

NOTRE
UNIVERS
MERVEILLEUX





Bibliothèque Nationale du Québec

NOTRE UNIVERS MERVEILLEUX



LE GRAND AMAS GLOBULAIRE, DANS LA CONSTELLATION D'HERCULE.

On a effectivement compté dans cet amas au delà de 50 000 soleils distincts. Ils semblent collés les uns sur les autres, mais en réalité la distance qui sépare une étoile de sa voisine est de l'ordre de 1 million de millions de milles. Cette photographie a été prise avec le télescope de 60 pouces de l'observatoire du Mont Wilson. La pose a été de onze heures, réparties sur trois nuits.

Photo: Ritchey, à l'observatoire du Mont Wilson.

NOTRE UNIVERS MERVEILLEUX

INITIATION À L'ÉTUDE DU CIEL

PAR

CLARENCE AUGUSTUS CHANT

M.A., PH.D., LL.D., F.R.A.S., F.R.S.C.

PROFESSEUR ÉMÉRITE D'ASTROPHYSIQUE À
L'UNIVERSITÉ DE TORONTO ET ANCIEN
DIRECTEUR DE L'OBSERVATOIRE DAVID DUNLAP

*ÉDITION REVISÉE
ET AUGMENTÉE*

Traduit de l'anglais par

PAUL-H. NADEAU

Publié par

LA SOCIÉTÉ ROYALE D'ASTRONOMIE DU CANADA

Centre de Québec

1952

P. GUILMETTE

Droits réservés, 1951

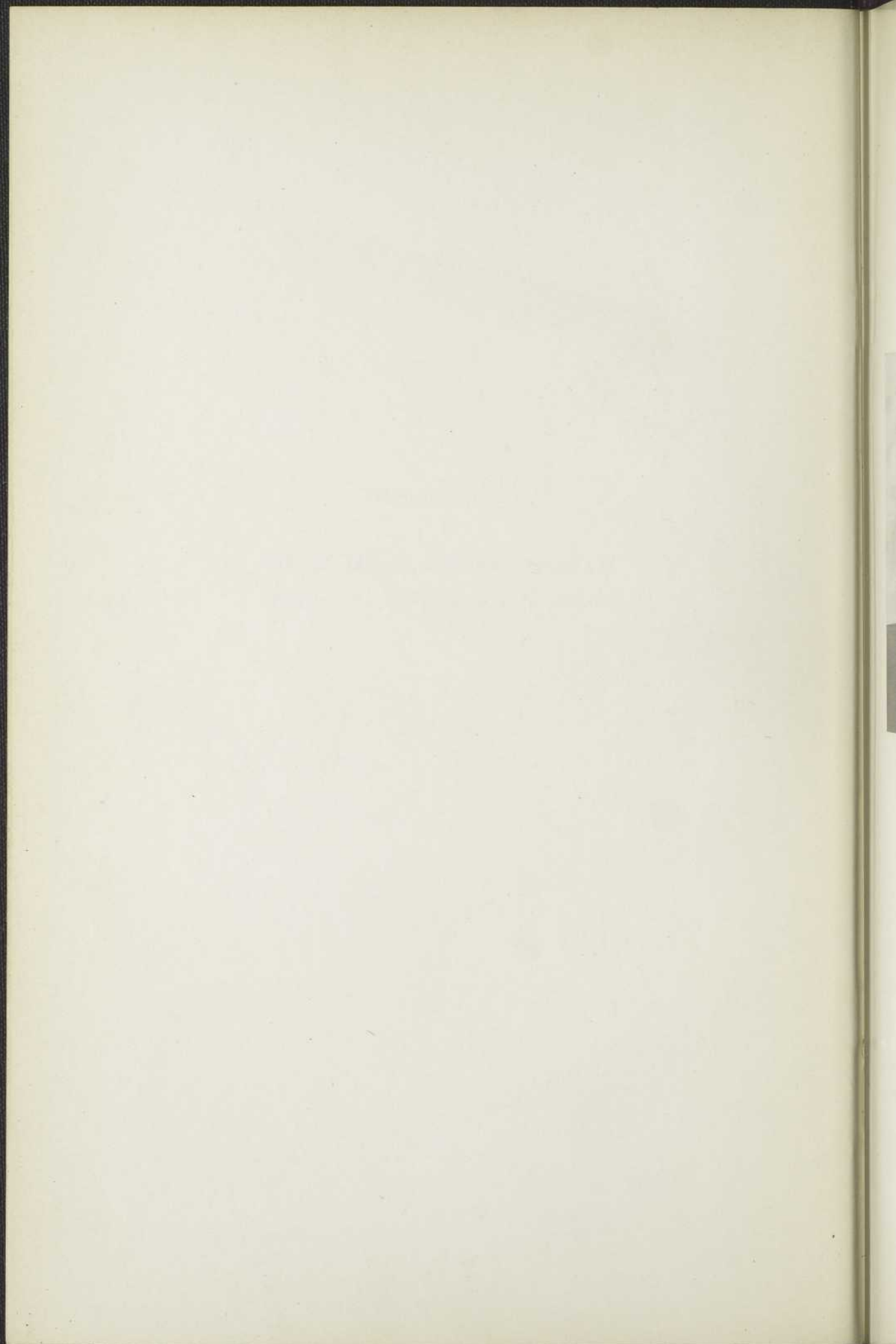
QB
44
C43
F
1952

Ce livre est dédié

à

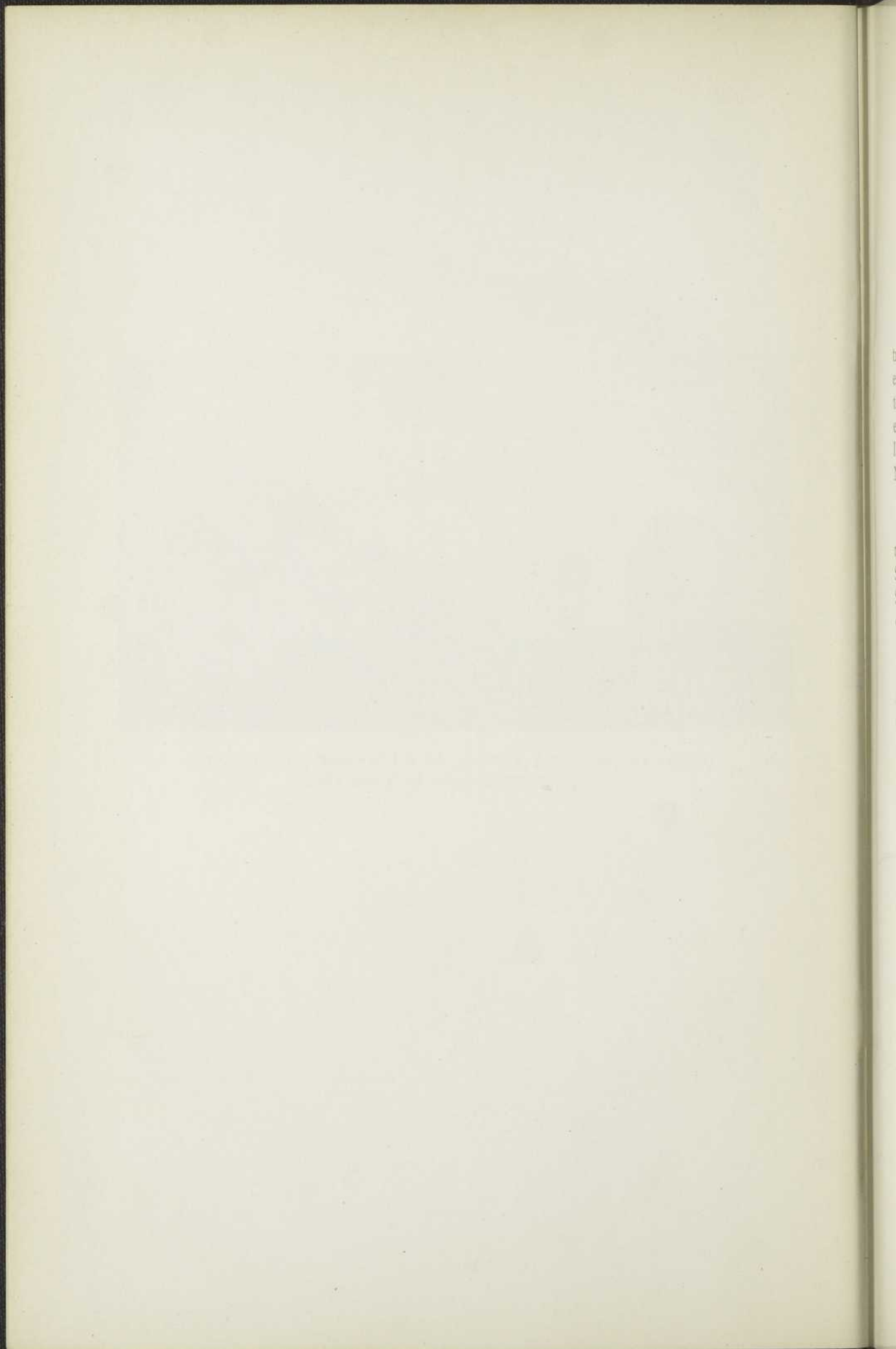
MADAME DAVID A. DUNLAP

MÉCÈNE DE L'ASTRONOMIE AU CANADA





L'OBSERVATOIRE DAVID DUNLAP DE L'UNIVERSITÉ DE TORONTO.
Inauguré officiellement le 31 mai 1935.



PRÉFACE

de

L'ÉDITION FRANÇAISE

Le volume que nous avons l'honneur de présenter, aujourd'hui, est une traduction de *Our Wonderful Universe*, dont l'auteur, le D^r C. A. Chant, est un compatriote de Toronto. Cet ouvrage de vulgarisation du meilleur ton a déjà obtenu la faveur qu'il méritait. Après de multiples réimpressions en anglais, il a été traduit en cinq langues étrangères. Nous souhaitons à l'édition française, dans la version très soignée qu'en a faite monsieur Paul-H. Nadeau, un succès tout aussi remarquable.

Le plaisir de préfacer ce volume est double pour nous, puisque le Gouvernement de la Province de Québec, ou plus exactement le département du Secrétaire, est un peu considéré comme le Mécène du *Centre de Québec* de la Société Royale d'Astronomie du Canada, qui est responsable de cette édition et en même temps son propre commanditaire.

On dit qu'«un pays a les savants qu'il mérite». Aussi, l'État provincial a-t-il compris qu'il se devait d'appuyer le jeune mouvement astronomique qui s'est développé ici, il y a quelque dix ans, et qui commence à produire des œuvres comme celle dont nous soulignons la mise à jour en ce moment. Il reste maintenant au grand public à faire sa part. Et quel moyen est plus agréable et plus pratique que de lire et de propager ce volume, si bien à la portée de tous les amis de la science!

Puisque *Notre Univers Merveilleux* s'adresse surtout aux jeunes, voici le message que nous leur destinons. Chacun de vous a le devoir de cultiver l'Astronomie, parce qu'elle contribue à la formation générale. Mais elle aura aussi besoin de spécialistes qu'elle trouvera parmi vous. Quelques privilégiés parmi les jeunes d'aujourd'hui devront donc sacrifier des situations, par ailleurs lucratives, pour se consacrer à cette science élevée et difficile. Telle sera votre tâche dans l'avenir. Quand ce point sera réalisé, vous trouverez toujours les Gouvernants disposés à vous aider sans réserve.

À la société d'astronomie, nos félicitations et nos meilleurs souhaits d'un avenir fructueux.

OMER CÔTÉ, C.R.,
Secrétaire de la Province.

Québec, le 1er février 1952.

PRÉFACE



Un petit livre n'est rien d'autre qu'une introduction à l'étude du ciel, que l'auteur a voulu faire attrayante et simple à la fois.

Présenté sous forme de causerie, il est abondamment pourvu de figures, des reproductions de photographies originales pour la plupart. C'est le vœu de l'auteur que les jeunes, en parcourant le texte et en scrutant les illustrations, parviennent à une connaissance plus profonde des corps célestes.

L'observation sert ici d'entrée en matière. Amené en plein air, le lecteur fixe son attention sur les divers phénomènes qui se passent sur la voûte céleste, toute déployée autour de lui.

À partir de ces phénomènes, dont il est témoin, et par l'application d'une méthode simple et logique de raisonnement, l'observateur est conduit à admettre la véritable signification de ce qu'il voit et à comprendre les raisons pour lesquelles les astronomes croient à la rotation de la Terre sur son axe et à sa translation simultanée autour du Soleil. Il voit combien il est facile de tomber dans l'erreur et comprend pourquoi il lui faut toujours mettre en œuvre ses facultés de raisonnement, s'il veut faire un choix judicieux entre des théories de valeurs différentes.

