deux centres de la Lune et de la Terre, se trouve toujours situé en arrière, ce qui tient aux frottements et aux

Tel est, en résumé, le principe de la théorie des marées. Ces mouvements quotidiens et irrésistibles sont soumis à des lois immuables : ils sont, grâce à la densité de l'eau de la mer,

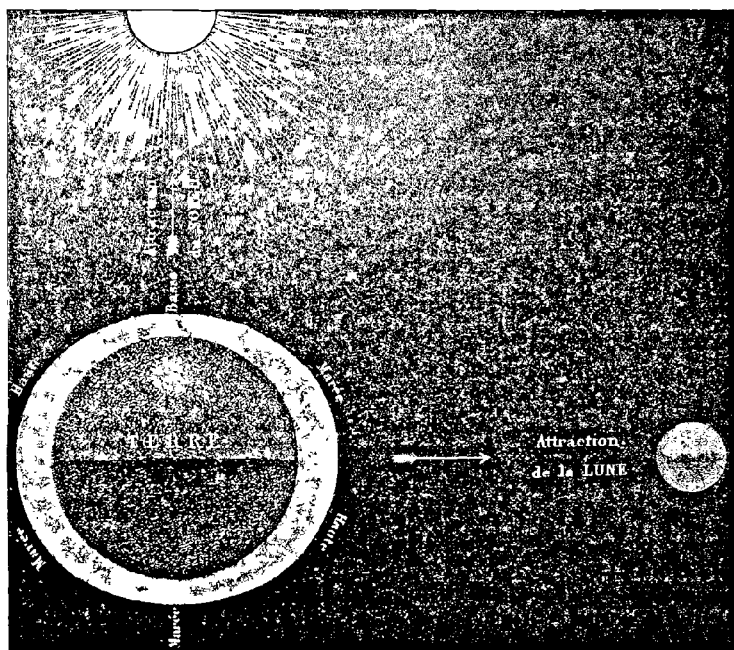


Fig. 203. — Actions contrariées de la Lune et du Soleil sur les eaux de la mer. Marée luni-solaire des quadratures.

densité inférieure à celle du noyau solide que cette eau recouvre, renfermés entre d'étroites limites. Les lois naturelles suffisent à « mettre un frein à la fureur des flots. »

résistances qu'il éprouve dans son mouvement de progression à la surface du globe terrestre. Telle est la cause du retard que subissent, comme nous l'avons vu plus haut, les marées, d'où il résulte que la haute mer n'arrive jamais qu'un certain temps après le moment du passage de la Lune au méridien. Cela étant, la masse de la Lune doit, d'après M. Delaunay, exercer une action sur les deux protubérances liquides opposées, et produire ainsi peu à peu un ralentissement dans le mouvement de rotation de la Terre; le calcul montre que la durée du jour sidéral diminuerait par ce fait d'une seconde environ en cent mille années. Le savant géomètre que nous venons de citer a été conduit à émettre cette hypothèse, par la nécessité d'expliquer le désaccord existant entre la théorie et les observations d'anciennes éclipses qui donnaient, pour l'accélération séculaire de la Lune, un nombre trop fort.

V

ORIGINE ET FORMATION DU MONDE SOLAIRE.

Exposé de l'hypothèse de Laplace sur l'origine et la formation du monde solaire. — Nébuleuse primitive ; noyau lumineux. — Formation des planètes et des satellites. — Sens des mouvements de rotation et de translation.

L'esprit humain semble ainsi fait, qu'il s'attache avec plus d'opiniâtreté et de persévérance à la poursuite des questions insolubles qu'à la recherche de celles qui lui sont vraiment accessibles. Au risque d'une sorte de vertige intellectuel, il aime à se pencher sur le bord de ces abîmes de la pensée, au fond desquels gisent pêle-mêle les solutions de tant de graves problèmes, l'origine et la fin des choses, l'essence de la cause première, et tant d'autres questions qui sont plutôt du domaine de la métaphysique que de la science.

Cette tendance vers l'absolu est pour ainsi dire irrésistible. Il ne nous suffit pas de sonder, avec le télescope, les profondeurs de l'espace indéfini, où l'œil voit se succéder sans relâche les soleils et leurs agglomérations, nous voulons encore savoir si cette progression a une fin, une limite. Nous ne pouvons croire au néant, et notre pensée s'abîme dans la contemplation de la chaîne indéfinie des êtres.

Par une semblable curiosité, nous cherchons à remonter le cours du temps, et à nous imaginer l'origine première de toutes choses. Nous savons à peu près quel est l'état actuel de l'univers. La découverte des lois les plus générales nous auto-

rise à prédire l'état futur des corps célestes, au moins dans notre système. Nous cherchons en outre à savoir qu'est-ce qui leur a donné naissance, et, à défaut de connaissances positives, si difficiles à acquérir en pareille matière, nous nous rattachons aux traditions qui ont eu cours dans les premiers âges de l'humanité, premiers bégaiements de la raison, bientôt dénaturés et obscurcis par les fables de toutes les mythologies.

Aura-t-on jamais à ce sujet des notions certaines? Je l'ignore. Mais on ne sera sans doute pas fâché de savoir quelles sont actuellement les plus vraisemblables conjectures, déduites des sciences qui méritent au plus haut degré la qualification de positives.

La géologie nous enseigne que la Terre, à son origine, existait à l'état fluide. Formée d'une immense agglomération de matière gazeuse, douée d'une température excessive, condensée à son centre, elle s'est lentement refroidie, puis resserrée en un globe liquide enveloppé d'une haute et épaisse atmosphère. Alors par une nouvelle déperdition de chaleur, les couches superficielles de ce globe se sont peu à peu solidifiées, jusqu'à ce qu'un certain état d'équilibre général lui ait donné les dimensions et la forme qu'il affecte aujourd'hui.

Parmi les témoignages divers, qui rendent cette histoire ancienne de la Terre extrêmement probable, il en est deux qui subsistent, et que tout le monde peut vérifier. C'est, d'une part, la température croissante des couches du sol, qui force à considérer le noyau intérieur de la Terre, comme étant encore à l'état d'incandescence¹ : les éruptions volcaniques sont une

1. Plusieurs géologues contemporains, tout en admettant la fluidité primitive du globe terrestre, dont sa forme aplatie est un témoignage irrécusable, pensent que la solidification s'est faite du centre à la circonférence. Dès lors, ils considèrent le noyau actuel de la Terre comme solide; mais entre ce noyau et l'écorce également solide constituant le sol, il existerait des nappes d'une matière liquide et incandescente; c'est aux mouvements de cette couche et des gaz qui s'en dégagent qu'ils attribuent les phénomènes volcaniques, les éruptions et les tremblements de terre.

preuve de plus à l'appui de cette hypothèse. Puis, c'est la forme même du globe terrestre ; c'est l'aplatissement de ce globe dans le sens de son axe de rotation : le renflement des parties équatoriales est la preuve mécanique de l'état fluide primitif.

Telles sont les données les plus certaines que l'on possède sur l'histoire ancienne de la Terre, dont on peut suivre ainsi les diverses évolutions. Il n'est pas facile sans doute d'assigner aux diverses phases de ce développement des époques certaines ; mais, en pareille matière, les probabilités suffisent, et toutes s'accordent à donner à notre planète un âge dont l'ancienneté se compte par centaines de mille années, peut-être par des millions.

La Terre est-elle la seule planète du monde solaire à laquelle on doive assigner une telle origine ? A cet égard, les données précises manquent en partie ; et c'est à l'analogie qu'il faut laisser le soin de prononcer. J'ai dit que les données manquent. Je me trompe : il en est une qui est d'un grand poids : c'est le fait d'un commun aplatissement, qui est certain pour la Terre, Mars, Jupiter et Saturne, probable pour Mercure, et que la difficulté des mesures des différents diamètres de chaque disque planétaire a seule empêché de constater dans les autres planètes du monde solaire. Il est donc extrêmement probable qu'à l'origine, le système solaire tout entier était formé d'une agglomération de matière à l'état gazeiforme, qui peu à peu s'est transformée en corps distincts, sous l'influence d'un refroidissement effectué pendant des milliers de siècles. Nous arrivons ainsi à l'hypothèse formulée par l'un des plus grands génies de la science moderne, par Laplace¹, qui a pu rendre compte ainsi de la plupart des phénomènes de l'astronomie planétaire.

1. Antérieurement à Laplace, Kant, le grand philosophe de Königsberg, avait donné, dans son *Histoire du Ciel*, l'esquisse d'une théorie ayant beaucoup d'analogie avec la simple note placée par l'illustre auteur de la *Mécanique céleste*, à la fin de son *Exposition du système du monde*. C'est l'heureuse rencontre de deux grands esprits.

Je vais essayer de résumer en peu de mots cette théorie de l'origine des corps qui composent notre monde.

Si l'on remonte par la pensée jusqu'à une époque éloignée de la nôtre par une série considérable de siècles, le monde solaire tout entier, ou, plus exactement, toute la matière qui en forme aujourd'hui les divers groupes, existait à l'état purement gazeux, ou, si l'on veut, sous la forme d'une immense nébuleuse, extraordinairement diffuse, ne présentant aucun indice de condensation. Dans un tel état, les molécules de la nébulosité sont assez éloignées les unes des autres, pour que la force répulsive dont elles sont douées annule entièrement la force attractive qui, les faisant graviter les unes vers les autres, tendrait sans cela à les réunir en groupes.

Mais les siècles s'écoulaient, la nébuleuse se refroidit peu à peu en rayonnant incessamment dans l'espace; l'action de la force répulsive diminue, et celle de l'attraction peut s'exercer de plus en plus; elle condense et rapproche en un ou plusieurs centres les diverses parties de la nébulosité diffuse.

La nébuleuse solaire a donc dû finir par présenter l'aspect d'un noyau lumineux enveloppé à une grande distance d'une sorte d'atmosphère gazeuse, de forme à peu près sphérique. Telles nous apparaissent dans l'espace les étoiles nébuleuses; on a vu, en effet, que les astronomes considèrent ces derniers systèmes comme irréductibles en étoiles, ou si l'on veut comme des soleils simples, doubles ou multiples, environnés d'une nébulosité réelle, soit lumineuse par elle-même, soit illuminée par l'astre central.

A cette période de sa formation, le Soleil existait seul encore; les planètes et leurs satellites restaient confondus dans le sein de l'atmosphère.

Mais la masse entière était douée d'un mouvement de rotation qui entraînait dans un même sens, soit les molécules du noyau, soit celles de la nébulosité. A un moment donné, les li-

mites de cette dernière dépendaient de la distance à laquelle la force centrifuge due au mouvement de rotation était en équilibre avec la force centrale de gravitation. Ces limites changeaient elles-mêmes et se rapprochaient nécessairement du centre, sous l'influence d'un refroidissement continu, qui avait pour conséquence la diminution de volume de la nébulosité. De là, l'abandon d'une zone de vapeur condensée, à la distance des limites primitives.

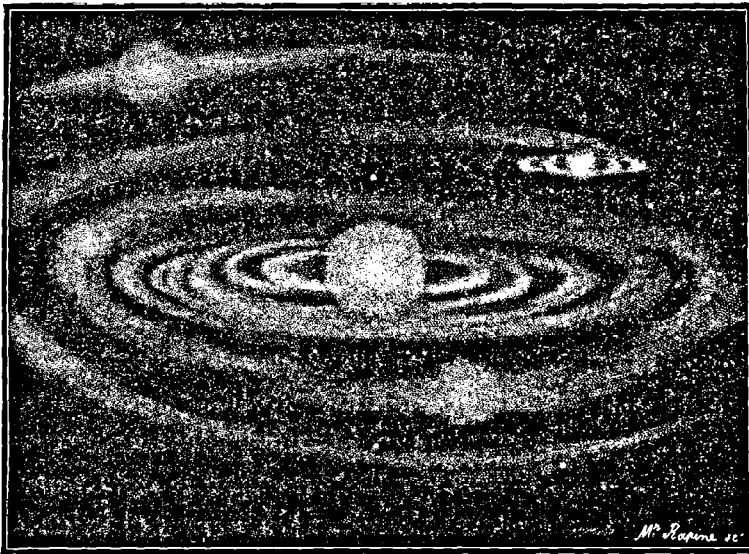


Fig. 204. — Formation du monde solaire. — Le Soleil et les zones nébuleuses qui ont donné naissance aux planètes.

Peu à peu l'atmosphère céleste dut abandonner ainsi une série de zones de vapeur de plus en plus rapprochées du centre, les unes et les autres se trouvant à fort peu près dans le plan de l'équateur général, c'est-à-dire là où, pour la vitesse du mouvement de rotation, la force centrifuge était naturellement prépondérante.

Ce sont ces zones qui ont donné naissance aux planètes isolées ou aux groupes de planètes et d'astéroïdes.

Pour qu'il en fût autrement, pour que les zones détachées

de la nébuleuse générale eussent conservé la forme d'anneaux concentriques au Soleil, il aurait fallu qu'un équilibre parfait eût continué d'exister entre les diverses molécules composant ces anneaux. Mais c'eût été là, selon l'expression de Laplace, un grand hasard.

Les anneaux se divisèrent, et les débris les plus considérables, attirant et s'agrégeant les autres, formèrent de nouveaux centres ou noyaux nébuleux. Ce qu'il importe maintenant de remarquer, c'est que chacun d'eux dut être animé de deux mouvements simultanés, l'un de rotation autour de son propre centre, l'autre de translation autour du centre commun. De plus, comme ces deux mouvements n'étaient que la continuation du mouvement antérieur général, leur sens resta le même que celui de la rotation de tout le système ou du noyau solaire.

Les planètes, une fois formées, on comprend parfaitement comment ces nébuleuses partielles, semblables à la nébulosité totale, purent donner naissance à de nouveaux corps gravitant et tournant autour de chacune d'elles : telle est l'origine des satellites.

Laplace explique alors comment les satellites ne formèrent plus de satellites nouveaux, et pourquoi ces corps secondaires présentent la même face à la planète autour de laquelle ils gravitent : c'est que la faible distance, donnant à l'attraction de celle-ci une influence prépondérante, les sphères composant les satellites, encore à l'état fluide, s'allongèrent vers le centre de la planète : et il en résulta pour le mouvement de rotation une durée presque identique à celle de leur mouvement de révolution. Après un certain nombre d'oscillations, ces durées devinrent rigoureusement égales.

Telle est, en peu de mots, la grandiose théorie que Laplace a du reste présentée au monde savant avec une réserve qui témoigne du profond respect que ce grand génie accordait aux vérités démontrées avec toute la rigueur de la science. Ce

qu'il faut dire, c'est qu'elle est en parfait accord avec les lois de la mécanique générale, et avec les faits et les observations astronomiques et physiques. Sans nous étendre davantage à ce sujet, il est impossible de n'être point frappé de la concordance que présente le monde de Saturne avec la conception de l'illustre géomètre ; Laplace insiste avec raison sur ce point :

« La distribution régulière de la masse des anneaux de Saturne autour de son centre et dans le plan de son équateur, résulte naturellement de cette hypothèse, et sans elle devient inexplicable ; ces anneaux ¹ me paraissent être des preuves

1. Une expérience de physique très-curieuse, imaginée par M. Plateau, rend compte de la façon la plus satisfaisante des phénomènes dont nous venons de décrire la succession : elle nous semble bien propre à dissiper l'obscurité qu'une description naturellement abstraite pourrait laisser dans l'esprit de quelques-uns de nos lecteurs.

Cette expérience consiste essentiellement à soustraire une masse fluide à

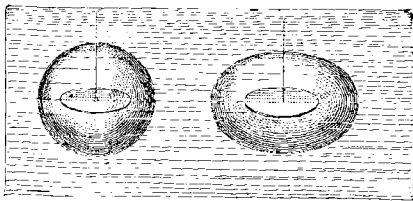


Fig. 205. — Expérience de M. Plateau. — Aplatissement d'une sphère liquide.

l'action de la pesanteur terrestre, de manière que toutes ses parties soient uniquement sollicitées par leurs attractions mutuelles, puis à

imprimer ensuite à cette masse un mouvement de rotation de plus en plus rapide. Pour cela, M. Plateau dépose une masse d'huile dans un vase à parois transparentes, rempli d'un mélange d'eau et d'alcool, dont les couches inférieures sont un peu plus denses que l'huile, tandis que les couches supérieures sont un peu plus légères. La masse d'huile descend dans le mélange jusqu'à la couche de même densité, où elle s'arrête et se fixe, en prenant d'elle-même la forme d'une sphère.

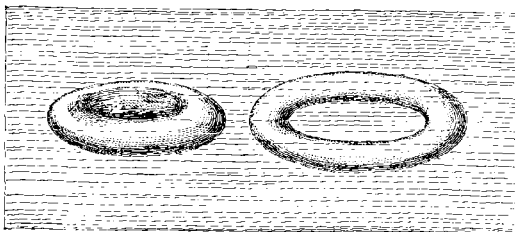


Fig. 206. — Expérience de M. Plateau. — La masse liquide se transforme en anneau.

En cet état, la masse d'huile est soustraite à l'action de la pesanteur, et la forme qu'elle affecte est due uniquement à l'attraction mutuelle de ses molécules. Alors, à l'aide d'un disque métallique, introduit avec

précaution dans la sphère d'huile, et muni d'une tige qui passe par son centre en

toujours subsistantes de l'extension primitive de l'atmosphère de Saturne et de ses retraites successives. »

communiquant avec une manivelle, M. Plateau pouvait imprimer au système un mouvement progressif de rotation. Lorsque ce mouvement est lent, la sphère se transforme en un sphéroïde, renflé à l'équateur, aplati aux pôles, sous l'action de la force centrifuge que développe le mouvement. Le phénomène rend alors parfaitement compte de la forme des globes planétaires (fig. 205).

Si le mouvement devient plus rapide, l'aplatissement est plus considérable : le sphéroïde finit par se creuser à ses pôles en s'étendant de plus en plus dans le sens horizontal, jusqu'à ce que le liquide, abandonnant tout à fait le disque, se transforme en un anneau circulaire (fig. 206). A ce moment, le phénomène explique à la fois, et les zones détachées à l'origine de la masse solaire et l'existence actuelle des anneaux de Saturne.

Enfin, si le mouvement de rotation rendu plus rapide est continué avec un disque d'un diamètre assez grand, la force centrifuge, en chassant les particules du milieu ambiant vers l'anneau, ne tarde pas à le séparer en plusieurs masses isolées qui s'agrègent individuellement en sphères ; chacune conserve alors, un certain temps, un mouvement propre de rotation de même sens que l'anneau. Cette dernière phase du phénomène offre une analogie frappante avec celui de la formation des centres de condensation qui, dans l'hypothèse de Laplace, sont l'origine des planètes du monde solaire, et ultérieurement de leurs satellites.



LIVRE DEUXIÈME.

LES MÉTHODES ET LES INSTRUMENTS

EN ASTRONOMIE.

Ce qui constitue la science astronomique, c'est principalement la réduction des phénomènes célestes à des lois mathématiques qui permettent de prédire leur retour à des époques déterminées, ou, ce qui revient au même, à indiquer avec exactitude ce qu'ils ont été dans le passé. Pour tout ce qui concerne les mouvements des corps du système planétaire, cette double divination, qui anticipe sur l'avenir ou recule dans les profondeurs des âges anciens, n'est pas autre chose que la solution d'un problème de géométrie ou de mécanique, problème, il est vrai, très-complexe, mais qui emprunte aux deux sciences que nous venons de nommer leur certitude. L'esquisse très-imparfaite que nous venons de faire des lois de l'astronomie suffira, nous l'espérons, à donner une idée de ce caractère essentiel de la science.

Pour achever de dissiper les doutes que quelques-uns de nos lecteurs conserveraient encore sur ce point délicat, nous prendrons quelques exemples. Bien des gens s'étonnent que les astronomes prédisent avec tant de précision et si longtemps d'avance les phénomènes des éclipses : rien ne leur

paraîtra plus simple, quand ils se seront rendu compte de ce que sont de tels phénomènes, que les anciens eux-mêmes étaient parvenus à calculer grossièrement. En entrant dans quelques détails sur les éclipses, nous aurons en outre l'occasion de décrire des observations intéressantes pour la constitution physique de la Lune et du Soleil; nous montrerons en outre comment les éclipses des satellites de Jupiter ont fourni une méthode pour déterminer la vitesse de la lumière.

La solution d'un autre problème, celui du calcul des distances des astres, ne paraît pas moins étonnante aux personnes étrangères à l'astronomie. C'est, comme on va le voir, une simple question d'arpentage céleste, très-difficile et très-délicate dans la pratique, très-simple et très-aisée à comprendre en théorie. J'espère que telle sera l'opinion du lecteur, quand il aura lu le chapitre que je consacre ici à cette question.

Quelques détails enfin sur les principaux instruments dont se servent les astronomes pour leurs observations nous initieront aux procédés d'investigation qui leur ont servi à découvrir la plupart des phénomènes célestes, tant dans les régions du ciel occupées par le monde solaire, que dans les plages lointaines de l'univers sidéral.

I

ÉCLIPSES DE SOLEIL ET DE LUNE.

§ 1. — Théorie générale des éclipses. — Les éclipses de Soleil ne peuvent avoir lieu qu'à l'époque de la nouvelle Lune ; les éclipses de Lune, pendant l'opposition. — Pourquoi chaque Lunaison ne donne pas deux éclipses.

Lorsque les mouvements de la Lune et de la Terre amènent ces deux astres dans une position telle, que leurs centres sont en ligne droite avec le centre du Soleil, le phénomène qui résulte de cette situation particulière des trois corps célestes, est ce qu'on nomme une *Éclipse*. Si c'est la Lune qui occupe la station intermédiaire, elle tourne vers la Terre son hémisphère obscur ; l'interposition de ce disque noir devant le disque lumineux du Soleil, empêche les rayons d'arriver jusqu'à nous : il y a *Éclipse de Soleil*. Si c'est la Terre même qui se trouve entre le Soleil et la Lune, notre globe remplit pour cette dernière la fonction d'écran. L'hémisphère lunaire tourné vers nous ne reçoit plus les rayons du Soleil, et son disque momentanément obscurci nous donne une *Éclipse de Lune*.

Mais cette manière d'envisager le phénomène est relative à la Terre seule. En réalité, dans ces deux circonstances, il y a simultanément éclipse pour chacun des trois astres en question, comme il est aisé de s'en rendre compte.

Qu'arrive-t-il, en effet, dans le premier cas ?

Pour un observateur placé sur le Soleil, la Lune paraîtrait

projetée sur la Terre, dont elle masquerait une partie de la surface. Il est vrai que les deux disques superposés, lumineux tous deux, ne laisseraient voir aucun obscurcissement sur la surface du globe terrestre¹. Pour un observateur placé dans l'hémisphère obscur de la Lune, il y aura éclipse de Terre, c'est-à-dire obscurcissement successif de toutes les régions de notre globe qui ont alors éclipse de Soleil. Enfin, dans le cas d'une éclipse de Lune pour la Terre, il y a aussi éclipse de Lune pour le Soleil, tandis que c'est une éclipse de Soleil pour l'hémisphère lunaire tourné vers nous.

Les éclipses peuvent être encore envisagées et expliquées d'une autre façon.

La Terre et la Lune sont deux corps sphériques, opaques dont une moitié est constamment éclairée par les rayons du Soleil, tandis que l'autre moitié est dans l'ombre. Le corps éclairant est lui-même une sphère de dimensions beaucoup plus considérables. Non-seulement la Lune et la Terre ont toujours un de leurs hémisphères obscur, mais encore chacun de ces deux astres projette derrière lui, c'est-à-dire à l'opposé du Soleil, une ombre en forme de cône, dont la longueur et l'épaisseur dépendent de la distance du corps éclairant et du diamètre du corps éclairé.

Ce cône d'ombre contient tous les points de l'espace qui, à cause de l'interposition du corps opaque, ne reçoivent du Soleil aucun rayon de lumière. Au delà du sommet de ce cône d'ombre pure et dans son prolongement, se trouvent tous les points de l'espace qui voient une partie du Soleil, sous la forme d'un anneau lumineux débordant le disque obscur du corps opaque. Enfin, ces deux régions sont elles-mêmes environnées de ce qu'on nomme la pénombre. Tout point de l'espace situé

1. Un phénomène de ce genre est celui dont nous pouvons être témoin à la surface de la Terre, et qui nous fait voir un des satellites de Jupiter ou de Saturne se projetant sous la forme d'un disque lumineux, sur le disque éclairé de la planète elle-même.

dans la pénombre ne reçoit de lumière que d'une partie du Soleil, dont le disque lumineux paraît échancre par le disque

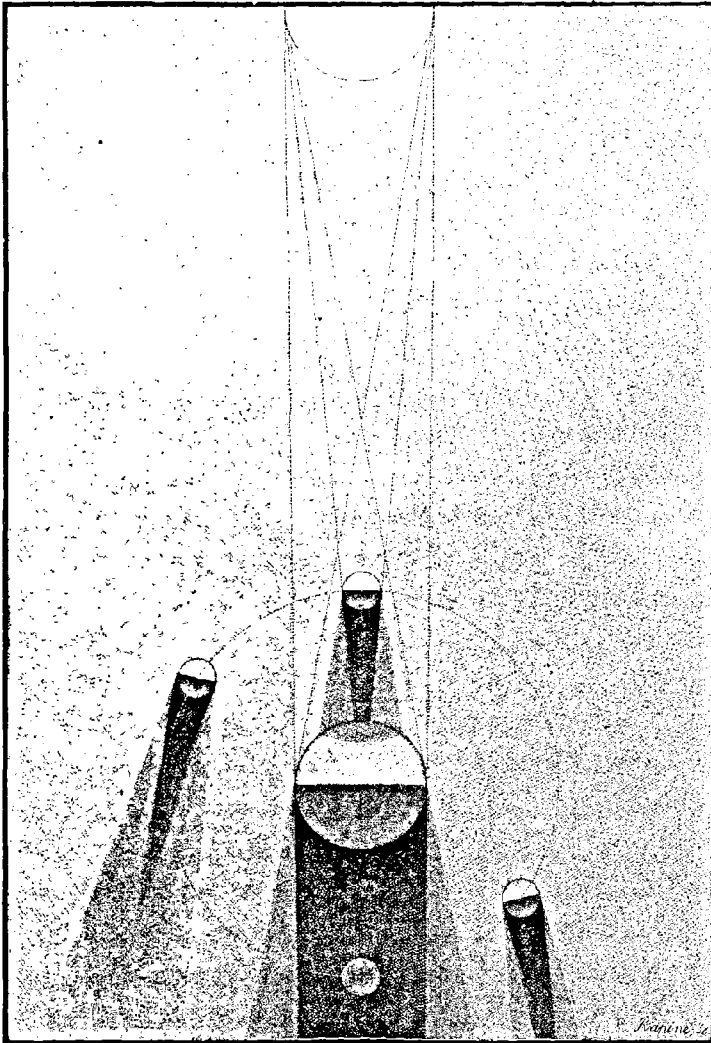


Fig. 207. — Théorie générale des éclipses.

obscur du corps opaque. L'obscurcissement produit par la pénombre est d'autant plus intense que le point dont il s'agit est plus voisin de l'ombre pure.

La Lune et la Terre, dans leurs mouvements, emportent avec elles leurs cônes d'ombre et de pénombre, et c'est en les projetant l'une sur l'autre qu'elles produisent les phénomènes des éclipses.

C'est là une théorie des plus simples, que tout le monde comprend aujourd'hui, et que j'ai rapidement résumée pour donner plus de clarté aux détails qui vont suivre.

Maintenant, qu'on jette les yeux sur la figure 207, et l'on verra tout de suite qu'une éclipse de Soleil a toujours lieu au moment de la Lune nouvelle, et qu'une éclipse de Lune n'est possible, au contraire, qu'à l'époque où notre satellite est en opposition, c'est-à-dire pendant la pleine Lune. Dans toutes les autres positions de notre satellite, c'est-à-dire pour toutes les autres phases de lunaison, le cône d'ombre lunaire se projette dans l'espace sans atteindre la Terre, et le cône d'ombre terrestre prolongé ne rencontre pas non plus la Lune.

C'est ce que confirment toutes les observations d'éclipses. Maintenant, il ne suit pas de là qu'il y ait éclipse à chaque pleine Lune, à chaque Lune nouvelle : la raison en est aisée à comprendre.

