

MOUZEAU



LE

CIEL



# LE CIEL

MIS A LA PORTÉE DE TOUT LE MONDE.

---

TOUS DROITS RÉSERVÉS.

---

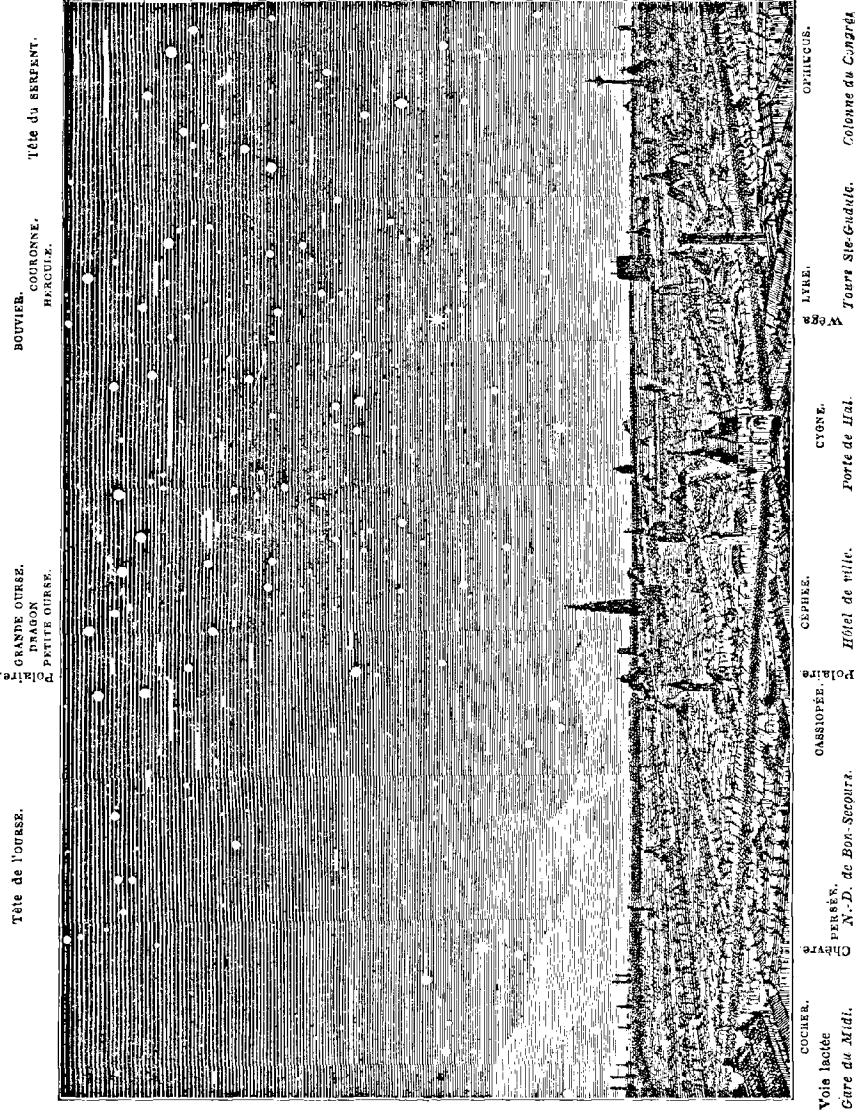
---

Bruxelles. — Typ. BRUYANT, CHRISTOPHE & C<sup>o</sup>, rue Blas, 55.





**Le ciel de l'horizon de Bruxelles (côté nord), vu de la porte de Hal, le 21 mars, à minuit.**



# LE CIEL

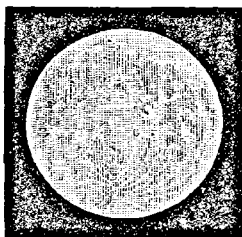
MIS

A LA PORTÉE DE TOUT LE MONDE,

PAR

**J.-C. HOUZEAU**

ANCIEN AIDE A L'OBSERVATOIRE DE BRUXELLES,  
MEMBRE DE L'ACADÉMIE DE BELGIQUE.



La lune vue au télescope.

PARIS.

G. REINWALD & Cie,  
RUE DES SAINTS-PÈRES, 15.

BRUXELLES.

BRUYLANT-CHRISTOPHE & Cie,  
RUE BLAES, 33.

1873



## INTRODUCTION.

---

Ce petit livre n'a nullement la prétention d'être un traité régulier d'Astronomie. Son but, plus modeste, est seulement de donner une première idée des questions dont cette science s'occupe et des résultats qu'elle a établis. Ce sont quelques peintures générales, aussi simples que possible ; mais nous n'avons pas entrepris de reconstruire pour le lecteur l'édifice même de la science. Dès l'abord, nous parlons de la rotation de la Terre et de son isolement dans l'espace comme de faits connus de tous et irrévocablement acquis. Qui, en effet, discute encore ces points, et qui est étranger aujourd'hui à ces premières notions de cosmographie ?

Nous avons tâché de mettre cette espèce de revue à

la portée de tout le monde, c'est-à-dire à la portée de tous ceux qui lisent. En fait de calcul, nous n'avons fait usage que de l'arithmétique; nos comparaisons sont empruntées à ce que chacun connaît et a pu observer; et quant aux expressions techniques, nous n'avons employé que les plus nécessaires, en ayant soin d'en expliquer le sens. Quand on veut instruire, a dit un ancien, il faut se servir des expressions les plus usitées.

Il est bien entendu qu'en exposant ici celles des théories et des hypothèses astronomiques qui présentent l'intérêt le plus général, nous ne faisons qu'analyser les travaux d'autrui. Il ne sera peut-être pas déplacé cependant de signaler quelques remarques qui nous appartiennent en propre, et qui jettent parfois une certaine lumière sur les sujets dont nous avons traité. Nous les mentionnons ci-dessous pour prendre date, nous réservant de revenir, dans des publications plus spécialement scientifiques, sur ceux de ces aperçus qui méritent quelques développements.

1. Considérant l'aphélie des comètes comme indiquant la direction suivant laquelle ces corps ont pénétré dans le système solaire, nous trouvons qu'il existe pour ces astres une sorte de point d'émanation comme pour les étoiles filantes, et que ce point est peu différent de celui vers lequel le système solaire se meut dans l'espace. Déjà les sept comètes à courte période dont le

retour a été constaté, suffisent pour dévoiler cette prépondérance : leur point d'émanation est près de la tête du Serpent.

2. Nous avons signalé, dans tous les ordres des phénomènes astronomiques, le cas des " corps couplés, " auquel on ne nous semble pas avoir accordé jusqu'ici une attention suffisante : étoiles filantes qui marchent par deux, comètes couplées (comme celle de Biela), globules binaires passant devant le Soleil, facules se mouvant de conserve sur cet astre, nébuleuses doubles (sans révolution apparente de l'une autour de l'autre), nébuleuses en forme de 8, etc. Faudrait-il donner une portée beaucoup plus étendue qu'elle n'en avait pour John Herschel, à la remarque de cet astronome, que la matière détachée d'un corps cosmique semble parfois se reconstituer à quelque distance?

3. La force répulsive que le Soleil exerce sur certaines parties des comètes, et qui a fait l'objet des études de Bessel, de John Herschel et de Faye, n'est pas, ce nous semble, un cas isolé. On la retrouve dans les étoiles filantes, souvent repoussées par la Terre d'une manière qui est évidente, et dont la chute, d'ailleurs, est si rare. N'est-on pas tenté d'y voir un effet électrique, surtout quand on considère l'immense charge d'électricité résineuse que la Terre possède, et qui fait peut-être un caractère général des corps célestes? Les brouillards secs sont résineux. Au nombre des phéno-

mènes électriques qui se produisent quand les corps s'approchent les uns des autres, nous avons compté la réduction des aérolithes en éclats.

4. La rotation d'Uranus, qui n'a pas encore pu être observée à cause de la petitesse du disque de cette planète, doit pourtant différer peu de 10 heures, comme les rotations de Saturne et de Jupiter. C'est ce que nous avons montré en déduisant cette rotation, par les formules de la mécanique céleste, d'une comparaison entre la vitesse des satellites de la planète et son aplatissement observé (*Bulletins de l'Académie de Belgique*, 1<sup>re</sup> série, tome XXIII).

5. L'hypothèse qui attribue les changements d'éclat des étoiles variables à la présence de satellites obscurs, a été reprise en la présentant sous une forme nouvelle. Il ne peut, en effet, être question d'éclipses, puisque celles-ci n'ont jamais qu'une durée limitée, et que le changement d'intensité des étoiles variables s'étend à toute la période. Mais nous soumettons l'idée qu'à l'éclat du corps principal s'ajoute celui d'un satellite éclairé par ce corps, et que nous voyons sous des phases inégales dans les différentes parties de sa révolution. Peut-être ce corps est-il parfois un anneau ou partie d'anneau. Voyez § 62.

6. En exposant « l'hypothèse nébulaire », par laquelle on essaye d'expliquer l'origine du système solaire, nous avons mentionné en note un rapprochement inté-



ressant. Une des lacunes que la loi des distances indique parmi les satellites de Saturne tombe entre le cinquième et le sixième (entre Rhéa et Titan). Or, ce dernier correspond, dans le système de Saturne, à Jupiter dans le système des planètes : il est le colosse entre tous, et le plus intérieur des gros satellites. Ainsi le vide dans le système saturnien répond à celui entre Mars et Jupiter. Des causes analogues, et principalement l'action perturbatrice de Titan, n'y ont probablement permis que l'existence d'astéroïdes.

7. Nous présentons dans les Tables, à la fin du volume, un Calendrier perpétuel de l'usage le plus simple et le plus facile. La partie principale de ce calendrier a été publiée d'abord dans la *Revue de Belgique*, tome IV, 1870.

8. Nous avons donné aussi des Tables des Conjonctions des planètes et de leurs Aspects, préparées sous une forme nouvelle.

9. Enfin, notre Table des Phases lunaires est reproduite des *Bulletins de l'Académie de Belgique*, 2<sup>e</sup> série, tome XXXIII, où nous l'avons publiée pour la première fois. Elle permet de calculer ces phases, à une heure près, par une addition et un seul terme de correction. L'arrangement de ces Tables dépend de combinaisons beaucoup plus simples que celles auxquelles on avait songé auparavant.



## EXPLICATION

DE QUELQUES TERMES COSMOGRAPHIQUES ET MATHÉMATIQUES.

---

**SPHÈRE.** — Suivant la définition géométrique, une *Sphère* est un corps dont tous les points de la surface sont à égale distance d'un point intérieur appelé *Centre*. On peut citer, comme exemples de sphères, les ballons, les boulets de canon ordinaires, les billes de billard.

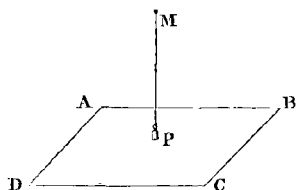
**SPHÉROÏDE.** — Le mot *Sphéroïde* est employé pour désigner les globes qui diffèrent peu d'une sphère, mais qui ne sont pas cependant d'une sphéricité parfaite. Un œuf, une orange, sont des sphéroïdes. Le même nom s'applique au globe terrestre, parce que la Terre n'est pas exactement sphérique, d'abord à cause des montagnes qui la couvrent, et ensuite parce que, dans sa figure générale, elle est un peu déprimée ou, comme on dit, aplatie, dans deux régions opposées.

**PÔLES.** — Les *Pôles* sont les deux points d'une sphère ou d'un sphéroïde autour desquels ce corps exécute un mouvement de rotation. Leur nom vient d'un mot grec qui signifie « tourner. »

**HORIZON.** — Si l'on se place dans un endroit découvert, la roton-

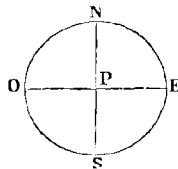
dité de la Terre se manifeste par la rondeur de l'*Horizon*, autre mot grec qui veut dire « borne. » L'horizon est, en effet, la borne ou limite de la vision sur la Terre. En mer, il est marqué par le niveau de l'eau. De là, le nom d'*horizontale* donné à toute ligne tracée dans la surface d'une eau tranquille, ou dans toute surface selon laquelle se maintiendrait cette eau.

**ZÉNITH.** — Une ligne *verticale*, du mot latin *vertex*, sommet, est, au contraire, celle qui est perpendiculaire à la surface de l'eau tranquille, et qui marque le sommet au-dessus de nos têtes. C'est celle suivant laquelle pend le fil à plomb. La table (ou plan) ABCD est horizontale, et le fil à plomb MP vertical. Le prolongement de ce fil à plomb va marquer au ciel, au-dessus de nous, le *Zénith*, mot arabe qui veut dire le « point <sup>1</sup>. »



**POINTS CARDINAUX.** — Sur toute surface horizontale, il y a deux directions perpendiculaires entre elles, qu'on peut tracer comme une croix, et qui marquent ce qu'on appelle les quatre *Points Cardinaux*. Supposons qu'il soit possible de tendre un fil sur la surface de la Terre, d'un pôle du globe à l'autre, en passant par le point que nous occupons : ce fil marquera, sur le plan ou terrain horizontal, la ligne Nord-Sud NPS, appelée aussi *Méridienne*. La direction transverse EPO est la ligne Est-Ouest. — Les quatre points cardinaux sont donc, en tournant autour de l'horizon, le Nord, l'Est, le Sud et l'Ouest. Le mot Nord est, dit-on, contracté du latin *non orditur*, « ne commence pas, » parce

que le Soleil ne se lève pas et que le jour ne commence jamais dans cette direction ; et le mot Sud vient de *sudor*, « sueur, » parce que c'est le côté de la chaleur. Est signifie « il est, » il se présente : c'est le point dans le voisinage duquel se lève le Soleil ; Ouest est le même mot, accompagné de la négation grecque,



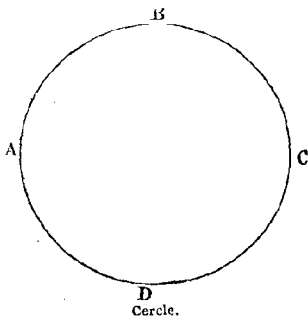
<sup>1</sup> Le terme arabe est *semt* ou *zem't*.

signifiant que c'est le côté où l'astre disparaît. Ces quatre mots datent de la renaissance. Ils furent d'abord inscrits sur la rose de la boussole par les constructeurs italiens ; et, comme cette boussole était suspendue sur des charnières (*cardæ*), d'où vient le nom de « suspension de cardan, » on nomma ces quatre points de l'horizon « points cardinaux. »

**CERCLE.** — Le *Cercle* est, parmi les figures planes, ce que la sphère est parmi les solides : il est limité par une ligne dont tous les points sont à égale distance d'un point intérieur appelé *Centre*. Cette ligne est la *Circonférence* du cercle, et la distance commune du centre à tous les points de la circonférence est le *Rayon*.

**ORBE ET ORBITE.** — Le mot *Orbe* ne contient étymologiquement que l'idée de rondeur : il peut s'appliquer à toutes les figures qui approchent de la forme circulaire. Le mot *Orbite*, au contraire, ne représente pas le français « roue, » mais la trace laissée par la roue. De là, son emploi en Astronomie pour désigner la courbe qu'un corps céleste décrit dans l'espace, sans égard à la figure particulière que cette courbe affecte. Dans ce sens, on emploie aussi le mot *Trajectoire*, ou ligne suivant laquelle s'exécute le trajet.

**ELLIPSE.** — Les orbites des planètes sont des courbes d'une espèce particulière, qu'on appelle *Ellipses*. Ce sont de toutes les courbes celles qui offrent le plus d'analogie avec le cercle. L'ellipse n'est, à la rigueur, qu'une déformation régulière et symétrique de celui-ci. Si l'on presse un cerceau entre les deux mains, le cercle s'aplatit dans le sens de la pression, et s'allonge dans le sens transverse. Il devient alors une ellipse, ou ce qu'on pourrait appeler un cercle comprimé. — Comme la compression peut être poussée plus ou moins loin, on voit qu'il y a des ellipses de tous les degrés





de la courbe ou, en termes techniques, son Grand Axe BD et son Petit Axe AC, perpendiculaires entre eux, et se coupant mutuellement à leur milieu O (qui est aussi le centre de l'ellipse). On décrit d'abord du point A ou du point C deux arcs de cercle, *hi*, *jk*, ou *lm*, *np*, avec une ouverture de compas égale à BO. On marque ainsi sur le grand axe deux points F et G, qu'on appelle les *Foyers*. Maintenant, préparons un fil exactement égal en longueur au grand axe BD, et fixons chacune des extrémités de ce fil aux foyers F et G. Puis tendons le fil au moyen d'un style, en M par exemple. Faisons enfin glisser le style sur le papier de M en C, puis en D, etc., en tenant le fil toujours tendu. La marque laissée par le style sera l'ellipse demandée. — Les jardiniers tracent des plates-bandes en ellipse, en plantant aux foyers F et G deux piquets, auxquels est attaché un cordeau FMG que l'on tend à l'aide du piquet mobile M. Avec la pointe de celui-ci, on trace alors sur le terrain l'ellipse entière.

EXCENTRICITÉ. — Le rapport entre la distance OF du centre au foyer, et le demi-grand axe OB, est ce qu'on nomme l'*Excentricité*. Ce rapport mesure l'ellipticité de la courbe; car plus OF est petit relativement à OB, plus la courbe approche d'être circulaire. En effet, si les foyers F et G se réunissaient au centre O, l'excentricité serait nulle, et le fil étant attaché au centre même par ses deux extrémités, le style M décrirait un cercle pur et simple. Ainsi le cercle n'est autre chose qu'un cas particulier de l'ellipse. C'est une ellipse dont les foyers se confondent au centre, et dont, par conséquent, l'excentricité est nulle. — Mais, à mesure que les foyers s'écartent, l'ellipticité se marque de plus en plus. Et s'ils s'éloignaient jusqu'aux sommets B et D, le fil serait tendu d'un sommet à l'autre. Le style M ne pourrait alors décrire que la droite BD, et l'ellipse se réduirait à son grand axe, le petit axe (ou largeur) AC étant devenu nul.

USAGE DE L'ELLIPSE EN ASTRONOMIE. — L'ellipse est d'un grand usage en Astronomie, parce que c'est la courbe décrite par les planètes autour du Soleil, celui-ci étant placé à l'un des foyers. L'autre foyer est inoccupé. La droite FM qui représente le fil idéal que la planète M emporte avec elle, dans sa révolution le long de l'ellipse, est ce qu'on appelle le *Rayon vecteur*, c'est-à-

dire « porteur. » — Une propriété remarquable, décrite au § 47 de cet ouvrage, et constituant une des lois de Kepler, se rattache aux mouvements de ce rayon vecteur.





## TABLE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES.

INTRODUCTION. . . . .	Pages I à V
Explication de quelques termes cosmographiques et mathématiques . . . . .	» VII à XII

### MATIÈRE DES PARAGRAPHES.

CHAPITRE I.	Pages.	CHAPITRE II.	Pages.
§ 1. Le ciel étoilé . . . . .	4	§ 19. Les étoiles sont des sources de lumière . . . . .	43
2. L'univers ( <i>uni-versum</i> , qui tourne ensemble) . . . . .	3	20. Premières notions sur la nature des soleils . . . . .	46
3. Les pôles du ciel et l'étoile polaire . . . . .	5	21. Constitution générale du Soleil . . . . .	48
4. Nombre des étoiles . . . . .	6	22. Taches du Soleil . . . . .	52
5. Grandeur des étoiles et constellations . . . . .	8	23. Facules . . . . .	55
6. Première étude à vue du ciel étoilé . . . . .	10	24. Le Soleil et le magnétisme terrestre . . . . .	56
7. Moyen de trouver la polaire . . . . .	13	25. Explosions dans le Soleil . . . . .	58
8. Connaissance de l'heure par les étoiles . . . . .	15	26. Permanence de la chaleur solaire . . . . .	60
9. Avance diurne . . . . .	17	27. Origine de la chaleur solaire . . . . .	63
10. Zodiaque . . . . .	18	28. Constitution physique des étoiles . . . . .	66
11. Le premier et le second mobile . . . . .	23	<b>CHAPITRE III.</b>	
12. Précession . . . . .	25	§ 29. Saisons astronomiques . . . . .	69
13. Cause de la précession . . . . .	28	30. Origine des signes du zodiaque . . . . .	71
14. Changements séculaires dans l'aspect des constellations . . . . .	31	31. Année sidérale . . . . .	75
15. Variation d'obliquité . . . . .	34	32. Année tropique . . . . .	75
16. Nutation . . . . .	36	33. Calendrier grégorien . . . . .	77
17. Aberration . . . . .	39	34. Cours de la Lune . . . . .	80
18. Résumé du chapitre I. . . . .	41		

b

	Pages.		Pages.
35. Constitution physique de la Lune . . . . .	85	52. Astéroïdes en dedans de l'orbite de Mercure . . .	137
36. Montagnes lunaires . . .	87	53. Météorites . . . . .	139
37. Nature aride de la Lune.	91	54. Averses d'étoiles filantes.	142
38. Accélération séculaire. . .	93	55. Comètes . . . . .	148
39. Éclipses . . . . .	96	56. Changements physiques dans les comètes. . . . .	152
<b>CHAPITRE IV.</b>		57. Distribution des comètes.	157
§ 40. Planètes inférieures . . .	100	<b>CHAPITRE VI.</b>	
41. Phases et révolutions des planètes inférieures. . .	103	§ 58. Transport du système solaire dans l'espace . . .	162
42. Scintillation . . . . .	105	59. Distances des étoiles . . .	166
43. Cours des planètes supérieures . . . . .	107	60. Transparence de l'espace céleste . . . . .	170
44. Système planétaire . . . . .	109	61. Étoiles multiples . . . . .	173
45. Distances dans le système planétaire . . . . .	111	62. Étoiles variables . . . . .	177
46. Satellites des planètes . . .	116	63. Étoiles temporaires . . . . .	180
47. Lois de Kepler . . . . .	119	<b>CHAPITRE VII.</b>	
48. Gravitation universelle.	122	§ 64. Voie Lactée . . . . .	185
49. Constitution physique des petites planètes . . . . .	125	65. Nébulenses . . . . .	188
50. Constitution physique des grosses planètes . . . . .	128	66. Hypothèse nébulaire . . . . .	196
<b>CHAPITRE V.</b>		67. Origine du système solaire. . . . .	200
§ 51. Astéroïdes entre Mars et Jupiter . . . . .	134	68. Unité du système solaire.	205
		69. Avenir des planètes . . . . .	207
		70. Fin du système. . . . .	211
		71. Remarques finales. . . . .	214

	Pages.
LISTE des principaux astronomes cités dans ce volume. . . . .	219
TABLES. — I. Calendrier perpétuel . . . . .	221
II. Dates annuelles. . . . .	224
III. Mouvements des planètes. . . . .	227
IV. Phases de la Lune . . . . .	230
EXPLICATION ET USAGE DES CARTES . . . . .	238
Tableau indiquant, pour chacune des quatre cartes, le jour et l'heure il convient le mieux d'en faire usage. . . . .	240

## TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES.

—

Les chiffres indiquent les paragraphes. Pour faciliter les recherches, on a inscrit, dans le corps de l'ouvrage, les numéros des paragraphes au haut des pages, indépendamment de la pagination.

- |  |   |
|--|---|
| <p>Aberration, 17.</p> <p>Accélération des fixes, 9.</p> <p>Accélération séculaire de la Lune, 38.</p> <p>Aérolithes, 53.</p> <p>Aigle, 10.</p> <p>Alcor, 6.</p> <p>Aldébaran, 10 — son spectre, 28.</p> <p>Algol, 62.</p> <p>Amas, 64.</p> <p>Anneaux de Saturne, 50.</p> <p>Année, définition, 41 — sidérale, 31 — tropique, 32.</p> <p>Annulaires (nébuleuses), 65.</p> <p>Antarès, 10.</p> <p>Aphélie, 47.</p> <p>Aplatissement des planètes, 49 et 50.</p> <p>Apogée, 47.</p> <p>Arcturus, 6 — son spectre, 28 — sa distance, 59.</p> <p>Astéroïdes entre Mars et Jupiter, 51 — en dedans de l'orbite de Mercure, 52.</p> <p>Atmosphère du Soleil, 21 — de la Lune, 37 — celle de la Terre indéfinie, 60.</p> | <p>Automne astronomique, 29.</p> <p>Avance diurne, 9.</p> <p>Balance, 10.</p> <p>Barbe des comètes, 56.</p> <p>Bélier, 10.</p> <p>Bolides, 51, 53.</p> <p>Bouvier, 6.</p> <p>Bras (nébuleuses à), 65.</p> <p>Brouillards secs, exemples, 54 — cause, 56.</p> <p>Calendrier grégorien, 33 — julien, 33.</p> <p>Cancer, 10.</p> <p>Canopus, 14.</p> <p>Capricorne, 10.</p> <p>Castor, 10 — étoile double, 61.</p> <p>Cendrée (lumière), 34.</p> <p>Centaure (brillante du), sa distance, 59.</p> <p>Cercles diurnes, 3.</p> <p>Chaleur, origine de celle du Soleil, 27 — son effet mécanique, 27.</p> <p>Changeantes (étoiles), 62.</p> <p>Chevelure des comètes, 56.</p> <p>Chèvre, 6 — son spectre, 28.</p> |
|--|---|

- Chevreaux, 6.  
 Chien (Grand), 10.  
 Chromosphère, 21.  
 Ciel (voûte du), 2 — (mouvement du),  
 2 — sa nature, 19.  
 Cocher, 6.  
 Cométaires (nébuleuses), 63.  
 Comètes, leurs caractères généraux,  
 55 — leur nombre, 55 — source de  
 leur lumière, 55 — leur constitu-  
 tion, 55 — leurs changements phy-  
 siques, 56 — noyau ou tête, 56 —  
 chevelure, 56 — queue, 56 — leur  
 rencontre avec la Terre, 56 — leur  
 distribution, 57 — figure de leurs  
 orbites, 57 — comètes périodiques,  
 57 — origine des comètes, 57.  
 Compagnons, 61.  
 Conjonctions des planètes inférieu-  
 res, 41 — des planètes supérieures,  
 43 — des étoiles multiples, 61.  
 Constellations, 5.  
 Constitution physique du Soleil, 21  
 — des étoiles, 28 — de la Lune,  
 36 — des petites planètes, 49 —  
 des grosses planètes, 50.  
 Coucher des étoiles, 3.  
 Couronne, constellation, 10 — autour  
 du Soleil, 21.  
 Croix du Sud, 14.  
 Densités du Soleil, 20 — des planètes,  
 49 et 50.  
 Dimensions du système solaire, 46.  
 Disparues (étoiles), 63.  
 Distances, dans le système plané-  
 taire, 45 — des planètes au Soleil,  
 51 — des étoiles, 59.  
 Diurne (avance), 9 — (mouvement), 3.  
 Doubles (étoiles), 61.  
 Éclipses, 39.  
 Ellipses, 47.  
 Élongation, 40.  
 Émanation (point d') des étoiles fi-  
 lantes, 54.  
 Épi (l'), 40.  
 Équinoxes, 29.  
 Été astronomique, 29.  
 Étoile du matin, 40 — du soir, 40.  
 Étoiles fixes au ciel, 2 — lever et  
 coucher, 3 — visibles pendant le  
 jour, 3 — leurs cercles diurnes, 3  
 — leur nombre, 4 — leurs gran-  
 deurs, 5 — indiquent les heures, 8  
 — leur avance diurne, 9 — source  
 de leur lumière, 19 — leurs spec-  
 tres, 19 — leur constitution phy-  
 sique, 28 — leurs teintes, 28 —  
 leur scintillation, 42 — leurs mou-  
 vements propres, 58 — leurs dis-  
 tances, 59.  
 Étoiles disparues, 63.  
 Étoiles filantes, définition, 53 — spo-  
 radiques, 54 — leurs averses, 54 —  
 leur point d'émanation, 54 — leurs  
 traînées, 54.  
 Étoiles multiples, 61.  
 Étoiles temporaires, 63.  
 Étoiles variables, 62.  
 Explosions dans le Soleil, 25.  
 Facules, 22.  
 Fin du système solaire, 70.  
 Fixes, 2.  
 Fomalhaut, 10.  
 Gardes de l'Ourse, 8.  
 Gémeaux, 10.  
 Glaciaire (période), 26.  
 Globes lumineux, 53.  
 Globulaires (nébuleuses), 63.

(Les chiffres indiquent les paragraphes)

- Grand Chien, 40.  
 Grande Ourse, 6.  
 Grandeurs des étoiles, 5.  
 Gravitation, 48 — son universalité, 61.  
 Gyroscope, 13.  
 Heure par les étoiles, 8.  
 Hiver astronomique, 29.  
 Hypothèse nébulaire, 66.  
 Intercalation, 33.  
 Jour, s'allongera, 69.  
 Jupiter, son cours, 43 — ses satellites, 46 — sa constitution physique, 50.  
 Kepler (lois de), 47 — s'étendent aux étoiles, 61.  
 Lenticulaires (nébuleuses), 65.  
 Lever des étoiles, 3 — dans le crépuscule du matin, 14.  
 Libration, 35.  
 Lion, 20.  
 Lois de Kepler, 47 — s'étendent aux étoiles, 61.  
 Lumière cendrée, 34.  
 Lunaison, 34.  
 Lune, son cours, 34 — sa révolution synodique, 34 — sa révolution sidérale, 34 — ses phases, 34 — sa libration, 35 — ses montagnes, 36 — ses volcans, 36 — son atmosphère, 37 — son accélération séculaire, 38 — ses éclipses, 39 — ses nœuds, 39 — son périégée et son apogée, 47 — son origine, 67.  
 Lyre (variable de la), 62.  
 Magnétisme terrestre (influence du Soleil sur le), 24.  
 Marées, agissant comme un frein, 69.  
 Mars, son cours, 43 — sa constitution physique, 49.  
 Mercure, son cours, 40 et 41 — sa constitution physique, 49.  
 Méridien, 9.  
 Méridienne de Ste-Pétrone, 15.  
 Météorites, 53.  
 Milieu aériforme dans l'espace céleste, 60.  
 Mira, 62.  
 Mobile (premier), 41, 48 — (second), 41, 48.  
 Montagnes lunaires, 34.  
 Mouvement annuel, 41 — diurne, 3 — du ciel, 2.  
 Mouvements propres des étoiles, 58.  
 Multiples (étoiles), 61 — (nébuleuses), 65.  
 Navire (brillante du), 63.  
 Nébulaire (hypothèse), 66.  
 Nébuleuses, définition, 64 — description, 65.  
 Nœuds de la Lune, 39.  
 Nombre des étoiles, 4.  
 Nombre d'Or, 39.  
 Nouvelle Lune, 34.  
 Nouvelles (étoiles), 63.  
 Noyau du Soleil, 21 — des comètes, 56.  
 Nuées de Magellan, 44, 64.  
 Nutation, 46.  
 Obliquité (variation d'), 15.  
 Ombre de la Terre, 39.  
 Opposition des planètes, 43 — des étoiles, 41.  
 Origine du zodiaque, 30 — du système solaire, 67 — de la Lune, 67.  
 Orion, 40.  
 Ourse (Grande), 6 — (Petite), 7.

(Les chiffres indiquent les paragraphes)

- Pégase, 10.  
 Pénombre des taches solaires, 22.  
 Périgée, 47.  
 Périhélie, 47.  
 Période sothiaque, 33.  
 Perturbations des planètes, 48 —  
   magnétiques, 24.  
 Pesanteur, 48.  
 Petite Ourse, 7.  
 Phases de la Lune, 34 — des pla-  
   nètes, 41 et 43.  
 Photosphère, 21.  
 Planétaires (nébuleuses), 63.  
 Planètes, signification de ce mot, 40  
   — planètes inférieures, 40 et 41 —  
   planètes supérieures, 42 et 43 —  
   exemples de scintillation, 42 —  
   conjonctions, 41 et 43 — opposi-  
   tion, 43 — station et rétrograda-  
   tion, 43 — phases, 41 et 43 —  
   aplatissement, 49 et 50 — leur  
   origine, 67 — leur avenir, 69.  
 Pléiades, 20.  
 Pleine Lune, 34.  
 Poissons, 10.  
 Polaire, 3 — moyen de la trouver, 7  
   — polaires successives, 22.  
 Pôles, 3.  
 Pollux, 10.  
 Poussières (pluies de), 54.  
 Précession, 12 — sa cause, 13 — sa  
   période, 13.  
 Primaires, 5.  
 Printemps astronomique, 29.  
 Protubérances, 21, 25.  
 Quartaires, 5.  
 Quartier (premier et dernier), 34.  
 Queues des comètes, 56.  
 Quintaires, 5.  
 Raies du spectre, 19.  
 Rayon vecteur, 47.  
 Refroidissement de la Terre, 69.  
 Régulus, 10.  
 Rétrogradation des planètes, 43.  
 Révolution annuelle, 18 — sidérale de  
   la Lune, 34 — synodique de la Lune,  
   34.  
 Rois (trois), 10.  
 Rotation diurne, 18.  
 Sagittaire, 10.  
 Saisons astronomiques, 29.  
 Satellites, 46 — leur origine, 67.  
 Saturne, son cours, 43 — ses satel-  
   lites, 46 — ses anneaux, 50 — sa  
   constitution physique, 50.  
 Scintillation, 42.  
 Scorpion, 20.  
 Secondaires, 5.  
 Sextaires, 5.  
 Signes du zodiaque, 30.  
 Sirius, 10 — apparition par la pré-  
   cession, 14 — lever du matin en  
   Égypte, 14 — sa distance, 59 — son  
   changement de couleur, 62.  
 Soleil, sa lumière n'est pas polari-  
   sée, 20 — substances qu'on y  
   reconnait, 21 — sa constitution  
   physique, 21 — pluies et neiges  
   métalliques, 21 — ses enveloppes,  
   21 — ses taches, 22 — sa rotation,  
   22 — courants dans son atmo-  
   sphère, 22 — facules, 23 — ses  
   rapports avec le magnétisme ter-  
   restre, 24 — période des taches, 24  
   — permanence de sa chaleur, 26 —  
   origine de sa chaleur, 27 — effets  
   dynamiques de cette chaleur, 27.  
 Solstices, 20.

(Les chiffres indiquent les paragraphes.)

TABLE ALPHABÉTIQUE.

XIX

Sothiaque (période), 33.	Tertiaires, 5.
Spectres, 19 — du Soleil, 21 — des étoiles, 28 — des étoiles filantes, 54 — des nébuleuses, 65.	Têtes des comètes, 56.
Sphère céleste, 4.	Traînées des étoiles filantes, 54.
Spirales (nébuleuses), 65.	Transparence de l'espace, 60.
Stations des planètes, 43.	Univers, 2.
Syène (puits de), 15.	Variables (étoiles), 62 — (nébuleuses), 65.
Système planétaire, 44 — distances dans ce système, 45 — son transport dans l'espace, 58 — son origine, 67 — son unité, 68 — sa fin, 70.	Variation d'obliquité, 15.
Système solaire : voyez Système planétaire.	Vénus, ses apparences, 40 — ses phases, 41 — son plus grand éclat, 40 et 41, sa constitution physique, 49.
Taches du Soleil, 22 — leur période de 10 $\frac{1}{2}$ ans, 24.	Verseau, 10.
Taureau, 20.	Vierge, 10.
Temporaires (étoiles), 63.	Voie Lactée, 64.
Terre, son ombre, 39 — son origine, 67 — son refroidissement, 69 — sonvell et pleine), 34.	Volcans lunaires, 36.
	Voûte du ciel, 2.
	Wéga, 6 — a été polaire, 12 — sa distance, 59.
	Zodiaque, 10 — son origine, 30 — (signes du), 30.

(Les chiffres indiquent les paragraphes.)





## CHAPITRE PREMIER.

---

### § 1. LE CIEL ÉTOILÉ.

Lorsque nous commençons à réfléchir, l'aspect du ciel étoilé, par une nuit tranquille, parle à notre esprit d'une manière nouvelle. Que sont ces astres sans nombre qui se meuvent silencieusement au-dessus de nous ? D'où vient leur variété pour ainsi dire infinie ? Quelques-uns répandent un éclat remarquable, et d'autres sont si faibles de lumière que nous ne faisons guère que les soupçonner. Tantôt ils sont jetés au hasard en masses confuses, pendant qu'ils forment ailleurs des croix, des triangles, et d'autres figures régulières, qui se meuvent et se penchent sans s'altérer. Suivant les saisons, nous les perdons de vue, et nous les voyons

reparaître ensuite d'un autre côté. De temps à autre enfin, on dirait qu'une de ces étoiles se détache et vole comme une fusée rapide qui contraste avec cette majesté. Quelque cause secrète relie-t-elle la destinée humaine à ces phénomènes qui se passent dans les cieux ?

Nous voulons le savoir. Nous cherchons à déchiffrer cette énigme. Il est certain que le spectacle du ciel rappelle à quelques égards celui de la société. Ces étoiles brillantes, parmi tant d'autres plus faibles, sont comme les chefs au milieu du vulgaire. Est-ce plus qu'une ressemblance, est-ce une harmonie ? *Sidera singulis attributa nobis*, dit Pline, *et clara divitibus, minora pauperibus* <sup>1</sup>. « Chaque homme a son étoile, les plus belles pour les riches et les petites pour les malheureux. »

Cette idée est si naturelle qu'elle vient à tous les peuples, comme à presque tous les individus, à mesure qu'ils atteignent l'âge de réfléchir : C'est surtout dans les beaux climats du Midi, où les nuits sont sereines et douces, où l'homme vit au milieu de la nature, que le spectacle du ciel, toujours présent pour ainsi dire, frappe plus vivement l'imagination. Ce sont surtout les pasteurs, soignant leurs troupeaux en plein air, qui commencent l'astronomie avec les commencements mêmes de la civilisation. Chez les bergers du Midi, on trouve des notions générales du mouvement des astres. Pendant ses longues nuits de veille, le gardien de troupeaux est sous l'impression du spectacle des cieux. La

<sup>1</sup> PLINE, *Historia naturalis* ; lib. I, cap. 8.

poésie, ce langage des hommes jeunes et des peuples jeunes, décrit les phénomènes, et l'imagination bâtit ses rapprochements :

Berger, sur cet azur tranquille  
De lire on te croit le secret <sup>1</sup>.

Ce n'est pas le berger cependant qui lira cette écriture mystérieuse, tracée en points étincelants. Ce ciel a ses secrets et ses enseignements. Toutefois, pour les hommes faits et pour les peuples éclairés, ce n'est plus le même langage. En étudiant plus sérieusement ces astres, tout grandit. Il ne s'agit plus de la destinée des particuliers ni de l'histoire des hommes, mais de la vie des mondes. Nous avons quelque chose à apprendre de ce beau spectacle, mais c'est quelque chose d'imprévu et de grandiose, qui nous transporte hors de la sphère où nous avons vécu et pensé jusque-là.

§ 2. L'UNIVERS (*uni-versum*, qui tourne ensemble).

A la première impression, le *ciel* nous fait l'effet d'une voûte immense, où les étoiles sont suspendues, pour employer le mot de Shakspeare, comme des chandelles d'or. Le philosophe Anaximène disait qu'elles y sont attachées comme pourraient l'être des clous brillants ; et de là leur vient le nom de *fixes* par lequel on les désigne quelquefois. Mais la voûte du ciel n'est pas immobile. Pour peu qu'on l'observe pendant quelques heures, on s'aperçoit qu'elle tourne dans son en-

<sup>1</sup> BÉRANGER, *Les Étoiles qui filent*.

semble, comme une immense sphère creuse dont nous verrions sans cesse la moitié qui est au-dessus de nous.

Ce mouvement est aussi insensible que celui des aiguilles d'une horloge sur le cadran. En fait, le ciel est une vaste horloge, dont les étoiles sont comme des milliers d'aiguilles, indiquant la marche des heures avec une admirable régularité. Ce mouvement, pour être lent, n'est ni moins réel ni moins continu. Les astres passent devant nous les uns après les autres, dans le courant de la nuit, comme les grains de sable qui se suivent en tombant d'un sablier. Les constellations marquent les veilles en se déroulant <sup>1</sup>. C'est parce que ce mouvement est universel, c'est-à-dire commun à tous les astres, que l'ensemble de ces corps a reçu le nom d'*univers* (*uni-versum*, qui tourne ensemble, qui tourne d'un seul mouvement).

Nous savons, d'ailleurs, aujourd'hui que cette communauté de rotation qui s'étend à toute la sphère étoilée n'est que l'effet de la rotation de la Terre, en dehors de laquelle les objets célestes sont situés. Nous passons tour à tour, dans le mouvement continu et si hautement régulier de notre globe, devant les différents objets extérieurs qui nous entourent de tous les côtés. Nous sommes comme l'observateur qui, au sommet d'une montagne ou d'un clocher, tournerait lentement sur lui-même, ou plutôt comme l'aéronaute, qui, pendant que sa nacelle tournoie en l'air, est bien près de

<sup>1</sup> *Look, the unfolding star calls up the shepherd.* « Vois, le ciel qui se déplie appelle le berger. » (SHAKSPEARE, *Measure for measure*; act. IV, sc. 2.)

croire que ce sont les villes, les champs, les collines et les bois qui tournent en masse autour du ballon.

### § 3. LES PÔLES DU CIEL ET L'ÉTOILE POLAIRE.

La rotation de la sphère étoilée s'opère autour d'un axe qui traverse obliquement notre horizon. C'est un pivot, invisible parce qu'il est purement fictif, dont une extrémité est à une certaine élévation vers le Nord, près de l'étoile polaire, et l'autre extrémité abaissée sous la terre, du côté du Sud. La sphère céleste tourne en vingt-quatre heures autour de cet axe idéal, entraînant avec elle les astres innombrables qui la parsèment. Ce mouvement s'appelle le *mouvement diurne*, c'est-à-dire journalier. En vertu de cette rotation, de nouvelles étoiles s'élèvent lentement du côté oriental, dans le cours de la nuit, tandis que celles qui étaient visibles s'abaissent et disparaissent les unes après les autres du côté du couchant. Mais il y en a que nous voyons toujours, parce qu'une des extrémités de l'axe, ou, comme on l'appelle, un des *pôles*, demeure dans une situation fixe, à une hauteur constante au-dessus du point Nord. Les étoiles qui l'entourent de plus près ne décrivent autour de ce pôle que de petits cercles, qui dans aucune de leurs parties ne descendent jusqu'à l'horizon. On les verrait donc sans cesse si la lumière du jour ne venait en effacer l'éclat. Les étoiles, en effet, sont présentes au ciel le jour comme la nuit. On continue longtemps de suivre les plus belles dans le crépuscule du matin, lorsqu'on garde les yeux fixés sur

elles; et avec un télescope de force suffisante, on ne les perd pas de vue pendant toute la durée du jour.

L'*étoile polaire*, près du pôle même, est presque immobile. Le cercle qu'elle décrit au ciel est si petit, qu'il faut des instruments pour s'assurer que cet astre se déplace. Le voyageur peut donc regarder la Polaire comme le centre même des mouvements. Tandis que les autres étoiles se meuvent d'heure en heure autour d'elle, d'une manière plus ou moins sensible, cet astre reste au centre ou extrêmement près du centre de tous les cercles. Il indique donc constamment le vrai Nord. C'est ce qui en fait un guide pour l'Arabe du désert, et ce qui rend cette étoile si précieuse au navigateur.

A mesure qu'on s'éloigne du pôle, les cercles décrits par les divers astres dans leur mouvement diurne deviennent successivement plus étendus. Bientôt on en trouve un qui est assez grand pour toucher l'horizon par sa partie inférieure. On arrive ainsi aux étoiles qui disparaissent dans une portion de leur cours, et qui ont chaque jour, comme le Soleil et la Lune, un lever et un coucher. Dans nos climats, ces étoiles composent de beaucoup le plus grand nombre. Il n'y a pas un huitième de la sphère qui soit toujours élevé, et que nous voyions sans cesse. En revanche, il y a au Midi un autre huitième que nous n'apercevons jamais de nos latitudes, et qu'on ne découvre qu'en voyageant.

#### § 4. NOMBRE DES ÉTOILES.

Qui comptera les étoiles du ciel? Qui dira, s'écrie Jérémie Taylor, si le nombre en est pair ou im-

pair <sup>1</sup>? Cependant s'il s'agit seulement des étoiles qu'on distingue à la vue simple, c'est-à-dire sans le secours d'aucun instrument d'optique, on peut en faire sans trop de difficulté le dénombrement. C'est uniquement à cause du désordre apparent qui règne dans leur arrangement, que nous sommes déroutés d'abord, et que l'esprit se figure une innombrable multitude, comme celle des grains de sable du désert. Mais dans la moitié de la sphère qui est sur l'horizon, nous ne voyons guère plus de trois mille étoiles à la fois. Un peu plus de deux mille sont dans la partie qui se trouve cachée à un instant donné, mais qui s'élèvera à son tour par le mouvement diurne. Cela porte seulement à cinq mille et quelques centaines le nombre d'étoiles différentes que nous pouvons distinguer à l'œil nu dans les sept huitièmes de la sphère visible pour nous. De ces 5 400 étoiles, 800 qui sont voisines du pôle ne se couchent jamais; et des 4 600 autres, une moitié est levée et une moitié couchée à tout moment donné. Il y en a, en outre, vers le pôle Sud de la sphère céleste, sept à huit cents que dans nos climats on n'aperçoit jamais.

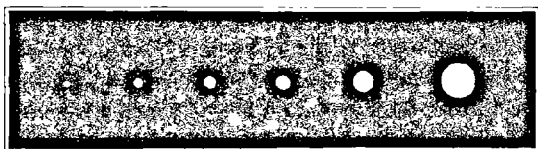
Pour nombrer les étoiles et pour se rendre compte de leur disposition, le meilleur moyen est de les porter une par une sur une sphère, ou, plus simplement encore, sur deux cartes circulaires représentant les deux hémisphères. On trace ainsi une mappemonde du ciel, si l'on peut employer cette expression. Cette entreprise n'est pas si vaste, ni ce travail si pénible, qu'on l'imaginerait au premier abord, surtout lorsqu'on se borne, pour

<sup>1</sup> *Let him tell me whether the number of stars is even or odd.*

commencer, aux étoiles les plus éclatantes. Il est fort probable que les anciens peuples de l'Orient, tels que les Babyloniens et les Assyriens, avaient construit des sphères célestes. C'est ce qu'avaient fait certainement les Égyptiens, puisque Eratosthène s'est servi de leurs travaux. Chez les Grecs, Chiron, le pilote de l'expédition des Argonautes, avait construit une sphère de grande dimension, il y a environ trente siècles. Les astronomes d'Alexandrie, la grande ville savante de l'antiquité, avaient suivi cette méthode. Les Arabes se servaient également de sphères où les étoiles étaient marquées. Dans les temps modernes, on a préféré comme plus commodes les cartes planes, et l'on a publié des atlas où l'on trouve non-seulement toutes les étoiles qui se voient à l'œil nu, mais aussi un grand nombre de celles qui sont télescopiques.

### § 5. GRANDEUR DES ÉTOILES ET CONSTELLATIONS.

Ce qui concourt à donner au ciel un aspect remarquable de variété, c'est la grande différence d'éclat qui



Éclat relatif des étoiles des six premières grandeurs.

existe entre les diverses étoiles. On appelle les plus brillantes étoiles, de première grandeur ou *primaires* ;



on descend ensuite successivement à celles de la seconde grandeur ou *secondaires*, puis à celles de la troisième, de la quatrième, de la cinquième grandeur, jusqu'à celles de la sixième, qui sont les plus faibles que l'on puisse apercevoir à l'œil nu. On compte quinze étoiles de première grandeur qui sont visibles dans nos contrées. Notre ciel contient une cinquantaine de secondaires, environ 150 tertiaires, 400 quaternaires, un peu plus de 1 000 quintaires, et près de 3 700 sextaires ou étoiles de sixième grandeur.

Pour se guider au milieu de cette multitude d'astres, il faut rattacher les plus belles étoiles à celles moins brillantes qui les avoisinent. On forme ainsi des figures de géométrie, telles que des triangles, des quadrilatères, des arcs de cercle ou des croix. Les principales de ces figures sont tracées sur les cartes célestes à la fin du volume. Ces cartes représentent le ciel de nos latitudes sous quatre aspects différents, c'est-à-dire à quatre époques différentes de nos nuits <sup>1</sup>.

Chaque figure porte un nom, qui ne se rattache, d'ailleurs, que rarement à l'apparence que présentent les étoiles. Il ne faut donc pas chercher dans le ciel l'image des objets que ces noms désignent, mais se guider uniquement d'après le dessin. La plupart de ces groupes d'étoiles ou, comme on les appelle, ces *constellations* ont été dénommés par les Grecs d'après des idées allégoriques et des allusions à la théogonie païenne. Ces noms ne conservent aujourd'hui qu'une

<sup>1</sup> Voyez l'instruction qui, sous le titre d'Explication et usage des Cartes, se trouve placée à la fin du volume.

valeur historique : au point de vue de la science positive, ils ne représentent plus rien.

C'est ainsi que Pégase est un carré de quatre belles étoiles, et ne se rapproche en rien de la forme d'un cheval. Le Lion est un trapèze, la Lyre un triangle, Hercule un quadrilatère. C'est à peine si la file d'étoiles appelée le Serpent rappelle le corps à demi enroulé de ce reptile, et si l'imagination trouve les linéaments d'un Scorpion dans l'astérisme ou groupe qui porte le nom de cet animal.

#### § 6. PREMIÈRE ÉTUDE A VUE DU CIEL ÉTOILÉ.

La première constellation à connaître, et celle d'après laquelle on arrivera par degrés à toutes les autres, c'est la Grande-Ourse, appelée aussi quelquefois le Chariot. Comme elle ne descend jamais sous notre horizon, on sera certain de la voir, quelle que soit l'heure de la nuit, chaque fois que le ciel sera découvert. On n'aura qu'à se tourner vers le Nord, et l'on distinguera bientôt, à une hauteur plus ou moins grande selon les époques, sept étoiles brillantes, affectant la figure appelée Grande Ourse sur nos cartes célestes.

C'est un rectangle ou « carré long » formé de quatre belles étoiles, puis une ligne légèrement brisée de trois autres étoiles, qui s'étend en dehors du rectangle, et à peu près dans le prolongement d'une de ses diagonales. L'étoile à l'angle du « carré long » d'où part cette ligne brisée ou queue, est un peu plus faible que les six autres.

L'observateur le moins expérimenté qui se tournera vers le Nord quand le ciel est bien découvert, recon-

naîtra bientôt cette grande et belle constellation, pourvu qu'il en ait étudié la figure sur les cartes. Au surplus, cette constellation trouvée, les autres se présenteront avec facilité. L'amateur d'astronomie qui commence cette étude sans maître, ne doit donc pas se décourager aisément dès ce premier pas.

Parmi les particularités auxquelles on peut s'assurer qu'on a en effet trouvé la Grande Ourse, nous avons déjà mentionné que l'étoile du rectangle placée à la naissance de la queue n'a pas autant d'éclat que les autres. Mais il y a une preuve bien plus positive. Examinons attentivement l'étoile avant-dernière de la queue ; nous distinguerons à côté une étoile beaucoup plus petite, dont la présence ne nous permettra plus de douter que nous n'ayons la Grande Ourse sous les yeux. Cette petite étoile était appelée par les Arabes Alcor, qui signifie dans leur langue « vue perçante <sup>1</sup>, » parce qu'elle est si rapprochée d'un astre brillant qu'il faut en effet de bons yeux pour la voir nettement.

Lorsqu'on connaîtra bien la Grande Ourse, on passera successivement aux autres constellations, à commencer par les plus rapprochées. Ainsi, en prolongeant la ligne formée par les deux dernières étoiles de la queue, on est conduit à une primaire, plus brillante par conséquent qu'aucune des sept étoiles avec lesquelles on vient de se rendre familier. Cette primaire se nomme Arcturus (Cartes nos 1, 2, 4), mot qui veut dire « queue de l'Ourse, » parce qu'elle est dans le prolongement

<sup>1</sup> De ce mot arabe vient l'expression espagnole *alcance de la vista*, « portée de la vue. »

même de cette queue. En revenant alors un peu sur ses pas, on trouvera aisément la figure à cinq côtés ou pentagone, appelée le Bouvier, que l'on voit tracée sur nos cartes (n<sup>os</sup> 1, 2, 4). A côté se trouve un demi-cercle d'étoiles comparativement faibles, ayant pourtant une secondaire vers le milieu de l'arc : c'est la Couronne. En continuant du même côté, quatre étoiles de troisième grandeur composent Hercule ; et, en avançant toujours dans le même sens, on arrive à une fort belle étoile, légèrement bleuâtre, Wéga, en arabe « la Pupille, » ainsi nommée parce qu'on la comparait à la pupille brillante de l'œil.