Dans le Livre I, sont exposées les idées fondamentales sur la structure générale de l'univers. Un effort soutenu de l'esprit est certes nécessaire pour suivre ces développements. L'auteur estime toutefois qu'il en vaut la peine et surtout qu'il est à peu près essentiel à la bonne compréhension d'un univers aussi grandiose que le nôtre. Au reste, tout ceci est bien à la portée des élèves les plus âgés du cours primaire, à plus forte raison de ceux dont le développement intellectuel est plus avancé.

Les Livres II et III traitent assez longuement de la Terre, du Soleil, de la Lune, des planètes, des étoiles et des autres corps célestes. Chaque section des chapitres peut être lue séparément; les détails intéressants n'y manquent pas.

Les différents sujets traités sont disposés dans un ordre logique, de sorte que l'ensemble forme un tout assez complet. Cependant, l'auteur avoue que cet ouvrage n'est pas destiné à servir de manuel pour un cours d'astronomie. Le but principal qu'il s'est fixé était de présenter une image claire et vivante de l'univers, le lecteur pouvant ainsi voir effectivement — avec les yeux de l'esprit — la famille des planètes tournant autour du Soleil et les myriades de corps célestes, ces autres

soleils, qui peuplent les profondeurs de l'espace. L'auteur a voulu encore susciter l'admiration des jeunes, éveiller leur imagination, leur donner une idée de la majesté, du mystère et du sublime de tout ce qui les entoure. Car ceux qui ne connaissent rien des secrets de la nature ou du monde céleste sont privés de bien des joies intellectuelles et morales.

Au fronton des anciens temples égyptiens, on représentait souvent un soleil orné de deux ailes. C'était un hommage au bienfaisant régulateur du jour, en même temps qu'une invitation à ceux qui franchissaient le seuil du temple, à laisser leur esprit s'éclairer pour mieux comprendre les mystères de la vie présente et future.

Humblement, l'auteur formule le vœu que tous ceux qui chercheront à entrer dans le temple de l'Astronomie par la voie des chapitres qui suivent, puissent voir la lumière et développer en eux les sentiments de respect dus à l'œuvre sublime du grand Régulateur de l'Univers.

C. A. C.

NOTE POUR L'ÉDITION REVISÉE

Dans cette nouvelle édition, le Livre II a été augmenté afin de rendre compte des dernières découvertes et investigations dont a été l'objet le système solaire.

Le Livre III, qui traite des étoiles, a été refait en entier et considérablement augmenté, dans le but de donner une idée exacte de l'univers, tel qu'il nous est révélé par les grands télescopes de l'heure présente.

C. A. C.

Mai 1940.

REMARQUES SUR L'ÉDITION FRANÇAISE

Nous avons été grandement honorés par le D^r C. A. Chant, lorsqu'il nous a confié la traduction de son ouvrage déjà célèbre, mais il s'est acquis un autre titre à notre gratitude en faisant la remise totale de ses droits d'auteur au *Centre de Québec* de la Société Royale d'Astronomie du Canada.

La société locale assume les frais de l'édition, mais, par décision de son Bureau, tous les bénéfices seront versés au *Fonds du futur Observatoire* de Québec. Le D^r Chant, qui est un peu le père de notre Centre, aura donc contribué personnellement à la réalisation de cette œuvre qui nous est chère. Ces heureuses circonstances ne feront que resserrer les liens étroits qui unissent les amis de la science au Canada.

Il nous reste à exprimer nos vifs remerciements aux nombreux amis de la cause, qui ont apporté leur concours bénévole à l'édition de ce volume, soit comme traducteurs, soit comme dessinateurs ou copistes. Ajoutons encore un témoignage de reconnaissance à l'adresse de nos souscripteurs et à tous ceux de nos membres qui nous ont avancé des fonds et qui ont contribué ainsi à alléger nos soucis financiers.

PAUL-H. NADEAU,
*Secrétaire du Centre de Québec de la
Société Royale d'Astronomie du Canada.*

Québec, le 12 décembre 1951.

TABLE DES MATIÈRES

LIVRE I

LA SPHÈRE CÉLESTE ET SES MOUVEMENTS

CHAPITRE I

LA SPHÈRE CÉLESTE

	PAGE
La sphère formée par les cieux—Mouvement diurne du Soleil—Mouvement diurne de la Lune—Mouvement diurne des étoiles—Photographies de jour et de nuit—Photographies des étoiles—Toutes les étoiles décrivent des cercles—Le ciel est-il réellement en mouvement?—L'expérience de la caméra et du projecteur—Le compas gyroscopique prouve la rotation de la Terre—La cause du jour et de la nuit	21

CHAPITRE II

MOUVEMENT DU SOLEIL ET DE LA LUNE DANS LE CIEL

Marche de la Lune parmi les étoiles—Mouvement du Soleil sur la voûte céleste—Marche du Soleil (l'écliptique)—Le Zodiaque—Le mouvement du Soleil est apparent, non pas réel—Les étoiles changent avec les saisons—Un coup d'œil sur l'Univers	36
--	----

LIVRE II

LE SOLEIL ET SON SYSTÈME

CHAPITRE III

LE SYSTÈME PLANÉTAIRE—LA TERRE

Un coup d'œil sur le système planétaire—La Terre—L'Étoile Polaire monte à mesure qu'on avance vers le nord	50
--	----

CHAPITRE IV

LE SOLEIL ET LA LUNE

Le Soleil, sa distance à la Terre—Les dimensions du Soleil—Taches solaires et facules—Le Soleil tourne sur un axe—La masse du Soleil—Taches solaires, aurores boréales et tempêtes magnétiques—Photosphère, chromosphère, protubérances—La couronne solaire—Culte des Anciens pour le Soleil—De quoi est fait le Soleil?—La Lune, sa distance et sa grosseur—Les phases de la Lune—La Lune et la température—La Lune vue à l'œil nu—Photographies de la Lune—La Lune nous montre-t-elle toujours la même face?—Le culte de la Lune—La Lune est un globe mort . . .	60
--	----

CHAPITRE V

MERCURE ET VÉNUS

	PAGE
Mercury—Venus—Étoile du Matin et Étoile du Soir—Venus vue en plein jour	87

CHAPITRE VI

MARS

La distance et la grosseur de la planète—L'orbite de la Terre et celle de Mars—L'aspect de Mars au télescope—Les canaux de Mars—L'atmosphère de Mars—Mars est-il habitable?—Les lunes de Mars	94
---	----

CHAPITRE VII

JUPITER—SATURNE—URANUS—NEPTUNE—PLUTON

Jupiter—Jupiter vu au télescope—La masse de Jupiter—Mouvement des satellites de Jupiter—Photographies de Jupiter—Saturne—Les anneaux de Saturne—Phases des anneaux—Uranus—Les deux types d'instruments—Comment fut découvert Uranus—Uranus et la Terre—Neptune—Découvert par les mathématiciens—Découverte du premier satellite de Neptune—Pluton	107
---	-----

CHAPITRE VIII

ASTÉROÏDES—L'HYPOTHÈSE NÉBULAIRE—
COMÈTES—ÉTOILES FILANTES

Les astéroïdes ou planétoïdes—Une famille de quinze cents membres—L'histoire du système solaire—Origine du système solaire—Comètes et météores—Aspect étrange des comètes—La comète de Halley—Nature des comètes—Les étoiles filantes—Un grand bolide	124
---	-----

LIVRE III

LES ÉTOILES

CHAPITRE IX

LES ÉTOILES ET LES SAISONS

Les étoiles du pôle boréal—La Grande et la Petite Ourse—Cassiopee et son entourage—La région équatoriale, les étoiles de l'hiver—Le Grand Chien, le Taureau et les Gémeaux—Les étoiles du printemps—Les étoiles de l'été—Les étoiles de l'automne	137
---	-----

CHAPITRE X

LA MULTITUDE DES ÉTOILES—LA VOIE LACTÉE

Le nombre des étoiles—Étoiles visibles à l'œil nu et dans un télescope— La Voie Lactée—Nuages stellaires dans le Sagittaire et l'Aigle—La Croix du Sud	PAGE 150
--	-------------

CHAPITRE XI

MAGNITUDES DES ÉTOILES—MESURE DES
DISTANCES STELLAIRES

I. Magnitudes des étoiles, signification du mot magnitude—Les magni- tudes 1 et 6—Les magnitudes 2, 3, 4 et 5—Intervalles d'éclats égaux— Magnitudes supérieures à 1 et inférieures à 6—La photographie et les étoiles faibles—II. Mesure des distances stellaires; distance d'un objet inaccessible—Une immense ligne de base—Des angles très faibles—Signi- fication de la parallaxe d'une étoile—Parsec et année-lumière—Parallaxes spectroscopiques—Les «Ailes de l'Aurore»—Un fil d'araignée jusqu'à une étoile	159
---	-----

CHAPITRE XII

CONSTITUTION PHYSIQUE DES ÉTOILES—MOUVEMENT
PROPRE DES ÉTOILES

I. Constitution physique des étoiles: le spectre solaire—Couleurs et longueurs d'onde de la lumière—Pourquoi ces raies sombres?—Spectro- scope et spectrogramme—Le spectrographe astronomique—Trois sortes de spectres—Le spectre du Soleil et celui d'une étoile—Résultats des mesures de vitesses radiales—La rotation du Soleil—Les spectres des étoiles—II. Mouvements propres des étoiles: les étoiles fixes—Mouve- ment propre et vitesse radiale—Mesures sur les clichés	171
---	-----

CHAPITRE XIII

LES ÉTOILES VARIABLES

Les étoiles changent-elles?—Observations anciennes—Les cent der- nières années—Espèces d'étoiles variables—Les céphéides typiques—Les céphéides du type d'amas—Nouvel étalon de mesure—Pulsations des étoiles—Variables à longue période—Variables irrégulières—Les novæ ou étoiles temporaires—Les variables à éclipses	185
--	-----

CHAPITRE XIV

LES ÉTOILES DOUBLES

Découverte des étoiles doubles—Couples optiques et étoiles binaires— Binaires spectroscopiques—Une double-double—La découverte des étoiles doubles—Photographie d'étoiles doubles—Sirius et Procyon— L'Astronomie de l'invisible—Que nous apprennent les binaires?	196
---	-----

CHAPITRE XV

NOTRE SYSTÈME STELLAIRE—AMAS D'ÉTOILES

PAGE

Définition de notre système stellaire—La structure de la Voie Lactée—Amas d'étoiles—Les amas ouverts—Combien d'étoiles renferment les Pléiades?—Les Hyades, Præsepe et autres amas—Amas globulaires—Quelle est leur distance?—Combien y a-t-il d'étoiles dans un amas?—Les amas globulaires font-ils partie de notre système stellaire? . . . 207

CHAPITRE XVI

NOTRE SYSTÈME STELLAIRE—NÉBULEUSES GALACTIQUES
(a) DIFFUSES, (b) PLANÉTAIRES, (c) OBSCURES

Les nébuleuses galactiques—Nébuleuses et amas d'étoiles—Liste des nébuleuses et des amas d'étoiles—(a) Les nébuleuses diffuses et irrégulières: nébuleuses des Pléiades—Spectres à raies sombres et spectres à raies brillantes—(b) Nébuleuses planétaires: caractéristiques des nébuleuses planétaires—La nébuleuse annulaire dans la Lyre—Localisation et distance des nébuleuses planétaires—(c) Les nébuleuses obscures: principaux caractères de notre système stellaire—La forme de notre système stellaire 221

CHAPITRE XVII

LES SYSTÈMES STELLAIRES EXTERNES

Différents types de nébuleuses—Les nébuleuses spirales—Nature des spirales—Fine structure de la nébuleuse d'Andromède—Distance obtenue au moyen des céphéides—Autres systèmes stellaires—Nébuleuses spirales moins brillantes—Le calcul de ces grandes distances . . . 239

CHAPITRE XVIII

SYSTÈMES STELLAIRES EXTERNES—VITESSES RADIALES
DES NÉBULEUSES SPIRALES—L'UNIVERS

Vitesses radiales des nébuleuses—Autres observations de Slipher—Les grands télescopes du Mont Wilson—Recherches de Humason—Spectrogrammes de nébuleuses—Déplacements vers le rouge et vitesses—Déplacements vers le rouge et distances—L'Univers en expansion—Combien existe-t-il de systèmes stellaires?—L'Univers . . . 255