Il y aurait réellement deux éclipses dans chaque mois lunaire, l'une de Soleil, l'autre de Lune, si l'orbite de la Terre autour du Soleil et l'orbite de la Lune autour de la Terre étaient décrites dans le même plan. Alors, à l'époque soit de l'opposition soit de la conjonction, les centres des trois astres seraient nécessairement en ligne droite.

Mais on a vu qu'il n'en est pas ainsi dans la réalité, que l'orbite de la Lune est inclinée sur le plan de l'écliptique, de sorte qu'il arrive le plus souvent, au moment de la nouvelle Lune, que notre satellite projette son cône d'ombre au-dessus ou au-dessous de la Terre. De même à l'époque de l'opposition, la Lune, par sa situation en dehors du plan de l'écliptique, passe tantôt au-dessus tantôt au-dessous du cône d'om-

bre terrestre. Toutes les fois qu'il en est ainsi, il n'y a pas d'éclipse.

Examinons donc quelles conditions sont nécessaires pour qu'une éclipse de Soleil ou de Lune soit possible.

L'orbite de la Lune, je le répète, est située dans un plan qui fait avec le plan de l'orbite terrestre un certain angle, à peu près constant (en moyenne $5^{\circ} 8' 47''$). Il en résulte qu'une moitié de la révolution mensuelle s'effectue au-dessus de ce dernier plan, tandis que l'autre moitié s'accomplit au-dessous. La Lune passe donc par l'écliptique deux fois à chaque lunaison. Les deux positions qu'elle occupe pendant ces passages sont les *nœuds*. L'un se nomme le nœud ascendant, l'autre le nœud descendant, parce qu'ils correspondent, le premier au mouvement de la Lune qui s'élève du côté sud au côté nord de l'écliptique, le second au mouvement inverse.

Si les nœuds restaient invariables, dans leurs positions relatives au Soleil, il arriverait de deux choses l'une, ou qu'il n'y aurait jamais d'éclipses, ou qu'il se présenterait deux éclipses à chaque mois lunaire. Mais les nœuds se déplacent d'une lunaison à l'autre, et il est aisé de comprendre que l'éclipse aura lieu toutes les fois qu'ils coïncideront avec les phases de pleine et de nouvelle Lune, avec les syzygies. Cette coïncidence n'a pas besoin d'être parfaite : il suffit que les nœuds soient assez voisins de ces phases, pour que la largeur des cônes d'ombre rende possible l'immersion soit de la Lune, soit de la Terre.

Telle est la première condition générale de possibilité de ces phénomènes. Il en est d'autres encore qui sont propres à chaque genre d'éclipse, et dont nous allons dire un mot en décrivant séparément les éclipses de Soleil et les éclipses de Lune.

Comme la Lune, le Soleil et les nœuds de l'orbite lunaire se retrouvent à peu près dans les mêmes conditions relatives, au bout d'une période qui dure 6585 jours — 18 ans et 10 ou

11 jours; c'est la période de Saros connue des anciens — il en résulte que les éclipses qui se sont produites dans cette première période de 18 ans se reproduisent encore dans le même ordre pendant les 18 années de la période suivante.

Dans cet intervalle de temps, on compte 70 éclipses, parmi lesquelles 29 de Lune et 41 de Soleil.

§ 2. — Éclipses de Soleil. — Conditions de possibilité et de visibilité des éclipses de Soleil. — Éclipses totales, annulaires, partielles. — Auréoles lumineuses, protubérances rougeâtres. — Influence du phénomène des éclipses sur les êtres vivants.

Tout le monde sait qu'on distingue trois espèces d'éclipses solaires. Les unes sont *totales* : le disque obscur de la Lune recouvre alors entièrement la surface apparente de l'astre radieux. Les autres sont *partielles* : c'est quand une portion seulement, plus ou moins grande d'ailleurs, du disque solaire est échanquée. Enfin, il y a des éclipses de Soleil *annulaires* : ces éclipses ont lieu, quand le disque de la Lune n'est pas assez grand pour recouvrir entièrement celui du Soleil, et qu'un anneau lumineux d'une certaine largeur déborde, tout autour, l'hémisphère obscur de la Lune.

La Lune étant beaucoup plus petite que le Soleil, on comprend que c'est sa faible distance relative qui nous montre son disque avec des dimensions apparentes égales à celle du disque solaire, et même plus grandes. Cette distance varie en raison de la forme elliptique de son orbite, et c'est pourquoi les dimensions du disque lunaire se trouvent tantôt plus grandes, tantôt plus petites que celles du Soleil, quelquefois égales.

Cela revient à dire que le cône d'ombre pure projeté par la nouvelle Lune vers la Terre, atteint ou n'atteint pas la surface de notre globe. S'il atteint cette surface, il y a éclipse totale pour tous les points de la Terre qui s'y trouvent plon-

gés; éclipse partielle pour toutes les régions atteintes seulement par la pénombre. C'est ce que fait voir la figure suivante :

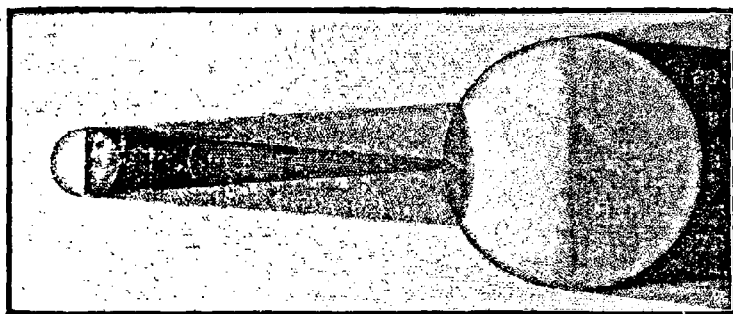


Fig. 208. — Éclipse totale de Soleil; théorie.

Le cône d'ombre pure de la Lune n'atteint-il pas la Terre, il y a éclipse annulaire pour tous les points que rencontre le prolongement de ce cône; éclipse partielle pour ceux qui se trouvent seulement dans la pénombre. C'est le cas représenté par cette autre figure :

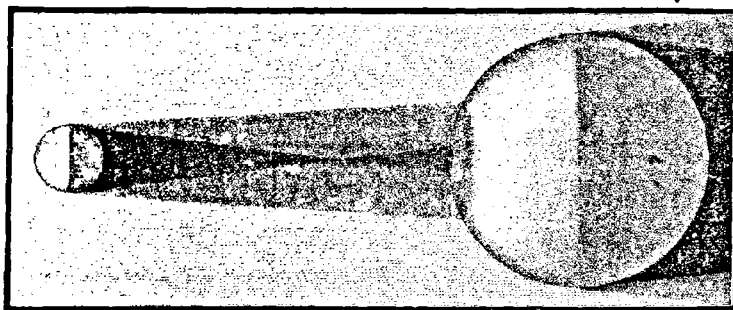


Fig. 209. — Éclipse annulaire de Soleil; théorie.

On le voit, les conditions de possibilité des éclipses totales de Soleil sont les suivantes :

- La Lune doit être en conjonction, c'est-à-dire nouvelle;
- Elle doit être en même temps dans le voisinage de l'un de ses nœuds;

Enfin, sa distance à la Terre doit être moindre que la longueur du cône d'ombre pure projeté par elle dans l'espace.

Les mêmes conditions, sauf la dernière, sont celles des éclipses de Soleils annulaires.

Les personnes qui lisent dans les annuaires scientifiques ou dans les almanachs les éclipses annoncées et calculées d'avance par les astronomes, ont dû remarquer souvent ces mots : *invisibles à Paris* (ou dans tout autre lieu). Une éclipse de Soleil, nous parlerons plus loin de celles de la Lune, peut donc avoir lieu, sans être pour cela visible de tous les points de la Terre ? — Sans doute, et il est aisé de se rendre compte de cette circonstance.

D'abord cela est évident pour tous les lieux où le Soleil reste couché pendant toute la durée entière de l'éclipse. Mais cela est non moins vrai pour beaucoup d'autres points de la surface terrestre, qui ont le Soleil au-dessus de leur horizon pendant la durée même de l'éclipse. On peut présenter l'explication de ce fait de plusieurs manières. Je me bornerai à celle-ci qui me semble aisée à saisir, même sans figure.

La Lune a un diamètre près de quatre fois inférieur à celui de la Terre. Son cône d'ombre, dans sa plus grande largeur, est donc beaucoup trop étroit pour que la Terre puisse y être entièrement plongée; et vers ses extrémités, ses dimensions sont assez petites pour ne produire sur la surface de notre globe qu'un petit cercle noir de 22 lieues au plus de largeur. Une éclipse de Soleil n'est donc totale à un même instant physique que pour un cercle de cette dimension. Seulement, le mouvement de rotation de la Terre et le mouvement de translation de la Lune combinés, font que le cône d'ombre se promène en réalité sur une plus grande étendue, traçant une courbe obscure à la surface des continents et des mers¹.

1. Le cône d'ombre projeté par la Lune dans l'espace a une longueur qui varie entre 57 et 59 rayons de la Terre. D'autre part, on a vu que la distance

Les mêmes observations s'appliquent à la pénombre.

Ainsi, suivant la position des lieux relativement au Soleil et à la Lune, le premier de ces astres peut être éclipsé totalement ou partiellement, ou même être seulement en contact simple avec le disque obscur de notre satellite.

Les théories astronomiques des mouvements de la Lune et de la Terre sont aujourd'hui assez perfectionnées pour que les astronomes puissent prédire avec précision ces phénomènes. Non-seulement, le calcul indique le jour de l'éclipse, mais l'heure exacte, la durée, les dimensions ou les phases du phénomène pour chaque point de la Terre. Des cartes sont ordinairement jointes à ces détails numériques, et montrent l'ensemble des points du globe où l'éclipse sera visible.

Nous avons dessiné nous-même une carte de ce genre, pour l'éclipse totale de Soleil qui a eu lieu le 18 juillet 1860, d'après les indications de la *Connaissance des Temps* et du *Nautical Almanach*, recueils publiés plusieurs années à l'avance pour les besoins des astronomes et des navigateurs. Une courbe en forme de 8 marque les points du globe où l'éclipse a commencé ou fini au lever ou au coucher du Soleil. Une autre ligne, qui coupe la première en deux parties, passe par les lieux de la Terre qui n'ont vu que la moitié de l'éclipse, parce que le milieu du phénomène coïncidait pour eux, soit avec le lever, soit avec le coucher de l'astre radieux. Un trait plus noir marque les points où l'éclipse était centrale, et de chaque côté une bande grisâtre d'une certaine largeur indique les points où elle était simplement

entre les centres de la Terre et de la Lune varie aussi entre 57 et 64 rayons terrestres. Du centre de la Lune au point le plus voisin de notre globe, il y a donc de 56 à 63 de ces rayons. Ainsi le cône d'ombre pure peut atteindre la surface de la Terre, dans toute l'étendue de l'hémisphère tourné vers la Lune : de là, éclipse totale. S'il n'atteint pas cette surface, l'éclipse est seulement annulaire. Il peut arriver encore que la pénombre seule rencontre la Terre, le cône d'ombre et son prolongement passant alors au-dessus de notre globe. L'éclipse de Soleil peut donc encore n'être que partielle, quel que soit le lieu considéré.

La durée d'une éclipse de Soleil est variable. Mais il faut distinguer évidemment entre la durée totale du phénomène pour la Terre entière, et la durée pour un point donné du globe. Voici, d'après les calculs de Dionis du Séjour, rapportés par Arago, quelques nombres relatifs à cette dernière durée :

Pour la plus grande durée possible d'une éclipse totale,	{ le long de l'Équateur	4 ^h 29 ^m 44 ^s
	{ sous la latitude de Paris	3 ^h 26 ^m 32 ^s
Pour la plus grande durée possible de la phase annulaire,	{ le long de l'Équateur	12 ^m 46 ^s
	{ sous la latitude de Paris	9 ^m 56 ^s
Pour la plus grande durée possible de l'obscurité totale,	{ le long de l'Équateur	7 ^m 58 ^s
	{ sous la latitude de Paris	6 ^m 10 ^s

L'éclipse totale de Soleil dont la figure précédente donne le tracé à la surface du globe terrestre, commença à 0 heure 3 minutes du soir, temps moyen de Paris, et finit à 5 heures 6 minutes du soir, après avoir ainsi duré dans l'ensemble de ses phases 5 heures 3 minutes. A Paris, où l'éclipse ne fut que partielle, la durée du phénomène fut seulement de 2 heures 14 minutes. La dernière éclipse totale de Soleil, celle du 18 août 1868, a duré 5 heures 15 minutes pour la Terre entière; elle a été très-remarquable par la longue durée de la phase de totalité qui s'est élevée en certains points jusqu'à 6 minutes 47 secondes.

Parmi les 41 éclipses de Soleil qui ont lieu tous les 18 ans, il en est 28 qui sont centrales, et qui, par conséquent, sont visibles quelque part à la surface du globe terrestre comme éclipses totales, ou comme éclipses annulaires. Cela fait, par siècle, 227 éclipses de Soleil, dont 155 sont centrales. Mais il s'en faut qu'elles soient aussi fréquentes pour un lieu donné de la Terre, et l'observation n'en est pas toujours facile. Cela explique pourquoi les éclipses totales observées étaient si rares il y a deux siècles.

Depuis le seizième jusqu'au commencement du dix-neuvième siècle, on n'a pu observer en tout que neuf éclipses

totales de Soleil; sept autres ont été annulaires. Paris, pendant tout le dix-huitième siècle, n'a été témoin que d'une seule éclipse totale, celle de 1724 : et Londres, aussi peu favorisée que la capitale de la France, n'en a vu aucune depuis 1715.

Depuis 1801, on a pu observer sept éclipses totales, celles de 1806, 1842, 1850, 1851, 1856, 1860 et 1861. Voici les principales éclipses totales de Soleil, qui auront lieu, d'ici à la fin du siècle, avec la mention des lieux où la totalité sera visible :

1870	22 décembre	Açores, midi de l'Espagne, nord de l'Afrique, Sicile et Turquie.
1887	19 août	Le N. E. de l'Allemagne, le midi de la Russie, l'Asie centrale.
1896	9 août	Le Groënland, la Sibérie et la Laponie.
Enfin, 1900	8 mai	L'Espagne, l'Algérie, l'Égypte, les États-Unis.

Aucune d'elles, on le voit, ne sera totale pour Paris.

Les éclipses de Soleil, pas plus que celles de Lune, n'ont aujourd'hui le privilège d'exciter la frayeur, du moins parmi les populations civilisées. Au lieu d'une terreur superstitieuse, c'est un intérêt de curiosité qu'elles inspirent. Annoncées par-tout longtemps d'avance, elles témoignent de la précision des calculs astronomiques, et le public s'habitue peu à peu partout à voir la fixité des lois, l'ordre et l'harmonie, là où jadis l'ignorance ne supposait que des accidents fortuits, des signes précurseurs du mal, des témoignages de la colère céleste.

Quant à l'astronome, il y trouve matière à des recherches curieuses. Les éclipses partielles, les moins intéressantes de toutes, lui donnent encore l'occasion de vérifier l'exactitude de ses tables, par les concordances ou les divergences que l'observation constate entre l'heure prédite par les calculs et l'heure réellement observée. Mais ce sont les éclipses totales, surtout les dernières, celles de 1842, de 1850, de 1851, de 1858, de

1860, de 1861 et de 1868 qui ont été fécondes en faits nouveaux, ou du moins nouvellement remarqués. Nous allons donner une description sommaire de ces faits, en mettant d'ailleurs sous les yeux du lecteur les dessins qui en représentent les particularités diverses.

Suivons le phénomène dans sa marche progressive.

C'est toujours le bord occidental du Soleil qui reçoit le premier l'impression du contact de la Lune, et par conséquent c'est le bord oriental du disque lunaire qui peu à peu empiète sur l'astre radieux, jusqu'à le recouvrir entièrement. L'éclipse est donc nécessairement partielle, avant le moment où le dernier filet lumineux disparaît. L'obscuration totale, la *totalité*, disent les astronomes, commence alors. Au bout de quelques minutes, un mince filet lumineux reparait et l'éclipse partielle repasse, en sens inverse, par les mêmes phases que dans la première partie du phénomène. Il y a donc en tout, quatre contacts des deux disques, deux contacts extérieurs et deux contacts intérieurs¹.

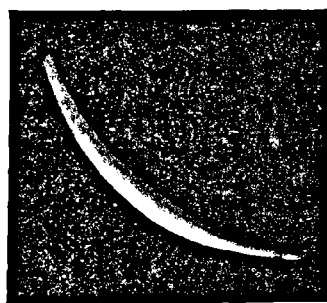


Fig. 211. — Eclipse totale de Soleil du 18 juillet 1860. Forme arrondie et tronquée des cornes du croissant solaire, d'après un cliché photographique de M. Laussedat.

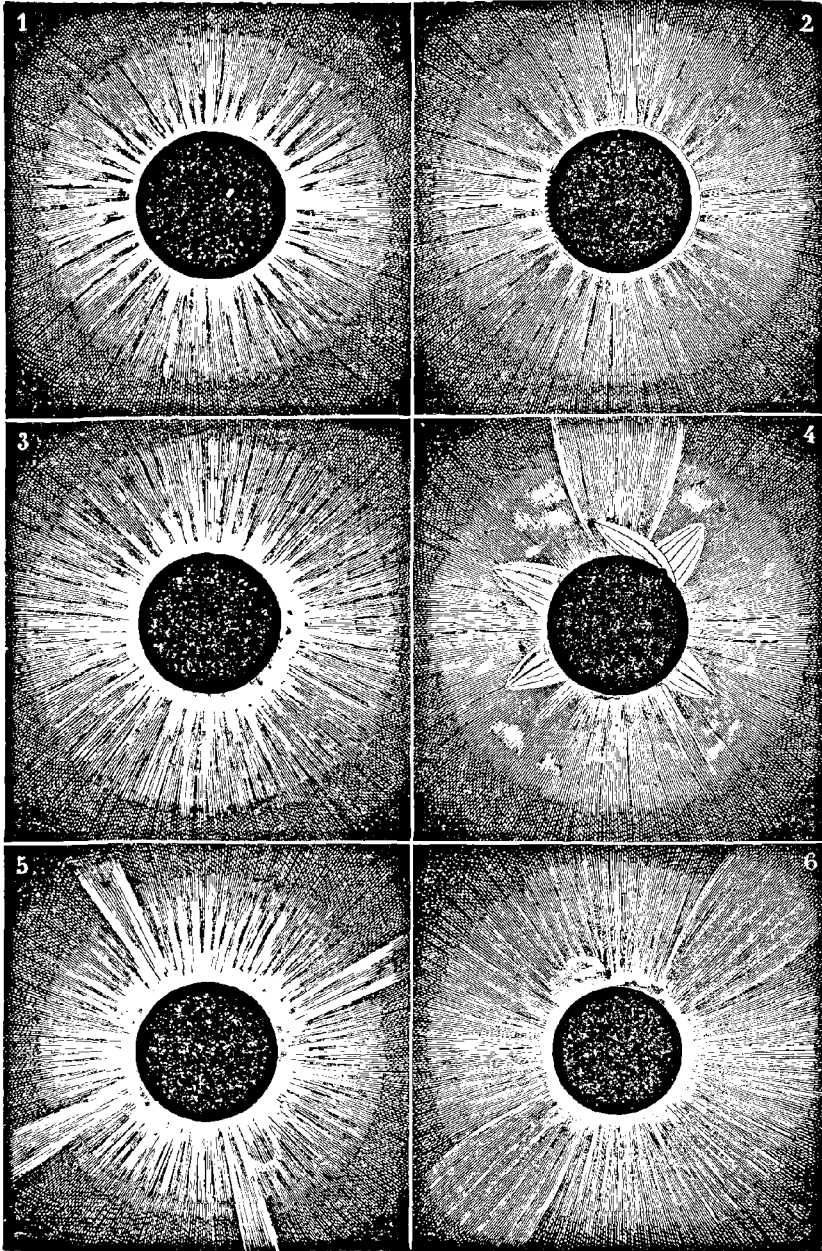
1. On a cherché à constater par la forme des cornes des croissants lumineux l'existence d'une atmosphère lunaire. La plupart des observateurs n'ont rien vu. Cependant, l'éclipse du 18 juillet 1860 a fourni à cet égard un fait curieux et fondamental : l'une des cornes du croissant solaire a paru arrondie et tronquée. A l'autre extrémité, on a pu remarquer un étranglement, précurseur de la séparation d'un point lumineux et d'une troncature identique à la première. Nous devons à M. Laussedat la communication du cliché photographique obtenu par ce savant observateur : le dessin qui précède (fig. 211) en est la reproduction rigoureuse. Il y a là un fait qui semble infirmer l'opinion, si généralement admise, de la non-existence d'une atmosphère à la surface de la Lune; mais n'est-ce pas simplement un phénomène optique de diffraction ou d'irradiation?

Quelques instants avant la totalité, pendant toute sa durée et même un peu après, une couronne lumineuse entoure le disque obscur de la Lune, et projette en tous sens des rayons de lumière, séparés par des intervalles plus obscurs en forme de *gloire*. Dans plusieurs éclipses totales, indépendamment de cette auréole régulière, on a remarqué des aigrettes ou appendices irrégulièrement placés sur son contour, et dont les rayons avaient des directions plus ou moins excentriques. La planche XL montre en détail les auréoles de plusieurs éclipses totales. La couleur de la couronne lumineuse qui entoure immédiatement le disque obscur a semblé, tantôt d'un blanc de perle ou argenté, tantôt jaunâtre et même rouge.

L'explication généralement adoptée de cette auréole et de la *gloire* qui l'environne, est que le premier de ces phénomènes accuse l'existence d'une atmosphère solaire, enveloppant l'astre radieux à une hauteur d'environ un dixième du diamètre de l'astre, c'est-à-dire de 35 à 40 mille lieues. Quant aux rayons formant la *gloire*, on les regarde comme un phénomène purement optique, dû à la diffraction de la lumière sur les aspérités du contour de la Lune.

Venons maintenant à un phénomène d'un grand intérêt qui fut signalé pour la première fois dans l'éclipse totale de 1842, et qui depuis a été l'objet d'observations importantes et minutieuses.

Des protubérances de formes diverses, et d'une couleur rougeâtre, se sont montrées sur tout le contour du limbe obscur de la Lune, pendant la période de la totalité. Les unes affectaient la forme de pics dentelés pareils à des montagnes; d'autres s'élevaient normalement au disque pour se recourber à angle droit; quelques-unes enfin ont paru complètement détachées du contour du disque, semblables à des nuages flottants. Leur teinte était tantôt d'un rouge vif, tantôt rosacée et nuancée en quelques points d'un bleu verdâtre. Arago



ÉCLIPSES DE SOLEIL.

1. Éclipse annulaire. — 2. Éclipse annulaire du 15 mai 1836; dentelures de Baily. —
 3. Éclipse totale du 28 juillet 1851, d'après Dawes. — 4. Éclipse de 1858, d'après Liais.
 — 5. Éclipse totale du 18 juillet 1860; Feilitzsch. — 6. Éclipse totale du 8 juillet 1842.

inclinait à regarder cette dernière couleur comme un simple effet de contraste.

Il est aujourd'hui prouvé que les protubérances appartiennent au Soleil. Si l'on examine avec soin (planche IV et fig. 23 et 24) les dessins que nous reproduisons d'après les dessins originaux joints au beau Mémoire de M. Warren de la Rue sur l'éclipse totale du 18 juillet 1860, et ceux de l'éclipse du 18 août 1868, du major Tennant, et qui représentent ces phénomènes remarquables au commencement et à la fin de la totalité, le fait dont nous parlons apparaîtra avec une pleine évidence. Nous savons de plus, depuis la dernière de ces deux éclipses, quelle est la constitution physique et chimique de ces agglomérations, masses gazeuses formées principalement d'hydrogène incandescent¹.

Pendant la durée entière des phases d'une éclipse totale, l'intensité de l'illumination de l'atmosphère va naturellement en diminuant, depuis l'origine jusqu'au commencement de la totalité, pour reprendre ensuite graduellement son intensité primitive. L'obscurité, pendant la phase d'obscuration totale, est cependant bien loin d'être complète. Aussi ne voit-on guère alors que les étoiles les plus brillantes et quelques-unes de celles de seconde grandeur. Les planètes Vénus et Mercure, Jupiter, Mars et Saturne ont été vues pareillement.

Les objets terrestres prennent peu à peu une teinte livide : ils se colorent de diverses nuances, parmi lesquelles le vert olive prédomine. Le jaune orangé, le rouge vineux, des teintes cuivrées donnent aux paysages une physionomie singulière, qui, jointe à un abaissement très-sensible de température, contribue à produire une impression profonde sur tous les êtres animés.

1. Nous avons donné les principaux résultats des dernières découvertes faites sur ce point pendant l'éclipse totale de Soleil du 18 août 1868, dans le chapitre qui traite de la constitution physique du Soleil (page 85) : Pour plus de détails, nous renverrons le lecteur aux mémoires originaux, dont nous avons résumé la substance dans la 2^e édition de notre petit livre sur le SOLEIL.

Arago raconte en ces termes quelle fut l'attitude d'une population tout entière en présence du magnifique et solennel spectacle offert par l'éclipse totale du 8 juillet 1842.

« A Perpignan, les personnes gravement malades étaient seules restées dans leurs chambres. La population couvrait, dès le grand matin, les terrasses, les remparts de la ville, tous les monticules extérieurs, d'où l'on pouvait espérer de voir le lever du Soleil. A la citadelle, nous avions sous les yeux, outre des groupes nombreux de citoyens établis sur les glacis, les soldats qui, dans une vaste cour, allaient être passés en revue.

« L'heure du commencement de l'éclipse approchait. Près de vingt mille personnes examinaient, des verres enfumés à la main, le globe radieux se projetant sur un ciel d'azur. A peine, armés de nos fortes lunettes, commencions-nous à apercevoir la petite échancrure du bord occidental du Soleil, qu'un cri immense, mélange de vingt mille cris différents, vint nous avertir que nous avions devancé seulement de quelques secondes l'observation faite à l'œil nu par vingt mille astronomes improvisés, dont c'était le coup d'essai. Une vive curiosité, l'émulation, le désir de ne pas être prévenu semblaient avoir eu le privilège de donner à la vue naturelle une pénétration, une puissance inusitées.

« Entre ce moment et ceux qui précédèrent de très-près la disparition totale de l'astre, nous ne remarquâmes rien dans la contenance de tant de spectateurs qui mérite d'être rapporté. Mais, lorsque le Soleil, réduit à un étroit filet, commença à ne plus jeter sur notre horizon qu'une lumière très-affaiblie, une sorte d'inquiétude s'empara de tout le monde; chacun éprouvait le besoin de communiquer ses impressions à ceux dont il était entouré. De là, un mugissement sourd, semblable à celui d'une mer lointaine après la tempête. La rumeur devenait de plus en plus forte, à mesure que le croissant solaire s'amincissait; le croissant disparut; enfin, les ténè-

bres succédèrent subitement à la clarté, et un silence absolu marqua cette phase de l'éclipse, tout aussi nettement que l'avait fait le pendule de notre horloge astronomique. Le phénomène, dans sa magnificence, venait de triompher de la pétulance de la jeunesse, de la légèreté que certains hommes prennent pour un signe de supériorité, de l'indifférence bruyante dont les soldats font ordinairement profession. Un calme profond régna aussi dans l'air : les oiseaux avaient cessé de chanter.

« Après une attente solennelle d'environ deux minutes, des transports de joie, des applaudissements frénétiques saluèrent, avec le même accord, la même spontanéité, la réapparition des premiers rayons solaires '.... »

Les animaux témoignent, par des mouvements et des gestes non équivoques, de la sensation instinctive que produit sur eux le phénomène. Les végétaux mêmes subissent une influence. En 1842, les feuilles de certaines plantes se ferment. Pendant l'éclipse de juillet 1860, M. Laussedat, qui observait en Algérie, rapporte ce fait. « Les plantes, dit-il, montrèrent combien est rapide l'action de la lumière qu'elles reçoivent comme par une sorte de sens diffusé dans leurs corolles, car, malgré la courte durée de l'obscurité, on vit les daturas, les volubilis, les pavots, les belles-de-nuit, qui s'étaient tenus fermés au Soleil, se rouvrir à demi pendant l'éclipse totale. »

Les observations curieuses, faites pendant les éclipses totales de Soleil, sont fort intéressantes au point de vue physique et astronomique, mais si nombreuses qu'elles rempliraient des volumes. Je me bornerai à citer encore le phénomène des franges, de ces lignes alternativement lumineuses et obscures, qui se meuvent à la surface du sol, dans un sens perpendiculaire à leur longueur, et dont la direction, mesurée avec soin,

1. *Annuaire du Bureau des longitudes pour 1846*, p. 303 à 305.

est parallèle à la tangente au premier point de contact intérieur. Les franges semblent dues — telle est du moins l'explication de M. Faye¹ — à un effet de mirage oblique, produit par une différence de densité dans les couches de l'atmosphère qui composent le cône d'ombre.