Si, au contraire, on s'éloigne de la Grande Ourse de l'autre côté, on trouve d'abord une file d'étoiles peu brillantes, qui se courbe dans la forme d'un S de grande dimension : c'est la tête de l'Ourse. Puis vient un autre pentagone, le Cocher ou Erichon <sup>1</sup>, l'inventeur des chars, dont l'une des étoiles supérieures est une belle primaire qu'on appelle la Chèvre, en latin *Capella*. On la reconnaît, entre toutes les étoiles de première grandeur, en ce qu'elle a près d'elle un triangle de petites étoiles, qui est porté sur nos dessins, et qu'on nomme les Chevreaux.

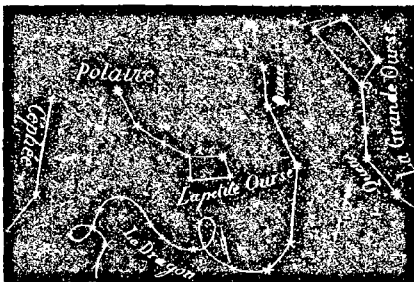
On continuera ainsi de proche en proche, en suivant pas à pas les figures de nos cartes. Un coup d'œil sur celles-ci en apprendra plus en quelques instants que ne pourrait le faire une page entière de texte. La position de la Voie Lactée, immense zone de petites étoiles très-serrées, qu'on voit tracée sur nos dessins, peut égale-

<sup>1</sup> VIRGILE, *Georgicæ* ; lib. III, v. 113.

ment servir de guide. Mais il faut éviter de sauter d'une région du ciel à l'autre. Il convient, au contraire, de passer d'une constellation à celles qui l'entourent immédiatement. On s'appuiera, dans cette recherche, sur les alignements d'étoiles qui sont déjà connues. En prolongeant les droites formées par la jonction des étoiles deux à deux, on sera à peu près certain de trouver les unes après les autres toutes les figures, sans courir le risque de s'égarer.

### § 7. MOYEN DE TROUVER LA POLAIRE.

L'un des astres les plus importants à bien connaître, c'est la Polaire. Or, lorsqu'on est familier avec la Grande Ourse, il n'est pas bien difficile de trouver l'astre par lequel le pôle est marqué. Si l'on part de la Grande Ourse, et qu'on s'en éloigne à quelque distance du côté qui correspond à la convexité de la queue, on rencontre une autre constellation d'une figure analogue, mais plus petite, composée



La Grande et la Petite Ourse. — La Polaire.

d'étoiles moins brillantes, et toujours placée dans une position contraire. C'est-à-dire que si la queue de la Grande Ourse se dirige en montant, comme on le voit

sur notre carte n° 3, la queue de la petite figure, qui est la Petite Ourse, va en descendant. Mais si, au contraire, la queue de la Grande Ourse descend, ainsi que la représente la carte n° 1, celle de la Petite Ourse est tournée en montant. En un mot, les deux Ourses sont toujours inverses en situation. De plus, des sept étoiles de la Petite Ourse, quatre sont faibles, et trois seulement ont un certain éclat et s'élèvent à la seconde ou à la troisième grandeur : ce sont les deux premières du rectangle, et la dernière de la queue, à l'autre extrémité de la constellation.

Or, cette dernière étoile de la queue de la Petite Ourse, c'est précisément la Polaire. C'est le centre des mouvements circulaires de tous les astres. C'est l'étoile qui nous donne la direction presque rigoureuse du Nord. On sait que, dans une boussole, l'aiguille ne se porte pas exactement au Septentrion. Elle pointe à l'Ouest de  $17\frac{1}{2}^{\circ}$  en 1873, et ce chiffre diminue d'un degré tous les six ou sept ans. En prenant pour guide la direction de l'aiguille aimantée, et en pointant à l'Est de  $17\frac{1}{2}^{\circ}$ , ou environ le quart d'un angle droit, puis en s'élevant verticalement au-dessus du point de l'horizon ainsi déterminé, on est sûr d'arriver à la Polaire. On peut remarquer aussi que celle-ci est sur le prolongement des deux premières étoiles du carré de la Grande Ourse, à une distance égale à environ cinq fois celle qui sépare ces deux astres. La Polaire n'est entourée à une certaine distance que d'étoiles petites, notablement plus faibles qu'elle.

## § 8. CONNAISSANCE DE L'HEURE PAR LES ÉTOILES.

Si nous considérons la queue de la Petite Ourse comme l'aiguille d'un cadran, le quadrilatère formera la pointe de cette aiguille, et la Polaire sera le point de centre, autour duquel l'ensemble se meut en vingt-quatre heures. Les deux étoiles brillantes à l'extrémité de la Petite Ourse, c'est-à-dire les deux premières du carré, sont appelées les *Gardes*. En comparant entre elles nos quatre cartes, et en examinant la situation des Gardes par rapport à la Polaire, on voit distinctement comment la Petite Ourse tourne à la manière d'une aiguille, autour du pôle pris pour pivot. C'est par ce mouvement que, dans les pays chauds, les voyageurs qui bivouaquent, et tous ceux que leurs occupations tiennent éveillés la nuit, mesurent le cours du temps. Il faut seulement se rappeler que le ciel tourne en vingt-quatre heures, et non pas en douze heures comme la petite aiguille de nos cadrans.

Depuis le moment où la Petite Ourse est droite, comme l'index d'une horloge à midi, jusqu'à celui où elle se rabat horizontalement comme cet index indiquant trois heures, il s'écoule non pas une durée de trois heures, mais une durée de six, ou un quart de jour. De cet instant jusqu'à celui où la Petite Ourse descend au plus bas et pend pour ainsi dire au-dessous du pôle, à la manière d'une aiguille indiquant six heures sur nos cadrans, il s'écoule un autre quart de jour. En général, quand on compare le ciel à une horloge dont la Petite Ourse serait l'aiguille, il faut compter les heures en double, puisqu'il y en a 24 pour une

révolution de la sphère étoilée, tandis qu'il n'y en a que 12 sur nos cadrans <sup>1</sup>.

On comprend, du reste, qu'une étoile quelconque, telle qu'Arcturus ou Wéga, peut être regardée comme la pointe d'une aiguille particulière, dont la Polaire est toujours le pivot. Chaque aiguille de cette espèce tourne également en vingt-quatre heures, et marque par conséquent les heures qui s'écoulent, pourvu qu'on sache quelle est la position de l'aiguille à minuit. Les triangles ou les carrés des différentes constellations, qui sont comme attachés à ces aiguilles fictives, se penchent et se redressent suivant la marche du temps. C'est ce qui permet aux hommes habitués à la vue du ciel de dire l'heure d'après l'inclinaison des groupes. C'est ainsi que dans *Paul et Virginie*, la Croix du Sud, en se tenant droite, annonce à Paul que la nuit est au milieu de son cours <sup>2</sup>; et c'est ainsi que Sancho, pour paraître savant, disait à son maître qu'il ferait jour dans trois heures, puisque la bouche du Cor de chasse était au-dessus de la tête, et qu'il est minuit quand elle se trouve dans la ligne du bras gauche <sup>3</sup>, c'est-à-dire à la gauche du pôle pour l'observateur.

<sup>1</sup> Remarquons de plus que ce mouvement s'exécute en sens inverse de celui des aiguilles de nos horloges.

<sup>2</sup> « Le voisin dit à Paul : Mon ami, votre sœur restera. Demain, nous en parlerons au gouverneur. Laissez reposer votre famille et venez passer cette nuit chez moi. Il est tard; il est minuit : la Croix du Sud est droite sur l'horizon. » (BERNARDIN DE SAINT-PIERRE, *Paul et Virginie*.)

<sup>3</sup> « *La boca de la bocina está encima de la cabeza, y hace la media noche en la línea del brazo izquierdo.* CERVANTES, *Don Quixote*, part. I, cap. 20. Le Cor de chasse est la Petite Ourse.



## § 9. AVANCE DIURNE.

Il serait bien facile de connaître l'heure par les étoiles, si la sphère céleste reprenait exactement chaque nuit, aux instants correspondants, la même situation. Il faudrait, pour cela, que la rotation s'opérât exactement en vingt-quatre heures civiles, c'est-à-dire vingt-quatre heures de nos horloges. Mais quand on observe le ciel chaque soir de beau temps, pendant une certaine durée, une quinzaine de jours par exemple, on reconnaît que les étoiles avancent d'environ quatre minutes par jour. Elles reviennent chaque soir quatre minutes plus tôt à la position qu'elles occupaient la veille. En une semaine, la différence est d'une demi-heure; en quinze jours, d'une heure entière, et au bout d'un mois, elle s'élève à deux heures, quantité considérable dont on ne peut manquer de s'apercevoir.

Ce phénomène d'anticipation s'appelle l'*accélération des fixes* ou l'*avance diurne*, qui, en s'accumulant, s'élève à une rotation entière en un an. Le ciel gagne, par conséquent, une révolution au bout d'une année. Les étoiles, au lieu de repasser dans cet intervalle 365 fois, sont revenues 366 fois à la même position. A six mois de distance, le ciel a gagné douze heures ou une demi-révolution. La partie de la sphère qu'on voit à minuit est donc alors la contre-partie de celle qu'on voyait à la même heure, six mois auparavant. Les étoiles qui étaient au plus haut de leur course diurne sont maintenant au plus bas, et réciproquement.

Cette circonstance est due, comme tous les peuples l'ont reconnu à leur tour, même sans instruments, à

la marche annuelle du Soleil. Celui-ci, au lieu d'être attaché au ciel comme les fixes, se meut, au contraire, sur une circonférence de la sphère. Il la parcourt tout entière en un an, pour revenir à son point de départ. Or, comme le Soleil règle le jour et la nuit, c'est la partie de la sphère opposée à celle où cet astre se trouve qui, à minuit, s'élève au milieu du ciel ou, comme s'expriment les astronomes, au *méridien*. Nous voyons alors près de quelles étoiles cet astre se trouvait six mois plus tôt, et se trouvera encore six mois plus tard.

### § 10. ZODIAQUE.

Un intérêt particulier s'attache à la ceinture de constellations que le Soleil parcourt dans sa marche annuelle, et que nous pourrons étudier en nous tournant vers le Sud, chaque soir à une heure donnée. Les Grecs ont nommé cette ceinture la zone des animaux, dans leur langue le *zodiaque*, parce que les douze constellations dont elle se compose portent pour la plupart des noms d'animaux. De mois en mois, chacune de ces constellations fait place, à minuit, à la constellation qui suit.

Il y a dans le zodiaque quatre étoiles brillantes, placées à peu près à égale distance l'une de l'autre, et qui sont comme les chefs des quatre saisons <sup>1</sup>. Le plus beau de ces astres, que nous connaissons sous le nom latin de Régulus, « royal, » passait pour conduire la marche, et semble par son éclat comme le chef ou le roi des

<sup>1</sup> Le mot « saison » n'est pas pris ici dans une acception spéciale : il désigne seulement une période de trois mois.

mouvements célestes. Il forme l'un des angles du trapèze du *Lion* (Cartes n<sup>os</sup> 1 et 4). A la fin de février et au commencement de mars, cette constellation est exactement au Sud à minuit, le carré de la Grande Ourse étant placé alors au-dessus de nos têtes, entre la Polaire au Nord et le trapèze du Lion au Midi. Cette dernière constellation a une belle secondaire à la pointe la plus reculée du trapèze, et constitue un des groupes les plus remarquables et les plus brillants du ciel.

Si l'on observe à neuf heures du soir au lieu de minuit, c'est pendant la seconde moitié d'avril que le *Lion* occupe la position que nous avons décrite. En mai, à la même heure, la *Vierge* (Cartes n<sup>os</sup> 1 et 4) vient prendre sa place. C'est une constellation en forme de V de grande dimension, accompagnée en outre d'une primaire, un peu plus bas que le V. Cette belle étoile s'appelle l'Épi, en latin *Spica*, parce qu'on supposait que la Vierge tenait à la main un épi de blé, symbole de la vie champêtre et de la paix.

La Vierge est au-dessous d'Arcturus. Après elle, vient la *Balance* (Carte n<sup>o</sup> 1), qui est en plein Sud, à neuf heures du soir, dans la seconde quinzaine de juin. Cette constellation se compose d'un losange, dont l'étoile supérieure est la plus brillante. Ici se termine la première saison.

Le *Scorpion* (Carte n<sup>o</sup> 1), conduit par la primaire Antarès, ouvre la seconde. En juillet, on le voit au Sud, assez bas sur notre horizon, à neuf heures du soir. Antarès est remarquable par sa teinte rougeâtre, qui le fait ressembler à la planète Mars, dont il sera parlé plus loin (§ 43). Aussi son nom veut-il dire en grec

Anti-Mars ou l'autre Mars. Au-dessus du Scorpion se déroule une longue file d'étoiles, qui est le Serpent, et qui se termine, près de la Couronne, par une sorte de V qu'on appelle la tête.

Le Scorpion est suivi du *Sagittaire* (Carte n° 2), dans lequel on trouve une ressemblance grossière avec un arc sur lequel est placée la flèche. Puis vient le *Capricorne*, dont on peut voir le tracé sur la Carte n° 2, et au-dessus duquel planent les trois étoiles de l'Aigle, la plus brillante étant celle du milieu. L'œil distingue très-bien, à la pointe occidentale du Capricorne, une étoile double, c'est-à-dire composée de deux étoiles qui sont fort rapprochées, ainsi que notre Carte l'indique <sup>1</sup>. Cette constellation se trouve directement au Sud, à neuf heures du soir, dans la seconde quinzaine de septembre, et avec elle se termine la deuxième saison.

La belle étoile du Poisson Austral, Fomalhaut, en arabe « la Bouche du poisson, » ouvre la saison suivante. Cette primaire reste malheureusement trop bas sur notre horizon pour faire une impression remarquable. Elle a, au-dessus d'elle, une file d'étoiles qui constitue le *Verseau* (Cartes nos 2 et 3). Puis viennent d'autres files, se rattachant à un point unique comme les branches d'un V : ce sont les *Poissons* (Cartes nos 2 et 3). Le carré de Pégase qui les surmonte, et que forment trois secondaires et une tertiaire, est beaucoup plus apparent : il constitue l'une des plus belles constellations du ciel boréal. Puis vient enfin le *Bélier*

<sup>1</sup> L'une de ces étoiles est de troisième et l'autre de quatrième grandeur. Voir la Carte n° 2.

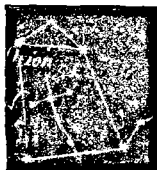
(Cartes n<sup>os</sup> 2 et 3), principalement composé de trois étoiles rapprochées, qui clôt la troisième saison.

L'étoile conductrice de la quatrième saison est une primaire rougeâtre qu'on appelle quelquefois l'œil du Taureau, mais qui conserve parmi les astronomes son nom arabe d'Aldébaran, ou « précurseur. » Les Grecs la comparaient à la flamme de leurs lampes à l'huile, et l'appelaient pour cette raison *Lampadias*. Elle n'est pas isolée, mais entourée, au contraire, de plusieurs étoiles de troisième et de quatrième grandeur, qui composent la constellation du *Taureau* (Cartes n<sup>os</sup> 3 et 4). Un peu avant elle et un peu plus haut, les Pléiades <sup>1</sup> forment un petit nuage lumineux, composé d'étoiles si serrées qu'on les distingue difficilement les unes des autres. Il n'y en a pourtant que six visibles à l'œil nu ; mais on en compte un beaucoup plus grand nombre qui sont télescopiques, et une lunette médiocre suffit pour en montrer cinquante au moins.

Le Taureau est suivi des *Gémeaux* (Cartes n<sup>os</sup> 3 et 4), sorte de long rectangle dont un des petits côtés est marqué par deux étoiles brillantes, que nous appelons, d'après les Grecs, Castor et Pollux. Mais un peu plus vers le Sud, au-dessous du Taureau et des Gémeaux, se dessine un rectangle superbe, dont la beauté est encore rehaussée par trois étoiles secondaires qui en occupent la partie centrale. C'est la constellation d'Orion, l'une des plus belles du ciel. Dans l'intérieur même du rectangle, au-dessous de ces trois astres qu'on nomme le baudrier d'Orion, mais que le vulgaire

<sup>1</sup> Le *Crihion* de nos paysans wallons.

appelle quelquefois les Trois Rois, se trouvent quelques petites étoiles si rapprochées entre elles qu'elles ont un aspect nébuleux et confus. C'était, pour les anciens, l'épée du géant pendant au-dessous de sa ceinture. Il y eut un moment où la flatterie voulut dédier ce groupe d'étoiles à Napoléon I<sup>er</sup> et l'ériger en constellation qui porterait son nom. Par une coïncidence curieuse, des



Orion.

atlas publiés en Angleterre à la même époque donnaient au groupe entier d'Orion le nom de Nelson. Mais ces innovations n'ont pas prévalu : le ciel reste aux héros et aux mythes de l'antiquité, et nos constellations sont encore, à bien peu près, celles des astronomes grecs d'Alexandrie.

Plus bas qu'Orion brille un autre quadrilatère dont l'étoile supérieure jette un éclat très-vif. Ce quadrilatère est le Grand Chien, et cette étoile est Sirius. C'est la plus belle fixe des cieux. Les quatre groupes du Taureau, des Gémeaux, d'Orion et du Grand Chien concourent à donner à notre ciel d'hiver sa magnificence. Vers la fin de janvier, cette région de la sphère est élevée au Sud à neuf heures du soir.

Sirius avait autrefois une grande importance, lorsqu'on ne connaissait encore que les étoiles pour se guider dans la mesure du temps. Son nom, qui remonte à l'époque ancienne de l'Égypte, est une forme latinisée de Siris pour Osiris. Quand, par suite de l'avance diurne, cette étoile commençait à se montrer dans le crépuscule du matin, la saison de l'inondation était arrivée, et le Nil allait bientôt monter. Tous les témoi-

gnages anciens s'accordent à porter Sirius parmi les étoiles rougeâtres, tandis que sa blancheur frappe aujourd'hui tous les yeux. C'est un exemple des changements qui se produisent parmi les astres, et sur lesquels nous aurons plus tard à revenir (§ 62).

La dernière constellation zodiacale qu'il nous reste à mentionner est celle du Cancer (Cartes nos 1, 3 et 4). Elle n'a rien de remarquable, si ce n'est un amas de très-petites étoiles placé entre deux quartaires. Cet amas a l'aspect d'une tache à peu près circulaire. Avec une lunette de spectacle, on y compte aisément une trentaine d'étoiles. Nous revenons alors au Lion, et la série s'ouvre de nouveau, ou, comme disaient les anciens, la procession repasse, conduite par l'étoile royale, l'étréscillant Régulus.

### § 11. LE PREMIER ET LE SECOND MOBILE.

Il sera bon de conserver présent à l'esprit le tableau des douze constellations zodiacales, tel que nous le reproduisons ci-dessous :

Époque de l'année.	Constellation zodiacale qui est au Sud (au Méridien) à neuf heures du soir.	Étoile conductrice.
Fin avril.	Lion.	Régulus.
mai.	Vierge.	
juin.	Balance.	
juillet.	Scorpion.	Antarès.
août.	Sagittaire.	
septembre.	Capricorne.	
octobre.	Verseau.	Fomalhaut.
novembre.	Poissons.	
décembre.	Bélier.	
janvier.	Taureau.	Aldébaran.
février.	Gémeaux.	
mars.	Cancer.	

Par suite de la rotation diurne du ciel, ces constellations, ou du moins une partie de ces constellations, se présentent à nous tour à tour, à mesure que la nuit s'avance. Mais nous ne voyons pas à l'œil nu celles qui passent pendant le jour, et qui sont voisines du Soleil. Toutefois, comme cet astre se déplace insensiblement, les constellations que nous n'apercevons pas à une époque donnée se dégagent peu à peu de la lumière. Il y a, pour chacune d'elles, un moment dans l'année où cette constellation est en *opposition*, c'est-à-dire dans la partie de la sphère opposée au Soleil. Elle se lève alors vers le soir et brille pendant toute la nuit.

Nous acquérons ainsi la notion de deux mouvements distincts. L'un, le mouvement diurne, entraîne la sphère céleste tout entière en causant le lever et le coucher des astres ; il s'étend non-seulement aux étoiles, mais au Soleil, à la Lune et aux planètes que nous aurons plus tard à mentionner. Comme c'est le premier effet qui nous frappe, et le plus général, les anciens le nommaient *primum mobile*, le premier mobile ou le premier mouvement. Puis les quatre minutes d'avance que les étoiles ont chaque jour sur le Soleil produisent le *mouvement annuel*, dont la période même détermine l'année, c'est-à-dire le cercle ou anneau <sup>1</sup>. Cette accélération ne porte que sur les étoiles, non sur le Soleil. En un an, les constellations ont gagné une rotation complète. C'est le second mouvement, qui est dû à la révolution annuelle de la Terre

<sup>1</sup> « Année » vient d'« anneau ». En latin, *annus* vient d'*annulus* : Varron le dit positivement.



dans l'espace, autour du Soleil. Mais il y en a encore un troisième, d'une période beaucoup plus prolongée, qui nous donne une plus haute idée de la majesté des phénomènes célestes, et qui commence à nous faire comprendre que dans la nature les années et les siècles même ne sont rien.

### § 12. PRÉCESSION.

C'est à peine si la vie d'un homme suffit pour découvrir les traces de ce troisième mouvement, qui se nomme la *précession*. Au moins est-il difficile de le constater dans l'intervalle d'un demi-siècle, ou même de trois quarts de siècle, quand on n'a pas à son service d'instruments délicats. Mais plus la durée s'allonge, plus les changements deviennent sensibles, et plus l'état actuel du ciel s'écarte de celui rapporté par nos devanciers. Ainsi la sphère de Pythéas ne correspondait plus avec celle de Chiron. Celle que l'on construit d'après le ciel de nos jours présente les constellations dans une position encore différente. Les figures de ces constellations ne sont pas sensiblement altérées, et le nombre et l'éclat des étoiles offrent à peine des différences au bout de plusieurs mille ans. Mais l'ensemble de la sphère change de position.

Ce fut la gloire d'Hipparque, le plus grand astronome d'Alexandrie, de montrer que la différence entre le ciel de son temps et celui des anciens Égyptiens s'expliquait par une cause unique, par un lent déplacement du pôle de la sphère. Ce pôle, en effet, ne demeure pas à la même place : il tourne avec une lenteur extrême dans un certain cercle idéal.

Il n'a pas toujours été et ne sera pas toujours à côté de la Polaire actuelle. Du temps des anciens Grecs et des Égyptiens, il était dans le voisinage de la seconde étoile de la queue du Dragon, entre la Polaire d'aujourd'hui et le carré de la Grande Ourse. Plus anciennement encore, il se trouvait tout près de la troisième étoile du Dragon, en comptant de l'extrémité de la queue. Il a passé près de la quatrième de ces étoiles, près de l'étoile la plus septentrionale du quadrilatère d'Hercule, et dans des temps fort reculés, dont le souvenir est perdu, il devait être près de la belle primaire Wéga.

Cette brillante étoile était alors immobile, ou presque immobile, la nuit et le jour. C'était autour d'elle que le mouvement diurne de tous les astres s'accomplissait. Notre Polaire décrivait donc, en ce temps-là, un large cercle, tandis qu'aujourd'hui c'est Wéga qui se meut autour de la dernière étoile de la queue de la Petite Ourse, dans une circonférence d'une telle étendue qu'en certains moments cette primaire est au-dessus de nos têtes, et qu'à douze heures d'intervalle elle va toucher l'horizon Nord <sup>1</sup>.

Ces changements continueront évidemment après nous. Le pôle n'a pas encore atteint tout à fait notre étoile polaire. Il s'en rapproche encore tous les ans. Ce rapprochement est sensible aux instruments pendant une vie d'homme. Le pôle, ou centre du mouvement diurne, est aujourd'hui plus rapproché de la Polaire qu'il ne l'était il y a trente ans, d'une quantité égale au tiers

<sup>1</sup> Voyez la situation de Wéga sur les quatre Cartes, à la fin du volume.

environ du diamètre apparent de la Lune. Cette distance diminuera encore pendant 228 ans, et en l'année 2101, le pôle passera au plus près de la Polaire, sans coïncider cependant parfaitement avec elle. Après cela, il se dirigera vers la plus boréale des trois tertiaires de Céphée, passera un peu en dehors des deux autres tertiaires de cette constellation, s'approchera de la brillante du Cygne, puis rasant pour ainsi dire une tertiaire de cette constellation, reviendra près de Wéga, pour recommencer ensuite le même cercle indéfiniment.

Le temps d'une révolution entière est, à dix ans près, de 25 725 ans, ou un peu plus de 257 siècles. Voici, pour la présente révolution, les dates auxquelles les principales étoiles que le pôle rencontre dans sa route se sont trouvées ou se trouveront dans le plus grand voisinage de ce point :

Étoile.	Date avant notre ère.	Remarques.
Wéga. . . . .	12 000 ans.	
L'étoile la plus septentrionale du quadrilatère d'Hercule.	8 600	
La 4 <sup>e</sup> de la queue du Dragon.	4 800	
La 3 <sup>e</sup> . . . . .	2 800	Polaire, au temps de Sésostris.
La 2 <sup>e</sup> . . . . .	1 300	Polaire, au temps de Ramsés II, et avant la guerre de Troie.
	Date de notre ère.	
Dernière de la queue de la Petite Ourse. . . . .	2 100 ans.	Polaire actuelle.
Tertiaire septentrionale de Céphée . . . . .	4 100	
Tertiaire moyenne de Céphée.	7 500	
Brillante du Cygne . . . . .	10 200	
Tertiaire au bras occidental de la croix du Cygne. . . . .	11 600	
Wéga. . . . .	13 700	

## § 13. CAUSE DE LA PRÉCESSION.

Les Arabes avaient continué à observer les effets de la précession, si bien exposés par Hipparque, sans découvrir la cause mécanique de cette révolution. Le mouvement diurne, ou premier mobile, est dû à la rotation de la Terre; le second mobile, ou mouvement annuel, est produit par la translation de notre globe dans une courbe immense autour du Soleil. Mais quelle est la cause qui entraîne le pôle dans le cercle qu'il décrit avec une telle lenteur? Sans doute, ce balancement circulaire appartient à notre globe même, puisqu'il s'étend à tous les astres, c'est-à-dire à tous les objets extérieurs. Mais pour déplacer dans l'espace l'axe de la Terre, ou, en d'autres termes, pour pencher lentement ce globe sur lui-même, il faut une force sans laquelle le pôle correspondrait toujours au même point.

Jusqu'à Newton, on ignorait où résidait cette force. Ce fut cet homme de génie qui, en poursuivant dans leurs détails les conséquences de la gravitation universelle dont il venait de découvrir les lois, montra que la précession est un effet de l'attraction de la Lune, du Soleil et des planètes sur le globe terrestre. Si ce globe était parfaitement sphérique, il offrirait partout à l'attraction une prise égale, si l'on peut s'exprimer ainsi. Mais, comme il est renflé dans son milieu, la force extérieure s'exerce pour ramener l'équateur terrestre dans le plan où est situé le corps attirant. C'est ainsi que la pesanteur fait bientôt retomber sur le ventre un œuf qu'on essaye de faire tenir sur la pointe. Mais supposons

qu'on imprime à l'œuf un mouvement de toupie, la rotation s'opposera à sa chute aussi longtemps qu'elle pourra durer. Si l'axe est incliné, il présentera un balancement circulaire ; et l'on voit, en effet, les toupies de nos écoliers, surtout au moment où elles vont s'arrêter, se pencher tour à tour de tous les côtés. L'astronome Bohnenberger a construit une espèce de toupie, appelée *Gyroscope*, qui, en prenant la pesanteur pour attraction extérieure, représente avec une parfaite fidélité le mouvement de l'axe en précession.

Il n'y a donc pas de doute possible sur la cause de ce phénomène céleste. La théorie de l'attraction rend même compte de la vitesse de ce mouvement, telle que nous l'observons. Car cette vitesse n'est pas absolument uniforme. Aujourd'hui, par exemple, et depuis les temps historiques, le pôle s'accélère. Comme la situation et la distance des corps attirants varient sans cesse, la force qui résulte de leurs actions combinées ne peut être constante. D'après les révolutions des planètes, on calcule les changements de cette force. On voit alors que certaines parties du cercle, un tiers ou une moitié, par exemple, s'accomplissent un peu plus vite, puis d'autres parties un peu plus lentement. Les périodes d'accélération et de ralentissement embrassent plusieurs milliers d'années. Elles ne s'achèvent pas, d'ailleurs, en même temps que le cercle, mais empiètent d'une révolution sur l'autre. Elles ne sont pas toutes égales entre elles, ni pour la durée, ni pour l'importance de l'accélération ou du ralentissement. Mais elles n'ont qu'une très-petite influence sur le mouvement général.

En l'an 3 040 avant notre ère, le pôle a eu sa moind-

dre vitesse, qui, en supposant qu'elle eût continué, aurait exigé 25 800 ans pour une révolution. Mais il a commencé dès lors à s'accélérer. En l'an 2 360, il aura sa vitesse moyenne, correspondant aux 25 725 ans cités plus haut. En l'an 7 600, il sera arrivé à sa plus grande accélération, qui lui ferait parcourir le cercle en 25 650 ans. Après cette époque, il commencera à se ralentir de nouveau, et avant qu'une révolution entière soit accomplie, il augmentera encore et diminuera de vitesse une ou deux fois.

A la période principale d'un peu plus de vingt-cinq mille années, se superposent donc des changements, très-petits, il est vrai, mais d'une variété incessante, qui passent d'une révolution à la révolution suivante, sans jamais s'arrêter. Quelle haute idée ces changements ne donnent-ils point de la grandeur et de la majesté des phénomènes célestes ! A côté d'une seule révolution de la précession, la durée entière de l'histoire n'est qu'un point. Le souvenir des anciens ne remontait même pas au temps où Wéga a occupé le pôle pour la dernière fois, et les Grecs ne nous parlent positivement que de l'étoile de la queue du Dragon la plus voisine de la Polaire actuelle. C'est seulement le huitième d'une révolution : c'est dans ce huitième que tient toute l'histoire classique jusqu'au temps présent, tandis que le ciel nous a donné l'idée non-seulement d'une révolution entière, mais d'une suite de révolutions variées dans leurs détails, pendant qu'elles s'accomplissent pour l'ensemble dans la majesté la plus imposante.

La haute antiquité que s'attribuaient l'Égypte et la Chine s'efface devant ces durées. Lorsque Platon par-

lait aux prêtres égyptiens des dix ou douze siècles dont la Grèce se vantait alors, ces prêtres lui répondaient en citant leurs traditions bien autrement anciennes, et lui disaient : « Platon, vos Grecs ne sont que des enfants. » Mais, après avoir étudié les mouvements de la sphère, que dirons-nous maintenant de l'histoire tout entière, de cette histoire qui se butte bientôt à l'état sauvage partout où nous la remontons ? Ce n'est pas seulement la Grèce qui est jeune, c'est la civilisation qui ne fait pour ainsi dire qu'éclorre, et qui, si avancée qu'elle nous paraisse, ne peut être encore qu'un enfant.

#### § 14. CHANGEMENTS SÉCULAIRES DANS L'ASPECT DES CONSTELLATIONS.

Le déplacement du pôle n'est pas, d'ailleurs, le seul effet sensible de la précession. La partie de la sphère toujours élevée sur l'horizon, qui entoure ce pôle, doit changer à mesure que son centre varie. Aujourd'hui, c'est l'espace compris entre Wéga, la Chèvre, la Grande Ourse et Cassiopée, qui est constamment visible, et qu'on retrouve en effet sur chacune de nos quatre Cartes. Mais quand Wéga est polaire, c'est l'aire comprise entre la Polaire d'aujourd'hui, la Couronne, la dernière partie de la queue du Serpent et les étoiles entre Pégase et le Cygne. L'aspect de nos cartes serait donc complètement changé. Toutes les étoiles des Cartes n<sup>os</sup> 1 et 2, par exemple, étant reportées davantage vers le haut du cadre, il y aurait place, dans la partie inférieure de ces dessins, pour d'autres constellations qui n'atteignent jamais notre horizon aujourd'hui. Insensi-

blement nous verrions ainsi paraître dans nos climats des étoiles qui nous sont maintenant cachées, y compris celle même qui occupe de nos jours le pôle austral. Le temps découvrirait ce qu'il faut chercher à présent par les voyages. Des annales célestes, comme celles que tenaient les Chaldéens et que tiennent encore les Chinois, suffiraient pour faire connaître à l'habitant d'un même lieu du globe une partie des étoiles dont il ignorait l'existence, si ces observations étaient continuées pendant une période entière de la précession.

Ainsi nos contrées ont joui, dans un certain temps, du spectacle de constellations que nous appelons aujourd'hui des constellations australes, et qu'on ne voit plus qu'en se transportant dans les zones du Sud. Mais, en revanche, nous avons gagné la vue de groupes nouveaux, tels que le Grand Chien avec Sirius, et Orion lui-même, qui étaient autrefois exclusivement austraux.

Il y a onze mille ans environ que, par l'effet du mouvement de la sphère, Sirius a commencé à paraître sur l'horizon de la péninsule de Grèce. Il y en a un peu plus de huit mille qu'on le voit en Belgique; mais il n'y en a pas beaucoup plus de six mille qu'il monte sur l'horizon de la Néva et des îles Shetland. Dans quatre mille six cents ans, il disparaîtra de nouveau de ces dernières régions, car il est à peu près aujourd'hui dans sa plus grande digression vers le Nord. Dans six mille cinq cents ans, il cessera d'être visible dans notre pays; plus tard, il sera même difficile de le voir en Égypte; enfin, dans un peu plus de douze mille ans, quand il faudra aller le chercher jusqu'en Nubie ou à Ténériffe,



il commencera à revenir lentement au Septentrion.

Ces changements de hauteur sur un même horizon, combinés avec la marche du Soleil qui parcourt invariablement le zodiaque, se reflètent dans les époques du coucher du soir et du lever du matin. En Égypte, du temps de Sésostris ou Ramsès le Grand, Sirius, après avoir été effacé par le voisinage du Soleil, se levait de nouveau, dans le crépuscule du matin, vers le 20 juin de chaque année; et comme l'inondation se déclare vers le 5 juillet, cette belle étoile servait d'annonce à la crue du Nil. Mais, vers l'invasion des Hyksos ou rois pasteurs, Sirius ne reparaisait plus dans l'aube du jour qu'au moment même où le fleuve montait. Sous Ramsès II, on ne le revoyait que le 10 juillet, trop tard, par conséquent, pour annoncer la crue. Sous les Ptolémées, il se faisait attendre plus longtemps encore; et les Égyptiens d'aujourd'hui ont peine à le distinguer à l'horizon brillant du matin, avant le 10 ou le 11 août. Ici, ce n'est pas seulement par spéculation que nous rétablissons les phénomènes : les faits dont nous parlons sont rapportés par les historiens, ou consacrés par des sculptures et des monuments.

Pour des changements plus éloignés, il faut s'en remettre naturellement aux déductions de la théorie. De toutes les constellations qui nous sont cachées aujourd'hui, il en est peu d'aussi remarquables que la Croix du Sud. Or, pendant que Sirius montait, la Croix du Sud n'a fait que s'éloigner de nous depuis neuf mille ans. Elle s'est montrée anciennement jusqu'en Finlande. Il y a un peu plus de quatre mille ans qu'on a cessé de la voir en Belgique. Au temps d'Alexandre,

on la perdait de vue dans la Macédoine ; et de nos jours, c'est seulement dans la haute Égypte qu'on commence à l'apercevoir. Dante, qui en parle avec enthousiasme, n'a pu la connaître que par les Arabes. Dans 3 700 ans, il faudra descendre pour la voir jusqu'au détroit de Bab-el-Mandeb. Mais elle commencera ensuite à se relever vers nous.

En un mot, la précession nous cache et nous découvre tour à tour de nouvelles parties de la sphère étoilée. Le ciel de chaque contrée change, sinon de siècle en siècle, au moins de mille en mille années. Il y a cependant des astres que sous nos latitudes on ne verra jamais. De ce nombre sont la belle primaire du ciel austral, Canopus, et les amas lumineux de petites étoiles, appelés les Nuées de Magellan.

### § 15. VARIATION D'OBLIQUÉTÉ.

Les mêmes causes qui empêchent le mouvement du pôle d'être parfaitement uniforme en vitesse, l'empêchent aussi de s'exécuter dans un cercle parfait. Ce pôle se porte tour à tour un peu en dedans et un peu en dehors d'une trace exactement circulaire. C'est comme si le cercle se rétrécissait, et rentrait en lui-même à la manière d'une spirale, pour s'élargir ensuite de nouveau. Pendant des milliers d'années, en même temps que la vitesse du pôle s'accélère, l'arc de cercle qu'il décrit se courbe à l'intérieur, comme si le cercle allait en se rapetissant. C'est là ce qui se passait durant tous les temps historiques, et ce qui se poursuit encore aujourd'hui. Non-seulement le pôle se rapproche à pré-

sent du centre idéal du mouvement, mais il gagne un peu plus dans chaque siècle que dans le siècle précédent. Toutefois ce rétrécissement aura un jour sa limite. Le pôle commencera à s'écarter, et finira par passer en dehors du cercle moyen ; puis il se rapprochera de ce cercle et y rentrera encore, et ainsi indéfiniment. Pendant ce temps, il chemine, sans jamais s'arrêter, dans sa courbe de vingt-cinq mille ans. Les petits écarts dont nous parlons ne sont qu'un nouveau trait de variété, qui brise la monotonie de ces majestueuses révolutions.

La contraction et la dilatation successives de la courbe dans laquelle le pôle se meut, a reçu le nom de *variation d'obliquité*. Le changement porte en effet sur l'obliquité de l'axe des pôles par rapport au centre invisible du mouvement de précession. La ceinture du zodiaque s'incline alors plus ou moins sur l'horizon. Le Soleil, qui décrit le zodiaque, atteint donc, en été et en hiver, des limites de hauteur qui sont plus ou moins écartées entre elles. Quand Dominique Cassini vérifia la méridienne tracée fort anciennement sur les dalles de l'église Saint-Pétrone à Bologne, il put constater que la marque du Soleil venait moins loin au Sud en été, et moins loin au Nord en hiver, que ne l'avaient indiqué ses devanciers. Or, cette diminution d'obliquité durait depuis l'antiquité historique la plus reculée. Vers l'an 1 100 avant notre ère, l'excursion annuelle du Soleil, vers le Sud et vers le Nord, mesurée par Tchéou-Koung à la Chine, montre qu'à cette époque le rayon de la courbe décrite par le pôle était plus grand qu'aujourd'hui des deux tiers d'un diamètre apparent

du Soleil. Il y eut un temps où, durant les plus longs jours d'été, cet astre s'élevait assez sur l'horizon de l'Égypte, pour éclairer, à l'instant de midi, le fond du puits célèbre de Syène. Tandis qu'aujourd'hui on ne voit plus le disque du Soleil dans l'eau de ce puits, on ne voit plus même l'image du bord de ce disque. Ici encore, les observations que l'histoire nous transmet vérifient complètement la théorie; et si nos vérifications ne vont pas plus loin, c'est que la tradition humaine date seulement d'hier.

Il y a un véritable charme pour l'esprit à contempler ces balancements, dont les périodes sont si vastes que non-seulement la vie de l'homme, mais l'histoire entière n'est, à côté d'elles, qu'un seul point. Quelle durée supposent ces révolutions de vingt-cinq mille années, qui se succèdent sans absolument se ressembler! Que faut-il admirer davantage, de la stabilité et de la majesté du phénomène principal ou de la variété infinie des détails qui l'accompagnent? A quel spectacle pourrait-on plus justement appliquer la magnifique expression de Platon, « l'image mobile de l'immobile éternité <sup>1</sup>? »

#### § 16. NUTATION.

En déterminant les causes de la précession, Newton avait vu que non-seulement la vitesse du pôle et le rayon de la courbe dans laquelle il se meut varient sans cesse; mais il avait indiqué une particularité de ce

<sup>1</sup> PLATON, *Timæus*. — Reproduit par J.-B. Rousseau dans l'*Ode au Prince Eugène*.

mouvement que l'observation n'avait pas fait connaître encore. L'attraction la plus puissante est celle de la Lune, à cause de la proximité de cet astre; or, le plan dans lequel la Lune se meut oscille lui-même en 18 ou 19 années, ainsi qu'on le verra plus loin (§ 39). Le pôle, disait Newton, doit refléter cette oscillation, puisque la force qui le déplace change régulièrement de direction. Il doit donc se trouver tantôt un peu en dedans, tantôt un peu en dehors de la trace générale qu'il parcourt; il doit être tantôt un peu en avance, tantôt un peu en retard sur son pas régulier. Sa route réelle, au lieu d'être une spire lentement et régulièrement courbée, est légèrement festonnée, présentant successivement des écarts ou ondes de l'un et de l'autre côté. C'est ce que Newton appelait du nom de *nutation*.

On croyait ce mouvement trop délicat pour être jamais appréciable. Mais près d'un siècle après Newton, son compatriote Bradley, ayant fait à l'Observatoire de Greenwich une longue série d'observations très-précises, trouva aux étoiles un petit déplacement périodique, embrassant dix-huit ans et demi, qui ne pouvait être que la nutation annoncée par le grand mathématicien.

Avec les instruments perfectionnés qu'on emploie de nos jours, tous les astronomes sont à même de constater ce mouvement. Si l'on dirige une lunette vers une étoile donnée, une étoile du zodiaque par exemple, et qu'on laisse la lunette invariablement dans sa position, l'étoile revient le lendemain dans le champ de l'instrument quatre minutes ou environ plus tôt. Elle continue de même à paraître dans la lunette une fois par jour,

indéfiniment. Mais le plus petit déplacement du pôle autour duquel cette étoile tourne, est attesté par l'observation de ces retours successifs. Si le pôle se porte vers le Nord, l'étoile repassera plus bas dans le champ de la lunette, tandis que s'il s'écarte au Sud, elle paraîtra plus haut. Si ce pôle se dirige à l'Est, l'étoile reviendra plus tôt que l'heure ordinaire, et s'il se transporte à l'Ouest, elle ne reparaitra que plus tard. C'est ainsi que dans une lunette installée sur le pont d'un navire, on voit les objets du rivage monter et descendre dans le champ de vue, suivant le balancement du vaisseau. Or, dans l'observation de la précession et de la nutation, notre plancher c'est la Terre, dont le globe se penche lentement sous l'action de la Lune, et dont l'axe trace au ciel une courbe ondulée, comme pourrait le faire le mât prolongé d'un vaisseau.

La courbe entière, décrite en un peu plus de vingt-cinq mille années, ne renferme pas, d'ailleurs, un nombre exact de vacillations, en sorte qu'ici encore les révolutions successives se ressemblent dans leurs traits généraux, sans être absolument pareilles dans leurs détails. Dans le cercle entier, il y a environ 1 382 ondulations en dehors et 1 382 ondulations en dedans, ou 2 764 ventres tant d'un côté que de l'autre du tracé général. On se fera, du reste, une idée de la délicatesse du mouvement de nutation, en comparant ces petits ventres ou festons à la distance mutuelle d'étoiles fort rapprochées entre elles. Traçons, des deux côtés de la courbe suivie par le pôle, les limites entre lesquelles s'opère le mouvement de lacet : ce sera la mesure de l'amplitude totale des ventres. Eh bien, la distance entre ces deux limites

ou amplitude de la nutation, ferait seulement un vingtième de l'espace compris entre les deux étoiles qui composent l'extrémité occidentale du Capricorne (§ 10), et un trente-cinquième de celui qui sépare Alcor de l'avant-dernière de la queue de la Grande Ourse (§ 6). Jusque dans les moindres détails, l'observation vérifie la théorie de la gravitation.

### § 17. ABERRATION.

Mais ce n'est pas tout ce que les observations de Bradley lui apprirent. Cet astronome trouva aussi aux étoiles un autre mouvement périodique, qui se reproduit exactement après une année, et qu'on connaît sous le nom d'*aberration*. Les étoiles, décrivant dans ce mouvement de petites ellipses ou ovales, tournent en un an autour d'une position moyenne ou centrale qu'elles n'occupent jamais. Ce mouvement se règle exactement sur celui de la Terre autour du Soleil, dont il offre pour ainsi dire l'image, ou plutôt le symbole. En effet, la figure de ces petites orbites n'est pas rigoureusement copiée sur celle de l'orbite terrestre. Plus on se rapproche du zodiaque, plus les ellipses deviennent aplaties, tout en conservant la même longueur. Dans le zodiaque même, elles perdent tellement de leur largeur que les côtés opposés sont presque en contact, et l'ovale devient si étroit qu'il se réduit à peu près à une petite droite, sur laquelle l'étoile se meut tantôt dans un sens et tantôt dans le sens opposé.

Mais, dans ce va-et-vient, elle se règle encore sur le mouvement annuel de la Terre, comme les étoiles plus

voisines du pôle, qui tournent dans des ovales beaucoup plus arrondis. C'est donc partout, pour toutes les étoiles, le reflet de la circulation annuelle de notre globe autour du Soleil. Il n'a pas été difficile aux astronomes de faire voir que l'aberration n'est qu'un déplacement apparent, et non un mouvement réel. C'est l'effet de la vitesse de la lumière, qui se compose avec celle de notre globe dans son orbite. Entraînés avec ce globe, nous voyons chaque étoile un peu en avant du lieu qu'elle occupe réellement. C'est ainsi, a-t-on dit, que le voyageur placé dans une voiture ouverte, traînée rapidement, sent toujours la pluie lui frapper le visage, même lorsqu'elle tombe verticalement. Il lui paraît qu'elle vient dans quelque mesure au-devant de lui. Or, il en est exactement de même de la lumière, et les étoiles semblent venir un peu au-devant de nous.

Mais, comme la Terre se meut dans un certain sens pendant six mois, puis dans le sens contraire pendant les six mois qui suivent, de même les étoiles reviennent, après la première moitié de l'année, dans le sens contraire de celui qu'elles suivaient d'abord. Et l'accord ne s'arrête pas là. Les expériences directes faites à la surface de la Terre sur la vitesse de la lumière, celles de 1862 par exemple, donnent le chiffre de 298 000 kilomètres par seconde. Or, cette vitesse, combinée avec celle de 30 kilomètres par seconde de la Terre dans son orbite, fournit précisément, pour les petits ovales d'aberration, les dimensions qu'on leur trouve en réalité.

Par l'aberration, nous voyons en quelque façon la Terre circuler dans son orbite, ou du moins nous voyons un effet sensible de cette circulation. C'est ainsi



que dans la célèbre expérience de Foucault, la rotation du pendule est une image de la rotation diurne de la Terre. De même l'aberration des étoiles est une image de sa translation annuelle autour du Soleil.

### § 18. RÉSUMÉ DU CHAPITRE 1<sup>er</sup>.

Si l'on essaye de résumer ce que nous venons d'exposer brièvement, on voit que la sphère étoilée est animée des mouvements suivants :

1. La rotation diurne, ou premier mobile. — Sa période est d'un jour : son effet est de changer d'heure en heure la situation des étoiles, en les faisant tourner toutes autour du pôle ; sa cause est la rotation journalière du globe qui nous porte avec lui.

2. La révolution annuelle, ou second mobile. — Sa période est d'un an : son effet est de ramener aux mêmes heures des constellations différentes dans différentes saisons ; sa cause est la translation annuelle de la Terre dans son orbite autour du Soleil.

3. La précession. — Sa période moyenne est de 25 725 ans : son effet est d'entraîner lentement le pôle du ciel, dans une courbe à peu près circulaire, à travers des constellations différentes ; sa cause est l'attraction de la Lune, du Soleil et des planètes sur le renflement équatorial de notre globe.

4. La variation d'obliquité. — Ses périodes sont inégales, mais de plusieurs milliers d'années : son effet est tantôt de resserrer, tantôt d'élargir, dans des proportions d'ailleurs fort limitées, le cercle dans lequel le pôle se meut par la précession ; elle provient du fait

que les corps attirants qui causent cette précession changent incessamment de position.

5. La nutation. — Sa période est de dix-huit ans et demi : son effet est de donner un aspect de lacet ou de feston à la route du pôle dans le ciel ; sa cause est le changement régulier et périodique de la direction dans laquelle s'exerce l'attraction de la Lune.

Enfin, à ces mouvements qui affectent la sphère tout entière, parce que ce sont en réalité les mouvements de notre propre globe, il faut joindre l'aberration, qui a les mêmes traits généraux pour toutes les étoiles sans être cependant identique pour toutes. C'est une conséquence optique du mouvement de translation de la Terre, et sa période est par conséquent d'un an.



## CHAPITRE II.

---

### § 19. LES ÉTOILES SONT DES SOURCES DE LUMIÈRE.

Le premier point était de savoir comment se meut la sphère étoilée. C'est là le premier résultat de l'observation, tant pour l'individu que pour les peuples qui, en sortant de l'état sauvage, commencent à se rendre compte de ce qui les entoure. Les Chinois, les Babylo-niens, les Égyptiens, les Grecs, connaissaient les plus apparents de ces mouvements généraux ; et il en était de même dans le Nouveau-Monde des Aztèques et des Péruviens. Tous ces peuples avaient mesuré, par exemple, la durée de l'année, non pas grossièrement, mais avec une grande précision : ce qui prouvait qu'ils avaient conclu cette durée d'une longue période d'ob-servation.

Mais, après avoir reconnu les mouvements, la question qui se présentait à l'esprit était de savoir ce que sont les étoiles. L'éloignement où ces astres se trouvent placés est très-inégal. Ils sont jetés sur des plans divers et à des profondeurs différentes dans l'espace, comme les arbres d'une sapinière pour le paysagiste occupé à les dessiner. C'est donc seulement en apparence que le ciel est une sphère solide, — une grande fleur bleue en clochette, retournée au-dessus de nos têtes, a dit quelque part un écrivain. C'est, au contraire, un espace ouvert indéfini. Sa couleur d'azur est la couleur propre de l'atmosphère, qui devient sensible quand nous regardons à travers des couches d'air de quelques kilomètres. Il n'y a pas plus de voûte de cristal à traverser pour parvenir aux astres, qu'il n'en existe entre nous et les montagnes éloignées, qui se peignent, comme eux, sur un fond bleu.

On ne pouvait faire que deux hypothèses sur la nature des étoiles. Ou bien ces astres brillaient par eux-mêmes, ou bien leur éclat était emprunté. En d'autres termes, c'étaient de véritables sources de lumière, ou seulement des corps éclairés par un fanal extérieur. Pythagore avait défendu la première opinion. Toutefois ce fut seulement Halley, contemporain de Newton, qui donna à cette hypothèse une valeur scientifique. Il pouvait, en effet, s'appuyer de plusieurs faits inconnus aux anciens. On avait appris que la distance des étoiles est immense, qu'elle dépasse énormément la distance du Soleil ; et cet éloignement extrême n'était pas compatible avec l'idée que cet astre leur prêtât son éclat. Il n'y avait pas, d'ailleurs, d'autre source ou fanal pour

les éclairer. Elles étaient donc autant de sources de lumière par elles-mêmes. Cette proposition, toute probable que Halley l'eût rendue, avait encore besoin cependant d'une confirmation positive.

Il fallait montrer que la lumière qui nous vient de chaque étoile est distincte, c'est-à-dire qu'elle présente des traits individuels qui la différencient de toutes les autres. Car si ces astres empruntaient leur éclat à une source unique, leur lumière reproduirait partout les caractères de la lumière-mère, s'il est permis de s'exprimer ainsi. L'analyse des rayons lumineux à l'aide du prisme, exécutée par Newton, vint fournir les moyens de distinguer entre elles les sources de lumière. Les images lumineuses dans lesquelles les couleurs se trouvent séparées, sont connues, comme on sait, sous le nom de *spectres*. Or, les spectres varient suivant la source de lumière qu'on vient à analyser. Ils diffèrent surtout entre eux par le nombre et la disposition des *raies* qui les sillonnent transversalement.

Toutefois ce fut seulement au commencement de ce siècle que Fraunhofer, après avoir étudié ces raies dans plusieurs lumières, eut l'idée d'examiner l'image prismatique de quelques belles étoiles. Il reconnut immédiatement que le spectre de chacune d'elles est distinct, et que tous sont différents du spectre du Soleil. Frédéric Struve, de l'Observatoire de Dorpat en Russie, remarqua un peu plus tard que les étoiles rougeâtres ont dans leur spectre un espace rouge comparativement plus étendu ; les étoiles bleues montrent dans ce spectre une prépondérance des rayons bleus, et ainsi de même pour les étoiles des différentes couleurs.