APPENDICE: QUELQUES RENSEIGNEMENTS UTILES . . . 269

INDEX ALPHABÉTIQUE . . . 275

ILLUSTRATIONS

NUMÉRO	PAGE
LE GRAND AMAS GLOBULAIRE DE LA CONSTELLATION D'HERCULE	<i>Frontispice</i>
L'OBSERVATOIRE DAVID DUNLAP	8
LE SOLEIL AILÉ (CROQUIS D'APRÈS UNE CHASSE EN GRANIT TROUVÉE DANS UN TEMPLE DE L'ÎLE DE PHILÆ)	21
1. LA SPHÈRE CÉLESTE MONTRANT L'OBSERVATEUR AU CENTRE D'UN PLAN HORIZONTAL ET LA VOÛTE CÉLESTE DÉPLOYÉE AUTOUR DE LUI	22
2. LA SPHÈRE CÉLESTE MONTRANT LE SOLEIL À SON LEVER, À MIDI, ET À SON COUCHER	23
3. LE QUEEN'S PARK, À TORONTO—PHOTOGRAPHIE PRISE DE JOUR .	24
4. LE QUEEN'S PARK, À TORONTO—PHOTOGRAPHIE PRISE DE NUIT .	25
5. LE QUEEN'S PARK, À TORONTO—PHOTOGRAPHIE PRISE DE NUIT, TEMPS DE POSE PLUS LONG	26
6. L'ÉTOILE POLAIRE ET LES ÉTOILES QUI L'ENTOURENT	27
7. LES ÉTOILES CIRCUMPOLAIRES	28
8. LES ÉTOILES CIRCUMPOLAIRES	28
9. LES ÉTOILES ÉQUATORIALES	29
10. LA SPHÈRE CÉLESTE, MONTRANT LES PÔLES CÉLESTES NORD ET SUD .	30
11. UN APPAREIL PHOTOGRAPHIQUE ET UN PROJECTEUR INSTALLÉS POUR UNE EXPÉRIENCE	31
12. RÉSULTAT DE L'EXPÉRIENCE: DEUX CERCLES TOUT À FAIT IDENTIQUES	32
13. LE MÉCANISME DU COMPAS GYROSCOPIQUE	33
14. LE COMPAS GYROSCOPIQUE DU «QUEEN MARY»	34
14A. LA TERRE TOURNE	35
15. LA MARCHÉ DE LA LUNE PARMI LES ÉTOILES, 3 AU 9 FÉVRIER 1952 .	37
16. STONEHENGE, MONTRANT LA HAUTEUR DU SOLEIL À DIFFÉRENTES SAISONS	38
17. LES VISITEURS À STONEHENGE, ATTENDANT LE LEVER DU SOLEIL, LE 21 JUIN	39
18. LA MARCHÉ DU SOLEIL PARMI LES ÉTOILES, DU 15 MAI AU 14 JUILLET	40
19. LA SPHÈRE CÉLESTE, MONTRANT L'ÉQUATEUR CÉLESTE ET L'ÉCLIP- TIQUE	41
20. SOL (LE SOLEIL) CONDUISANT SON CHAR	42
21. MARCHÉ APPARENTE DU SOLEIL ET ORBITE RÉELLE DE LA TERRE	44
22. LES ÉTOILES ET LES SAISONS	45
23. L'UNIVERS À VOL D'OISEAU	47
24. GRANDEURS RELATIVES DES ORBITES PLANÉTAIRES, SAUF CELLE DE PLUTON	51

NUMÉRO	PAGE
25. LES ORBITES DES PLANÈTES INFÉRIEURES	52
26. LES ORBITES DES PLANÈTES SUPÉRIEURES	53
27. COMMENT TRACER UNE ELLIPSE	54
28. LES ORBITES PLANÉTAIRES SITUÉES DANS UN MÊME PLAN	54
29. GRANDEURS RELATIVES DU SOLEIL ET DES PLANÈTES	55
30. MASSES RELATIVES DU SOLEIL ET DES PLANÈTES	56
31. VAISSEAUX S'APPROCHANT DU PORT	57
32. CROISIÈRE AUTOUR DU MONDE	58
33. DISTANCE D'UN POINT INACCESSIBLE	61
34. COMMENT CALCULER UNE DISTANCE SUR LA RIVE OPPOSÉE D'UNE RIVIÈRE	62
35. COMMENT MESURER LE DIAMÈTRE DU SOLEIL	63
36. DIAGRAMME MONTRANT COMMENT CALCULER LE DIAMÈTRE DU SOLEIL,	63
37. LE SOLEIL, AVEC SES TACHES ET SES FACULES	65
38. PHOTOGRAPHIES DU SOLEIL PRISES DURANT NEUF JOURS CONSÉ- CUTIFS,	66
39. PROTUBÉRANCE DU SOLEIL—L'«HÉLIOSAURE»	68
40. UN DESSIN DE L'«HÉLIOSAURE»	69
41. SEPT PHOTOGRAPHIES DE LA GRANDE PROTUBÉRANCE DU 8 OC- TOBRE 1920	70
42. MÉCANISME D'UNE ÉCLIPSE DE SOLEIL	71
43. LA COURONNE SOLAIRE, LE 21 SEPTEMBRE 1922	72
44. LA PHOTOSPHÈRE, LES PROTUBÉRANCES ET LA COURONNE DU SOLEIL, LORS D'UN MINIMUM DES TACHES SOLAIRES	73
45. LA PHOTOSPHÈRE, LES PROTUBÉRANCES ET LA COURONNE DU SOLEIL, LORS D'UN MAXIMUM DES TACHES SOLAIRES	74
46. RÂ, LE DIEU DU SOLEIL, CHEZ LES ÉGYPTIENS	75
47. DIMENSIONS RELATIVES DE LA TERRE ET DE LA LUNE	76
48. MÉCANISME DES PHASES DE LA LUNE	77
49. LA PLEINE LUNE VUE À L'ŒIL NU	78
50. «L'HOMME DANS LA LUNE»	79
51. LA PLEINE LUNE	80
52. LA LUNE À SON PREMIER QUARTIER	81
53. LA MER DES PLUIES ET LES RÉGIONS ENVIRONNANTES	82
54. DESSIN SCHÉMATIQUE DE LA FIGURE PRÉCÉDENTE	83
55. DEUX PHOTOGRAPHIES DE LA LUNE METTANT EN ÉVIDENCE LA LIBRATION	85
56. THOTH, DIVINITÉ LUNAIRE CHEZ LES ÉGYPTIENS	86
57. MERCURE, LE MESSAGER DES DIEUX	87
58. DIMENSIONS RELATIVES DE LA TERRE ET DE MERCURE	88
59. DIMENSIONS RELATIVES DE LA TERRE ET DE VÉNUS	89
60. MÉCANISME DES PHASES DE VÉNUS	90

ILLUSTRATIONS

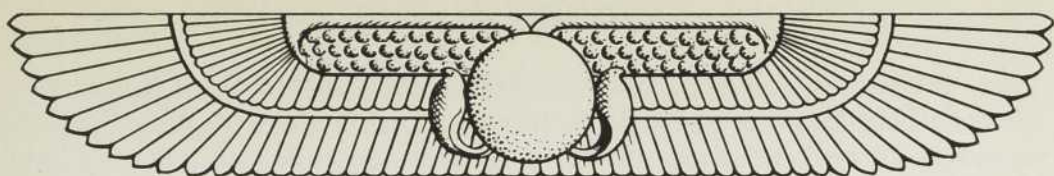
17

NUMÉRO	PAGE
61. PHOTOGRAPHIES DE VÉNUS	91
61A. TACHES SUR VÉNUS, RÉVÉLÉES PAR LA PHOTOGRAPHIE	92
62. LE D ^R PERCIVAL LOWELL OBSERVANT VÉNUS EN PLEIN JOUR	93
63. DIMENSIONS RELATIVES DE LA TERRE ET DE MARS	94
64. DIAGRAMME DES ORBITES DE LA TERRE ET DE MARS	95
65. UN DESSIN DE MARS	96
66. MARS: TROIS PHOTOGRAPHIES MONTRANT SA ROTATION	97
67. DEUX ASPECTS DE MARS, MONTRANT LES CHANGEMENTS SAISONNIERS	98
68. PHOTOGRAPHIES DE MARS, MONTRANT LE PASSAGE DU PRINTEMPS À L'ÉTÉ	99
69. QUATRE DESSINS DE MARS (LOWELL)	100
70. PHOTOGRAPHIES DE MARS ET UN DESSIN EXÉCUTÉ À LA MÊME DATE	101
71. PHOTOGRAPHIES D'UN PAYSAGE TERRESTRE LOINTAIN, EN LU- MIÈRE VIOLETTE ET EN LUMIÈRE ROUGE	102
72. PHOTOGRAPHIES DE MARS, EN LUMIÈRE VIOLETTE ET EN LUMIÈRE ROUGE	103
73. AUTRES PHOTOGRAPHIES, EN LUMIÈRE VIOLETTE ET EN LUMIÈRE ROUGE	103
74. LES MARTIENS, D'APRÈS H. G. WELLS	104
75. ORBITES DES LUNES DE MARS	105
76. JUPITER, TEL QU'APERÇU DANS UNE PETITE LUNETTE	107
77. JUPITER, VU DANS UN PUISSANT TÉLESCOPE	108
78. DEUX DESSINS DE JUPITER, MONTRANT UN SATELLITE ET SON OMBRE PROJETÉS SUR LE DISQUE	109
79. JUPITER ET SES SATELLITES, DURANT SIX JOURS CONSÉCUTIFS	110
80. PHOTOGRAPHIES DE JUPITER	111
81. PHOTOGRAPHIES DE JUPITER, EN LUMIÈRE VIOLETTE ET EN LUMIÈRE ROUGE	112
82. SATURNE ET SES SATELLITES, DANS UNE PETITE LUNETTE	113
83. UN DESSIN DE SATURNE	114
84. POURQUOI LES ANNEAUX DE SATURNE ONT DES PHASES	115
85. PHOTOGRAPHIE DE SATURNE, MONTRANT LES PHASES DE SES ANNEAUX	115
86. UN AMATEUR ET SON TÉLESCOPE	117
87. LE TÉLESCOPE DE 74 POUCHES DE L'OBSERVATOIRE DAVID DUNLAP, À RICHMOND HILL, ONTARIO	118
88. LA GRANDE LUNETTE DE L'OBSERVATOIRE YERKES	119
89. DIMENSIONS RELATIVES DE LA PLANÈTE URANUS ET DE LA TERRE	120
90. UNE PHOTOGRAPHIE D'URANUS ET DE SES SATELLITES	121
91. DIMENSIONS RELATIVES DE LA PLANÈTE NEPTUNE ET DE LA TERRE	122
92. NEPTUNE ET L'UN DE SES DEUX SATELLITES	122
92A. LA PLANÈTE PLUTON—DU 19 FÉVRIER AU 10 MAI 1930	123
93. UNE PHOTOGRAPHIE OÙ SONT ENREGISTRÉS DEUX ASTÉROÏDES	125
94. L'ORBITE D'UNE COMÈTE	128

NUMÉRO	PAGE
95. UNE PHOTOGRAPHIE DE LA COMÈTE ENCKE	129
96. UNE PHOTOGRAPHIE DE LA COMÈTE BROOKS	130
97. LA COMÈTE MOREHOUSE, LE 1 ^{ER} ET LE 2 OCTOBRE 1908	131
98. UNE PHOTOGRAPHIE DE LA COMÈTE DE HALLEY	133
99. PHOTOGRAPHIE D'UN BOLIDE	135
100. UNE BRILLANTE PERSÉIDE	136
100A. UNE MÉTÉORITE TOMBÉE EN 1939	136
101. LES ÉTOILES CIRCUMPOLAIRES, TELLES QUE VUES DANS LE CIEL .	138
102. DESSIN-CLÉ DE LA FIG. 101, AVEC LES NOMS DES CONSTELLATIONS .	139
103. LES ÉTOILES D'HIVER	142
104. DESSIN-CLÉ DES CONSTELLATIONS DE L'HIVER	143
105. LES ÉTOILES DU PRINTEMPS	144
106. DESSIN-CLÉ DES CONSTELLATIONS DU PRINTEMPS	145
107. LES ÉTOILES DE L'ÉTÉ	146
108. DESSIN-CLÉ DES CONSTELLATIONS DE L'ÉTÉ	147
109. LES ÉTOILES DE L'AUTOMNE	148
110. DESSIN-CLÉ DES CONSTELLATIONS DE L'AUTOMNE	149
111. LES ÉTOILES VUES DANS UN PETIT TÉLESCOPE	151
112. LA MÊME RÉGION DU CIEL VUE À L'ŒIL NU	152
113. UNE PHOTOGRAPHIE DE LA RÉGION MONTRÉE AUX FIGURES 111 ET 112	153
114. UNE PHOTOGRAPHIE MONTRANT UN DEMI-MILLION D'ÉTOILES . . .	155
115. NUAGES STELLAIRES, DANS LA VOIE LACTÉE, AVEC LA TRACE DE DEUX MÉTÉORES.	156
116. UNE PHOTOGRAPHIE DE LA CROIX DU SUD ET DE LA RÉGION ENVIRONNANTE, DANS LA VOIE LACTÉE	157
117. DESSIN-CLÉ DE LA FIGURE 116	158
118. PASSAGE À UN NIVEAU INFÉRIEUR PAR DEGRÉS ÉGAUX	161
119. SIX AMPOULES ÉLECTRIQUES DONT L'ÉCLAT DIMINUE PAR CINQ DEGRÉS OU INTERVALLES ÉGAUX	162
120. LES MAGNITUDES AU DELÀ DE 1 ET DE 6	162
121. ESPACE VIDE, MAIS EN RÉALITÉ TRÈS PEUPLÉ	163
122. DIAGRAMME ILLUSTRANT LA MÉTHODE POUR TROUVER LA DISTANCE D'UNE ÉTOILE	165
123. DIAGRAMME EXPLIQUANT LE SENS DU MOT PARALLAXE	166
124. LES «AILES DE L'AURORE»	168
125. EN PLEIN VOL AU SOLEIL COUCHANT	169
126. LA CÉLÈBRE EXPÉRIENCE DE NEWTON	171
127. CROQUIS DU SPECTRE SOLAIRE	172
128. UN SPECTROSCOPE À PRISME UNIQUE, POUR LABORATOIRE	173
129. LA COUPE HORIZONTALE DE L'INSTRUMENT DE LA FIGURE 128 .	173
130. LE SPECTROGRAPHE DE L'OBSERVATOIRE DAVID DUNLAP	175
131. SPECTRE DU SOLEIL ET CELUI D'UNE ÉTOILE	177