§ 3. — Éclipses de Lune. — Conditions de possibilité et de visibilité des éclipses de Lune. — Éclipses partielles et totales. — Coloration du disque lunaire pendant les phases d'une éclipse totale. — Périodicité et calcul des éclipses. — Occultations des étoiles et des planètes.

Comme les éclipses de Soleil, les éclipses de Lune peuvent être partielles ou totales. Mais elles ne sont jamais annulaires, le cône d'ombre de la Terre ayant toujours, aux plus grandes distances de notre satellite, des dimensions beaucoup plus considérables que le disque lunaire lui-même.

En outre, une distinction capitale entre les deux phénomènes est celle-ci : tandis qu'une éclipse de Soleil n'est visible que pour une fraction de l'hémisphère terrestre qui voit cet astre sur l'horizon, l'éclipse de Lune est toujours visible de tous les points de la Terre pour lesquels l'astre n'est pas couché. Bien mieux : ce n'est que successivement que l'éclipse de Soleil a lieu aux différentes stations, à mesure que l'ombre et la pénombre de la Lune se promènent sur la surface de notre globe. Au contraire, l'obscurcissement du disque lunaire commence et se termine partout, non pas aux mêmes heures,

1. Ce phénomène intéressant a été observé avec un soin minutieux par MM. Laussedat et Mannheim, membres de la commission envoyée par l'École polytechnique à Batna (Algérie), en juillet 1860. C'est là que les premières mesures rigoureuses de la direction et de la vitesse des franges ont été exécutées. L'année suivante, pendant l'éclipse de 1861, un officier français, M. Poulain, a répété les mêmes mesures, d'après les indications de M. Mannheim. Les comptes rendus de la Société astronomique de Londres, en mentionnant en 1862 cette dernière observation, ont oublié, nous ne savons pourquoi, de rappeler l'observation originale, que les *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, et les *Annales de physique et de chimie* publiaient, dès 1860, avec détails.

puisque l'heure varie selon le méridien du lieu de l'observation, mais aux mêmes instants physiques.

Le lecteur a déjà compris la raison de cette différence essentielle. Dans l'éclipse solaire, la surface de l'astre radieux n'est pas réellement obscurcie, mais seulement cachée par le disque obscur de la Lune, de sorte que cette interposition est un effet de perspective variant selon la position respective de

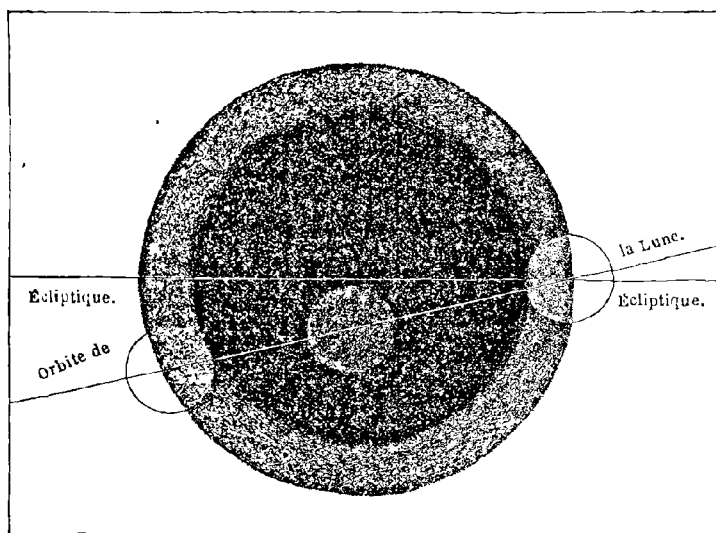


Fig. 212. — Marche de la Lune dans le cône d'ombre de la Terre. — Eclipse totale.

l'observateur, de la Lune et du Soleil. L'éclipse lunaire est au contraire produite par une déperdition réelle de lumière de notre satellite, et l'obscurcissement qui en résulte est visible au même instant, partout où la Lune est en vue.

Les deux figures 212 et 213 montrent dans quels cas l'éclipse de Lune est partielle ou totale. Quand la Lune, d'ailleurs en opposition, traverse le cône d'ombre pure de la Terre dans sa plus grande épaisseur, l'éclipse est totale et centrale, et sa durée est la plus grande possible. L'éclipse peut être encore totale, sans être centrale, quand l'orbite de

la Lune traverse le cône d'ombre dans une épaisseur suffisante.

Mais si le nœud de la Lune est trop éloigné du cône, son disque ne pénétrant qu'en partie dans l'ombre, ne subira qu'un obscurcissement incomplet : l'éclipse sera partielle.

Au début d'une éclipse totale de Lune, on remarque d'abord un affaiblissement marqué de la lumière du disque, à ce moment la Lune entre dans la pénombre. Puis, tout à coup,

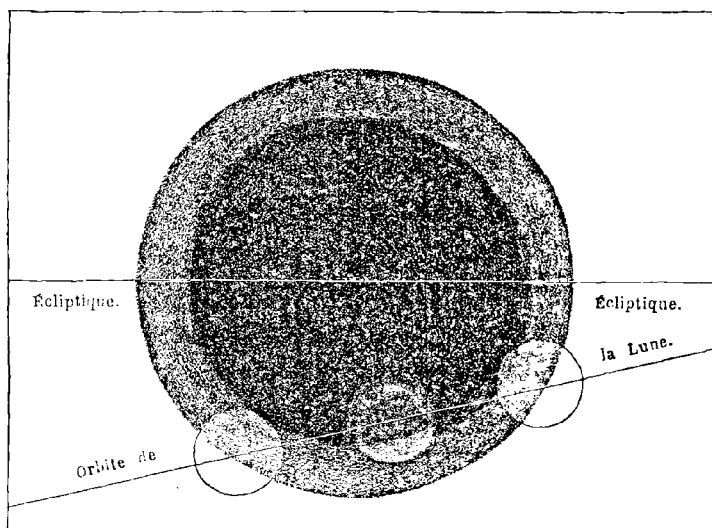


Fig. 213. — Marche de la Lune dans le cône d'ombre de la Terra. — Éclipse partielle.

une petite échancrure se forme, qui peu à peu envahit la partie lumineuse du disque, mais cette échancrure est loin d'être aussi nette que celle des éclipses solaires. La forme en est circulaire, mais d'une courbure moins prononcée, circonstance aisée à prévoir et que le calcul confirme, le diamètre de l'ombre de la Terre étant près de trois fois aussi grand que celui de la Lune¹.

La couleur de l'ombre est d'abord celle d'un noir grisâtre,

1. La largeur moyenne du cône d'ombre terrestre, à la distance où se font les éclipses, est de 82', tandis que le diamètre lunaire n'est que de 31'.

qui ne permet de rien voir de la partie éclip­sée ; mais, à mesure que l'ombre envahit le disque lunaire, une teinte rouge le recouvre de plus en plus, et les détails des taches principales deviennent visibles. Entre le croissant lumineux et le centre rougeâtre de l'ombre s'étend une bande d'un gris bleu, comme le montre la planche XLI (*Éclipse totale et éclipse partielle de Lune*).

Dès que l'éclipse est totale, le rouge devient plus intense et se répand aussitôt sur tout le disque. Selon Beer et Mædler, la teinte bleuâtre est d'un gris sombre, quand on la compare avec la partie de Lune éclairée par le Soleil ; elle semble bleue et plus claire que le rouge, si c'est avec cette dernière qu'on la compare.

Quelques minutes avant la réapparition de la lumière au bord opposé du disque, la teinte bleuâtre colore légèrement les régions les plus voisines de ce bord ; et les phases de l'éclipse se reproduisent en sens inverse, jusqu'à l'entière émer­ sion de la Lune.

Comme on le voit, la Lune ne disparaît pas toujours complètement dans les éclipses totales. La raison de ce fait est dans la réfraction des rayons solaires qui, traversant les couches inférieures de l'atmosphère de la Terre, c'est-à-dire les plus denses, se brisent et projettent jusqu'à la Lune les teintes empourprées de nos soleils couchants.

Il arrive cependant que la Lune devient tout à fait invisible pendant la durée de l'éclipse totale : on cite comme exemples de ce fait les éclipses de 1642 et de 1816. D'autres fois, la visibilité sans être nulle est très-imparfaite : il faut chercher l'explication de ces circonstances dans l'état particulier de notre atmosphère, sur toute la périphérie terrestre comprenant les lieux où le Soleil se lève et se couche au moment de l'éclipse.

Un autre phénomène, qui se présente, il est vrai, fort rarement, paraît contradictoire avec la théorie géométrique et

astronomique des éclipses. Je veux parler de la présence simultanée du Soleil et de la Lune pendant le phénomène. Le premier de ces astres se couchant au moment où l'autre se lève, il semble que la Lune, la Terre et le Soleil ne sont plus en ligne droite. Il n'y a là qu'une apparence due à la réfraction. Le Soleil, déjà sous l'horizon, est relevé par la réfraction et reste visible pour nous. Il en est de même de la Lune qui n'est pas encore réellement levée, lorsqu'elle nous semble déjà l'être. On cite les éclipses de 1666, de 1668 et du 19 juillet 1750, comme ayant présenté cette circonstance singulière.

Il nous reste, pour terminer ce qui concerne les éclipses, à dire un mot de leur périodicité.

Tous les dix-huit ans environ, la Terre, la Lune et le Soleil se retrouvent dans les mêmes positions relatives. C'est là un fait que les anciens avaient déjà constaté par l'observation avant que la théorie des mouvements célestes en eût démontré l'exactitude approchée. Voici comment :

Comme une éclipse ne peut avoir lieu qu'à l'époque de l'une ou l'autre des syzygies, et que deux oppositions et deux conjonctions sont séparées par un intervalle de temps de $29^j.53$, ils avaient d'abord reconnu qu'une éclipse, soit de Lune, soit de Soleil, ne peut se reproduire qu'au bout d'une période de temps égale à un nombre entier de lunaisons, c'est-à-dire à un multiple du nombre $29^j.53$. De plus, il faut que la latitude de la Lune ne dépasse pas certaines limites que nous avons indiquées, c'est-à-dire qu'elle soit à l'un de ses nœuds ou dans le voisinage, à l'époque même de l'opposition ou de la conjonction. Pour qu'une éclipse se reproduise dans les mêmes circonstances, il est donc aussi nécessaire que le Soleil vienne occuper de nouveau la même position relativement aux nœuds de l'orbite lunaire. Or le Soleil revient au même nœud après un intervalle de $346^j.62$. Il faudra donc qu'il s'écoule une période égale à un multiple exact du nom-

bre $346^j.62$, pour que le Soleil et la Lune se retrouvent dans des positions identiques à celles qui ont produit l'éclipse donnée.

Toute la question se ramène donc à trouver une période qui soit à la fois un multiple exact du nombre $29^j.53$ et un multiple exact du nombre $346^j.62$. Cette période était connue des anciens Chaldéens sous le nom de Saros. Ils avaient reconnu qu'au bout de 223 lunaisons, le Soleil, la Lune et les nœuds de la Lune, se trouvaient ramenés aux mêmes positions relatives. Et, en effet, 223 lunaisons font 6585 jours, et 19 fois le nombre $346^j.62$ font pareillement 6585 jours.

Ainsi, tous les 18 ans environ (18 ans 11 jours), le Soleil, la Lune et les nœuds de l'orbite lunaire occupant à peu de chose près les mêmes positions relatives, il en résulte que les éclipses qui se sont produites dans une première période de 18 ans, se reproduisent dans le même ordre pendant la période suivante.

Les astronomes emploient encore cette période pour calculer les éclipses; mais elle ne leur sert que pour une première approximation. Les tables, aujourd'hui si précises, des mouvements de la Lune et du Soleil, fournissent les éléments d'une prédiction beaucoup plus rigoureuse, et permettent d'annoncer les éclipses de Soleil et de Lune et les diverses phases du phénomène pour un lieu donné jusqu'à la précision des secondes.

La Lune, en parcourant dans son mouvement autour de la Terre la voûte étoilée, produit encore un autre genre d'éclipses. On leur donne le nom d'*occultations*. On dit qu'une planète ou qu'une étoile est occultée, lorsqu'elle passe derrière le disque lunaire. Nous avons parlé de ces phénomènes à propos de la question de l'existence d'une atmosphère à la surface de la Lune.

Ajoutons que les occultations d'étoiles se calculent comme

les éclipses, et que, comme elles sont fréquentes, on en a fait l'objet de tables très-utiles aux navigateurs. La Lune étant très-voisine de la Terre, comparativement à la distance des étoiles et même des planètes, il en résulte que deux observateurs, postés en deux lieux différents du globe, ne la voient pas se projeter au même instant sur la même partie du ciel. L'occultation d'une étoile ne s'accomplit pas pour eux à la même heure. Le ciel étoilé ressemble, sous ce point de vue, à un cadran universel, et la Lune en est l'aiguille mobile, qui marque l'heure à la fois pour tous les points de la Terre. Grâce aux tables calculées par les astronomes, ces heures variées se peuvent convertir les unes dans les autres, et le voyageur du désert, comme celui des immenses plaines maritimes, arrive ainsi à connaître sa position et à déterminer sa route.

§ 4. — Éclipses des satellites de Jupiter. — Immersions et émerisions; occultations des satellites par le disque. — Comment le calcul et l'observation des éclipses des satellites de Jupiter ont pu servir à obtenir la vitesse de la lumière.

La planète Jupiter, nous l'avons vu, est accompagnée, dans son mouvement de translation autour du Soleil, de quatre satellites qui circulent autour d'elle dans des périodes régulières. Les plans dans lesquels s'effectuent les mouvements de ces petits corps coïncident, à peu de chose près, avec le plan de l'orbite de Jupiter. Or, Jupiter étant opaque projette derrière lui, c'est-à-dire à l'opposé du Soleil, un cône d'ombre dont l'axe est couché sur le plan de son orbite. Il en résulte que, dans leurs révolutions successives autour de la planète centrale, les satellites viennent traverser ce cône à l'époque de leurs oppositions. Pendant toute la durée du trajet dans l'ombre, la lumière que ces corps recevaient du Soleil est interceptée : ils subissent une éclipse.

Les éclipses des satellites de Jupiter, surtout celles des trois satellites les plus voisins de la planète, sont très-fréquentes ; et, de la Terre, il est aisé d'observer leurs émerisions et leurs immersions en s'aidant d'une lunette de moyenne puissance. Quand le point lumineux entraîné par son mouvement de révolution autour de la planète vient à pénétrer dans le cône d'ombre, sa lumière s'éteint : c'est l'instant d'une *immersion*. Il continue alors sa course dans l'ombre jusqu'au moment où, sortant du cône, sa lumière reparait : c'est le moment de l'*émersion*.

Ces deux phénomènes ne sont pas visibles de la Terre pendant la même éclipse, pour les deux satellites les plus voisins de Jupiter, ces satellites se trouvant masqués par le corps opaque de la planète tantôt au moment de leur immersion, tantôt au moment de leur émerision.

De plus, on ne peut les observer d'aucune façon à l'époque de la conjonction ou à celle de l'opposition, le cône d'ombre se trouvant alors entièrement caché par le disque de la planète, ainsi qu'on peut aisément s'en rendre compte à l'aide de la figure 214. Il est tout aussi facile de voir pourquoi ce sont les immersions qui sont visibles pour nous, depuis l'époque de la conjonction jusqu'à l'opposition suivante, tandis que les émerisions au contraire sont visibles de l'opposition à la conjonction.

Jupiter, en effet, se meut dans le même sens que la Terre, mais beaucoup plus lentement qu'elle dans son orbite. Quand la Terre est en T et que Jupiter est en J sur le prolongement du rayon vecteur TS, c'est l'époque de la conjonction. A partir de cet instant, la Terre décrivant un certain arc sur son orbite, et Jupiter un arc de moindre amplitude sur la sienne, l'observateur se trouve porté à la droite du cône d'ombre de Jupiter, et dès lors peut voir les immersions des satellites. Les mêmes circonstances ont lieu jusqu'à l'instant où, la Terre étant en T', Jupiter en J', toujours sur le prolongement du

rayon, mais à l'opposé du Soleil, c'est-à-dire jusqu'à l'opposition. Alors, par le fait des mouvements simultanés de la Terre et de Jupiter, la première de ces planètes se porte à

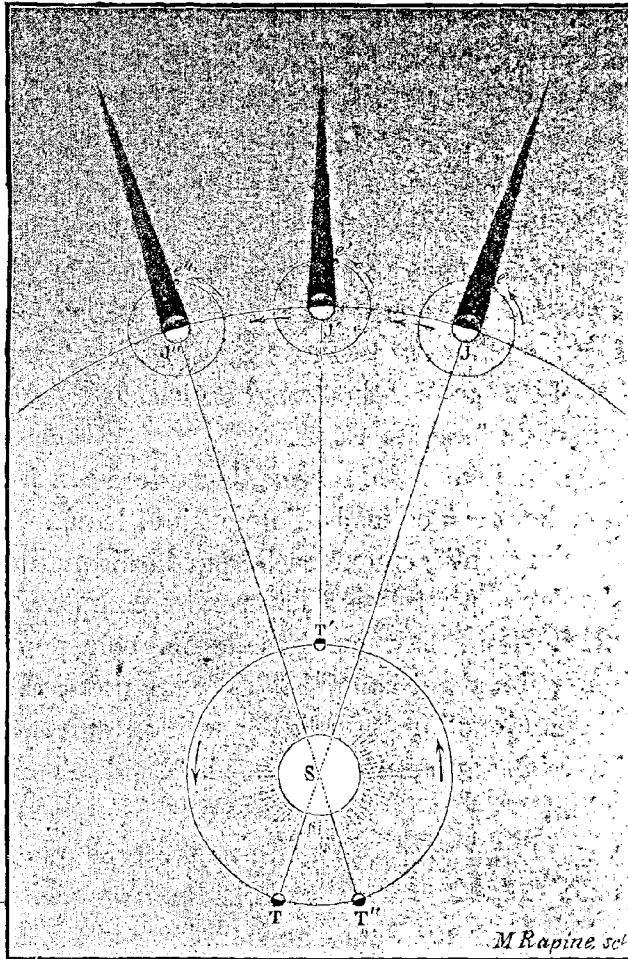


Fig. 214. — Détermination de la vitesse de la lumière par les éclipses des satellites de Jupiter.

gauche du cône d'ombre projeté par la seconde, et ce sont les émersions des satellites qui sont visibles, jusqu'à la nouvelle conjonction $T''J''$. Quant aux deux satellites les plus éloignés de Jupiter, l'inclinaison de leurs plans sur l'écliptique jointe

à leurs plus grandes distances de la planète, fait que de la Terre on peut apercevoir leur immersion et leur émerision pendant la même éclipse.

Ces préliminaires bien compris, nous allons pouvoir facilement expliquer comment les astronomes ont pu déduire la vitesse de la lumière des observations des éclipses dont nous venons de parler.

Considérons, par exemple, le premier satellite de Jupiter, c'est-à-dire le plus voisin de la planète. Son mouvement de révolution est connu avec assez de précision pour que l'on puisse calculer avec une grande exactitude les intervalles de ses éclipses, c'est-à-dire les intervalles qui séparent soit deux immersions, soit deux émerisions consécutives. Or l'observation fait voir que les durées de ces intervalles ne sont pas constantes; qu'elles semblent se raccourcir à mesure que la Terre se rapproche de Jupiter, pour s'agrandir au contraire à mesure qu'elle s'en éloigne, tandis qu'elles sont sensiblement égales, aux deux époques où la distance de la Terre à Jupiter varie peu, c'est-à-dire à la conjonction et à l'opposition. Si donc on calcule, d'après la durée moyenne des intervalles séparant deux immersions successives, l'époque d'une future immersion, et que l'on compare le résultat du calcul avec celui donné par l'observation, on trouvera que le phénomène semble en retard, si la Terre s'est éloignée de Jupiter, qu'il paraît au contraire en avance, si elle s'en est rapprochée. De plus, le retard ou l'avance se trouve toujours en proportion exacte avec l'augmentation ou avec la diminution de distance des deux planètes.

Il n'est donc pas douteux que la différence entre le résultat du calcul et l'observation ne provienne du temps que met la lumière à parcourir les distances inégales dont nous venons de parler.

On a trouvé que, de la conjonction à l'opposition ou de l'opposition à la conjonction, les accumulations successives de

ces différences produisaient une avance ou un retard total d'environ 16 minutes 33 secondes. Or les distances TJ, T'J" surpassent la distance TJ' d'une même quantité qui est précisément le diamètre de l'orbite terrestre. Il faut donc 16 minutes 33 secondes à la lumière pour franchir la longueur de ce diamètre, ou si l'on veut, $8^m 16^s \frac{1}{2}$ pour parcourir sa moitié qui est la distance du Soleil à la Terre, égale, comme on sait, à 147 900 000 kilomètres. C'est, à peu près, une vitesse de 298 000 kilomètres ou de 74 500 lieues par seconde.

La découverte de la vitesse de la lumière par les éclipses des satellites de Jupiter est due à Rømer, astronome danois, qui l'exposa dans un Mémoire présenté à l'Académie des sciences en 1675.

Depuis Rømer, la découverte de l'aberration par Bradley vint confirmer à la fois et le mouvement de translation de la Terre et la propagation successive de la lumière dans l'espace. L'aberration prouve même que la vitesse moyenne de la Terre dans son orbite est la dix-millième partie de la vitesse de la lumière. D'autre part, à l'aide d'autres méthodes, M. Léon Foucault et M. Fizeau sont parvenus, chacun de leur côté, à mesurer directement la vitesse de la lumière à la surface de la Terre. Le premier de ces savants a trouvé le nombre que nous avons donné plus haut, nombre qui s'accorde avec les résultats des méthodes astronomiques, quand on adopte la nouvelle parallaxe du Soleil.

Un boulet de 12 kilogrammes, chassé par une charge de 6 kilogrammes de poudre, sort du canon avec une vitesse de 500 mètres par seconde. La lumière se meut près de 600 000 fois plus rapidement : nous venons de voir qu'elle vient du Soleil à nous en 8 minutes 16 secondes; le même boulet mettrait 9 ans et trois quarts pour franchir la même distance.

II

MESURES DES DISTANCES CÉLESTES.

§ 1. Idée du problème des distances à un objet inaccessible. — Solution de ce problème à la surface de la Terre. — Distance de la Terre à la Lune. — Parallaxe des astres; distance du Soleil à la Terre. — Détermination de la parallaxe solaire par l'observation des passages de Vénus; prochains passages de Vénus en 1874 et 1882. — Parallaxe solaire, déduite de la constante de l'aberration et de la mesure directe de la vitesse de la lumière.

Nous allons aborder l'un des problèmes dont la solution laisse le plus de doutes, et provoque le plus d'incrédulité chez les personnes étrangères aux sciences et aux méthodes mathématiques, je veux parler de la mesure des distances qui séparent notre globe des autres corps célestes.

En énonçant le problème dans toute sa généralité, nous mettrons par cela même en évidence la difficulté principale, essentielle, la cause de l'incrédulité que je viens de signaler, et que j'ai l'espoir de dissiper radicalement. Voici cet énoncé :

Mesurer, à l'aide d'une unité convenablement choisie, la distance où se trouve de nous un point visible, mais
INACCESSIBLE.

Tel est bien, en effet, le cas de tous les corps célestes, depuis la Lune, le Soleil et les planètes, jusqu'aux étoiles proprement dites.

La difficulté paraît tout entière dans cette circonstance, que l'objet dont il s'agit de mesurer la distance est *inaccessible*

à l'observateur. Qu'on parle de mesurer une longueur, quelle qu'elle soit, à la surface de la Terre, tout le monde comprend la possibilité de l'opération. Sans être dans le secret des méthodes employées, méthodes souvent très-longues, très-pénibles, très-déliçates, on assimile vaguement l'opération dont il s'agit au mesurage direct, au métrage, à l'arpentage avec une chaîne ou une corde, d'une petite distance. Aussi personne ne fait-il de difficulté pour admettre, sauf erreur, tous les résultats des mesures de distances effectuées à la surface de notre globe.

Mais comment peut-on arriver à connaître la longueur de la ligne droite qui joint l'œil à un objet situé dans l'espace, hors de la portée de nos moyens de locomotion, par exemple au Soleil ou à la Lune, voilà, dis-je, l'objection que se posent la plupart des personnes, lorsqu'elles entendent affirmer, par exemple, que 96 000 lieues séparent la Lune de la Terre.

Eh bien, je vais essayer de faire voir qu'en principe, le problème ainsi posé n'offre aucune difficulté essentielle : les opérations à faire sont théoriquement très-simples ; c'est dans la pratique, dans les détails et les précautions qu'elles exigent, que gît la difficulté véritable, l'impossibilité, lorsqu'il y a vraiment impossibilité.

Je procéderai du connu à l'inconnu, du simple au complexe, et je commencerai par le problème de la distance à un point inaccessible, mais situé à la surface de la Terre. On verra qu'au fond, la solution de cette question est celle des cas même les plus difficiles, et s'applique pareillement à la distance des corps célestes.

Nous sommes dans une plaine. On voit à l'horizon le sommet d'une tour, dont nous sommes d'ailleurs séparés par un obstacle quelconque, une rivière, je suppose. C'est la distance de cette tour au point que nous occupons qu'il s'agit d'évaluer, et cela sans la mesurer directement, sans quitter la rive du cours d'eau. Voici comment nous allons opérer :

En C, point où nous sommes (fig. 215), plantons un piquet, un jalon. En un autre point B, sur le sol de la plaine, plantons un second jalon, à une distance qui ne soit pas trop petite, comparativement à la longueur probable qu'il s'agit de mesurer. Les deux jalons C, B forment une ligne droite, aisée à métrer directement, à l'aide de la chaîne d'arpenteur, ou de



Fig. 215. — Mesure de la distance qui sépare un point d'un autre point inaccessible.

tout autre moyen. Supposons que nous trouvions CB égal à $428^m,60$. Telle est la *base* de notre opération.

Maintenant à l'aide d'un instrument que nous placerons successivement en C et en B — c'est ordinairement un *graphomètre*¹ — nous viserons de chacun de ces points le sommet de

1. Le *graphomètre* est essentiellement composé d'un demi-cercle en métal, divisé en degrés et en minutes, et dont le diamètre fixe est disposé de manière à viser dans une direction déterminée. Un second diamètre mobile autour du centre du cercle sert à viser dans une autre direction, et l'écart des deux diamètres, c'est-à-dire l'angle des deux lignes droites le long desquelles on a visé, se mesure sur le cercle au moyen des divisions qui s'y trouvent tracées.

la tour : à chaque fois l'instrument nous donnera l'inclinaison de chaque rayon visuel sur la base, c'est-à-dire les deux angles à la base du grand triangle ABC.

Que connaissons-nous maintenant ? D'une part, la longueur exacte de la ligne BC, longueur mesurée directement ; d'autre part, deux angles : l'angle ACB, qui a son sommet en C — je le suppose égal à $80^{\circ} 29'$, — et l'angle ABC, dont le sommet est en B, et qui par exemple vaut 75° . Eh bien, il n'en faut pas davantage pour connaître toutes les autres parties du triangle ABC, pour pouvoir en tracer sur le papier une image ressemblante, avec les proportions qu'on voudra, de sorte qu'au moyen du compas et d'une règle divisée, il sera aisé de savoir le nombre de mètres contenus dans le côté CA du triangle. C'est ici 992^m.

La distance cherchée est donc connue, et le problème résolu.

Quant à la précision du résultat, elle ne dépend que de deux éléments : en premier lieu, de l'exactitude avec laquelle la mesure de la base a été effectuée ; en second lieu, de la précision de la mesure des deux angles. Or, cette double exactitude dépend elle-même et de la perfection des instruments, et de l'habileté de l'observateur.