Ce sont là autant de preuves que ces étoiles sont des sources de lumière distinctes.

Ces observations les mettaient déjà sur le rang du Soleil. Elles avaient, comme ce grand lumineux, leur lumière propre et, par conséquent, leur individualité physique. Et quant à la différence d'éclat, elle n'offrait rien d'étonnant en elle-même, puisqu'il était reconnu que le Soleil est relativement beaucoup plus près de nous. Il était même facile de calculer, comme le fit Wollaston, que notre Soleil, si nous pouvions le transporter à la distance des étoiles qui paraissent les moins éloignées, ne semblerait plus lui-même qu'une étoile, tout au plus une étoile de seconde grandeur.

Ainsi voilà le ciel peuplé d'une multitude de soleils, qui diffèrent seulement entre eux par l'éclat, le volume, la teinte et la distance. De tous ces soleils il y en a un, le Soleil proprement dit, qui nous paraît beaucoup plus gros et plus brillant que les autres ; mais c'est uniquement parce qu'il est plus rapproché de nous.

## § 20. PREMIÈRES NOTIONS SUR LA NATURE DES SOLEILS.

La première idée qui se présente quand on considère le Soleil qui nous éclaire, est celle d'un boulet chauffé au blanc, — boulet immense, puisque le diamètre de cet astre est plus de cent fois celui de notre globe. Mais l'attraction mécanique que le Soleil exerce sur les autres astres ne répond pas à cette conception. Cette attraction est beaucoup trop faible pour une boule de métal : elle indique seulement un globe qui, dans son ensemble,

ne peut avoir qu'une densité fort peu supérieure à celle de nos bois de construction. Et comme la densité d'un corps céleste est plus grande au centre qu'à la surface, il en résulte que la couche extérieure du Soleil ne peut être composée que de corps légers. Qu'il y ait combustion à cette surface, c'est ce qu'il est permis de conclure non-seulement de l'incandescence, mais de la chaleur que nous ressentons, à l'immense distance où nous sommes placés. La question alors se présente de savoir quelle est la substance qui brûle. Est-ce un combustible d'une nature toute particulière et inconnue sur la Terre? est-ce du gaz? est-ce du charbon?

A cette dernière hypothèse on aurait pu sans crainte faire une réponse négative. Car le Soleil au zénith, c'est-à-dire quand il est au sommet du ciel, fond en une heure une couche de glace d'un peu plus d'un centimètre d'épaisseur. Et comme on connaît sa distance, on calcule aisément que pour produire, de l'immense éloignement où il se trouve, un effet semblable, il faudrait brûler dans le même temps à la surface de l'astre une couche de charbon de forge de quatre mètres environ d'épaisseur. A ce compte, si le Soleil était de la houille brûlante, il serait entièrement consumé en moins de six mille ans. Sa diminution serait rapide et sensible, ce qui est contraire à l'observation.

La première notion physique sur la nature de la lumière solaire fut celle qu'Arago tira d'un examen au polariscope. Les rayons du Soleil ne contiennent pas de lumière polarisée, et cette circonstance indiquait pour Arago que la combustion s'opère dans une flamme de gaz. C'est, en effet, une analogie à notre gaz d'éclai-

rage, où des particules solides extrêmement fines brillent dans une masse gazeuse suréchauffée.

Arago tourna ensuite le polariscope vers les étoiles; mais celles-ci sont si loin de nous qu'elles n'offrent pas de disque sensible, et que l'application de l'instrument fut sans résultat. Toutefois si l'on prend les étoiles qui varient d'éclat et dont nous parlerons par la suite (§62), leur lumière vient à différents moments de parties différentes de leur disque. En leur appliquant, à plusieurs jours d'intervalle, le polariscope, on obtient deux images de source différente, que l'on peut comparer entre elles. C'est alors comme si l'astre avait un disque apparent. Or, cette épreuve apprit au savant français que la lumière de ces étoiles est analogue à celle du Soleil et, par conséquent, analogue encore à nos flammes de gaz.

### § 21. CONSTITUTION GÉNÉRALE DU SOLEIL.

Néanmoins l'investigation n'allait pas plus loin, lorsque Kirchhoff, de Heidelberg, découvrit, il y a une dizaine d'années, les rapports qui existent entre les raies du spectre et la nature chimique de la substance d'où la lumière émane. Il fut alors constaté que l'atmosphère qui enveloppe le Soleil est composée en grande partie d'hydrogène, le plus léger des gaz que nous connaissons, et qu'à la surface brillante de l'astre il y a, dans le gaz suréchauffé, des nuages de poussière métallique d'où vient en particulier le grand éclat du Soleil. Dès 1862, Kirchhoff signalait, parmi les corps dont il distinguait les raies dans le spectre solaire, le sodium,



le magnésium, le fer, le chrome et le nickel, avec de petites quantités de barium, de cuivre et de zinc. Parmi les additions qu'on a faites à cette liste, il n'y a guère lieu de mentionner que celle du calcium.

Il est donc probable qu'à la haute température de la partie centrale du Soleil, les éléments chimiques sont dissociés, et volatilisés en masse transparente, mais que vers la surface ils se précipitent et se recomposent par le refroidissement. C'est ce que les géologues pensaient depuis longtemps de l'ancienne condition de la Terre; c'est l'idée qu'ils se formaient du premier état d'un astre, pendant la période de suréchauffement.

Le Soleil serait donc une immense boule gazeuse, à une température excessivement élevée, — les gaz se trouvant liquéfiés peut-être dans la partie centrale, par suite de la haute pression. Ces gaz sont formés des particules dissociées de tous les corps chimiques qui entrent dans la composition de l'astre. Dans cette immense sphère, les vapeurs se rangent sans doute en quelque mesure d'après leurs pesanteurs spécifiques. Cette masse de vapeurs transparentes est ce qu'on nomme le *noyau* du Soleil.

Mais quand on approche de la surface, qui se refroidit sans cesse par rayonnement, les vapeurs se prennent successivement; elles forment des pluies ou des neiges métalliques, suivant qu'elles repassent à l'état liquide ou à l'état solide. C'est alors que jaillit des particules précipitées l'éblouissante lumière qui nous éclaire. La couche où ce phénomène se passe a été appelée *photosphère*, ou sphère de lumière.

Ces pluies et ces neiges de particules métalliques ne

trouvent pas de sol ferme pour les arrêter. Mais, en tombant, elles rentrent dans l'intérieur de la masse, dont les couches sont de plus en plus chaudes à mesure qu'on s'abaisse, et bientôt elles se volatilisent de nouveau. On peut donc se figurer une circulation de haut en bas et de bas en haut, analogue à celle de la pluie et de la vapeur d'eau dans notre atmosphère.

En même temps il est probable qu'à la température plus basse des couches extérieures de la photosphère, beaucoup de combinaisons chimiques se reforment. L'eau, par exemple, décomposée à 1 000 ou 1 200 degrés de chaleur, doit être réduite dans le noyau solaire, et même dans la plus grande partie de la photosphère, à ses éléments constituants, l'oxygène d'une part et l'hydrogène de l'autre. Mais dans une certaine proximité de la surface, quand on atteint des couches où la température est suffisamment abaissée, l'eau se reforme avec dégagement de lumière; elle flotte en vapeur, pour se décomposer de nouveau quand cette vapeur descend dans des couches plus chaudes.

L'hydrogène, remarquable entre tous les gaz par sa légèreté, surnage à la photosphère. Il compose la plus grande partie d'une enveloppe rosée, trop peu lumineuse pour être visible dans les circonstances ordinaires, mais que l'on distingue quand la photosphère est cachée. On l'a nommée *chromosphère*, ou sphère de couleur. Cette couleur indique que l'hydrogène y est chauffé au rouge. On ne peut s'étonner que son éclat soit relativement faible, car c'est le propre des gaz auxquels ne sont point mêlées des poussières.

L'astre éclatant, tel que nous le voyons tous les

jours, se réduit à la photosphère. C'est seulement dans les éclipses totales que nous apercevons l'enveloppe colorée. Le disque de la Lune, placé dans ces circonstances devant le Soleil, apparaît noir comme de l'encre, avec une faible lumière diffuse à son pourtour. Au bord même du Soleil, lorsque la photosphère est près de reparaitre, on distingue nettement la petite couche rose de la chromosphère. Au delà vient ce qu'on appelle l'*atmosphère* du Soleil, remplie de nuages rougeâtres, de formes diverses et de dispositions irrégulières. Les bosses qu'ils présentent sont nommées les *protubérances*. Enfin s'étend une *couronne* d'un blanc argenté, qui se prolonge à quelque distance, et qui semble striée dans le sens des rayons.

Le Soleil se compose donc des parties suivantes :

*a.* Le noyau ou intérieur, que nous ne voyons pas, où la température est le plus élevée ;

*b.* La photosphère ou sphère de lumière, qui forme une couche autour du noyau, et qui constitue l'enveloppe éclatante du Soleil ;

*c.* La chromosphère ou enveloppe rose d'hydrogène, qui surnage à la photosphère ;

*d.* L'*atmosphère* du Soleil, remplie de nuages rougeâtres, affectant des formes irrégulières et changeantes ;

*e.* Enfin, la couronne blanchâtre, où flottent quelques-unes des matières composantes du Soleil, mais dont la nature n'est pas bien connue.

Représentons par le chiffre 1 000 le rayon du disque solaire, c'est-à-dire de la photosphère. A cette échelle, le diamètre de notre globe ne serait pas tout à fait 18,

tant le Soleil surpasse la terre par ses dimensions. On trouve, pour l'épaisseur de la couche rose ou chromosphère, le chiffre 10 ou 12; pour l'atmosphère solaire, 150 ou 180, et pour la couronne, 350 environ. Bien que les protubérances ne soient visibles que dans les éclipses, Janssen a eu l'heureuse idée de les étudier en tout temps, par le spectre qu'elles donnent dans les lunettes à prismes. On peut suivre ainsi les changements qui s'y opèrent pour ainsi dire sans interruption.

### § 22. TACHES DU SOLEIL.

L'état du Soleil, en effet, n'est pas invariable; cet astre offre, au contraire, de perpétuelles modifications. A peine venait-on d'inventer le télescope, en 1610, que Scheiner avait observé sur la surface solaire des *taches* noires, qui paraissent et disparaissent comme les bulles ou l'écume à la surface de l'eau. Il y en a qui ne durent que quelques jours; d'autres subsistent pendant plusieurs semaines, et même pendant des mois entiers. Une tache paraît subitement; elle prend son développement en un jour, et, après avoir présenté durant un temps plus ou moins long un aspect à peu près constant, elle disparaît assez rapidement. Parfois il y a des taches qui se divisent; il y en a qui s'écartent des taches nouvelles, comme si celles-ci les repoussaient. En un mot, on peut voir dès l'abord que ces phénomènes se passent non sur un sol ferme, mais dans la mobilité d'une masse aérienne.

Un des faits les plus intéressants que Scheiner constata par l'observation des taches, c'est que le Soleil

tourne sur un axe comme notre globe, et dans le même sens que celui-ci. Les taches passent de l'Est à l'Ouest du disque, et, après avoir disparu d'un côté, reviennent de l'autre, pour traverser le disque de nouveau. Ce mouvement est commun à toutes. C'est donc le globe même du Soleil qui tourne sur son axe en vingt-cinq jours et demi environ.

Mais indépendamment de cette rotation qui entraîne avec elle tous les objets de la surface solaire, les couches gazeuses de l'astre ont la mobilité naturelle à une atmosphère. Les taches présentent des mouvements de transport qui annoncent des courants. Il y a, comme sur la Terre, des vents alisés, toutefois dans une direction opposée. Dans le Soleil, en effet, la partie chaude de l'atmosphère paraît être celle des pôles, et la zone relativement froide de cette atmosphère, celle de l'équateur. C'est ce que Stoney explique par ce fait que l'atmosphère solaire étant plus mince au pôle, y est plus échauffée par la chaleur rayonnée. Du choc des courants doivent naître des tourbillons ou cyclones, dont les taches sont les signes visibles. Ces taches ont, en effet, un mouvement gyroïde, que Dawes fut le premier à faire remarquer, et ce mouvement s'opère en sens inverse de celui qu'offrirait nos cyclones ou typhons. Les taches se produisent surtout dans la zone où le courant polaire et le courant équatorial doivent entrer en lutte. Il n'y en a jamais vers les pôles; il n'y en a pas non plus à l'équateur. Elles prédominent vers les parallèles solaires de 20 degrés Nord et Sud.

Dès le siècle dernier, Wilson avait reconnu qu'elles ont l'apparence de gouffres. Ce sont des dépressions

dont le fond est obscur, pendant que le pourtour, nommé *pénombre*, n'offre qu'un aspect noirâtre qui va insensiblement en dégradant. Des bords lumineux partent de nombreux filaments brillants, signalés par Nasmyth, lesquels s'avancent à travers la pénombre, et parfois jusqu'au centre même de la tache. Ce sont les poussières incandescentes de la photosphère, qui sont entraînées en veines ou courants. Leur courbure et leurs mouvements montrent que, dans la région centrale de la tache, la matière tourbillonne en s'enfonçant. Toutefois l'enfoncement total est peu considérable, et Secchi ne l'évalue qu'à un tiers ou à un demi du diamètre de la Terre. C'est-à-dire qu'en représentant toujours par 1 000 le rayon du Soleil, la profondeur des taches serait de 6 à 9 seulement. Leur largeur, au contraire, surpasse parfois 60 et même 80 de la même échelle : circonstance dans laquelle on peut les voir sans le secours de lunettes, en regardant à travers un simple verre enfumé. Ce sont là les signes d'ouragans sur une immense échelle. Ces gouffres de gaz parcourent d'ailleurs, en tournoyant, de grands espaces. Peters a noté des taches qui se déplaçaient sur la surface solaire avec une vitesse de 450, 500 et même près de 600 kilomètres à l'heure. L'analogie avec nos cyclones terrestres est complète sous tous les rapports.

Par l'ouverture de ces gouffres, nous apercevons une couche inférieure à la photosphère, couche moins brillante, mais nullement dépourvue de lumière, comme on l'imaginait à tort. En effet, l'obscurité des taches n'est que relative. A côté de l'éclatante photosphère, tout paraît noir par comparaison. Une barre de fer

chauffée au blanc nous semble obscure lorsqu'on la tient devant le disque du Soleil : la lumière qu'elle émet n'est plus sensible à côté de celle de l'astre. Des taches voisines du centre, mesurées par Secchi, donnaient autant de lumière que les bords mêmes du disque, c'est-à-dire la moitié de l'éclat intrinsèque du centre. Ces taches sont donc loin d'être obscures, et si nous les voyions isolées, leur éclat, tout inférieur qu'il est à celui de la photosphère même, serait encore suffisant pour blesser les yeux.

### § 23. FACULES.

Outre les taches, qui sont des parties relativement moins brillantes, il y a dans le Soleil des parties d'un éclat plus vif que le reste : on les nomme *facules*. Elles ont, comme les taches, leurs mouvements particuliers. Un des exemples les plus curieux est l'apparition soudaine et le déplacement simultané de deux de ces facules<sup>1</sup>, qui, en cinq minutes, parcoururent à la surface du Soleil un espace plus étendu qu'une circonférence entière de la Terre.

Dans une masse aériforme comme celle du Soleil, on comprend aisément que quelques parties présentent une précipitation de poussières métalliques plus serrée et par conséquent plus brillante : ce sont les facules. Il est probable qu'en ces endroits les gaz s'élèvent, ce qui détermine une formation plus rapide des pluies et des neiges de métal. Les facules seraient donc l'opposé

<sup>1</sup> Le 1<sup>er</sup> septembre 1859, à 11 heures du matin.

des taches, dans lesquelles les gaz descendent et, en se réchauffant, reprennent leur transparence primitive, les métaux repassant à l'état de vapeur. Mais ce qui est beaucoup moins expliqué, c'est la liaison de ces divers phénomènes avec l'électricité et le magnétisme de notre propre globe.

#### § 24. LE SOLEIL ET LE MAGNÉTISME TERRESTRE.

Ainsi, au même instant physique où les deux facules dont nous parlions tout à l'heure se mirent à balayer la surface du Soleil, il y eut une secousse brusque de l'aiguille aimantée, dont les mouvements étaient depuis plusieurs heures irréguliers. Beaucoup de ces mouvements anormaux de l'aiguille, qu'on appelle *perturbations magnétiques*, se produisent au moment où des taches paraissent sur la surface du Soleil.

Il y a même un indice plus manifeste encore de ces relations. Non-seulement les taches se montrent dans certains temps en plus grande abondance, mais ces retours constituent une période régulière de dix ans et demi. Il y a des années où l'on en voit à peine quelques-unes; puis le nombre augmente assez régulièrement. Cinq ans plus tard, ce nombre est à son maximum; en 1871, par exemple, on en a compté jusqu'à quatre cents. Mais la tranquillité se rétablit ensuite par degrés à la surface solaire, et ainsi de suite périodiquement.

Eh bien, cette période des taches solaires de dix ans et demi, dont on ignore encore la cause, se retrouve dans les perturbations de l'aiguille aimantée, qui sont plus nombreuses quand l'activité du Soleil est à son



maximum. Elle se retrouve dans la fréquence des aurores boréales. Elle se retrouve aussi dans la température, la chaleur que nous donne le Soleil étant un peu plus forte dans les années où les taches dominent, et plus faible quand elles sont rares.

L'influence calorifique n'a rien toutefois de bien étonnant. Si les taches sont, comme tout l'indique, des parties de la surface solaire dans lesquelles les profondeurs plus chaudes se découvrent, on comprend que l'extension de ces parties découvertes doit nous donner un peu plus de chaleur. Mais l'influence électromagnétique n'a pas encore été expliquée. Elle atteste néanmoins la dépendance étroite qui existe entre des globes divers. Malgré l'immense distance du Soleil, malgré son éloignement dans l'espace, nous recevons ce qu'on pourrait appeler l'avis télégraphique des changements qui se passent en lui. Les révolutions atmosphériques qui s'y produisent, les tempêtes et, comme on le verra tout à l'heure, les explosions qui agitent cette masse suréchauffée, se peignent, du moins en partie, dans les phénomènes électro-magnétiques de notre globe. Nos aiguilles aimantées se meuvent sous l'influence de ces phénomènes comme les index d'un télégraphe de Wheatstone sous la main d'un opérateur. C'est un télégraphe merveilleux, dont la nature a tendu entre les corps célestes les fils invisibles, et dont on lira quelque jour les signaux.

Plus nous avançons en effet, moins la Terre nous paraît un objet à part, unique dans son espèce, et distinct des autres globes qui parsèment l'espace. La lumière du Soleil, analysée dans le spectre, a accusé la

présence de substances chimiques avec lesquelles nous étions déjà familiers. C'est à peine si l'on a l'indice d'un corps nouveau dans la fameuse ligne du vert, le n° 1474 du dessin de Kirchhoff, dont l'origine n'est pas encore connue. Mais qui se serait attendu, il y a un siècle, à cette similitude de composition? De même dans les conditions physiques. Nous verrons dans d'autres planètes, Mars par exemple, des continents, des mers et des glaces polaires, comme sur notre globe. Nous trouvons dans le Soleil des courants et des cyclones comme ceux de notre atmosphère; nous y reconnaissons en quelque sorte la peinture de cette époque ignée des géologues, durant laquelle la Terre entière était réduite en vapeur. Il n'y a guère qu'une différence d'âge : la croûte terrestre est durcie, tandis que le Soleil est encore gazeux. Beaucoup plus gros que la Terre, il lui faut, en effet, plus longtemps pour se refroidir. Mais il y a unité dans les phénomènes. Et ces rapports électromagnétiques que nous signalions tout à l'heure, dans lesquels on voit pour ainsi dire le Soleil correspondre avec nous, viennent attester combien les liens sont étroits et intimes.

### § 25. EXPLOSIONS DANS LE SOLEIL.

On s'explique, d'ailleurs, la grandeur et la lointaine portée des phénomènes qui se passent dans cette immense fournaise, ayant cent fois le diamètre de la Terre. A la température blanche d'une masse pareille, les forces physiques sont pour ainsi dire déchaînées; leurs actions sont celles de Titans. Tout est grand, ra-

pide, terrible au delà de ce que nous voyons auprès de nous. Ainsi, de la chromosphère, ou couche d'hydrogène brûlant, s'élèvent non-seulement les protubérances, mais aussi des jets passagers qui attestent des explosions.

Les protubérances, sans cesse variables dans leurs formes, ne sont peut-être que la matière éjaculée dans ces occasions, qui s'amoncelle en nuages pour s'étaler ensuite, comme la fumée de nos bateaux à vapeur à mesure qu'elle s'éloigne du vaisseau. Ce qui est certain, c'est que ces nuages doucement colorés présentent souvent une disposition en bancs ou couches, et forment à la bordure du Soleil des raies parallèles, d'une élégance et d'une délicatesse exquises. L'astre, dans ses nuages rouges, est plus exactement que Shakspeare ne pouvait le penser, « une belle fille, dans une mante de taffetas couleur feu <sup>1</sup>. »

Quant aux explosions elles-mêmes, elles se produisent sous différentes formes : tantôt ce sont des jets qui s'élancent dans diverses directions, et vont retomber au loin comme l'eau d'une pompe à incendie ; tantôt on dirait d'immenses champignons ou des pins gigantesques, rappelant la fumée qui s'arrête au-dessus de nos volcans ; d'autres fois encore, ce sont des pyramides qui grandissent comme par enchantement. L'atmosphère du Soleil est la zone des apparitions féeriques et des merveilles. Et lorsqu'on songe aux distances immenses auxquelles ces gaz projetés parviennent en quelques minutes, et à la réponse que donnent pour

<sup>1</sup> *A fair wench, in flamecoloured taffeta.*

ainsi dire instantanément, du moins par de faibles mouvements, toutes les aiguilles aimantées de notre globe, on ne peut se défendre d'un sentiment d'admiration.

Dans l'explosion du 7 septembre 1871, l'hydrogène rouge de chaleur a été projeté à une hauteur, au-dessus de la surface du Soleil, de plus de vingt-cinq diamètres de notre globe. Un avenir prochain nous réserve sans doute, dans ce vaste champ, des découvertes inattendues et des plus importantes ; car c'est seulement depuis qu'on pratique l'analyse spectrale qu'on a pu étudier avec fruit ces phénomènes, et cette pratique ne remonte pas à plus de dix ans.

#### § 26. PERMANENCE DE LA CHALEUR SOLAIRE.

Si le Soleil était de houille ou de charbon de bois, il serait depuis longtemps consumé (§ 20). Au contraire, dans la durée qu'embrassent nos mesures, nous ne voyons pas de diminution sensible dans sa température ni dans son volume. Il est vrai que cette durée est excessivement courte. Si nous parlons de mesures de précision, tant pour le diamètre du Soleil que pour la température moyenne de l'année, nous ne pouvons pas remonter à plus d'un siècle. Mais si cette durée est insuffisante pour mesurer les changements, elle permet au moins d'affirmer que le Soleil ne subit pas, dans son volume ni dans sa température, de rapide diminution.

Sans doute, la géologie nous parle de temps où les plantes du tropique croissaient sur toute la surface de la Terre, et notre globe porte des traces de son an-

cienne incandescence et d'un refroidissement progressif. Mais c'était la dissipation de sa chaleur propre, et l'on ne peut rien en conclure quant à la température du Soleil.

D'autre part, dans les dernières époques géologiques, celles qui précèdent l'aurore de l'histoire, le globe a passé par une période de froid intense, qui a fait quelquefois penser à des intermittences soit dans la température de l'espace où se meut le système solaire (§ 58), soit dans la chaleur même du Soleil. Cette oscillation dans la température est un fait réel. Même dans les temps historiques, nous trouvons des marques de ces changements. Ainsi, dans les Alpes, suivant les recherches de Venetz, les glaciers ont manifestement gagné depuis deux siècles sur les routes et sur les anciennes forêts. Du xv<sup>e</sup> au xi<sup>e</sup> siècle, ils étaient moins avancés qu'aujourd'hui : c'était peut-être l'instant de leur moindre extension. Car il semble qu'auparavant le climat fût plus rigoureux que celui de notre temps. Ovide voyait l'Euxin geler chaque hiver, et se plaignait des froids intenses de son lieu d'exil <sup>1</sup>. Polybe parle de l'Arcadie dans des termes qui ne conviendraient plus à son climat actuel <sup>2</sup>. A Rome, on était habitué à voir geler le Tibre; les dévots, en hiver, cassaient la glace pour leurs ablutions <sup>3</sup>, et, dans maint endroit de ses satires, Horace suppose les rues de la

<sup>1</sup> OVIDE, *Tristia*; lib. III, eleg. 9; *De Ponto*; lib. IV, eleg. 7, 9, 10.

<sup>2</sup> POLYBE, *Historia*; lib. IV, cap. 21.

<sup>3</sup> HORACE, *Satira* VI.

ville encombrées de neige. Le nord de l'Espagne était alors peu habité à cause de sa température rigoureuse<sup>1</sup>. Pétrone emploie l'expression « plus froid qu'un hiver des Gaules; » les figuiers, les oliviers, la vigne même ne passaient pas les Cévennes<sup>2</sup>, et le Rhône et le Rhin gelaient dans toute leur longueur<sup>3</sup>.

Plus anciennement encore, et antérieurement aux temps historiques, il y avait eu une période glaciaire (peut-être même y en eut-il deux, séparées par un réchauffement passager<sup>4</sup>). Il est certain qu'il y avait un grand développement des glaces immédiatement avant l'époque du mammoth. A l'origine de la période appelée *quaternaire*, les pôles de notre globe étaient couverts de calottes gelées, qui rayonnaient au loin. L'état de choses que nous trouvons aujourd'hui au Groenland s'étendait jusqu'à la Baltique. L'Amérique du Nord porte des traces du phénomène glaciaire jusqu'au parallèle de New-York. Des glaciers immenses descendaient alors de toutes les hautes montagnes; les lacs étaient remplis de masses solides de glace, et la population d'animaux et de plantes indiquait un climat rigoureux.

Mais ce temps avait succédé à une époque plus chaude, et même à une température plus élevée que celle d'aujourd'hui. En sorte que l'histoire de la Terre fournit l'idée d'oscillations continuelles et bien mar-

<sup>1</sup> STRABON, *Geographia*, lib. III.

<sup>2</sup> IBID., lib. IV.

<sup>3</sup> DIODORE DE SICILE, *Bibliotheca historica*, lib. IV.

<sup>4</sup> LYELL, *Antiquity of man*, chap. XV.

quées de la température, tout autant que celle d'une graduelle diminution. A côté du fait dominant du refroidissement, il y a des périodes de froid et de chaleur, bien sensibles, malgré ce refroidissement même.

Toutefois il resterait à déterminer si ces oscillations ont des causes locales, ou bien s'il faut les attribuer à des variations dans le pouvoir calorifique du Soleil. C'est là une question qu'on n'a pas encore les moyens de résoudre. Pour ceux qui croient le Soleil ranimé de temps à autre par la chute de corps étrangers, ces variations n'ont rien d'inexplicable. Mais on regarde aujourd'hui comme fort douteux que le Soleil se nourrisse ainsi.

### § 27. ORIGINE DE LA CHALEUR SOLAIRE.

C'était Newton qui avait le premier émis cette idée, développée récemment encore par le physicien Mayer (de Heilbronn). La résistance, quelque faible qu'elle soit, du milieu qui remplit les espaces célestes doit user à la longue l'impulsion des corps qui circulent autour du Soleil. Celles des comètes qui passent très-près de sa surface doivent s'en approcher un peu plus à chaque révolution, la résistance du milieu changeant les orbites en spirales, dont les tours successifs vont sans cesse en se rapetissant. A force de se resserrer, la spirale doit un jour toucher la surface du Soleil. Alors la comète ou la météorite tomberait sur cet astre, et viendrait ainsi le nourrir.

Mais il y a des objections graves à cette théorie : la plupart des physiciens croient aujourd'hui que la cha-

leur du Soleil est l'effet de la condensation de toutes ses parties sous l'influence de la gravitation, et des rapprochements chimiques que cette condensation détermine. L'émission de chaleur serait donc aussi constante et aussi durable que ces actions mêmes. Elle ne pourrait cependant être éternelle. Un jour, à mesure que la condensation et, par suite, la congélation seraient opérées, à mesure aussi que les combinaisons chimiques seraient achevées, la température du Soleil s'abaisserait par degrés. Un temps viendrait où il ne donnerait plus ni lumière ni chaleur. Ces phénomènes sont de ceux qui embrassent des millions d'années; toutefois, dans la nature, la matière et les forces sont seules perpétuelles, tandis que toutes les formes varient, — plus rapidement pour ce qui est petit et faible, plus lentement et d'une manière seulement séculaire pour ce qui est puissant et volumineux.

Ce que l'on peut affirmer, c'est l'immense importance du Soleil et de la chaleur qu'il rayonne, pour les planètes qui l'entourent et pour la Terre en particulier. La chaleur n'est, d'ailleurs, qu'une forme du mouvement. A tout instant nous pouvons la transformer de nouveau en puissance mécanique, pour convertir celle-ci en chaleur. D'après l'effet calorifique du Soleil sur la surface de la Terre, on calcule que la chaleur qui tombe annuellement sur chaque mètre carré de cette surface serait capable de soulever un poids de 850 tonnes à la hauteur immense d'un kilomètre. Mais presque toute cette chaleur est rayonnée de nouveau par notre globe, qui la perd et la dissipe sans cesse, dans l'espace où il se meut. Une partie est employée à déterminer les



mouvements de la mer et de l'atmosphère, avec la circulation des courants et la vaporisation de l'eau. Un millième environ du total est consommé ou emmagasiné par les animaux et les plantes. Car la vie repose avant tout sur la chaleur animatrice de l'astre central.

Le Soleil n'est donc pas seulement une source de lumière, c'est une source de force et de vitalité. Ce n'est pas seulement ce « grand œil du monde qui brille d'une éclatante lumière <sup>1</sup>, » c'est comme l'agent instigateur ou le père de la nature. Si les anciens peuples avaient pu se former une idée complète de son rôle et de son pouvoir, quelles raisons nouvelles n'auraient-ils pas trouvées de lui adresser leurs hommages et d'en faire l'objet de leur vénération ?

Mais il fallait que les sciences fussent développées pour que ces rapports remarquables fussent bien compris. Il y a peu de temps encore qu'on les entrevoyait à peine. Seuls, quelques esprits lucides les avaient formulés. Il y aurait, par exemple, peu de chose à changer, même dans les termes, aux remarques presque prophétiques de George Stephenson qui avaient tant frappé le géologue Buckland. Ces deux hommes célèbres, étant à se promener non loin de Birmingham, s'étaient arrêtés au sommet d'une colline d'où l'on apercevait une longue étendue de la voie ferrée de Londres à Liverpool, avec un train de vitesse et sa locomotive couronnée d'un blanc rouleau de vapeur. Stephenson contempla ce spectacle quelque temps en silence. Il avait bien le droit de se montrer ému, car ce

<sup>1</sup> ARISTOPHANE, *Nubes*, act. I, sc. 5.

chemin de fer et ce remorqueur, c'était le fruit de sa persévérance, de son esprit inventif et de son génie. Tout à coup : « Savez-vous, Buckland, s'écria-t-il, ce qui fait marcher cette locomotive ? Eh bien, c'est le Soleil. C'est sa chaleur qui a fait pousser la végétation dont s'est formée la houille ; c'est cette chaleur, emmagasinée dans le combustible, que nous redéveloppons après tant de siècles, et qui, après avoir engendré la vapeur, fait mouvoir le piston et marcher le train. »

### § 28. CONSTITUTION PHYSIQUE DES ÉTOILES.

Mais il est temps de revenir aux étoiles. La connaissance que nous avons du Soleil va nous aider à démêler la constitution de ces corps célestes, beaucoup plus éloignés de nous, et par suite plus difficiles à étudier. Leurs spectres sont plus faibles et moins distincts. Ils paraissent souvent moins complexes, probablement parce qu'à cette distance il nous est impossible de tout voir. Il y en a cependant qui rappellent d'une manière frappante le spectre du Soleil. Tel est, par exemple, celui de la primaire la plus septentrionale d'Orion, souvent appelée l'épaule <sup>1</sup>, étudié par Higgins. Cette étoile, ainsi qu'Aldébaran, Arcturus et la Chèvre, présente nettement la ligne du sodium. La photosphère de ces astres brille par des poussières métalliques analogues à celles du Soleil.

Secchi divise en trois classes les spectres des étoiles ; dans la classe principale et la plus étendue, figurent

<sup>1</sup> Voir nos Cartes, nos 3 et 4.

ceux de ces astres où dominent les raies du gaz hydrogène. Ainsi voilà le même type, le type de notre Soleil, qui se poursuit jusqu'aux confins de l'univers visible. Les mêmes corps chimiques existent partout, les mêmes actions physiques s'accomplissent. Quelques raies du spectre, qui n'ont pas encore été identifiées, annoncent peut-être des corps distincts, qui sont inconnus sur la Terre, ou du moins un état moléculaire que nous n'avons pas encore reproduit artificiellement; mais il n'en est pas moins très-remarquable de retrouver le fer, le sodium, le magnésium, comme les éléments constitutants de ces globes, et l'hydrogène, comme le gaz qui, par sa légèreté, surnage à tous les autres et forme l'enveloppe brûlante des astres incandescents.

La différence de teinte atteste seulement une composition différente dans les gaz. Il y a des étoiles de toutes les couleurs du prisme. Parfois la coloration est à peine sensible; mais d'autres fois elle est vive et frappe immédiatement l'observateur. On voit de ces étoiles colorées qui sont voisines les unes des autres, et qui présentent le spectacle le plus curieux de la variété d'éclat et de couleur. John Herschel signale dans la Croix du Sud un amas d'une centaine d'étoiles télescopiques, parmi lesquelles il y en a huit plus brillantes, qui paraissent comme autant de pierres fines, les unes rouges, d'autres vertes, et les autres bleues. Si quelque planète circule, comme on peut à peine en douter, dans le voisinage de deux Soleils de teintes différentes, quelle admirable variété dans la distribution incessamment changeante de la lumière ! Au jour rougeâtre se mêle à une certaine heure le jour bleu, par exemple, d'un se-

cond Soleil qui vient de se lever. A mesure que ce nouveau Soleil monte sur l'horizon et jette plus d'éclat, la lumière prend une teinte violette de plus en plus prononcée. Quand le Soleil rouge s'approche du coucher, le jour bleuit davantage, et bientôt il ne reste que le Soleil bleu. Ces apparences varient suivant les saisons, suivant les années, produisant des mélanges toujours différents et toujours nouveaux. Quelle diversité, quelle élégance, quelle richesse dans la nature ! Et que de notions nouvelles l'étude du ciel communique à l'esprit !

---

## CHAPITRE III.

---

### § 29. SAISONS ASTRONOMIQUES.

Ce qui nous frappe le plus vivement dans le cours annuel du Soleil, ce n'est pas le transport de l'astre à travers les étoiles, mais son changement de hauteur sur notre horizon. En été, il passe dans le ciel beaucoup plus haut qu'en hiver. Il en résulte des jours plus longs et une température notablement plus élevée. Les phénomènes naturels, tels que la feuillaison des arbres, la maturation des récoltes et celle des fruits, tels encore que le passage des oiseaux, le réveil des reptiles et l'éclosion des essaims d'insectes suivent le cours de la température. Les conditions générales de notre existence sont donc liées au progrès périodique du Soleil sur notre horizon. Ce progrès, tantôt dans un sens, tantôt dans le sens opposé, constitue le cours des

*saisons astronomiques.* Celles-ci sont au nombre de quatre, dont les termes sont marqués comme suit :

Le *printemps* commence au moment où les jours sont égaux aux nuits. Ce moment s'appelle l'*équinoxe*. C'est celui où le Soleil, dans sa marche le long du zodiaque, occupe un point à égale distance des deux pôles de la sphère étoilée. A cet instant, l'astre surplombe l'équateur terrestre, et l'on peut dire qu'il n'appartient pas plus à un hémisphère qu'à l'autre. L'équinoxe du printemps tombe le 20 ou le 21 mars.

Le Soleil s'élève ensuite dans la partie du zodiaque qui est la plus voisine du pôle Nord ; il traverse les constellations des Poissons, du Bélier et du Taureau, ainsi qu'on s'en assure six mois plus tard par la présence à minuit de ces constellations, à la même hauteur que le Soleil avait occupée. Pendant les trois mois du printemps astronomique, les ombres, à midi, se raccourcissent sans cesse jusqu'au 21 juin. Ce jour-là, qui est le plus long de l'année, elles se trouvent réduites à leur minimum. C'est l'instant du *solstice*, terme qui signifie « arrêt du Soleil. » Dès ce moment, en effet, l'astre cesse de s'avancer au Nord, et décrit une partie du zodiaque qui s'éloigne de plus en plus du pôle boréal. C'est l'*été* astronomique, lequel se termine le 22 ou le 23 septembre, à l'autre équinoxe, quand le Soleil surplombe de nouveau l'équateur.

Puis vient l'*automne* astronomique, durant lequel l'astre descend dans une partie du zodiaque qui s'éloigne toujours davantage de notre pôle. Il traverse alors les constellations de la Vierge, de la Balance et du Scorpion. L'ombre, à midi, s'allonge sans cesse jusqu'au 21

ou au 22 décembre, époque où elle atteint son maximum, en même temps que les jours sont au plus court. C'est l'instant de l'autre solstice, où le Soleil s'arrête dans sa marche au Sud, prêt à revenir vers le pôle boréal. Alors commence l'hiver astronomique, qui dure jusqu'au prochain équinoxe du printemps.

On peut donc former le tableau suivant :

ÉPOQUES.	DATES.	SAISONS ASTRONOMIQUES.	CONSTELLATIONS PARCOURUES PAR LE SOLEIL PENDANT LA SAISON.
Équinoxe vernal ou du printemps.	20 ou 21 mars.	Commencement du Printemps.	Poissons, Bélier, Taureau.
Solstice d'été. . .	21 juin.	— de l'Été. . .	Gémeaux, Cancer, Lion.
Équinoxe automnal.	22 ou 23 sept.	— de l'Automne.	Vierge, Balance, Scorpion.
Solstice d'hiver. .	21 ou 22 déc.	— de l'Hiver. .	Sagittaire, Capricorne, Verseau.

Ces saisons sont appelées « astronomiques, » parce qu'elles ont uniquement pour base et pour limites les phénomènes des cieux ; tandis que les « saisons météorologiques » sont fondées sur la distribution de la température et le cours des phénomènes périodiques naturels.

### § 30. ORIGINE DES SIGNES DU ZODIAQUE.

Il y a, du reste, un certain rapport entre ces deux espèces de saisons. Bien que le retour des phénomènes de la météorologie ne soit pas aussi ponctuel que celui des événements astronomiques, tous les peuples ont saisi les relations générales que ces deux ordres de faits ont entre eux. Les noms mêmes des constellations du zodiaque furent choisis à cause des phénomènes climatiques qui marquaient les différents mois où chacune

d'elles s'élevait au Sud à minuit. Les Chaldéens seraient, suivant Letronne, les premiers auteurs de ces dénominations, auxquelles les Égyptiens ont peut-être ajouté. Les Poissons, par exemple, devaient désigner, pour ceux-ci, l'époque de l'inondation; le Bélier, le retour des troupeaux dans les pâturages; le Taureau, le temps des labours, qui se faisaient en Orient avec des bœufs. Le Cancer ou Écrevisse, affectant une marche rétrograde, était le symbole manifeste du solstice; le Lion, celui de la force du Soleil; la Vierge, avec l'épi qu'elle tient à la main, marquait probablement l'époque des moissons. Puis la Balance, égalant le jour à la nuit, *æquantem tempora libram*<sup>1</sup>, désignait le second équinoxe. Le Scorpion était peut-être une allusion à l'insalubrité du mois qui suit, pendant que le Sagittaire, armé de sa flèche, et poursuivant le Scorpion, aurait marqué l'invasion des vents plus frais du Septentrion, chassant les vapeurs malfaisantes. Enfin, le Capricorne indiquait l'autre solstice, par la comparaison du Soleil avec une chèvre élevée sur les hauteurs, et le Verseau désignait le retour des pluies.

Parmi ces analogies, plusieurs sont sans doute assez vagues; mais il y en a aussi quelques-unes qui frappent, et qui suffisent pour préciser les rapports. Ainsi la Balance désigne assez clairement un équinoxe, et le Cancer ou Écrevisse un solstice; et, comme ces constellations se trouvent sur la route du Soleil à trois mois de distance, on ne peut guère douter qu'elles n'aient été ainsi nommées à cause de leurs situations. Il est

<sup>1</sup> MANILIUS, *Astronomicon*, lib. II, v. 242.



vrai qu'aujourd'hui la première étoile brillante de la Balance ne se présente au milieu du ciel, à minuit exactement, que 38 jours après l'équinoxe, et que les principales étoiles du Cancer n'occupent cette place que 33 jours après le solstice. Mais cette circonstance, au lieu d'être une difficulté, est une confirmation même des vues qui viennent d'être présentées, puisque la précession a, en effet, déplacé dans ce sens les points solsticiaux et équinoxiaux. Elle a dû produire 35 jours en 25 siècles : ce qui placerait l'origine du zodiaque vers le VIII<sup>e</sup> siècle avant notre ère, ou à peu près au temps de la fondation de Carthage et du règne de Nabonassar <sup>1</sup>.

### § 31. ANNÉE SIDÉRALE.

Le déplacement des points équinoxiaux par la précession est un des effets les plus intéressants de ce phénomène, dont nous retrouvons pour ainsi dire partout les conséquences. La ceinture du zodiaque est oblique à l'équateur céleste. A mesure que les pôles se déplacent, les points où cette ceinture coupe l'équateur changent donc aussi. Les points équinoxiaux et solsti-

<sup>1</sup> Les astronomes de l'antiquité et du moyen âge ayant toujours continué à compter les *signes* du zodiaque à partir de l'équinoxe, ces signes ne correspondent plus aujourd'hui aux constellations dont ils portent les noms. La différence est précisément celle de 35 jours, qui est indiquée dans le texte. Ainsi, quand on dit de nos jours que le Soleil est dans le signe du Bélier, il ne parcourt pas la constellation de ce nom, mais celle des Poissons, et ainsi de suite, le retard étant toujours d'un peu plus d'une constellation.

ciaux tournent d'Orient en Occident avec la vitesse même de la précession. Ce n'est donc pas exactement quand le Soleil revient à la même étoile que la révolution des saisons astronomiques est accomplie. Cette révolution s'achève un peu plus tôt, les équinoxes et les solstices se mouvant sans cesse pour venir au-devant du Soleil.

S'il s'agissait simplement du retour à la même étoile, rien ne serait plus facile que de mesurer la durée de l'année. On placerait un signal, à minuit, dans la direction d'une étoile donnée. Les jours suivants, l'étoile anticiperait, comme on sait (§ 9), dans ses retours à la même direction. A six mois de distance, elle ne serait au ciel que dans le jour. Mais ensuite elle recommencerait à paraître le matin, repassant chaque nuit de plus tôt en plus tôt devant le signal. Le 365<sup>me</sup> jour, elle reviendrait à sa position une minute environ après minuit, et le 366<sup>me</sup> jour, trois minutes à peu près avant cet instant. La révolution du Soleil dans le zodiaque, par rapport aux étoiles, prend donc plus de 365 jours, mais moins de 366; elle tombe entre ces deux nombres, et notablement plus près du premier que du second.

C'est apparemment de cette manière que les anciens peuples se sont formé une première idée de la durée de l'année. Nous n'employons pas encore d'autre procédé; nous avons seulement, dans les instruments à lunettes, des moyens plus précis d'assigner les directions et, dans nos horloges, des moyens plus délicats de mesurer le temps.

D'ailleurs, en poursuivant l'opération d'année en

année, c'est-à-dire en étendant la période, on détermine plus exactement la durée de la révolution. Au trente-neuvième retour annuel, par exemple, l'étoile revient sous le signal à un instant tellement voisin de celui de minuit, qu'on peut à peine apprécier la différence avec nos instruments de précision<sup>1</sup>. Ceci arrive au bout de 14 245 jours et, en divisant ce nombre par 39, on trouve, pour le temps périodique du retour du Soleil à une même étoile, ou *année sidérale*, 365<sup>j</sup>,256 41 ou 365<sup>j</sup> 6<sup>h</sup> 9<sup>m</sup> 14<sup>s</sup> : ce qui diffère bien peu de la réalité. C'est par cette période de trente-neuf révolutions que les Aztèques avaient calculé la durée de l'année.

En continuant ensuite à observer de trente-neuf en trente-neuf ans, on rectifie, d'ailleurs, cette première détermination, déjà fort exacte. Au bout de 78 ans, de 117 ans, de 156 ans, et ainsi de suite, de petites différences paraissent, et se développent de plus en plus. L'étoile qu'on emploie pour repère revient sous le signal, à l'expiration de chaque période<sup>2</sup>, quelques instants de plus avant minuit. L'année sidérale est donc, en réalité, un peu plus courte que nous ne l'avons trouvée d'abord. Les observations les plus précises des cent dernières années, soigneusement discutées par Le Verrier, donnent 365<sup>j</sup> 6<sup>h</sup> 9<sup>m</sup> 10<sup>s</sup>  $\frac{5}{7}$ .

### § 32. ANNÉE TROPIQUE.

Mais si l'on s'appuyait sur l'année sidérale pour régler le calendrier, on trouverait à la longue un désac-

<sup>1</sup> Elle ne s'élève, en effet, qu'à un tiers de seconde de temps.

<sup>2</sup> De chaque période de 14 245 jours.

cord entre le retour des mêmes mois et celui des saisons astronomiques. Le plus long jour cesserait de tomber à la même date; il en serait de même des équinoxes et du jour le plus court. Insensiblement le solstice d'été remonterait vers le commencement de juin, puis il tomberait en mai, en avril, en mars; l'hiver viendrait alors en septembre; la correspondance des saisons et du calendrier serait rompue, et l'écart irait sans cesse en grandissant. Il importe, au contraire, de maintenir cette correspondance, afin que les dates fussent pour peindre à l'esprit le progrès de l'année et l'état réel des saisons.

Or, par l'effet de la précession, le point d'équinoxe se porte, comme on l'a dit, au devant du Soleil; le retour à ce point équinoxial, ou *année tropique*<sup>1</sup>, n'exige donc pas tout à fait la durée du retour à une même étoile. La différence est le temps qu'il faut au Soleil pour franchir l'espace gagné par la précession. Cette durée est aujourd'hui de 20 minutes  $23\frac{1}{2}$  secondes. En sorte que l'année tropique est de  $365^j 5^h 48^m 47\frac{1}{2}^s$  environ. Mais elle varie avec la vitesse même de la précession. Puisque dans notre temps le pôle s'accélère, l'anticipation de l'équinoxe est de plus en plus grande; chaque année tropique est donc un peu plus courte que celle qui l'a précédée. Dans l'antiquité, cette année, au contraire, était plus longue qu'elle n'est maintenant.

<sup>1</sup> Le mot *tropique* vient du grec et signifie « retour ». Les tropiques sont les parallèles qui contiennent les points solsticiaux, et sous lesquels, par conséquent, le Soleil s'arrête pour retourner du côté opposé. L'année « sidérale » signifie l'année par rapport aux astres, *sidéra*.

Du temps d'Hipparque, par exemple, elle avait 14 secondes, ou près d'un quart de minute de plus qu'aujourd'hui. Comme la précession, elle aura sa valeur moyenne en l'an 2360 de notre ère, et sera alors de  $365^j 5^h 48^m 43\frac{1}{2}^s$ . Elle continuera, d'ailleurs, à diminuer jusqu'en 7600, époque où le pôle doit atteindre sa plus grande vitesse; puis elle augmentera de nouveau, et ainsi par périodes de plusieurs mille ans.

Les changements de longueur de l'année tropique sont renfermés dans deux tiers de minute environ, en plus ou en moins, c'est-à-dire une minute et un tiers en tout. On peut les négliger dans les usages civils; mais il y a certaines circonstances où ils deviennent sensibles. Si l'on oubliait d'en tenir compte, et sans sortir de la durée historique, les éclipses différeraient, par exemple, de plusieurs heures de l'instant que nous leur attribuerions.

### § 33. CALENDRIER GRÉGORIEN.

Le problème du calendrier a été pour tous les peuples de ramener indéfiniment l'équinoxe à la même date civile. Quand on faisait l'année de 365 jours, les  $5^h 49^m$  (en nombres ronds) négligées à chaque révolution produisaient en cent ans  $581\frac{2}{3}^h$  ou  $24^j 5\frac{2}{3}^h$ , quantité qu'il était impossible de négliger. En effet, c'était une différence de plus de trois semaines. Il suffisait d'une vie d'homme pour apercevoir les défauts de ce calendrier. Les saisons passaient, en un peu plus de sept siècles, dans les mois opposés; et, en moins de quinze siècles, elles revenaient de nouveau aux mêmes dates,

ayant parcouru dans l'intervalle tous les mois du calendrier. C'était là l'origine de la fable du Phénix, par lequel on voulait désigner le Soleil, qui, après 1 461 ans de 365 jours, renaissait de ses cendres, c'est-à-dire recommençait une nouvelle carrière apparente à travers le calendrier <sup>1</sup>.

A l'origine de la civilisation, plusieurs peuples n'ont fait usage, pour rétablir la correspondance, que de corrections sans règle fixe, et opérées de loin en loin. Ils ramenaient la concordance, quand elle était notablement troublée, en ajoutant tout d'un coup quelques jours à une certaine année civile, comme on remet à l'heure une horloge mal réglée en touchant aux aiguilles avec le doigt. C'était un moyen imparfait qui convenait seulement à l'enfance des sciences. Aussi le progrès des connaissances et celui même de la civilisation amenèrent-ils les législateurs à prescrire des systèmes réguliers d'*intercalation*. Les principaux peuples civilisés ou semi-civilisés des deux hémisphères étaient arrivés à maintenir la concordance par des moyens plus ou moins ingénieux. Même dans le nouveau monde, les Péruviens et les Aztèques avaient accordé l'année civile avec l'année tropique, comme les anciens habitants de l'Inde et les Chinois.

A Rome, ce fut César, arrivé au pouvoir, qui dota la société latine d'un calendrier fixe et régulier. Sosigènes, astronome d'Alexandrie, qu'il chargea de préparer ce

<sup>1</sup> Ces 1 461 années de 365 jours, ou 1 460 années tropiques, composaient la *période sothiaque*, ou de Sothis (le Chien), qui ramenait à la même date civile le lever du Grand Chien ou Sirius dans le crépuscule du matin (§ 14).

travail, emprunta aux Hindous l'intercalation d'un jour tous les quatre ans. Ce fut l'origine de nos *années bissextiles*, qui comptent 366 jours. Ce calendrier suppose l'année tropique de 365 jours 6 heures, chiffre qui n'est pas très-loin de la vérité. Les saisons se déplacent encore, en vertu des 11 minutes qu'on néglige chaque année; mais elles ne se meuvent plus que lentement, et prendraient la longue durée de 478 siècles, au lieu des 15 de la période sothiaque, pour parcourir les douze mois et revenir à la date de départ. Le calendrier de Sosigènes, promulgué par César, fut appelé, d'après le prénom du dictateur, *calendrier julien*.

Il suffisait aux comparaisons à courte durée, pour lesquelles seules on avait occasion alors. Mais quand les annales de la société civilisée se sont allongées, quand on a embrassé une série d'événements, rapportés par leurs dates exactes pendant une période de mille et bientôt de deux mille ans, les onze minutes négligées ont commencé à troubler l'accord. En 131 ans, elles produisent un jour; elles en produisent trois au bout de 393 ans ou à très-peu près quatre siècles. Lorsque le pape Grégoire XIII, légiférant pour le monde chrétien et civilisé, voulut faire disparaître cette source d'erreur, l'astronome Clavius indiqua, comme moyen pratique, le retranchement de trois bissextiles séculaires sur quatre, ou de 3 jours en 4 siècles: ce qui ne laisse qu'une erreur d'un jour tous les 3 500 ans. Le calendrier, privé de ces trois bissextiles séculaires sur quatre, est celui dont se sert l'Europe occidentale et toute l'Amérique: c'est le *calendrier grégorien*. Les années 1700, 1800 et 1900, qui seraient bissextiles dans le ca-

lendrier julien, n'ont que 365 jours dans le calendrier grégorien ; mais l'an 2000 en aura 366, et, de quatre siècles en quatre siècles, il en sera de même de la dernière année séculaire. Au défaut de cette correction, les équinoxes et les solstices se déplaçaient dans l'année civile, au point de varier de douze jours depuis le temps de César jusqu'au xvi<sup>e</sup> siècle. La réforme grégorienne n'était donc pas inutile : elle n'est pas d'une rigueur absolue ; mais, malgré la faible erreur qu'elle admet encore, elle satisfait aux besoins présents.