NUMÉRO	PAGE
132. DIAGRAMME MONTRANT L'ÉQUATEUR ET LES PÔLES DU SOLEIL, ET LE SENS DE LA ROTATION	178
133. SPECTRES DU LIMBE SOLAIRE	179
134. LA SÉQUENCE DES SPECTRES D'ÉTOILES	181
135. DIAGRAMME ILLUSTRANT LE MOUVEMENT PROPRE ET LA VITESSE RADIALE	182
136. LE BLINKMICROSCOPE	183
137. DEUX PHOTOGRAPHIES DE L'ÉTOILE DE BARNARD, À GRAND MOUVEMENT PROPRE	184
138. QUATRE PHOTOGRAPHIES METTANT EN RELIEF LE MOUVEMENT PROPRE DE PROXIMA DU CENTAURE.	184
139. COURBE DE LUMIÈRE DE δ CÉPHÉE	187
140. TROIS COURBES DE LUMIÈRE—VARIABLES DU TYPE D'AMAS	188
141. DEUX PHOTOGRAPHIES DE L'AMAS GLOBULAIRE MESSIER 14.	188
142. COURBES DE LUMIÈRE ET DE VITESSE DE δ CÉPHÉE	190
143. COURBE DE LUMIÈRE DE MIRA, 1933-35	191
144. COURBE DE LUMIÈRE DE NOVA HERCULIS 1934	193
145. COURBE DE LUMIÈRE DE NOVA AQUILÆ 1918	193
146. NOVE DANS LA NÉBULEUSE SPIRALE MESSIER 100	194
147. COURBE DE LUMIÈRE D'ALGOL	195
148. REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DE L'ÉTOILE DOUBLE ALGOL.	195
149. LA GRANDE OURSE, TELLE QU'ON LA VOIT UN SOIR D'AUTOMNE	196
150. MIZAR ET ALCOR	197
151. MIZAR ET ALCOR	197
152. LE D ^r R. G. AITKEN DEVANT LE MICROMÈTRE À FILS DE LA LUNETTE DE 36 POUCES DE L'OBSERVATOIRE LICK	198
153. LE SPECTRE DE L'ÉTOILE A DE MIZAR	199
154. DIAGRAMME EXPLIQUANT LA FIGURE PRÉCÉDENTE	199
155. LE SPECTRE DE μ D'ORION	200
156. LES PRINCIPALES ÉTOILES DE LA LYRE	201
157. ϵ DE LA LYRE VUE AU TÉLESCOPE	201
158. TROIS PHOTOGRAPHIES DE L'ÉTOILE BINAIRE KRÜGER 60	203
159. L'ORBITE APPARENTE DU COMPAGNON, DANS LA BINAIRE KRÜGER 60	204
160. L'ORBITE DE SIRIUS	205
161. UNE PARTIE DU TAUREAU, MONTRANT LES HYADES ET LES PLÉIADES	208
162. UNE PHOTOGRAPHIE DE LA RÉGION DES HYADES ET DES PLÉIADES	209
163. LES PLÉIADES—UN AMAS OUVERT	210
164. UNE LUNETTE MUNIE D'UN PRISME-OBJECTIF	211
165. SPECTRE DES PLUS BRILLANTES PLÉIADES	211
166. PRÆSEPE (LA RUCHE D'ABEILLES)	212
167. L'AMAS DOUBLE DE LA CONSTELLATION DE PERSÉE	213
168. DIAGRAMME MONTRANT LA POSITION DU GRAND AMAS D'HERCULE	214
169. LE GRAND AMAS D'HERCULE	215
170. L'AMAS GLOBULAIRE OMÉGA DU CENTAURE	216
171. L'AMAS GLOBULAIRE M. 22, DANS LE SAGITTAIRE	217
172. L'AMAS GLOBULAIRE 47 DU TOUCAN	218

NUMÉRO	PAGE
173. SPECTRES À RAIES BRILLANTES DE NÉBULEUSES	222
174. LA GRANDE NÉBULEUSE D'ORION (M. 42)	223
175. UNE PARTIE DE LA CONSTELLATION D'ORION	224
176. LA NÉBULEUSE «DENTELLE», DANS LE CYGNE	225
177. LA «NÉBULEUSE À LA BOUCLE» OU 30 DORADE	226
178. LES PLÉIADES ENVELOPPÉES DE MATIÈRE NÉBULEUSE	227
179. L'ÉTOILE MÉROPE ENVELOPPÉE DE MATIÈRE NÉBULEUSE	228
180. LA NÉBULEUSE PLANÉTAIRE N.G.C. 7662	230
181. LA NÉBULEUSE ANNULAIRE DE LA LYRE	231
182. PHOTOGRAPHIE DIRECTE DE LA NÉBULEUSE ANNULAIRE, PUIS À TRAVERS UN PRISME	232
183. PLAGES OBSCURES, DANS LA VOIE LACTÉE	233
184. LA NÉBULEUSE OBSCURE «TÊTE DE CHEVAL»	235
185. LA NÉBULEUSE «PÉLICAN»	236
186. UN MODÈLE DE NOTRE SYSTÈME STELLAIRE, D'APRÈS LES CON- CEPTIONS MODERNES	237
187. LA NÉBULEUSE SPIRALE M. 33, DANS LE TRIANGLE	240
188. LA NÉBULEUSE SPIRALE DÉSIGNÉE SOUS LE NOM DE M. 101	241
189. LA NÉBULEUSE SPIRALE M. 81	242
190. LA NÉBULEUSE «WHIRLPOOL», DANS LES CHIENS DE CHASSE	243
191. UNE NÉBULEUSE SPIRALE VUE PAR LA TRANCHE	244
192. UNE SPIRALE VUE PAR LA TRANCHE (N.G.C. 891, DANS AN- DROMÈDE)	245
193. LA GRANDE NÉBULEUSE D'ANDROMÈDE (M. 31)	246
194. UNE PARTIE DE LA CONSTELLATION D'ANDROMÈDE	247
195. DEUX NÉBULEUSES SPIRALES	248
196. NÉBULEUSE IRRÉGULIÈRE ET NÉBULEUSE FUSIFORME	248
197. NÉBULEUSE ANNULAIRE ET NÉBULEUSE GLOBULAIRE	248
198. PARTIE SUD DE LA GRANDE NÉBULEUSE D'ANDROMÈDE	249
199. LA GRANDE NUÉE DE MAGELLAN	251
200. LA PETITE NUÉE DE MAGELLAN ET L'AMAS GLOBULAIRE 47 DU TOUCAN	252
201. UNE PARTIE DE L'AMAS DE NÉBULEUSES, DANS LA COURONNE BORÉALE	253
202. SPECTRE DE LA GRANDE NÉBULEUSE D'ANDROMÈDE	256
203. LA NÉBULEUSE SPIRALE N.G.C. 584, DANS LA BALEINE	257
204. LE TÉLESCOPE DE 100 POUCES DE L'OBSERVATOIRE DU MONT WILSON	258
205. UNE PARTIE DE L'AMAS DE NÉBULEUSES, DANS PERSÉE	259
206. AMAS DE FAIBLES NÉBULEUSES, DANS LE BOUVIER	260
207. RELATION VITESSE-DISTANCE CHEZ LES NÉBULEUSES EXTERNES (HUBBLE)	261
208. LE TÉLESCOPE DE 200 POUCES DU MONT PALOMAR	263
209. LE MIROIR DU TÉLESCOPE DE 200 POUCES	264
210. LES PROFONDEURS DE L'ESPACE	266
LE SOLEIL, DISPENSATEUR DE VIE	274
L'OBSERVATOIRE DE LA TOUR MARTELLO, À QUÉBEC	268



LIVRE I

LA SPHÈRE CÉLESTE ET SES MOUVEMENTS

CHAPITRE I

LA SPHÈRE CÉLESTE

La Sphère formée par les Cieux



LLONS faire une promenade dehors et jetons un regard sur ce qui nous entoure. Nous avons l'impression d'être sur un plan horizontal, au centre d'un vaste hémisphère délimité par la voûte du ciel. En plein cœur d'une ville, il n'est pas facile de se faire une idée exacte de cet hémisphère, à cause des édifices. Au contraire, en rase campagne ou sur une grande étendue d'eau, nos regards peuvent embrasser l'espace tout entier.

Une question se pose tout de suite à notre esprit : Le ciel forme-t-il seulement une demi-sphère ou une sphère complète, dont une moitié serait cachée sous l'horizon ?

Quand nous aurons fait quelques pas de plus dans l'étude du ciel, il nous paraîtra alors bien plus naturel de considérer la voûte céleste comme une sphère complète, dont une moitié est au-dessus de l'horizon et l'autre moitié au-dessous. C'est cette sphère que nous avons voulu représenter sur la figure 1. On remarque l'observateur au centre du plan horizontal ; autour de lui et au-dessus de ce plan, l'hémisphère visible. L'hémisphère invisible est au-dessous du plan horizontal.

Cette sphère formée par les cieux est appelée la sphère céleste.

Mouvement diurne du Soleil

Supposons qu'il est neuf heures du matin. Le ciel est bleu ; ici et là, quelques nuages blancs. Au sud-est, un objet très brillant attire notre attention : c'est le Soleil. Là-haut, parmi les nuages, on dirait un disque fixé à plat sur la sphère céleste.

On sait qu'il se lève toujours à l'est—combien rares, il est

vrai, sont ceux qui l'ont vu réellement sortir de l'horizon—qu'il monte petit à petit dans le ciel en se dirigeant vers l'ouest, et qu'il atteint sa plus haute position, à midi, au sud. C'est alors que son altitude commence à diminuer, pendant que sa marche vers l'ouest se continue toujours. Il disparaît finalement, le soir, sous l'horizon ouest. La figure 2 nous montre

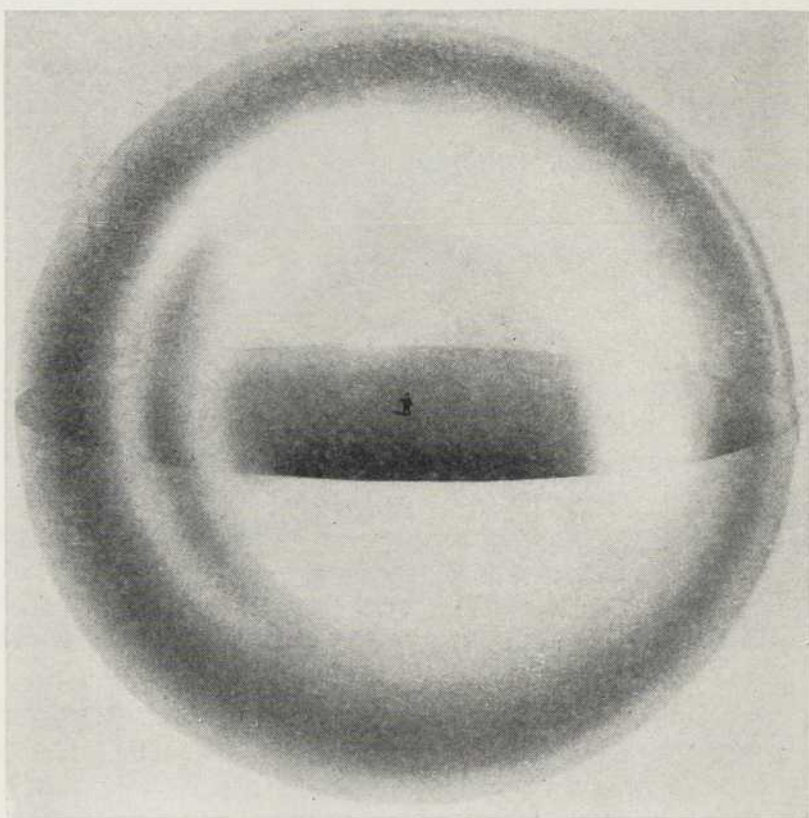


FIG. 1. LA SPHÈRE CÉLESTE.