Enfin, il faut ajouter une considération importante : c'est que le choix de la base, de sa position et de sa longueur, a une grande influence sur le résultat lui-même. Si la base est trop petite, relativement à la distance qu'il faut mesurer, la forme du triangle s'allonge, et une faible erreur dans la mesure de l'un ou des deux angles de la base peut causer une erreur assez grande dans la solution. Si la base est tracée dans une direction telle que les angles à mesurer soient l'un très-aigu, l'autre très-obtus, l'inconvénient sera à peu près le même. Il faut donc autant que possible tracer une base assez grande, dans une direction telle que, vue du point inaccessible, elle soit, le plus qu'on pourra, de face. A la surface du sol, on est

ordinairement maître de ce choix : dans les mesures des distances célestes, il n'en est plus ainsi, et il peut se faire qu'on soit arrêté par ces difficultés, qui, théoriquement, n'existent pas.

Arrivons aux applications astronomiques.

Commençons par le cas le plus simple, par la détermination de la distance de la Lune à la Terre.

Deux observateurs, deux astronomes conviennent de se poster en deux lieux différents de la surface de notre globe.

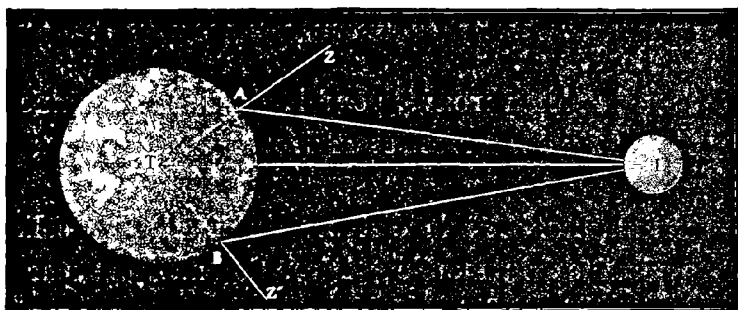


Fig. 216. — Mesure de la distance de la Lune à la Terre.

L'un d'eux prend pour station Dantzick, l'autre le cap de Bonne-Espérance : les deux stations, pour plus de simplicité, se trouvent situées le long du même méridien, de sorte que l'heure s'y trouve être la même au même instant.

Ils conviennent d'observer la Lune simultanément, c'est-à-dire le même jour, ou, si l'on veut, la même nuit, à la même heure. Les lieux A et B (fig. 216) où ils se trouvent étant bien connus, la différence des deux latitudes est aussi bien connue; elle n'est autre que l'angle ATB , formé au centre de la Terre par les verticales des deux lieux d'observation.

Telles sont les données du problème. Ce qu'il s'agit de trouver, c'est la longueur de la distance LT , ou de la ligne droite qui joint le centre de la Lune au centre de la Terre, au moment où les observateurs sont convenus d'opérer. Le pre-

mier, à l'aide d'instruments spéciaux, mesure l'angle ZAL ; c'est ce qu'on nomme la *distance zénithale* du centre de la Lune. Le second effectue la même mesure au cap de Bonne-Espérance et trouve la valeur de l'angle $Z'BL$. Il n'en faut pas davantage. Rien n'empêche plus que l'on construise sur le papier une figure toute semblable au quadrilatère $LATB$. L'angle en T est connu; les lignes TA et TB sont deux rayons à peu près égaux, du sphéroïde terrestre; et la direction des lignes AL et BL est donnée par les mesures des observateurs. Une fois le quadrilatère construit, il suffira de tirer la ligne des centres TL , et de la mesurer à l'échelle de l'un des rayons de la Terre¹.

C'est ainsi qu'on a trouvé, pour la distance moyenne de la Lune, $60 \frac{1}{4}$ rayons terrestres environ².

Passons maintenant à la distance du Soleil, et à celles des diverses planètes du monde solaire. Commençons par deux remarques qui simplifieront l'exposé que nous avons à faire.

Si l'on se reporte au premier problème général de la distance à un point inaccessible, on comprendra, par un coup d'œil jeté sur le triangle qu'on a déterminé (fig. 215), que la mesure des deux angles à la base, effectuée directement, permet de connaître l'angle au sommet, c'est-à-dire l'angle des deux rayons visuels partant du sommet de la tour et aboutissant aux extrémités de la base.

1. Dans cet exemple comme dans les autres, ce n'est pas une construction graphique sur le papier, opération toujours grossière, c'est un calcul plus ou moins compliqué, mais certain, qui conduit à la véritable solution. Ce calcul permet une précision aussi grande que possible, c'est-à-dire qui ne dépend que de celle même des opérations préliminaires.

2. Les anciens avaient une idée bien plus juste de la distance de la Terre à la Lune que des autres distances célestes, ce qui est aisé d'ailleurs à concevoir. A la vérité, Pythagore estimait cette distance à 126 000 stades (environ 23 300 kilomètres), nombre environ dix-sept fois trop faible. Mais quatre cents ans plus tard, Hipparque jugeait la distance de la Lune comprise entre 62 et 83 rayons de la Terre, c'est-à-dire seulement un peu trop forte.

Cet angle est ce que l'on nomme la *parallaxe* de l'objet inaccessible. C'est à la recherche de cet angle que les astronomes réduisent tout problème de distance céleste. Ainsi, pour la distance de la Lune à la Terre, ce qu'ils cherchent à connaître, c'est l'angle sous lequel, du centre de la Lune, on verrait la base AB formée par la ligne qui joint les deux stations, ou encore, plus généralement, l'angle sous lequel on verrait soit le diamètre, soit le rayon de la Terre¹.

Pour le Soleil, le problème peut donc se poser ainsi : sous quel angle verrait-on, du centre du Soleil, le demi-diamètre de la Terre, ou en langage astronomique, quelle est la parallaxe du Soleil ?

La seconde remarque que je veux faire est celle-ci : Képler, par la découverte de ses lois, a permis de trouver, non pas les distances absolues des planètes au Soleil, mais les rapports de ces distances. De sorte que, s'il était impossible d'évaluer aucune d'elles à l'aide d'une unité connue, en lieues, par exemple, on n'en connaîtrait pas moins les dimensions relatives des orbites planétaires. Ainsi l'on pourrait toujours dire : La distance moyenne de Jupiter au Soleil est 5 fois $\frac{2}{10}$ celle de la Terre au même astre ; la distance de Vénus vaut les 723 millièmes de la distance de la Terre, etc. En définitive, il résulte des lois de Képler qu'il suffit de déterminer la distance au Soleil d'une seule planète, pour qu'on puisse en déduire les distances de toutes les autres planètes au même astre.

Essayons maintenant de donner une idée de la méthode employée pour trouver la parallaxe du Soleil.

¹ 1. La *parallaxe horizontale équatoriale* est l'angle visuel sous lequel un observateur, placé au centre de l'astre, verrait le rayon de l'équateur terrestre supposé normal ou perpendiculaire à l'une des lignes de visée, qui alors est tangente au globe terrestre. La parallaxe de la Lune, ainsi entendue, que La Lande et Lacaille estimaient au siècle dernier égale à 57' 25'', est, d'après les calculs d'un astronome contemporain, M. Henderson, égale à 57' 2'',31. La distance moyenne correspondante de la Lune, exprimée en rayons équatoriaux terrestres, est 60.273.

On sait que Vénus passe périodiquement au-devant du disque du Soleil, qu'elle traverse alors en quelques heures sous l'apparence d'une petite tache noire et ronde.

Supposons deux observateurs placés à la surface de la Terre, en deux stations différentes, convenablement choisies pour apercevoir le phénomène du passage. On comprendra aisément que si la distance qui les sépare est suffisamment grande, la planète ne se projettera pas au même instant sur le même point du disque solaire. Pour l'un d'eux, elle décrira sur ce disque une ligne ou corde différente de celle qu'elle semblera suivre pour l'autre observateur. En général, ces cordes seront

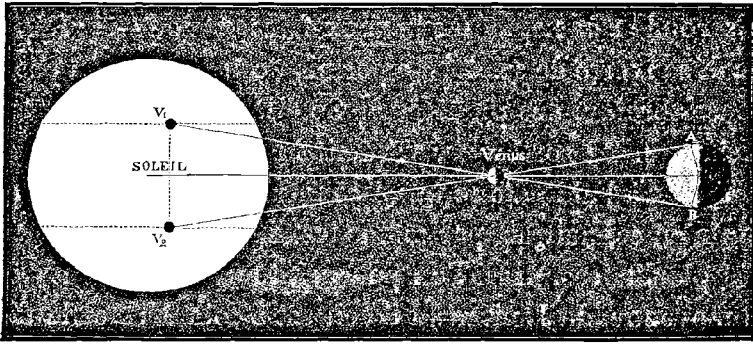


Fig. 217. — Mesure de la distance de la Terre au Soleil, par l'observation des passages de Vénus.

de longueurs inégales, de sorte que la durée du passage de Vénus, à l'une des stations, ne sera pas de même longueur que la durée du passage à l'autre station. Cette différence de durée permettra de déterminer la différence de longueur des cordes décrites par la planète, et par conséquent leurs positions respectives sur le disque solaire.

On pourra dès lors mesurer la distance apparente ou angulaire $V_1 V_2$. Cela suffit. D'après la loi de Képler, on sait quel rapport existe entre les côtés des triangles ABV et $V_1 V_2 V$; ce rapport est 0.37 environ. Ainsi la distance AB , c'est-à-dire la longueur de la ligne droite qui joint les deux stations à l'in-

térieur du globe terrestre, est les 37 centièmes de $V_1 V_2$. Donc, l'angle sous lequel on verrait du Soleil la ligne AB peut se déduire de celui sous lequel, de la Terre, on voit la distance angulaire $V_1 V_2$, distance que les observateurs ont déterminée directement.

Par exemple, si AB est un rayon de la Terre, on connaît l'angle sous lequel ce rayon serait vu du Soleil : on connaît la parallaxe du Soleil.

La méthode est un peu plus compliquée que celle relative à la distance de la Lune, que celle relative à la distance d'un objet inaccessible à la surface de la Terre : au fond, les unes et les autres reposent sur le même principe. Je n'ai donné ici du reste que l'esprit de la méthode, dégagée de toutes les difficultés de la pratique et de toute la complexité qui en résulte pour les calculs¹.

Deux passages de Vénus sur le Soleil doivent avoir lieu dans quelques années, le premier à la date du 8 décembre 1874, le second le 6 décembre 1882. Les divergences qui

1. La détermination de la parallaxe solaire par la méthode fondée sur les observations des passages de Vénus, indiquée par Halley dès l'année 1691, a été pour la première fois appliquée en 1761 et en 1769. Diverses expéditions scientifiques furent envoyées aux Indes, en Sibérie, à Sainte-Hélène pour observer le passage de Vénus du 6 juin 1761 : les résultats furent peu satisfaisants, soit à cause du choix des stations pour lesquelles les différences de durée du passage n'étaient pas assez considérables, soit par les difficultés matérielles de l'installation des observateurs. On fut plus heureux le 3 juin 1769. La durée totale du phénomène fut observée dans des conditions favorables par le P. Hell à l'île de Wardhus, par Chappe d'Auteroche en Californie, par Green à Taïti, et en outre en Amérique, dans la baie d'Hudson, à Kola, dans le nord de la Russie. La discussion des observations fournit diverses valeurs assez concordantes pour la parallaxe solaire qui parut comprise entre $3''50$ et $8''88$. Depuis, Encke, ayant repris avec un très-grand soin cette discussion, a trouvé $8''57$, nombre qui était généralement adopté et qui concordait avec les résultats d'autres méthodes, quand des travaux plus récents dus à Hansen, à MM. Le Verrier, Stone, Po-walky conduisirent à le considérer comme trop faible. Nous avons donné, page 30, les diverses valeurs de la parallaxe du Soleil, déduite de ces travaux, entre lesquelles il y aura lieu de prononcer dans quelques années, si, comme tout permet de l'espérer, les observations des deux prochains passages de Vénus en 1874 et en 1882 se font dans des conditions favorables.

existent encore sur la véritable valeur de la parallaxe solaire, et, par suite, sur celle de la distance moyenne du Soleil, cette base fondamentale des distances des corps célestes du monde planétaire comme du monde sidéral, donnent une grande importance aux observations de ces passages. Il s'agit de savoir si ces observations peuvent être faites dans des conditions assez favorables et donner des résultats assez précis, pour que la solution serve de critérium aux autres méthodes et permette de se prononcer, à 1 ou 2 centièmes de seconde près, par exemple, sur la parallaxe du Soleil. En ce cas, la distance de la Terre au Soleil serait désormais connue à $\frac{1}{500}$ environ de sa valeur, avec une incertitude qui ne dépasserait guère 300 000 kilomètres ou 75 000 lieues.

Aussi, de toutes parts, les astronomes se préparent-ils aux observations. Ils discutent le choix des stations les meilleures, soit au point de vue purement astronomique, soit à celui de l'installation des instruments; ils discutent la valeur relative des deux méthodes : la première, que nous avons exposée en substance, est celle de Halley; elle consiste à comparer les durées totales des passages en des stations éloignées de la Terre, choisies de manière que la différence de ces durées soit la plus grande possible; nous avons vu plus haut que cette différence provient de l'inégalité de longueur des cordes du disque du Soleil, que le disque noir de Vénus semble parcourir depuis le premier jusqu'au dernier contact; ajoutons que cette différence peut encore être accrue par l'inégalité de vitesse de la planète, provenant du mouvement de rotation de la Terre, qui est de même sens pour un lieu situé sur une moitié d'un méridien et de sens contraire pour un lieu situé sur l'autre moitié. Une seconde méthode, déjà employée en 1761 et en 1769 et formulée par Delisle, utilise les observations partielles du premier ou du second contact intérieur faites en même temps dans des stations bien choisies, pourvu qu'on ait la connaissance très-précise des longitudes géographiques de

ces stations. Quelques astronomes, notamment M. Airy, directeur de l'Observatoire de Greenwich, penchent pour la seconde méthode, dans le cas de l'observation du passage de Vénus de 1874; d'autres, parmi lesquels les membres du Bureau des Longitudes de France, préfèrent la méthode de Halley. Nous croyons qu'il y aura tout avantage à les employer toutes les deux.

L'importance de ces phénomènes, d'ailleurs si rares, nous engage à entrer à ce sujet dans quelques détails.

La connaissance précise des mouvements des corps célestes permet de calculer d'avance les instants précis où le centre de Vénus paraîtrait, soit entrer sur le disque du Soleil, soit en sortir, si l'observateur était placé au centre même de la Terre. Voici ces instants, exprimés en temps moyen de Paris, pour chacun des deux passages :

PASSAGE DE VÉNUS DU 8 DÉCEMBRE 1874.

Entrée du centre de Vénus . .	14 ^h 3 ^m ,89	ou	2 ^h 3 ^m ,89	après-midi.
Sortie	18 ^h 17 ^m ,87	—	6 ^h 17 ^m ,87	—
Durée du passage du centre. .	4 ^h 3 ^m ,88.			

PASSAGE DE VÉNUS DU 6 DÉCEMBRE 1882.

Entrée du centre de Vénus. . .	2 ^h 5 ^m ,98	après midi.
Sortie	8 ^h 2 ^m ,61	—
Durée du passage du centre . .	5 ^h 56 ^m ,83	

Mais ces heures ne peuvent être les heures vraies de l'observation que pour les deux points de la Terre qui auront le Soleil au zénith à l'instant précis, soit de l'entrée, soit de la sortie de Vénus. Pour les autres lieux, les deux phénomènes de l'entrée et de la sortie se trouveront en retard ou en avance sur l'heure calculée pour le centre de la Terre, et nous avons dit que plus la différence pour deux stations sera considérable, plus les observations seront avantageuses. Même remarque pour le passage de 1882.

La figure 218 représente les deux hémisphères éclairés de

la Terre, le premier au moment de l'entrée de Vénus, le second

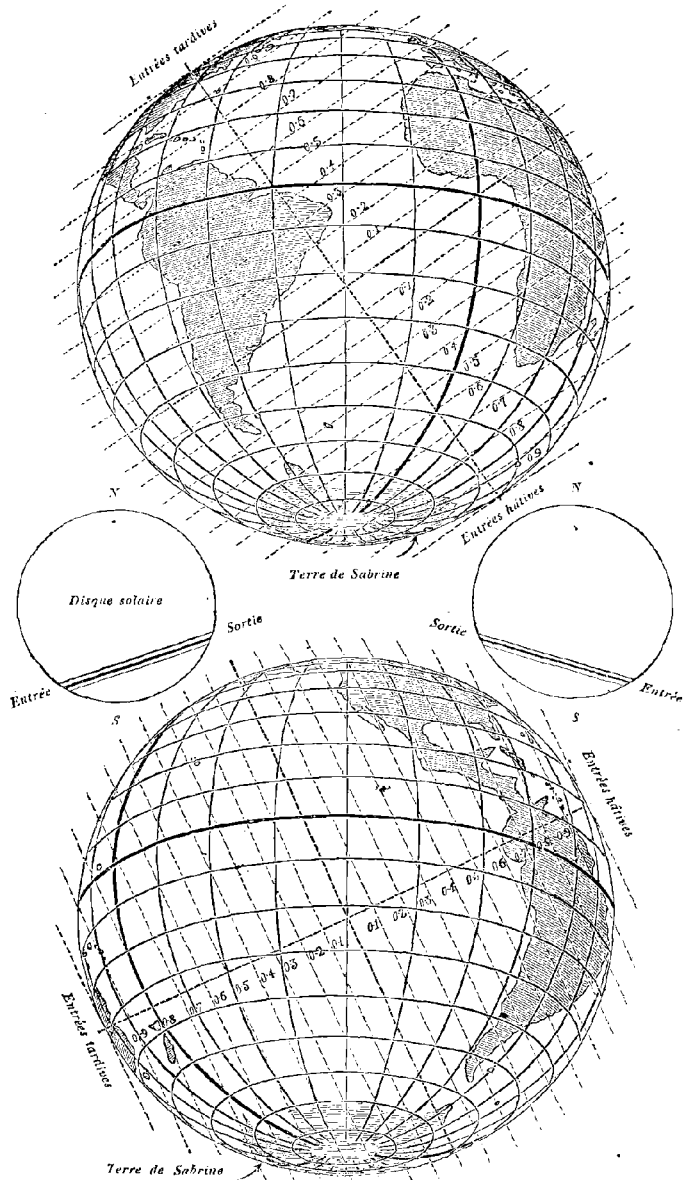


Fig. 218. — Passage de Vénus sur le Soleil, du 6 décembre 1882. — Corde décrite par la planète sur le disque solaire. — Retards et avances de l'entrée et de la sortie de Vénus, en divers points de la Terre.

à l'instant de sa sortie du disque solaire. Les centres de ces

deux hémisphères marquent les deux lieux de la Terre où, le Soleil étant au zénith au moment de l'entrée ou au moment de la sortie, chacun de ces phénomènes sera vu à l'heure calculée pour le centre de la Terre. Une série de lignes ponctuées, parallèles entre elles, indiquent les lieux où il y aura, soit avance, soit retard du phénomène¹. Du point central de l'hémisphère, pour lequel ce retard et cette avance sont nuls, les instants de l'entrée de Vénus sur le disque solaire diffèrent entre eux de plus en plus, de sorte qu'il y aura entre les points extrêmes une différence pouvant s'élever jusqu'à 30 minutes en 1874, et environ à 13 minutes en 1882. Il en sera de même pour les instants de la sortie de Vénus, dont le second hémisphère marque également l'avance ou le retard, sur l'instant du phénomène calculé pour le centre de la Terre².

1. Entre les deux lignes extrêmes, la différence entre le retard ou l'avance étant 2.00, celle de deux lignes ponctuées consécutives est 0.1. C'est ce qu'indiquent les chiffres 0.1, 0.2... etc., dont ces lignes sont accompagnées sur la figure.

2. D'après un *Rapport fait au Bureau des Longitudes* par M. Puiseux, sur l'observation du passage de 1874, les stations les plus favorables sont situées pour la plus grande durée des passages sur une ligne qui, partant du lac Baïkal en Sibérie, se dirige au sud-est vers le Japon : le lac Baïkal, Yeddo et Pékin, Sanghaï seraient des stations bien choisies. Pour la plus courte durée, la Terre Victoria, l'île de Kerguelen, plusieurs villes de l'Australie, Hobbart Town, Melbourne, Sydney, qui ont des observatoires, la Nouvelle-Zélande, toutes stations situées dans l'hémisphère austral, seraient les plus convenables. Il s'agit ici de la méthode de Halley. Quant à celle de Delisle, M. Puiseux indique les îles Kerguelen, Macdonald, Saint-Paul et Amsterdam pour l'observation des entrées hâtives, les îles Sandwich pour les entrées tardives. Relativement aux sorties, la Terre Victoria, l'Australie, la Nouvelle-Zélande, pour leur accélération ; les régions comprises entre Tobolsk et Suez, pour les sorties hâtives, seraient les stations préférables.

Quant au passage de 1882, d'après M. Airy, les États-Unis de l'Amérique du Nord, et dans le sud, les régions comprises entre la terre de Sabine et la baie Repulse, difficiles, il est vrai, à aborder à cause des glaces, sont les stations qu'il faudra choisir pour la méthode de Halley, ou de différence de durée des passages. La méthode de Delisle pourra être appliquée aux îles Bourbon, Maurice et Kerguelen, bien situées pour accélérer le moment de l'entrée de la planète, aux États-Unis pour le retarder, et dans l'Australie orientale, la Nouvelle-Zélande, la Nouvelle-Calédonie où la sortie sera retardée, tandis qu'elle sera avancée aux États-Unis, aux Antilles et sur la côte de l'Amérique du Sud jusqu'au Rio de la Plata.

§ 2. — Mesure des distances des étoiles ; parallaxe annuelle. — Déplacements apparents qui résultent du mouvement de translation de la Terre autour du Soleil. — Déplacements des étoiles en latitude : première méthode. — Seconde méthode fondée sur les déplacements relatifs de deux étoiles voisines.

Il me reste maintenant à faire voir par quelles méthodes on est arrivé à calculer la distance des astres situés en dehors de notre monde solaire, du moins de quelques-uns de ceux qui en sont le plus rapprochés.

C'est toujours par une sorte de triangulation qu'on y est parvenu. Seulement la base du triangle ne peut plus être ni le rayon ni le diamètre de la Terre. Déjà nous savons que l'angle sous lequel on voit, du Soleil, les dimensions de notre sphéroïde est d'une petitesse extrême, et il a fallu toute la précision des données astronomiques modernes sur les mouvements planétaires pour obtenir un résultat positif. Mais la distance des étoiles est si considérable, qu'il serait absolument illusoire de choisir la base des opérations à la surface de la Terre. Il a donc fallu choisir une autre base, une autre unité de longueur. Les astronomes ont songé tout d'abord à la distance qui sépare la Terre du Soleil, même avant que cette distance fût elle-même directement calculée, de sorte que la question s'est trouvée posée en ces termes :

Combien la distance d'une étoile à la Terre vaut-elle de fois la distance de la Terre au Soleil ?

Voyons de quelle manière on a pu utiliser cette base immense qui, nous le savons, vaut environ 23 200 fois le rayon terrestre. Prenons pour exemple une comparaison familière.

Imaginons un observateur placé au centre d'une vaste plaine. Devant lui, à l'horizon, s'élève une tour, dont le sommet paraît à une certaine hauteur au-dessus de la surface du sol. N'est-il pas évident que cette hauteur apparente du sommet de la tour dépend de la distance où s'est trouvé l'obser-

vateur? N'est-il pas vrai que cette hauteur augmentera, s'il marche de manière à se rapprocher de l'objet; qu'elle diminuera, au contraire, s'il s'en éloigne? C'est un fait d'observation qu'il est facile à chacun de constater.

Qu'on examine le paysage représenté dans la figure 219. Quand l'observateur est en B, son rayon visuel fait paraître le sommet de la tour en b sur le fond du paysage, sur le ciel,



Fig. 219. — Variation apparente dans la hauteur d'un objet, pour un observateur qui s'en approche ou s'en éloigne.

je suppose. S'il se meut de B en A, en s'approchant de la tour, le nouveau rayon visuel AS sera moins incliné que le premier, de sorte que le sommet de l'édifice aura paru s'élever graduellement de b vers a . De combien? On le voit sur la figure: d'une quantité angulaire précisément égale à l'angle sous lequel un œil, placé en S, verrait la base AB, c'est-à-dire la longueur de la ligne qui mesure le déplacement de l'observateur.

Eh bien, la plaine horizontale, c'est le plan de l'orbite terrestre; le sommet de la tour, c'est l'étoile dont il s'agit de mesurer la distance; sa hauteur angulaire au-dessus du plan, c'est ce que les astronomes appellent la latitude de l'étoile. La

distance parcourue AB, ce sera, par exemple, celle que nous franchissons dans le ciel en six mois, et qui, mesurée en ligne droite, n'est pas moindre de 74 millions de lieues. Le déplacement apparent ba n'est donc autre chose que la parallaxe de l'étoile, rapportée au diamètre de l'orbite de la Terre; c'est le double de la parallaxe de l'étoile, si l'on prend pour base le rayon de cette orbite, la distance de la Terre au Soleil.

Toute la question revient donc à savoir si la latitude de l'étoile augmente sensiblement, quand la Terre passe de la première à la seconde position, et, au cas où cette augmentation est reconnue, quelle en est la valeur précise.

De nombreuses et minutieuses observations, répétées sur un grand nombre d'étoiles, n'ont donné d'abord, pour la variation en latitude, aucun résultat appréciable. En un mot, il a été impossible de constater un accroissement d'une *seconde* d'arc. Ainsi l'angle visuel sous lequel on doit voir, de l'une de ces étoiles, l'énorme distance de 74 millions de lieues, est presque nul.

Or, pour qu'une longueur déterminée, vue de face, un mètre par exemple, se réduise à n'apparaître plus que sous un angle aussi petit qu'un angle d'une seconde, il faut l'éloigner de l'œil de 206 265 fois la longueur du mètre.

Il résulte donc de cette première tentative, que les étoiles sont éloignées de nous d'une distance au moins égale à 206 265 fois la distance de la Terre au Soleil, en nombres ronds à 206 000 fois 74 millions de lieues. Imaginons dans l'espace une sphère ayant la Terre pour centre, et, pour rayon, cette effroyable distance : aucune des étoiles visibles n'est certainement contenue à l'intérieur de cette sphère ; toutes sont situées par delà cette surface.

Quelque intéressante que fût cette première donnée sur les dimensions du ciel, ce n'était qu'un résultat négatif. Mais les astronomes ne se tinrent pas pour battus. Ils perfectionnèrent cette première méthode ; ils en imaginèrent une seconde,

plus délicate encore que la première, et cette fois leurs efforts furent couronnés de succès. Au point où nous en sommes, on me pardonnera de tenter encore l'explication du moyen nouveau.

Revenons à notre observateur. La première opération, par hypothèse, ne lui a point permis de reconnaître un accroissement appréciable dans la hauteur de la tour au-dessus de la plaine, circonstance qui a tenu à la petitesse de son déplacement, comparé à la distance de l'objet observé. Cependant cet accroissement, quelque faible qu'on le suppose, a eu réellement lieu. Comment l'appréciera-t-il? Le voici.

Au lieu de ne viser que le sommet de la tour, il en comparera la position avec un point voisin, du moins en apparence; puis il recommencera sa marche. Qu'arrivera-t-il alors? De deux choses l'une : ou bien les deux points observés sont à peu près à la même distance de l'observateur, ou, au contraire, le second est à une distance beaucoup plus grande que l'autre.

Dans le premier cas, la variation de hauteur sera presque la même pour tous les deux, et la méthode ne réussira point. Dans le second cas, le sommet de la tour s'élevant beaucoup plus que l'autre point, leur distance réciproque variera. Or, d'une part, il est plus aisé de mesurer une variation dont le champ est très-limité, que celle d'une quantité relativement considérable. D'autre part, les petits mouvements apparents dus à différentes causes, et les erreurs inévitables des observations et des instruments, affectent de la même manière les deux points observés, et dès lors deviennent négligeables. Tel est l'esprit de la seconde méthode employée par les astronomes, et dont la réussite a permis de connaître avec une grande exactitude la distance où nous sommes d'un certain nombre d'étoiles.