#### § 34. COURS DE LA LUNE.

Après le Soleil, le luminaire le plus remarquable est la Lune. Ses dimensions apparentes sont à peu près les mêmes que celles du Soleil ; mais les mesures géométriques prouvent qu'elle est beaucoup plus près de nous et que, par conséquent, ses dimensions absolues sont beaucoup moindres : une file de trente globes comme notre Terre suffirait pour atteindre la Lune, tandis qu'il en tiendrait environ 1 200 dans la distance qui nous sépare du Soleil. Le Soleil est beaucoup plus gros que notre globe ; la Lune, au contraire, est plus petite : son diamètre n'est guère qu'un quart de celui de la Terre.

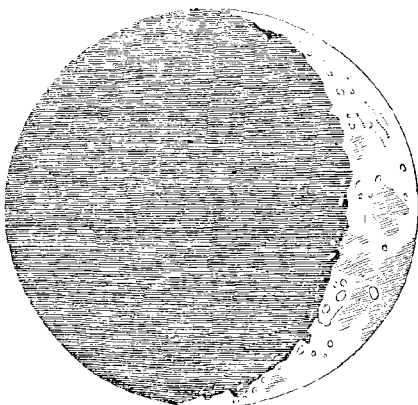
Il est aisé de reconnaître que la Lune circule autour de notre globe. On la voit traverser successivement toutes les constellations du zodiaque. Sa lumière, qui efface les petites étoiles, n'est pas suffisante cependant pour faire entièrement disparaître les plus brillantes. On suit donc aisément le mouvement rapide de notre



*satellite* à travers les constellations. Quand la Lune est très-voisine d'une étoile du côté de l'Occident, on la voit, en quelques heures, passer de l'autre côté de cet astre. A des instants différents d'une même nuit, sa position varie manifestement par rapport aux étoiles qui l'entourent. D'une nuit à l'autre, le changement est considérable. Enfin, après  $27^{\text{d}} 7^{\text{h}} 43^{\text{m}} 11^{\frac{1}{2}}^{\text{s}}$ , elle a décrit exactement une circonférence de la sphère : telle est la durée de sa *révolution sidérale*. Le Soleil s'étant un peu déplacé dans cet intervalle, la Lune ne l'atteint de nouveau qu'après  $29^{\text{d}} 12^{\text{h}} 44^{\text{m}} 2^{\frac{1}{8}}^{\text{s}}$  : c'est sa *révolution synodique* ou *lunaison*.

Dans ces vingt-neuf jours et demi, la Lune passe par une série d'apparences tellement remarquables qu'elles frappent les peuples sauvages et même les enfants.

D'abord, la Lune *nouvelle* paraît le soir, vers l'horizon de l'Ouest, un peu après le coucher du Soleil : ce n'est encore qu'une faucille étroite ou croissant. Quand la nuit est tout à fait venue, ce



Croissant.

croissant brille d'une belle lumière, et répond assez bien à l'image de Shakspeare, « un arc d'argent tendu

dans les cieux. » Pendant les jours qui suivent, la Lune s'écarte davantage du Soleil, et la *phase* grandit. Quand la moitié du disque est éclairée, c'est le *premier quartier* : l'astre est au plus haut, vers le Sud, à six heures du soir, et il se couche dans le milieu de la nuit.

La phase continue ensuite à grandir, jusqu'à ce que le disque soit éclairé tout entier, et que la Lune soit *pleine*. L'astre est alors au milieu du ciel à minuit, et se levant vers le temps du coucher du Soleil, il demeure toute la nuit sur notre horizon. Sa lumière douce jette à cette époque un demi-jour sur le paysage. Ce n'est pas cet éclat irrésistible qui éteint devant lui tout autre luminaire, comme celui du Soleil ou « grand œil du monde. » La Lune pleine, suspendue à la voûte du ciel dont elle efface une partie des étoiles, est seulement, comme le dit Pindare dans une image plus modeste, « l'œil de la nuit. »

Après la pleine Lune, la phase se met à décroître. La lumière se retire peu à peu du disque, à commencer par le côté de l'Occident. L'astre en même temps retarde sans cesse. Au *dernier quartier*, il est au milieu du ciel à six heures du matin : la lumière ne couvre qu'une moitié du disque, et celui-ci paraît comme un demi-cercle, tournant sa convexité à l'Orient. Bientôt la faucille se forme, et s'amincit de plus en plus. L'astre ne paraît que le matin dans le crépuscule. Enfin il revient si près du Soleil que nous cessons de l'apercevoir.

La succession des phases suggère immédiatement l'idée que la Lune n'a pas de lumière par elle-même, mais que c'est seulement un corps obscur éclairé par la

vive lumière du Soleil. La moitié du globe lunaire tournée du côté de cet astre éclatant est illuminée par ses rayons, tandis que l'autre moitié, qui est dans l'ombre, reste obscure. C'est ainsi que, sur la Terre, une moitié de la surface a le jour, pendant que l'autre moitié a la nuit. Nul doute qu'à une certaine distance de notre globe, la différence entre l'hémisphère éclairé par le Soleil et celui qui est dans l'obscurité ne présente le même aspect que la Lune, en partie brillante et en partie noire. Quiconque pourrait tourner autour de notre globe à une grande distance, à la distance de la Lune par exemple, aurait l'occasion d'observer les phases de la Terre, exactement comme nous observons celles de notre satellite. Et c'est ce qu'un phénomène intéressant vient attester.

Il résulte de la position du corps éclairant qu'au temps où nous voyons la Lune nouvelle, un observateur qui serait placé sur la Lune verrait *pleine Terre*, tandis qu'à la pleine Lune il aurait *nouvelle Terre*; mais quand la Lune est dans ses quartiers, cet observateur verrait aussi la Terre en quartiers. C'est donc vers la nouvelle Lune que la Terre doit jeter, sur la partie obscure de notre satellite, une clarté analogue à nos clairs de Lune, un clair de Terre, si l'on peut s'exprimer ainsi. Eh bien, ce clair de Terre, nous le voyons distinctement au temps du croissant. Quelques jours après la nouvelle Lune, par exemple, lorsque nous examinons cet astre après la nuit venue, nous apercevons, outre la faucille brillante, tout le reste de l'orbe lunaire nettement marqué par une lumière grise, qu'on appelle la *lumière cendrée*. Celle-ci pâlit par degrés

les jours suivants, lorsque la Terre est dans son décours pour l'observateur qui serait placé sur la Lune. Shakspeare, si souvent pittoresque dans ses expressions, appelle la Lune croissante, qui ne se compose encore que d'une faucille, mais dont le disque se complète par une lumière faible, « la Lune nouvelle qui porte la vieille Lune dans ses bras <sup>1</sup>. »

La Lune est donc un globe, plus petit que le nôtre, qui n'émet pas de lumière par lui-même, mais qui, comme la Terre, est simplement éclairé par les luminaires extérieurs. Les phases sont analogues aux effets de Soleil sur les montagnes, quand un des flancs est vivement éclairé pendant que l'autre reste dans l'ombre. Les expériences de Bouguer, de Wollaston, et plus récemment de Bond, ont fait voir que la lumière de la pleine Lune, toute vive qu'elle nous paraît, est seulement un cinq cent millième environ de celle du Soleil. Or, comme les dimensions apparentes de la Lune sont connues, on calcule qu'elle pourrait nous renvoyer un deux cent millième de l'éclat du Soleil, si le sol qui la compose n'absorbait une partie des rayons lumineux. C'est ainsi que sur la Terre, ni le sol ni la mer ne renvoient toute la lumière qui les frappe : une partie est toujours absorbée. En général, cette absorption, telle qu'elle s'opère à la surface de nos terrains, est même plus considérable que celle qui a lieu dans la Lune : d'où l'on pourrait déjà conclure que celle-ci a un sol plus cristallin.

<sup>1</sup> « The new Moon, with the old Moon in her lap. » Littéralement : « la Lune nouvelle, avec la vieille Lune dans son giron. »

## § 35. CONSTITUTION PHYSIQUE DE LA LUNE.

La plus simple observation, même à l'œil nu, suffit pour constater trois points importants : d'abord, que la surface lunaire n'est pas partout du même éclat ni dans la même condition physique, puisque le disque de cet astre présente des taches ou dessins ; secondement, que l'apparence des taches demeure constante et atteste par là qu'elles appartiennent à un corps solide ; enfin, que ces taches ne passent pas d'un côté du disque à l'autre, dans un mouvement de rotation comme celui du Soleil, mais restent, au contraire, toujours tournées de notre côté. Le télescope confirme, dans ce qu'elles ont de général, ces premières notions.

Le fait que la Lune dirige toujours vers nous le même hémisphère est particulièrement digne d'intérêt. Il faut en conclure que ce globe est un peu plus lourd du côté tourné vers la Terre, puisque ce côté pend constamment vers nous. La théorie de l'attraction montre, en effet, qu'à l'époque où le globe lunaire était encore liquide ou visqueux, la pesanteur vers la Terre a dû allonger la face qui nous regarde, et donner au corps entier de notre satellite une figure ovoïde bien marquée. La Lune a pris à peu près la figure d'un œuf ayant sa pointe de notre côté ; et c'est cette pointe qui, en présentant un surplus de volume et de poids, maintient dans la verticale le grand axe de notre satellite. C'est comme un fil à plomb dont nous verrions toujours le dessous du plomb. Il n'y a d'écart qu'aux temps où la vitesse de la Lune dans son orbite s'accélère ou se ra-

lentit. Dans ces circonstances, le globe lunaire est entraîné ou retenu tout entier. Ses flancs devant alors quelque peu le mouvement de la pointe, ou restant en retard sur ce mouvement, des lambeaux des parties latérales se découvrent à notre vue, au delà de ce que nous pouvions apercevoir auparavant. Ce phénomène, qui a été nommé *libration*, soumet à nos regards, en guettant les occasions favorables, un sixième environ de l'hémisphère postérieur. Or, on s'assure, par les observations au télescope, que les parties de cet hémisphère qui se montrent ainsi accidentellement offrent un aspect parfaitement analogue à celui de l'hémisphère antérieur. D'où l'on peut inférer, avec une grande probabilité, que la surface entière de la Lune est d'une même nature.

Cette nature est celle d'un globe solide, recouvert de montagnes accidentées, qui jettent des ombres sur les plaines, et qui parfois sont coupées en facettes comme la grande muraille verticale du Mont-Blanc. Il ne faut donc pas s'arrêter aux images de fantaisie que la tradition populaire place dans le disque lunaire : en certains pays, une figure humaine ; en d'autres contrées, un fagot, un buisson ou un lapin. Ces fictions disparaissent devant une observation attentive, et surtout devant une tentative de dessin. Dans les pays où l'air est pur, on peut tracer à l'œil nu une carte de la Lune : les grands traits, au moins, sont reconnaissables. C'est l'eau vésiculaire de notre atmosphère qui, même dans les beaux temps, drapait notre ciel d'une mousseline légère, et rend les images plus ou moins confuses. Mais que de fois, dans le Sud-Ouest des États-Unis, et plus tard

sous les tropiques, j'ai contemplé à la simple vue les taches de la Lune, et reconnu les principales d'entre elles, en leur appliquant les noms auxquels on a recours pour les désigner !

Ces noms, que Peiresc et Gassendi ont contribué à fixer, sont dus en partie à un de nos compatriotes, l'astronome Van Langren. Ce sont des noms d'hommes célèbres, tels qu'Aristote et Copernic, ou bien des expressions latines, dont on se sert pour se reconnaître au milieu des détails du terrain lunaire. Depuis l'invention du télescope, on a dessiné bien des fois la surface de la Lune. Beer et Mädler en ont fait une belle carte en quatre feuilles, qui représente ce globe à l'échelle du trois millionième environ (au moins pour la partie centrale). C'est l'échelle des grandes cartes murales de l'Europe exposées dans nos établissements d'instruction. Enfin, depuis quelques années on a réussi à figurer notre satellite par les procédés de la photographie.

### § 36. MONTAGNES LUNAIRES.

Dès le premier emploi du télescope, on reconnut les montagnes les plus saillantes par l'illumination de leurs sommets. Au delà du croissant brillant que forme, après la Lune nouvelle, la partie éclairée du disque, on aperçoit, dans la portion obscure, des îles de lumière. Ce sont les têtes des montagnes, éclairées, quelque temps avant la plaine, de la même manière que le sommet du Mont-Blanc est éclairé par le Soleil levant plus d'un quart d'heure avant le lac de Genève. Les rayons

frappent déjà la cime du colosse des Alpes, quand le Piémont et le Valais sont encore dans l'ombre, et séparent cette cime brillante de la Lombardie et des pays plus éloignés à l'Orient, pour lesquels le Soleil est sur l'horizon.

Dans la Lune, plusieurs circonstances concourent à rendre ce phénomène plus saillant et plus distinct. Les montagnes sont plus hautes relativement à la courbure de ce petit globe ; le Soleil s'élève et s'abaisse plus lentement sur l'horizon lunaire que sur notre horizon ; enfin, il y a si peu de crépuscule que la transition de l'ombre à la lumière est plus brusque et plus tranchée. On peut suivre, pendant une belle soirée, un de ces points brillants détachés. On voit la masse générale de lumière gagner vers lui par degrés ; l'espace qui restait dans l'ombre au pied de la montagne finit par s'éclairer tout entier. C'est le progrès de la phase. Mais en même temps apparaissent plus loin, dans la région obscure, de nouveaux sommets, que la masse générale de lumière viendra joindre à leur tour. Ces observations ont fourni le moyen de mesurer la hauteur des principales montagnes de la Lune au-dessus des plaines ou des vallées qui les entourent. Quelques-unes ont cinq mille mètres d'altitude, ou plus que la hauteur du Mont-Blanc. Au bord même du disque, on ne voit guère les dentelures produites par les inégalités du sol, parce qu'ici les montagnes se projettent les unes sur les autres, comme les vagues à l'horizon de la mer.

Après qu'une montagne lunaire est éclairée jusqu'à sa base, et que le terrain environnant est dans le jour, on voit distinctement au télescope l'ombre de la mon-



tagne couvrir la plaine du côté opposé au Soleil. Cette ombre, d'abord très-longue, se raccourcit par degrés ; puis elle s'allonge ensuite de l'autre côté, suivant les lois exactes de la géométrie. C'est comme l'ombre de nos monuments, ou mieux encore comme celle du mont Athos, dont parle Plutarque, qui vient couvrir, les soirs d'été, l'île distante de Lemnos <sup>1</sup>.

Mais quand le Soleil surplombe une montagne lunaire, on distingue souvent au sommet de celle-ci un enfoncement plus ou moins circulaire, qui fait naître immédiatement l'idée d'un cratère. Les flancs de la montagne sont sillonnés de rubans foncés, qui s'élargissent parfois dans la plaine en masses unies, et dans lesquels on ne peut voir autre chose que des coulées de lave. La surface de la Lune porte les marques incontestables des phénomènes volcaniques, sous tous leurs aspects principaux.

On peut y compter, pour ainsi dire, par centaines les montagnes en forme de cirque, comme Palma et Santorin sur la Terre. Un vaste espace circulaire est entouré d'un bourrelet rocheux, abrupt vers l'intérieur, d'une pente douce au contraire à l'extérieur, et formé de pans redressés de l'écorce solide, puisque l'œil suit les fractures en étoile qui rayonnent tout autour du soulèvement. Souvent on distingue, au milieu du cirque, le petit cône d'éruption, formé par l'accumulation des scories sur l'ouverture même d'éjection. L'intégrité des bords de ces cirques atteste, dans ce cas, que le produit de l'éruption s'est borné aux matières solides, et

<sup>1</sup> PLUTARQUE, *De facie in orbe Lunæ*, cap. 53.

qu'il n'y a pas eu de coulées pour traverser les flancs et les ébrécher. Ce sont probablement les volcans de l'époque la plus récente. Cette opinion de Secchi est confirmée par la présence de petits cratères adventifs sur les fentes qui rayonnent de la masse centrale, cratères qui sont comme les derniers signes de la force éruptive expirante. On voit des cirques, — tels que celui appelé Copernic dans la partie Nord-Est du disque de la Lune, — qui ont jusqu'à 90 kilomètres de largeur.

Mais il y a également, comme on l'a dit, des volcans lunaires qui ont donné des coulées. Les bords en sont brisés, déchiquetés, et souvent en partie nivelés. On dirait que ces soulèvements se sont opérés quand la croûte était moins résistante, ou peut-être, suivant Secchi, quand elle était lavée par un liquide, à la manière de ceux de nos volcans qui se sont formés sous l'eau. On voit ces bouches de l'époque ancienne alignées le long des grandes failles ou fractures du terrain. Elles donnent à certaines portions de la Lune, notamment dans le Sud-Est du disque, cet aspect strié dont on distingue les premiers traits à l'œil nu. On dirait des allées de monuments gigantesques, comme les avenues d'obélisques d'Axum.

Mais, dans la Lune, ce sont les monuments de la nature. Les forces plutoniennes ne se sont pas bornées, d'ailleurs, à percer la surface de certaines bouches d'éjaculation. Il y a de grandes masses soulevées, qui ont tout l'aspect extérieur de formations de la période ignée. Telles sont, par exemple, les rides de la surface lunaire auxquelles on a donné les noms d'Alpes, d'Apennins et de monts Riphées. Les rochers brillent parfois

d'un tel éclat, qu'ils rappellent les vitres de nos édifices miroitant aux feux du Soleil. Il y a des moments où l'on voit de ces éclairs de lumière qui partent de points donnés de la surface lunaire, et semblent attester l'état cristallin de la roche qui constitue le sol.

### § 37. NATURE ARIDE DE LA LUNE.

Ce qu'il y a de plus curieux à la surface de ce globe vulcanisé, c'est qu'on n'aperçoit rien qui ressemble à un liquide : tout est aride et dur. S'il y avait de l'eau sur la Lune, a dit Brewster, la lumière de l'astre serait polarisée complètement quand il reçoit les rayons du Soleil sous un certain angle, c'est-à-dire à un certain moment de la lunaison. Or, l'expérience répond négativement à cette hypothèse. Les espaces d'une teinte uniforme, qu'on avait pris un instant pour des mers, ne sont que des plaines, jonchées de débris pierreux. Quelques géologues pensent que le sol étant partout cristallin, présente des fractures sans nombre qui se propagent à une grande profondeur, et que l'eau (s'il en existe) est cachée tout entière dans ces cavités. Elle devrait, d'ailleurs, y être bientôt exposée aux effets de la chaleur centrale, laquelle réduirait sans cesse en vapeur le liquide qui s'enfonce aux plus grandes profondeurs. Challis croit avoir aperçu des signes de brouillard sur une des parties basses qui se présentait au bord du disque, et qui jetait une très-faible brume sur les astres dont elle s'approchait.

Il est certain, d'un autre côté, que la pression atmosphérique est excessivement faible, et sous cet air

raréfié l'évaporation des liquides doit se faire avec une rapidité extrême. D'après les apparences de l'éclipse totale de 1860, Airy croit qu'il existe une atmosphère continue entre la Terre et la Lune. Ce n'est pas peut-être une atmosphère partout identique dans sa composition, mais c'est une masse aériforme ininterrompue.

Toutefois, pendant que l'air se tasse autour de la Terre par suite de l'attraction puissante de notre globe, il reste tellement rare autour de la Lune qu'il y produit à peine des effets de réfraction. Les astronomes ont longtemps cherché en vain ces effets, quand la Lune passe devant une des nombreuses étoiles qu'elle rencontre sur sa route. L'enveloppe gazeuse devrait, dans ces occasions, altérer la position apparente de l'étoile, comme le ferait l'interposition d'un verre bombé. Or, la déviation est si faible qu'il a fallu à Piazzi Smyth les précautions les plus délicates pour la démêler.

Sans eau, et pour ainsi dire sans air, la Lune n'est guère propre à la vie organique. Nos télescopes les plus puissants y montreraient les grandes masses de végétation, les forêts par exemple, s'il existait rien de pareil à sa surface. Des monuments isolés, comme Stonehenge, et même les pyramides d'Égypte, échapperaient sans doute à nos instruments; mais des ruines puissantes comme celles de Palmyre et d'Angkor-Tom, ou des cités vivantes, comme Paris et Londres, formeraient des taches sur le caractère desquelles il serait difficile de se tromper.

On a donc quelque raison d'appeler la Lune un astre mort; c'est tout au moins un astre qui manque de vie organique à sa surface. Il s'est arrêté à la période plu-

tonienne, et son sol entier semble appartenir à la voie ignée. On dirait que sur ce petit globe, où la pesanteur est naturellement faible, la chaleur centrale ait joui d'un plus libre cours pour façonner la surface, et que « le cyclope intérieur, penché sur sa fournaise, <sup>1</sup> » soit resté le maître absolu du terrain.

### § 38. ACCÉLÉRATION SÉCULAIRE.

Un intérêt tout particulier s'attache à cet astre, à cause de sa très-grande proximité. C'est le plus rapproché de tous les corps célestes. Il circule pour ainsi dire dans notre atmosphère, ou dans le prolongement de notre atmosphère, à une distance si peu considérable que nous le voyons dans nos lunettes comme de Genève ou de Lausanne on voit à l'œil nu le Mont-Blanc. C'est donc de tous les astres celui qui se prête le mieux à l'étude et à l'examen. Par lui, nous apercevons en quelque sorte comment la Terre elle-même se meut suspendue dans l'espace céleste. Nous le voyons passer et repasser dans sa carrière, et nos instruments nous instruisent des moindres particularités de son mouvement. Nous le voyons s'accélérer ou se ralentir dans les différentes parties de son orbite, conformément aux lois générales de la mécanique. Sa vitesse subit, en effet, de grandes variations : Montaigne appelle la Lune « l'inégale courrière de nos nuits. » Mais ces inégalités sont réglées, jusque dans leurs détails les plus minutieux, par les principes de la gravitation.

<sup>1</sup> EUG. PELLETAN, *Profession de foi du XIX<sup>e</sup> siècle*, chap. II.

Les astronomes d'Alexandrie connaissaient les traits principaux du mouvement de la Lune, que Ptolémée avait essayé de représenter par ses « épicycles. » Dès avant l'application des lunettes aux cercles divisés, Tycho-Brahé avait apporté un nouveau soin à l'observation des mouvements lunaires. Mais rien ne prouve mieux l'obéissance parfaite de notre satellite aux lois de la gravitation, que le fait, si bien étudié par Tobie Mayer, de l'*accélération séculaire*.

La Lune, revenant à la même étoile tous les 27<sup>i</sup> 8<sup>h</sup> (en nombres ronds), décrit 1 337 fois la circonférence de la sphère céleste en un siècle et cinq jours environ, ou 36 529 jours. Mais l'observation fait connaître qu'en accomplissant ce trajet, elle emploie, dans chaque siècle, un peu moins de temps que dans le siècle précédent. Elle gagne en cent ans environ seize secondes et demie, c'est-à-dire que chaque période séculaire de 1 337 révolutions sidérales s'accomplit en seize secondes et demie de moins que la période séculaire qui a précédé. Les effets de cette accélération sont sensibles pratiquement. Car si l'on n'en tenait pas compte, les éclipses observées, il y a vingt ou vingt-cinq siècles, par les peuples de l'Orient, différeraient de deux heures par rapport aux calculs que nous en faisons.

La cause de cette accélération était restée une énigme, jusqu'à ce que Laplace l'eut démêlée avec un admirable talent. C'est le résultat final, et comme le dernier mot d'un ensemble de variations qui, à cette exception près, se détruisent périodiquement, et par conséquent ne laissent pas de trace sensible. Ainsi, quand la Lune, dans sa révolution autour de la Terre, se trouve entre

notre globe et le Soleil, l'attraction de celui-ci combat celle de la Terre, tandis que dans la position opposée, lorsque la Lune est dans son plein, l'attraction du Soleil sur notre satellite s'ajoute à celle de notre globe. Or, si l'attraction augmente, l'astre doit se rapprocher du centre et sa vitesse s'accroître, tandis que si cette attraction diminue, il doit s'éloigner et se ralentir. La première partie de la révolution, dans la portion de l'orbite lunaire la plus voisine du Soleil, est donc un peu allongée, tandis que l'autre partie se trouve raccourcie. Mais, comme le premier effet est produit dans une plus grande proximité du Soleil, il l'emporte un peu sur l'autre; et au total, la révolution de la Lune autour de la Terre prend un peu plus de temps qu'il n'en faudrait à notre satellite, si le Soleil n'en altérait pas les mouvements. Il n'y a rien toutefois qui nous permette d'apprécier cet allongement, aussi longtemps qu'il reste exactement le même à toutes les révolutions.

Mais poussons l'examen plus loin. En hiver, quand la Terre, et la Lune avec elle, est plus près du Soleil dans son orbite, l'influence de l'astre perturbateur est plus marquée que dans la saison opposée, où cet astre, le Soleil, est plus éloigné. Or, ici encore, l'effet produit à courte distance doit l'emporter sur celui produit de plus loin. Cet effet, on se le rappelle, est d'allonger la révolution. Ainsi, par suite de l'ellipticité de l'orbite terrestre, la Lune met, en définitive, un peu plus de temps à achever son cours qu'elle ne le ferait si notre orbite constituait un cercle parfait. Mais cet allongement se confond encore dans la durée de la révolution, et nous n'avons pas les moyens de le discerner.

Nous touchons cependant au point où le phénomène va devenir sensible. Sous l'influence des planètes qui nous entourent, l'orbite terrestre tend de plus en plus à devenir un cercle, jusqu'au temps où cette action changera d'allure et rendra à l'orbite son ellipticité. Le fait présent est que, de siècle en siècle, elle se rapproche davantage d'un cercle parfait. Ainsi l'augmentation du temps périodique de la Lune, dépendant, comme on vient de le voir, de l'ellipticité de notre orbite, doit être un peu moindre dans chaque siècle que dans le siècle qui précédait. La révolution se rapproche donc de ce qu'elle serait si le Soleil n'existait pas, et par conséquent elle s'accélère de siècle en siècle et de mille ans en mille ans. Ici, d'ailleurs, nous n'avons pas de compensation immédiate; en sorte que l'écart se dégage de toutes les oscillations. C'est le reliquat de compte, si l'on ose le dire, et le seul trait qui, au milieu de tant d'accélération et de ralentissements, ne se trouve ni détruit ni constant.

### § 39. ÉCLIPSES.

Du temps de la civilisation grecque, à l'époque, par exemple, de la lutte entre la Grèce et la Perse, la lunaison devait avoir au moins une demi-seconde de plus qu'aujourd'hui. L'année tropique était alors plus longue qu'elle ne l'est de nos jours d'à peu près seize secondes. La première de ces périodes s'élevait presque exactement à  $29^j 12^h 44^m 3 \frac{1}{3}^s$  (ou en décimales  $29^j, 530 60$ ), et la seconde à  $365^j 5^h 49^m 3^s$  (ou  $365^j 242 3$ ). Ce fut l'époque où Méthon fit la remarque importante que



19 années tropiques équivalent sensiblement à 235 lunaisons. La différence n'était de son temps que de 2 heures 2 minutes ; elle atteint aujourd'hui 3 minutes de plus. Ainsi, tous les dix-neuf ans, ou après 6 939 jours  $14\frac{1}{3}$  heures, les phases reviennent dans le même ordre, et, ce qui est plus important encore, la Lune est aussi aux mêmes points, ou à bien peu près, dans ses excursions vers le Nord ou vers le Sud. Par conséquent, non-seulement les phases mais les éclipses se reproduisent alors presque de la même manière, et dix-neuf ans d'observations donnent la clef de ces phénomènes pour les dix-neuf ans qui vont succéder.

Les Athéniens furent tellement frappés de cette découverte qu'ils ordonnèrent de la graver en lettres d'or sur les murs du temple de Minerve. De là vint le nom de *nombre d'or*, qu'on donne au rang d'une année proposée dans le cycle de dix-neuf ans. La première de ces périodes commença l'an 419 avant notre ère, et l'on n'a pas cessé depuis lors de compter les années dans cette succession.

Méthon avait dissipé l'incertitude dans laquelle le retour des éclipses était resté jusque-là enveloppé. Pourquoi, dans certaines pleines Lunes, l'astre passe-t-il dans l'ombre de la Terre, tandis que, dans d'autres pleines Lunes, il ne rencontre pas cette ombre sur son chemin ? Pourquoi, à l'époque de la Lune nouvelle, notre satellite s'interpose-t-il parfois devant le Soleil, dont il cause ainsi l'éclipse, pendant que d'autres fois il passe plus haut ou plus bas ? C'est que le plan dans lequel il circule n'est pas exactement celui de l'orbite terrestre ; c'est que la Lune est, en général, au Sud ou

au Nord de ce plan. Elle le traverse seulement dans deux points opposés de sa course, à deux instants particuliers de sa révolution, éloignés l'un de l'autre de treize jours et demi environ. Partout ailleurs elle est trop haut ou trop bas pour qu'il y ait éclipse. Mais dans le voisinage de ces points, qu'on appelle les *nœuds*, les trois astres, le Soleil, la Lune et la Terre, au lieu d'être sur une ligne brisée, sont sur une ligne droite aux instants de la nouvelle ou de la pleine Lune, et celui qui se trouve dans le milieu doit cacher le Soleil à celui qui est du côté opposé.

Si les nœuds étaient fixes ou, en d'autres termes, si le plan dans lequel la Lune circule conservait toujours la même position, les éclipses arriveraient constamment dans la même saison, à six mois environ d'intervalle. En jetant les yeux sur un almanach, on voit en effet que, dans toute année donnée, les éclipses tombent à deux périodes différentes, qui sont séparées par un intervalle de six mois. Mais l'époque écliptique change d'année en année, parce que le plan de l'orbite lunaire se balance, comme la toupie ou comme le gyroscope (§ 13). Et c'est aussi par une cause semblable : c'est par suite de l'attraction du Soleil et des autres corps extérieurs. L'orbite entière de la Lune obéit, comme si c'était une ligne matérielle, à une action parfaitement analogue à celle qui engendre la précession. L'oscillation est toutefois beaucoup plus prompte, puisque sa période est seulement de dix-huit ans et demi. Dans cet intervalle, chacune des deux époques écliptiques de l'année a parcouru les douze mois du calendrier.

Dans l'éclipse de Lune, c'est la Terre qui cache le

Soleil à la Lune : d'où résulte que celle-ci, au lieu de rester lumineuse, se trouve plongée dans l'obscurité.

Dans l'éclipse de Soleil, c'est la Lune qui cache ce luminaire aux habitants de la Terre. Plus notre satellite est loin de ses nœuds, plus l'éclipse perd en importance, et se réduit à une moindre partie du disque. A une distance suffisante de ces nœuds, il n'y a plus de contact apparent ni d'obscurcissement.

C'est par les éclipses de Lune qu'on a connu pour la première fois la figure de la Terre. L'ombre portée par notre globe en dessine la forme, comme peut le faire l'ombre d'une orange projetée sur un mur. Or, cette ombre est ronde, et elle est isolée de tous les côtés. Les anciens en avaient conclu la sphéricité de notre globe, et sa libre suspension dans l'espace, longtemps avant que les astronomes d'Almamoun eussent mesuré, dans les plaines de la Mésopotamie, la courbure d'un méridien terrestre, et bien plus longtemps encore avant que Magellan eût fait le tour de notre planète. Mais il n'est pas inutile d'ajouter que pendant sa longue course sur le Pacifique, pendant cette marche à travers l'inconnu qui effrayait tant ses matelots, le grand navigateur portugais, poursuivant sa route avec une indomptable persévérance, répétait sans cesse : « On peut faire le tour de la Terre, puisque l'ombre qu'elle jette est circulaire et qu'elle atteste sa rondeur. »

---

## CHAPITRE IV.

---

### § 40. PLANÈTES INFÉRIEURES.

Le Soleil et la Lune ne sont pas les seuls corps qui, en vertu de mouvements particuliers, traversent les constellations zodiacales et se distinguent des fixes. Il existe un certain nombre d'astres ressemblant assez à des étoiles, et qui sont également dans un mouvement incessant à travers le ciel. Cinq d'entre eux sont visibles à la vue simple. Mais il faut y joindre deux autres globes qu'on aperçoit par les lunettes, et qui, par leur volume et leurs caractères, doivent être assimilés à ceux dont nous venons de parler. Ces sept corps sont nommés *planètes*, expression grecque qui signifie « errants » ou voyageurs.

On peut les diviser en deux groupes. Le premier est

celui des *planètes inférieures*, qui se compose de Mercure et de Vénus. Ces deux astres présentent des mouvements très-particuliers. On ne les voit guère que le matin, peu de temps avant le lever du Soleil (ils sont appelés alors *étoiles du matin*), ou le soir, après le coucher du grand luminaire, qu'ils suivent à peu de distance comme *étoiles du soir*.

Vénus est plus brillante que Mercure, et se dégage davantage des rayons du Soleil. Lorsqu'elle commence à paraître dans le crépuscule du matin, elle est faible encore ; mais bientôt elle croît rapidement en lumière. Au bout d'un mois environ, elle atteint son plus grand éclat. Elle surpasse alors d'une manière notable Sirius et les plus belles fixes du ciel. Sa blancheur est fort remarquable, son diamètre paraît à l'œil plus sensible que celui des étoiles, et sous ses rayons les objets portent une ombre légère, qu'il est cependant facile de distinguer. Dans ces moments d'éclat maximum, on peut continuer à suivre Vénus à l'œil nu pendant la journée. C'est alors que le hasard la fait parfois découvrir aux passants au-dessus de quelque édifice, et que la foule s'arrête, croyant à un phénomène extraordinaire ou même miraculeux.

Continuant à s'écarter du Soleil vers l'Occident, Vénus, étoile du matin, se lève de plus en plus tôt, et peut précéder de trois heures l'astre du jour. Mais, après deux mois d'apparition du matin, elle ne s'éloigne plus de cet astre que lentement, et bientôt même demeure pour quelques jours sans s'écarter davantage : elle est à sa plus grande *élongation* à l'Ouest. Elle a déjà diminué un peu de lumière, et va maintenant revenir sur

ses pas. Son éclat s'affaiblit encore à mesure qu'elle se rapproche du Soleil. Elle se lève alors de plus en plus tard, et après sept mois et demi, toujours comptés de sa première apparition le matin, elle est si faible et si voisine du Soleil qu'on la perd de vue.

Néanmoins, c'est pour la revoir quelques jours plus tard de l'autre côté. Ce n'est d'abord qu'un point faible de lumière, qui suit le Soleil dans son mouvement diurne, et se couche presque immédiatement après lui. Vénus est devenue alors étoile du soir. Plus elle retarde sur le Soleil, plus son éclat augmente. Après un peu plus de sept mois d'apparition dans la soirée, elle cesse de retarder sur l'astre du jour : elle reste alors sur l'horizon environ trois heures après lui. C'est la plus grande élongation à l'Orient. Cinq ou six semaines plus tard, arrive le plus grand éclat. Puis, la planète diminue rapidement de lumière, se rapproche du Soleil, et, repassant entre cet astre et la Terre, recommence une autre révolution comme étoile du matin.

Vénus portait d'abord deux noms, suivant qu'on la voyait le soir au Couchant, ou le matin à l'Orient. Mais les Égyptiens reconnurent qu'il ne s'agissait que d'un seul et même astre, qui passait tour à tour d'un côté à l'autre du Soleil. C'est comme un satellite tournant autour de ce lumineux, et que celui-ci emporte avec lui dans son mouvement apparent. Il en est de même de Mercure, qui présente des phénomènes semblables, avec un moindre éclat, et en s'écartant moins des deux côtés du Soleil. L'orbite de Mercure est donc renfermée dans celle de Vénus. Depuis l'invention du télescope, les phases de ces planètes sont venues confirmer d'une

manière inattendue la circulation de ces corps autour du Soleil.

### § 41. PHASES ET RÉVOLUTIONS DES PLANÈTES INFÉRIEURES.

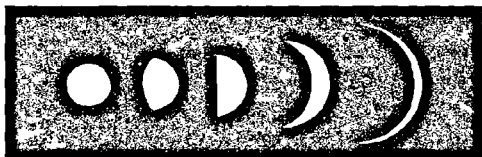
Celles de Vénus furent observées pour la première fois par Galilée, le soir même où, ayant construit son premier télescope, il monta à Venise sur la tour Saint-Marc. Quand Vénus est placée entre nous et le Soleil, position qu'on appelle la *conjonction inférieure*, elle nous présente la partie obscure de son globe. C'est seulement à mesure qu'elle se dégage le matin du crépuscule que nous l'apercevons comme une faucille extrêmement étroite, qui grandit ensuite progressivement. Mais, comme l'astre s'éloigne de nous en même temps, ses dimensions apparentes se rétrécissent et, bien que la phase s'étende, l'éclat absolu finit par diminuer. C'est cette circonstance qui fait tomber le plus grand éclat un peu avant le premier quartier. La phase grandit,



Phases de Vénus, visibles le matin, avant le lever du soleil.

du reste, jusqu'à la *conjonction supérieure*, ou position de la planète au delà du Soleil. Vénus nous tourne alors sa partie éclairée : elle est pleine. Devenue ensuite étoile du soir, elle diminue constamment par la phase ;

mais, comme elle se rapproche alors de notre globe, son éclat s'accroît en dépit de ce rétrécissement. Elle a passé le dernier quartier que cet éclat augmente encore. A la fin cependant, la phase diminue tellement que l'in-



Phases de Vénus, visibles le soir, après le coucher du soleil.

tensité des rayons de la planète décroît. La faucille se resserre de plus en plus, et l'astre revient à sa conjonction inférieure, où son disque est noir. C'est dans ces circonstances qu'il arrive parfois à passer devant le Soleil, figurant alors un petit cercle obscur, qui traverse le disque par un mouvement d'Orient en Occident.

Dans la succession des phases, les quartiers correspondent aux moments des plus grandes élongations. Le plus vif éclat arrive pour Vénus entre la conjonction inférieure et le quartier voisin, c'est-à-dire quand la planète a la figure d'un croissant. Tandis que pour Mercure, il se confond presque avec le quartier, et se présente même quand la phase embrasse un peu plus de la moitié du disque. Mercure est difficile à voir à l'œil nu dans nos climats, car il ne devance ou ne suit jamais le Soleil de deux heures entières. Mais cela suffit, sous les tropiques, pour le voir aisément comme une belle étoile, dans le crépuscule du matin ou dans celui du soir.

On trouvera, à la fin du volume (Table III), les indi-



cations nécessaires pour calculer, pendant une longue suite d'années, les apparences de Mercure et de Vénus.

### § 42. SCINTILLATION.

Le second groupe, appelé des *planètes supérieures*, se compose de Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. Les trois premières seulement sont visibles à l'œil nu. Mars est d'une couleur rouge bien prononcée : il égale parfois en éclat les plus belles étoiles de première grandeur. Jupiter est plus brillant encore : il surpasse souvent Sirius, sans approcher cependant de Vénus dans ses moments d'éclat maximum. Sa nuance d'ailleurs, qu'on rapporte au jaune clair, est bien différente. Enfin Saturne, moins éclatant que Jupiter, est d'un blanc légèrement grisâtre ou, comme disaient les anciens astronomes et les Arabes, d'un blanc plombé. Ces astres, toujours en mouvement le long du zodiaque, ne sont pas portés sur nos cartes, à cause de leur mobilité même, qui ne permet pas de leur assigner une place permanente. Mais on les reconnaît aisément par leurs apparences. De plus, ils n'ont que peu de *scintillation*. Leur lumière est donc plus tranquille que celle des étoiles proprement dites. La cause de cette différence a été expliquée par Arago.

Ce savant a montré, en effet, que la scintillation est due à ce que les physiciens appellent l'interférence des rayons lumineux. Ces rayons sont légèrement déviés dans leur trajet à travers l'atmosphère, selon les variations de pression, de température et d'humidité des

couches qu'ils traversent. De très-petites inégalités dans les conditions atmosphériques que rencontrent deux rayons voisins, suffisent pour ramener ces rayons l'un vers l'autre et les confondre à leur entrée dans l'œil. Dans ce cas, les deux rayons « interfèrent, » et produisent des intermittences rapides de lumière et d'obscurité. C'est ce flux et reflux pressé qui cause la scintillation. Les étoiles, au lieu de nous envoyer leur lumière d'un jet égal et tranquille, paraissent la darder par à-coups successifs et serrés. « Elles clignent l'œil, dit Shakspeare, fatiguées qu'elles sont de veiller <sup>1</sup>. »

Les planètes, au contraire, ne sont pas seulement des points étincelants : elles ont un disque sensible. Au télescope, on voit ce disque comme un cercle dessiné nettement. Une planète est donc un ensemble de points. Quand une portion du disque pâlit par la scintillation, les parties voisines peuvent au même moment darder leur lumière. Quand un point darde, au contraire, les points environnants sont peut-être dans la condition qui les fait pâlir. De là résulte une compensation, non pas absolue, mais suffisante pour donner à la lumière des planètes une apparence de plus grande stabilité. Vers l'horizon cependant, où l'atmosphère est plus dense et plus sujette aux inégalités, la scintillation est toujours plus forte, et les planètes elles-mêmes présentent alors ce phénomène, bien que dans de faibles proportions.

<sup>1</sup> Soliloque de *Richard II*.

## § 43. COURS DES PLANÈTES SUPÉRIEURES.

Pour décrire la marche des planètes supérieures, nous allons prendre comme exemple la plus brillante d'entre elles, qui est Jupiter. Tous les treize mois environ, cette planète est en *opposition* avec le Soleil, c'est-à-dire qu'elle occupe la région du ciel diamétralement opposée à cet astre. Elle est visible alors pendant la nuit entière, se levant le soir, atteignant sa plus grande élévation à minuit et se couchant seulement le matin. C'est aussi l'époque de son plus grand éclat, qui est tel qu'elle donne des ombres appréciables dans certaines circonstances, lorsqu'on les reçoit, par exemple, sur un papier blanc. Dans cette partie de son cours, Jupiter marche assez lentement, à travers les étoiles, d'Orient en Occident. Mais, au bout de deux mois, il s'arrête, et reste quelques jours comme stationnaire, n'ayant de mouvement ni à gauche ni à droite, mais seulement un faible déplacement vers le Nord ou vers le Sud : c'est son point d'arrêt ou *station*. De ce moment il commence à se mouvoir, lentement d'abord, puis un peu plus vite, d'Occident en Orient. Le Soleil qui se transporte dans le même sens, mais d'un mouvement beaucoup plus rapide, le rejoint six mois et demi après l'opposition, et le noie dans ses feux : c'est la *conjonction*. Quand Jupiter se dégage du crépuscule du matin, on voit qu'il se meut toujours dans le sens Ouest-Est, à travers les constellations du zodiaque. Il continue cette marche, après la conjonction, pendant quatre mois et demi. Mais alors il s'arrête encore, stationnaire pour

quelques instants. Depuis la station dont nous avons parlé jusqu'au point où il opère cette nouvelle pause, il a traversé une constellation entière du zodiaque et la moitié d'une seconde constellation. Lorsqu'il se remet à marcher, c'est d'Orient en Occident ou, comme disent les astronomes, dans le sens *rétrograde* ; car il revient sur ses pas par rapport à son mouvement général. Deux mois après, nous le retrouvons en opposition.

Les phases de Jupiter, qu'on suit dans le télescope, viennent constater que cette planète se meut, comme Mercure et Vénus, autour du Soleil. La seule différence est que les planètes inférieures décrivent des orbites intérieures à celle de la Terre, tandis que Jupiter décrit une courbe plus éloignée, extérieure à l'orbite de notre globe. Nous ne le voyons donc jamais entre le Soleil et nous. A l'opposition, la phase est pleine ; elle diminue jusqu'à la station, sans atteindre même le quartier ; puis elle réaugmente ensuite jusqu'à la conjonction, où le disque est de nouveau dans son plein, mais plus petit et moins brillant, parce que l'astre est plus éloigné de nous. Jupiter ne se montre donc jamais sous l'apparence d'un croissant, mais seulement sous celle d'une gibbosité, c'est-à-dire d'un cercle duquel est soustraite une faucille obscure.

Les autres planètes supérieures présentent une marche et des phases absolument analogues. Les durées seules varient. Uranus et surtout Neptune sont les plus lentes. Mars passe par de grandes différences d'éclat, parce qu'il circule immédiatement en dehors de l'orbite de la Terre, et s'approche, par conséquent, beaucoup de nous dans ses oppositions. Il est alors remarquable,

non-seulement par sa vive lumière, mais par la couleur rouge de ses rayons.

On trouvera dans la Table III, à la fin du volume, le moyen de calculer le cours des trois planètes supérieures qui sont visibles à l'œil nu.

#### § 44. SYSTÈME PLANÉTAIRE.

Copernic a montré que les apparences des planètes s'expliquent facilement, lorsqu'on regarde la Terre comme une d'entre elles, qui circule autour du Soleil, entre le groupe des planètes inférieures et celui des planètes supérieures, c'est-à-dire entre Vénus et Mars. C'est de cet observatoire mobile que nous voyons les mouvements. Or, si ces mouvements offrent une certaine complication, surtout pour les planètes supérieures, quand nous les prenons dans leurs apparences immédiates, ils deviennent, au contraire, d'une simplicité remarquable, quand nous tenons compte du déplacement du globe d'où nous les apercevons. On reconnaît alors, en effet, que les huit planètes (la Terre comprise) se meuvent dans un même sens, et d'un mouvement constant et régulier autour du Soleil. Il n'y a plus dans ce cas, pour aucune d'elles, de stations ni de rétrogradations, lesquelles ne sont que des apparences dues à notre changement de situation. Les orbites sont contenues les uns dans les autres; et le mobile le plus voisin du Soleil est celui qui accomplit le plus rapidement sa révolution autour de cet astre, tandis que les temps périodiques augmentent régulièrement avec les distances, sans exception ni interruption. C'est ce qu'on

reconnait, d'ailleurs, à la simple inspection du tableau suivant :

PLANÈTES.	DISTANCES AU SOLEIL, celle de la Terre étant prise pour unité.	RÉVOLUTIONS SIDÉRALES (en nombres ronds).
Planètes inférieures.	Mercure.	0,387
	Vénus.	0,723
	La Terre.	1,000
Planètes supérieures.	Mars.	1,524
	Jupiter.	5,203
	Saturne.	9,539
	Uranus.	19,183
	Neptune.	30,037

A mesure qu'on s'éloigne du Soleil, les durées des révolutions croissent plus rapidement que les distances. Il en résulte que la vitesse absolue dans l'orbite est d'autant plus grande que la planète est plus rapprochée de l'astre central. Mercure parcourt dans son orbite 51 kilomètres par seconde, la Terre 30 kilomètres, et Neptune  $5 \frac{1}{2}$  seulement. Ces vitesses sont de beaucoup supérieures à celle des projectiles de notre artillerie, qui, malgré les derniers perfectionnements, atteignent avec peine 1 kilomètre. Toutefois les mouvements célestes, malgré leur étonnante vélocité, s'accomplissent beaucoup plus aisément. Les globes planétaires emportent leur atmosphère avec eux, et, au delà de celle-ci, ils ne rencontrent sur leur marche qu'un gaz excessivement raréfié, dont la résistance est presque insensible. Il est même probable que ce gaz se meut aussi dans le sens des planètes, autour du Soleil. Le frottement ne cause donc pas d'effets remarquables ; on n'entend pas même un sifflement comparable à celui du boulet. L'harmonie des sphères, dont parlait Pythagore, est

une simple expression figurée, et appartient au domaine de l'imagination.

Le mouvement de transport des planètes, avec une vitesse immense, n'en est pas moins une réalité. Le vaisseau qui nous porte, pour nous servir d'une comparaison, se meut avec une rapidité extraordinaire, mais si régulière, et si bien commune à toutes ses parties, que nous y sommes en repos relatif. On se figure ce qu'un instant d'arrêt devrait produire. Tous les objets mobiles seraient projetés en avant, dans l'espace ouvert, avec cette vitesse de 30 kilomètres par seconde, qui est de trois à quatre mille fois celle des trains ordinaires de nos chemins de fer. Mais il est à peine nécessaire d'ajouter que, dans la nature, les globes circulent sans collision.

#### § 45. DISTANCES DANS LE SYSTÈME PLANÉTAIRE.

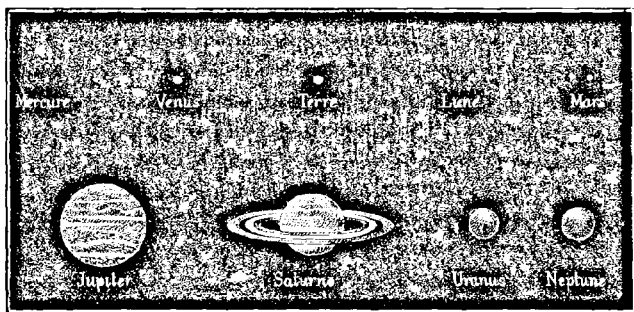
On est frappé, en effet, de l'espacement régulier des orbites planétaires, de la permanence de ces orbites qui demeurent indéfiniment de la même grandeur, et enfin de l'immense distance qui sépare les orbes, par rapport au diamètre des sphères qui les parcourent. Quand Vénus est le plus près de nous, on mettrait plus de trois mille globes comme le nôtre, en file continue, sans atteindre la planète qui, dans son orbite, semble marcher alors à nos côtés. On en mettrait plus de six mille entre la Terre et Mars, quand cette planète supérieure est en opposition et au plus près de nous. Bien que Jupiter soit beaucoup plus gros, 3 800 globes comme le sien tiendraient en file serrée, entre lui et

Mars, lorsque ces deux planètes sont dans leur plus grand rapprochement. Dans le système planétaire, les intervalles sont donc immenses relativement aux diamètres des corps.

Le tableau suivant présente les distances des planètes au Soleil, ainsi que leurs diamètres, en diamètres de notre globe :

PLANÈTES.	DISTANCE AU SOLEIL, en diamètres de la Terre.	DIAMÈTRE, celui de la Terre étant l'unité.
Mercure.	4 450	0,38
Vénus.	8 300	0,95
La Terre.	11 500	1,00
Mars.	17 550	0,54
Jupiter.	59 900	11,16
Saturne.	110 050	9,53
Uranus.	220 800	4,22
Neptune.	345 800	4,41

On voit, par ce tableau, que Vénus est un peu plus petite que notre globe; le diamètre de Mars n'est guère



Grosseur relative des principales planètes.

que la moitié de celui de la Terre, et le diamètre de Mercure un tiers. Mais Neptune et Uranus sont d'un



rayon quadruple de celui de notre globe, et, par conséquent, il faudrait à un navire à vapeur quatre fois plus de temps pour en faire le tour. Saturne est plus gros encore. Quant au diamètre de Jupiter, il est plus de onze fois celui de la Terre. Sa surface est cent vingt fois celle de nos continents et de nos mers réunis ; son volume est treize cents fois le volume de notre globe. Cette grosse planète est donc la plus importante du système, et c'est celle dont l'attraction se fait le plus manifestement sentir.

Pour achever de donner une idée des distances dans le système planétaire, cherchons le temps que divers mobiles mettraient à franchir l'espace qui sépare le Soleil des différentes planètes. Supposons d'abord qu'un train de chemin de fer, faisant 30 kilomètres à l'heure, puisse traverser d'orbite en orbite, en maintenant jour et nuit sa vitesse, et sans jamais s'arrêter : dans ces conditions, un pareil train emploierait  $55 \frac{1}{4}$  jours, ou bien près de huit semaines, pour faire le tour de notre globe. Mais, pour venir du Soleil à la Terre, il lui faudrait 57 ans ; pour arriver à Jupiter, 296 ans ; et enfin, pour traverser le système planétaire dans toute sa largeur, d'un côté à l'autre de l'orbite de Neptune, il ne mettrait pas moins de 34 siècles. Ces nombres étonnent l'imagination. Combien nos idées de distance sont bornées, avant d'étudier la grandeur des cieux ! Qu'on songe à ce train qui marcherait sans s'arrêter depuis l'érection des pyramides, et qui aurait à peine achevé de traverser cet espace, où ne se meuvent en tout que huit corps principaux !