L'observateur est au centre d'un plan horizontal. Au-dessus de lui, le ciel forme un hémisphère.

Dessin de F. S. Smith.

le Soleil, d'abord au moment où il sort de l'horizon est, puis à midi, et enfin alors qu'il disparaît à l'horizon ouest.

Et nous voici en face d'un nouveau problème. Le Soleil est-il *fixe* sur la voûte céleste? Possède-t-il un *mouvement* propre? Voilà un point qu'il faudra éclaircir.

Mouvement diurne de la Lune

La nuit, la scène est changée. Le ciel est d'un bleu sombre, presque noir; il est parsemé d'une quantité de points lumineux qui sont les étoiles. Quelques-unes sont passablement brillantes, tandis que d'autres demandent un œil très exercé pour

être aperçues. Groupées, ces étoiles semblent former des triangles, des carrés, un chariot, les figures les plus diverses. Plus loin, nous reviendrons sur ces groupements, pour en étudier quelques-uns de plus près.

Peut-être voyons-nous aussi la Lune, sous l'un de ses nombreux aspects, connus sous le nom de «phases». Supposons qu'elle est ronde, pareille au Soleil, c'est-à-dire qu'elle est

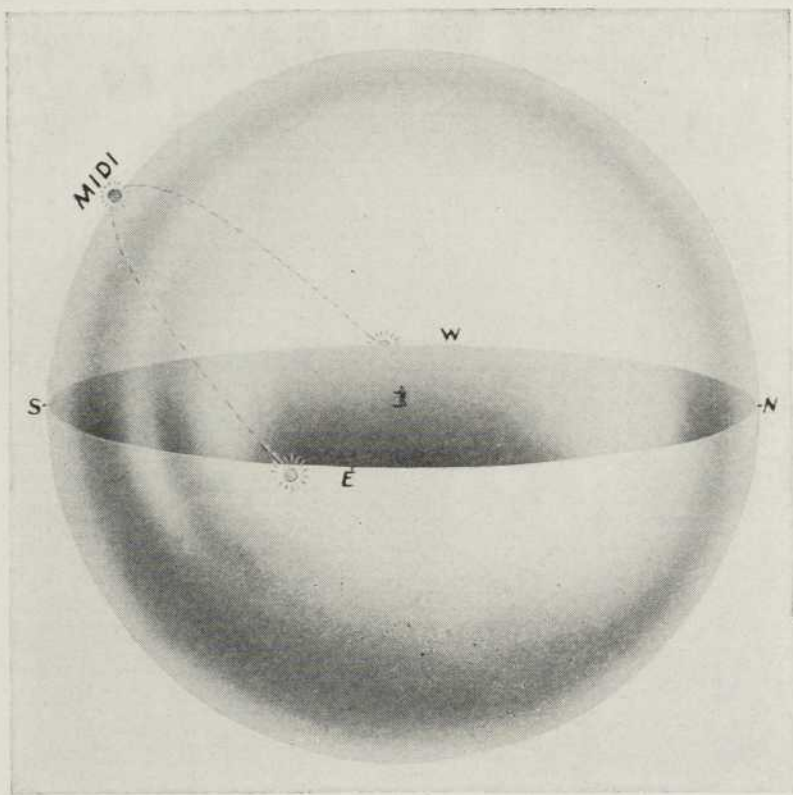


FIG. 2. LA SPHÈRE CÉLESTE.

Pour l'observateur placé au centre, le Soleil semble se lever à l'est, puis, tout en avançant vers l'ouest, monter jusqu'à ce qu'il atteigne son point culminant, à midi, et enfin redescendre se coucher à l'ouest.

Dessin de F. S. Smith.

«pleine». Elle est à l'est, près de l'horizon. Regardons-la évoluer, et nous constaterons vite qu'elle se déplace sans cesse en direction de l'occident et qu'elle disparaît finalement sous l'horizon, exactement comme le Soleil.

Le fait est qu'elle se déplace toujours ainsi, quel que soit l'aspect sous lequel elle se présente.

Mouvement diurne des étoiles

Observons maintenant les étoiles. À l'est, très bas sur l'horizon, en voici trois formant triangle; à l'ouest, quelques-unes

sont disposées en ligne droite. Au nord, nous reconnaissons les sept étoiles qui forment le Chariot de David, appellation populaire de la Grande Ourse. En réalité, ces étoiles ne sont qu'une partie de la constellation de ce nom. Au cours de la soirée, en automne, le Chariot repose droit sur ses roues.

Une heure ou deux plus tard, observons encore ces mêmes étoiles. Celles qui se trouvaient à l'est sont beaucoup plus hautes dans le ciel, tandis que celles qui étaient à l'ouest sont plus basses—ou complètement disparues sous l'horizon. Le Chariot, lui, a tourné; les roues arrière sont maintenant plus élevées que le timon.



FIG. 3. UNE SCÈNE DANS LE QUEEN'S PARK, À TORONTO—LE JOUR.

Cette photographie fut prise en hiver, d'une fenêtre de l'hôtel du Parlement Provincial, face au nord-ouest.

Tout se passe donc comme si le ciel entier, entraînant avec lui le Soleil, la Lune et toutes les étoiles, tournait avec une parfaite régularité, de l'est à l'ouest, et accomplissait une révolution complète en un jour.

Photographies de jour et de nuit

Un moyen efficace d'étudier le mouvement d'un objet brillant, est de le photographier. Voici comment on a procédé pour la photographie d'une scène familière, à Toronto, un après-midi d'hiver (fig. 3). L'appareil a été fixé au dormant d'une fenêtre, à l'étage supérieur de l'édifice du Parlement Provincial,

et faisait face au nord-ouest. À travers les chênes dénudés, on aperçoit le Hart House, de l'Université de Toronto, et, un peu à droite, l'un des petits dômes du Trinity College. Deux automobiles cheminent en direction du sud, tandis que trois piétons prennent un raccourci à travers le parc couvert de neige. Comme les automobiles paraissent stationnaires, le temps de pose a dû être très court—une fraction de seconde.

Examinons maintenant une autre photographie (fig. 4), prise la nuit au même endroit et dans la même orientation, mais

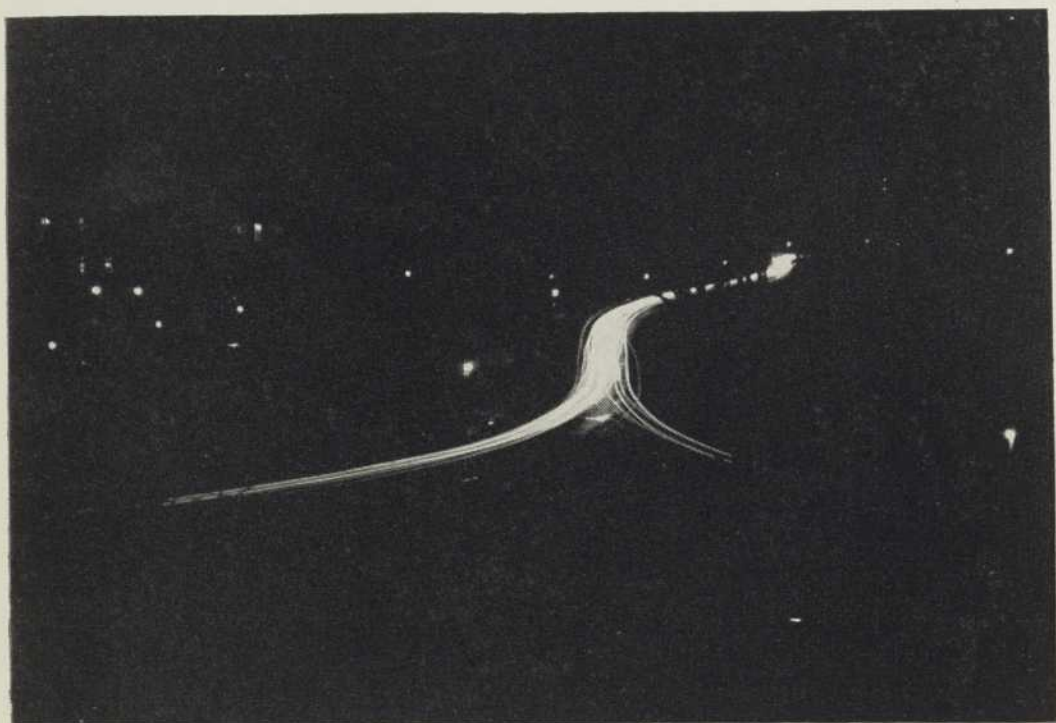


FIG. 4. UNE SCÈNE DANS LE QUEEN'S PARK, À TORONTO—LA NUIT.

L'appareil photographique fut installé à 8 h. du soir dans la même position qu'à la figure 3, mais le temps de pose a été de cinq minutes.

avec un temps de pose de cinq minutes. On aperçoit les lumières électriques le long du chemin, de même que les fenêtres éclairées des édifices. Le chemin lui-même semble lumineux, mais que sont devenues les automobiles? En réalité, plusieurs ont passé durant la pose. Les phares de chaque auto ont laissé leurs traces sur les plaques photographiques en se déplaçant et leur grand nombre a produit ces deux faisceaux divergeants qui prennent la place des tronçons de chemin. En examinant attentivement la photographie, on aperçoit, un peu séparée des autres, la trace des phares d'une automobile qui a dévié du chemin pour en devancer une autre.

Une autre photographie a été prise, mais cette fois avec un temps de pose de vingt minutes (fig. 5). Les arbres et les édifices se dessinent maintenant très bien. Les automobiles, encore plus nombreuses, ont laissé leurs traces sur la route,



FIG. 5. UNE SCÈNE DANS LE QUEEN'S PARK, À TORONTO—LA NUIT: LONGUE POSE.

Pour cette photographie, le temps de pose a été de vingt minutes; beaucoup plus de détails sont enregistrés.

dont l'éclairement est à peu près complet. On remarque aussi que les dépassements ont été beaucoup plus fréquents et même qu'une automobile a passé directement de l'ouest à l'est.

Photographies des étoiles

Nous allons maintenant faire des expériences sur les étoiles.

Si l'on fait face au nord et qu'on regarde à la hauteur de quarante-cinq degrés ou un peu plus (suivant la latitude du lieu où l'on se trouve), on aperçoit l'Étoile Polaire avec les étoiles qui l'entourent. La figure 6 est une carte de cette région, telle qu'on l'aperçoit vers 9 heures du soir, le 1er novembre. L'Étoile Polaire se trouve au centre; c'est la dernière de la queue de la Petite Ourse.

Essayons maintenant de photographier ce champ d'étoiles. Pour cela, choisissons un endroit où le ciel n'est pas trop éclairé

par les lumières terrestres; fixons la caméra au dormant d'une fenêtre, ou à tout autre appui solide, et dirigeons-la vers l'Étoile Polaire. La mise au point ayant été faite pour un objet très éloigné, ouvrons l'obturateur et exposons assez longtemps — plusieurs heures si possible. La figure 7 est un exemple des clichés ainsi obtenus. La photographie a été prise en

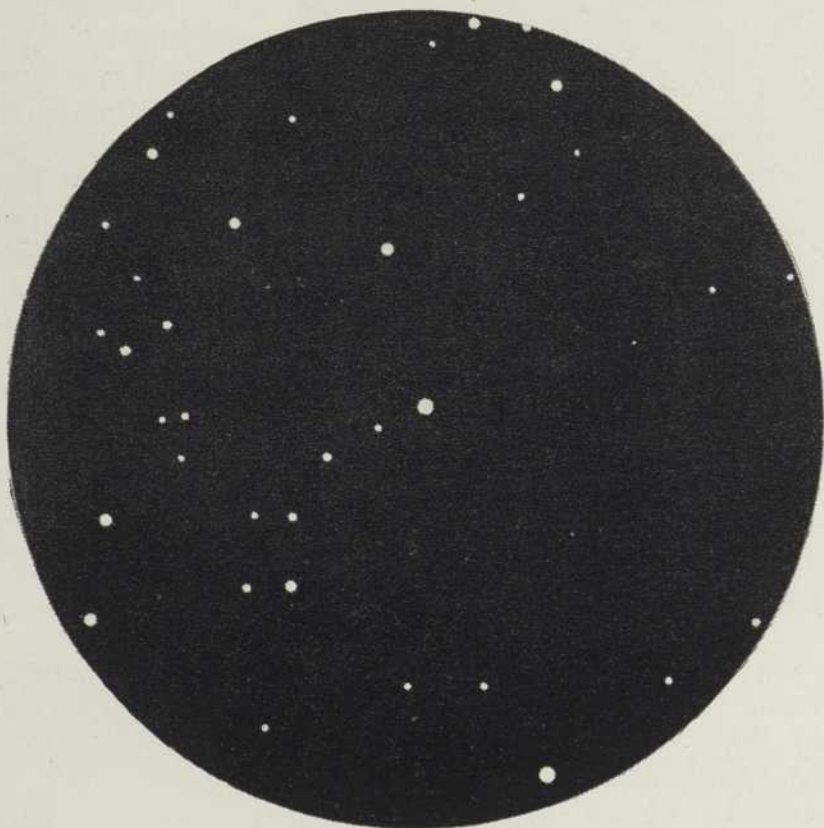


FIG. 6. L'ÉTOILE POLAIRE ET LES ÉTOILES QUI L'ENTOURENT.