Comparant avec un soin extrême, et pendant plusieurs années de suite, les positions apparentes de plusieurs couples

d'étoiles très-voisines, ils ont pu en déduire l'angle visuel qui, de la plus rapprochée des deux, embrasse le diamètre entier de l'orbite de la Terre. Nous avons donné à leur place ces résultats prodigieux : il n'y a plus lieu d'y revenir.

Telles sont, sous leur forme la plus élémentaire, les méthodes employées par les astronomes pour mesurer les distances célestes. Si, par les explications qui précèdent, j'ai réussi à convaincre mes lecteurs de la légitimité des résultats, à dissiper les doutes que pouvaient concevoir quelques-uns d'entre eux sur la possibilité de la solution de ce grand problème des distances, mon but est atteint. Mais il faut qu'on sache bien que si les méthodes sont aisées à comprendre dans leur esprit ou dans leur principe, elles sont, dans la pratique, d'un emploi difficile : toutes les ressources des sciences mathématiques, toutes les données astronomiques les plus précises, recueillies patiemment pendant des siècles, toute la perfection des instruments de mesure, ont été indispensables pour arriver à des solutions exactes. Je n'ai rien dit du talent d'observation, de la sagacité, quelquefois du génie, des savants qui les ont mises en œuvre.

§ 3. — Idée du problème qui consiste à mesurer la parallaxe d'une étoile. — Mouvements apparents et réels : précession et nutation ; réfraction atmosphérique ; aberration de la lumière ; translation du système solaire ; mouvements propres et réels des étoiles. — Ce que c'est que l'aberration de la lumière.

Donnons maintenant, en quelques lignes, une idée de la complexité du problème qui consiste à déterminer la parallaxe annuelle d'une étoile. On vient de voir que le déplacement périodique de la Terre le long de son orbite donne lieu à un mouvement apparent de l'étoile considérée ; qu'elle doit paraître décrire dans ce temps une ellipse dont les dimensions dépendent de sa distance ; c'est ce qu'on nomme l'ellipse *parallactique*. Mais pour démêler ce qui appartient à ce mouvement

des autres déplacements apparents ou réels qui affectent la position de l'étoile, il faut des mesures assidues, faites dans les conditions les meilleures, avec les instruments les plus précis; il faut, en outre, que la faible quantité angulaire qu'il s'agit de trouver ne soit pas plus faible que les erreurs mêmes des observations. Or voici quelles corrections on doit faire tout d'abord.

Les positions des étoiles sont affectées par la précession et par la nutation luni-solaires, dues, comme nous l'avons vu, au déplacement périodique du plan de l'équateur ou de l'axe de rotation de la Terre. De là, une première correction qui, à la vérité, est la même pour deux étoiles très-voisines et par suite n'est pas indispensable, si l'on emploie la seconde des méthodes que nous avons indiquée. Une étoile n'est pas vue dans la direction de la ligne qui la joint à l'œil de l'observateur, et cela pour deux raisons principales : la première est due à la propriété qu'a la lumière de se réfracter en traversant des milieux de densités différentes. La présence de l'atmosphère donne lieu au phénomène de la réfraction qui relève les étoiles et tous les objets célestes au-dessus de l'horizon d'un lieu, diminuant d'autant plus leurs distances au zénith qu'ils se trouvent à une moindre hauteur sur l'horizon, c'est-à-dire que leurs rayons de lumière ont à traverser des couches d'air plus étendues et plus denses. La seconde cause qui altère la position vraie d'une étoile consiste en une autre propriété de la lumière. Si les ondes lumineuses se propageaient instantanément ou avec une vitesse infinie, le point lumineux stellaire serait vu dans la direction même de la ligne droite qui joint l'étoile à l'œil, si du moins l'on faisait abstraction de la réfraction atmosphérique. Mais il n'en est pas ainsi : quelque grande que soit la vitesse de propagation des ondes lumineuses, leur vitesse n'est pas infinie relativement à celle du mouvement de translation de la Terre. Pendant le temps qu'elles mettent à traverser une portion de l'atmosphère pour arriver au foyer

de la lunette avec laquelle on observe l'étoile, la Terre se déplace, et il en résulte un déplacement apparent qui, ne dépendant plus des distances des étoiles, mais seulement de leurs positions relativement à la Terre, atteint la même valeur totale en une année : c'est ce qu'on nomme l'*aberration*.

Il y a encore un autre mouvement apparent des étoiles qui nécessite une correction pour déterminer leurs positions vraies : c'est celui que produit la translation du système solaire. Enfin, chaque étoile se déplace elle-même en réalité dans l'espace avec une vitesse apparente plus ou moins grande qui dépend de sa vitesse réelle, de sa distance et de la direction de son mouvement.

Quelques-unes des corrections que nous venons d'énumérer sont déterminées avec une grande précision : d'autres sont beaucoup plus incertaines. C'est seulement après avoir fait la part de toutes ces causes d'erreur que, s'il reste un résidu, l'astronome peut le considérer comme exprimant la parallaxe annuelle de l'étoile, et qu'après une discussion minutieuse des observations et de leurs valeurs propres, il en peut déduire un nombre approché pour la distance de l'étoile à la Terre.

On ne sera donc pas étonné du petit nombre des parallaxes calculées, de l'incertitude dont quelques-unes sont affectées¹.

Terminons ce chapitre sur les distances des corps célestes par quelques développements relatifs au phénomène énoncé

1. Voici les valeurs des parallaxes des étoiles, dont on a donné plus haut les distances à la Terre; nous y joignons les noms des astronomes qui les ont calculées :

Alpha du Centaure.	0".913	Henderson.
61 ^a du Cygne	0".493	Peters et O. Struve.
Sirius	0".230	Henderson.
1830 ^a Groombridge	0".226	Peters.
Iota de la Grande-Ourse.	0".133	Peters.
Arcturus	0".127	Peters.
Véga	0".152	Peters et O. Struve.
La Polaire	0".106	Peters.
La Chèvre	0".046	Peters.

plus haut et connu sous le nom d'aberration de la lumière. C'est à l'astronome qui a découvert la nutation, qu'on doit aussi la découverte de l'aberration. L'objet que se proposait d'abord Bradley était précisément de déterminer la parallaxe annuelle des étoiles. Il avait entrepris, vers la fin de 1725, d'observer les distances zénithales de l'étoile la plus brillante du Dragon, et il ne tarda pas à reconnaître dans cet astre des mouvements qu'il attribua d'abord aux erreurs d'observation; mais la persistance et la régularité de ces mouvements ne lui laissèrent bientôt aucun doute sur leur réalité. Seulement, ce qui le surprit beaucoup, c'est qu'ils avaient lieu en sens contraire du déplacement qu'aurait dû produire une parallaxe annuelle. Il accumula des observations nouvelles, et après les avoir discutées, il reconnut que les mouvements constatés ne pouvaient avoir d'autre cause que la combinaison du mouvement de la lumière et du mouvement annuel de la Terre dans son orbite. Bradley avait vu en effet que chaque étoile semble décrire en une année une courbe elliptique, dont le grand axe, parallèle au plan de l'orbite terrestre, avait invariablement une valeur angulaire d'un peu plus de $40''$. Plus l'étoile considérée était voisine du pôle de l'écliptique, plus l'ellipse qu'elle décrivait annuellement se rapprochait de la forme du cercle. Au contraire, plus l'étoile était voisine de l'écliptique, c'est-à-dire moins sa latitude céleste était grande, plus il trouva son ellipse aplatie, de sorte que cette ellipse se serait réduite à une ligne droite pour une étoile située précisément dans le plan de l'orbite de la Terre. Bradley reconnut en outre que tous les petits axes des ellipses étaient dirigés vers le pôle de l'écliptique. Enfin, en examinant la position occupée par l'étoile sur son orbite apparente, il trouva qu'elle était constamment de 90 degrés en arrière de celle que la Terre occupait au même instant sur la sienne.

Toutes ces circonstances réunies lui démontrèrent que ce phénomène ne pouvait être dû à la parallaxe ou à la distance;

car alors les longueurs des axes des ellipses décrites, au lieu d'être toutes égales, auraient dû varier en raison inverse des distances des étoiles. De plus, l'étoile, au lieu d'être en retard de 90 degrés sur son ellipse apparente, aurait dû être au contraire toujours en avance de 180 degrés. Voici comment on rend compte de tous ces phénomènes. Nous avons vu que la lumière se meut avec une vitesse de 298 000 kilomètres par seconde, tandis que la Terre parcourt dans le même temps 29^k,8 environ. Il en résulte que la vitesse de translation de notre planète est à fort peu de chose près 10 000 fois moindre que celle d'un rayon lumineux. Quelque petit que soit le rapport de ces deux vitesses, il est assez grand pour qu'il en résulte une altération dans la direction que nous attribuons à un rayon lumineux déterminé au moment où il pénètre dans notre œil.

En effet, si l'œil d'un observateur qui regarde une étoile E à la station T était immobile (fig. 220), il verrait le point lumineux dans la direction réelle de la route suivie par les rayons de lumière qui en émanent à tout instant, c'est-à-dire dans la direction TE; mais il n'en est rien, l'œil se meut et la direction de son mouvement est, à tout moment, celle de la tangente TA à l'orbite de la Terre. Ce mouvement se combine avec celui des molécules lumineuses, et les choses se passent évidemment de la même manière que si,

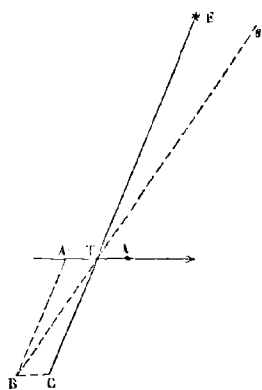


Fig. 220. — Aberration. — Déviation causée par la combinaison du mouvement de la lumière et du mouvement de translation de la Terre.

l'œil restant immobile, le rayon de lumière était animé d'un mouvement TA' égal et contraire à celui de la Terre.

Il faut donc, selon les règles de la mécanique, pour obtenir la direction suivant laquelle l'œil voit l'étoile, construire un parallélogramme TCBA', dont les côtés TC et TA sont dans le

rapport des nombres 10 000 et 1, c'est-à-dire des vitesses de la lumière et de la Terre. La diagonale BT_e indiquera la direction de la position apparente de l'étoile, et l'angle ET_e sera ce qu'on nomme l'angle d'*aberration*.

Or, si l'on fait une construction analogue pour chaque position de la Terre sur son orbite, $TT'T''T'''$ (fig. 221), on trouve que l'étoile E paraît occuper les positions $e e' e'' e'''$ sur une courbe semblable à l'orbite terrestre, c'est-à-dire à peu de chose près sur un cercle, dont le plan est parallèle à l'écliptique. Ce cercle se projette sur la sphère céleste suivant une ellipse dont le demi-grand axe est constamment égal à $20''45$ et dont le petit axe est d'autant plus petit que la latitude de l'étoile est plus faible. Ce nombre est celui qu'on nomme la *constante* de l'aberration,

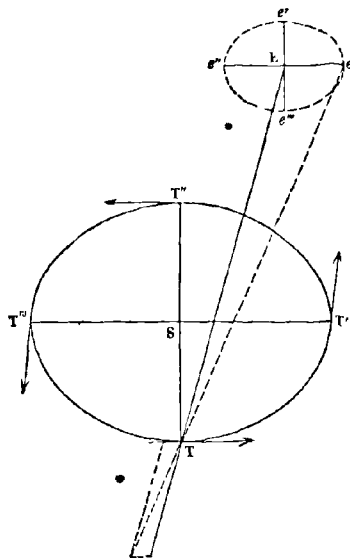


Fig. 221. — Ellipse annuelle décrite par une étoile en vertu de l'aberration.

et la valeur que nous venons de transcrire est celle qui résulte des déterminations les plus récentes.

Un phénomène que chacun peut observer rend parfaitement compte de l'aberration de la lumière, et de la déviation apparente des rayons lumineux provenant de la combinaison de leur vitesse avec celle de la lumière dans son orbite. Si l'on observe en wagon, par la fenêtre de la portière, les gouttes d'une pluie qui tombe verticalement, la direction de ces gouttes variera selon que le wagon est en repos ou qu'il se meut avec plus ou moins de rapidité. Si le wagon est immobile, toutes les gouttes de pluie paraîtront se mouvoir dans leur direction réelle, c'est-à-dire verticalement. Mais si le train est en marche et si pendant que la goutte a se meut de a en b , la fenêtre

s'avance de la position MN à la position $M'N'$, le point b se trouvera à la fin de sa chute vers l'angle M' de la fenêtre, de sorte

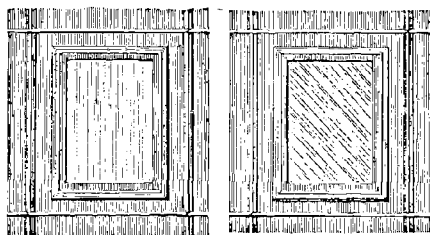


Fig. 222. — Phénomène analogue à celui de l'aberration : direction inclinée apparente des gouttes de pluie dans un wagon en marche.

que la goutte aura paru suivre la direction $a'b$. Pour le voyageur, la pluie semblera tomber obliquement, et l'obliquité sera d'autant plus forte que la vitesse du wagon sera plus considérable.

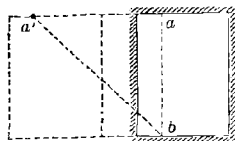


Fig. 223. — Déviation apparente des gouttes de pluie; explication.

L'aberration est un phénomène commun à tous les astres : elle affecte la longitude du Soleil de la quantité constante $20''45$. Quant aux autres planètes, l'aberration est produite à la fois par le mouvement de la Terre et par leur mouvement propre, et il en résulte pour l'angle d'aberration une valeur qui dépend de la position de l'astre sur son orbite ¹.

1. Puisque la constante de l'aberration donne le rapport qui existe entre la vitesse de propagation de la lumière et la vitesse moyenne de translation de la Terre, il est clair que si l'on parvient à connaître exactement l'une de ces vitesses, l'autre en sera une conséquence. Par les éclipses des satellites de Jupiter, on a pu calculer, nous l'avons vu, le temps qu'un rayon de lumière met à franchir une distance égale au diamètre moyen de l'orbite de la Terre. Pour conclure de là la vitesse réelle de la lumière il fallait mesurer ce diamètre, et c'est ce qu'on a fait approximativement au dernier siècle en observant les passages de Vénus. Mais en même temps, on obtenait la vitesse moyenne de translation de la Terre, et le rapport des deux vitesses se trouvait à peu de chose près égal à 10000, c'est-à-dire au nombre déduit de la constante de l'aberration.

En prenant le problème en sens inverse, on peut déterminer la parallaxe du

Soleil. En effet, M. Léon Foucault ayant mesuré directement, à la surface de la Terre, la vitesse de la lumière, et l'ayant trouvée égale à 298 000 kilomètres par seconde, il en résulte que la vitesse de la Terre, 10 000 fois moindre d'après l'aberration, est, par seconde, d'environ 29 k.,8. Ce dernier nombre donne aisément, en le multipliant par le nombre de secondes d'une année sidérale, la longueur de l'orbite terrestre; et, son excentricité étant connue, on en déduit la longueur du grand axe. La moitié de cette longueur est précisément égale à la distance moyenne de notre planète au Soleil.

III

LES INSTRUMENTS ASTRONOMIQUES.

VISITE A UN OBSERVATOIRE.

Instruments destinés à amplifier les images et à rapprocher les distances. — Lunette astronomique. — Télescope de Newton, d'Herschel, de Grégory. — Télescope de M. Léon Foucault. — Instruments des observatoires : lunette méridienne; équatorial; théodolite.

La surprise, l'admiration qu'excite si naturellement en nous la description des merveilles que les astronomes sont parvenus à découvrir dans les profondeurs des cieux, sont presque toujours accompagnées du vif désir de contempler de nos propres yeux les phénomènes célestes. De là, un légitime intérêt de curiosité pour les instruments à l'aide desquels s'est agrandi peu à peu le cercle de ces magnifiques connaissances. Les lunettes et les télescopes surtout sont avidement recherchés. A la vérité, il est très-fréquent aujourd'hui de rencontrer chez les particuliers d'assez bonnes longues-vues; mais la portée et la netteté de ces instruments sont si restreintes, quand on les compare aux grands télescopes des observatoires, que le sentiment de curiosité dont nous parlons est plutôt surexcité que satisfait.

Je viens de parler des observatoires. Ces temples de la plus belle des sciences se présentent aussi devant les yeux des profanes, c'est-à-dire de l'immense majorité du public, comme de mystérieux sanctuaires où, dans le silence des nuits et à l'abri

des agitations de la foule, les savants se trouvent en communication intime avec les innombrables mondes qui peuplent l'univers. Combien d'entre nous — je parle des curieux de science — seraient heureux de jeter au moins un coup d'œil à l'intérieur de ces monuments élevés à la gloire de l'observation, et d'en pénétrer quelques secrets! C'est dans le but de satisfaire à ce besoin de l'esprit, que nous consacrerons le dernier chapitre de cet ouvrage à la description très-sommaire des principaux instruments d'astronomie.

On peut diviser les instruments astronomiques en trois genres bien distincts.

Ceux qui servent à augmenter la puissance et la netteté de la vue, ou si l'on veut à rapprocher les distances. Tels sont les *télescopes* et les *lunettes* ;

Ceux qui ont pour objet la mesure des angles, et au moyen desquels on détermine les positions des astres; les *cercles divisés*, les *micromètres* sont les principaux de ces instruments;

Enfin, ceux qui permettent d'évaluer le temps avec toute la précision requise dans les observations astronomiques; ce sont les *pendules* et les *chronomètres*.

Nous bornerons ici notre description aux instruments destinés à amplifier la vue, en rapprochant les distances. En vertu de l'étymologie ($\tau\tilde{\eta}\lambda\epsilon$, de loin, $\sigma\kappa\omicron\pi\epsilon\tilde{\iota}\nu$, voir), le nom de *télescopes* conviendrait à tous les appareils qui remplissent ces conditions, quelle que soit la construction particulière de chacun d'eux : mais, en France, on réserve cette dénomination à un genre spécial, différant essentiellement des instruments appelés *lunettes*.

Les lunettes sont formées par la combinaison de verres taillés en lentilles, au travers desquels passent des rayons lumineux émanés de l'objet qu'il s'agit d'examiner. Cette combinaison a pour principe le phénomène physique de la réfraction. Dans les télescopes, les lentilles sont combinées avec un miroir ordinairement métallique à la surface duquel viennent

se réfléchir les rayons lumineux, de sorte que c'est à la fois sur la réflexion de la lumière et sur la réfraction que la construction des télescopes est basée. Telle est la différence principale qui fait de ces deux sortes d'instruments des genres distincts.

Mais la description qui va suivre fera nettement saisir les caractères spécifiques que nous venons de signaler d'une manière générale.

La *lunette astronomique* (fig. 224) est composée de deux

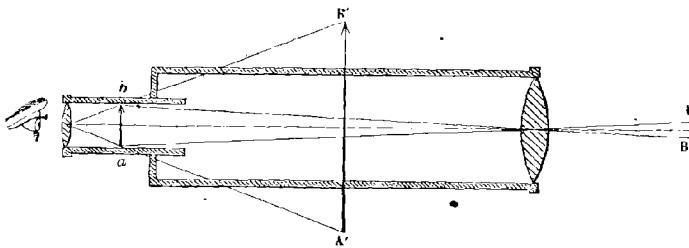


Fig. 224. — Coupe théorique d'une lunette astronomique.

systèmes de lentilles ou plus simplement encore de deux lentilles disposées aux deux extrémités d'un tube cylindrique : l'une d'elles, tournée vers l'objet qu'on examine, a reçu pour cette raison le nom d'*objectif*. C'est l'objectif qui reçoit tous les rayons lumineux partis de l'objet qui pénètrent dans la lunette, et comme c'est une lentille convergente, tous ces rayons se réunissent derrière elle, en un point qu'on appelle le foyer ; là, ils forment une image exacte de l'objet observé par l'astronome. C'est cette image *a b* qu'il examine alors à l'aide d'une loupe, absolument comme le naturaliste fait d'un insecte ou d'une plante à sa portée. Cette loupe est formée d'une autre lentille ordinairement convergente, mais d'un court foyer. L'œil en regardant l'image à travers cette loupe la voit grossie, *A'B'*, et peut en examiner les détails : c'est là ce qui a fait donner à cette seconde lentille le nom d'*oculaire*.

Telle est, en principe, la composition d'une lunette astrono-

mique ; tel est le mécanisme de la lunette astronomique dans toute sa simplicité. On remarquera que ce n'est pas l'objet lui-même qu'on voit directement au moyen de la loupe ou de l'oculaire, mais bien son image, laquelle seule est véritablement agrandie¹.

Un mot maintenant des avantages qui constituent réellement la puissance optique de cet instrument, et qui en rendent l'emploi de beaucoup préférable à la vision simple.

L'ouverture de la lunette, c'est-à-dire la surface de l'objectif étant plus grande que celle de la pupille, l'image se trouve formée par un plus grand nombre de rayons de lumière émanés de l'objet ; elle est donc d'autant plus lumineuse que l'objectif est plus considérable.

La netteté de la vision est pareillement accrue.

Enfin, l'accroissement de la grandeur apparente, en un mot le grossissement qui dépend, pour un objectif donné, de la petitesse de la distance focale de l'oculaire, rend perceptibles des détails que la vue simple ne voit pas du tout ou ne peut voir que d'une manière confuse.

Tout cela aurait besoin de démonstration : mais on comprendra que je ne fais point ici un cours d'optique, et je renvoie les lecteurs trop exigeants aux traités spéciaux.

Dirai-je que les objectifs des bonnes lunettes sont composés de deux lentilles juxtaposées, l'une convergente, l'autre divergente, la première en *crown-glass*, verre ordinaire des glaces, l'autre en *flint-glass*, sorte de cristal où entre une certaine quantité de plomb ; que cette disposition a pour but de détruire les couleurs irisées qui entoureraient sans cela les contours des images : que l'oculaire est aussi formé de deux lentilles

1. Dans les microscopes, l'image de l'objet est réellement plus grande que les propres dimensions de ce dernier, tandis que dans les lunettes, l'image, quel que soit le grossissement, est toujours plus petite que l'objet observé. Ce sont ses dimensions apparentes qui sont réellement agrandies.

dont la combinaison a surtout pour objet d'agrandir le *champ* de la lunette, sans nuire à sa puissance.

La figure 225 reproduit la coupe exacte ou la vue inté-



Fig. 225. — Lunette astronomique, coupe ou vue intérieure.

rieure d'une lunette astronomique semblable à celle dont on voit la représentation exacte dans la figure 226.

Ce qui, aux yeux de bien des gens, est le signe caractéris-

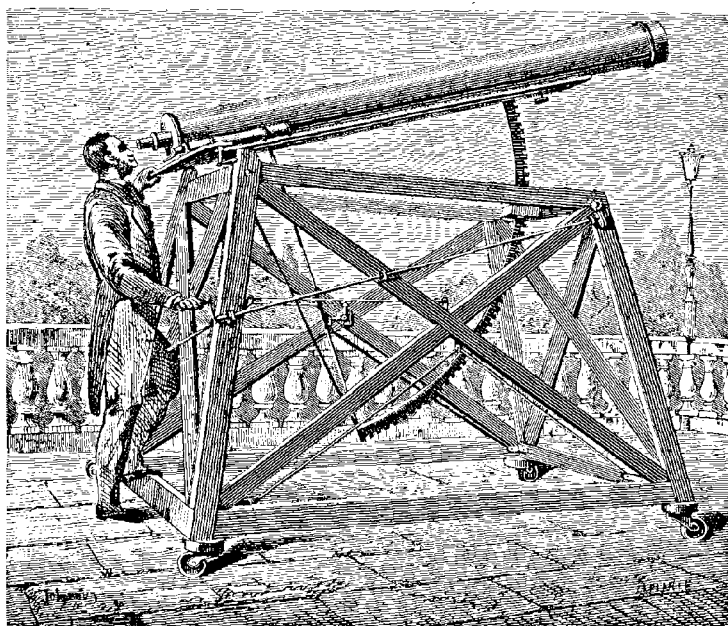


Fig. 226. — Lunette astronomique, vue extérieure.

tique de la puissance d'une lunette, c'est le grossissement. Or le grossissement varie avec l'oculaire, et généralement la même lunette, ou plutôt le même objectif, est susceptible de

recevoir divers grossissements qu'on emploie selon le genre des observations et les circonstances atmosphériques¹. Seulement, plus le grossissement est considérable, plus l'image formée au foyer de l'objectif éparpille, pour ainsi dire, sur un grand espace, les rayons lumineux qui la forment; moins la clarté est grande, plus la netteté de l'image est compromise.

A égalité de pureté de la matière qui compose divers objectifs, et à l'égalité dans la perfection de la taille et du polissage de sa surface, celui qui permettra le plus fort grossissement sera celui dont le diamètre est le plus considérable, et dont la distance focale est la plus grande.

Parmi les plus remarquables et les plus puissantes lunettes aujourd'hui connues, nous citerons les grandes lunettes des observatoires de Paris et de Poulkova qui ont 38 centimètres d'ouverture; et celle de Cambridge (États-Unis) dont l'ouverture mesure 47 centimètres. Ce dernier instrument est le plus grand télescope réfracteur qu'on ait construit jusqu'à présent.

Arrivons au télescope.

Un télescope se compose, ainsi que les lunettes, d'un objectif et d'un oculaire; l'objectif est destiné à former une image, la plus nette et la plus lumineuse possible, de l'astre observé; l'oculaire sert à grossir cette image pour en examiner les détails. Seulement, au lieu d'être formé d'une lentille ou d'une combinaison de lentilles, l'objectif du télescope est un miroir concave, c'est-à-dire convergent, miroir ordinairement métallique et dont la surface est polie avec un grand soin.

La disposition des miroirs et de l'oculaire ne peut être la même, on le comprend d'avance, que celle de la lunette astronomique, puisque le miroir est opaque et qu'il faut de toute nécessité que la concavité en soit tournée vers le ciel. Nous

1. Si l'atmosphère, quoique pure en apparence, est chargée de vapeurs à l'état vésiculaire, un fort grossissement est généralement défavorable: les images des molécules interposées sont elles-mêmes grossies; elles troublent la netteté de l'image de l'astre et en rendent les contours ondulants et mal terminés.

donnons ici trois coupes intérieures de télescopes, tels qu'ils ont été construits par leurs inventeurs, Newton, Grégory, Herschel.

Dans le premier de ces instruments (fig. 227), les rayons

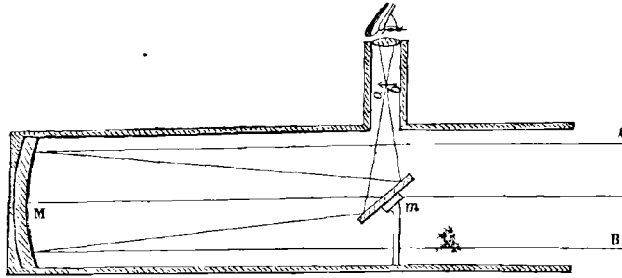


Fig. 227. — Télescope de Newton; coupe théorique.

lumineux, après s'être réfléchis une première fois sur le grand miroir principal *M*, se réfléchissent une seconde fois sur un petit miroir *m* incliné à 45° , de sorte que l'image se forme à côté du tube. Là se trouve l'oculaire, qui, je le répète, remplit la fonction de loupe. Ainsi, dans le télescope de Newton, l'ob-

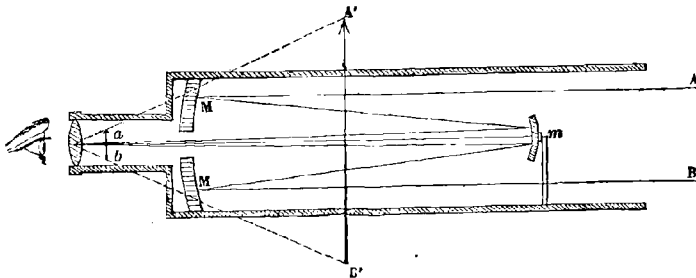


Fig. 228. — Télescope de Grégory; coupe théorique.

servateur est placé latéralement, c'est-à-dire à angle droit avec la direction des rayons qui émanent de l'astre.