Le son, s'il pouvait se propager d'un globe à l'autre

avec la vitesse ordinaire qu'il a dans l'air de nos climats, franchirait ces distances plus promptement. Sa vitesse est à peu près celle d'un boulet de canon au sortir de la pièce. Le son ferait le tour de notre globe en 3 h. 20 m.; il nous viendrait du Soleil en 51 jours, atteindrait de cet astre central à Jupiter en neuf mois, et traverserait de part en part l'orbite de Neptune en un peu plus de huit ans.

Mais si nous voulons mesurer les distances célestes par des durées plus courtes, et employer des nombres plus simples, avec lesquels l'esprit soit plus familier, il faut prendre soit l'électricité, soit la lumière, dont rien n'égale la rapidité. Les rayons lumineux sont comme des fils insaisissables tendus de globe en globe, par le moyen desquels nous sommes prévenus de ce qui se passe dans ces corps lointains. Dès qu'une facule ou une tache paraît au Soleil, par exemple, dès qu'une explosion s'y opère, c'est par la vue et par la lumière que d'abord nous en sommes instruits. Mais ce n'est pas toutefois instantanément : c'est après une certaine durée, la propagation de la lumière n'étant que successive, comme celle de l'électricité. Le disque du Soleil nous semble encore intact pendant plusieurs minutes après que la tache est déjà formée : l'onde lumineuse partie immédiatement avant l'apparition de cette tache n'a pas encore atteint notre œil. Le tableau que nous voyons est donc toujours en retard sur la nature, et le retard est d'autant plus grand que l'objet est placé plus loin. Un miroitement dans la Lune est signalé en une seconde et un cinquième; mais un phénomène qui arrive dans le Soleil ne parvient à notre connaissance

qu'après huit minutes un quart. Quand Jupiter est en opposition, nous ne revoyons ses satellites, à leur sortie du cône d'ombre, qu'une demi-heure après qu'ils ont repris leur éclat, et vers la conjonction, le retard est de trois quarts d'heure. C'est ce qui avait fourni à Røemer la première détermination de la vitesse de la lumière.

Cet agent rapide, qui ferait cinquante fois le tour de notre globe pendant qu'un oiseau exécute un seul battement d'ailes, met donc huit minutes un quart à venir du Soleil à l'orbite de la Terre. L'ondulation lumineuse met 1 h. 20 m. pour arriver à l'orbite de Saturne, et il lui faut un peu plus de 8 heures pour traverser diamétralement l'orbite de Neptune. Quant aux étoiles, elles sont encore bien plus éloignées. Nous en voyons dans toutes les directions autour de nous ; mais elles sont à une telle distance que le système planétaire est parfaitement libre dans l'espace céleste, et qu'il existe dans l'isolement.

C'est seulement par degrés qu'on est arrivé à se figurer la vaste étendue de ce système, qu'on avait d'abord supposé plus étroit et plus compacte qu'il n'est en effet. Il fallait des instruments très-précis pour mesurer ces immenses distances inaccessibles. Les principaux astronomes arabes, Albategnius par exemple, croyaient encore l'orbite de la Terre quatre ou cinq fois plus petite qu'elle n'est réellement. L'homme ramène tout à son échelle, et il faut l'époque des mesures positives et délicates pour le convaincre de la vérité.

## § 46. SATELLITES DES PLANÈTES.

Le mouvement de la Lune autour de la Terre, dont nous avons parlé plus haut (§ 34), n'est nullement une anomalie dans le système planétaire. Ce n'est pas même un cas isolé. Jupiter a quatre satellites, Saturne en a huit, Uranus quatre au moins, et Neptune un. C'est au télescope qu'on doit cette révélation; c'est Galilée qui, dès sa première revue du ciel avec la lunette qu'il venait de construire, vit Jupiter accompagné de trois petites étoiles, qui se mouvaient avec lui. Le quatrième satellite était, en ce moment, caché derrière la planète; mais il fut aperçu le lendemain par Scheiner. Ces petits corps sont dans un mouvement incessant; ils offrent à chaque instant les combinaisons de distance et de position les plus variées et les plus mobiles. Chacun d'eux s'écarte à l'Occident de la planète, s'arrête à une distance donnée, retourne vers Jupiter, passe au delà de ce globe, souvent même dans son ombre, s'écarte ensuite à l'Orient, s'arrête de nouveau, et revient enfin sur ses pas. Ce sont des sphères qui paraissent sans cesse se poursuivre, s'atteindre, et se dépasser les unes les autres, comme ces boules que les jongleurs lancent et rattrapent avec une seule main. Pour les apparences extérieures, ils rappellent, mais sur une échelle beaucoup moindre, Mercure et Vénus emportés autour du Soleil; pour l'analogie réelle, ils sont comme la Lune tournant autour de la Terre, mais avec la richesse et la variété de quatre corps, au lieu d'un.

En saisissant chaque satellite à l'instant de sa plus grande élongation (§ 40), on le distingue aisément de tous les autres, car les élongations arrivent à des distances fixes de Jupiter, qui dépendent des dimensions relatives des orbites. On reconnaît ainsi que ces orbites sont, comme celles des planètes, contenues les unes dans les autres; que les durées des révolutions augmentent avec la distance à Jupiter; enfin, que les temps périodiques croissent plus vite que ces distances, en sorte que plus le satellite est près de Jupiter, plus il a de vitesse absolue autour de lui.

Ce sont précisément les caractères que nous avons reconnus aux planètes elles-mêmes, circulant autour du Soleil (§ 44). Ainsi le système de Jupiter est comme une miniature du système planétaire. Et l'on peut dire la même chose du système plus riche encore de Saturne et de celui d'Uranus, étudiés par William Herschel, par son fils John Herschel, et par Lassell. Ces petits systèmes, qu'on pourrait appeler systèmes du second ordre, sont à la fois images et parties du système général. La planète, placée au centre de ses satellites, les emporte tournant autour d'elle, comme l'essieu d'une voiture entraîne le long du chemin la roue qui tourne autour de lui.

Il y a une seule différence par rapport aux planètes : c'est que celles-ci sont animées d'une rotation sur elles-mêmes comme notre Terre, pendant que les satellites (au moins tous ceux qui, par leur volume ou par leurs particularités, se prêtent à cette observation) dirigent toujours la même face à leur planète. Or, on reconnaît ici le cas de la Lune (§ 35). Ces petits corps

se sont donc allongés comme notre satellite, sous l'influence du globe central qui les attire. Pour le volume, on peut d'ailleurs les rapporter à la Lune, quelques-uns seulement étant plus petits que ce satellite et quelques-uns plus gros. Autour de planètes aussi volumineuses que Jupiter et Saturne, on devait d'ailleurs s'attendre à trouver certains satellites relativement volumineux.

Vues de leur planète, ces lunes doivent offrir le spectacle le plus curieux et le plus mobile. On en aperçoit la nuit un certain nombre, qui se lèvent tour à tour et diffèrent par leur grandeur apparente ou par leurs phases. Animés de vitesses inégales, ces corps semblent donner dans le ciel le spectacle d'une course aux flambeaux. La rapidité des changements fait aussi un des traits de ces apparitions. Ainsi, dans l'espace de quatre jours de Jupiter, le satellite intérieur de cette planète passe par toute la série des aspects. C'est une lune qui perd ou gagne la moitié de son disque dans le court intervalle d'une nuit.

Voici, en diamètres de la Terre, l'étendue des systèmes particuliers des planètes qui ont des satellites :

Planète.	Nombre de satellites.	Diamètre de l'orbite du satellite extérieur, en diamètres de la Terre.
La Terre.	1	60
Jupiter.	4	300
Saturne.	8	610
Uranus.	4	100
Neptune.	1	60

En comparant ces nombres à ceux de la seconde colonne du tableau du § 45, on voit combien ces systèmes sont encore étroits relativement aux distances

des planètes entre elles. Plus de 160 systèmes de Jupiter, avec ses quatre satellites, trouveraient place entre l'orbite de cette planète et celle de Saturne; et plus de 80 systèmes de Saturne, avec son cortège de huit lunes, tiendraient dans le même intervalle. Il n'y a donc pas plus de danger de collision entre ces systèmes qu'il n'y en avait entre les planètes elles-mêmes; et ce fait demeure vrai que, dans l'espace céleste, les distances sont immenses relativement aux diamètres des corps.

Si l'on représentait la Terre par un globe d'un décimètre de diamètre (ce qui est à peu près la dimension d'un boulet de huit), la Lune serait à 3 mètres de distance, et de la grosseur d'une noix dans son brou. Le Soleil formerait un globe de 11 mètres, par conséquent gros comme une maison, placé à plus d'un kilomètre de la boule représentant la Terre. Jupiter, plus gros qu'un tonneau, serait à 6 kilomètres du Soleil, et Neptune à près de 35 kilomètres. En sorte que, même à cette échelle réduite, une de nos provinces ne suffirait pas pour contenir les orbites que les planètes décrivent autour du Soleil. Qu'on juge maintenant de l'isolement de ces corps! et dans la nature, que d'espace libre en comparaison du plein!

#### § 47. LOIS DE KEPLER.

Après avoir reconnu que la Terre est une des planètes et se meut autour du Soleil, on pouvait tenir compte du déplacement de cet observatoire d'où nous étudions le cours des astres, et, par conséquent, mieux

saisir les mouvements réels. Les orbites des planètes sont renfermées les unes dans les autres ; mais elles ne sont pas exactement circulaires. Après Copernic, il devint possible d'étudier leur figure exacte, et de démêler les inégalités par lesquelles passe la vitesse des planètes dans leur marche autour du Soleil. Kepler éclaircit ces différents points avec le coup d'œil puissant d'un homme de génie. Il établit, en discutant les observations de ses contemporains et de ses devanciers, trois faits de la plus haute importance que nous appelons aujourd'hui trois lois.

D'abord, les orbites des planètes, au lieu d'être des cercles, sont légèrement elliptiques, comme l'orbite même de la Lune. On peut en assimiler la figure à celle d'un cerceau que l'on comprime doucement entre les deux mains. Toutefois elles s'écartent si peu, pour la plupart, de la forme circulaire, que sur un planisphère l'œil ne peut s'en apercevoir. Ce qui est plus sensible, c'est que le centre de chaque orbite n'est pas placé au Soleil, mais à une petite distance de cet astre, qu'on nomme l'*excentricité*. La ligne qui contient le centre de l'orbite et le Soleil est aussi le plus grand diamètre de la courbe. Elle aboutit à cette courbe en deux points appelés les sommets. L'un de ceux-ci, le *périhélie*, correspond au plus grand rapprochement de la planète et du Soleil, et l'autre, l'*aphélie*, à la plus grande distance entre ces deux astres. Dans le langage mathématique, l'orbite d'une planète est une *ellipse*, dont le Soleil occupe l'un des foyers.

Si maintenant nous joignons la planète au Soleil par une ligne fictive, cette ligne est ce qu'on appelle le



*rayon vecteur*. Celui-ci, que l'on se représente entraîné avec le mobile, « balaie » dans l'orbite des espaces qui dépendent de la vitesse actuelle de la planète, et de sa distance au Soleil. Or, Kepler fit voir que, dans toutes les parties de l'orbite, ces espaces ou aires sont proportionnels aux durées employées pour les décrire. Si donc la planète est plus loin du Soleil, elle marche plus lentement, car alors les triangles qui ont leur sommet au Soleil et leur base à l'orbite offrent plus de hauteur. Tandis que, dans la partie de son cours où elle est plus voisine de l'astre central, la planète va plus vite, les triangles étant plus surbaissés. On exprime cette loi en disant que les aires décrites par le rayon vecteur sont proportionnelles au temps.

Enfin Kepler eut l'idée de comparer les révolutions des différentes planètes à leurs distances respectives au Soleil. Il est visible, en jetant les yeux sur le tableau du § 44, que les révolutions augmentent plus rapidement que les distances. Saturne, qui, au *xv<sup>e</sup>* siècle, était la dernière des planètes connues, est  $9\frac{1}{2}$  fois plus loin que la Terre, et il met plus de trois fois ce nombre d'années pour accomplir sa course autour du Soleil. Or, il s'agissait de trouver dans quel rapport croissent ces durées. Après de longs essais, Kepler reconnut que les carrés des temps des révolutions sont proportionnels aux cubes des distances. Dans le tableau cité, la distance, multipliée deux fois de suite par elle-même, donne précisément la révolution (en années) multipliée une fois par elle-même. Pour Neptune, par exemple,  $30 \times 30 \times 30 = 27\ 000$  ; et  $165 \times 165 = 27\ 225$ , qui ne diffère qu'à cause des décimales négligées.

Telles sont donc les trois lois de Kepler :

1. Les orbites des planètes sont des ellipses, dont le Soleil occupe un foyer commun ;

2. Les rayons vecteurs décrivent des aires proportionnelles au temps ;

3. Les carrés des temps des révolutions sont entre eux comme les cubes des grands axes des orbites.

Ces lois s'appliquent à la Terre comme à toutes les autres planètes du système. On s'assure facilement que, dans les différentes parties de son orbite, notre globe ne reste pas à la même distance du Soleil. En effet, le diamètre apparent de cet astre varie sans cesse. Le disque solaire nous apparaît un peu plus large en janvier qu'en juillet, la première époque étant celle du passage de la Terre par son périhélie, et la seconde celle de sa présence au sommet opposé. La Lune est soumise à des variations semblables ; mais, comme ici la Terre est au foyer, les sommets de l'orbite s'appellent le *périgée* et l'*apogée*, ou points au plus près de la Terre et au plus loin. Les satellites de Jupiter obéissent aux lois de Kepler comme font les planètes ; il en est de même de ceux de Saturne et des autres systèmes particuliers. Les trois lois énoncées sont donc générales dans le système solaire. C'est l'expression concise et universelle des faits.

#### § 48. GRAVITATION UNIVERSELLE.

Quand un phénomène peut se réduire à une formule si générale et si simple, c'est qu'il dépend d'une cause également simple, qu'on peut espérer de découvrir.

Bien évidemment, ce n'est pas par l'effet du hasard que les orbés planétaires ont une figure géométrique, et que le mobile se meut le long de sa courbe en décrivant des aires proportionnelles au temps. Mais le calcul seul pouvait nous apprendre d'où dépendent des effets si réguliers. Ce calcul, Newton le tenta. Il montra d'abord que la loi des aires caractérise tous les mouvements mécaniques qui s'exécutent sous l'influence des forces centrales. Nos projectiles, qui vont tomber à distance, décrivent autour du centre de la Terre des aires proportionnelles au temps. Le Soleil est donc, pour les planètes, la source d'une force centrale qui attire à la fois tous ces corps. La loi des aires est vraie, d'ailleurs, indépendamment de la figure des orbites; elle subsiste partout où s'exerce une force attractive, et ne prouve pas autre chose que l'existence d'un point d'attraction.

Mais la figure de la courbe décrite dépend, au contraire, de la loi suivant laquelle la force attractive se propage. Le calcul montre que si l'attraction diminue, à la manière des forces rayonnantes, en raison inverse du carré des distances, les orbites ne peuvent être que des courbes appartenant à celles que les mathématiciens appellent « du second ordre, » parmi lesquelles les ellipses se trouvent comprises. Donc, comme les planètes décrivent des courbes elliptiques, l'attraction du Soleil décroît en raison inverse du carré des distances à cet astre, et dénote une force qui rayonne en tous sens autour du foyer.

Enfin, de la troisième loi de Kepler, on conclut que cette force ne distingue pas entre les corps d'après leur

nature, mais qu'elle leur imprimerait à tous une vitesse égale au bout du même temps. C'est ainsi que la plume et le morceau de plomb, placés dans un tube privé d'air, tombent avec une égale rapidité. Une planète, qu'elle fût lourde ou légère, tournerait dans le même temps autour du Soleil, si l'orbite était la même, et ce temps ne dépendrait que de la distance à l'astre central. Donc, dans le langage de la mécanique, l'attraction est proportionnelle à la masse des corps.

C'est ainsi qu'en cherchant la signification des lois de Kepler, Newton établit l'existence de la gravitation. Il montra que cette force est un attribut universel de la matière dans le système solaire. En fait, chaque particule matérielle est douée d'une certaine attraction envers tout ce qui l'entoure. La force des astres n'est que la résultante des attractions individuelles de toutes les molécules qui les composent. Sur la Terre, l'attraction générale du globe est la *pesanteur*. La puissance de chaque corps céleste dépend de la quantité de matière qu'il renferme. Le Soleil, étant énorme, a une attraction tellement prépondérante qu'il est le centre des mouvements. Après lui, Jupiter exerce l'action la plus prononcée. Il fait sentir cette action jusqu'à la Terre même, en la déviant légèrement de son orbite pour l'attirer vers lui. Chaque planète subit ainsi l'action de toutes les autres, et les petits dérangements, ou *perturbations*, qui en résultent sont une preuve nouvelle de l'universalité de la gravitation. C'est par certains dérangements d'Uranus, qu'il était impossible de rapporter aux planètes connues, que Le Verrier put signaler l'existence de Neptune, et même indiquer la

région du ciel que devait alors occuper cette planète, où Galle la découvrit en effet.

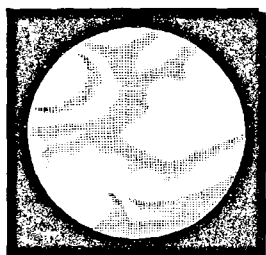
#### § 49. CONSTITUTION PHYSIQUE DES PETITES PLANÈTES.

On comprend maintenant comment on a pu calculer la quantité de matière que renferment les différentes planètes. Il suffisait d'observer les effets de l'action attractive de chacune d'elles. On s'est ainsi renseigné sur leur densité. On a reconnu que les petites planètes sont dans un état plus condensé que les grosses. La Terre, Mars, Vénus et Mercure constituent un groupe physique bien caractérisé : celui que nous appelons des « petites planètes. » Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune forment un autre groupe, uni par d'intimes rapports : ces planètes extérieures sont les « grosses planètes. »

La Terre peut être prise pour le type des quatre premières. Celles-ci ont un jour de 24 heures ou à très-peu près. L'aplatissement de ces globes sous leurs pôles est presque insensible. Leur année ne contient, pour aucun d'eux, mille de leurs jours. Les axes sont tellement inclinés sur les orbites que la distinction des climats est bien sensible à leur surface, et que le cycle des saisons est fortement marqué dans les zones tempérées, et surtout dans le voisinage des pôles de rotation. Chacune de ces planètes est entourée d'une atmosphère, qui répand les crépuscules, et dans laquelle des changements météorologiques s'opèrent plus ou moins rapidement. Leur sol absorbe une portion de la lumière solaire qui les frappe. A en juger par sa densité, ce sol doit se composer, au moins en partie, de matières so-

lides, approchant par leur cohésion des roches qui forment nos terrains. Dans Vénus et dans Mercure, les montagnes sont considérables; elles atteignent des proportions plus importantes que celles de notre globe. Schröter en a mesuré quelques-unes d'après les dentelures qu'elles causaient à la limite de la phase. Mais c'est Mars qui paraît ressembler le plus étroitement à notre Terre; et c'est lui d'ailleurs qui, par sa proximité dans les oppositions, se prête le mieux à l'observation.

Dès le siècle dernier, Maraldi avait signalé, dans les régions polaires de la planète Mars, deux taches blanches, qui représentent, à n'en pas douter, des calottes



Mars.

de glace. En effet, on voit la calotte de chacun des pôles s'étendre quand ce pôle a l'hiver, et se resserrer ensuite quand ce pôle a l'été. On voit tout à coup certaines parties de la surface de cette planète s'obscurcir à demi, comme si l'air se troublait et que les nuages vinsent succéder à une

atmosphère pure. D'autres fois, le sol blanchit, surtout en hiver et dans les hautes latitudes, comme s'il avait subi une chute de neige. La surface paraît se composer, d'ailleurs, de mers et de continents. Beer et Mädler ont dressé une mappemonde de Mars qu'on ne peut examiner sans un vif intérêt. Soit par l'effet d'analogies encore inexplicées, soit par celui de rencontres fortuites, cette mappemonde rappelle, dans ses traits généraux, la mappemonde terrestre. Les terres sont

groupées autour du pôle Nord et les eaux autour du pôle Sud. Au Nord, les continents s'élargissent et se perdent sous les glaces ; au Sud, ils se terminent par des pointes ou promontoires, comme notre cap Horn, notre cap de Bonne-Espérance et notre cap Comorin. Il y a même deux continents principaux : l'un, développé de l'Est à l'Ouest, comme notre ancien monde ; et l'autre, orienté du Nord au Sud, comme notre Amérique. Les ressemblances ont réellement quelque chose d'étonnant.

Il ne faut pas cependant attacher trop d'importance à des rapprochements qui probablement ne dépendent pas de lois absolues. Mais ces analogies suffisent pour montrer combien la ressemblance est étroite entre Mars et la Terre, au moins dans les caractères généraux. La teinte seule est manifestement distincte. Mars aurait-il une végétation rougeâtre, au lieu d'un feuillage vert ? Ou bien cette couleur rouge provient-elle d'une précipitation plus constante et plus énergique de la vapeur d'eau, comme celle qui colore nos couchers de Soleil ? Nous l'ignorons encore. Mais ce que nous pouvons affirmer, c'est que non-seulement Mars est un monde, mais un monde beaucoup plus ressemblant au nôtre qu'on ne l'aurait sans doute pensé d'abord. C'est bien à ce globe qu'on peut appliquer le mot de Charles Bell : « L'homme, transporté dans une autre planète, serait seulement comme un voyageur visitant une contrée lointaine, et n'ayant à noter que le changement de climat et la nouveauté des mœurs <sup>1</sup>. »

<sup>1</sup> CH. BELL, *The hand*, ch. I.

## § 50. CONSTITUTION PHYSIQUE DES GROSSES PLANÈTES.

Les grosses planètes sont plus difficiles à étudier, parce qu'elles restent toujours à de plus grandes distances. Uranus et Neptune se présentent dans nos lunettes sous des disques tellement étroits qu'on n'y distingue pas les détails. On a pu cependant mesurer l'aplatissement d'Uranus, qui, comme celui de Jupiter et de Saturne, est considérable, et distingue ces planètes de celles du groupe précédent. La rotation, en effet, est beaucoup plus rapide, et s'accomplit en 10 heures environ <sup>1</sup>. La révolution contient, même pour Jupiter qui marche le plus vite autour du Soleil, plus de dix mille jours de la planète. Les saisons ne changent donc qu'avec une extrême lenteur.

Ces saisons sont, d'ailleurs, pour Jupiter, à peine différentes entre elles, l'équateur de ce globe coïncidant presque avec son orbite. Dans Saturne, elles ont quelque chose de plus distinct; mais le Soleil est si loin que son influence calorifique devient de moins en moins sensible. Uranus tourne presque à angle droit sur son orbite; sur ce globe, les cercles polaires descendent jusqu'à l'équateur. La nuit polaire peut donc s'étendre à tout un hémisphère. De grandes régions de la planète restent plongées dans l'obscurité, pendant des périodes

<sup>1</sup> Pour Jupiter et Saturne, la durée de la rotation a été mesurée par l'observation. Pour Uranus, nous en avons calculé les limites, par les formules de la mécanique, d'après l'aplatissement observé et la vitesse des satellites (*Bulletin de l'Académie de Belgique*; 1856, tome XXIII).

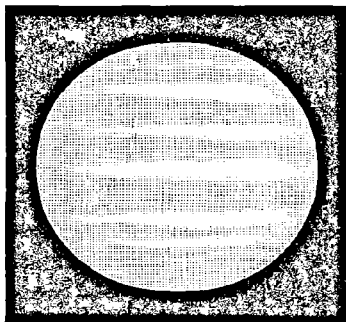


qui embrassent chacune bien des années de notre Terre. Enfin, dans Neptune, l'équateur est non-seulement relevé à angle droit, mais en partie renversé, tellement que la rotation s'opère en sens contraire de la révolution. Le Soleil, vu de cette planète, n'est guère plus gros que Jupiter vu de la Terre dans ses oppositions; mais il jette cependant beaucoup plus d'éclat, et ne doit pas être sans donner une certaine chaleur. Toutefois les effets de lumière sont bien différents de ce qu'ils sont sur notre Terre. L'arc-en-ciel, par exemple, est moins riche, mais plus cohérent. Il n'a pas d'orangé ni de jaune : le vert et le rouge se touchent, et l'arc se compose seulement de quatre couleurs <sup>1</sup>.

La densité des grosses planètes est notablement inférieure à celle des petits globes parmi lesquels nous avons rangé la Terre. Elle surpasse à peine celle de l'eau ; pour Saturne même, elle est sensiblement moindre. Or, nous parlons ici de la densité moyenne, et comme les couches les plus denses d'un corps céleste sont vers le centre, la surface peut à peine être solidifiée. Le disque de Jupiter est traversé de bandes, voisines de son équateur, un peu variables dans leurs apparences, qui indiquent sans doute un courant de rotation et des vents alisés. Mais tout ce que nous voyons à la surface de ce globe est atmosphérique, et n'annonce jusqu'ici ni continents ni mers. Secchi regarde la ceinture de Jupiter comme purement et déci-

<sup>1</sup> Cette remarque, qui n'a guère trouvé place jusqu'ici dans les ouvrages de vulgarisation, est de BREWSTER, *Life of sir Isaac Newton*, chap. 5.

dément formée de nuages. Un peu plus bas sur le disque, cet astronome signale une ligne jaunâtre, excessivement fine, ressemblant à un fil microscopique. On ignore ce qui la produit.



Jupiter.

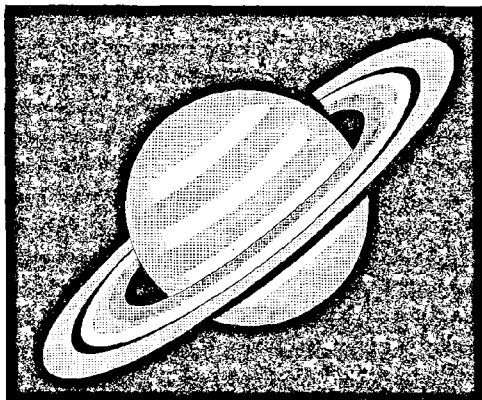
Il est certain cependant que, dans cette atmosphère qui fait de Jupiter une sorte de nuage globulaire, il y a d'assez grandes différences de constitution.

La teinte générale de la lumière réfléchie est jaune-clair ; néanmoins, à mesure qu'on avance vers les pôles, on voit cette teinte grisonner graduellement ; les deux calottes polaires ont une lumière plus terne et gris de plomb.

Mais pendant que Jupiter, si puissant en volume, ne semble pas encore solidifié, ses satellites, qui sont beaucoup plus petits, ont probablement subi le sort de la Lune. Toujours est-il que le troisième présente une apparence nettement définie. Sa lumière est faible ou forte, suivant que nous en voyons telle ou telle partie, et cela toujours dans les mêmes circonstances et avec les mêmes particularités. Il a la fixité d'aspect d'un globe solide. On entrevoit donc un rapport entre l'état physique d'un corps céleste et sa grosseur. Pour devenir solide, il faut qu'un globe soit arrivé à un certain degré de concentration et à une grande réduction de volume.

Saturne offre à sa surface une gradation de nuances analogue à celle que présente Jupiter. Les pôles sont même d'un gris de plomb plus prononcé, et cette teinte s'étend plus loin sur le disque : ce qui donne à la lumière de la planète l'apparence plombée qui en caractérise l'aspect général. Mais, sous les zones tempérées, le disque est légèrement rougeâtre, et, sous l'équateur, il est blanc. Saturne a, d'ailleurs, des bandes comme Jupiter, et sa surface est probablement une masse d'air, de vapeurs et de nuages.

Cette planète est entourée à une faible distance, c'est-à-dire après un intervalle d'un quart environ du rayon de son globe, d'un système d'*anneaux* tout particulier. Ce sont des cercles très-minces pour leur lar-



Saturne

geur, enchâssés les uns dans les autres, et situés dans le prolongement même de l'équateur de Saturne. Une

rondelle découpée dans une feuille de papier, avec un vide central au milieu duquel on placerait une orange, donnerait une idée assez nette de Saturne au centre de ses anneaux. C'est, a-t-on dit, « une tête dans sa fraise. » D'après la théorie de la mécanique, appliquée par Maxwell aux conditions d'équilibre d'un pareil système, les anneaux ne sont ni à l'état liquide, ni formés chacun d'une plaque solide. Ils ne peuvent être constitués que de particules disjointes, qui se meuvent soit en zones étroites, soit même d'une manière indépendante; car les anneaux tournent autour de la planète, comme le feraient autant de satellites. C'est ce qu'on a reconnu par le mouvement des bosselures qu'ils contiennent çà et là. Ce sont, en effet, des espèces de satellites continus, des satellites répandus sur toute la circonférence de leur orbite. L'anneau interne est formé d'une poussière dont les grains sont tellement espacés que Bond et Lassell ont pu voir au travers le contour des parties du disque de Saturne placées au delà de cette masse. Ce contour n'était pas déformé, comme il l'eût été si la lumière avait passé à travers un liquide. Il s'agit donc bien d'un nuage de poussière ou de corpuscules extrêmement aplati, et disposé en anneau continu autour de la planète. Cette poussière serait-elle le germe d'un satellite, et doit-elle quelque jour se réunir en globe, sur un point de son orbite, autour d'un des grumeaux qu'on y remarque aujourd'hui?

Les anneaux extérieurs sont plus brillants et d'une poussière plus serrée que l'anneau interne. Ils jettent une ombre sur la planète, comme pourrait le faire un nuage épais. Quand Saturne atteint, dans son cours de

vingt-neuf ans et demi, le point qui sépare la constellation du Lion de celle de la Vierge, ou encore celui qui sépare le Verseau des Poissons, le plan des anneaux passe par notre globe, et nous voyons ces anneaux par leur tranche, comme un filet de lumière d'une excessive minceur. C'est alors aussi qu'on distingue le mieux les bosselures ou grumeaux que les anneaux renferment. Après avoir vu la face éclairée de ces cercles, ceux-ci nous tournent alors, au bout de quelques jours, leur côté obscur. Les anneaux n'ont donc pas de lumière par eux-mêmes et sont simplement éclairés par les rayons du Soleil. Avant qu'on eût des télescopes puissants, ces diverses apparences n'étaient pas bien expliquées. On avait cru un instant que Saturne possédait deux appendices, attachés aux flancs du globe principal. C'est Huygens qui démêla le premier ces apparences, et décrivit la figure générale et la position des anneaux.

Outre les huit lunes, qui donnent lieu aux combinaisons de phases et de mouvements les plus variées, un observateur placé dans Saturne verrait encore ces anneaux, tendus comme des arcs gigantesques d'un bord à l'autre de son horizon. Tantôt il aurait sous les yeux le côté obscur, cachant la nuit une partie des étoiles, comme ferait une arche de pont, et le jour déroband la vue du Soleil pendant plusieurs heures. Puis, durant quatorze années, il verrait la face éclairée, dessinant dans le ciel une banderole brillante, interrompue seulement par l'ombre que la planète porte sur ses anneaux.

## CHAPITRE V.

### § 51. ASTÉROÏDES ENTRE MARS ET JUPITER.

En examinant les distances des planètes au Soleil, on reconnaît dans l'espacement de ces corps une loi remarquable, dont Bode s'est exercé à montrer l'importance. Prenons, par exemple, le tableau où ces distances sont exprimées en rayons de l'orbite de la Terre, et bornons-nous à une seule décimale pour plus de simplicité. Nous trouvons qu'à partir de l'orbite de Mercure les distances croissent sensiblement par intervalles doubles, comme on le voit ici :

PLANÈTES.	DISTANCE CALCULÉE.	DISTANCE RÉELLE.
Mercure.		0,4
Vénus.	$0,4 + 0,3 = 0,7$	0,7
La Terre.	$0,4 + 0,6 = 1,0$	1,0
Mars.	$0,4 + 1,2 = 1,6$	1,5
.....	$0,4 + 2,4 = 2,8$	.....
Jupiter.	$0,4 + 4,8 = 5,2$	5,2
Saturne.	$0,4 + 9,6 = 10,0$	9,5

Uranus, qu'on ne connaissait pas alors, est venu se ranger dans la série ; mais Neptune, la planète extérieure de notre système, n'y satisfait pas aussi bien :

Uranus.	$0,4 + 19,2 = 19,6$	19,2
Neptune.	$0,4 + 38,4 = 38,8$	30,0

Les quantités ajoutées (0,3 ; 0,6 ; 1,2, etc.) sont chacune le double de la précédente. Bien que cette formule n'ait pas la rigueur des lois de Kepler, elle signale pourtant un trait général dans l'espacement des orbites des planètes : elle nous montre comment le système solaire a été « scandé. » Or, ce tableau appelle l'attention sur un fait extrêmement remarquable. Il a un terme de plus que la nature : il indique, entre Mars et Jupiter, une planète que nous ne connaissons pas.

Eh bien, cette zone est occupée non par une planète, mais par un anneau d'*astéroïdes* ou planètes en miniature, qui se meuvent tous dans le même sens autour du Soleil. Il serait impossible aujourd'hui de dire combien de ces corps fragmentaires circulent entre Mars et Jupiter. Depuis qu'on les cherche assidûment au ciel, on en découvre cinq ou six chaque année, et cette récolte dure depuis vingt ans sans que le champ paraisse s'épuiser. Au commencement de notre siècle, Piazzi avait trouvé le premier d'entre eux, qu'il avait nommé Cérès ; Olbers et Harding en avaient bientôt ajouté trois autres. Mais on avait ensuite cessé de chercher. Ces petits astres se distinguent des fixes par leur mouvement propre. Lorsqu'on rencontre au ciel une faible étoile télescopique qui se déplace par rapport à ses voisines, on a découvert un astéroïde. Goldschmidt, Hind, Peters, Luther, Pogson, Chacornac, Watson, se sont

particulièrement distingués dans cette recherche. Nous connaissons un peu plus de cent vingt astéroïdes. Mais il n'y aurait rien de bien téméraire à avancer qu'on en trouvera plus de mille sur la liste formée par nos successeurs.

D'après la discussion des mouvements de Mars à laquelle Le Verrier s'est livré, l'attraction de tous ces petits corps réunis n'est pas un tiers de l'action qu'exercerait la Terre à la même distance. Or, ce résultat laisse une marge immense sous le rapport du nombre. Car si la quantité moyenne de matière renfermée dans un de ces astéroïdes n'est pas un millionième de celle que contient la Terre, ainsi qu'on pourrait l'inférer de leur faible volume, quelle multitude de ces corps pourrait exister!

Les astéroïdes, en effet, sont si petits et la zone dans laquelle ils se meuvent a un tel diamètre, qu'on est disposé à croire à un nombre élevé. Toutefois ils ne forment pas nuage, comme les corpuscules plus serrés qui composent les anneaux de Saturne. On pourrait plutôt les comparer aux navires échelonnés sur une route fréquentée, telle que celle de New-York à Liverpool. Comme ces navires, on les voit quelquefois se rapprocher, se rejoindre pour ainsi dire, deux, trois ou quatre ensemble; puis, d'autres fois, parcourir un certain espace dans l'isolement. Leurs orbites, d'ailleurs, s'enchêvêtrent de la manière la plus complexe et en apparence la plus capricieuse, sans cependant se couper mutuellement. Ce sont comme les trajectoires d'une pluie de boulets dans un polygone : tous ces projectiles se meuvent sans se choquer en l'air.



Puis les astéroïdes sont des corps si petits que, même en supposant des orbites excessivement rapprochées entre elles, les chances de collision seraient encore bien faibles. Qu'est-ce donc avec des trajectoires qui se rapprochent seulement par exception à une distance égale à celle de la Terre à la Lune? Tous les astéroïdes sont notablement moins volumineux que notre satellite. Il y en a dont la surface entière ne surpasse pas celle de la Belgique, et dont un piéton ferait le tour en quelques jours ou tout au plus en quelques semaines; il y en a, tels qu'Atalante, par exemple, qui ne paraissent pas plus considérables qu'une des grandes montagnes de notre continent. Certains bolides ou météorites qui ont passé à proximité de la Terre étaient bien plus volumineux. Celui qu'on a vu en Amérique vers la fin du siècle dernier, et dont Olbers a fait le sujet d'un savant Mémoire, avait, selon cet astronome, 900 kilomètres de diamètre, et, s'il était tombé, aurait pu écraser d'un coup un espace presque aussi étendu que la France. Un autre, qui a passé à 40 kilomètres de hauteur, avait au moins le volume du Puy-de-Dôme <sup>1</sup>. Ainsi nous voyons des fragments de différents volumes circuler librement dans les cieux.

#### § 52. ASTÉROÏDES EN DEDANS DE L'ORBITE DE MERCURE.

Tout annonce qu'indépendamment des astéroïdes qui se meuvent en courant circulaire entre les orbites de

<sup>1</sup> *Philosophical transactions*, vol. VI.

Mars et de Jupiter, il existe un autre anneau, beaucoup plus près du Soleil, en dedans de l'orbite de Mercure. Mais cette zone est tellement inondée de lumière que même les télescopes n'y distinguent pas ces corps fragmentaires, si peu apparents. Ceux-ci se révèlent seulement à nous quand ils passent devant le disque du Soleil. On voit alors un petit point noir traverser ce disque plus ou moins rapidement. Il y a quinze ou vingt exemples de ce phénomène, et nul doute qu'en y donnant plus d'attention, on n'en constate bientôt un plus grand nombre. Il y a, dans le mouvement de Mercure, quelque chose qui confirme l'existence de ces corps. Le plus grand diamètre de l'orbite de cette planète tourne lentement dans l'espace, comme le fait d'ailleurs le plus grand diamètre de l'orbite de toute autre planète. La cause de ce mouvement est dans l'attraction des différents corps du système. Or, après avoir calculé l'action que les planètes connues exercent sur Mercure, Le Verrier remarque que toutes ces influences combinées ne suffisent pas pour rendre compte de la vitesse avec laquelle l'ellipse citée tourne dans son plan. Il faut y ajouter une autre puissance, dont le siège est encore inconnu. Supposons qu'un ou plusieurs mobiles se meuvent à l'intérieur de l'orbite de Mercure, et la source de cette attraction sera expliquée.

Mais ce n'est pas un corps seul qui existe dans cette partie du système. Les observations d'objets obscurs devant le Soleil attestent l'existence de plusieurs astéroïdes, dont la zone de circulation paraît, à très-peu près, à mi-chemin entre Mercure et l'astre central. Quelques-uns sont sans doute assez considérables, et

se rapprochent peut-être par leur volume de Mercure lui-même. D'autres ont cela de particulier qu'ils se meuvent par couples, et dans une telle proximité qu'on voit les deux corps en même temps sur le disque du Soleil. Ils le traversent en marchant côte à côte, comme les vaisseaux qui naviguent de conserve sur notre Océan. Tous ces corps vus sur le Soleil y dessinent des taches passagères d'un noir foncé. Ils sont ronds et sans nébulosité qui les enveloppe, comme s'il s'agissait de masses solides, d'une figure globulaire, mais sans air ni vapeurs à l'entour.

### § 53. MÉTÉORITES.

Les corps fragmentaires ne sont donc pas rares dans l'espace céleste. Si les majestueuses planètes sont largement espacées et ne se trouvent que de loin en loin, il y a, dans la vaste étendue intermédiaire, des millions de solides, dans tous les degrés de division. Il y en a depuis les dimensions d'une toute petite planète ou d'un satellite jusqu'à l'état réduit de simple poussière. Les anneaux d'astéroïdes occupent des places fixes, et remplissent en quelque sorte un rôle régulier. Mais il existe aussi des masses fragmentaires qui se meuvent en toute direction, et tranchent sur l'ordre et l'organisation du système solaire. De ce nombre sont les bolides dont nous parlions tout à l'heure, et en général toutes les *météorites*, sous quelque nom particulier qu'on veuille les désigner.

Benzenberg et notre compatriote Adolphe Quetelet ont les premiers étudié avec soin les *étoiles filantes*.

On donne ce nom aux plus petites des météorites, qui ne touchent pas notre globe en passant. Les plus grosses sont appelées *bolides* ou *globes lumineux*. Et quand il arrive aux météorites de tomber sur le sol, elles prennent le nom d'*aérolithes*, c'est-à-dire « pierres de l'air. » Dans ce dernier cas, on peut les recueillir et voir comment elles sont composées.

Les météorites paraissent soudainement. Ce serait une erreur grossière de penser qu'une étoile fixe se transforme jamais en étoile filante. Celle-ci est un corps nouveau, que nous n'apercevions pas auparavant, soit à cause de son éloignement, soit parce qu'il ne répandait alors aucune lumière. Ce corps parcourait sa route, sous l'influence de l'attraction du Soleil et de celle des planètes dont il lui arrivait de s'approcher, comme une balle perdue, qui a été tirée en l'air, et qui passe au milieu des arbres d'un jardin. La balle peut, à un instant donné, frapper un de ces arbres ; et, de même, la météorite peut rencontrer la Terre dans son cours. A mesure qu'elle s'en approche, son mouvement se transforme en chute accélérée, presque toujours oblique par rapport au sol. Le corps commence souvent à jeter son éclat avant d'avoir atteint les couches épaisses de notre atmosphère. Que se passe-t-il quand il se rapproche à 20 ou à 10 kilomètres, ou même plus près, encore du terrain ?

La Terre est, comme on sait, un immense réservoir d'électricité résineuse. Nous ne ressentons point d'effets de cette charge électrique, parce que nous la partageons. Mais quand un corps extérieur s'approche rapidement du sol, quels effets puissants ne doivent point

se produire? L'électricité du mobile est décomposée. En même temps si ce mobile a, comme la Terre et peut-être comme tous les corps qui se meuvent dans l'espace, une charge résineuse, il y aura bientôt répulsion. On peut citer, en effet, bien des exemples où l'on a vu la météorite repoussée par la Terre, lorsqu'elle s'en approchait à une petite distance; et quand elle descend à une faible hauteur, très-souvent elle se brise en éclats avant de toucher le sol. Indépendamment de la chaleur intense que le frottement développe dans notre atmosphère, l'électrisation peut donc concourir à donner aux météorites l'éclat dont elles brillent. Quant à la répulsion qui s'exerce à faible distance entre ces visiteuses et la Terre, elle amortit les effets du choc, quand elle ne prévient pas ce choc tout à fait. Pour des millions d'étoiles filantes, il y a à peine un aérolithe, c'est-à-dire à peine un de ces corps qui viennent jusqu'à nous.

Mais quand la météorite tombe sur le sol, presque toujours après s'être divisée en l'air, et qu'on en ramasse les fragments épars, on n'y trouve pas autre chose que les corps connus sur la Terre. C'est réellement une espèce de pierre. Il y a souvent une proportion de fer assez considérable, et, dans ce cas, la substance est plus pesante. Notre globe renferme aussi beaucoup de fer, et l'on a vu (§ 20) que cet élément entre largement dans la composition du Soleil. Il y aurait donc partout unité de matière. Quelquefois l'analyse a révélé, dans les météorites, un peu de bitume ou de résine qui devait avoir une origine organique; mais on ne peut pas dire qu'il y eût vie sur ces corps mêmes.

Au moins, après l'incandescence qu'ils venaient de subir, toute trace en avait disparu.

On n'est donc pas autorisé à regarder ces corps fragmentaires comme de petits mondes. L'exemple de la Lune, faite toute de pierres et de scories, indiquerait même que les conditions de la vie organique ne se réalisent pas sur les corps d'un volume réduit. Les étoiles filantes sont plutôt des mobiles perdus que des microcosmes, et le Koran n'a pas tort en tout point quand il les nomme « des pierres rougies, que les anges décochent sur la tête des diables. »

#### § 54. AVERSES D'ÉTOILES FILANTES.

Un des faits les plus curieux au sujet des étoiles filantes, c'est leur marche par groupes ou essaims. Dans les nuits ordinaires, un observateur isolé, qui reste attentif, peut en compter environ huit par heure. Elles paraissent alors passer en toute direction et comme au hasard. On les appelle étoiles filantes *sporadiques*, à cause de l'indépendance et de la variété de leurs mouvements.

Mais il y a des époques où l'on en voit un plus grand nombre, quelquefois plusieurs simultanément, et, dans ce cas, la plus grande partie rayonnent d'un certain point de la sphère étoilée. Ce qui est plus remarquable encore, c'est que ces époques d'apparition sont périodiques. Il y a surtout deux dates dans l'année qui sont célèbres pour leurs *averses* d'étoiles filantes. L'une est le 12 novembre et l'autre le 10 août. A la première de ces dates, les météores semblent partir d'un point de la

constellation du Lion; et à la seconde, d'un point du ciel entre Cassiopée et Persée. Ce n'est pas à dire qu'ils commencent tous, au *point d'émanation*, leur course visible. Mais, en prolongeant chaque trajectoire du côté d'où le météore est venu, on voit que toutes ces droites partent, sinon d'un point mathématique, au moins d'une région bien définie du ciel.

Or, cette région est à peu près celle vers laquelle la Terre se meut dans l'espace aux époques citées. Le rayonnement apparent des étoiles filantes est donc, au moins en partie, un effet d'optique. C'est nous qui allons au-devant de leurs essaims. La Terre s'y jette, pour ainsi dire, avec toute sa vitesse de translation dans son orbite. A mesure que nous avançons, les météorites paraissent s'écarter de nous, et nous passent à droite et à gauche. Un effet analogue se produit pour le cavalier qui traverse au galop une forêt de grands arbres, par exemple, une forêt de pins. Les troncs lui paraissent d'abord massés devant lui; mais, à mesure qu'il avance, ils semblent s'écarter pour ainsi dire, et ceux qu'il passe dans sa course lui font l'effet de se mouvoir en sens inverse du cheval, comme des colonnes mobiles qu'il verrait défilér à ses côtés.

En 1799, l'averse du 12 au 13 novembre fut d'une magnificence extrême; et, comme elle se présenta surtout dans les heures avancées de la nuit, ce fut en Amérique qu'on eut la meilleure opportunité de l'observer. Les météores, partant plus ou moins directement de la constellation du Lion, semblaient voler en toute direction. Ils étaient brillants, suivis de traînées plus ou moins persistantes, et en si grand nombre qu'on en

voyait presque toujours plusieurs à la fois (dans certains moments, jusqu'à une vingtaine). Beaucoup semblaient tomber, bien qu'on n'ait pas appris par la suite qu'un seul eût touché le sol nulle part. Le crépuscule du matin avait déjà envahi la sphère, qu'on voyait encore les plus brillantes de ces météorites dessiner au ciel leurs traits fugitifs. Ce phénomène fut si remarquable qu'il produisit une impression profonde, surtout sur les esclaves qui étaient allés aux champs avant le jour. Nous avons encore trouvé aux États-Unis des noirs âgés qui comptaient les dates depuis « l'année où les étoiles avaient tombé. »

Le 12 novembre 1832 ramena une autre averse des plus remarquables, et la même date du mois est tous les ans, ou presque tous les ans, l'époque d'un déploiement plus ou moins brillant. En 1865, l'averse fut magnifique. Vers une heure du matin, le 13 novembre, elle atteignit sa plus grande intensité. A cet instant, pendant le court espace de 7 minutes environ, Hind, aidé de trois autres observateurs, compta plus de cinq cents météores, et bientôt ceux-ci devinrent tellement nombreux qu'il ne fut plus possible de les noter tous. Mais, un quart d'heure ou vingt minutes plus tard, il y avait des signes de ralentissement, et le plus épais de la nuée était évidemment passé. En 1866, il y eut encore une très-belle averse, qui fut observée en Belgique.

On remarque que ces grandes apparitions de novembre reviennent, avec plus de magnificence, tous les trente-trois ans environ, tandis qu'il y a, dans les intervalles, des années où l'averse est à peine sensible. Ce n'est donc pas précisément un anneau continu que la



Terre traverse à cette date annuelle. C'est seulement une partie d'anneau, une sorte de fer à cheval par exemple, qui a une partie beaucoup plus peuplée que ses extrémités. Ce nuage de météorites se meut évidemment autour du Soleil, à la manière des astéroïdes, mais dans une courbe beaucoup plus elliptique, et dont le plan est oblique à celui dans lequel notre globe circule. On peut en dire autant de l'essaim qui produit l'averse d'août, lequel rayonne dans le ciel non d'un point du zodiaque, mais d'un point plus élevé vers le Nord.

Or, Schiaparelli a montré récemment que les routes de ces essaims se confondent avec celles de certaines comètes, sur les traces desquelles les cordons d'étoiles filantes semblent marcher. Quand un amas de corps fragmentaires se trouve exposé, à une grande distance, à l'attraction du Soleil, il se meut vers l'astre attracteur en s'allongeant sans cesse, en défilant corpuscule par corpuscule, si l'on peut s'exprimer ainsi. Il entre dans le système planétaire sous la forme d'un immense fuseau, dont la marche est influencée par les planètes dont il s'approche, et qui peut ainsi se mouvoir quelque jour, dans une courbe fermée, autour de notre astre central. Le cordon est alors acquis à notre système. En s'allongeant toujours, il finit par couvrir son orbite entière, et devient un véritable collier. Chaque fois que la Terre, dans sa révolution annuelle, traverse cette ligne, une averse d'étoiles filantes se déclare. Mais si le cordon n'occupe encore qu'une partie de l'orbite, comme c'est le cas pour les météorites de novembre, l'apparition ne revient que dans les années où la Terre

et les étoiles filantes se retrouvent ensemble au point d'intersection.

Comme on devait s'y attendre d'après l'exemple des aérolithes, les étoiles filantes renferment du fer : l'analyse spectrale l'atteste. Elles contiennent aussi du magnésium et d'autres métaux. Mais ce qui est plus curieux, on y signale également du carbone, comme dans les comètes, dont les étoiles filantes sont pour ainsi dire l'accessoire et le cortège. Seraient-elles la poussière dont les comètes composeraient seulement un nuage plus volumineux et plus épais ?

Malgré des ressemblances physico-chimiques, il y a cependant des différences. Ainsi les étoiles filantes brillent par incandescence, c'est-à-dire par une lumière propre, tandis que les comètes sont, comme nous le verrons (§ 55), des corps éclairés par les rayons du Soleil. Cette remarque n'ôte rien toutefois à la force de l'analogie, puisque les étoiles filantes ne commencent à briller que dans notre atmosphère, ou tout au moins à une faible distance de la Terre. Elles s'allument alors dans des circonstances qui dépendent de la condition nouvelle où elles sont placées. Avant cela, si nous pouvions les distinguer, ce seraient de simples objets éclairés du Soleil. Isolées, ces météorites sont trop petites pour frapper ainsi notre vue. Mais réunies et groupées, elles peuvent faire sur nos yeux une impression.

On remarque que, parmi les étoiles filantes, chaque essaim a son caractère. Même, en dehors des essaims qui fournissent aux apparitions périodiques, les petits groupes ou bouquets que la Terre rencontre de temps à autre sont composés chacun de météores qui se res-

semblent entre eux. Tantôt ce sont de belles étoiles, décrivant de longues trajectoires et laissant après elles des traînées brillantes. D'autres fois, ce sont des météores rapides, faibles, suivis à peine d'une petite trace de lumière qui meurt aussitôt. Il n'est pas rare d'en apercevoir deux ensemble qui suivent la même route, ou d'en voir une paraître quelques instants après une autre et passer dans la même direction.

La traînée des étoiles filantes persiste souvent après que le météore lui-même a disparu. John Herschel croit qu'il se passe ici un phénomène de décompositions et de recompositions chimiques. Dans le corps de la météorite, les éléments sont dissociés par la haute chaleur. Mais une certaine quantité de matière est détachée de la masse principale, et demeure jonchée sur sa trace. Elle ne tarde pas à s'y refroidir, et dès lors la recomposition chimique peut s'opérer. Cette réunion des éléments dégage pour un moment chaleur et lumière. Peut-être même se forme-t-il alors, au moins dans quelques cas particuliers, une nouvelle agglomération, qui constituerait, au moyen des corpuscules abandonnés, un nouveau mobile marchant à la suite du premier. On expliquerait ainsi comment, parmi les météorites et en général tous les corps fragmentaires, il y a si souvent des corps couplés. Nous avons vu une étoile filante qui avait dans sa traînée une autre étoile filante plus faible; celle-ci laissait aussi une trace lumineuse, qui se superposait à la traînée principale en renforçant la partie qui la suivait.

En résumé, les météorites sont des corps solides, de dimensions réduites, qui se meuvent en tous sens dans

l'espace céleste. Il y en a depuis la grosseur d'un astéroïde jusqu'à l'état de poussière, comme celle tombée en Calabre en 1813, ou même de brouillard sec, comme en 1832 et en 1864. La Terre fait ces rencontres d'une manière fortuite, par suite de son mouvement dans son orbite. Car les météorites n'appartiennent pas, à proprement parler, au système solaire. Ce sont des visiteuses qui viennent de loin, des corpuscules abandonnés dans l'espace immense, et que le Soleil amène et fixe vers lui par son attraction. La variété de leur origine et leur caractère étranger sont attestés par les routes diverses, inclinées de toute façon et elliptiques à tous les degrés, suivant lesquelles se meuvent ces corps et ces anneaux croiseurs.