Cette carte décrit les étoiles qui se trouvent à moins de 30° du pôle céleste. L'Étoile Polaire est au centre; la plus brillante étoile, qu'on aperçoit au bas de la figure, est une des guides dans la constellation de la Grande Ourse.

pleine ville avec un appareil ordinaire, exposé pendant près de deux heures. On y voit une quantité de traînées lumineuses dont chacune appartient à une étoile. On remarque aussi que ces traînées sont toutes des arcs de cercles, ou portions de cercles, ayant le même centre de courbure.

L'étude de notre photographie nous conduit à admettre que les étoiles du nord se déplacent suivant des cercles autour d'un centre commun, et que la longueur de leurs traces sur les photographies, comme on peut s'y attendre, est proportionnelle au temps de pose. L'arc très brillant, près du centre, est celui de l'Étoile Polaire. Remarquons encore que cette étoile est tout près du centre, sans toutefois coïncider avec lui.

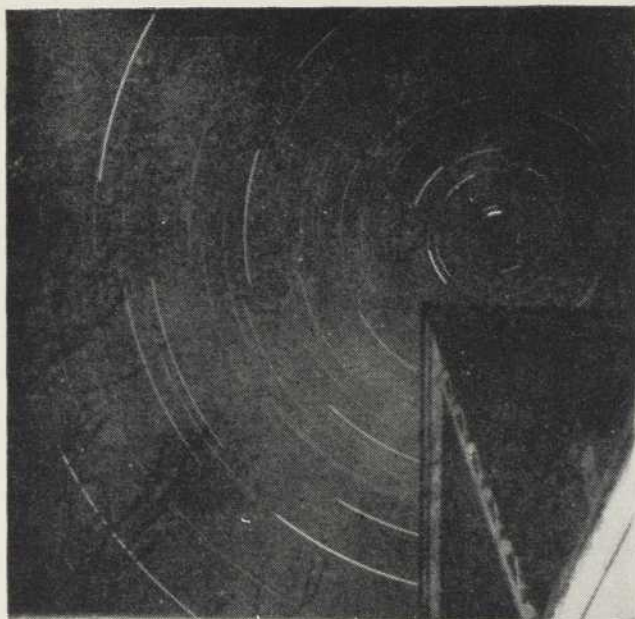


FIG. 7. PHOTOGRAPHIE D'ÉTOILES CIRCUM-POLAIRES, PRISE PAR UN AMATEUR.

Cette photographie fut prise avec un appareil ordinaire fixé au dormant d'une fenêtre. Temps de pose: deux heures. Le centre des cercles coïncide avec le pôle céleste nord. La trace brillante tout près du pôle est due à l'Étoile Polaire.

le à 45° , ou un peu moins, et exposons de nouveau. Dans ce cas, une pose d'une heure est amplement suffisante. La figure 9 donne une idée de ce qu'on obtient ainsi. Il est très facile de réussir l'expérience avec un appareil bien ordinaire. Essayez; vous serez surpris du résultat.

Toutes les étoiles décrivent des cercles

Examinons de plus près cette dernière photographie.

Vers le milieu, on remarque trois lignes parallèles qui semblent droites. Ce

Il est évident que l'on obtient de bien meilleurs résultats en employant des appareils spécialement construits pour la photographie céleste. Voici une photographie de ce genre qu'on a prise à l'observatoire Lick, en Californie (fig. 8). Comme on peut le constater, le temps de pose a été très long. Pouvez-vous le déterminer? À quelle saison cette photographie a-t-elle été prise?

Pour en revenir à nos expériences photographiques, tournons maintenant l'appareil vers le sud, inclinons-

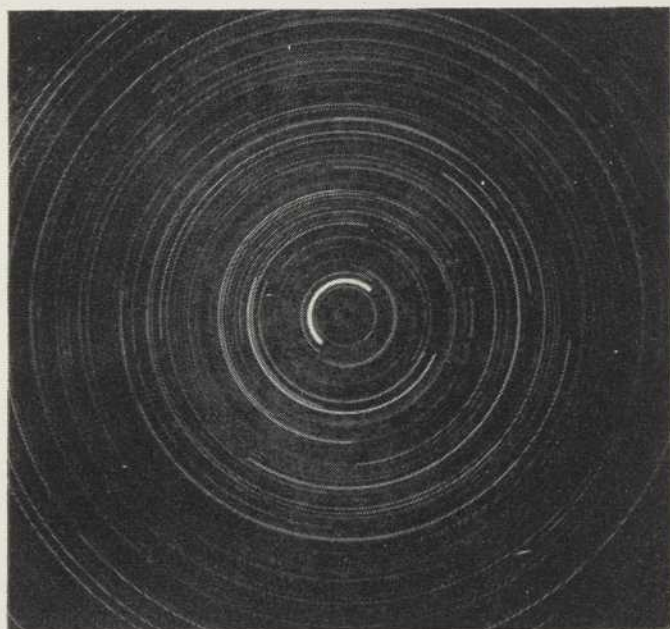


FIG. 8. ÉTOILES CIRCUMPOLAIRES.

Ici, on a exposé la plaque photographique pendant douze heures, au cours d'une longue nuit d'hiver.

Cliché de l'observatoire Lick.

sont les traînées lumineuses des trois étoiles de la ceinture d'Orion, constellation qui est, comme on sait, l'une des gloires de notre ciel d'hiver. Au-dessus se trouve un trait dont la courbure est tournée vers le haut; c'est celui de la remarquable étoile rouge qui porte le nom de Bételgeuse. Un peu au-dessous du centre, nous avons la trace brillante produite par l'étoile Rigel, tandis que plus bas encore, nous reconnaissons celle de Sirius, la plus brillante étoile et, par suite, celle qui laisse la trace la plus intense sur les plaques photographiques. On notera que les traits de Rigel et de Sirius ont leur courbure tournée vers le bas et qu'ils sont des arcs de cercles, tout comme celui de Bételgeuse. Donc, autant que les photographies permettent de le constater, les étoiles de la ceinture d'Orion décrivent des lignes droites, tandis que les autres décrivent des cercles.

Comment expliquer tout cela ?

Rien de plus facile. La sphère entière du ciel, avec les étoiles qu'on lui suppose fixées, tourne autour d'un axe, en apparence du moins, avec le résultat que chaque étoile décrit un cercle. Cet axe passe par le centre commun des cercles que nous voyons sur nos photographies de la région polaire (fig. 7 et 8), et en même temps par le centre commun des cercles décrits par les étoiles de l'hémisphère austral, centre invisible de notre point de vue.

Les points de rencontre de cet axe imaginaire avec la sphère céleste s'appellent respectivement le pôle boréal du ciel, ou pôle céleste boréal, et le pôle austral du ciel, ou pôle céleste austral. C'est ce que montre le diagramme de la figure 10.

L'Étoile Polaire est très près du pôle céleste boréal, sans toutefois coïncider avec lui; il ne se trouve pas d'étoile importante près du pôle austral. À mi-distance entre les pôles, est situé l'équateur du ciel ou l'équateur céleste.

D'après nos observations et expériences, il semble donc que le Soleil, la Lune et les étoiles soient fixés à la surface interne de la sphère céleste et que cette sphère tourne autour d'un



FIG. 9. ÉTOILES ÉQUATORIALES PHOTOGRAPHIÉES PAR UN AMATEUR.

L'appareil utilisé ici—une caméra ordinaire—a été orienté face au sud et incliné de 45° environ au-dessus de l'horizon. Temps de pose: une heure. Les trois traînées lumineuses, au centre, sont celles du Baudrier d'Orion.

axe, entraînant avec elle tous ces corps par sa rotation complète de chaque jour. Ainsi s'expliquerait le fait que le Soleil, la Lune et les étoiles se lèvent à l'est, traversent tout le ciel et se couchent à l'ouest.

Le ciel est-il réellement en mouvement ?

Attention maintenant ! Un instant de réflexion ne sera pas de trop.

Est-ce réellement le cas que le Soleil, la Lune et toutes les

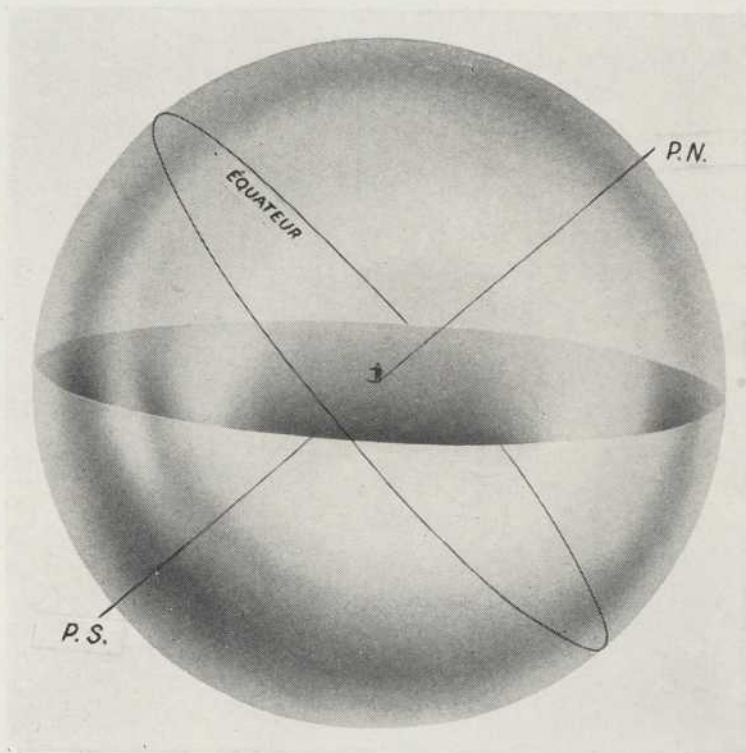


FIG. 10. LA SPHÈRE CÉLESTE AVEC LES PÔLES CÉLESTES NORD ET SUD.

Le ciel semble tourner autour d'un axe qui passe par les pôles célestes ; l'équateur céleste est à mi-chemin entre les deux.

Dessin de F. S. Smith.

étoiles du ciel font le tour de la Terre en un jour ? Si l'on s'en tient aux apparences, c'est bien ce qui doit se produire, et les Anciens avaient la conviction que les choses se passaient ainsi. Pourtant, il est permis de se demander si nos sens ne nous abusent pas un peu et s'il n'y a pas d'autres façons d'expliquer les apparences. Parce que, en effet, il y en a une.

Jusqu'à maintenant, nous avons toujours supposé que la Terre où nous vivons était fixe et en repos. Au point de vue des apparences, quelle différence peut-il y avoir si c'est *nous* qui tournons, pendant que le *ciel* reste immobile ?

Il vous est arrivé sans doute de faire un voyage par chemin de fer. Vous êtes descendu à la gare et avez pris place sur le train, qui se trouvait par hasard à côté d'un autre convoi. À un moment donné, en regardant par la portière, vous vous apercevez que les wagons d'en face sont en marche—ou du moins qu'ils vous semblent l'être. Ce mouvement finit par vous intriguer, au point de vous demander si c'est votre convoi qui avance ou si c'est l'autre qui recule. Pour vous rendre compte de la réalité, il vous faut pousser plus loin vos investigations: jeter un coup d'œil, par exemple, sur le sol ou sur les roues du convoi d'en face.