Dans le télescope de Grégory (fig. 228), le miroir principal est percé, à son centre, d'une petite ouverture qui donne passage au tube contenant l'oculaire, et le petit miroir est placé en avant du grand, et dans une position parallèle.

Il y a donc double réflexion, comme dans le télescope de Newton, mais l'œil de l'observateur est situé en face de l'objet observé. Cette double réflexion a l'inconvénient d'éteindre un plus grand nombre de rayons lumineux ; la clarté de l'image en est naturellement affaiblie.

Les télescopes à vue de face (*front view telescope*) de W. Herschel n'offrent pas cet inconvénient (fig. 229). Il n'y a qu'un miroir M, incliné au fond du tube, de manière à venir former l'image au bord inférieur de l'extrémité du tube tournée vers l'objet. Là se trouve l'oculaire qui sert à amplifier les dimensions. Cette disposition n'est avantageuse que pour les

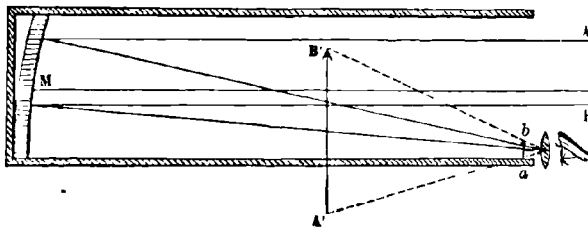


Fig. 229. — Télescope de W. Herschel; coupe théorique.

très-grands miroirs, parce que l'observateur, obligé de tourner le dos à l'astre pour observer, empêche une partie des rayons lumineux, arrêtés par le sommet de sa tête, de pénétrer dans l'instrument.

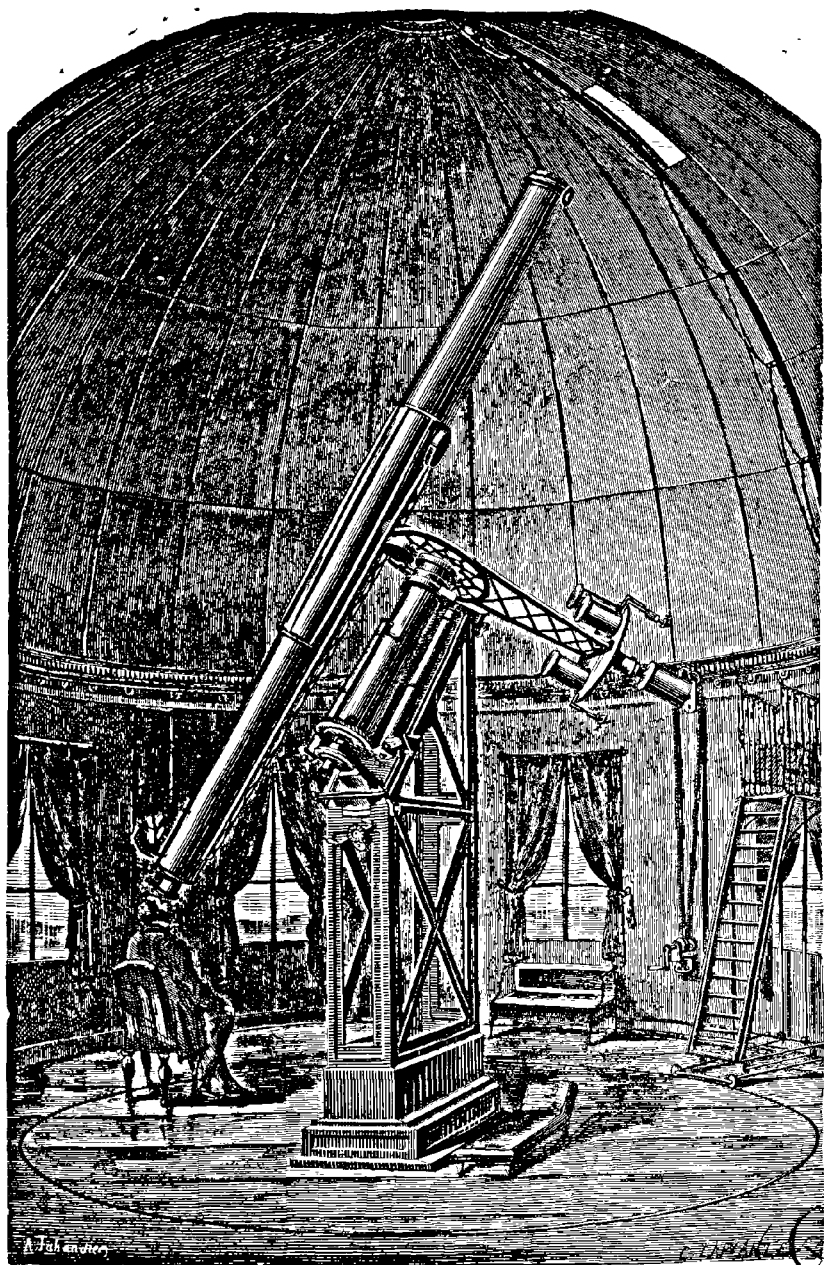
Dans les télescopes, la déperdition de lumière qui provient de la réflexion sur le miroir principal, est de beaucoup supérieure à l'absorption que subissent les rayons en traversant les objectifs de verre des lunettes ; aussi, à égalité de dimension des objectifs, les lunettes permettent un grossissement plus considérable que les télescopes.

Il y a quelques années, un savant et habile physicien et opticien français, M. Léon Foucault, si connu par ses expériences précises et délicates sur la vitesse de la lumière, a imaginé de construire des télescopes, dont les miroirs sont en verre argenté,

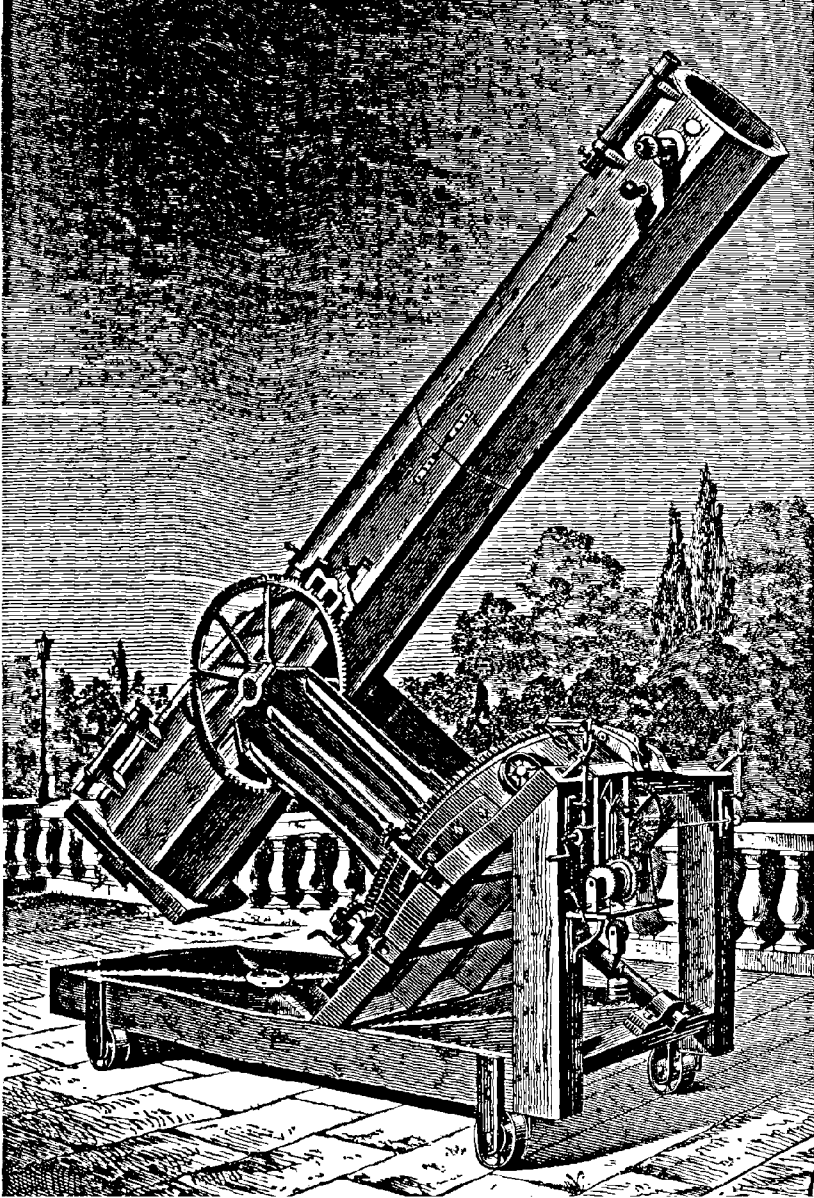
ce qui rend beaucoup moins coûteux l'établissement du télescope, et surtout extrêmement facile le polissage des objectifs. Nous reproduisons ici (planche XLII) le magnifique instrument que ce savant avait fait construire pour l'Observatoire de Paris, où il a servi pendant quelque temps aux études d'astronomie sidérale et planétaire. Depuis, il a été monté équatorialement pour la latitude de Marseille, et installé dans le nouvel observatoire de cette ville. Espérons qu'entre les mains d'observateurs habiles, et placé dans des conditions atmosphériques plus favorables que celles du ciel brumeux de Paris, ce beau télescope ajoutera de nouveaux matériaux à ceux que la science a déjà recueillis par son entremise. Le télescope de M. Foucault est construit d'après le système newtonien.

Parmi les réflecteurs remarquables qui fonctionnent en ce moment dans les observatoires, il faut citer le télescope construit par lord Rosse dans son parc de Parsonstown, en Irlande. Ce colossal instrument a presque 17 mètres de distance focale, et le diamètre de son miroir métallique est de 1^m,83. Le miroir et le tube ne pèsent pas moins de 10 400 kilogrammes, il supporte des grossissements de 6000 fois. Nous avons vu comment l'illustre possesseur de cette merveille astronomique a su l'employer à la découverte et à l'étude des nébuleuses, qui, jusqu'à lui, avaient résisté aux instruments les plus puissants. Le télescope de lord Rosse a coûté, dit-on, 12 000 livres sterling (300 000 francs). La planche XLIII (page 592) reproduit, d'après un dessin du *Speculum Hartwellianum* de l'amiral Smyth, une vue extérieure de l'instrument et des constructions monumentales qui ont été nécessitées par son installation et sa manœuvre.

Aujourd'hui que le ciel est exploré, dans toutes ses parties, par d'habiles observateurs, munis des instruments les plus perfectionnés, il devient de plus en plus difficile d'ajouter aux connaissances que l'on possède sur la condition physique du monde solaire et des autres systèmes sidéraux ; mais, à l'origine,



GRANDE LUNETTE ÉQUATORIALE
de l'Observatoire de Paris.



GRAND TÉLÉSCOPE A MIROIR ARGENTÉ
Construit par M. Léon Foucault (Observatoire de Marseille).

de faibles instruments ont permis les plus glorieuses découvertes; Galilée reconnut l'existence des satellites de Jupiter à l'aide d'une lunette qui ne grossissait que 7 fois; l'illustre astronome n'eut jamais d'instruments dépassant un grossissement de 32 fois dans ses observations astronomiques. Ajoutons, pour ne pas décourager les amateurs, qu'une simple lunette astronomique de 11 centimètres d'ouverture, dont le grossissement varie de 60 à 300 fois, peut servir à de fort utiles investigations. M. Goldschmidt a découvert ses 14 planètes à l'aide d'une lunette de cette force, et c'est avec le même instrument qu'il a revu le satellite de Sirius.

Quelques détails maintenant sur les principaux travaux des observatoires.

Pénétrons, si vous le voulez bien, à l'intérieur de l'Observatoire de Paris. C'est chose facile, depuis que la fondation d'une société d'astronomie et de météorologie en a ouvert périodiquement les portes au public.

L'une des premières salles que nous visiterons sera celle des instruments méridiens. Là, je me bornerai à arrêter votre attention sur trois genres d'instruments, les lunettes, les cercles divisés, les pendules, c'est-à-dire les instruments qui amplifient la vue, ceux qui servent à mesurer les angles ou les positions, ceux qui mesurent et divisent le temps.

Trois lunettes, dont l'une est fixée au centre d'un grand cercle que vous voyez au fond de la salle attaché à un mur, et dont la plus rapprochée est la plus moderne et la plus puissante, ont toutes trois la même destination, celle de marquer avec précision l'heure du passage des astres par le plan méridien, et de mesurer leur distance angulaire au zénith, d'où se déduit leur position par rapport au pôle ou à l'équateur céleste.

Le premier instrument se nomme *cercle mural*. les autres sont des *lunettes méridiennes*.

Dans ces trois instruments, les lunettes sont disposées de

manière à tourner librement autour de leur axe placé horizontalement dans la direction de l'Est à l'Ouest, ou perpendiculairement au méridien. L'axe de chacune ne sort donc pas, dans ses mouvements, du plan méridien. Comme le mouvement diurne amène successivement tous les astres dans le méridien, il est toujours possible d'obtenir l'instant précis du passage de l'un d'eux par ce plan. Pour rendre cette observation plus aisée, la lunette méridienne est munie d'un *réticule*, assemblage de fils très-fins placés au foyer commun de l'objectif et de l'oculaire, dont la figure 230 donne la disposition. Plus la lunette est puissante, plus la vitesse de l'étoile qui passe dans le champ est considérable, plus il importe de saisir avec exactitude l'instant où le point lumineux passe derrière le fil *a b* qui l'occulte. En observant l'instant des passages par les quatre autres fils parallèles à celui-ci et en prenant la moyenne, l'erreur d'observation est diminuée.

On voit dans la planche XLIV, à côté des lunettes méridiennes, des horloges ou pendules réglées sur le temps sidéral, et battant les secondes. Le bruit sec des oscillations de la pendule suffit à l'observateur pour compter le temps : il évalue même approximativement les dixièmes de secondes, de manière à connaître plus exactement l'instant du passage de l'astre, quand il a lieu entre les battements de deux secondes successives.

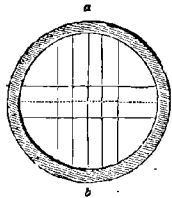


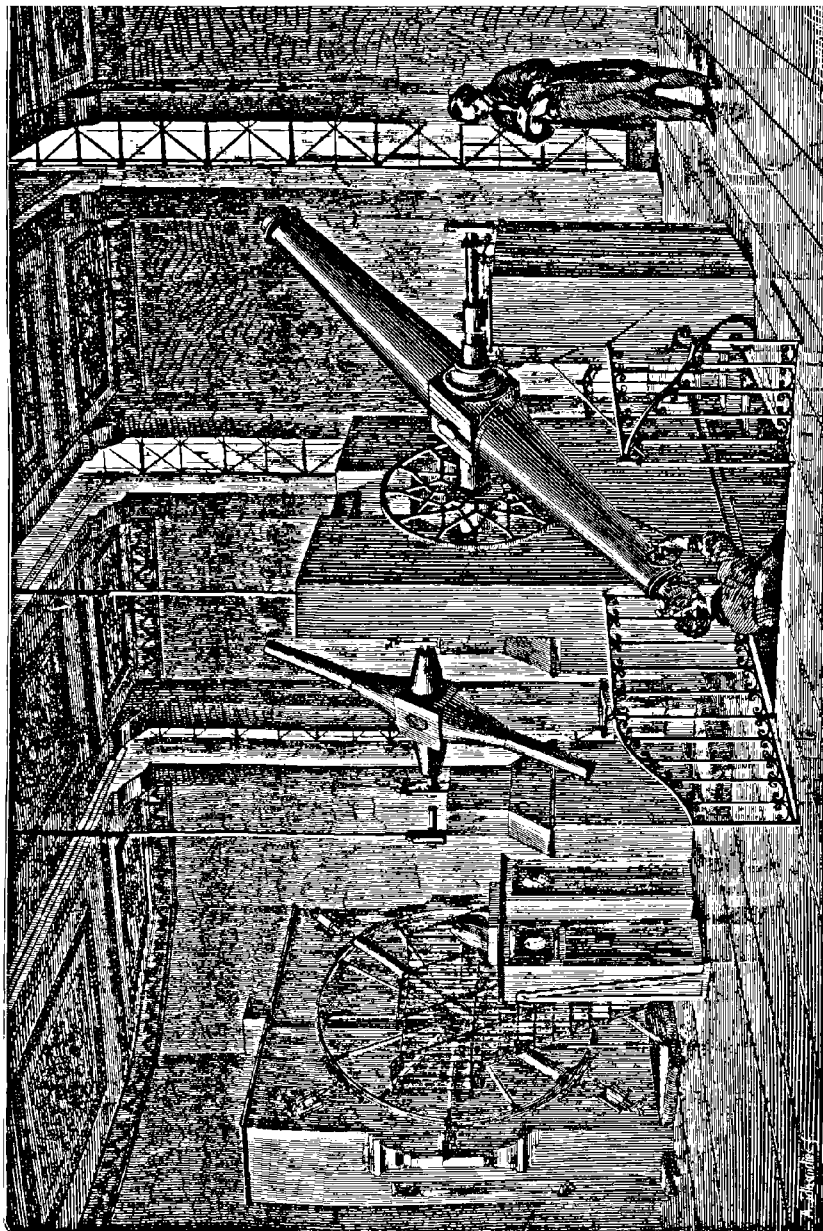
Fig. 230. — Réticule de la lunette méridienne.

Je ne décrirai point ici ces instruments d'horlogerie si précieux par leur exactitude : je répéterai seulement ce que j'ai dit plus haut, c'est-à-dire qu'ils marquent le temps sidéral, de sorte que les visiteurs n'auront point la tentation de régler leurs montres sur les horloges des observatoires, et ne devront pas s'étonner de l'écart apparent, quelquefois si considérable, qu'ils trouvent exister entre les indications des deux cadrans.

Le *cercle mural* consiste en un cercle métallique divisé en

LE CIEL.

PLANCHE XLIV.



GRANDE, LUNETTE, MÉRIDienne
de l'Observatoire de Paris.

degrés et fractions de degré et placé dans le méridien. Une lunette mobile autour du centre permet d'observer un astre au moment de son passage au méridien; la direction de cet axe montre quelle distance angulaire existe entre la position actuelle de l'astre et le zénith : de là, on conclut la déclinaison, distance angulaire du même astre à l'équateur céleste.

Le cercle mural peut servir ainsi, comme on voit, de lunette méridienne; réciproquement, on adapte maintenant aux lunettes méridiennes des cercles divisés à l'aide desquels la distance zénithale est mesurée. La magnifique lunette méridienne récemment installée à l'Observatoire de Paris, et qu'on voit au premier plan de notre dessin (planche XLIV), remplit à la fois ces deux fonctions si importantes.

De la salle des instruments méridiens, nous allons passer à la grande tour, surmontée d'un dôme, qui contient la grande lunette de 38 centimètres d'ouverture, dont il a été question plus haut.

Comme les instruments méridiens ne permettent d'observer les astres que pendant l'instant très-rapide de leur passage, il importe d'avoir des lunettes puissantes pour les suivre dans toutes les régions du ciel où les amène le mouvement diurne, combiné avec leurs mouvements propres. Les lunettes et télescopes montés sur des pieds dont la manœuvre est très-perfectionnée suffisent en partie à ce genre d'observation, mais ne permettent aucune mesure précise de leur position.

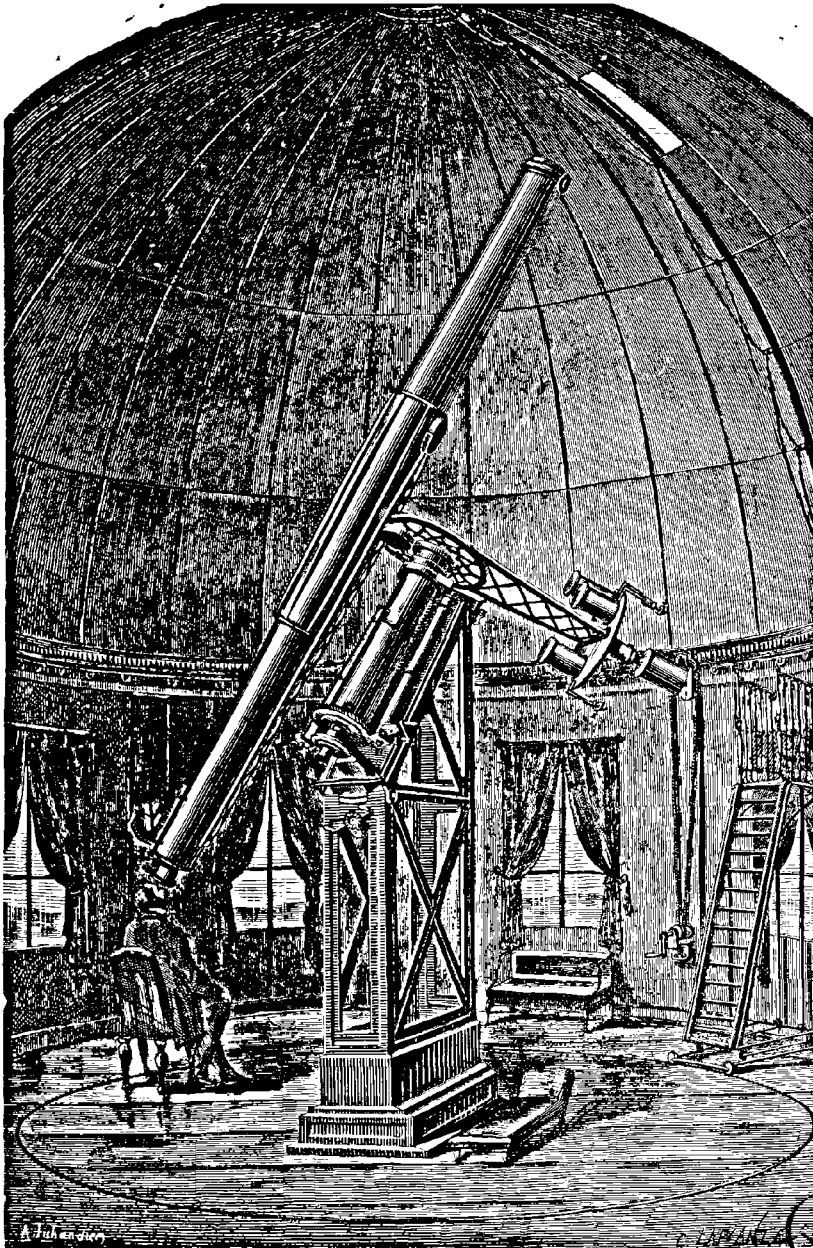
C'est à suppléer à cette insuffisance qu'est destiné le grand instrument qui a reçu le nom de lunette équatoriale ou simplement d'*équatorial*.

Comme on peut le voir dans la planche XLV, la lunette est fixée à un axe, autour duquel elle peut tourner dans tous les sens et qui est fixé parallèlement à l'axe du monde. Voici du reste quelles sont les pièces fondamentales de l'instrument : la lunette; un cercle divisé dont le plan est parallèle à l'axe de la lunette et qui sert à mesurer l'angle que cet axe fait

avec la ligne des pôles; ce cercle se meut avec la lunette qu'on y fixe à l'aide de vis de pression; un autre cercle fixe parallèle au plan de l'équateur. Un mouvement d'horlogerie fait mouvoir ce cercle sur lui-même, de manière à lui faire accomplir une révolution entière, d'une façon continue, en 24 heures sidérales.

Il résulte de là, que si la lunette est dirigée vers une étoile, ou un astre quelconque, et fixée dans sa direction, le mouvement général de l'instrument l'entraînera, et maintiendra constamment son axe optique suivant un parallèle céleste. Ou, si l'on veut, l'astre qui était au début de l'observation dans le champ de la lunette y restera immobile pendant toute sa durée. De là, une facilité extrême pour observer les détails des disques planétaires, les taches du Soleil, les nébulosités des comètes, les amas stellaires, les nébuleuses, surtout quand l'équatorial est formé d'une lunette d'une grande puissance. A la vérité, l'usage de l'équatorial n'est pas restreint à ce genre de recherche, et il peut servir à déterminer par comparaison des positions célestes. Les cercles divisés, qui permettent de pointer l'instrument vers un astre connu, ont aussi pour objet la détermination dont nous parlons.

J'aurais voulu pouvoir entrer dans quelques détails sur la mesure des angles, sur les instruments qui servent à cet objet, sur la précision à laquelle les astronomes sont parvenus, grâce à d'ingénieuses méthodes et aux progrès de l'art du mécanicien et de l'opticien. Je me serais étendu alors sur la description des micromètres, des grands cercles divisés, puis des héliomètres et de divers autres instruments employés dans les observations. Mais l'appendice que j'ai donné à la description du ciel et de ses phénomènes est déjà long. Je me bornerai donc à reproduire ici la vue d'un instrument nommé *Théodolite*, qui est formé essentiellement de deux cercles divisés, l'un horizontal, HH, l'autre A, situé dans un plan vertical mobile autour d'un axe qui est lui-même vertical. Au moyen du



GRANDE LUNETTE ÉQUATORIALE
de l'Observatoire de Paris.

théodolite, on mesure à la fois la hauteur d'un astre au-dessus de l'horizon et sa distance azimutale, c'est-à-dire l'angle formé par le plan vertical qui contient l'astre au moment de l'horizon, avec le plan méridien. Des niveaux à bulles d'air servent

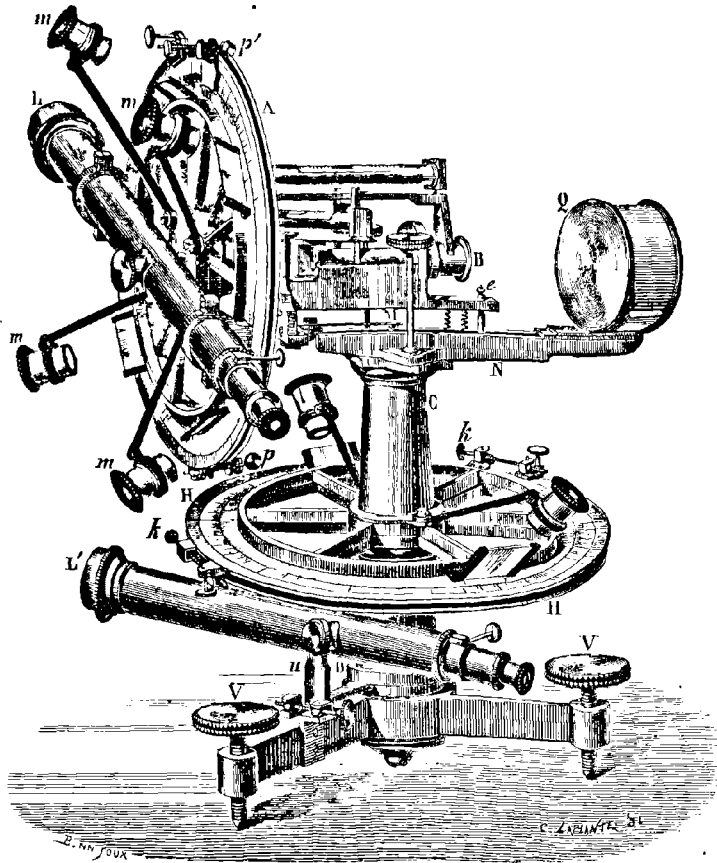


Fig. 231. — Théodolite de Gambey.

à placer le théodolite, dont le pied est muni de vis calantes V, dans une position telle, que le cercle azimutal soit parfaitement horizontal. La lecture des divisions des cercles, munis de verniers, se fait à l'aide de loupes qui permettent d'atteindre une grande précision.

Je reuerrai aux ouvrages spéciaux les personnes curieuses

d'entrer dans plus de développements sur cet instrument et sur tous les autres instruments en usage en astronomie. Mon but sera suffisamment atteint, si, en excitant leur curiosité, j'ai réussi à leur donner le désir de pousser plus avant leurs études, dans cette science si propre à élever l'esprit, et à lui procurer à la fois les plus pures et les plus nobles jouissances.

FIN.

TABLE DES FIGURES.

PLANCHES TIRÉES HORS DU TEXTE.