### § 55. COMÈTES.

Il ne sera plus aussi difficile maintenant de se figurer en quoi les comètes consistent. Ces astres ne sont pas non plus, du moins pour la plupart, des membres originaires et proprement dits du système solaire. Ce sont plutôt des acquisitions postérieures, ou même de simples visiteurs accidentels qui ne reviendront plus. Ce sont des corps disséminés dans l'espace, des corps perdus, si l'on osait parler ainsi, qui, à un temps donné, rencontrent notre système, y pénètrent, le traversent sous toute espèce de direction et d'obliquité, et s'y fixent ou s'en séparent, suivant les circonstances de leur mouvement.

En leur qualité d'astres croiseurs, c'est-à-dire qui traversent le système solaire en tous points et suivant

toutes les inclinaisons, les comètes sont exposées à se trouver à certains moments dans un rapprochement notable d'une planète. Celle-ci les détourne alors, par son attraction, de la route qu'elles suivaient auparavant. Il en résulte une nouvelle orbite que la comète parcourt en s'éloignant de la planète qui l'a dérangée, et qu'elle va continuer à parcourir jusqu'à ce qu'elle revienne auprès de la planète qui l'a influencée, ou qu'elle passe dans le voisinage d'un autre corps perturbateur.

Les orbites des comètes n'ont donc pas la stabilité et la permanence de celles des planètes. La comète de 1770 avait dû l'orbite dans laquelle on l'a observée, à l'action attractive de Jupiter, dont elle s'était considérablement approchée; et, un peu plus tard, cette même action la jeta dans une route encore bien différente, après qu'elle eut passé de nouveau si près de cette planète qu'elle a pu venir presque à proximité de ses satellites. Il n'y a guère plus d'un siècle que la comète dite de Biela se meut dans la courbe où nous la voyons circuler. Elle a été jetée subitement plus près du Soleil, et depuis ce temps elle subit, à chaque retour au périhélie, l'influence d'une chaleur intense qui ne l'atteignait pas autrefois. La comète dite de Encke doit son orbite actuelle à Mercure, dont elle peut s'approcher notablement. Les planètes n'ont pas un pouvoir suffisant pour retenir ces visiteuses autour d'elles et les transformer en satellites irréguliers. Mais elles en infléchissent les trajectoires et modifient celles-ci pour l'avenir.

Il y a un nombre immense de comètes. Depuis l'origine de notre ère jusqu'à l'invention du télescope, on en a compté en moyenne 27 par siècle, très-régulièrement.

Mais depuis qu'on observe avec les lunettes, et depuis surtout qu'on cherche ces astres avec attention, le nombre a augmenté considérablement. On les découvre aujourd'hui à raison d'environ deux cents par siècle; et beaucoup échappent encore probablement aux recherches des observateurs. Semées dans l'immense étendue de l'espace céleste, elles sont sans doute inépuisables. L'immense majorité de celles que nous voyons sont nouvelles pour les astronomes, c'est-à-dire qu'elles apparaissent pour la première fois. Il n'y en a qu'un fort petit nombre qui soient fixées dans le système solaire, et qu'on revoie à des intervalles réguliers, ou bien dont les courbes indiquent clairement qu'on les reverra.

Car on ne peut suivre les comètes dans toute l'étendue de leur cours. C'est seulement quand elles s'approchent du Soleil qu'elles deviennent visibles. Si elles brillaient d'une lumière propre, nous les perdriens de vue, quand elles s'éloignent, par extinction du diamètre apparent : elles deviendraient des points si petits qu'il serait impossible de les distinguer. Mais, au contraire, elles disparaissent par extinction d'éclat, quand elles ont encore des dimensions parfaitement sensibles : elles deviennent trop pâles, mais non trop petites pour être perceptibles. Arago en conclut avec raison qu'elles ne brillent pas spontanément, et que ce sont simplement des corps obscurs par eux-mêmes, illuminés par les rayons du Soleil.

Il faut cependant mettre ici quelque restriction. Ainsi la grande comète de 1861 n'avait pas l'aspect ordinaire : on aurait dit un fragment solide anguleux qui jetait de la lumière. Cette lumière n'était pas polarisée, et, tan-

dis que la comète de 1858 dite de Donati, avait été facile à photographier, celle dont nous parlons donnait à peine des traces sur la plaque sensible. A une certaine proximité du Soleil, il peut se développer dans les comètes une lumière propre, comme celle des étoiles filantes quand elles viennent près de notre globe.

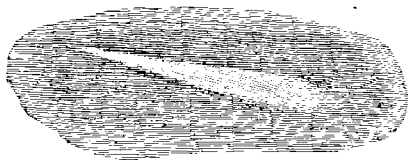
La ressemblance des comètes avec des nuées de météorites, ou même avec des nuages de poussière et de gravier, n'est pas sans doute entièrement illusoire. Les comètes n'effacent pas les étoiles devant lesquelles elles viennent à passer ; elles n'en dévient pas la lumière. Les anciens avaient déjà observé qu'on voit à travers leur masse les étoiles qui sont derrière elles <sup>1</sup>. Mais on a eu l'occasion de faire de nouveau cette observation dans les temps modernes, et l'on peut dire que ces astres ne se comportent pas comme des corps gazeux, mais bien comme des nuées de corpuscules plus ou moins largement espacés. Ce n'est pas, d'ailleurs, le propre des gaz de s'agglomérer et de rester en amas distincts. Ce qu'on appelle « la diffusion » s'y oppose. Ils s'étendent et se mêlent aux milieux.

De la visibilité des étoiles à travers les comètes on peut conclure, en outre, que ces essaims de corpuscules ont beaucoup plus de vide que de plein, c'est-à-dire que les météorites qui les composent sont largement espacées dans ces essaims, relativement à leur diamètre. C'est ce qu'on pouvait inférer aussi de la faiblesse presque insensible de l'attraction exercée par ces corps. La comète de Encke, dérangée par Mercure, ne le déplace

<sup>1</sup> SÉNÈQUE, *Questiones naturales*, lib. VII, cap. 18.

pas plus que nos nuages de neige ne dérangent et n'attirent la Terre ; et celle de 1770 a été tour à tour voisine de notre globe et de Jupiter, sans avoir sur ces planètes plus d'action qu'une plume sur une boule de plomb.

Quelques comètes se sont, en effet, approchées très-près de la Terre. Celle de 1472 passa si près de nous qu'elle traversa en une nuit plusieurs constellations. On la voyait presque marcher à l'œil. Mais, en général, les comètes les plus remarquables ne sont pas précisément celles qui s'approchent le plus de la Terre, mais celles qui, marchant dans des ellipses très-excentriques, viennent dans leur périhélie fort près du Soleil. C'est quand une comète est voisine de cet astre central qu'elle jette



Comète.

parfois assez de lumière pour être visible pendant le jour. Elle paraît alors avec tout son éclat dans le crépuscule du matin ou dans celui du soir. On ne la voit bien cependant, comme Mercure ou Vénus, que pendant une ou deux heures. Mais la *queue* forme sou-

vent, dans ces circonstances, une longue traînée, qu'on aperçoit au ciel quand l'astre lui-même est couché.

### § 56. CHANGEMENTS PHYSIQUES DANS LES COMÈTES.

Apian fut le premier à remarquer que les queues de comètes sont généralement dirigées à l'opposite du So-



leil. Ce n'est pas seulement ici une apparence. Depuis qu'on figure géométriquement les orbites de ces astres, on voit que la queue s'étend, dans l'espace, suivant le prolongement de la droite qui joint le Soleil à la comète. La queue émane d'ailleurs de la comète même. Très-souvent elle ne prend naissance qu'un certain temps avant le passage au périhélie. Et quand la comète ne décrit que depuis peu une orbite qui la porte à une plus grande proximité du Soleil, la queue produite à chaque passage successif au périhélie va en diminuant, comme si les matières susceptibles de s'évaporer s'épuisaient à la suite de ces échauffements répétés. Tel est le cas, par exemple, pour la comète de Biela. Il y a même des comètes qui n'ont pas ou qui n'ont plus de queue. Celle de Encke n'est qu'un amas globulaire, avec un point d'agglomération qui n'est pas même exactement au milieu.

Cette comète présente avec beaucoup d'autres cette particularité, qu'en approchant du Soleil, elle semble diminuer de volume. Ce n'est pas parce qu'elle est alors plus comprimée, car les comètes ne sont pas renfermées dans des enveloppes comme les aérostats. On croit qu'une partie de leur matière passe, par l'élévation de la température, à l'état de vapeurs transparentes et par conséquent invisibles, vapeurs qui peuvent, après le périhélie, se précipiter de nouveau. Ce qui est certain, c'est l'effet puissant de la chaleur solaire sur ces corps, qui viennent des régions froides de l'extérieur ou des extrémités du système, et qui sont exposés, dans le voisinage du Soleil, à une température qu'on peut nommer excessive. On voit la matière volatilisée s'é-

lancer de la masse générale ou *noyau*. L'éjection s'opère surtout du côté qui regarde le Soleil, et parfois elle est tellement active qu'elle produit, à l'opposite de la queue principale, une petite queue secondaire qu'on appelle la *barbe*. Mais le plus souvent les matières soulevées s'épandent autour du noyau ou *tête*, en formant des enveloppes qui composent une sorte de *chevelure*. La comète de Donati, en 1858, portait plusieurs de ces enveloppes, comme si elle eût possédé des matières de plusieurs espèces, différant entre elles par le point d'ébullition et peut-être aussi par la densité. La réaction du jet d'évaporation, formé sous l'influence de la chaleur solaire, imprime d'ailleurs à la masse des espèces de secousses, et ces mouvements exposent au Soleil des parties différentes qui, en s'échauffant à leur tour, donnent lieu à de nouvelles émanations. La troisième comète de 1860 subissait des changements d'éclat vraiment extraordinaires. Celle dite de Halley est la plus volumineuse qu'on ait encore mesurée. En 1836, après le passage de cet astre par le périhélic, la tête avait acquis soixante fois le volume de la planète Jupiter.

Mais toute la matière volatilisée ne s'arrête pas dans la chevelure. Elle ruisselle pour ainsi dire le long des flancs de la comète, comme des vagues qui roulent le long des flancs d'un navire, et se porte à l'opposé du Soleil avec une vitesse et une énergie qui sont parfois surprenantes. C'est de cette manière que se produit la *queue*, et l'on comprend maintenant pourquoi celle-ci a souvent une apparence tubulaire : elle ruisselle du pourtour de la comète et non de son centre ; dans le

milieu reste un sillage comme celui d'un vaisseau.

On comprend aussi pourquoi la queue est souvent courbée, et pourquoi son extrémité est en arrière de la comète dans son mouvement. On comprend enfin comment il se forme parfois plusieurs queues, lorsque le phénomène se répète, probablement sur des matières de nature différente, à des degrés croissants d'échauffement. L'ordre de production peut se voir alors dans l'inflexion et la direction un peu différente de ces queues qui forment comme le squelette d'un éventail.

Par rapport au Soleil, considéré comme centre de gravitation, on peut dire que la queue se forme en s'élevant; car la matière s'échappe à chaque instant dans le prolongement de la verticale solaire. On pourrait croire à une substance tellement légère, qu'elle monterait comme la fumée d'une usine, pour chercher sa couche d'équilibre dans le fluide aériforme extrêmement raréfié qui existe sans doute autour du Soleil. Mais Bessel et John Herschel ont prouvé que la vitesse d'ascension est parfois de beaucoup supérieure à celle qu'on pourrait rapporter à cette cause. Il existe donc une répulsion dont on ignore encore l'origine, mais qui rappelle celle que les étoiles filantes éprouvent quand elles viennent à proximité du globe que nous habitons.

Il semble impossible, d'ailleurs, que la matière de la queue, dissipée pour ainsi dire dans l'espace céleste, rejoigne jamais le noyau. Il est donc tout simple que les comètes qui circulent dans des orbites fermées, et reviennent auprès du Soleil, soient à chaque apparition moins riches dans leurs appendices, et qu'elles finissent par ne plus offrir d'aliments à la volatilisation.

Mais il n'est pas improbable, d'un autre côté, qu'une portion de la matière dégagée ne s'agglomère en arrière, et ne donne lieu à la formation d'un de ces corps couplés que nous avons eu déjà l'occasion de citer. Il est remarquable, par exemple, que la comète de Biela, après s'être présentée comme une seule masse dans plusieurs de ses retours successifs, prit tout d'un coup l'aspect d'un corps couplé, un mois avant son passage au périhélie en 1846. L'un des noyaux suit l'autre sur ses pas, à peu près dans la même orbite, très-légèrement toutefois à l'intérieur de la courbe décrite par le corps qui marche le premier.

Nous oserions presque dire que l'on est fixé aujourd'hui sur la nature de la matière qui constitue la queue des comètes. On a vu de ces appendices s'étendre, comme des traînées, à des millions de kilomètres de l'astre d'où ils partaient. Dans de pareilles circonstances, il y a des chances pour la Terre de rencontrer dans sa marche quelqueune de ces immenses colonnes, comme le promeneur rencontre, en certains temps, des fils de la Vierge. Rien de ce qui pourrait ressembler à un choc ou à une commotion ne se passe dans ces occasions. Comment une matière, dans l'état de division qu'affecte une queue cométaire, pourrait-elle obstruer le chemin au globe massif d'une planète? C'est moins qu'une fumée sur la route d'un boulet de canon. Il est probable que les brouillards appelés brouillards secs, qui sont composés d'une poussière extrêmement fine, d'une teinte bleuâtre et d'une électricité résineuse comme celle de la Terre, proviennent de queues de comètes. Ils nous offriraient donc un échantillon de la matière consti-

tuante de ces corps. Le 3 juin 1861, la Terre a dû passer dans la queue de la grande comète de cette année. On a vu une aurore boréale, attestant une lente décharge électrique à travers les couches supérieures de notre atmosphère, sans ressentir d'autres effets.

### § 57. DISTRIBUTION DES COMÈTES.

On peut diviser les comètes en deux classes. La première classe se compose de celles qui sont fixées dans le système solaire, tandis qu'à la seconde classe appartiennent celles qui se bornent à nous visiter accidentellement. Les comètes qui font aujourd'hui partie du système circulent dans des orbites fermées, qui les ramènent périodiquement à leur périhélie, c'est-à-dire à leur plus grande proximité du Soleil. Mais ces orbites ne sont ni presque circulaires comme celles des planètes, ni régulièrement enchâssées les unes dans les autres, ni enfin tracées à peu près dans un plan commun. Au contraire, ce sont des ovales parfois considérablement allongés, où le Soleil est placé vers l'un des bouts; ces courbes sillonnent sans ordre apparent les espaces planétaires, et même il y a des comètes qui tournent autour du Soleil dans un sens opposé à celui des planètes et des satellites du système. En sorte que les comètes fixées trahissent l'hétérogénéité de leur origine.

Il est vrai que la plupart de celles que nous voyons fréquemment affectent une marche un peu plus planétaire, si l'on peut s'exprimer ainsi. Presque toutes circulent dans le sens des planètes. L'ellipticité de leurs

courbes n'est pas extrême, et ces courbes sortent à peine de l'orbite de Jupiter. Enfin, l'inclinaison des plans où elles se meuvent reste faible sur les plans des orbites des planètes. Telles sont la comète de Encke, qui revient au bout de douze cents jours; celles de Brorsen, de Winnecke, de D'Arrest et de Biela, qu'on revoit après des intervalles de cinq ou six ans; enfin, la comète de Faye, qui met sept ans et demi pour reparaitre à son périhélie. Mais cette apparence un peu plus planétaire n'a rien ici qui doive étonner. Les orbites que décrivent ces corps ne rappellent plus que de loin les directions et les circonstances sous lesquelles ces visiteurs sont entrés dans notre système. Avec le temps ces courbes ont été remaniées. A chaque approche considérable d'une planète, elles ont changé de figure. Or, l'influence de nos planètes, qui se meuvent à peu près dans un même plan, devait tendre à la longue à rapprocher de ce plan commun ceux des orbites des comètes troublées.

On connaît huit comètes dont les retours périodiques ont été vérifiés par l'observation. Parmi celles-ci figure la comète de Halley, qui a une période de 75 à 76 ans, et qui s'éloigne du Soleil, dans son aphélie, à une distance supérieure à celle de Neptune. Mais indépendamment de ces astres, qu'on revoit régulièrement au temps prescrit, il y a une douzaine de comètes qui, bien qu'elles n'aient été observées qu'une fois, circulent dans des courbes manifestement fermées. On n'attend que leur prochain retour au périhélie pour constater définitivement leur périodicité. Pour des centaines d'autres, nous restons dans l'incertitude. La courbe qu'elles ont

décrite dans leur apparition se termine par une branche qui semble indéfinie, et l'on hésite à dire si cette branche de sortie viendra jamais rejoindre la branche d'entrée pour ramener l'astre une autre fois vers nous. Si cette réunion des deux branches s'opère, il est certain toutefois que c'est à une distance immense, beaucoup au delà de l'orbite de Neptune. Et lorsque la comète, qui se meut alors avec une excessive lenteur, reste des siècles dans cet éloignement, la moindre force étrangère, le moindre accident de résistance dans les espaces célestes, peut nous la dérober pour toujours.

Burckhardt a montré qu'une des comètes de la fin du siècle dernier marchait dans une orbite évidemment ouverte, dont les branches ne peuvent pas se rejoindre, et que par conséquent elle ne reparaitra plus. Il est donc probable que presque toutes les comètes à branches allongées sont des visiteurs qui ne font que traverser une fois notre système, ou qui du moins y ont si peu d'attache qu'ils restent des siècles plongés dans l'espace, à de très-grandes distances, avant d'y entrer de nouveau.

Dans ces orbites extrêmement allongées, la branche d'entrée est presque droite, jusqu'au moment où l'astre approche de la distance du Soleil où doit tomber son périhélie. La trajectoire se courbe alors presque subitement, et la comète, après avoir tourné autour du Soleil, comme les chars des anciens autour de la borne de l'hippodrome, se retire presque du même côté où elle était venue. La direction opposée au périhélie indique donc dans quelle région de l'espace se trouvait l'astre quand il est entré dans la sphère d'attraction de notre

système. Or, bien que les comètes nous viennent de tous les côtés, nous en recevons cependant un plus grand nombre de la région du ciel voisine d'Arcturus. C'est là un point d'émanation, faiblement marqué, mais cependant bien reconnaissable. On peut déjà s'apercevoir de la prépondérance de cette direction parmi les comètes fixées <sup>1</sup>.

Eh bien, on verra plus loin (§ 58), que le système solaire se ment tout entier dans l'espace, à peu près dans le sens indiqué. La prédominance des comètes qui entrent dans le système par ce côté n'est donc qu'un effet d'optique, comme l'émanation des étoiles filantes (§ 54). Si ces comètes sont plus nombreuses, c'est que, dans cette direction, nous allons au-devant d'elles. Et l'on a ici une confirmation des vues exprimées tout à l'heure : les comètes n'appartiennent pas en propre à notre système, mais y pénètrent, au contraire, du dehors.

Nous sommes amenés par tous ces faits à reconnaître qu'il existe, dans les espaces planétaires, deux sortes de corps. D'une part, nous voyons des masses considérables, se mouvant dans des orbites régulières et dominées par des traits communs : ce sont les planètes. Leur surface, suffisamment préparée, devient le siège de la vie organique. Puis, à côté de ces globes imposants, nous trouvons une multitude de petits corps, qui décroissent par degrés jusqu'au volume des aérolithes

<sup>1</sup> La moyenne des longitudes des aphélie des sept comètes à courte période dont le retour a été constaté, donne 241°. Le point d'émanation de ces comètes est près de la tête du Serpent.



et à celui même des grains de poussière. Ici, le nombre compense en partie ce qui manque aux dimensions. Ces corps fragmentaires se meuvent ou bien isolément, ou par couples, ou par essaims, ou par anneaux. Mais, dans leurs trajectoires irrégulières et accidentées, ils ont à passer par des conditions qui varient dans des limites extrêmes. Ils sont les jouets des corps massifs, et ne semblent propres en aucune manière à constituer les sièges de la vie.



## CHAPITRE VI.

---

### § 58. TRANSPORT DU SYSTÈME SOLAIRE DANS L'ESPACE.

Le transport du système solaire dans son ensemble à travers l'espace, est un des faits les plus curieux que l'étude du ciel nous révèle. Lorsqu'on a possédé des instruments précis pour assigner les situations relatives des étoiles, on a pu voir que ces astres ne méritent pas toujours, en toute rigueur, l'appellation de fixes. Ils ne se meuvent pas, il est vrai, de constellation en constellation, comme les planètes et les astéroïdes. Mais, au bout d'une suite d'années plus ou moins prolongée, on s'aperçoit qu'ils sont sortis des alignements où ils se trouvaient. On donne à leurs faibles déplacements le nom de *mouvements propres*. Ici, en effet, les changements sont purement individuels; ils

ne dépendent pas de causes générales qui s'étendent à la sphère entière ; mais ils appartiennent, bien au contraire, à chaque astre en particulier.

L'aspect du ciel n'a pas pu subir d'altération notable par suite de ces petits mouvements. La description de Ptolémée, qui date maintenant de dix-sept siècles, le prouve, du reste, suffisamment. On cite seulement quelques étoiles qui, depuis l'origine de notre ère, ont pu se déplacer de six ou huit diamètres apparents de la Lune, à juger d'après leur mouvement présent. Mais ce sont là des cas purement exceptionnels. Les déplacements s'opèrent, en général, avec beaucoup plus de lenteur. Dans bien des circonstances, il faut un intervalle d'un siècle ou davantage pour les constater.

Toutefois, à mesure que la période des observations délicates s'allonge, et qu'on a de bonnes mesures des positions passées à comparer aux positions actuelles, on voit des mouvements semblables se produire pour ainsi dire partout. Il semble donc que la petitesse seule des changements les dérobe à notre connaissance. Chaque étoile a probablement un mouvement propre, bien que nous n'ayons discerné encore que les déplacements les plus apparents.

Tout porte à penser, en effet, qu'il n'y a pas de repos absolu dans le sein de la nature. Avec le nombre et la diversité des corps qui peuplent l'espace, et qui réagissent les uns sur les autres, l'immobilité serait, au point de vue de la mécanique, une véritable impossibilité. On se demande où vont ces étoiles dans leurs lointains voyages. Doivent-elles continuer indéfiniment à marcher devant elles à travers les cieux ? Ou bien

ces petits déplacements que nous apercevons ne sont-ils que les éléments de vastes courbes, mal définies encore? S'agit-il d'une circulation autour de centres dont nous ignorons la situation et jusqu'à l'existence? Les réponses à ces différentes questions sont laissées aux astronomes à venir. Un seul fait ressort aujourd'hui de la considération des mouvements propres : c'est le transport dans l'espace du système auquel nous appartenons.

En examinant les directions des principaux déplacements stellaires, William Herschel avait cru reconnaître, au milieu de leur variété évidente, une sorte de préférence des étoiles à se porter dans un certain sens. Lorsqu'on prolonge les trajectoires, si courtes qu'elles soient, décrites depuis l'époque de Bradley jusqu'à nos jours, on voit que beaucoup de ces trajectoires semblent venir de la constellation d'Hercule, ou de la région du ciel voisine de cette constellation. Argelander, en discutant les mouvements propres de plus de cinq cents étoiles, a mis cette prépondérance hors de doute. Qui ne voit immédiatement dans ce fait une analogie au point d'émanation des étoiles filantes (§ 54)? Il est donc naturel de penser qu'indépendamment du mouvement réel dont est affectée chaque étoile fixe, il existe un effet d'optique, et que la constellation d'Hercule dénote le point de l'espace vers lequel notre globe se meut constamment.

Il ne s'agit pas, d'ailleurs, de la translation de la Terre dans son orbite; car ce mouvement, étant circulaire ou à peu près, porte successivement notre globe, dans la durée d'une année, vers les différents points d'une

circonférence, et non vers un point constant. Il faut qu'indépendamment de sa circulation autour du Soleil, la Terre soit emportée dans l'espace en ligne droite, au moins pour le temps présent; et, comme ce mouvement n'apporte aucun trouble dans les relations de notre globe avec les divers corps du système solaire, il faut aussi que ce transport soit commun au système entier.

Ainsi, nous voyons ce vaste groupe de huit ou neuf corps principaux, entraîné dans l'espace immense, où il se meut dans son ensemble et comme un tout. Il n'a pas encore été possible de mesurer avec exactitude la vitesse de ce mouvement de transport; on sait seulement qu'elle est fort grande, même par rapport aux dimensions du système. Nous ne sommes plus cette année dans le même lieu de l'espace que le Soleil, et avec lui les planètes qui l'accompagnent, occupait l'an passé. A la longue, nous parvenons, dans des régions de l'étendue où les poussières cosmiques et les essaims de corps fragmentaires sont ou plus rares, ou plus serrés et plus abondants. Comme le voyageur qui change de climat, la Terre trouve peut-être, aux différents termes de ce pèlerinage céleste, des températures différentes. On a déjà voulu expliquer par cette cause les périodes glaciaires que notre globe a subies avant l'époque des traditions, et que la géologie constate. Mais ce n'est là qu'une supposition.

Il n'est pas impossible que notre système soit un membre de cette immense Voie Lactée que nous aurons bientôt à décrire, et dans le sein de laquelle tant de mouvements s'exécutent, et tant de changements physiques semblent s'accomplir. Peut-être est-il entraîné

dans une courbe d'une étendue gigantesque, autour de quelque astre central, qui serait comme le soleil de notre Soleil. Le fait que nous ne voyons pas de luminaire remarquable qui pourrait jouer le rôle de ce soleil primaire, n'est pas une bien grave objection ; car, pour Neptune, l'astre qui nous éclaire ne paraît pas plus gros que Vénus ne paraît de la Terre ; ce n'est donc qu'une étoile un peu plus brillante seulement que les étoiles dont le ciel est peuplé pour nous. Souvent, dans l'univers, le petit est bâti à l'image du grand. Les systèmes particuliers de Jupiter et de Saturne, avec leurs satellites, sont des modèles réduits du système solaire. Pourquoi ce système ne serait-il pas à son tour un simple élément diminutif d'un système plus vaste et plus imposant ?

#### § 59. DISTANCES DES ÉTOILES.

La question d'espace n'est pas une difficulté : l'étendue sans bornes est à la disposition de la nature. Nous avons vu que les corps principaux, ou globes proprement dits, ont pour circuler une latitude immense. Ils ne s'approchent jamais. Aussi le système solaire, en parcourant l'espace, n'est-il pas plus exposé à se rencontrer avec d'autres systèmes, que les planètes ne le sont à se heurter entre elles. De quelque côté que nous dirigions nos regards, nous trouvons, avant d'arriver aux étoiles les plus rapprochées, un espace libre tellement vaste qu'il contiendrait en ligne droite des milliers de systèmes comme le nôtre, on pourrait souvent dire des millions.

L'aspect de la sphère étoilée, considérée dans son ensemble, indique assez que les astres qui peuplent l'espace y sont jetés en toute direction. Partout ils abondent, et partout ils se multiplient sous nos instruments. Il n'y a pas de région du ciel réservée aux étoiles primaires, et d'autres régions occupées seulement par des astres moindres. Les étoiles des différentes grandeurs s'allient au contraire et se confondent. Il n'y a pas d'ordre apparent, mais une distribution générale qui, au Nord comme au Sud, à l'Orient comme à l'Occident, révèle les mêmes traits principaux. On dirait que, dans le vaste champ de l'étendue, les étoiles sont semées d'une main à peu près égale, comme le blé dans le champ de nos laboureurs. Derrière celles qui nous avoisinent davantage et qui sont sur le premier plan, il en vient d'autres, en général moins remarquables par leur éclat apparent, puis d'autres plus éloignées, puis d'autres plus faibles encore et qui ne sont visibles que dans les lunettes. A mesure que les télescopes se perfectionnent, nos regards plongent à de plus grandes profondeurs dans l'espace céleste, et là nous retrouvons la même richesse et la même profusion d'étoiles. Les plus faibles se retirent sur des plans de plus en plus lointains, jusqu'à ce que nous atteignons enfin, non les limites de l'univers même, mais seulement celles de notre vision.

C'est en contemplant ce spectacle qu'on se forme une idée de l'immensité des cieux. C'est lorsqu'on quitte le système solaire, et qu'on se prend à considérer ces myriades d'étoiles placées en tous sens autour de nous, qu'on voit les distances grandir et les proportions

gigantesques de l'univers se développer. On se représente ces plans d'éloignement, qui se succèdent dans toutes les parties de ce panorama splendide et se retirent vers un fond de plus en plus distant. Après avoir sondé jusqu'au premier plan, l'esprit passe au second, au troisième, au quatrième, et progressivement. Les distances s'allongent devant nous, dans notre pensée, comme l'ombre que jettent les obélisques au soleil couchant : on voit d'abord ces ombres grandir lentement, puis elles croissent plus vite, puis à pas de géant, pour nous lancer enfin vers la distance infinie.

Reconnaissons néanmoins qu'on a fait jusqu'ici peu de progrès dans la mesure numérique de l'éloignement des étoiles. Il faut procéder pour chacune d'elles en particulier, puisque chacune est à une distance différente. En outre, nos instruments sont à peine suffisants pour mesurer de pareilles lignes inaccessibles. Ces astres sont si éloignés que c'est à peine si nous apercevons un changement dans leur direction apparente, lorsque, à six mois d'intervalle, la Terre passe d'un côté de son orbite à l'autre. Il n'y a pas encore dix étoiles dont les distances soient sûrement connues. La plus belle primaire du Centaure, dans le ciel austral, semble une des moins éloignées : cependant trois mille six cents systèmes comme le système planétaire (terminé à Neptune) tiendraient dans l'espace qui nous en sépare. Sirius et Wéga sont au moins quatre fois et Arcturus sept fois plus loin encore. Et ce n'est là pourtant que le commencement du monde stellaire ! Presque toutes les autres étoiles que nous voyons à l'œil nu, et les millions d'astres plus faibles qu'on ne dis-



tingue qu'avec les lunettes, sont au delà de ces limites, à des profondeurs toujours croissantes dans l'espace et à des distances qui défient l'imagination.

Il serait puéril de recourir à la comparaison d'un train de chemin de fer pour se former une idée de ces distances immenses. Ce train mettrait des siècles pour traverser de part en part l'orbite de Neptune; il lui faudrait des millions d'années pour venir des étoiles jusqu'à nous. Les nombres seraient tellement en dehors de nos conceptions habituelles, qu'ils ne diraient plus rien à l'esprit. La lumière seule a une vitesse suffisante pour servir à la mesure des cieux. Elle accomplirait huit fois le tour de la Terre en une seconde; elle nous vient du Soleil en  $8\frac{1}{4}$  minutes, et traverse le système planétaire en un peu plus de 8 heures (§ 45). Mais lorsqu'il s'agit des étoiles, même les plus voisines, ce n'est plus par minutes ni par heures que nous allons compter.

Malgré sa prodigieuse vélocité, la lumière met entre trois et quatre ans pour nous arriver de la brillante du Centaure, et quatorze ou quinze ans pour venir de Sirius et de Wéga. Plus de vingt-cinq années lui sont nécessaires pour franchir l'espace qui nous sépare d'Arcturus. Ce ne sont là pourtant que les astres du premier plan. Il faut passer par degrés à ceux qui sont plus lointains. On estime que la lumière des étoiles de sixième grandeur, qui sont à la limite de la vue simple, met environ 120 ans pour nous parvenir. Pour les étoiles télescopiques, il faut plusieurs siècles : 600 ans, selon Fréd. Struve, pour les étoiles de dixième grandeur, et 5 700 pour celles de vingtième.

Quelle immensité ces nombres nous révèlent ! Quel abîme entre les systèmes les plus voisins ! A travers cet espacement gigantesque, la lumière tend les fils délicats qui, sous le nom de rayons, établissent la communication de globe à globe. Les changements d'aspect se transmettent le long de ces fils, comme des dépêches sensibles. Si quelque accident se passait dans le Centaure, il nous faudrait attendre près de quatre ans pour en avoir les premiers indices ; et quand nous regardons dans un télescope le satellite qui circule autour de Sirius, nous le voyons non dans le lieu qu'il occupe maintenant, mais dans celui où il était il y a quatorze ans.

Le spectacle des cieux n'est donc, en réalité, que de l'histoire ancienne. Les dates des événements dont nous sommes informés reculent avec les distances. Rien de ce que nous voyons n'est contemporain. Rien n'est simultané. C'est un journal que nous lisons, après que les faits sont de longtemps passés, et dont les nouvelles sont d'autant plus tardives qu'elles nous viennent de mondes plus éloignés.

#### § 60. TRANSPARENCE DE L'ESPACE CÉLESTE.

Il est presque merveilleux d'apercevoir des astres à une pareille distance. Quelle admirable transparence dans ces immenses espaces, pour laisser passer la lumière, sans l'épuiser, à cent mille millions de millions de kilomètres ! Autour de nous, dans l'air épais qui nous entoure, les montagnes sont déjà obscures et difficiles à voir à trente lieues. Le fanal de l'île de Iviça,

qui servait de signal dans la mesure de la méridienne, n'était visible de la côte d'Espagne que dans les nuits les plus claires, et par les lunettes. Les moindres brumes nous dérobent les objets de l'horizon. Quelle est donc la ténuité du milieu aériforme qui remplit les espaces célestes ! Quelles doivent être la raréfaction de ce gaz, et surtout sa pellucidité !

Il serait cependant inexact de penser que la transparence de l'espace céleste soit absolue. Frédéric Struve a montré, par quelques considérations très-simples, que l'extinction de la lumière, bien que fort lente dans son trajet à travers les cieux, est pourtant facile à reconnaître. Ainsi, les étoiles réunies des trois premières grandeurs sont au nombre de 275, et celles des six premières grandeurs prises ensemble, 6 600. Le premier groupe, qui est formé des astres les plus brillants, peut être considéré comme occupant autour de nous une sphère d'un certain rayon, et le second groupe, qui renferme des étoiles plus faibles, une sphère beaucoup plus vaste, enveloppant la première de toutes parts. Si, comme tout l'indique, les étoiles sont distribuées dans l'espace d'une manière à peu près égale, le nombre des astres représente le volume des sphères qui les contiennent, et les rayons de ces sphères sont, comme on sait, dans le rapport des racines cubiques des volumes, ou, dans le cas présent, comme 1 à 3 environ. Les étoiles situées à la limite de la plus vaste de ces sphères, étant trois fois plus éloignées que celles placées à la limite de la sphère intérieure, seront, toutes choses égales d'ailleurs,  $3 \times 3$  fois, ou 9 fois moins brillantes. Une étoile de troisième grandeur devrait donc, en moyenne,

produire sur nos yeux une impression lumineuse équivalente à celle de neuf étoiles réunies de sixième grandeur.

Eh bien, consultons le photomètre, ou instrument qui mesure l'intensité des lumières. Parmi les étoiles visibles à l'œil nu, chaque classe ou grandeur est près de  $2\frac{1}{2}$  fois moins brillante que la classe qui précède. Pour trois grandeurs, le rapport est 12 ou 13. Il faut donc, en réalité, une douzaine d'étoiles de la sixième grandeur, pour nous donner autant de lumière qu'une seule étoile de la troisième classe. Mais, d'après leur simple éloignement, neuf sextaires auraient suffi, comme on l'a vu tout à l'heure. Si, en fait, douze sont nécessaires, c'est que l'éclat réel de ces astres est moindre que celui qui dépend de leur distance; c'est donc que cet éclat a subi une déperdition; c'est enfin que la lumière n'est pas sans éprouver une légère extinction dans son trajet à travers l'espace.

Un calcul semblable appliqué aux différentes classes d'étoiles télescopiques, jusqu'à la vingtième grandeur, qui est la plus faible à laquelle les lunettes s'arrêtent aujourd'hui, donnent des résultats analogues. Les étoiles, vues à travers le milieu aériforme qui remplit les espaces célestes, peuvent être comparées aux becs à gaz d'une longue avenue, lorsqu'ils sont partiellement offusqués par le brouillard. Dans cette circonstance, la déperdition de lumière est si sensible, qu'indépendamment de l'effet de la distance, on juge de celui de l'absorption. Les becs successifs nous semblent s'éteindre de plus en plus complètement, sous l'opacité de l'atmosphère, jusqu'au douzième ou au dixième, quelquefois

jusqu'au sixième seulement, au delà duquel nous n'apercevons plus rien. Les candélabres de plus en plus éloignés figurent ici les étoiles des différentes grandeurs, et le brouillard représente le milieu imparfaitement translucide qui remplit l'espace en tous sens.

Dans le ciel néanmoins, la loi d'extinction est si lente, que le gaz interposé doit être d'une raréfaction et d'une clarté extrêmes. Il n'en est pas moins intéressant de reconnaître la présence d'un milieu continu. Il n'y a pas plus de vide dans la nature qu'il n'y a de repos absolu. Comment, d'ailleurs, la lumière et, selon toute apparence, l'influence électro-magnétique se transmettraient-elles de globe en globe, s'il n'existait point de matière entre ces corps? On ne croit plus aujourd'hui que l'atmosphère qui nous entoure ait une limite définie : elle se fond dans le milieu général.

### § 61. ÉTOILES MULTIPLIES.

Les étoiles sont autant de soleils (§ 19), et dans le nombre il y en a de plus volumineuses que l'astre central de notre système; il y en a aussi qui jettent plus de lumière, et qui seraient plus brillantes que l'astre qui nous éclaire, si nous pouvions les voir à la même distance. Toutefois, le disque apparent des étoiles est si petit, qu'il a été impossible jusqu'ici de mesurer leur volume avec précision. La description détaillée du monde stellaire, étoile par étoile, avec les circonstances de distance, de volume, d'éclat et de densité, est un champ réservé à nos successeurs.

On a pu reconnaître cependant qu'il y a dans le ciel

un grand nombre d'astres qui, au lieu d'être isolés, forment des systèmes. Autour d'une étoile principale se meuvent une ou plusieurs étoiles dépendantes. Toutefois, les proportions sont tellement réduites par l'extrême éloignement, qu'il faut le télescope pour séparer les membres individuels de ces groupes. Ce qui à l'œil nu n'est qu'une étoile simple, devient souvent dans les lunettes une *étoile multiple*. Les éléments constituants d'un pareil système sont beaucoup plus voisins en apparence qu'Alcor et la seconde étoile de la queue de la Grande Ourse (§ 6), qui sont des astres indépendants. La double du Capricorne (§ 10) n'est aussi qu'un cas de rapprochement accidentel dans les directions, tandis que les deux étoiles sont apparemment à des distances de nous fort inégales. Mais, dans les véritables étoiles multiples, l'existence d'un lien physique est prouvée par le fait de la circulation : les *compagnons*, comme on les appelle, tournent autour de leur astre central.

Il y a plus encore. Beaucoup de ces groupes sont animés d'un mouvement propre sensible. Ils se transportent alors dans leur ensemble, sans que les relations qui attachent les uns aux autres les globes qui les composent soient en rien altérées. Ce sont donc des systèmes véritables. On y retrouve une image du système solaire, se mouvant aussi dans l'espace avec son cortège ; et l'on peut se convaincre une fois de plus de l'analogie étroite qui existe entre les étoiles et le Soleil.

Castor, dans la constellation des Gémeaux, est une étoile double, dont on voit le satellite faire le tour en

peu d'années. Ce satellite n'est pas la petite étoile marquée sur nos cartes dans le voisinage de cette secondaire : c'est un astre beaucoup plus rapproché, qu'on ne distingue de Castor lui-même que dans les lunettes. Sirius, la secondaire du Lion au-dessus de Régulus, la plus belle étoile du Bélier, la pointe du V de la Vierge, et bien d'autres étoiles remarquables se dédoublent sous le pouvoir de nos instruments. Il y a des milliers d'étoiles multiples dont on suit les mouvements relatifs. Presque partout les révolutions des compagnons y prennent de nombreuses années, quelquefois des siècles. Les orbites des plus rapides ont été calculées, et parfois on a vu l'astre accompagnateur accomplir deux ou trois révolutions, depuis le temps de William Herschel, qui, le premier, décrivit ces apparences.

C'était avec un intérêt bien vif que les astronomes suivaient, au commencement de ce siècle, les mouvements des étoiles multiples. On ignorait alors quelle figure affectaient leurs orbites. Il fallut quelque temps pour s'en rendre compte et pour voir se dessiner clairement la forme des courbes parcourues. Une quatrière, qui représente un des pieds de la Grande Ourse, au-dessus du Lion, avait surtout attiré l'attention. Or, on trouva bientôt que l'orbite décrite par la petite étoile autour de l'astre principal est une ellipse, et que les aires « balayées » par le rayon vecteur, y sont proportionnelles au temps. Les deux premières lois de Kepler s'étendent donc au delà du système solaire, et leurs conséquences s'appliquent aux étoiles comme à nous. C'est-à-dire que les mouvements s'exécutent, dans ces profondeurs reculées de l'espace, sous l'influence d'une

attraction qui réside dans les astres mêmes, et qui, comme celle de la Terre, des planètes et du Soleil, varie en raison inverse du carré des distances. Il n'y avait pas d'autre loi qui se révélait, ni de nouveau principe mécanique qu'il fallait appliquer. Il restait toutefois à savoir si cette attraction était encore, dans les étoiles, indépendante de la nature de la substance, et, pour cela, il fallait soumettre les étoiles multiples à l'épreuve de la troisième loi de Kepler.

Il s'agissait donc de trouver une étoile autour de laquelle circulent plusieurs étoiles plus petites ; car il fallait comparer les temps des révolutions aux distances à l'astre central. Il y eut surtout une étoile triple, dans la constellation du Cancer, qui se prêta à cet examen. Elle a un compagnon rapide et un autre beaucoup plus lent. Eh bien, la troisième loi de Kepler s'applique aussi aux étoiles. L'attraction y est donc proportionnelle aux masses, comme dans notre système. D'où l'on voit que la gravitation agit à ces immenses distances, et parmi tant de corps divers, comme elle le fait sur le Soleil et sur la Terre. Elle ne diffère en rien. Sa propagation ni sa nature ne sont pas modifiées. Elle mérite donc vraiment cette épithète d'universelle que Newton lui avait donnée, puisqu'elle est la loi des mouvements et de la matière dans l'univers entier.

Au reste, les recherches des astronomes sur les étoiles multiples viennent à peine de commencer. Il n'y a pas un siècle qu'on observe ces astres, et ce n'était pas d'abord avec le soin et l'attention qu'on y a apportés plus tard. La plupart des compagnons dont on suit les mouvements autour de ces lointains soleils, parais-



sent différer de nos planètes en ce qu'ils brillent spontanément. Pourtant, il y en a peut-être quelques-uns qui empruntent leur lumière à l'astre central. Ils semblent aussi d'une grande puissance par rapport à celui-ci, tellement que, dans bien des circonstances, les deux éléments d'une étoile multiple sont presque égaux. Ce serait le cas d'astres couplés constituant un système par eux-mêmes. Mais la lumière propre d'un globe n'exclut pas, comme on pourrait le penser, toute analogie avec nos planètes. Jupiter et Saturne, les plus gros sphéroïdes de notre système (après le Soleil), et par conséquent les moins refroidis, sont encore nuageux ou gazeux à leur superficie. Il n'y a peut-être pas si longtemps, dans le sens astronomique de ce terme, que ces corps conservaient leur incandescence.

Souvent les éléments individuels d'une étoile multiple sont de teinte différente, ce qui atteste un état différent dans les gaz. On peut donc penser que les uns sont plus avancés que les autres dans leur période de refroidissement. Les globes qui sont devenus obscurs sont naturellement plus difficiles à apercevoir, à ces grandes distances. On s'explique ainsi pourquoi les systèmes dans lesquels les planètes sont encore flamboyantes nous semblent prédominer.

### § 62. ÉTOILES VARIABLES.

Au reste, nous avons bien des motifs de croire qu'indépendamment de ces corps qui brillent par eux-mêmes, il y a des planètes obscures et probablement des anneaux de corpuscules, plus ou moins touffus et plus ou

moins complets, qui circulent autour des étoiles. Telle est sans doute la cause de la variabilité d'éclat d'un grand nombre d'astres. On a remarqué, par exemple, qu'Algol, porté sur nos cartes (n<sup>os</sup> 2, 3 et 4) dans la constellation de Persée, près celle d'Andromède, varie de la quatrième à la deuxième grandeur, dans la courte période d'un peu moins de trois jours. Aux environs du maximum et du minimum, les changements sont lents; mais, vers le milieu de l'intervalle entre les extrêmes, la lumière de cet astre varie si rapidement qu'on peut saisir, à un quart d'heure près, l'instant où il passe par son éclat moyen. L'étoile du triangle de la Lyre qui forme l'extrémité orientale de la base, la plus faible du carré de Cassiopée, l'étoile « Mira » ou étonnante de la Baleine (cartes n<sup>os</sup> 2 et 3), ainsi qu'un grand nombre d'autres, présentent un phénomène analogue et sont nommées des *étoiles variables*. Mira descend jusqu'à la dixième grandeur, et n'est visible alors qu'avec une bonne lunette; tandis que, dans ses éclats, elle brille pendant quinze jours comme secondaire, pour s'affaiblir bientôt et rester invisible à l'œil nu pendant près d'un an.

Il est rare, toutefois, que le changement d'éclat passe par des limites aussi étendues. Il y a de nombreuses étoiles, peut-être des centaines, qui subissent de légères variations, presque imperceptibles. De plus, nous n'apprécions guère que celles dont les périodes sont de courte durée; car, à de longs intervalles, nous n'avons pas de moyen de comparer. Nous pouvons seulement soupçonner, d'après les descriptions peu complètes de nos devanciers, que beaucoup d'étoiles ont légèrement

pâli, pendant que d'autres sont devenues un peu plus brillantes. D'autres encore ont changé de couleur, comme Sirius, qui autrefois était d'un rouge manifeste et qui frappe aujourd'hui par sa blancheur. Ce ciel des étoiles fixes, qui, à la première impression, a quelque chose de stéréotype, ne renferme donc partout que mouvements, altérations et changements, — la mobilité dans la variété infinie. Mais c'est la mobilité dans le petit ; ce sont des changements qui ne se trahissent qu'aux détails, à cause de la distance prodigieuse de ces systèmes et de ces corps.

La cause de la variabilité périodique des étoiles n'a pas encore été suffisamment expliquée. Il n'est pas invraisemblable que des planètes ou des anneaux de corpuscules, n'ayant pas de lumière propre, circulent autour de ces corps. Lorsqu'ils sont au delà de l'étoile, ou dans la conjonction supérieure, ils nous paraissent éclairés en plein par l'astre principal, et leur lumière s'ajoute à celle de cet astre, qui prend ainsi un maximum d'éclat. Tandis qu'à l'époque où la planète ou l'anneau sont en conjonction inférieure, nous n'en voyons plus que la partie obscure, et l'astre central est seul à briller. Peut-être même subit-il alors, dans certains cas, une éclipse plus ou moins complète. Ce qui donne de la force à cette explication, c'est qu'en étudiant plus assidûment les étoiles variables, on remarque, au moins pour plusieurs d'entre elles, que la période n'est pas constante. Elle est affectée d'inégalités, dont l'allure rappelle d'une manière frappante ce qui se produit dans les mouvements planétaires. Ainsi Argelander trouve que la changeante de la Baleine a une période moyenne

de 332 jours, qui croit avec le temps à 357, et diminue ensuite à 307 jours, pour réaugmenter encore. Cette oscillation du temps entre ses limites extrêmes embrasse 88 périodes. C'est exactement l'allure d'une perturbation causée par l'attraction d'un autre corps du même système.

De même, la période de la changeante de la Lyre varie tour-à-tour en plus, puis en moins; et celle d'Algol va non-seulement en diminuant, mais en diminuant plus rapidement à mesure que nous avançons. C'est le cas, non pas peut-être d'une accélération séculaire, comme celle de la Lune, mais plutôt d'une certaine phase d'une grande inégalité, comme celle qui, en ce temps même, accélère constamment et de plus en plus Saturne, sous l'action attractive de Jupiter.

Peut-être le corps dont l'interposition produit un obscurcissement est-il, dans bien des cas, un simple nuage de poussière cosmique. Hind fait remarquer, en effet, que beaucoup d'étoiles variables prennent une teinte rougeâtre dans leur plus grand affaiblissement, et qu'elles sont alors entourées d'une sorte d'auréole brumeuse. Enfin, Higgins, dans ses observations des spectres, a trouvé une étoile d'Hercule qui varie périodiquement de couleur dans l'intervalle de trois ou quatre jours.

### § 63. ÉTOILES TEMPORAIRES.

Il y a probablement des étoiles variables qui ont une très-longue période. Il n'est pas extrêmement rare d'apercevoir tout à coup une belle étoile, dans un lieu

du ciel où l'on n'en voyait point auparavant. Mais rien ne prouve que l'astre brille alors pour la première fois ; on a, au contraire, quelque raison de penser qu'il s'agit seulement de l'éclat d'une étoile variable, atteignant subitement son maximum. Il y eut une apparition semblable dans la constellation de l'Aigle, vers la queue du Serpent, en 393, puis en 798, puis en 1203, et enfin en 1609, à des intervalles tellement réguliers de  $405\frac{1}{2}$  ans, qu'il est difficile de ne pas croire à la réapparition d'un seul et même astre. Chaque fois l'étoile se montrait soudainement, au moins pour les observateurs peu attentifs de cette époque ; on la remarquait un soir comme étoile de première grandeur ou même plus brillante encore. Elle conservait sa magnificence pendant quelques semaines, puis commençait ensuite à pâlir. On continuait pourtant à la voir à l'œil nu durant plusieurs mois, jusqu'à ce qu'enfin elle s'abaissât au-dessous de la sixième grandeur sans avoir changé de place au milieu des fixes qui l'entouraient.

Telles sont à peu près les circonstances qui marquent l'apparition de toutes les *étoiles temporaires*. En 945, entre Cassiopée et Céphée, il en parut une qui jetait un éclat très-vif ; on la revit en 1264, et encore en 1572, du temps de Tycho-Brahé. Elle parut tout à coup, dit cet astronome, avec un éclat plus vif que celui de Jupiter ; et, après avoir passé du blanc au jaunâtre, à l'orangé et enfin au grisâtre, elle s'affaiblit au point de devenir invisible, seize mois après son apparition. Sa période, à en juger par ces trois dates, serait d'un peu plus de trois cents ans, et l'on peut s'attendre, par conséquent, à revoir le même phénomène vers 1885.

Ce fut l'apparition d'une étoile temporaire qui donna l'idée à Hipparque de faire le premier dénombrement des étoiles qu'on aperçoit à l'œil nu. Alboumasar parle d'un astre qui s'était montré de son temps dans le Scorpion, et qui, si l'astronome arabe n'a point cédé au goût du merveilleux, aurait jeté une lumière égale au quart de celle de la Lune. En 1860, on a vu une étoile paraître soudainement non loin d'Antarès, pour s'effacer au bout de quelques jours. En 1848, il y en avait eu une dans Ophiucus; en 1866, une autre a été observée dans la Couronne. Au reste, si nous descendons aux observations télescopiques, nous trouverions l'annotation de nombreuses étoiles qui ont été vues là où l'on n'en avait point signalé auparavant, ou encore d'étoiles qui ont été indiquées par les observateurs, et dont il ne reste plus de traces aujourd'hui.

Tous ces phénomènes peuvent-ils cependant être rapportés aux révolutions des corps les uns autour des autres, comme la périodicité de quelques-uns d'entre eux semble l'indiquer? N'y a-t-il pas aussi, dans les astres, de véritables modifications physiques, et ne voyons-nous pas, dans quelques-uns au moins de ces changements d'éclat, les traces de transformations positives, et ce qu'on pourrait appeler la vie des mondes? Le spectre de l'étoile nouvelle de 1866 indiquait que cet astre était le siège d'un immense incendie d'hydrogène, qu'on pourrait assimiler aux explosions du Soleil, sur une plus grande échelle. On est presque tenté d'attribuer à une semblable cause les grandes variations de lumière de la brillante étoile du Navire la plus rapprochée de la Croix du Sud. On a vu cet astre s'élever,

de notre propre temps, avec une certaine rapidité, jusqu'à la première grandeur, subir dans son éclat plusieurs oscillations, et redescendre ensuite, mais sans véritable stabilité. Sirius, ainsi que nous l'avons dit, a changé de couleur il y a dix ou douze siècles : ce qui annonce un changement dans les éléments de combustion.