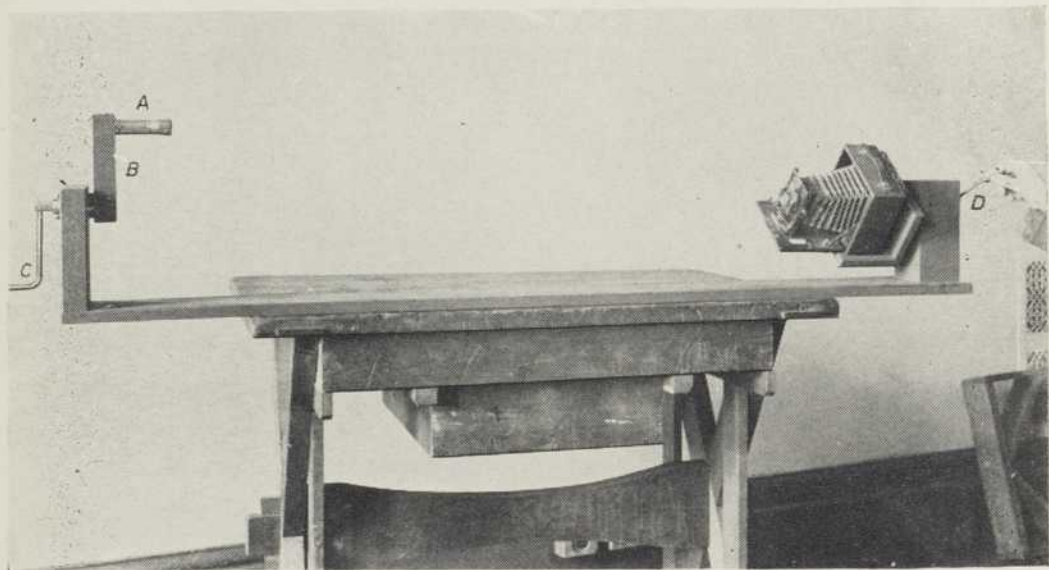


FIG. 11. UN APPAREIL PHOTOGRAPHIQUE ET UN PROJECTEUR INSTALLÉS POUR UNE EXPÉRIENCE.

Le projecteur peut tourner, tandis que la caméra est fixe, ou la caméra peut être mise en mouvement, tandis que le projecteur est fixe.

Il en est de même pour la Terre et pour les étoiles. De notre point de vue terrestre, tout se passe comme si le ciel, avec son cortège d'étoiles, se déplaçait en bloc de l'est à l'ouest. Les apparences, pourtant, sont tout à fait identiques si le ciel est immobile pendant que la Terre tourne dans le sens contraire—c'est-à-dire de l'ouest à l'est.

Mais la question reste toujours de savoir laquelle, de la Terre ou de la voûte céleste, est réellement en mouvement.

L'expérience de la caméra et du projecteur

La figure 11 nous montre une installation avec laquelle on peut réaliser une expérience très intéressante. À gauche, sur ce banc optique, un projecteur de poche (A) est monté de telle façon qu'il puisse tourner à l'aide du support (B) et de la manivelle (C). De cette manière, si l'on agit sur la manivelle,

le point lumineux décrira un cercle. À l'autre bout du banc, on a monté un appareil photographique qui peut aussi être soumis à un mouvement rotatoire—au moyen de la manivelle (D).

Procédons à l'expérience que voici. L'appareil photographique étant maintenu immobile, prenons un cliché pendant qu'on fait décrire au point lumineux un cercle complet. Re commençons l'expérience, cette fois en laissant le point lumineux immobile et en imprimant à la caméra un mouvement autour de son axe de suspension.

Or, quel est le résultat ? C'est la figure 12; on peut constater qu'il s'agit de deux cercles parfaitement identiques.

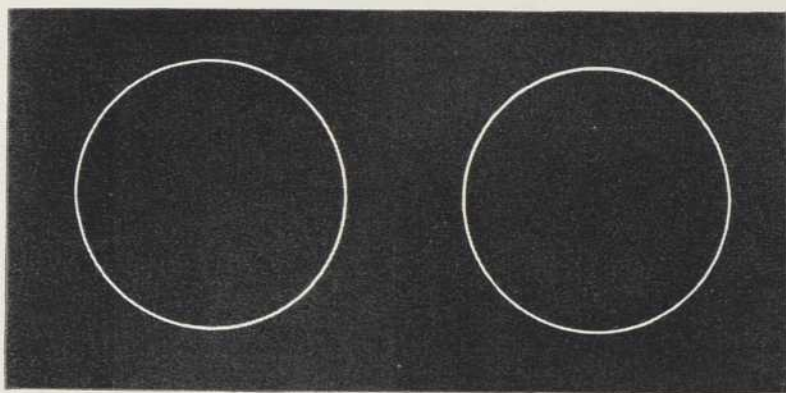


FIG. 12. RÉSULTAT DE L'EXPÉRIENCE: DEUX CERCLES
TOUT À FAIT IDENTIQUES.

L'un des cercles est obtenu par la rotation du projecteur, l'autre par la rotation de l'appareil, tels qu'illustrés à la figure précédente.

Ainsi en est-il pour la voûte céleste et la Terre. On ne peut dire si ce sont les étoiles qui décrivent des cercles, ou si c'est l'appareil photographique qui tourne, entraîné par la rotation de la Terre.

Alors, comment découvrir la vérité ? On a élaboré un grand nombre d'expériences pour mettre en évidence la rotation de la Terre, mais elles sont toutes de réalisation difficile. La plus connue est celle du pendule; le gyroscope et les corps tombant en chute libre de très grandes hauteurs ont aussi servi à la même démonstration. Toutes ces expériences sont décrites dans les traités d'astronomie moins élémentaires que celui-ci.

Le compas gyroscopique prouve la rotation de la Terre

Un des instruments les plus essentiels sur un océanique est sans doute la boussole. Sans elle, le capitaine ne pourrait suivre sa route, ni mener son navire à bon port. En ces dernières années, le compas magnétique a été jusqu'à un certain point mis de côté. On lui a préféré un nouvel instrument, le compas

gyroscopique. D'ailleurs, on était bien obligé de délaissier la boussole magnétique dans le cas des sous-marins, parce qu'elle ne fonctionne pas lorsqu'elle est complètement entourée d'acier.

Les photographies suivantes montrent le compas dépouillé

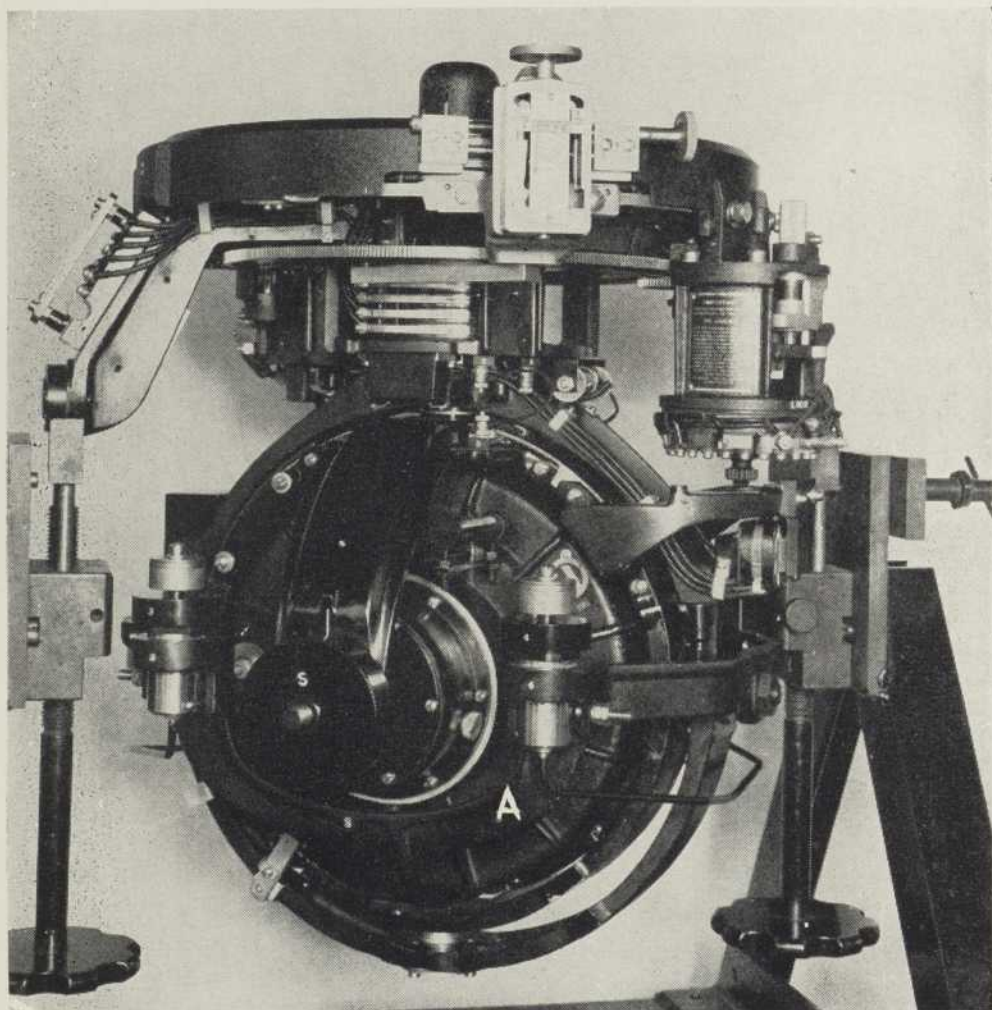


FIG. 13. LE MÉCANISME D'UN COMPAS GYROSCOPIQUE.

Cet instrument indique le nord vrai, ou le sud vrai; chose impossible si la Terre était immobile.

Cliché de Sperry Gyroscope Co.

de son caisson (fig. 13), et tel qu'il apparaît dans la chambre de contrôle (fig. 14). La partie essentielle de ce genre de compas est un volant, c'est-à-dire une roue pesante qu'on soumet à une rotation très rapide. Cette roue est rigoureusement équilibrée, autrement tout l'appareil serait réduit en pièces par suite des vibrations engendrées. Le volant d'un compas gyroscopique (A) mesure quelquefois 10 pouces (25,4 cm) de diamètre, pèse 55 livres (25 kg) et tourne à la vitesse de 6000 révolutions par minute. On emploie aussi des volants moins

grands et moins lourds, mais soumis à des vitesses pouvant aller jusqu'au double. L'installation et le montage de ces gyroscopes est un travail excessivement délicat et difficile. Or, cette roue, en tournant à grande vitesse sur elle-même, tend à pivoter jusqu'à ce que son axe soit dans la direction nord-sud—ou, comme disent les astronomes, dans le plan méridien.

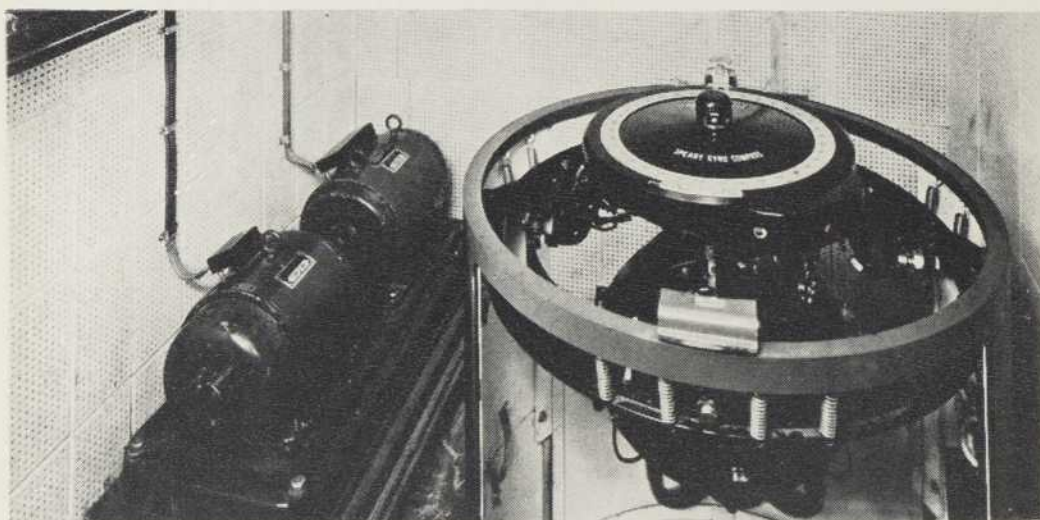


FIG. 14. LE COMPAS GYROSCOPIQUE INSTALLÉ SUR LE «QUEEN MARY».

Cette figure montre le compas gyroscopique dans son compartiment sur le *Queen Mary*. À côté, une dynamo subsidiaire; le panneau de contrôle est sur le mur.

Cliché de Sperry Gyroscope Co.

Les cercles gradués de la monture permettent aux officiers de bord de connaître à chaque instant la direction du navire.

Or, on ne pourrait pas expliquer pourquoi le compas gyroscopique se place ainsi dans une direction préférée, si la Terre n'était pas soumise à son mouvement de rotation. Nous avons donc là une raison suffisante de croire que c'est la Terre qui tourne et non pas les étoiles. L'axe autour duquel la Terre tourne est le même qui *semble* guider la rotation de la sphère céleste.

Si nous sommes au pôle nord de la Terre, où se trouve le pôle céleste? Exactement au-dessus de notre tête.

La cause du jour et de la nuit

Ainsi, nous avons maintenant la conviction que la Terre est soumise à un mouvement de rotation de l'ouest à l'est. C'est ce mouvement qui est la cause du jour et de la nuit.