	Legendes.	Pages.
Pl. I.	TACHES SOLAIRES, d'après les observations et les dessins de Sir J. Herschel.	51
Pl. II.	TACHES SOLAIRES. Groupe observé et dessiné le 5 juin 1864, par Nasmyth. Structure granulée de la photosphère; feuilles de saule dans les pénombres.	63
Pl. III.	DISTRIBUTION DES TACHES SOLAIRES selon la latitude, pendant les années 1853 à 1861, d'après R. C. Carrington. . .	67
Pl. IV.	PROTUBÉRANCES GAZEUSES DU SOLEIL, vues pendant l'éclipse totale du 18 juillet 1860, d'après les dessins de Warren de la Rue	84
Pl. V.	SYSTÈME SOLAIRE. I. Orbites des planètes. II. Inclinaisons des plans des orbites planétaires sur le plan de l'orbite terrestre.	102
Pl. VI.	LA TERRE VUE DE L'ESPACE. 1° Hémisphère terrestre et hémisphère maritime; 2° la Terre vue en face de l'équateur; 3° hémisphères vus en face des pôles.	159
Pl. VII.	ORBITE DE LA TERRE. L'année et les saisons terrestres. Parallélisme de l'axe de rotation.	178
Pl. VIII.	LES PHASES DE LA LUNE.	194
Pl. IX.	LA LUNE VUE DANS SON PLEIN	212
Pl. X.	LA LUNE AU PREMIER QUARTIER, d'après une photographie de Warren de la Rue.	214
Pl. XI.	LES MONTAGNES DE LA LUNE. Fac-simile d'une photographie de Warren de la Rue.	230
Pl. XII.	TOPOGRAPHIE DE LA LUNE. 1. Cirques, cratères et collines. Rainures d'Abulfeda. 2. Rainures de la partie centrale dans les environs de Sinus Medii.	233

	Légendes.	Pages.
Pl. XIII.	UN PAYSAGE LUNAIRE, vue idéale dans la région montagneuse du sud-ouest.	243
Pl. XIV.	LA TERRE VUE DE LA LUNE.	251
Pl. XV.	MARS. I. D'après les observations de Beer et Mædler. II. Projection des deux hémisphères sur le plan de l'équateur. III. D'après les observations du P. Secchi.	270
Pl. XVI.	JUPITER, d'après un dessin de Warren de la Rue. Bandes sombres et bandes lumineuses, passage et ombre d'un satellite sur le disque de la planète.	300
Pl. XVII.	SATURNE, d'après les observations de Bond, de Struve et les dessins de Warren de la Rue; novembre 1852 et mars 1856	320
Pl. XVIII.	DIMENSIONS COMPARÉES DU SOLEIL ET DES PLANÈTES PRINCIPALES	354
Pl. XIX.	FORMES DES COMÈTES. 1. Comète de 1557, observations de C. Gemma. 2. Comète de 1680, d'après J. C. Sturm. 3. Comète de 1769.	360
Pl. XX.	COMÈTE DE HALLEY, d'après Sir J. Herschel.	368
Pl. XXI.	COMÈTE DE DONATI, d'après P. G. Bond. 1. Le 24 septembre 1858. 2. Le 26 septembre.	374
Pl. XXII.	COMÈTE DE DONATI, d'après P. G. Bond. 1. Le 3 octobre 1858. 2. Le 5 octobre.	376
Pl. XXIII.	LA COMÈTE DE DONATI, d'après les observations de P. G. Bond, le 4 octobre 1858.	Frontispice
Pl. XXIV.	TÊTES ET NOYAUX DES COMÈTES. 1. Comète de Donati, d'après P. G. Bond, le 29 septembre 1858. 2. Comète de 1861, d'après Warren de la Rue, le 2 juillet.	378
Pl. XXV.	BOLIDE ET SA TRAÎNÉE.	414
Pl. XXVI.	LUMIÈRE ZODIACALE EN EUROPE	420
Pl. XXVII.	LUMIÈRE ZODIACALE AU JAPON.	422
Pl. XXVIII.	LE CIEL DE L'HORIZON DE PARIS (côté nord), vu à minuit, le 20 décembre	427
Pl. XXIX.	LE CIEL DE L'HORIZON DE PARIS (côté sud), vu à minuit, le 20 décembre	448
Pl. XXX.	LE CIEL DE L'HORIZON DE PARIS (côté sud), vu à minuit, le 22 mars.	452
Pl. XXXI.	LE CIEL DE L'HORIZON DE PARIS (côté sud), vu à minuit, le 20 juin.	454
Pl. XXXII.	LE CIEL DE L'HORIZON DE PARIS (côté sud) vu à minuit, le 22 septembre.	458
Pl. XXXIII.	LE CIEL AUSTRAL, étoiles invisibles au-dessus de l'horizon de Paris, vues au sud des côtes de Patagonie, le 20 décembre, à minuit	462
Pl. XXXIV.	ÉTOILES COLORÉES. Amas de la Croix. — Étoiles doubles.	512
Pl. XXXV.	AMAS STELLAIRES, d'après les dessins de Sir J. Herschel.	534

TABLE DES FIGURES.		719
Légendes.		Pages.
Pl. XXXVI.	NÉBULEUSE DE LA DORADE ET D'ÉTA DU NAVIRE, d'après les dessins de Sir J. Herschel.	556
Pl. XXXVII.	NÉBULEUSE D'OR'ON, d'après un dessin de P. G. Bond.	560
Pl. XXXVIII.	VOIE LACTÉE BORÉALE	568
Pl. XXXIX.	VOIE LACTÉE AUSTRALE.	570
Pl. XL.	ECLIPSES ANNULAIRES ET TOTALES DE SOLEIL	655
Pl. XLI.	ÉCLIPSE TOTALE ET ÉCLIPSE PARTIELLE DE LUNE. Coloration du disque éclipsé par la réfraction des rayons solaires dans l'atmosphère terrestre.	662
Pl. XLII.	TÉLESCOPE A MIROIR ARGENTÉ, de M. Léon Foucault .	705
Pl. XLIII.	GRAND TÉLESCOPE DE LORD ROSSE, à Parsonstown (Irlande).	592
Pl. XLIV.	GRANDE LUNETTE MÉRIDIENNE de l'Observatoire de Paris	709
Pl. XLV.	EQUATORIAL de la tour de l'Ouest, à l'Observatoire de Paris	713

FIGURES INSÉRÉES DANS LE TEXTE.

N ^o d'ordre.	Légendes.	
1.	Forme elliptique du disque du Soleil à l'horizon	22
2.	Formes singulières du disque du Soleil à l'horizon de la mer; d'après les observations faites à Dunkerque par MM. Biot et Mathieu	23
3.	Dimensions apparentes du disque solaire, aux époques de ses distances extrêmes et moyenne à la Terre.	26
4.	Le Soleil vu des principales planètes; dimensions apparentes comparées	27
5.	Dimensions du Soleil déduites de sa distance et de la grandeur apparente de son disque	34
6.	Dimensions comparées du globe du Soleil et de l'orbite de la Lune.	35
7.	Mouvement apparent des taches, du bord oriental au bord occidental du disque.	41
8.	Différence de durée de la rotation apparente du Soleil et de sa rotation réelle	44
9.	Formes des courbes décrites par les taches sur le disque solaire, à diverses époques de l'année.	46
10.	Tache solaire, d'après Nasmyth. Noyau et pénombre	53
11.	Facule environnant la pénombre. Taches solaires, d'après Capocci. .	54
12.	Apparence d'un groupe de taches avec ses facules, observé le 14 février 1865, par M. Chacornac	55

N ^{os} d'ordre.	Légendes.	Pages.
13.	Tache en forme de tourbillon, d'après les dessins du P. Secchi. (5 mai 1857.)	56
14.	Grandes taches observées le 30 août 1839, par le capitaine Davis. . .	57
15.	Transformation de groupe de taches solaires, dans l'intervalle d'une rotation. Observations de M. Pastorff, le 24 mai et le 21 juin 1828. . .	59
16.	Transformations des taches solaires, dans l'intervalle d'une rotation. Détails des groupes A et B, d'après M. Pastorff	59
17.	Transformations d'une tache; observations de Dawes, les 27, 29 et 31 octobre, et le 2 novembre 1859.	60
18 et 19.	Transformations d'une tache; observations de MM. Howlet et Chacornac.	61
20.	Granulations de la surface du Soleil, d'après W. Huggins.	62
21.	Taches du Soleil, le 2 septembre 1839, d'après les observations du capitaine Davis.	70
22.	Fragment du spectre solaire; Fe, lignes du fer, etc.	81
23.	Protubérances gazeuses du Soleil observées pendant l'éclipse totale du 18 août 1868; commencement de la totalité	84
24.	Protubérances gazeuses du Soleil observées pendant l'éclipse totale du 18 août 1868; fin de la totalité	85
25.	Explication des taches du Soleil, dans l'hypothèse de Wilson : aa, photosphère; bbb, atmosphère intérieure; A, tache avec noyau et pénombre; B, noyau sans pénombre; C, pénombre sans noyau. . .	88
26.	Changement apparent dans la forme d'une tache solaire, du bord au centre du Soleil.	93
27.	Explication des changements de forme du noyau et de la pénombre, dans l'hypothèse de Wilson.	93
28.	Nature des taches; explication d'après la théorie de Kirchhoff	94
29.	Sens des mouvements de rotation et de translation des planètes. . .	100
30.	Orbites des planètes moyennes; situations de Mercure, Vénus, la Terre et Mars au 1 ^{er} janvier 1870.	104
31.	Explication du mouvement apparent de Mercure.	108
32.	Phases de Mercure, visibles le soir, après le coucher du Soleil . . .	112
33.	Phases de Mercure, visibles le matin, avant le lever du Soleil. . . .	112
34.	Explication des phases de Mercure	113
35.	Dimensions apparentes du disque de Mercure, à ses distances ex- trêmes et moyenne de la Terre.	113
36.	Effet d'irradiation	114
37.	Passages de Mercure sur le Soleil : 1 ^o le 12 novembre 1861; 2 ^o le 5 novembre 1868.	115
38.	Mercure et la Terre; dimensions comparées	116
39.	Aspect du disque de Mercure pendant son passage sur le Soleil, le 7 mai 1799. Auréole vaporeuse, et point brillant sur le disque, d'après Schröter	119
40.	Croissant de Mercure, d'après Schröter. Echancreures; troncature de la corne australe	121
41.	Bandes équatoriales de Mercure, d'après Schröter.	122

TABLE DES FIGURES.

N ^o d'ordre.	Légendes.	721 Pages.
42.	Orbite de Mercure. — Inclinaison de l'axe, et position de la planète aux équinoxes et aux solstices	124
43.	Conjonction inférieure et conjonction supérieure de Vénus. — Plus grande et plus petite distances à la Terre.	130
44.	Explication des phases de Vénus par ses positions successives relativement au Soleil et à la Terre.	131
45.	Dimensions apparentes de Vénus, à ses distances extrêmes et moyenne de la Terre.	132
46.	Phase de plus grande visibilité de Vénus	133
47.	Vénus et la Terre; dimensions comparées.	134
48.	Vénus à l'un de ses solstices. Inclinaison de l'axe de rotation.	136
49.	Échancrures du croissant de Vénus, d'après Schröter. Taches de ses deux hémisphères, d'après Bianchini.	139
50.	Isolement de la Terre dans l'espace.	145
51.	Courbure des continents. Horizons d'un même lieu, à diverses altitudes.	146
52.	Courbure de la surface des mers.	147
53.	Courbure des mers. — Explication des divers aspects d'un navire qui s'approche des côtes	148
54.	La Terre attire vers son centre tous les corps situés à sa surface. Antipodes	150
55.	Forme elliptique des méridiens terrestres	153
56.	Hauteurs comparées de l'atmosphère et des montagnes. Profondeur des mers, et épaisseur de la croûte solide de la Terre	155
57.	Réfraction atmosphérique; ses effets sur la position des astres dans la voûte céleste.	162
58.	Durées comparatives du jour sidéral et du jour solaire	167
59.	Chemin parcouru en un quart de jour par la Terre sur son orbite.	173
60.	Orbite réelle de la Terre, et orbite apparente du Soleil.	175
61.	La Terre aux équinoxes : égalité générale du jour et de la nuit	180
62.	La Terre à l'époque des Solstices : inégalité de durée du jour et de la nuit.	181
63.	Orbite de la Terre. — Inégalité de durée des différentes saisons.	182
64.	Dernière phase de la Lune. Lumière cendrée.	194
65.	Mouvement propre du disque lunaire sur la voûte céleste.	195
66.	Orbite de la Lune. Explication des phases	196
67.	Différence de durée de la révolution synodique et de la révolution sidérale.	197
68.	Dimensions apparentes de la Lune, à ses distances extrêmes et moyenne de la Terre.	199
69.	Forme sinueuse de l'orbite lunaire, 1 ^o amplifiée; 2 ^o dans ses vraies dimensions relatives	201
70.	Courbe décrite, en une année, par la Lune autour de la Terre.	202
71.	Différence des distances de la Lune, à l'horizon et au zénith.	204
72.	La Terre et la Lune, dimensions comparées	206
73.	La Terre et la Lune, dans leurs vrais rapports de dimensions et de distance.	206

N ^o d'ordre.	Légendes.	Pages.
74.	Mouvement de rotation d'une sphère supposée immobile	208
75.	Réalité du mouvement de rotation de la Lune dans l'intervalle d'une lunaison.	209
76.	Cratère lunaire, après le lever du Soleil.	217
77.	Cratère lunaire avant le coucher du Soleil	217
78.	Cirque à fond elliptique, en forme de coupe.	223
79.	Cirque comblé ou à fond plat.	223
80.	Cratère enseveli sur les rives de l'Océan des Tempêtes, d'après un dessin de M. Chacornac.	224
81.	Montagnes des environs S. E. de Tycho, d'après Nasmyth.	226
82.	Le cirque de Copernic, d'après l'amiral Smyth	227
83.	Le pic de Ténériffe et ses environs, d'après Piazzi Smyth.	228
84.	Relief topographique de l'île Bourbon (la Réunion), d'après L. Mail- lard.	229
85.	Cratères rayonnants de Copernic, de Képler et d'Aristarque	232
86.	Vue intérieure d'un cirque, d'après un dessin de Nasmyth.	241
87.	Mouvement apparent de Mars; oppositions et conjonctions.	256
88.	Dimensions apparentes de Mars à ses distances extrêmes et moyenne de la Terre.	261
89.	Mars et la Terre; dimensions comparées.	262
90.	Vues de Mars à deux heures d'intervalle; d'après Warren de la Rue	264
91.	Rotation de Mars. Mouvement des taches, d'après les observations de M. Norman Lockyer, pendant l'opposition de 1862.	265
92.	Inclinaison de l'axe de rotation. — Mars à l'un de ses solstices	267
93.	Orbites des 108 petites planètes	275
94.	Orbites des petites planètes Freia et Polymnie; comparaison de leurs excentricités avec celle de la Terre.	281
95.	Dimensions comparées de la Terre et des planètes Junon, Cérès, Pallas et Vesta	286
96.	Carte écliptique, d'après l'atlas de M. Chacornac.	288
97.	Découverte d'une petite planète au moyen des cartes écliptiques	289
98.	Dimensions apparentes du disque de Jupiter, à ses distances ex- trêmes et moyenne à la Terre.	293
99.	Jupiter et la Terre; dimensions comparées	294
100.	Rotation du globe de Jupiter. Déplacement apparent de deux taches, dans l'intervalle de 37 minutes 15 secondes, d'après Beer et Mædler.	296
101.	Inclinaison de l'axe de Jupiter sur le plan de l'orbite.	297
102.	Jupiter et ses quatre satellites	305
103.	Orbites des satellites de Jupiter.	306
104.	Explication de la disparition simultanée de trois des satellites de Jupiter.	307
105.	Jupiter sans satellite apparent; positions des quatre satellites dans la nuit du 21 août 1867.	308
106.	Dimensions des satellites de Jupiter comparées à celles de la Lune et de la Terre.	309

TABLE DES FIGURES.

723

Nos d'ordre.	Légendes.	Pages.
107.	Dimensions apparentes de Saturne à ses distances extrêmes et moyenne de la Terre.	315
108.	Saturne et la Terre; dimensions comparées.	317
109.	Plan de Saturne et de son système d'anneaux	321
110.	Explication des phases des anneaux de Saturne. Disparitions périodiques des anneaux	324
111.	Saturne, le 28 novembre 1848, d'après M. Bond. Points brillants visibles à l'époque de la disparition de l'anneau	325
112.	Explication des points brillants qui accompagnent Saturne pendant la disparition de l'anneau	325
113.	Saturne et ses satellites, d'après J. Herschel	327
114.	Plan des orbites des satellites de Saturne	328
115.	Les anneaux vus de Saturne, à une latitude d'environ 28 degrés. Vue idéale prise à minuit, entre les équinoxes et les solstices saturniens	331
116.	Les anneaux vus de Saturne, à une latitude de 28 degrés environ. Vue idéale, à minuit, vers l'époque des solstices de Saturne . . .	332
117.	Vue idéale d'une phase de Saturne, pour un point de la face obscure de l'un des anneaux	335
118.	Le globe de Saturne vu de l'anneau.	336
119.	Passage de Titan sur le disque de Saturne, le 1 ^{er} mai 1862, d'après M. Chacornac	337
120.	Dimensions apparentes d'Uranus à ses distances moyenne et extrêmes de la Terre.	341
121.	Uranus et la Terre; dimensions comparées.	341
122.	Différences entre les formes apparentes d'un globe aplati vu dans deux positions rectangulaires.	342
123.	Système des satellites d'Uranus; dimensions relatives des orbites.	343
124.	Dimensions apparentes du disque de Neptune à ses distances moyenne et extrêmes de la Terre.	348
125.	Neptune et la Terre; dimensions comparées	348
126.	Orbite du satellite de Neptune	349
127.	1. Comète dépourvue de queue. — 2. Nébulosité cométaire sans queue ni noyau	360
128.	Comète de 1744 ou de Chéseaux, à queues multiples, d'après un dessin du temps.	361
129.	Formes des orbites cométaires	363
130.	Comparaison de l'excentricité des orbites planétaires et des orbites cométaires.	364
131.	Orbites de six des comètes périodiques du monde solaire.	368
132.	Dédoublement de la comète de Gambart, d'après les dessins de Struve.	372
133.	Grande comète de 1811, d'après un dessin du <i>Speculum Hartwellianum</i> de l'amiral Smyth.	376
134.	Comète de 1862. Formes et positions des aigrettes lumineuses le 22 août, à 1 h. du matin et à 9 h. du soir.	376

Nos d'ordre.	Légendes.	Pages.
135.	Comète de 1862. Aspect de la tête de la comète, le 23 août, à 9 h. du soir, et le 24 août, à la même heure.	379
136.	Point rayonnant des météores de novembre, dans la constellation du Lion. Trajectoires des étoiles filantes observées à Greenwich dans la nuit du 13 au 14 novembre 1866	399
137.	Trajectoires de 83 étoiles filantes observées dans la nuit du 13 au 14 novembre 1866, à l'Observatoire de Glasgow, par A. S. Herschel et H. Mac Gregor. Point rayonnant dans le Lion.	400
138.	Point rayonnant de l'essaim d'étoiles filantes du 18 au 20 octobre, d'après A. Herschel. Étoile θ des Gémeaux	401
139.	Point rayonnant de l'essaim d'étoiles filantes du 11 au 13 décembre, d'après A. Herschel. Étoile ν d'Orion	402
140.	Explication des essaims d'août et de novembre dans l'hypothèse d'un anneau météorique continu et de forme elliptique.	405
141.	Météorite tombée à Juvinas (Ardèche) le 15 juin 1821 (42 kil.).	415
142.	Masse de fer météorique pesant 625 kilogr., trouvée en 1823 par Brard, à Caille (Alpes-Maritimes).	416
143.	Position et inclinaison de la Lumière Zodiacale au-dessus de l'horizon; la direction de l'axe prolongée en dessous passe par le Soleil	422
144.	Éclat relatif des étoiles des six premières grandeurs	434
145.	Un coin de la constellation des Gémeaux, vu à l'œil nu	437
146.	Un coin de la constellation des Gémeaux vu au télescope. — Reproduction, sur une petite échelle, d'une des cartes de l'Atlas éclip- tique de M. Chacornac.	438
147.	Le ciel de l'horizon de Paris. — Constellations circompolaires boréales	443
148.	Le ciel de l'horizon de Paris. — Zone équatoriale. Orion, le Tau- reau, le Grand-Chien.	449
149.	Le ciel de l'horizon de Paris. — Zone équatoriale. Le Lion, la Vierge, l'Hydre.	451
150.	Le ciel de l'horizon de Paris. — Zone équatoriale. Chevelure de Bérénice, Bouvier, Couronne boréale, Hercule.	452
151.	Le ciel de l'horizon de Paris. — Constellations de la zone équato- riale. La Lyre, le Cygne, l'Aigle.	455
152.	Zone équatoriale. — Pégase, Andromède, Persée.	456
153.	Étoiles invisibles sur l'horizon de Paris. — Zone circompolaire australe. Croix du Sud, Navire, Centaure	461
154.	Étoiles invisibles sur l'horizon de Paris. — Zone circompolaire australe. Le Navire	462
155.	Étoiles invisibles sur l'horizon de Paris. — Zone circompolaire australe. Éridan, Phénix, Grue, Paon, Indien.	463
156.	Point du ciel vers lequel est dirigé actuellement le mouvement de translation du système solaire.	479
157.	Thêta d'Orion, d'après J. Herschel.	485
158.	Nouvelle étoile dans le trapèze d'Orion, découverte par M. Lassell.	485

TABLE DES FIGURES.

725

N ^o d'ordre.	Légendes.	Pages.
159.	Les Pléiades, d'après l'Atlas céleste de Harding	494
160.	Les Hyades, dans la constellation du Taureau, d'après Harding . .	495
161.	Prœsepe ou la Crèche, groupe d'étoiles du Cancer	496
162.	Groupe d'étoiles de la constellation de Persée	496
163.	Étoile variable de la constellation de Persée.	501
164.	La Pèlerine, étoile nouvelle et temporaire apparue en 1572, dans la constellation de Cassiopée	504
165.	Position et grandeur de l'étoile variable de la <i>Couronne boréale</i> , le 12 mai 1866.	506
166.	Étoile variable Éta du Navire, à son maximum d'éclat	507
167.	Amas stellaire d'Oméga du Centaure, d'après J. Herschel	535
168.	Amas du Verseau, d'après lord Rosse	536
169.	Amas du Toucan, d'après J. Herschel	537
170.	Amas de formes singulières, d'après J. Herschel. — 1. Du Scor- pion. — 2. De l'Autel.	538
171.	Nébuleuses de formes circulaire et ovale, d'après J. Herschel. . . .	540
172.	Nébuleuses annulaires. — 1. De la Lyre, d'après Herschel. — 2. La même, d'après lord Rosse. — 3. Nébuleuse annulaire du Cygne. — 4. D'Ophiucus. — 5. Du Scorpion. — 6. Près de γ d'An- dromède.	542
173.	Nébuleuses planétaires, d'après J. Herschel. — 1. De la Grande- Ourse. — 2. Des Poissons. — 3. D'Andromède.	543
174.	Nébuleuses planétaires, d'après lord Rosse. — 1. De la Grande- Ourse. — 2. D'Andromède	544
175.	Étoiles nébuleuses, d'après J. Herschel. — 1. Du Cygne. — 2. De Persée. — 3. Du Centaure. — 4. Du Sagittaire. — 5. Du Co- cher. — 6. D'Andromède	545
176.	Étoiles nébuleuses, d'après lord Rosse. — 1. Des Gémeaux. — 2. Du Navire	545
177.	Nébuleuses de forme conique ou cométaire. — 1. De l'Éridan (J. Herschel). — 2. De Xi de la Licorne (lord Rosse). — 3. De la Grande-Ourse (J. Herschel).	548
178.	Nébuleuse du Navire, d'après Herschel	547
179.	Nébuleuse des Chiens de chasse, d'après J. Herschel.	548
180.	Forme spirale de la nébuleuse des Chiens de chasse, d'après les dessins et les observations de lord Rosse.	549
181.	Nébuleuse spirale de la Vierge, d'après lord Rosse.	550
182.	Nébuleuse spirale, d'après lord Rosse	551
183.	Nébuleuse spirale de la constellation de Céphée, d'après lord Rosse	552
184.	Nébuleuses spirales, d'après lord Rosse. — 1. Du Lion. — 2. De Pégase.	552
185.	Nébuleuse d'Andromède	554
186.	Nébuleuse d'Andromède, d'après G. P. Bond.	555
187.	Nébuleuse annulaire elliptique du Lion, d'après lord Rosse	556
188.	Dumb-bell, nébuleuse du Renard, d'après J. Herschel.	556

N ^{os} d'ordre.	Légendes.	Pages.
189.	Dumb-bell, nébuleuse du Renard, d'après lord Rosse	557
190.	Nébuleuse de l'Écu de Sobieski, d'après J. Herschel	558
191.	Nébuleuse du Taureau (<i>Crab nebula</i>), d'après lord Rosse	559
192.	Nébuleuses doubles et multiples, d'après J. Herschel. — 1. De la Vierge. — 2. De Bérénice. — 3. Du Verseau. — 4. De la Vierge. — 5. De Bérénice. — 6. Du Grand Nuage (Nuées de Magellan).	563
193.	Nébuleuse double, d'après lord Rosse	563
194.	Nuées de Magellan. — Le Petit Nuage.	566
195.	Nuées de Magellan. — Le Grand Nuage.	566
196.	Les Nuées de Magellan. — Une portion du Grand Nuage, d'après J. Herschel.	567
197.	Coupe géométrique de la Voie Lactée; position du Soleil dans la zone	583
198.	Procédé de description de l'ellipse	599
199.	Loi des aires; égalité des surfaces écrites en temps égaux par le rayon vecteur d'une planète.	601
200.	Attraction de la Lune sur les eaux de la mer. Marée lunaire simple	626
201.	Actions combinées de la Lune et du Soleil sur les eaux de la mer. Marée luni-solaire de la nouvelle Lune.	627
202.	Marée luni-solaire des syzygies. Actions combinées du Soleil et de la pleine Lune.	628
203.	Actions contrariées de la Lune et du Soleil sur les eaux de la mer. Marée luni-solaire des quadratures	629
204.	Formation du monde solaire. — Le Soleil et les zones nébuleuses qui ont donné naissance aux planètes.	634
205.	Expérience de M. Plateau. Aplatissement d'une sphère liquide.	636
206.	Expérience de M. Plateau. La masse liquide se transforme en anneau.	636
207.	Théorie générale des éclipses	643
208.	Éclipse totale de Soleil; théorie	647
209.	Éclipse annulaire de Soleil; théorie	647
210.	Éclipse totale de Soleil du 18 juillet 1860. — Marche de l'ombre et de la pénombre à la surface de la Terre.	650
211.	Éclipse totale de Soleil du 18 juillet 1860. — Forme arrondie et tronquée des cornes du croissant solaire, d'après un cliché photographique de M. Laussedat.	653
212.	Marche de la Lune dans le cône d'ombre de la Terre. — Éclipse totale	661
213.	Marche de la Lune dans le cône d'ombre de la Terre. — Éclipse partielle.	662
214.	Détermination de la vitesse de la lumière par les éclipses des satellites de Jupiter	668
215.	Mesure de la distance qui sépare un point d'un autre point inaccessible.	673

TABLE DES FIGURES.		727
N ^o d'ordre.	Légendes.	Pages.
216.	Mesure de la distance de la Lune à la Terre.	675
217.	Mesure de la distance de la Terre au Soleil, par l'observation des passages de Vénus.	678
218.	Passage de Vénus sur le Soleil du 6 décembre 1882. — Corde décrite par la planète sur le disque solaire. — Retards et avances de l'entrée et de la sortie de Vénus, en divers points de la Terre.	682
219.	Variation apparente dans la hauteur d'un objet, par un observateur qui s'en approche ou s'en éloigne.	685
220.	Aberration. — Déviation causée par la combinaison du mouvement de la lumière et du mouvement de translation de la Terre.	692
221.	Ellipse annuelle décrite par une étoile en vertu de l'aberration.	693
222.	Phénomène analogue à celui de l'aberration : direction inclinée apparente des gouttes de pluie dans un wagon en marche.	694
223.	Déviation apparente des gouttes de pluie; explication.	694
224.	Coupe théorique d'une lunette astronomique.	698
225.	Lunette astronomique, vue intérieure.	700
226.	Lunette astronomique, vue extérieure.	700
227.	Télescope de Newton; coupe théorique.	702
228.	Télescope de Grégory; coupe théorique.	702
229.	Télescope de W. Herschel; coupe théorique.	703
230.	Réticule de la lunette méridienne.	708
231.	Théodolite de Gambey.	715

FIN DE LA TABLE DES FIGURES.