De plus, la plupart des étoiles temporaires, et de celles qui présentent des variations irrégulières, sont situées dans la Voie Lactée, ou du moins dans le voisinage immédiat de ce grand amas d'étoiles, dont il nous reste maintenant à parler. C'est une zone remarquable par les changements qui s'y accomplissent, et par les exemples de développement cosmique et d'évolution qu'on croit y trouver. Quand on a dit que l'apparition d'une étoile nouvelle nous rendait témoins de l'embrasement d'un monde, on a probablement été trop loin et l'on a trop généralisé. Peut-être voyons-nous pourtant certains phénomènes qui se rattachent à la reconstruction des systèmes, après que ceux-ci ont fourni une carrière entière de formation, d'organisation et de développement.

Il est certain qu'en ce qui touche l'existence des astres, nous sommes beaucoup plus familiers avec les procédés de refroidissement qu'avec ceux de réchauffement. Nous comprenons mieux la dissipation graduelle de la chaleur, dont nous sommes témoins dans notre propre système, et la contraction ou durcissement progressif des globes, que le retour à une vaporisation générale et la régénération d'une température élevée. Pourtant l'un des procédés doit entraîner l'autre. Il n'y

aurait pas de perpétuité s'il n'y avait pas de renouvellement. Supposer que la force animatrice des systèmes, la chaleur, s'épuise sans jamais se restaurer, c'est à peu près comme si l'on imaginait que l'homme croit, se développe et vieillit sans se reproduire. La dernière question suggérée par l'étude du ciel est précisément celle du développement graduel des systèmes. C'est par cet examen que nous allons terminer ce petit volume, en tâchant de nous former une plus juste idée de l'activité qui règne dans les cieux.

---



## CHAPITRE VII.



### § 64. VOIE LACTÉE.

Bien que les étoiles des diverses grandeurs soient distribuées d'une manière à peu près égale dans toutes les régions du ciel, il s'en faut de beaucoup que cette égalité subsiste dans les détails de leur arrangement. Au contraire, en parcourant la voûte céleste avec le télescope, on voit tantôt une dissémination assez régulière des astres, tantôt une rareté relative et tantôt une condensation. Il y a des endroits où les petites étoiles sont si serrées, que tout un groupe fait sur l'œil une impression unique, comme celle d'un petit nuage lumineux. Ce sont les *nébuleuses*. Quelques-unes de ces taches, assez brillantes pour être visibles à l'œil nu, sont marquées sur les cartes jointes à ce vo-

lume. On en voit des exemples dans les constellations d'Andromède, du Petit Chien et du Cancer. Mais, pour ce petit nombre qu'on distingue à la vue simple, il y en a des milliers qu'on voit seulement dans les lunettes, et, parmi ces dernières, se trouvent celles qui offrent le plus d'intérêt.

Lorsqu'on s'arme d'un puissant télescope, on observe que beaucoup de ces taches brillantes se décomposent en étoiles individuelles, ou, comme disent les astronomes, que la nébuleuse se résout. On l'appelle alors un *amas*, réservant le nom de nébuleuses proprement dites pour les taches qui conservent leur continuité, et qui semblent formées de gaz incandescents. Il y a dans le ciel des amas d'étoiles de la plus grande richesse. Il y en a dans lesquels des étoiles de couleurs différentes figurent les unes à côté des autres. On en voit qui sont composés d'astres tous semblables entre eux, tous également faibles, et comme également disséminés. Puis, on en rencontre d'autres, qui sont irréguliers et parsemés d'étoiles plus brillantes que leurs voisines. Beaucoup d'amas présentent une forme globulaire, avec une concentration plus grande des étoiles au centre ou vers le centre, quelquefois en deux ou trois points intérieurs bien distincts entre eux. Mais d'autres sont allongés, d'autres anguleux, d'autres encore profondément découpés et de figures bizarres. On en cite qui ont l'aspect d'un coin, avec les étoiles les plus brillantes et les plus serrées placées au sommet.

Les amas et les nébuleuses propres ne sont pas toujours isolés. On dirait souvent qu'ils affectent une certaine tendance à se montrer plus ou moins rappro-

chés. Il y a de grands espaces dans le ciel où ils sont rares ; puis, tout d'un coup on les voit se multiplier, et tenir par centaines dans une étroite région. Les *Nuées de Magellan*, dans le voisinage du pôle Sud, sont des exemples de cette accumulation. Ce sont deux taches de grandeur inégale, visibles à l'œil nu. Chacune est composée d'un nombre considérable de nébuleuses résolubles et irrésolubles, entremêlées de beaucoup d'étoiles détachées. C'est une plus grande condensation de ce qu'on voit dans le ciel tout entier.

Mais, de toutes ces concentrations, il n'y en a pas de plus remarquable que la *Voie Lactée*<sup>1</sup>. C'est une immense ceinture, qui fait le tour entier du ciel, et qui renferme à profusion les petites étoiles, les nébuleuses proprement dites et les amas. William Herschel portait à soixante-quinze millions le nombre des étoiles que son grand télescope aurait permis d'apercevoir dans la Voie Lactée. Dans certains endroits, la condensation est si riche que les étoiles et les nébuleuses jettent, dans les grandes lunettes, un éclat qui est parfois sensible avant que les objets mêmes entrent dans le champ.

De la disposition de la Voie Lactée en ceinture continue autour de nous, on infère que cette agglomération de corps célestes constitue une sorte de disque ou plateau gigantesque, dans l'épaisseur duquel nous sommes situés. La concentration des étoiles et des nébuleuses

<sup>1</sup> Vulgairement le « chemin de Saint-Jacques. » Ce nom lui fut donné par Eginhart et Charlemagne, un soir qu'à Aix-la-Chapelle ils regardaient le ciel ensemble, et que la Voie Lactée s'abaissait à l'horizon du Sud-Est.

étant un peu plus forte dans une moitié de la Voie Lactée qu'elle ne l'est dans la moitié opposée, on suppose aussi que le système solaire n'est pas placé au centre de cette immense roue, mais un peu plus près du bord du Midi.

Il peut même y avoir deux disques ou anneaux enchâssés l'un dans l'autre, puisque la Voie Lactée se dédouble en deux bandes, depuis la constellation du Cygne jusqu'à celle du Scorpion. L'espace, ou fente entre les deux lanières, nous semble relativement obscur.

Il n'est pas cependant entièrement dépouillé d'objets célestes. Mais, près de la Croix du Sud, il y a, dans la Voie Lactée, des lacunes de petite étendue, où les étoiles et les nébuleuses font soudainement défaut. Il en résulte un contraste si nettement marqué et une impression d'obscurité si frappante, que les marins appellent ces taches les Sacs de Charbon.

### § 65. NÉBULEUSES.

On a douté un instant qu'il y eût de véritables nébuleuses. En faisant usage de télescopes d'une puissance croissante, on voit, en effet, beaucoup de ces nuages lumineux se résoudre en une multitude d'étoiles séparées. Un nombre notable de ceux qui avaient résisté à William Herschel, se sont décomposés en étoiles distinctes dans le grand télescope de Rosse. Ce n'étaient donc pas de vraies nébuleuses, mais seulement de simples amas. Quelques astronomes en concluaient que la résolution des nébuleuses n'était qu'une question de force optique, et qu'avec le temps et le progrès de nos

instruments, il n'y aurait plus une seule de ces taches lumineuses qui pourrait passer pour une vaste agglomération de matière vaporisée : il n'y aurait partout que des étoiles occupant chacune un espace restreint.

Cependant William Herschel et son fils John Herschel avaient dit qu'entre l'apparence des amas, même les plus serrés, et celle de certaines nébuleuses qu'ils considéraient comme essentiellement gazeuses, il y a une différence remarquable. Les premières offrent un certain petillement intérieur, si l'on peut s'exprimer ainsi, qui trahit l'existence de points brillants individuels, lors même qu'on ne distingue pas ces points séparément ; tandis que, dans d'autres cas, la lumière a quelque chose d'uni, de constant, de placide, comme si elle provenait d'une masse continue. Cette distinction est sans doute difficile à faire dans un grand nombre de cas particuliers. Mais l'étude des spectres a prouvé qu'elle n'est pourtant pas illusoire. Il y a, dans le ciel, autre chose que de simples amas d'étoiles ; il y a de grandes masses gazeuses, puisque certaines nébuleuses irrésolubles donnent des spectres à raies claires, au lieu des raies obscures que fournissent les corps à poussière incandescente, tels que le Soleil.

La plupart de ces spectres présentent, par exemple, la raie verte de l'hydrogène. Mais ce gaz donne également deux autres raies, l'une dans le bleu et l'autre dans le rouge, qu'on ne retrouve pas toujours dans les nébuleuses. Quelques physiciens en infèrent que la matière de ces corps serait dans un état plus élémentaire que nous ne la voyons dans aucun de nos gaz. Quoi qu'il en soit à cet égard, le fait est acquis aujourd'hui qu'il

existe des nébuleuses formant réellement des masses continues, de vrais nuages de gaz incandescent.

Rien n'est plus curieux que de parcourir la série des formes affectées par les nébuleuses. D'abord viennent

Nébuleuses.

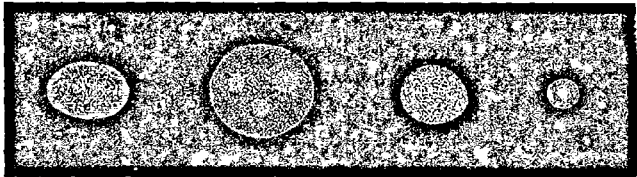


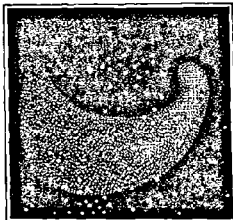
Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 4.

les taches *globulaires* (fig. 1 et 2), qui sont les plus communes dans le ciel, et qui portent souvent dans leur intérieur un ou plusieurs centres de condensation. Quelques-unes toutefois, appelées *planétaires*, parce qu'elles rappellent le disque rond et uniforme d'une planète, sont d'un éclat tellement égal dans toute leur étendue, qu'il est impossible d'y signaler aucune particularité (fig. 3). Mais d'autres nébuleuses circulaires ont dans leur sein de véritables étoiles; et l'on en signale où l'étoile est

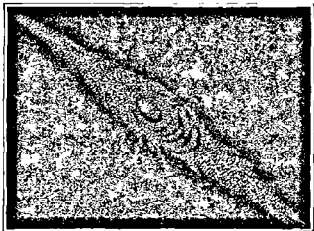


Nébuleuse du Navire (fig. 5).

l'objet principal, tandis que la nébuleuse se réduit à une simple auréole, parfois à peine visible autour de cet astre central (fig. 4).

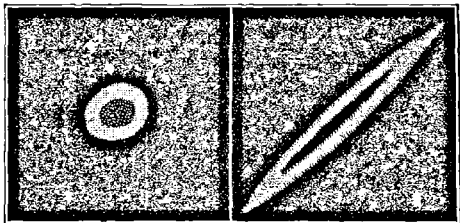
Il y a des nébuleuses qu'on appelle *cométaires*, parce qu'elles rappellent l'aspect des comètes, ayant une condensation plus marquée dans une des extrémités (fig. 5). Il y en a de *lenticulaires*, comme celle de la

Queue du Lion (fig. 6), qui ressemblent à des masses aplaties par l'effet de leur rotation. D'autres sont *annulaires* (fig. 7 et 8), comme si le mouvement trop rapide avait évidé le centre et rejeté toute la masse dans le prolongement du plan de l'équateur. On en voit une de ce genre au-



Nébuleuse lenticulaire du Lion (fig. 6).

tour de l'étoile inférieure de l'épée d'Orion; mais ici, cette étoile figure l'astre central, dont la nébuleuse elle-même constitue l'anneau enveloppant; tandis que, d'autres fois, il n'y a pas d'étoile au centre, ou bien nous n'en voyons pas. On mentionne, dans la nébuleuse de la variable du Navire, dont il a été question plus haut (§ 63), un espace noir, en forme de calice, où paraissent trois petites étoiles qui, peut-être, ne font pas partie du système; et, dans quelques autres de ces ta-



Nébuleuse annulaire de la Lyre (fig. 7.)

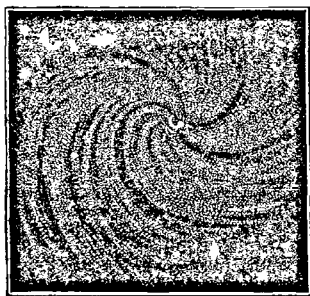
Nébuleuse annulaire, près de  $\gamma$  d'Andromède (fig. 8).

ches brillantes, il y a deux vides intérieurs, qui donnent à toute la masse la figure générale d'un 8. Il s'agit là, sans doute, de nébuleuses couplées, dont chaque élément renferme à son centre un vide obscur.

Au reste, les anneaux ne sont pas toujours simples.

Ils se multiplient parfois avec une richesse et une variété de détails qui sont admirables. En avant de la tête du Lion, il y a une nébuleuse composée d'une dizaine d'anneaux concentriques, enchâssés les uns dans les autres ; l'espace central est étroit, et le centre même est occupé par une sorte de balle lumineuse, comme Saturne au milieu de ses anneaux.

Un peu au-dessous de l'angle Sud-Ouest du carré de Pégase, on voit une autre nébuleuse semblable, ayant aussi au centre une masse globulaire, et autour de celle-ci de nombreux anneaux ; mais il y a, en outre, à la bordure du système, une sorte de disque ou plateau qu'on voit à peu près par sa tranche. Entre Pégase et Cassiopée, une autre nébuleuse présente deux anneaux concentriques parfaitement distincts, qui offrent une particularité curieuse : ils se relèvent en un point, tellement qu'on ne peut pas les considérer comme des anneaux fermés, mais que chacun d'eux forme plutôt un tour d'hélice, comme on en voit à nos tire-bouchons.



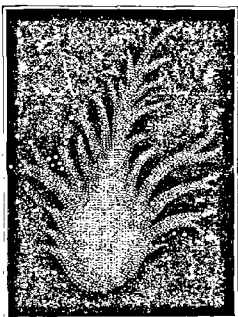
Nébuleuse spirale de la Vierge (fig. 9).

Cette forme nous amène aux nébuleuses *spirales*, étudiées d'abord par Rosse, il y a un peu plus de vingt ans. On y voit la matière disposée comme les spires d'une gigantesque coquille (fig. 9). On dirait qu'on la surprend dans l'acte de s'enrouler autour du noyau. Tantôt la spirale est une, et se ploie régulièrement



comme le ressort d'une montre : telle est celle qui se trouve un peu au delà de la Queue de la Grande Ourse, et telle est aussi celle qui constitue le type de toute la classe, la célèbre nébuleuse de l'Oreille du Chien, au Nord de Sirius. D'autres fois, les circonvolutions sont multipliées, comme les ailes de l'hélice d'un vaisseau. Près de la pointe méridionale de la constellation du Triangle, il y a une nébuleuse qui jette les commencements de quatre spires principales et de plusieurs autres spires de moindres dimensions, rappelant ces roues dont les rais, au lieu d'être droits, ont une forme arquée.

Les spires, d'ailleurs, ne sont pas toujours si bien dessinées ni si continues. Ce sont souvent des commencements de spires, des bandes plus ou moins courbées, que la masse nuageuse jette au dehors de divers côtés. On appelle nébuleuses à bras celles qui nous présentent de semblables appendices. Quelques-unes sont fort riches en lambeaux courbés. Un peu au Nord d'Orion, entre cette constellation et Aldébaran, on voit une tache lumineuse de forme ovoïde, qui est entourée de bras courbés symétriquement comme des tentacules (fig. 10). Vers le milieu de la constellation du Capricorne, le télescope rencontre une nébuleuse faible et bleuâtre, qui offre une figure lenticulaire bien marquée, avec un renflement central. Dans ce renflement apparaissent quelques stries de lumière plus brillantes que le reste, et parallèles à l'axe

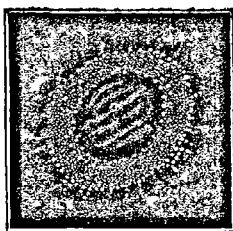


Nébuleuse du Taureau (fig. 10).<sup>1</sup>

d'élongation. Autour sont quatorze ou quinze bras régulièrement espacés, courts et sans courbure apparente.

Mais un des cas les plus intéressants, c'est celui d'une nébuleuse placée immédiatement en dehors du carré de la Grande Ourse, du côté opposé au pôle. C'est une nébuleuse couplée, dont chacun des deux éléments porte en son milieu une masse centrale, entourée d'un vide, puis d'un anneau lumineux. Il semblerait même que chaque anneau se compose lui-même de plusieurs rondelles concentriques. Mais le fait vraiment curieux, c'est qu'en dehors des anneaux, il y a des bras, et que ceux-ci, au lieu de se courber dans un même sens, comme nous l'avions vu jusqu'ici, se plient symétriquement dans deux sens opposés. Il est probable qu'une série appartient à l'un des éléments du couple, tandis que l'autre série est attachée à l'autre élément.

On trouve dans bien des nébuleuses une combinaison de plusieurs types. Il y a, par exemple, au Sud de l'étoile Castor, une nébuleuse à bras dont les appendices, quoique courts, sont très-visiblement courbés,



Nébuleuse de la Lyre (fig. 11).

et cela dans un même sens. Puis, au delà de ces courtes lanières se voient deux anneaux concentriques qui enveloppent la masse principale. C'est à la fois une nébuleuse à bras et une nébuleuse annulaire. Sur le plus petit côté du triangle de la Lyre existe une nébuleuse formée de deux cercles d'étoiles qui sont concentriques, et de quelques stries lumineuses qui traversent le vide intérieur (fig. 11). Tout autour du

cercle externe se dessinent des bras peu étendus, mais courbes, et tous pliés dans une même direction.

On retrouve, en outre, parmi les nébuleuses, les particularités qui distinguent les étoiles. On y reconnaît, par exemple, des différences de couleur. Il y en a qui nous offrent des teintes vertes, ou rouges, ou bleues. John Herschel signale dans la Croix du Sud une petite nébuleuse planétaire qui est d'un bleu bien prononcé. Il y a des nébuleuses doubles, dont les deux éléments tournent lentement l'un autour de l'autre, comme dans le cas des étoiles multiples (§ 61). Il y a des nébuleuses variables. D'Arrest en cite trois, renfermées dans une région du ciel moins étendue que le carré de Pégase, et qui non-seulement varient périodiquement d'éclat, mais dont les minima arrivent ensemble. Enfin, il y a des nébuleuses qu'on pourrait appeler nouvelles, ou du moins qu'on n'avait pas notées auparavant, tandis qu'il y en a d'autres qui disparaissent, comme l'a fait, vers 1856, la petite nébuleuse, près de la pointe septentrionale du V du Taureau.

Les mêmes phénomènes qui se passent parmi les étoiles se passent donc aussi parmi les nébuleuses. Mais celles-ci nous offrent, dans la variété des formes qu'elles affectent, un sujet d'étude particulier. William Herschel a le premier fixé l'attention sur cette série régulière d'aspects, et sur la signification probable de ces différents types, déduite de leur apparente gradation.

## § 66. HYPOTHÈSE NÉBULAIRE.



William Herschel.

Lorsque le voyageur passe dans une forêt, dit William Herschel, une forêt de chênes par exemple, une chose le frappe, c'est l'inégal développement des arbres qui composent la masse. Les uns sont des colosses majestueux, dont la couronne annonce la vigueur et l'ancienneté; d'autres

n'ont pas la tête si fournie et n'étendent pas si loin leurs rameaux; d'autres encore sont grêles, plus verts et plus tendres; d'autres enfin ne font que sortir du gland. Or, cette différence entre les individus représente justement les phases diverses du développement du chêne. On voit rapprochés, et dans le même moment, des états qui dans le temps se succèdent avec une extrême lenteur. En sorte que le voyageur, sans avoir passé sa vie à surveiller la croissance d'un arbre, pourrait cependant se rendre compte de ce développement, comme s'il l'avait suivi dans le cours du temps.

L'idée de William Herschel était donc que les différentes classes de nébuleuses montrent les phases di-

verses de l'évolution des systèmes. Les nébuleuses globulaires représentent la phase première, quand la matière incandescente, volatilisée, commence à se grouper sous l'influence de l'attraction mutuelle des molécules qui la composent. Mais la condensation croît progressivement vers le centre, et la matière commence à se grouper autour d'un point intérieur, et quelquefois de plusieurs. Le plus souvent toutefois, il n'existe qu'un seul noyau. Avec les progrès du refroidissement, la masse se contracte ; en se contractant, elle tourne plus vite sur elle-même ; et, par l'accélération de cette rotation, elle s'aplatit davantage, et son équateur s'étale dans son plan comme une sorte de plateau. La nébuleuse alors se présente sous une forme lenticulaire, avec un renflement central plus ou moins marqué. Quand la rotation est plus rapide encore, la circonférence se détache sous forme d'anneau, et cet anneau tourne alors autour du noyau dont il se sépare. Parfois même la rotation est assez rapide pour creuser toute la masse dans son centre, ne formant qu'un anneau dépourvu de noyau.

La plupart de nos lecteurs n'ignorent pas que ces effets de la rotation ont été reproduits, dans des expériences du plus haut intérêt, par notre compatriote Plateau. Lorsqu'on place une petite quantité d'huile dans un liquide qui possède exactement la même densité, l'huile ne monte ni ne descend, puisqu'elle n'est ni plus légère ni plus lourde que le milieu qui la contient : elle reste donc suspendue dans le liquide, soustraite à la pesanteur. Elle figure alors ces mondes qui sont isolés dans l'espace, sans qu'aucune force extérieure

soit suffisante pour nous cacher les conséquences de l'attraction mutuelle de leurs parties constituantes. L'huile ainsi livrée à elle-même prend une figure globulaire. Mais si l'on imprime à la goutte un mouvement de rotation, on voit d'abord la sphère s'aplatir sous ses pôles, puis, quand le mouvement devient plus rapide, se creuser dans son centre et former enfin un anneau.

Cette succession de phénomènes est parfaitement conforme aux lois de la mécanique ; mais combien elle frappe davantage quand on la reproduit par l'expérience et à volonté ! Les nébuleuses annulaires sont celles dont la vitesse a détaché l'anneau ou ceinture. Et s'il y a plusieurs anneaux concentriques, c'est que le phénomène s'est répété ; c'est qu'après avoir perdu un premier anneau extérieur, la masse centrale, se refroidissant toujours, se contractant, et gagnant par suite en vitesse, a chassé pour ainsi dire sur son équateur un nouvel anneau, intérieur au premier, et ainsi de suite, autant de fois que le phénomène a pu se renouveler.

Finalement, il ne reste au milieu de la masse que la partie la plus condensée de la nébuleuse : c'est ordinairement une étoile, parfois une étoile multiple, comme si les anneaux avaient donné naissance, en se concentrant à leur tour sur un de leurs points intérieurs, à autant de globes particuliers. Enfin, il ne reste souvent autour de l'étoile qu'une simple auréole, la trace dernière d'une nébulosité presque toute condensée aujourd'hui.

William Herschel voyait ainsi, dans les différents états des nébuleuses, les phases diverses d'évolutions

qui, partant de la diffusion générale du gaz, nous amènent à une concentration finale. Laplace donna à cette hypothèse, qu'on appelle aujourd'hui l'*hypothèse nébulaire*, le poids de son importante adhésion. Il fit une application de ces idées au système solaire, qu'il regardait comme ayant composé à l'origine une vaste nébuleuse. Celle-ci, pensait-il, s'était contractée par degrés, et continue encore à se condenser en se refroidissant.

William Herschel ne connaissait pas les nébuleuses spirales, fort imparfaitement déchiffrées de son temps. Ce type, qu'il n'avait pas pu considérer, semblait, lorsqu'il fut découvert, faire brèche à sa théorie. En effet, il ne s'agissait ici ni d'aplatissement ni d'anneaux. Il ne s'agissait pas de mouvement circulaire, à une distance égale ou à peu près égale du centre, comme pour les planètes autour du Soleil. Mais on s'aperçut bientôt que ces traînées qui figurent des spires, ne sont pas en réalité si en dehors de la loi commune. Ce sont des anneaux ou parties d'anneaux dont une extrémité se rapproche du globe central. Or, c'est là justement ce qui doit se produire quand les anneaux ont à se mouvoir dans un milieu fortement résistant.

L'hypothèse nébulaire n'est donc pas infirmée. Son application au système solaire rend compte, au contraire, de tant de détails et elle a fait, depuis l'époque de Laplace, des progrès si réels, qu'elle acquiert chaque jour une plus grande probabilité.

## § 67. ORIGINE DU SYSTÈME SOLAIRE.

Personne ne conteste aujourd'hui que la Terre n'ait possédé dans le passé une température extrêmement élevée. La masse entière était au moins ramollie, puisque le globe a pu s'aplatir sous ses pôles par l'effet de sa rotation. Les roches étaient fondues, puisqu'elles ont coulé comme la lave de nos volcans. Pour se figurer la condition originelle de notre planète, il suffit de remonter le cours de ce phénomène de refroidissement, qui se continue encore de nos jours. Avant la formation du noyau liquide, tous les éléments constituant de la Terre devaient être à l'état de vapeurs. Notre planète était alors un petit Soleil, dans lequel se passaient les mêmes réactions qui se produisent aujourd'hui dans cet astre central.

Mais la conséquence d'une haute température, c'est une immense extension de volume. La matière qui compose notre globe formait donc autrefois un sphéroïde énorme, qui s'étendait au delà même de l'orbite que la Lune parcourt. Ces deux corps étaient alors confondus dans une masse unique, que l'on pourrait appeler le menstrue commun duquel ils devaient sortir.

A mesure que cette masse se refroidissait et que sa rotation devenait plus rapide, l'équateur se renflait, puis faisait une puissante saillie. Bientôt cet équateur, ne pouvant plus suivre le mouvement de la partie centrale, devait se détacher et former un véritable anneau. Mais c'était pour se briser presque tout de suite, car



les conditions d'équilibre n'existent pour des anneaux semblables que dans des cas très-particuliers. Les fragments se suivaient dans une orbite commune autour de la Terre, et, réagissant par leur attraction mutuelle, ils se sont à la longue réunis au plus gros d'entre eux. Ainsi s'est formée la Lune, qui, se refroidissant toujours, est passée successivement à l'état liquide, puis à l'état solide, et continue à circuler autour de nous.

Le même raisonnement s'applique aussi bien au système solaire. Il rend compte des particularités mêmes de l'organisation de ce système, sans exiger l'intervention d'une seule circonstance nouvelle, sans recourir à d'autres forces physiques et mécaniques que celles que nous connaissons.

Le système, ne formant qu'une seule masse vaporisée, embrassait l'espace occupé aujourd'hui par toutes les planètes. Le Soleil, dont ces planètes n'étaient pas encore séparées, s'étendait par delà l'orbite de Neptune, formant une nébuleuse plutôt qu'une étoile, et tournant lentement sur lui-même à peu près autour de l'axe qu'il conserve encore aujourd'hui. En se contractant et en augmentant de vitesse, il abandonna successivement dans sa retraite des anneaux détachés de son équateur. Chacun de ces anneaux donna naissance à une planète. Les premiers, formés des parties les plus raréfiées, et, dans un temps où la nébuleuse entière était immensément dilatée, ne devaient pas contenir autant de matière que ceux qui se détachèrent un peu plus tard. Saturne a, en effet, plus de masse qu'Uranus et que Neptune, et Jupiter en a plus que Saturne.

Mais aux premiers anneaux, ressemblant à d'im-

menses gabions circulaires, succédèrent des anneaux-tablettes. Le Soleil, en se réduisant, s'accélérait tellement dans sa rotation, que la matière s'étendait dans le plan de l'équateur sous la forme d'un disque ou palet. Les fragments d'un anneau plat, en se joignant les uns aux autres, donnaient naissance à une planète dont la rotation propre s'opérait dans le sens de sa révolution, et dont l'équateur ne pouvait pas s'éloigner beaucoup du plan de l'orbite. La dissidence de ces plans, fort grande dans les planètes extérieures du système, va, en effet, en diminuant lorsqu'on arrive à Saturne et surtout à Jupiter.

Jusque-là, l'attraction des planètes déjà détachées, et circulant au dehors, n'avait pas été suffisante pour exercer une grande influence sur la nébuleuse. Mais, après la formation de Jupiter, dont la masse est si considérable, l'action attractive de ce globe devait hâter la séparation des anneaux suivants. Les zones, d'ailleurs, se rétrécissaient : les anneaux ne couvraient plus que de petites circonférences, et ne pouvaient former que de petites planètes. On sait que c'est en effet ce qui est arrivé. Même dans la zone immédiatement intérieure à Jupiter, l'anneau, aminci outre mesure et détaché prématurément, n'a pas pu engendrer de globe. Les fragments ne se sont pas réunis. L'attraction de Jupiter les a immédiatement dérangés. Au lieu de se suivre à la file pour s'attirer et se recomposer, ils ont été attirés en dehors de leurs orbites primitives. Les excentricités surtout ont été affectées ; les mouvements sont devenus indépendants, et chaque petite masse a formé son astéroïde, qui s'est bientôt refroidi, consolidé et éteint.

Mais, à mesure qu'on s'éloigne ensuite de la planète troublante, les phénomènes se reproduisent, dans la masse intérieure, de la même manière qu'ils se sont passés dans la grande nébuleuse. La Terre, qui vient après Mars, est plus volumineuse que lui. Son anneau s'est formé, parmi les petites planètes, dans des circonstances analogues à celui de Jupiter parmi les grosses. La Terre est le Jupiter des planètes intérieures, et c'est la seule de ces planètes dont le volume ait été suffisant pour donner naissance à un satellite.

Il est intéressant de noter que des dispositions analogues se retrouvent dans les systèmes particuliers des planètes qui ont un cortège. On est, par conséquent, fondé à penser que les mêmes circonstances y ont gouverné les événements. Ainsi, comme règle générale, les satellites extérieurs sont plus volumineux que les satellites intérieurs. Mais ce n'est pas non plus le plus éloigné de la planète qui est le colosse, pas plus que la planète Neptune ne peut disputer la palme à Jupiter. Dans le système de Saturne, le satellite qui l'emporte sur tous les autres est le 6<sup>m</sup> sur 8, et dans le système de Jupiter, c'est le 3<sup>m</sup> ou avant-dernier qui est le géant <sup>1</sup>. Ajoutons que les anneaux non encore brisés

<sup>1</sup> La succession des distances à la planète montre, dans le système de Saturne, deux lacunes, analogues à celle qui existe entre Mars et Jupiter (§ 51). L'une tombe entre les deux satellites extérieurs, et l'autre entre le 5<sup>e</sup> et le 6<sup>e</sup>. Elles répondent sans doute à des zones d'astéroïdes qui circulent autour de la planète. N'est-il pas remarquable qu'une de ces zones soit précisément en dedans du satellite géant, comme les astéroïdes du système planétaire sont immédiatement en dedans de Jupiter ?

de Saturne sont à l'intérieur de tous ses satellites, et c'est là, en effet, qu'ils devaient se trouver, puisqu'ils se sont détachés plus récemment.

Il n'y a pas même jusqu'au nombre des satellites dont on ne puisse se rendre compte, au moins d'une manière générale, dans l'hypothèse nébulaire. Toutes choses égales d'ailleurs, les anneaux se détachent d'autant plus aisément que la force centrifuge engendrée par la rotation est plus considérable par rapport à l'attraction de la planète. Or, on sait combien la rotation des planètes extérieures est rapide, et, par conséquent, leur force centrifuge importante. Mais ce n'est pas tout encore. Dans Uranus et dans Saturne, la force centrifuge est plus considérable par rapport à la pesanteur, qu'elle ne l'est dans Jupiter. Aussi n'est-ce pas cette dernière planète qui a le plus riche cortège de satellites. Dans Jupiter, le rapport de ces deux forces est 1 à 8; mais dans Saturne, il est 1 à 6. Or, la première de ces planètes n'a que quatre satellites, pendant que la seconde en a huit, ainsi que trois anneaux.

Maintenant l'état physique des globes vient corroborer ces traits généraux. Plus les planètes sont anciennes, plus la matière qui les constituait possédait une température élevée. Le phénomène du refroidissement doit donc être moins avancé dans les planètes formées les premières, tandis que ce refroidissement a dû porter bien d'autres conséquences dans les globes de récente formation. Or, les planètes les plus anciennes, ce sont les planètes extérieures. Indépendamment de cette haute température originale, elles ont un volume tel, que le refroidissement n'a pu être pour elles qu'ex-

cessivement lent. Eh bien, Saturne et Jupiter, les seules que nous pouvons étudier avec fruit (Uranus et Neptune étant trop loin) ne paraissent pas encore solidifiées. Tandis que les planètes intérieures, à commencer par Mars, offrent au moins une croûte solide, puisqu'elles ont des taches fixes à leur surface, ou même des montagnes que nous avons pu mesurer.

### § 68. UNITÉ DU SYSTÈME SOLAIRE.

Au reste, l'unité du système solaire et la communauté d'origine de tous les corps dont il se compose, ressortent de faits de différente nature. Ainsi, dès l'abord, nous voyons toutes les planètes circuler dans des orbites concentriques, tracées tous autour du Soleil. Les plans de ces orbites sont extrêmement voisins les uns des autres, tellement qu'on peut comparer ces globes à des balles qui rouleraient toutes sur un même plateau. Et ce qui est plus remarquable encore, ce plan commun ou à peu près commun de circulation coïncide presque avec celui de l'équateur du Soleil. L'inclinaison de l'orbite de Mercure sur l'équateur solaire n'est pas d'un tiers de degré, et l'angle augmente graduellement, et d'une manière presque régulière, jusqu'à l'orbite de Neptune, pour laquelle il atteint un peu plus de 9 degrés <sup>1</sup>. Il n'y a pas lieu, d'ailleurs, de s'étonner si l'écart grandit légèrement quand on s'éloigne, car la puissance d'un sphéroïde pour retenir près du plan de son équateur les corps qui circulent autour de lui diminue lors-

<sup>1</sup> HENNESSY, dans le *Report of the British Association*, 1862.

que la distance augmente. Et il est intéressant de voir que parmi les satellites de Saturne, c'est le dernier qui s'écarte le plus de l'équateur de la planète; et parmi ceux de Jupiter, c'est aussi le satellite le plus éloigné.

Une autre preuve d'unité et de communauté d'origine, c'est l'analogie générale qu'on remarque dans les mouvements. Non-seulement les révolutions, tant des planètes que des astéroïdes, des satellites et des anneaux, s'exécutent dans un seul et même sens, qui est celui de la rotation du Soleil; mais la rotation particulière de chaque planète se fait aussi dans cette même direction. Il n'y a d'exception que pour Uranus, qui tourne presque à angle droit sur son orbite, et pour Neptune, dont la rotation s'exécute en sens rétrograde. Mais cette circonstance, qui semblait à Brewster une objection grave à l'hypothèse nébulaire, a été expliquée par la forme des anneaux générateurs. Quand la nébuleuse se réduisait à son noyau central et tournait avec rapidité, les anneaux qui se détachaient avaient la figure de plateaux. La rotation de la planète engendrée dans ces circonstances s'exécutait dans un plan voisin de celui de sa révolution. Mais, à l'origine, la matière s'étendait au loin; la nébuleuse ne tournait que lentement sur elle-même, et son équateur n'offrait qu'une sorte de ventre ou de renflement. Les anneaux détachés avaient alors une très-grande épaisseur perpendiculairement au plan de leur orbite. En se brisant, ils ne formaient pas des pièces discoïdes, mais plutôt des lambeaux dressés. Ces lambeaux s'enroulaient perpendiculairement au plan de l'orbite, ou même en sens contraire de leur translation.

Enfin, une autre preuve de communauté, c'est cette récurrence des mêmes corps chimiques, que l'analyse par le spectre vient dévoiler : ce sont les mêmes métaux, ce sont les mêmes gaz. On peut donc se figurer cette masse brassée dans son ensemble, à l'origine du système, dans une vraie rotation générale. Tous les globes sont sortis de ce même menstrue. Les planètes sont sœurs et le Soleil est leur père commun.

Veut-on aller plus loin encore : le plan du système solaire n'est-il pas à peu près celui de cet immense disque qui constitue la Voie Lactée, et dans lequel nous voyons tant de nébuleuses, tant de systèmes qui poursuivent leurs évolutions? La Voie Lactée tout entière, avec ses millions de mondes, n'est-elle qu'un grand système, le macrocosme du nôtre, où le phénomène de refroidissement et de condensation suit son cours sur une plus vaste échelle? Nous montons ainsi par degrés, mais en retrouvant partout le même plan général. Il y a, dans la communauté des traits, lorsqu'ils s'étendent à un ensemble si vaste, quelque chose qui frappe profondément.

### § 69. AVENIR DES PLANÈTES.

En rétablissant par la pensée les grands phénomènes cosmiques que nous venons d'esquisser, nous avons pu voir les planètes se séparer de la masse commune, et prendre leur cours dans les orbites où elles circulent aujourd'hui. Il nous reste à les suivre dans l'avenir, non pendant une courte durée comme celle des temps historiques, mais pendant une période qui embrasse

une certaine étendue de la vie du système. Il nous reste à considérer les conséquences de cette dissipation de chaleur, qui fait un trait si général du monde visible, et qui devrait quelque jour avoir un terme s'il n'existait pas de procédé de restauration.

D'abord, dans notre globe, la croûte solide a perdu, à peu de chose près, toute la chaleur qu'elle pouvait dissiper dans les circonstances où elle est placée. Les rayons du Soleil et la douce protection du manteau atmosphérique suffisent pour la maintenir à la température qu'elle possède aujourd'hui. Les effets de refroidissement ne sont plus sensibles qu'à la partie intérieure du globe, où ils causent la congélation de couches nouvelles, gagnant sans cesse davantage dans la profondeur. La solidification se poursuit ainsi de haut en bas dans le noyau, jusqu'au moment où elle deviendra totale, sans affecter sensiblement la surface, dont le refroidissement est désormais accompli.

Mais d'autres changements se préparent pour la Terre. Ainsi le flot de marée agit comme un frein sur la rotation, qu'il devra sans cesse retarder. Ce flot est dirigé à la Lune, par l'attraction de laquelle il est soulevé. Le globe tourne sous lui comme dans une mouture. Mais la résistance use peu à peu le mouvement de rotation, et le temps doit venir où, comme conséquence, la Terre aura un jour de plusieurs semaines, étrangement différent du jour actuel.

Pendant que le mouvement de rotation se ralentit, celui de révolution doit s'accélérer. La résistance du milieu qui remplit les espaces célestes porte les corps qui circulent autour du Soleil à se rapprocher sans cesse



de cet astre (§ 27). En se rapprochant, leur révolution s'accélère, conformément aux lois de la gravitation. C'est là que réside sans doute la cause de l'accélération de la comète de Encke, qui, dans la dernière partie du siècle passé, revenait à son périhélie après 1213 jours et qui n'en met plus aujourd'hui que 1210 <sup>1</sup>. L'action d'un milieu si rare ne peut être que fort lente sur les globes massifs des planètes; mais elle ne doit pas moins se faire sentir à la suite des temps. D'ailleurs, il y a un fait curieux. Si l'on jette les yeux sur le tableau du § 51, où les distances des planètes au Soleil sont comparées à la loi de Bode, on remarque que les distances réelles ne diffèrent de celles de l'hypothèse que par manque. Jamais elles ne sont en excès. L'écart entre les nombres calculés et les nombres réels croît surtout lorsqu'on s'éloigne du Soleil. N'a-t-on pas quelque droit d'en conclure que les planètes circulent aujourd'hui en dedans de leurs orbites primitives? Elles se sont rapprochées du foyer autour duquel elles se meuvent, et cela d'autant plus qu'elles sont plus anciennes, c'est-à-dire qu'elles ont plus longtemps circulé.

Ce rapprochement graduel devrait finalement ramener tous les éléments du système à une seule masse centrale. Il devrait tout réunir au Soleil dans l'avenir, comme tout lui était uni autrefois. C'est la généralisation des idées de Newton que nous avons rapportées

<sup>1</sup> Il n'est pas impossible cependant que cette accélération ne soit, comme Faye l'a soutenu, une manifestation de la force répulsive que le Soleil exerce sur certaines parties des comètes.

ailleurs (§ 27). Mais il est beaucoup plus douteux qu'une pareille réunion cause, comme le pensait ce philosophe, un développement de chaleur capable de rendre au système son état primitif de vaporisation. Non-seulement il est permis de douter que le contact se fasse avec collision; mais les corps, exposés longtemps à une chaleur intense, dans des orbites de plus en plus étroites, seraient réduits en nuages avant d'arriver au contact.

C'est, en effet, de la température du Soleil que dépend celle des planètes qui l'entourent, surtout lorsque la croûte est refroidie comme celle du globe que nous habitons. L'avenir de la Terre est donc intimement lié à celui de notre astre central. Que celui-ci ait ou non les moyens de restaurer sa température, il est certain qu'il subit aujourd'hui une déperdition de calorique immense et constante. Cette vaste sphère suffit à présent à cette prodigieuse dépense, parce que les réactions chimiques se continuent dans sa masse, et que, d'ailleurs, la chaleur des parties centrales monte incessamment à la surface, pour y entretenir ces changements d'état physique qui restaurent les vapeurs métalliques à leur condition. Mais cette chaleur n'en est pas moins sujette à s'épuiser. Ces réactions chimiques amèneront des combinaisons permanentes. Et alors la température baissera par degrés.

On cherche comment la restitution de chaleur pourra s'opérer. Comment le système, après s'être épuisé, reviendra-t-il à cet état de suréchauffement et de vaporisation générale qui lui permettrait de fournir une autre carrière? Il faudrait d'abord se demander où va toute cette chaleur qui se dissipe sans cesse dans l'es-

pace. Est-ce quelque autre groupe de matière qui doit en profiter, et former un nouveau système, tandis que l'ancien serait entièrement abandonné et n'aurait qu'à se disloquer ?

Quoi qu'il en soit sur ce point, le caractère purement temporaire de tout ce que notre vue embrasse nous frappe comme une incontestable vérité. Tout ce qui éprouve des changements, disait Aristote, est sujet à dissolution. Or, tout change dans la nature; toutes les formes sont variables et transitoires. Et nous pouvons répéter avec les pythagoriciens : « Toute chose a son origine, son accroissement et sa fin <sup>1</sup>. » Dans cet univers visible, dont nous avons essayé de faire comprendre l'immensité, les nébuleuses naissent et se développent, les systèmes passent par leurs évolutions régulières, les planètes se forment et s'achèvent, la vie organique paraît à leur surface, s'étend et meurt. Ce n'est pas l'image morne et fixe de l'inertie; c'est, au contraire, un mouvement sans fin. C'est une rénovation perpétuelle et une mobilité animée. On comprend que Humboldt ait pu nommer cet univers *ein lebendiges Ganze*, un tout qui est doué de vie.

#### § 70. FIN DU SYSTÈME.

La matière passe donc sans cesse d'une forme à l'autre, qu'il s'agisse d'un objet microscopique ou bien d'un monde tout entier. Le sable s'agrége et devient pierre dans les couches du terrain, pendant qu'ailleurs

<sup>1</sup> ARISTOTE, *De cælo*, lib. I, cap. I.

la roche se réduit en débris sous l'influence de l'air et des eaux. Le chêne sort du gland, grandit, développe sa tête puissante, et tombe plus tard de vétusté. Le corps de l'animal retourne à la Terre. Mais celle-ci non plus n'est pas éternelle. Que de fois déjà sa surface a changé! Que de fois les mers ont occupé l'aride, et l'aride a remplacé les mers! Sans doute, le développement d'un globe embrasse une durée immense; mais ce globe aussi n'est qu'une forme, et une forme qui disparaîtra.

Ni le système solaire ni la Terre que nous habitons ne peuvent se soustraire à leur destinée <sup>1</sup>. Ils devront quelque jour avoir une fin. Mais imaginer que cet événement arrivera dans la durée de notre courte vie, ou même qu'il soit jamais l'effet d'un accident fortuit, c'est manquer de sens pratique et d'observation. Plus on s'élève du petit au grand dans la nature, plus les lois qui régissent les phénomènes se réduisent en nombre et s'exercent en toute liberté. Les accidents proprement dits ne frappent que les moindres détails. Les insectes périssent sous nos pieds, mais l'homme et tous les grands animaux ont déjà des existences plus stables.

<sup>1</sup> The cloudcapt towers, the gorgeous palaces,  
The solemn temples, the great globe itself,  
Yea, all that it inherits shall dissolve;  
And, like an unsubstantial pageant faded,  
Leave not a rack behind....

SHAKESPEARE, *Tempest*, act. IV, sc. 1.

Les tours au front altier, les palais somptueux,  
Nos temples imposants, notre globe avec eux  
Et tout ce qu'il contient se réduiront en poudre : —  
Mirage aérien que l'on voit se dissoudre,  
Sans laisser une ombre après lui.

Nos saisons ne sont jamais troublées dans leur cours au point de perdre leur aspect général. Plus nous montons, plus les accidents sont rares et sans portée. Plus le théâtre est grand, plus le drame, si nous osons le dire, se déroule sous la seule influence des lois générales, et suit jusqu'à la fin son cours assigné.

Les craintes puérides qui se répandent de temps à autre parmi nos populations les moins éclairées, ne prouvent que l'imperfection des connaissances et les défauts du jugement. Il y a une époque, dans le développement des sociétés, où l'homme croit son globe menacé d'une fin prochaine. Mais c'est l'époque de la demi-science, si l'on peut s'exprimer ainsi. L'esprit, plus avancé, n'a plus de ces terreurs. Quant au sauvage, il n'y est pas accessible encore. Il ne voit pas assez loin pour songer que ce théâtre, au milieu duquel il existe, soit quelque jour sujet à passer. L'idée de la permanence du monde est donc la première. Le Psalmiste, parlant du Seigneur, dit « qu'il a assis la Terre sur sa base pour qu'elle y repose à jamais <sup>1</sup> ». « Une génération s'en va, dit l'Ecclésiaste, une autre arrive; mais la Terre subsiste pour toujours <sup>2</sup> ». A peine, dans ces temps anciens, trouve-t-on l'idée d'un bouleversement de la surface, entraînant une rénovation. Le Psalmiste, en effet, dit encore : « Tu as posé les fondements de la Terre, et les cieus sont l'ouvrage de tes mains. Ils passeront, tandis que tu demeures. Oui, ils vieilliront tous comme un vêtement, et *tu les changeras comme*

<sup>1</sup> *Psalmi*, cap. CIV, v. 5.

<sup>2</sup> *Ecclesiasticus*, cap. I, v. 4.

*on change de robe, et ils subiront un renouvellement* <sup>1</sup> ».

Sans doute, la Terre doit avoir une fin. Mais ce globe qui s'est formé peu à peu, cette nature organique qui le revêt, et qui s'est si lentement et si admirablement développée, n'atteindront pas leur terme sans passer par des degrés croissants d'épuisement. On verra le déclin s'annoncer de loin, comme s'annonce la décadence des peuples. Quand ce temps viendra, chaque siècle, ou plutôt chaque période de mille ans, rendra la vie organique plus précaire et plus difficile. Mais ce sera le déclin comme conséquence régulière du développement. Les signes avant-coureurs se verront de loin. Car il n'y a pas d'événement plus grandiose et plus imposant que la fin d'un globe. Il n'y en a pas dont on puisse plus sûrement dire, suivant une image célèbre, qu'il jettera son ombre avant lui <sup>2</sup>.

### § 71. REMARQUES FINALES.

Soyons donc rassurés. La race humaine commence à peine à se civiliser. La nature organique est encore en croissance sur la Terre, puisque les végétaux fixent encore plus de carbone de l'atmosphère que les animaux n'en exhalent par la respiration. L'avenir nous appartient pour bien des siècles. Ce sera l'œuvre de nos loins-

<sup>1</sup> *Psalmi*, cap. CII, v. 25 et 26.

<sup>2</sup> For the sunset of life gives me mystical lore,  
And coming events cast their shadows before.

CAMPBELL, *Lochiel's warning*.

tains successeurs de percer plus avant dans le futur, et de mieux connaître dans quelles conditions et sous quelles lois de limitation notre espèce existe. Tout ce qu'on peut dire, c'est que non-seulement la puissance de l'humanité grandit de siècle en siècle, mais que l'esprit de l'homme s'étend, et qu'il embrasse un horizon toujours plus vaste et plus imposant.

A mesure que nous comprenons mieux le spectacle de l'univers, à mesure que le progrès des instruments élargit la sphère accessible à nos investigations, nos idées s'élèvent et grandissent avec les notions qui leur servent de base. C'est, en effet, sur les connaissances reçues par les sens que se forment les idées. Le crustacé infime qui passe son existence dans l'humeur aqueuse de l'œil d'un poisson, ne peut rien connaître en dehors du globe de cet œil. L'ouverture de la pupille, qui admet la lumière, est comme son Soleil, et la rétine, avec ses vaisseaux et ses taches, l'entoure comme une espèce de sphère étoilée. Il ignore qu'il vit dans le corps d'un autre être, et même dans un seul organe très-limité. Les mouvements du poisson sont pour lui les mouvements de l'univers. La tradition, si ces crustacés en avaient une, pourrait parler seulement du temps où l'œil était plus petit et l'humeur plus fluide. Les nouvelles générations se succéderaient, relatant les événements de cette existence renfermée et en apparence complète. Mais toutes les formes changent dans la nature, et le poisson lui-même est destiné quelque jour à périr.

Maintenant, sommes-nous autre chose que ce crustacé, placés seulement dans une enceinte un peu plus

vaste, mais dont nous ne connaissons pas mieux les intimes secrets? Savons-nous à quel ensemble, à quel organisme peut-être, cette enceinte appartient? Nos regards portent jusqu'aux autres mondes, notre pensée suit le développement non-seulement du globe que nous habitons, mais de ces milliers de systèmes qui nous entourent. De là, des notions plus larges du temps et de l'espace. Pourtant cet ensemble que nous voyons a pour bornes les limites de notre vision. Ces immenses durées dont nous avons l'idée ne nous sont révélées que par les phénomènes qui tombent sous nos sens. Tout cela ne deviendrait peut-être qu'un point dans l'étendue, qu'un point dans la durée, si nous montions d'un autre degré, autant au-dessus de notre position actuelle que nous sommes au-dessus du microscopique crustacé.

En fait de mesure, tout est donc relatif. Chaque être peut seulement comprendre que son corps est petit et que sa vie est courte. La grandeur et la durée de l'univers croissent avec l'étendue des notions que ses sens lui fournissent. Pour l'homme même, les idées que l'individu se forme de cette immensité et de cette durée, grandissent avec l'application plus soignée des sens, et leur renforcement par les télescopes. Avant d'étudier l'astronomie, l'archéologie, la géologie, avons-nous ces notions larges d'espace et de continuité qui ressortent des faits de ces sciences? Bien certainement non. Ces notions sont tout au plus très-élémentaires et très-vagues. Avant cette étude, qui a jamais envisagé sérieusement ce que sont cent mille kilomètres ou cent mille années? On a beau dire que l'esprit s'empare de tout ce qui est inconnu pour en faire un monde de mer-



veilles, *omne ignotum pro magnifico est* ; jamais la plus riche imagination n'a approché, dans ses créations, de ce que l'astronomie et la géologie nous rendent sensible. Les poètes n'ont jamais rien représenté de si grand par les dimensions ni de si majestueux par la durée. Ils n'ont jamais rempli un cadre comme celui de ces sciences. Quelque idée qu'on se forme d'avance, la réalité la surpasse toujours. Ainsi, c'est à nos sens, en définitive, que nous sommes redevables de nos conceptions. Les plus beaux rêves ne sont qu'une réminiscence, et jamais une vraie création.

Il n'y a donc rien au-dessus du spectacle de l'univers pour ceux qui en ont étudié la grandeur et la richesse ; il n'y a rien au-dessus de l'histoire des mondes pour ceux qui savent la déchiffrer. La Terre, avec sa succession de sociétés et de peuples divers, avec ses couches empilées dont chacune raconte les événements de centaines de siècles ; le Soleil, avec les merveilles de sa constitution physique et de son incandescence, le système planétaire, dans sa grandeur et son unité ; les étoiles multiples, les nébuleuses nous peignant les degrés divers du développement des corps célestes, composent pour l'homme instruit un spectacle qui n'a pas d'égal. Pour lui, ce qui le frappe, ce n'est plus seulement la magnificence de l'aspect extérieur : c'est l'enseignement contenu dans ce tableau, c'est l'appréciation de ses admirables détails. Il n'y a pas de plus noble moyen d'élever l'esprit, parce qu'il n'y a pas de source plus grandiose à laquelle puiser.