TABLE DES MATIÈRES.

PREMIÈRE PARTIE.

LE MONDE SOLAIRE.

	Pages.
Énumération des astres qui forment le système solaire.	13
Le Soleil ; les planètes et leurs satellites ; les comètes, les aéroolithes et la lumière zodiacale. — Mouvements de rotation et de translation des corps célestes qui composent le système planétaire. — Importance de l'étude préalable du monde solaire.	13

LIVRE PREMIER.

LE SOLEIL.

Forme, distance et dimensions du Soleil	21
§ 1. — Le Soleil vu à l'œil nu ; ses mouvements apparents sont dus aux mouvements réels de rotation et de translation de la Terre. — Forme du disque à l'horizon ; effets de la réfraction atmosphérique. — La forme réelle du disque solaire est celle d'un cercle parfait. — Le Soleil à l'horizon paraît plus gros qu'au zénith ; c'est une simple illusion.	21
§ 2. — Dimensions apparentes du disque solaire ; ses variations dans le cours d'une année. — Combien il faudrait de cercles égaux au Soleil pour faire le tour de l'horizon. — Le Soleil vu des diverses planètes ; intensités comparées de la lumière et de la chaleur reçues par chacune d'elles.	25
§ 3. — Distance du Soleil à la Terre ; ce qu'on entend par la parallaxe du Soleil. — Opinions des anciens sur la distance du Soleil. — Parallaxe et distance adoptées. — Temps que mettraient, pour aller de la Terre au Soleil, la lumière, le son, un boulet de canon, un train de chemin de fer. — Distances au Soleil des planètes extrêmes.	28
§ 4. — Dimensions réelles du Soleil ; son diamètre, sa périphérie. — Surface et vo-	

	Pages.
lume du globe solaire. — Le volume du Soleil comparé à celui de la Terre, au volume d'une sphère qui s'étendrait du centre de la Terre jusqu'à la Lune.....	33
II. Mouvement de rotation du Soleil.	38
§ 1. — Le mouvement de rotation du Soleil, soupçonné par J. Bruno et Képler, fut découvert par Fabricius et Galilée. — Les taches du Soleil; leurs mouvements <i>apparents</i> . — Le globe solaire tourne d'Occident en Orient.....	38
§ 2. — Différence entre la durée de la rotation apparente des taches solaires et la durée de la rotation réelle. — Pôles et équateur du Soleil. — Formes des trajectoires des taches suivant l'époque de l'année. — Variations de la durée de la rotation selon la latitude des taches observées.....	43
III. Les taches solaires.	50
§ 1. — Aspect des taches du Soleil; noyaux et pénombres. — Taches lumineuses ou facules; leurs relations avec les taches sombres. — Formes variées et dimensions des taches solaires. — Génération, transformations et mouvements des taches et de leurs groupes.....	50
§ 2. — Étude de la surface du Soleil; apparence de la photosphère; pores ou granulations. — Stries des pénombres; feuilles de saule ou grains de riz.....	62
§ 3. — Zone d'apparition des taches, distribution des groupes selon la latitude. — Nombre des taches solaires; leur durée, leur périodicité. — Relation entre les nombres des taches, la température terrestre et les perturbations de l'aiguille aimantée.....	66
IV. Constitution physique et chimique du Soleil.	71
§ 1. — Masse et densité du Soleil. — Combien pèse le Soleil. — Intensité de la pesanteur à sa surface. — Poids et chute des corps sur le Soleil.....	71
§ 2. — Le Soleil, source de chaleur, de lumière et d'activité chimique. — Comment s'entretiennent les radiations solaires.....	75
§ 3. — Analyse des radiations solaires. — Composition chimique du Soleil. — Le Soleil a-t-il une atmosphère? — Les protubérances solaires des éclipses totales. — Couche continue d'hydrogène incandescent enveloppant la photosphère du Soleil.....	80
§ 4. — Qu'est-ce que le Soleil? — Le noyau sous-jacent à la photosphère est-il solide, liquide ou gazeux? — Que sont les taches solaires? Résumé des hypothèses proposées pour expliquer le phénomène des taches. — Si le Soleil peut être habité.....	86

LIVRE DEUXIÈME.

LES PLANÈTES.

I. Mercure.	106
§ 1. — Mercure vu à l'œil nu : ses oscillations périodiques et son mouvement apparent à l'Orient et à l'Occident du Soleil. — Apollon et Mercure chez les anciens. — Explication du mouvement apparent : conjonctions, stations et rétrogradations de Mercure ; révolution synodique. — Révolution sidérale, sa durée. — Forme et dimensions de l'orbite. — Distances de Mercure au Soleil ; sa vitesse. — Distances de Mercure à la Terre.....	106
§ 2. — Mercure vu au télescope ; ses phases. — Passage de Mercure sur le Soleil ;	

TABLE DES MATIÈRES.

731

Pages.

mesure de son diamètre apparent. — Ses dimensions réelles comparées à celles de la Terre ; surface et volume ; aplatissement.....	111
§ 3. — Constitution physique de Mercure. — Chaleur et lumière ; le Soleil vu de Mercure. — Rotation de Mercure ; jours et nuits ; saisons, année et climats. — Mercure a-t-il une atmosphère ? — Bandes équatoriales ; échancrures du disque ; montagnes de Mercure ; point lumineux observé pendant les passages sur le Soleil. — Masse et densité ; pesanteur à la surface.....	117
II. Vénus.	127
§ 1. — Vénus, étoile du soir et étoile du matin ; ses digressions orientale et occidentale. — Vesper et Lucifer, l'Étoile du Berger. — Vénus vue à l'œil nu ; éclat, scintillation, couleur. — Mouvement apparent ou révolution synodique. — Révolution sidérale ; l'année de Vénus ; ses distances au Soleil et à la Terre ; sa vitesse de translation.....	127
§ 2. — Vénus vue au télescope ; ses phases ; variations de son diamètre apparent. — Visibilité de Vénus en plein jour ; problème d'Halley. — Dimensions de son diamètre réel, de sa surface et de son volume. — Passages de Vénus sur le Soleil.....	131
§ 3. — Mouvement de rotation de Vénus : jour sidéral et jour solaire. — Les jours et les nuits sur Vénus ; année, saisons et climats ; variations de lumière et de chaleur ; lumière candrée. — Atmosphère de Vénus. — Taches permanentes du disque ; mers et continents ; montagnes. — Masse, densité, intensité de la pesanteur.....	135
III. La Terre.	143
§ 1. — Isolement de la Terre dans l'espace. — Preuves de sa rondeur, ou de sa forme sphéroïdale. Aplatissement polaire, déterminé par les mesures d'arc de méridien à diverses latitudes. — Forme elliptique de l'Équateur ; la Terre est un ellipsoïde à trois axes inégaux. — Ses dimensions, sa masse, sa densité moyenne. — Réfraction atmosphérique ; déformation des disques du Soleil et de la Lune.....	143
§ 2. — Mouvement de rotation de la Terre. — Son uniformité, sa durée. — Différence entre les jours sidéraux et les jours solaires. — Vitesses de rotation à diverses latitudes. — Ce qu'il arriverait si la rotation venait à cesser brusquement. — Preuves du mouvement de rotation : invariabilité des pôles de la Terre.....	164
§ 3. — Mouvement de translation de la Terre autour du Soleil ; éléments de l'orbite. — Vitesse de translation de la Terre. — Mouvement apparent annuel du Soleil sur la voûte céleste ; explication. — Le jour moyen ; temps moyen et temps sidéral ; année tropique. — Les saisons ; leurs durées inégales. — Variations dans les durées des journées et des nuits, suivant les latitudes, aux diverses époques de l'année. — Zones et climats astronomiques. — Constance des éléments de l'orbite terrestre.....	172
IV. La Lune.	190
§ 1. — Phases de la Lune ; son mouvement apparent ; révolution synodique et révolution sidérale. — Mouvement de translation de la Lune autour de la Terre ; éléments de l'orbite. — Forme réelle de la trajectoire lunaire dans l'espace. — Dimensions apparentes et réelles ; surface et volume du globe lunaire. — Rotation de la Lune. — Égalité de durées des deux mouvements de rotation et de révolution.....	190
§ 2. — Les taches lunaires vues à l'œil nu. — Les mers ou plaines ; les montagnes. — Caractère volcanique des montagnes de la Lune. — Cirques, cratères, pics et pitons. — Hauteurs des montagnes. — Bandes brillantes et rainures.....	211
§ 3. — Météorologie lunaire. — La Lune a-t-elle une atmosphère ? — Raisons qui rendent à peu près certaine l'absence d'air et d'eau à la surface de la Lune. — As-	

	Pages.
pect d'un paysage lunaire. — L'hémisphère lunaire invisible a-t-il la même constitution physique que l'hémisphère tourné vers la Terre?.....	237
§ 4. — Astronomie pour un habitant de la Lune. — Durée des jours et des nuits. — La Terre vue de la Lune; visibilité en plein jour des étoiles, de la Voie Lactée, des nébuleuses; éclipses de Soleil sur l'hémisphère visible.....	247
V. Mars	254
§ 1. — Mouvements apparents de Mars; oppositions et conjonctions; quadratures. — Durée de la révolution synodique et de la révolution sidérale de Mars; éléments de son orbite. — Distances de Mars au Soleil et à la Terre.....	254
§ 2. — Aspect de Mars à l'œil nu; couleur, scintillation. — Mars vu au télescope; ses phases. — Son diamètre apparent varie avec ses distances à la Terre. — Dimensions réelles de son diamètre; surface et volume. — Masse et densité de Mars; intensité de la pesanteur à la surface de la planète.....	259
§ 3. — Mars vu au télescope; taches permanentes de son disque; découverte du mouvement de rotation de la planète par les mouvements apparents des taches. — Les jours et les nuits, les saisons sur Mars. — Étude des taches permanentes; leurs couleurs; les continents et les mers. — Taches variables et mobiles; atmosphère; neiges et glaces des pôles; existence de la vapeur d'eau confirmée par l'analyse spectrale; climatologie et météorologie de Mars.....	263
VI. Les petites planètes.	274
§ 1. — Nombre considérable de corps célestes circulant autour du Soleil entre Jupiter et Mars. — Entrelacement des orbites des petites planètes. — Largeur de la zone. — Éléments des orbites. — Distances minima des petites planètes voisines; leurs conjonctions physiques.....	274
§ 2. — Particularités physiques sur quelques-unes des petites planètes. — Vesta, Junon, Cérès et Pallas, leurs dimensions. — Probabilités sur le nombre considérable des corps qui composent l'anneau des petites planètes; limites de leur masse totale. — Comment on cherche et l'on découvre une petite planète.....	283
VII. Jupiter	291
§ 1. — Jupiter vu à l'œil nu. — Éléments de son orbite; sa vitesse de translation autour du Soleil. — Distances au Soleil et à la Terre. — Diamètre apparent; dimensions réelles. — Son mouvement de rotation, jours et nuits; saisons; climats astronomiques et météorologie. — Masse et densité de Jupiter; intensité de la pesanteur à sa surface.....	291
§ 2. — Constitution physique de Jupiter. — Bandes lumineuses et obscures. — Taches variables et taches permanentes. — Hypothèses diverses; vents alizés, courants équatoriaux. — Atmosphère de Jupiter; analogie de sa constitution avec celle de la Terre, d'après l'analyse spectrale.....	299
§ 3. — Le monde de Jupiter; ses quatre satellites ou lunes. — Leurs orbites, leurs distances à la planète. — Dimensions, masses, changements d'éclat et couleurs des satellites. — Leurs mouvements de rotation.....	304
VIII. Saturne.	312
§ 1. — Saturne vu à l'œil nu; son mouvement apparent et la durée de sa révolution synodique. — Translation de Saturne autour du Soleil; durée de sa révolution sidérale; éléments de son orbite; variations de ses distances au Soleil et à la Terre. — Dimensions apparentes et dimensions réelles de son globe; sa forme aplatie aux pôles. — Surface, volume, masse et densité de Saturne; intensité de la pesanteur à sa surface.....	312
§ 2. — Mouvement de rotation de Saturne. — Les jours et les nuits; les saisons; chaleur et lumière du Soleil; leur intensité à la surface de Saturne. — Les anneaux de Saturne.....	318

TABLE DES MATIÈRES.

	733
	Pages.
IX. Uranus	339
Découverte d'Uranus, par W. Herschel, au siècle dernier. — Forme et dimensions de son orbite. — Dimensions apparentes et dimensions réelles. — Satellites d'Uranus; inclinaisons de leurs orbites et sens de leurs mouvements. — Masse, densité, pesanteur à la surface.	
	339
X. Neptune.	345
Découverte de Neptune. — Idée de la méthode qui a présidé aux recherches de cette planète. — Distance, dimensions apparentes et réelles, masse et densité. — Satellite de Neptune.	
	345
COUP D'ŒIL D'ENSEMBLE SUR LE MONDE PLANÉTAIRE.	351

LIVRE TROISIÈME.

LES COMÈTES.

ÉTOILES FILANTES. — LUMIÈRE ZODIACALE.

I. Les comètes.	359
§ 1. — Aspect des comètes. — Nébulosité, noyau lumineux; queues simples et multiples. — En quoi les comètes se distinguent des autres corps du monde solaire. — Formes et inclinaisons des orbites qu'elles décrivent autour du Soleil. — Sens, tantôt direct, tantôt rétrograde, de leurs mouvements.	
	359
§ 2. — Comètes périodiques du monde solaire. — Comète de Halley; son retour en 1759 et en 1835. — Comète d'Encke, ou à courte période; accélération de son mouvement. — Dédoublement de la comète de Gambart. — Éléments des principales comètes périodiques.	
	365
§ 3. — Nombre considérable des comètes qui viennent visiter notre monde solaire; comètes télescopiques. — Comètes à longues périodes. — Grandes comètes visibles à l'œil nu. — Constitution physique des comètes; masse, densité, nature de leur lumière. — Danger qui pourrait résulter de la rencontre d'une comète avec la Terre.	
	373
II. Les étoiles filantes.	386
§ 1. — Aspect des étoiles filantes à l'œil nu; leur éclat apparent, les diverses formes de leurs traînées; couleurs de leur lumière. — Les bolides. — Nombre des étoiles filantes visibles à l'œil nu; averses, pluies et essaims de météores; étoiles filantes sporadiques. — Évaluation du nombre total des étoiles filantes, soit visibles à l'œil nu, soit télescopiques, qui pourraient se voir de tous les points de la Terre, pendant le jour et pendant la nuit. — Essaims météoriques du 10 août et du 12 au 14 novembre; leur périodicité. — Principales pluies d'étoiles filantes qui reviennent périodiquement dans le cours de l'année.	
	386
§ 2. — Origine cosmique des étoiles filantes. — Hauteurs moyennes des météores aux instants de leur apparition et de leur extinction dans les régions élevées de l'atmosphère. — Les étoiles filantes se meuvent avec une vitesse égale à la vitesse des planètes et même des comètes. — Points rayonnants des principaux essaims. — Identification des courants de météores et des masses cométaires. — Théorie de Schiaparelli.	
	395
§ 3. — Nature physique des étoiles filantes. — Leur analogie, sinon leur identité, avec les	

	Pages.
holides proprement dits. — Explosions des holides, chutes de pierres, aérolithes. — Premières hypothèses sur les pierres tombées du ciel; éruptions des volcans lunaires. — L'origine cosmique des aérolithes et des holides se démontre comme celle des étoiles filantes. — Analyse minéralogique et chimique des météorites; comparaison avec les roches terrestres; classification de M. Daubrée.....	411
Lumière Zodiacale.	419
Aspect de la Lumière Zodiacale dans les diverses régions de la Terre. — Existence probable d'un grand anneau lumineux situé entre la Terre et le Soleil.....	419

DEUXIÈME PARTIE.

LE MONDE SIDÉRAL.

LIVRE PREMIER.

LES ÉTOILES.

I.	Les étoiles.	430
	Scintillation des étoiles. — Apparente fixité de leurs distances relatives. — Classification des étoiles selon l'éclat de leur lumière; divers ordres de grandeur. — Nombre des étoiles visibles à l'œil nu. — Évaluation approchée du nombre des étoiles visibles dans les plus puissants télescopes.....	430
II.	Les constellations.	439
	§ 1. — Révision générale du ciel étoilé. — Constellations visibles sur l'horizon de Paris. — Zone circumpolaire boréale. Étoile polaire; Grande et Petite Ourses, Cassiopee; le Dragon, la Girafe, Céphée, le Lynx; la Chèvre et le Cocher; Persée et Algol. — Mouvement de la zone circumpolaire; sa position à diverses heures de la nuit et au commencement de chaque saison.....	439
	§ 2. — Constellations visibles au sud de l'horizon de Paris. — Étoiles de la zone équatoriale. — Orion, le Baudrier, Beteigeuze et Rigel; Aldebaran ou l'Œil du Taureau; les Hyades et les Pléiades; Sirius et le Grand Chien; les Gémeaux, Castor et Pollux, le Bélier, la Baleine et l'Éridan. — Le Lion, Régulus; l'Épi de la Vierge, le Bouvier et la Chevelure de Bérénice; la Perle de la Couronne boréale; le Cancer, l'Hydre et la Licorne. — Antares ou le Cœur du Scorpion, Véga de la Lyre et Atair de l'Aigle; constellations d'Hercule et du Cygne. — Andromède et le Carré de Pé-gase; les Poissons, Fomalhaut, la Baleine.....	447
	§ 3. — Révision générale du ciel étoilé. — Zone circumpolaire australe. — Étoiles invisibles sur l'horizon de Paris. — Aspect du ciel austral; magnificence de la zone d'étoiles qui suit le cours de la Voie Lactée, du Centaure jusqu'au Navire, à Sirius et à Orion. — La Croix du Sud; le Centaure; la constellation du Navire ou d'Argo; l'étoile Éta et Canopus; Achernar. — Absence d'étoiles près du pôle austral, les deux Nuées de Magellan.....	458
III.	Les étoiles. — Distances et mouvements propres	465
	§ 1. — Distances à la Terre de quelques étoiles. — Temps que la lumière met à fran-	

TABLE DES MATIÈRES.

735

Pages.

chir l'espace qui nous sépare des étoiles les plus voisines. — Hypothèses sur les dimensions des étoiles. — Première idée des dimensions de l'univers visible..... 465

§ 2. — Les étoiles ne sont pas immobiles dans l'espace. — Mesure de leurs mouvements propres; vitesses de quelques-unes d'entre elles. — Translation du système solaire, Point du ciel vers lequel il se dirige actuellement..... 472

IV. Étoiles doubles et multiples. 483

§ 1. — Distinction des étoiles doubles en couples optiques et en couples physiques. — Caractères de ces derniers groupes. — Mouvements de révolution des composantes des étoiles doubles. — Systèmes de soleils multiples..... 483

§ 2. — Groupes d'étoiles; agglomérations naturelles de soleils. — Groupes visibles à l'œil nu. — Les Pléiades. — Les Hyades. — Præsepe. — Groupe stellaire de Persée..... 492

V. Étoiles variables et étoiles temporaires. 498

§ 1. — Anciennes apparitions d'étoiles nouvelles. — Étoiles variables, périodiques ou temporaires. — Mira de la Baleine et Algol de Persée. — Principales étoiles variables dont la période a été reconnue..... 498

§ 2. — Étoiles nouvelles. — Étoiles temporaires de 1572, ou de Tycho-Brahé, de 1604, ou de Képler, de 1670, de 1848; étoile nouvelle de la Couronne boréale. — Variations singulières de l'étoile Éta du Navire..... 502

§ 3. — Variété de couleurs que présente la lumière des étoiles. — Étoiles colorées simples. — Couleurs des étoiles doubles et multiples. — Variations observées dans les couleurs des étoiles; causes présumées de ces changements..... 509

VI. Constitution physique et chimique des étoiles. 514

§ 1. — Analyse spectrale de la lumière des étoiles. — Classification des étoiles en quatre types principaux. — Composition chimique de quelques étoiles remarquables. — Analogies et différences entre la constitution physique des différents types d'étoiles et celle du Soleil. — Explication des couleurs des étoiles; teinte bleue des satellites d'étoiles doubles..... 514

§ 2. — Hypothèses diverses sur les causes de variabilité des étoiles. — Étoiles variables périodiques : mouvements de rotation; faces obscures et faces lumineuses. — Hypothèse de Maupertuis : forme aplatie des globes stellaires. — Variabilité des étoiles doubles. — Étoiles temporaires; analyse spectrale de la lumière de l'étoile nouvelle de la Couronne; combustion de l'hydrogène..... 519

LIVRE DEUXIÈME.

LES NÉBULEUSES.

I. Amas stellaires et nébuleuses régulières. 533

§ 1. — Amas d'étoiles de forme globulaire ou sphérique. — Nombre prodigieux d'étoiles de certains amas sphériques. — Amas d'Oméga du Centaure, du Toucan, du Verseau. — Formes bizarres de quelques amas stellaires..... 533

§ 2. — Nébuleuses non résolues en étoiles. — Étude de leur aspect dans les télescopes; formes apparentes, dimensions, éclat lumineux. — Nébuleuses de forme régulière, globulaire, elliptique, annulaire, conique. — Nébuleuse annulaire de la Lyre. — Nébuleuses planétaires et étoiles nébuleuses. — Forme spiraloïde de quelques nébuleuses; nébuleuses des Chiens de chasse, du Lion, de la Vierge..... 538

TABLE DES MATIÈRES.

	Pages.
§ 3. — Grandes masses nébuleuses n'affectant aucune forme symétrique ou géométrique. — Diversité d'aspect des nébuleuses, suivant les instruments. — Nébuleuses d'Andromède, du Lion, du Renard, de l'Écu de Sobieski, du Taureau. — Grandes nébuleuses irrégulières d'Orion et du Navire.	553
II. Les groupes de nébuleuses	562
§ 1. — Nébuleuses doubles et multiples. — Groupes de nébuleuses ; probabilité d'une relation réelle entre les composantes. — Nébuleuse multiple de la Grande Nuée de Magellan.	562
§ 2. — Les Nuées de Magellan. — Position des deux nuages magellaniques dans le ciel austral. — Structure du Petit Nuage et du Grand Nuage ; amas stellaires, étoiles isolées, nébuleuses qu'ils renferment.	564
§ 3. — La Voie Lactée. — Aspect général de la Voie Lactée. — Son parcours à travers les constellations boréales et australes. — Résolution en étoiles et en amas stellaires. — Impénétrabilité de certaines régions de la Voie Lactée.	568
III. Constitution physique et chimique des nébuleuses.	573
§ 1. — Hypothèse de la matière nébuleuse diffuse. — Couleurs et variabilité des nébuleuses. — Les diverses teintes colorées de nébuleuses s'expliquent par les couleurs des étoiles composantes. — Nébuleuses variables. — Disparition d'une nébuleuse.	573
§ 2. — Analyse spectrale de la lumière des nébuleuses. — Spectres lumineux formés de raies brillantes séparées, prouvant l'existence des nébuleuses gazeuses : nébuleuse annulaire de la Lyre; Dumb-bell; nébuleuse d'Orion. — Spectres continus des amas stellaires et des nébuleuses résolubles.	577

LIVRE TROISIÈME.

STRUCTURE DE L'UNIVERS VISIBLE.

I. Le Soleil dans la Voie Lactée.	581
Forme réelle de la couche stellaire qui compose la Voie Lactée. — Position du Soleil à l'intérieur de cette couche. — Idée générale des dimensions de la grande Nébuleuse.	581
II. Structure générale de l'univers visible.	586
Distances probables des nébuleuses visibles dans les plus puissants télescopes. — Les voies lactées. — Idée générale de la constitution de l'univers.	586

TROISIÈME PARTIE.

LES LOIS DE L'ASTRONOMIE.

LES MÉTHODES. — LES INSTRUMENTS.

LIVRE PREMIER.

LOIS DE KÉPLER. — GRAVITATION UNIVERSELLE.

	Pages.
I. Lois de Képler.	597
Les planètes décrivent des ellipses autour du Soleil. — Lois des aires. — Rapport entre les temps des révolutions planétaires et les moyennes distances au Soleil.	597
II. Gravitation universelle.	605
De la pesanteur à la surface de la Terre; loi de diminution de la pesanteur avec l'accroissement de la distance. — Chute de la Lune vers la Terre. — Loi universelle de la gravitation. — Comment on peut évaluer le poids du Soleil ou d'une planète quelconque.	605
III. Précession des équinoxes. — Nutation. — Perturbations planétaires.	613
Différence de durée de l'année tropique et de l'année sidérale. — Précession des équinoxes ou rétrogradation des points équinoxiaux. — Révolution des pôles célestes en 25 870 ans. — Période de la nutation. — Causes de la précession ou de la nutation : actions combinées des masses de la Lune et du Soleil sur le renflement équatorial de la Terre.	613
IV. Les marées.	619
Phénomènes du flux et du reflux; haute et basse mer. — Époques des grandes marées; coïncidence des phénomènes avec les positions de la Lune et du Soleil. — Théorie des marées déduite de la loi de gravitation; actions combinées du Soleil et de la Lune.	619
V. Origine et formation du monde sidéral.	630
Exposé de l'hypothèse de Laplace sur l'origine et la formation du monde solaire. — Nébuleuse primitive; noyau lumineux. — Formation des planètes et des satellites. — Sens des mouvements de rotation et de translation.	630

LIVRE DEUXIÈME.

LES MÉTHODES ET LES INSTRUMENTS EN ASTRONOMIE.

I. Éclipses de Soleil et de Lune.	641
§ 1. — Théorie générale des éclipses. — Les éclipses de Soleil ne peuvent avoir lieu	

	Pages
qu'à l'époque de la nouvelle Lune; les éclipses de Lune, pendant l'opposition. — Pourquoi chaque Lunaison ne donne pas deux éclipses.....	644
§ 2. — Éclipses de Soleil. — Conditions de possibilité et de visibilité des éclipses de Soleil. — Éclipses totales, annulaires, partielles. — Auréoles lumineuses, protubérances rougeâtres. — Influence du phénomène des éclipses sur les êtres vivants...	646
§ 3. — Éclipses de Lune. — Conditions de possibilité et de visibilité des éclipses de Lune. — Éclipses partielles et totales. — Coloration du disque lunaire pendant les phases d'une éclipse totale. — Périodicité et calcul des éclipses. — Occultations des étoiles et des planètes.....	660
§ 4. — Éclipses des satellites de Jupiter. — Immersions et émergences. — Occultations des satellites par le disque. — Comment le calcul et l'observation des éclipses des satellites de Jupiter ont pu servir à obtenir la vitesse de la lumière.....	666
II. Mesures des distances célestes.	671
§ 1. — Idée du problème des distances à un objet inaccessible. — Solution de ce problème à la surface de la Terre. — Distance de la Terre à la Lune. — Parallaxe des astres; distance du Soleil à la Terre. — Détermination de la parallaxe solaire par l'observation des passages de Vénus; prochains passages de Vénus en 1874 et 1882. — Parallaxe solaire, déduite de la constante de l'aberration et de la mesure directe de la vitesse de la lumière.....	674
§ 2. — Mesure des distances des étoiles; parallaxe annuelle. — Déplacements apparents qui résultent du mouvement de translation de la Terre autour du Soleil. — Déplacements des étoiles en latitude; première méthode. — Seconde méthode fondée sur les déplacements relatifs des deux étoiles voisines.....	684
§ 3. — Idée du problème qui consiste à mesurer la parallaxe d'une étoile. — Mouvements apparents et réels: précession et nutation; réfraction atmosphérique; aberration de la lumière; translation du système solaire; mouvements propres et réels des étoiles. — Ce que c'est que l'aberration de la lumière.....	688
III. Les instruments astronomiques. — Visite à un observatoire.	696
Instruments destinés à amplifier les images et à rapprocher les distances. — Lunette astronomique. — Télescope de Newton, d'Herschel, de Grégory. Télescope de M. Léon Foucault. — Instruments des observatoires: lunette méridienne; équatorial; théodolite.....	696
Table des figures.	717

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.