Cette étude est comme une initiation. Ce sont là nos mystères qui, différents des mystères antiques, sont

aujourd'hui à la portée de tous. L'initié de la science moderne embrasse la sphère où il est placé, telle au moins qu'en son temps on peut l'apercevoir. Dans l'avenir, à mesure que les sciences avanceront, on en verra davantage. Mais le champ est déjà si vaste qu'il nous étonne à mesure qu'il se révèle à nos études, et qu'il défie presque l'audace des plus résolus. A mesure qu'il le découvre du regard, l'homme comprend qu'il sort de l'ornière, et que le voile du temple se déchire en partie devant lui. « Qu'il vive » ensuite « un petit nombre d'années ou tout un siècle, le spectacle sera le même : il n'en verra jamais ni de plus grand ni de plus beau » <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> MÉNANDRE, cité par STOBÉE, *Sermones*, n° CVI ; éd. Grot., p. 497.



# LISTE

DES

## PRINCIPAUX ASTRONOMES CITÉS DANS CE VOLUME.

Les chiffres indiquent le siècle ; la lettre C signifie « contemporain ; » le signe — désigne les siècles *avant* l'ère vulgaire.

Airy, anglais . . . .	C	Brewster, écossais . . .	XIX
Albategnius, arabe . . .	X	Cassini (Dominique), ita-	
Alboumasar, arabe . . .	IX	lien . . . . .	XVII
Arago, français. . . .	XIX	Challis, anglais. . . .	C
Argelander, allemand . .	C	Chiron, grec. . . . .	—VIII
Beer, allemand. . . .	XIX	Clavius, italien . . . .	XVI
Benzenberg, allemand . .	XIX	Copernic, polonais. . . .	XVI
Bessel, allemand . . . .	XIX	D'Arrest, allemand . . .	C
Bode, allemand. . . .	XVIII	Dawes, anglais. . . . .	C
Bohnenberger, allemand.	XIX	Encke, allemand . . . .	XIX
Bond (W. C.), américain.	XIX	Eratosthènes, alexandrin.	—III
Bouguer, français. . . .	XVIII	Faye, français . . . . .	C
Bradley, anglais . . . .	XVIII	Foucault, français. . . .	C

220 LISTE DES PRINCIPAUX ASTRONOMES.

Frauenhofer, allemand . . .	XIX	Peiresc, français . . .	XVII
Gassendi, français . . .	XVII	Peters, allemand en Ita-	
Goldschmidt, allemand . . .	C	lie . . . . .	C
Halley, anglais . . . .	XVI	Piazzi, sicilien . . . .	XIX
Harding, allemand . . .	XIX	Pogson, anglais dans	
Herschel (John), anglais.	XIX	l'Inde . . . . .	C
Herschel (William), alle-		Ptolémée, alexandrin. .	II
mand en Angleterre.	XVIII	Pythagore, grec . . .	—VI
Higgins, anglais . . . .	C	Pythéas, grec de Mar-	
Hind, anglais . . . . .	C	seille . . . . .	—III
Hipparque, alexandrin . .	—II	Quetelet(Adolphe), belge.	C
Huygens, hollandais . . .	XVIII	Römer, danois . . . .	XVII
Janssen, français . . . .	C	Rosse, anglais . . . .	.C
Kepler, allemand . . . .	XVII	Scheiner, bavarois . .	XVII
Kirchhoff, allemand . . .	C	Schröter, allemand . .	XVIII
Lalande, français . . . .	XVIII	Secchi, italien . . . .	C
Lassell, anglais. . . . .	C	Smyth (Piazzi), anglais.	C
Le Verrier, français . . .	C	Sosigènes, alexandrin .	—I
Luther, allemand . . . .	C	Stoney, anglais. . . .	C
Mädler, allemand en Russie.	C	Struve (Fréd. Will.), alle-	
Maraldi, italien en France.	XVIII	mand en Russie. . . .	XIX
Maxwell, anglais . . . .	C	Tchéou-Koung, chinois.	—XII
Mayer (Tobie), alle-		Tycho Brahé, danois. .	XVI
mand . . . . .	XVIII	Van Langren, belge . .	XVII
Méthon, grec . . . . .	—V	Watson, américain . .	C
Nasmyth, anglais . . . .	C	Wilson, anglais . . . .	XVIII
Newton, anglais . . . .	XVII	Wollaston, anglais . .	XIX
Olbers, allemand . . . .	XIX		

## TABLES.

---

TABLE I. — CALENDRIER PERPÉTUEL.

(A) *Lettre dominicale (style grégorien).*

Chaque année a une *lettre dominicale*, qu'il s'agit d'abord de trouver. Cette lettre varie de G à A, puis la série recommence à G, et ainsi indéfiniment.

Le tableau qui suit fait connaître la lettre dominicale qui convient à une année donnée. On prend le siècle dans l'une des colonnes du milieu, puis on descend jusqu'à la ligne horizontale qui contient les dizaines et les unités. Ainsi, en 1842, la lettre dominicale est B.

Les années bissextiles sont marquées d'un astérisque, et se trouvent répétées deux fois, avec deux lettres dominicales différentes : la première sert pour les mois de janvier et de février, et la seconde pour les dix autres mois de l'année. En 1812, par exemple, les lettres dominicales sont E et D ; E convient à janvier et février, et D s'applique aux mois suivants.

Il n'y a de bissextiles séculaires que celles marquées de l'astérisque dans la colonne des siècles. Ainsi, l'année 1700 n'est pas bissextile, et elle a pour lettre dominicale C, comme on le voit dans la ligne horizontale 00. Mais l'an 2000 le sera, et ses deux lettres dominicales, B et A, se trouvent dans les lignes qui correspondent à  $1900 + 100^*$ .

ANNÉES.									SIÈCLES.				ANNÉES.									
									1600*	1700	1800	1900										
DIZAINES ET UNITÉS.									2000*	2100	2200	2300	DIZAINES ET UNITÉS.									
									2400*	2500	2600	2700										
00	06	12	17	23	28	34	40	43	A	C	E	G	51	56	62	68*	75	79	84	90	96	
01	07	13	18	24	29	35	40	46	G	B	D	F	52	57	63	68*	74	80	85	91	96	
02	08	13	19	24	30	36	41	47	F	A	C	E	52	58	64	69	75	80	86	92	97	
03	08	14	20	25	31	36	42	48	E	G	B	D	55	59	64	70	76	81	87	92	98	
04	09	15	20	26	32	37	43	48	D	F	A	C	54	60	65	71	76	82	88	93	99	
04	10	16	21	27	32	38	44	49	C	E	G	B	53	60	66	72	77	83	88	94	100	
05	11	16	22	28	33	39	44	50	B	D	F	A	56	61	67	72	78	84	89	95	100	

(B) *Calendrier.*

Connaissant la lettre dominicale, on trouvera dans le Calendrier ci-contre, et dans la colonne qui porte en tête la lettre assignée, le jour de la semaine qui répond à toute date donnée. Par exemple, s'il s'agit du grand incendie de Hambourg, arrivé le 4 mai 1842, on prendra les jours de la semaine dans la colonne intitulée B (lettre dominicale de cette année), et l'on trouvera que le 4 mai était un mercredi.

La ville de Ciudad Rodrigo fut prise d'assaut le 19 janvier 1812. Nous venons de voir que, pour cette année, la lettre dominicale qui convient aux mois de janvier et février est E. D'où l'on trouve dans le Calendrier que cet assaut eut lieu un dimanche.

MOIS ET DATES.						LETTRES DOMINICALES.							MOIS ET DATES.					
JANVIER.	FÉVRIER.	MARS.	AVRIL.	MAI.	JUIN.	A	B	C	D	E	F	G	JUILLET.	AOUT.	SEPTEMBRE.	OCTOBRE.	NOVEMBRE.	DÉCEMBRE.
						JOURS DE LA SEMAINE.												
1	»	»	30	»	»	D	S	V	J	M	M	L	2	»	»	1	»	31
2	»	»	»	1	»	L	D	S	V	J	M	M	3	»	»	2	»	»
3	»	»	»	2	»	M	L	D	S	V	J	M	4	1	»	3	»	»
4	1	1	»	3	»	M	M	L	D	S	V	J	5	2	»	4	»	»
5	2	2	»	4	1	J	M	M	L	D	S	V	6	3	»	5	2	»
6	3	3	»	5	2	V	J	M	M	L	D	S	7	4	1	6	3	1
7	4	4	1	6	3	S	D	L	M	M	L	D	8	5	2	7	4	2
8	5	5	2	7	4	S	D	L	M	M	L	D	9	6	3	8	5	3
9	6	6	3	8	5	D	L	M	M	L	D	S	10	7	4	9	6	4
10	7	7	4	9	6	M	L	D	S	V	J	M	11	8	5	10	7	5
11	8	8	5	10	7	M	M	L	D	S	V	J	12	9	6	11	8	6
12	9	9	6	11	8	J	V	J	V	J	V	S	13	10	7	12	9	7
13	10	10	7	12	9	V	J	M	M	L	D	S	14	11	8	13	10	8
14	11	11	8	13	10	S	D	L	M	M	L	D	15	12	9	14	11	9
15	12	12	9	14	11	D	S	V	J	M	M	L	16	13	10	15	12	10
16	13	13	10	15	12	L	D	S	V	J	M	M	17	14	11	16	13	11
17	14	14	11	16	13	M	M	L	D	S	V	J	18	15	12	17	14	12
18	15	15	12	17	14	M	M	L	D	S	V	J	19	16	13	18	15	13
19	16	16	13	18	15	J	V	J	V	J	V	S	20	17	14	19	16	14
20	17	17	14	19	16	V	J	M	M	L	D	S	21	18	15	20	17	15
21	18	18	15	20	17	S	D	L	M	M	L	D	22	19	16	21	18	16
22	19	19	16	21	18	D	L	M	M	L	D	S	23	20	17	22	19	17
23	20	20	17	22	19	L	M	M	L	D	S	V	24	21	18	23	20	18
24	21	21	18	23	20	M	M	L	D	S	V	J	25	22	19	24	21	19
25	22	22	19	24	21	M	M	L	D	S	V	J	26	23	20	25	22	20
26	23	23	20	25	22	J	V	J	V	J	V	S	27	24	21	26	23	21
27	24	24	21	26	23	V	J	M	M	L	D	S	28	25	22	27	24	22
28	25	25	22	27	24	S	D	L	M	M	L	D	29	26	23	28	25	23
29	26	26	23	28	25	D	L	M	M	L	D	S	30	27	24	29	26	24
30	27	27	24	29	26	L	D	S	V	J	M	M	31	28	25	30	27	25
31	28	28	25	30	27	M	L	D	S	V	J	M	»	29	26	31	28	26
»	29	29	26	31	28	M	M	L	D	S	V	J	»	30	27	»	29	27
»	»	50	27	»	29	M	M	L	D	S	V	J	»	31	28	»	30	28
»	»	51	28	»	30	J	V	J	V	J	V	S	»	»	29	»	»	29
»	»	»	29	»	»	S	V	J	M	M	L	D	1	»	30	»	»	30

(C) *Style julien.*

Nous ajoutons ci-dessous le tableau des lettres dominicales dans le vieux style ou style julien, usité avant le 15 octobre 1582, et encore employé en Russie. Les mêmes règles s'appliquent à cette recherche, et, après avoir trouvé la lettre dominicale, on connaîtra, par le Calendrier donné plus haut, le jour de la semaine à une date proposée.

ANNÉES.		SIÈCLES.							ANNÉES.															
		0	100	200	300	400	500	600																
—		700	800	900	1000	1100	1200	1300	—															
DIZAINES ET UNITÉS.		1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	DIZAINES ET UNITÉS.															
>	06	12	17	23	28	34	40	45	C	D	E	F	G	A	B	51	56	62	68	73	79	84	90	96
01	07	12	18	24	29	35	40	46	B	C	D	E	F	G	A	52	57	63	68	74	80	85	91	96
02	08	13	19	24	30	36	41	47	A	B	C	D	E	F	G	52	58	64	69	75	80	86	92	97
03	08	14	20	25	31	36	42	48	G	A	B	C	D	E	F	53	59	64	70	76	81	87	92	98
04	09	15	20	26	32	37	43	48	F	G	A	B	C	D	E	54	60	65	71	76	82	88	93	99
04	10	16	21	27	32	38	44	49	E	F	G	A	B	C	D	55	60	66	72	77	83	88	94	100
05	11	16	22	28	33	39	44	50	D	E	F	G	A	B	C	56	61	67	72	78	84	89	95	100

Toutes les années séculaires sont bissextiles.

C'est le 19 juin 1215 que le roi Jean d'Angleterre fut contraint par ses barons de signer la Grande Charte ou *Magna Charta*. En 1215, style julien, la lettre dominicale était D, et l'on trouve, dans le Calendrier plus haut, qu'avec cette lettre le 19 juin est un vendredi.

## TABLE II. — DATES ANNUELLES.

Il est commode, dans les calculs astronomiques, de compter les dates du premier au dernier jour de l'année sans interruption. Voici le tableau de ces dates annuelles, pour les années communes et pour les années bissextiles.



## TABLES.

225

(A) *Années communes.*

DATES DU MOIS.	DATES ANNUELLES.												DATES DU MOIS.
	JANVIER.	FÉVRIER.	MARS.	AVRIL.	MAI.	JUIN.	JUILLET.	AOUT.	SEPTEMBRE.	OCTOBRE.	NOVEMBRE.	DÉCEMBRE.	
1	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335	1
2	2	33	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336	2
3	3	34	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337	3
4	4	35	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338	4
5	5	36	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339	5
6	6	37	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340	6
7	7	38	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341	7
8	8	39	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342	8
9	9	40	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343	9
10	10	41	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344	10
11	11	42	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345	11
12	12	43	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346	12
13	13	44	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347	13
14	14	45	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348	14
15	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349	15
16	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350	16
17	17	48	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351	17
18	18	49	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352	18
19	19	50	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353	19
20	20	51	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354	20
21	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355	21
22	22	53	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356	22
23	23	54	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357	23
24	24	55	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358	24
25	25	56	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359	25
26	26	57	85	116	146	177	207	238	269	299	330	360	26
27	27	58	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361	27
28	28	59	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362	28
29	29		88	119	149	180	210	241	272	302	333	363	29
30	30		89	120	150	181	211	242	273	303	334	364	30
31	31		90	121	151		212	243		304		365	31

(B) *Années bissextiles.*

DATES DU MOIS.	DATES ANNUELLES.												DATES DU MOIS.
	JANVIER.	FÉVRIER.	MARS.	AVRIL.	MAI.	JUIN.	JUILLET.	AOUT.	SEPTEMBRE.	OCTOBRE.	NOVEMBRE.	DÉCEMBRE.	
1	1	32	61	92	122	153	183	214	245	275	306	356	1
2	2	33	62	93	123	154	184	215	246	276	307	357	2
3	3	34	63	94	124	155	185	216	247	277	308	358	3
4	4	35	64	95	125	156	186	217	248	278	309	359	4
5	5	36	65	96	126	157	187	218	249	279	310	360	5
6	6	37	66	97	127	158	188	219	250	280	311	361	6
7	7	38	67	98	128	159	189	220	251	281	312	362	7
8	8	39	68	99	129	160	190	221	252	282	313	363	8
9	9	40	69	100	130	161	191	222	253	283	314	364	9
10	10	41	70	101	131	162	192	223	254	284	315	365	10
11	11	42	71	102	132	163	193	224	255	285	316	366	11
12	12	43	72	103	133	164	194	225	256	286	317	367	12
13	13	44	73	104	134	165	195	226	257	287	318	368	13
14	14	45	74	105	135	166	196	227	258	288	319	369	14
15	15	46	75	106	136	167	197	228	259	289	320	370	15
16	16	47	76	107	137	168	198	229	260	290	321	371	16
17	17	48	77	108	138	169	199	250	261	291	322	372	17
18	18	49	78	109	139	170	200	251	262	292	323	373	18
19	19	50	79	110	140	171	201	252	263	293	324	374	19
20	20	51	80	111	141	172	202	253	264	294	325	375	20
21	21	52	81	112	142	173	203	254	265	295	326	376	21
22	22	53	82	113	143	174	204	255	266	296	327	377	22
23	23	54	83	114	144	175	205	256	267	297	328	378	23
24	24	55	84	115	145	176	206	257	268	298	329	379	24
25	25	56	85	116	146	177	207	258	269	299	330	380	25
26	26	57	86	117	147	178	208	259	270	300	331	381	26
27	27	58	87	118	148	179	209	260	271	301	332	382	27
28	28	59	88	119	149	180	210	261	272	302	333	383	28
29	29	60	89	120	150	181	211	262	273	303	334	384	29
30	30		90	121	151	182	212	263	274	304	335	385	30
31	31		91		152		213	264		305		386	31

TABLE III. — MOUVEMENTS DES PLANÈTES.

(A) Planètes inférieures.

DATES MOYENNES DES CONJONCTIONS.

MERCURE.		VÉNUS.	
Conjonctions inférieures.	Conjonctions supérieures.	Conjonctions inférieures.	Conjonctions supérieures.
1873 . . . . .	44 j.	1873 123 j.	
101 j.		1874 . . . . .	50 j.
. . . . .	160		342
217		1875 . . . . .	269
. . . . .	276	1876 196	
333		1877 . . . . .	122
1874 . . . . .	26	1878 49	
84		. . . . .	341
. . . . .	141	1879 268	
200		1880 . . . . .	193
. . . . .	237	1881 121	
316		1882 . . . . .	48
1875 . . . . .	8		
67			
. . . . .	124		
183			
. . . . .	240		
299			
. . . . .	356		
1876 50			
. . . . .	107		
166			
. . . . .	223		
281			
. . . . .	358		
1877 31			
. . . . .	88		

Cette Table peut servir indéfiniment, en retranchant  $2\frac{1}{2}$  j. tous les 8 ans.

## EXEMPLE POUR MERCURE.

Pour trouver la première conjonction inférieure de Mercure en 1896, on prendra 3 périodes de 4 ans après 1876, et ce nombre de périodes étant impair, on change les conjonctions supérieures de la Table en conjonctions inférieures, et *vice versa*. On retranche en même temps  $5 \times 12\frac{1}{2}$  j. qui font 62 j. Or,  $107 - 62 = 45$ , date annuelle qui répond (Table II) au 14 février. C'est la date cherchée.

Pour continuer cette Table, retranchez  $12\frac{1}{2}$  j. tous les 4 ans, et prenez les conjonctions de nom contraire.

Le nombre de jours des tableaux précédents désigne la date annuelle des phénomènes. On trouve aisément par la Table II à quel mois et à quel jour du mois cette date correspond. Ainsi, en 1874, la conjonction inférieure de Vénus arrive le 342<sup>e</sup> jour de l'année, par conséquent le 8 décembre.

## ASPECTS.

	MERCURE.	VÉNUS.	
Conjonction inférieure, disque obscur . . . . .	0 j.	0 j.	
Étoile du matin. {	Plus grand éclat du matin . . . . .	24	35
	Plus grande élongation occidentale et Premier Quartier . . . . .	22	71
Conjonction supérieure, phase pleine . . . . .	58	292	
Étoile du soir. {	Plus grande digression orientale et Dernier Quartier . . . . .	94	513
	Plus grand éclat du soir . . . . .	92	549
Conjonction inférieure, disque obscur . . . . .	416	584	

On suit, d'après ces données, les apparences de ces astres pendant leurs diverses périodes. Il suffit d'ajouter à la date de chaque conjonction inférieure le nombre de jours nécessaire pour ramener un aspect donné, et de convertir (au moyen de la Table II) les dates annuelles en dates mensuelles. Ainsi, partant par exemple de la conjonction inférieure de 1876, on a pour Vénus :

Conjonction inférieure, disque obscur, 1876 . . . . .	496 j. = 44 juillet.	
Étoile du matin. {	Plus grand éclat du matin . . . . .	$496 + 35 = 251 = 18$ août.
	Plus grande élongation occidentale et Premier Quartier . . . . .	$496 + 71 = 267 = 23$ sept.
Conjonction supérieure, phase pleine . . . . .	$496 + 292 = 438 = 366^* + 122 = 2$ mai 1877.	
Étoile du soir. {	Plus grande digression orientale et Dernier Quartier . . . . .	$496 + 513 = 709 = 366 + 345 = 9$ déc. 1877.
	Plus grand éclat du soir . . . . .	$496 + 549 = 745 = 366 + 365 + 14 = 14$ janv. 1878.
	Conjonction inférieure, disque obscur . . . . .	$496 + 584 = 780 = 366 + 365 + 49 = 18$ févr. 1878.

On calculerait d'une manière semblable les circonstances de toute autre révolution. Remarquons d'ailleurs que, dans le plus

\* Je prends 366 et non 365, parce que l'année 1876 est une bissextile.

grand éclat, il ne faut pas s'attacher trop étroitement à la date indiquée : la lumière de l'astre est encore très-vive les jours voisins de celui marqué par le maximum.

## (B) Planètes supérieures.

## DATES MOYENNES DES OPPOSITIONS.

MARS.	JUPITER.	SATURNE.
1873 143 j. A l'extrémité Ouest du Scorpion.	1873 45 j. Près de Régulus.	1873 206 j. Vers l'extrémité occidentale du Capricorne.
1875 493	74 77	1874 219
77 242	75 111	75 252
79 292	76 144	76 244
81 341	77 178	77 257
84 25	78 211	78 271
86 74	79 245	79 284
88 123	80 278	80 296
90 173	81 312	81 309
Pour chaque période de 17 ans, ajoutez 30 j.	Ajoutez tous les 8 ans 269 j.	82 322
		83 335
		84 346
		Ajoutez tous les 11 ans 441 j.

## ASPECTS.

	MARS.	JUPITER.	SATURNE.
Opposition et plus grand éclat . . . . .	0 j.	0 j.	0 j.
Station d'Occident . . . . .	35	60	68
La planète au méridien à 6 h. du soir . . . . .	106	87	88
Planète visible le soir.			
Conjonction . . . . .	390	499	489
Planète visible le matin.			
La planète au méridien à 6 h. du matin . . . . .	674	312	290
Station d'Orient . . . . .	745	339	340
Opposition et plus grand éclat . . . . .	780	399	378

## ESPACE PARCOURU AU ZODIAQUE.

Entre une opposition et une conjonction . . . . .	{ 6 $\frac{3}{4}$ constel- lations. }	{ $\frac{1}{2}$ constel- lation. }	{ $\frac{1}{4}$ constel- lation. }
Entre deux oppositions . . . . .	{ 4 circonfé- rence et 1 $\frac{1}{2}$ constella- tion. }	{ Un peu plus d'une constella- tion. }	{ $\frac{3}{2}$ constel- lation. }

Si l'on voulait conclure de ces données le cours de la planète Mars, par exemple, pendant plusieurs révolutions synodiques, on compterait les dates à partir du 143<sup>e</sup> jour de l'année 1873, qui est le 23 mai. On aurait :

Opposition de départ. . . . .	1873 443 j. = 25 mai. Mars à l'extrémité Ouest du Scorpion.
Station d'Occident . . . . .	443 + 35 = 478 = 27 juin.
Planète au méridien à 6 h. soir. . . . .	443 + 106 = 549 = 6 sept.
Conjonction . . . . .	443 + 390 = 833 = 365 + 468 = 47 juin 1874.

Mars dans le Taureau, près des Gémeaux.

(Planète visible le matin, se mouvant à travers le Cancer, le Lion, etc.)

Planète au méridien à 6 h. mat. . . . .	443 + 674 = 1117 = 2 × 365 + 87 = 28 mars 1873.
Station d'Orient . . . . .	443 + 745 = 1188 = 2 × 365 + 158 = 7 juin 1873.
Opposition . . . . .	443 + 780 = 1223 = 2 × 365 + 193 = 12 juil. 1873.

Mars au milieu du Sagittaire.

On prendrait ensuite ce 12 juillet 1875 pour nouveau point de départ, et l'on calculerait d'une manière semblable les circonstances de la révolution suivante. Les inégalités du mouvement ne produisent, par rapport à ces dates moyennes, que des différences d'un petit nombre de jours.

#### TABLE IV. — PHASES DE LA LUNE.

Les tableaux qui suivent ont pour objet de faire connaître, à une heure près, les phases de la Lune. Ils sont plus simples que tous ceux employés jusqu'ici. Nous les avons d'abord publiés dans les *Bulletins de l'Académie de Belgique*, 2<sup>e</sup> série, t. XXXIII, 1872. Soit demandé, par exemple, quand tombe la Nouvelle Lune de juin 1874, on additionne les nombres contenus dans les colonnes « Temps » et « N, » pour le siècle, l'année et le mois dont il s'agit, comme suit :

	Temps.	N
Siècle XIX <sup>e</sup> (tableau A). . . . .	5 j. 7 h.	859
Année 74 (tableau B). . . . .	7 6	600
Date, juin, année commune (tableau C). . . . .	4 5	21
Sommes . . . . .	14 16	1480
Correction pour N = 476 (tableau D). . . . .	— 9	ou 476, en ôtant 4004, suivant la règle en tête du tableau C.
Reste. . . . .	14 7	

C'est, comme l'indique le Tableau D, une Nouvelle Lune, et

cette phase arrive, comme on voit, le 14 juin 1874, à 7 heures du Matin, temps de Paris.

Pour connaître l'état de la Lune dans la nuit célèbre où Colomb aperçut les lumières mobiles qui lui annonçaient l'existence d'une terre (le soir du 11 octobre 1492, vieux style), on opérera comme ci-dessous :

	Temps.	N.
Siècle, xv <sup>e</sup> , v. st. . . . .	3 j. 14 h.	147
Année 92, marquée B (bissextile) . . . . .	3 49	486
Date d'octobre immédiatement antérieure à celle donnée [colonne des bissextils] . . . . .	6 9	58
Sommes . . . . .	42 59	671
Ou, comme 24 h. font 4 j. . . . .	43 15	
Correction pour N = 671 . . . . .	— 6	

Reste . . . . 45 9, ou le 15 octobre, à 9 h. du mat., temps de Paris.

Le nombre 671 se trouvant dans le Tableau D, à la fin d'une lunaison, dénote un Dernier Quartier. A la date citée, la Lune approchait donc de la seconde quadrature, et devait se lever par conséquent un peu avant minuit.

(A) *Le siècle.*

La première année du XVIII<sup>e</sup> siècle est 1701, et la dernière 1800 ; la première année du XIX<sup>e</sup> siècle est 1801, et la dernière 1900 ; et ainsi des autres.

Siècle, Vieux style.	Temps.	N.	Siècle, Vieux style.	Temps.	N.	Siècle, Nouv. style.	Temps.	N.
I	4j 17h	159	IX	6j 25h	385	XVI	5j 1h	75
II	6 1	87	X	3 22	510	XVII*	0 0	0
III	3 0	14	XI	0 21	457	XVIII*	5 8	952
IV	0 0	945	XII	5 5	565	XIX*	5 7	859
V	4 8	875	XIII	2 4	292	XX	1 6	786
VI	1 7	810	XIV	6 12	220	XXI*	3 14	714
VII	5 15	728	XV	3 11	147	XXII*	3 13	641
VIII	2 14	653	XVI	0 10	74	XXIII*	1 12	558
Siècle, Vieux style.	Temps.	N.	Siècle, Vieux style.	Temps.	N.	Siècle, Nouv. style.	Temps.	N.

\*La dernière année de ce siècle n'est pas bissextile.

(B) *L'année.*

LES BISSEXTILES SONT DÉSIGNÉES PAR UN B.

ANS.	TEMPS.	N	ANS.	TEMPS.	N	ANS.	TEMPS.	N	ANS.	TEMPS.	N
01	4j 3h	0	26	5j 12h	235	51	6j 19h	466	76 B	0j 18h	698
02	0 21	49	27	2 6	282	52 B	5 13	515			
03	5 0	99	28 B	6 9	332				77	3 20	748
04 B	1 19	148				53	6 17	565	78	0 14	797
			29	2 3	381	54	3 11	614	79	4 17	847
05	4 22	193	30	6 6	431	55	0 4	665	80 B	1 12	896
06	1 16	247	31	3 1	480	56 B	4 8	715			
07	5 19	297	32 B	7 3	530				81	4 15	946
08 B	2 13	346				57	0 2	762	82	1 9	995
			33	2 21	579	58	4 5	812	83	3 13	41
09	5 16	396	34	7 0	629	59	0 23	861	84 B	2 6	90
10	2 11	445	35	3 18	678	60 B	5 2	911			
11	6 14	495	36 B	0 12	727				85	5 8	140
12 B	3 8	544				61	0 21	960	86	2 3	189
			37	3 15	777	62	4 25	6	87	6 6	239
15	6 11	594	38	0 9	826	63	1 17	55	88 B	3 0	288
14	3 5	643	39	4 12	876	64 B	5 20	105			
15	7 8	693	40 B	1 6	925				89	6 3	338
16 B	4 2	742				65	1 14	154	90	2 22	387
			41	4 9	975	66	5 17	204	91	7 2	437
17	7 6	792	42	1 3	20	67	2 11	253	92 B	5 19	486
18	4 0	841	43	5 7	70	68 B	6 15	305			
19	0 18	890	44 B	2 1	119				93	6 22	536
20 B	4 21	940				69	2 8	352	94	3 16	585
			45	5 4	169	70	6 11	402	95	0 11	634
21	0 15	989	46	1 25	218	71	3 6	451	96 B	4 14	684
22	4 18	35	47	6 1	268	72 B	0 0	500			
23	1 12	84	48 B	2 19	317				97	0 8	733
24 B	5 15	134				73	3 5	550	98	4 12	783
			49	5 22	567	74	7 6	600	99	1 6	832
25	1 9	183	50	2 16	416	75	3 25	649	100*	5 8	882

\* Bissextile de quatre en quatre siècles seulement, dans le calendrier grégorien.

(C) *La date.*

Le jour commence à minuit. Les heures sont comptées de 0 à 24. Le méridien est celui de Paris.



Si la somme des nombres N donne 1004 ou plus, retranchez 1004.

TEMPS.			N	TEMPS.			N
ANNÉE		N		ANNÉE		N	
Commune.	Bissex.			Commune.	Bissex.		
Janvier . .	0j 0h	0j 0h	0	Juillet . .	5j 15h	2j 15h	23
	7 10	7 10	1		10 22	9 22	26
	14 19	14 19	2		18 7	17 7	27
	22 3	22 5	3		23 13	24 15	28
	29 13	29 15	4	Août . . .	2 0	1 0	29
Février . .	6 0	6 0	5		9 9	8 9	30
	13 10	13 10	6		16 18	15 18	31
	20 20	20 20	7		24 3	23 3	32
	28 3	28 5	8		31 11	30 11	33
Mars . . .	7 14	6 14	9	Septembre .	7 20	6 20	34
	15 0	14 0	10		15 5	14 5	35
	22 9	21 9	11		22 14	21 14	36
	29 18	28 18	12		30 0	29 0	37
Avril . . .	6 4	5 4	13	Octobre . .	7 9	6 9	38
	13 13	12 13	14		14 18	13 18	39
	20 22	19 22	15		22 3	21 3	40
	28 7	27 7	16		29 13	28 13	41
Mai . . .	5 16	4 16	17	Novembre .	5 22	4 22	42
	13 0	12 0	18		13 8	12 8	43
	19 9	18 9	19		20 17	19 17	44
	27 18	26 18	20		28 3	27 3	45
Juin . . .	4 3	3 3	21	Décembre .	5 13	4 13	46
	11 11	10 11	22		12 22	11 22	47
	18 20	17 20	23		20 8	19 8	48
	26 5	25 5	24		27 18	26 18	49

## (D) Correction.

Affectez cette correction du signe qui est du côté de l'Argument.

Les traits horizontaux, dans les colonnes de N, divisent les phases par groupes de quatre, ou Lunaisons. La première phase est Nouvelle Lune, la seconde Premier Quartier, la troisième Pleine Lune, et la quatrième, ou dernière avant le trait, Dernier Quartier.

Part. I. — N de 0 à 249 et de 502 à 751.

ARGUMENT N.					CORRECTION.					ARGUMENT N.								
0	56	112	168	224	530	586	642	698	+ 8h-	28	84	140	196	502	558	614	670	726
1	57	115	171	227	531	87	43	699	+ 6 -	29	85	41	97	05	59	15	71	27
2	58	118	174	230	52	88	44	700	- 9 +	30	86	42	98	04	60	16	72	28
3	59	121	177	233	53	89	45	01	- 3 +	31	87	43	199	05	61	17	75	29
4	60	124	180	236	54	90	46	02	+ 10 -	32	88	44	200	06	62	18	74	30
5	61	127	183	239	55	91	47	03	0	33	89	45	01	07	63	19	75	31
6	62	130	186	242	56	92	48	04	- 10 +	34	90	46	02	08	64	20	76	32
7	63	133	189	245	57	93	49	05	+ 3 -	35	91	47	03	09	65	21	77	33
8	64	136	192	248	58	94	50	06	+ 9 -	36	92	48	04	10	66	22	78	34
9	65	139	195	251	59	95	51	07	- 7 +	37	93	49	05	11	67	23	79	35
10	66	142	198	254	40	96	52	08	- 8 +	38	94	50	06	12	68	24	80	36
11	67	145	201	257	41	97	53	09	+ 9 -	39	95	51	07	13	69	25	81	37
12	68	148	204	260	42	98	54	10	+ 7 -	40	96	52	08	14	70	26	82	38
13	69	151	207	263	43	99	55	11	- 12 +	41	97	53	09	15	71	27	85	39
14	70	154	210	266	44	600	56	12	- 5 +	42	98	54	10	16	72	28	84	40
15	71	157	213	269	45	01	57	13	+ 13 -	43	99	55	11	17	73	29	85	41
16	72	160	216	272	46	02	58	14	+ 3 -	44	100	56	12	18	74	30	86	42
17	73	163	219	275	47	03	59	15	- 14 +	45	01	57	13	19	75	31	87	43
18	74	166	222	278	48	04	60	16	- 1 +	46	02	58	14	20	76	32	88	44
19	75	169	225	281	49	05	61	17	+ 15 -	47	03	59	15	21	77	33	89	45
20	76	172	228	284	50	06	62	18	- 1 +	48	04	60	16	22	78	34	90	46
21	77	175	231	287	51	07	63	19	- 14 +	49	05	61	17	23	79	35	91	47
22	78	178	234	290	52	08	64	20	+ 4 -	50	06	62	18	24	80	36	92	48
23	79	181	237	293	53	09	65	21	+ 15 -	51	07	63	19	25	81	37	95	49
24	80	184	240	296	54	10	66	22	- 5 +	52	08	64	20	26	82	38	94	50
25	81	187	243	299	55	11	67	23	- 11 +	53	09	65	21	27	83	39	95	51
26	82	190	246	302	56	12	68	24	+ 7 -	54	10	66	22	28	84	40	96	
27	83	193	249	305	57	13	69	25	+ 9 -	55	11	67	23	29	85	41	97	

Part. II. — N de 250 à 501 et de 752 à 1003.

ARGUMENT N.									CORRECTION.	ARGUMENT N.								
250	306	362	418	474	780	836	892	948	+ 8h-	278	354	590	446	752	808	864	920	976
51	07	63	19	75	81	37	95	49	+ 8 -	79	35	91	47	55	09	65	21	77
52	08	64	20	76	82	38	94	50	- 9 +	80	36	92	48	54	10	66	22	78
53	09	65	21	77	83	39	93	51	- 5 -	81	37	93	49	55	11	67	23	79
54	10	66	22	78	84	40	96	52	+ 10 -	82	38	94	50	56	12	68	24	80
55	11	67	23	79	85	41	97	53	+ 2 -	83	39	95	51	57	13	69	25	81
56	12	68	24	80	86	42	98	54	- 10 +	84	40	96	52	58	14	70	26	82
57	13	69	25	81	87	43	899	55	+ 2 -	85	41	97	53	59	15	71	27	83
58	14	70	26	82	88	44	900	56	+ 9 -	86	42	98	54	60	16	72	28	84
59	15	71	27	83	89	45	01	57	- 5 +	87	43	399	55	61	17	73	29	85
60	16	72	28	84	90	46	02	58	- 9 +	88	44	400	56	62	18	74	30	86
61	17	73	29	85	91	47	03	59	+ 8 -	89	45	01	57	63	19	75	31	87
62	18	74	30	86	92	48	04	60	+ 7 -	90	46	02	58	64	20	76	32	88
63	19	75	31	87	93	49	05	61	- 10 +	91	47	05	59	65	21	77	33	89
64	20	76	32	88	94	50	06	62	- 6 +	92	48	04	60	66	22	78	34	90
65	21	77	33	89	95	51	07	63	+ 12 -	93	49	05	61	67	23	79	35	91
66	22	78	34	90	96	52	08	64	+ 4 -	94	50	06	62	68	24	80	36	92
67	23	79	35	91	97	53	09	65	- 14 +	95	51	07	63	69	25	81	37	93
68	24	80	36	92	98	54	10	66	- 2 +	96	52	08	64	70	26	82	38	94
69	25	81	37	93	799	55	11	67	+ 15 -	97	53	09	65	71	27	83	39	95
70	26	82	38	94	800	56	12	68	0	98	54	10	66	72	28	84	40	96
71	27	83	39	95	01	57	13	69	- 15 +	299	55	11	67	73	29	85	41	97
72	28	84	40	96	02	58	14	70	+ 5 -	300	56	12	68	74	30	86	42	98
75	29	85	41	97	05	59	15	71	+ 14 -	01	57	13	69	75	31	87	43	99
74	30	86	42	98	04	60	16	72	- 4 +	02	58	14	70	76	32	88	44	1000
75	31	87	43	499	05	61	17	73	- 12 +	03	59	15	71	77	33	89	45	1001
76	32	88	44	500	06	62	18	74	+ 6 -	04	60	16	72	78	34	90	46	1002
277	353	389	445	501	807	863	919	975	+ 10 -	305	361	417	473	779	835	891	947	1005

Nous ajoutons ici l'heure à laquelle la Lune est au méridien, aux différentes époques de la Lunaison.

JOUR DE LA LUNE.	LUNE AU MÉRIDIEN.	INTERVALLE, DANS NOS CLIMATS, ENTRE LE PASSAGE DE LA LUNE AU MÉRIDIEN ET SON LEVER OU SON COUCHER.							
		PRINTEMPS.	ÉTÉ.	AUTOMNE.	HIVER.				
1 N. L.	0h Soir = Midi.	Lune invisible.							
2	1								
3	1 $\frac{3}{4}$								
4	2 $\frac{3}{4}$					6 $\frac{3}{4}$ h.	7 $\frac{1}{4}$ h.	3h	4 $\frac{3}{4}$ h.
5	3 $\frac{1}{2}$					7	7	4 $\frac{3}{4}$	5
6	4 $\frac{1}{2}$	7 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{3}{4}$	4 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$				
7	5 $\frac{1}{4}$	7 $\frac{3}{4}$	6 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{4}$	5 $\frac{3}{4}$				
8 P. Q.	6	8	6	4	6				
9	6 $\frac{3}{4}$	7 $\frac{3}{4}$	5 $\frac{3}{4}$	4 $\frac{1}{4}$	6 $\frac{1}{4}$				
10	7 $\frac{1}{2}$	7 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$				
11	8 $\frac{1}{2}$	7 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	4	7				
12	9 $\frac{1}{4}$	6 $\frac{3}{4}$	5	5	7 $\frac{1}{4}$				
13	10 $\frac{1}{4}$	6 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{3}{4}$	5 $\frac{1}{2}$	7 $\frac{1}{2}$				
14	11	6 $\frac{1}{4}$	4 $\frac{1}{4}$	5 $\frac{1}{2}$	7 $\frac{3}{4}$				
15 P. L.	0 Mat. = Min.	6	4	6	8				
16	1	5 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{4}$	6 $\frac{1}{4}$	7 $\frac{3}{4}$				
17	1 $\frac{3}{4}$	5 $\frac{1}{4}$	4 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{3}{4}$	7 $\frac{1}{2}$				
18	2 $\frac{1}{4}$	5	4 $\frac{3}{4}$	7	7 $\frac{1}{4}$				
19	3 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{3}{4}$	5	7 $\frac{1}{2}$	7				
20	4 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{4}$	7 $\frac{1}{4}$	6 $\frac{3}{4}$				
21	5 $\frac{1}{4}$	4 $\frac{1}{4}$	5 $\frac{1}{2}$	7 $\frac{3}{4}$	6 $\frac{1}{2}$				
22 D. Q.	6	4	6	8	6				
23	6 $\frac{3}{4}$	4 $\frac{3}{4}$	6 $\frac{1}{4}$	7 $\frac{3}{4}$	5 $\frac{3}{4}$				
24	7 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{3}{4}$	7 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$				
25	8 $\frac{1}{4}$	4 $\frac{1}{4}$	6 $\frac{1}{2}$	7 $\frac{1}{4}$	5 $\frac{1}{4}$				
26	9	5	7	7	5				
27	9 $\frac{3}{4}$	5 $\frac{3}{4}$	7 $\frac{1}{4}$	6 $\frac{3}{4}$	4 $\frac{3}{4}$				
28	10 $\frac{1}{2}$	Lune invisible.							
29	11 $\frac{1}{4}$								
30 N. L.	12 = Midi.								

On trouve, par exemple, en cherchant l'état de la Lune lors de la bataille de Waterloo (18 juin 1815), que la Pleine Lune tombait le 21 juin à 7<sup>h</sup> du soir. Donc, le 18 juin était 3 jours plus tôt, ou le 12<sup>e</sup> jour de la Lune. L'astre passait au méridien vers 9  $\frac{1}{4}$  h. du Soir ; et comme il se levait 5 heures plus tôt (on était en été), il était sur l'horizon depuis 4  $\frac{1}{4}$  h. du Soir environ. C'est-à-dire que la Lune était levée, le soir de la bataille de Waterloo, dès avant le coucher du Soleil.

Les Tables qui précèdent ne prétendent donner les mouvements de la Lune qu'à une heure près. Il faut donc, en les employant, se borner aux nombres ronds. Comme elles s'appliquent à tous les temps, elles ne sont pas cependant sans utilité. Elles fournissent aux personnes qui s'occupent de recherches historiques un moyen simple de vérifier les conditions astronomiques durant une longue suite de siècles. Reconstruire les éphémérides exactes de ces temps écoulés exige tant de travail et le recours à des ouvrages si peu répandus, que, dans les conditions ordinaires, on voudrait à peine y songer.



## EXPLICATION ET USAGE DES CARTES.

---

Les quatre Cartes Célestes, dont l'usage sera expliqué un peu plus loin, représentent quatre positions différentes de la sphère étoilée, sous le parallèle du centre de la Belgique. Elles ont été préparées spécialement pour cet ouvrage : c'est la première fois, croyons-nous, que, dans un livre élémentaire, on figure le ciel par rapport à l'horizon, c'est-à-dire sous l'apparence qu'il présente à l'observateur.

Les quatre positions dans lesquelles nous avons représenté la sphère étoilée correspondent à des intervalles de 6 heures. On suppose la carte placée, comme le ciel, au-dessus de la tête de l'observateur, les points cardinaux correspondant à ceux qui sont marqués au bord du cadre.

On choisira d'abord, d'après le tableau placé ci-après, page 240, le numéro qui convient le mieux pour la date et l'heure. Par exemple : le 5 juin, à 9 heures du Soir, on fera usage de la Carte n° 1, qui convient exactement pour le 1<sup>er</sup> juin, à 9 heures du Soir, et qui, par conséquent, se rapproche le plus quant à la date et à l'heure. Si l'on se tourne d'abord vers le Sud, on placera la Carte devant soi, avec le mot **SUD** au bas, et l'on aura en face la Balance, et plus haut Arcturus et le Bouvier ; à gauche, près de l'horizon, Antarès et le Scorpion ; à droite, l'Hydre et au-dessus la Vierge. Si l'on regarde ensuite à l'Ouest, on tournera la Carte de manière que le mot **OUEST** soit au bas : on apercevra devant soi le Lion. En se tournant ensuite au Nord, il conviendra de tenir la Carte renversée, de façon à faire tomber le mot **NORD** par en bas : Persée sera près de l'horizon, Cassiopée un peu plus haut à droite, la Chèvre et les Chevreaux vers la gauche, la Petite Ourse élevée au-dessus de la Polaire et

l'extrémité de la queue de la Grande Ourse presque au-dessus de la tête de l'observateur. Enfin, en regardant à l'Est, on tournera la Carte de manière à placer le mot EST en bas : on aura devant soi l'Aigle avec Altair, et un peu plus haut la Lyre avec Wéga. C'est dans cette situation qu'on verra le mieux la Voie Lactée, traversant le ciel de gauche à droite sans atteindre une très-grande élévation.

En général, quel que soit le côté de l'horizon vers lequel vous observez, tenez la Carte devant vous, et tournez-la de telle façon que le nom de la partie de l'horizon que vous regardez soit placé en bas. Si vous regardez au Sud Ouest, par exemple, tournez la Carte jusqu'à ce que vous ayez en bas la partie comprise entre les mots Sud et Ouest.

La différence des dates, par rapport à celles du tableau placé à la page 240, ne produira jamais de changements considérables. En effet, ce tableau donne les dates de 15 en 15 jours, et, dans l'intervalle correspondant, le ciel ne change pas d'une manière importante, à la même heure de la nuit. Il suffira donc toujours de prendre la date la plus voisine de celle où l'on se trouve. Mais, pour les heures, le changement est plus considérable. En deux heures, par exemple, il est assez sensible. Si l'heure était notablement différente, s'il s'agissait, je suppose, du 15 décembre à minuit, voici ce qu'il faudrait faire. La Carte n° 3 présente, d'après le tableau, l'état du ciel à cette date, à 9 heures du Soir ; la Carte n° 4 représente la situation des étoiles à la même date, à 3 heures du Matin. Minuit étant l'instant intermédiaire, il est évident que le ciel présentera, à cette heure de la nuit, une position moyenne entre celles de nos Cartes n° 3 et n° 4. On aura donc perdu de vue, le 15 décembre à minuit, une partie des constellations qui, sur la Carte n° 3, sont voisines du mot OUEST, et l'on ne verra pas encore toutes celles qui, sur la Carte n° 4, sont voisines du mot EST, et, par conséquent, en train de se lever. Il sera facile de se représenter de cette manière l'état du ciel, aux heures comprises entre celles auxquelles les Cartes sont plus spécialement destinées.

Remarquons, en terminant, qu'il est impossible de représenter parfaitement une sphère sur une surface plane. Les figures sont

donc légèrement altérées. Il est impossible, par exemple, de conserver exactement leurs proportions relatives. Les bords d'un planisphère sont toujours dilatés. De là résultent les différences dans les apparences des constellations sur les quatre Cartes ci-jointes, suivant la place qu'elles occupent dans la projection.

Les signes employés pour désigner les grandeurs des étoiles sont indiqués sur chacune des Cartes, de manière à rendre les recherches plus promptes.

Les Cartes représentent l'état du ciel étoilé, sous le parallèle de Bruxelles, aux époques suivantes :

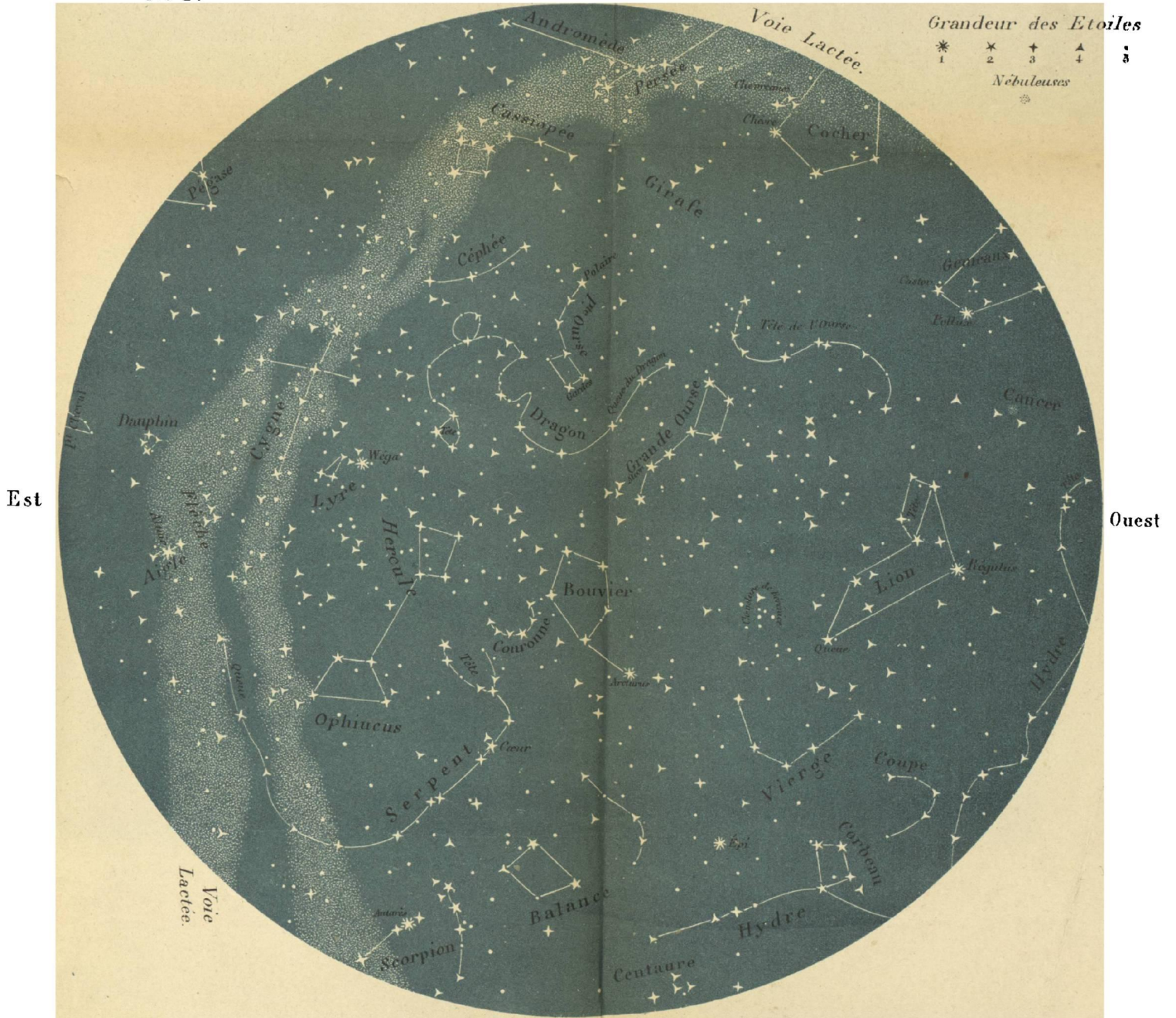
<b>N° 1.</b>		<b>N° 3.</b>	
15 janvier	à 7 h. Matin.	15 août	à 5 h. Matin.
1 février	» 6 »	1 septembre	» 4 »
15 février	» 5 »	15 septembre	» 3 »
1 mars	» 4 »	1 octobre	» 2 »
15 mars	» 3 »	15 octobre	» 1 »
1 avril	» 2 »	1 novembre	» Minuit.
15 avril	» 1 »	15 novembre	» 11 h. Soir.
1 mai	» Minuit.	1 décembre	» 10 »
15 mai	» 11 h. Soir.	15 décembre	» 9 »
1 juin	» 10 »	1 janvier	» 8 »
15 juin	» 9 »	15 janvier	» 7 »
1 juillet	» 8 »	1 février	» 6 »
<b>N° 2.</b>		<b>N° 4.</b>	
15 mai	à 5 h. Matin.	1 novembre	à 6 h. Matin.
1 juin	» 4 »	15 novembre	» 5 »
15 juin	» 3 »	1 décembre	» 4 »
1 juillet	» 2 »	15 décembre	» 3 »
15 juillet	» 1 »	1 janvier	» 2 »
1 août	» Minuit.	15 janvier	» 1 »
15 août	» 11 h. Soir.	1 février	» Minuit.
1 septembre	» 10 »	15 février	» 11 h. Soir.
15 septembre	» 9 »	1 mars	» 10 »
1 octobre	» 8 »	15 mars	» 9 »
15 octobre	» 7 »	1 avril	» 8 »
1 novembre	» 6 »	15 avril	» 7 »

**FIN.**



N° 1.

Nord



Sud.