Supposons qu'il fait nuit. Le ciel est sombre—le Soleil n'est plus là pour répandre sa lumière. Mais la Terre tourne

toujours sur son axe et nous apercevons enfin une teinte rosée à l'est. Ensuite, le Soleil fait son apparition, semblable à un disque qui monte des profondeurs de l'horizon. En réalité, c'est la Terre qui a tourné un peu, nous permettant ainsi d'apercevoir le Soleil.

La Terre tourne sans arrêt et le Soleil semble monter de plus en plus dans le ciel, jusqu'à ce que finalement il atteigne le méridien: il est alors midi. La Terre continue toujours à tourner de l'ouest à l'est et, pour s'en tenir aux apparences, on dit que le Soleil se déplace vers l'ouest en baissant de plus en plus, jusqu'au point de disparaître complètement à l'horizon. Il vient de se coucher, suivant l'expression populaire.

Nous savons cependant que les habitants des contrées plus à l'ouest jouissent encore de la lumière et de la chaleur du Soleil et que ceux qui se trouvent tout à fait à l'opposé de la planète voient au même moment l'astre du jour se lever.

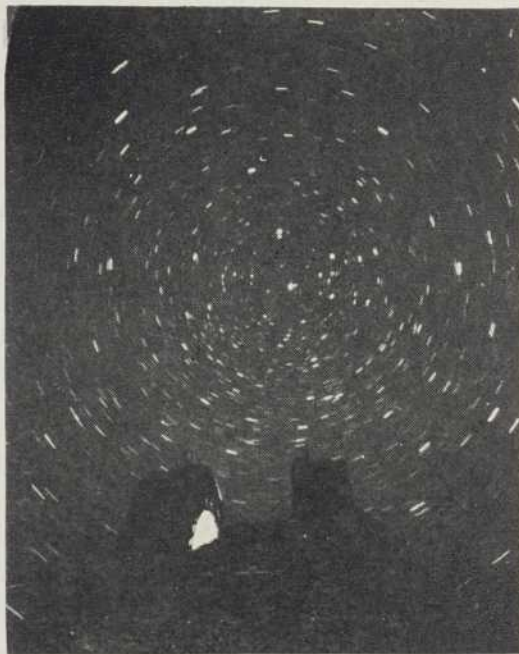


FIG. 14A. LA TERRE TOURNE.

Cliché de Peter M. Millman, avec un petit appareil, ouverture $f/2$, $f = 45$ mm, exposé de 1 h. 50 à 2 h. 15 du matin, le 26 mai 1936.

CHAPITRE II

MOUVEMENT DU SOLEIL ET DE LA LUNE DANS LE CIEL

Marche de la Lune parmi les étoiles.



NOUS allons maintenant nous occuper un peu de la Lune. Comme nous l'avons déjà constaté à la suite de nos observations, elle se lève et se couche comme le Soleil. Reste à savoir si elle demeure dans la même partie de la voûte étoilée, tandis que celle-ci fait un tour complet en un jour—ou, pour être plus exact, tandis que la Terre tourne autour de son axe.

C'est ce que nous ferons en notant attentivement, d'un soir à l'autre, la position de la Lune parmi les étoiles.

Vous n'ignorez pas qu'on peut voir la Lune et les étoiles en même temps. Nous allons donc dresser une carte des étoiles et y inscrire avec soin la position de la Lune. Voici (fig. 15) une carte du ciel qui indique la position de la Lune, de même que sa forme, dans la soirée du 3 février 1952, ainsi que les six jours suivants. Le 5, elle voisine β du Taureau, qui est à la limite des constellations du Taureau et du Cocher. La carte montre le trajet qu'elle parcourt à travers ces constellations, et ensuite dans les Gémeaux et le Cancer.

Si l'on continuait à enregistrer ainsi la position de la Lune d'un soir à l'autre, on constaterait qu'elle se déplace toujours vers l'est et qu'au bout d'un mois elle a fait un tour complet du ciel, occupant de nouveau la même position parmi les étoiles.

Arrêtons-nous ici un instant; le sujet mérite réflexion. La Lune tourne-t-elle réellement autour de la Terre? Oui, en effet, et le temps requis pour faire un tour complet est appelé un *mois*, du grec *mèn*, la Lune, dont l'origine est *mâ*, mesurer.

Mouvement du Soleil sur la voûte céleste

Le cas de la Lune étant réglé, abordons maintenant celui du Soleil.

Il s'agit de savoir si réellement le Soleil reste fixe parmi les étoiles, comme s'il était cloué à la voûte céleste.

Ici, nous nous heurtons à une difficulté majeure: le Soleil est si éclatant qu'il empêche de voir les étoiles de son entourage. Impossible donc d'enregistrer sa position d'un jour à l'autre parmi les étoiles. On pourrait même aller jusqu'à douter de la présence de ces étoiles à côté du Soleil.

Cependant, il arrive quelquefois que la Lune se place directement en face du Soleil et lui coupe toute lumière. Il y a alors éclipse totale de Soleil. En de telles circonstances, on peut voir les étoiles dans le voisinage du Soleil et on peut les photographier. Il est possible encore de voir les étoiles en

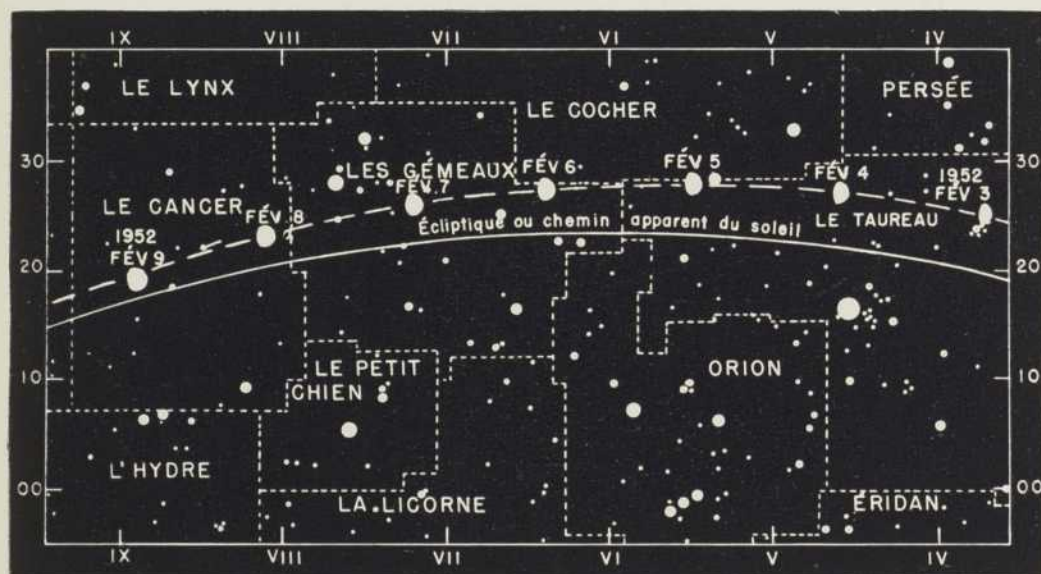


FIG. 15. LA MARCHE DE LA LUNE PARMI LES ÉTOILES, DU 3 AU 9 FÉVRIER 1952.

Durant cette période, la Lune passa dans les constellations du Taureau, des Gémeaux et du Cancer; elle changea aussi d'aspect.

plein jour, si l'on s'aide d'un télescope que l'on peut orienter dans la direction exacte. Et tout ceci nous prouve qu'il y a toujours des étoiles dans le ciel. Comme nous l'avons dit plus haut, le Soleil les noie dans sa lumière et sa position exacte parmi elles ne peut être déterminée.

Tout le monde sait que le Soleil se tient tantôt plus au nord, tantôt plus au sud, dans le ciel. En hiver, il s'approche beaucoup plus du point sud qu'en été. C'est ce que le dessin de la figure 16 a pour but de démontrer. Au centre se trouve le Stonehenge, l'un des plus fameux monuments de l'ancienne Angleterre. Il s'élève dans la plaine de Salisbury, dans le Wiltshire, et sa construction remonte, croit-on, à environ 3600 ans. Il servait sans doute à l'exécution de certaines cérémonies religieuses.

Ce sont des quantités de blocs de pierre, dont quelques-uns de dimensions considérables, disposés suivant des cercles concentriques. Si l'on se tient sur la grande roche plate du centre, appelée pierre de l'autel, on peut apercevoir le point de l'horizon nord-est où le Soleil se lève le 21 juin, jour le plus long de l'année. Pour cela, il suffit de regarder entre deux grandes pierres verticales, dans la direction d'une autre pierre

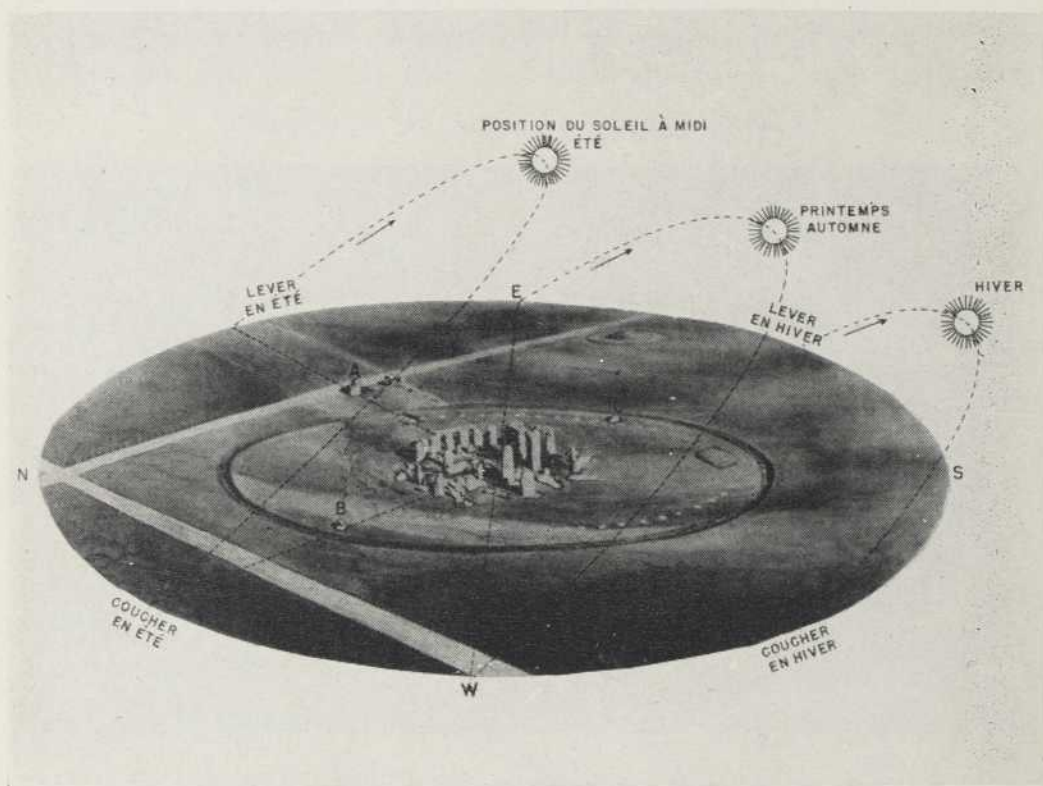


FIG. 16. STONEHENGE, MONTRANT LA HAUTEUR DU SOLEIL À DIFFÉRENTES SAISONS.

Les pierres sont placées de manière à indiquer les points où le Soleil se lève et se couche le 21 juin et le 21 décembre. Le Soleil est beaucoup plus haut en été qu'en hiver, à midi. Les photographies aériennes d'après lesquelles ce dessin a été exécuté sont dues à la courtoisie de Sir Charles Close.

Dessin de F. S. Smith, d'après une photographie aérienne.

verticale, placée à quelque distance plus loin (marquée en A sur la figure). La figure 17, dessinée d'après une photographie, nous montre des excursionnistes assistant au lever du Soleil à Stonehenge, le matin du 21 juin. Une autre pierre au nord-ouest, marquée en B sur la figure, indique le point où le Soleil se couche à cette date-là. De même, si l'on regarde dans la direction de la pierre du sud-est (C), on aperçoit le point où le Soleil se lève le 21 décembre, jour le plus court de l'année. Il y a donc lieu de croire que ces pierres ont été placées là de façon à indiquer le point de lever du Soleil à des dates

déterminées. La figure montre très bien que le Soleil est plus haut, à midi, en été qu'en hiver.

Mais le Soleil se déplace-t-il vers l'est parmi les étoiles, comme



FIG. 17. VISITEURS À STONEHENGE ATTENDANT LE LEVER DU SOLEIL, LE 21 JUIN.

Plusieurs personnes se rassemblent à l'intérieur du cercle de pierres pour observer le lever du Soleil derrière le Talon du Moine (Friar's Heel), le 21 juin.

Dessin de F. S. Smith, d'après des photographies de Mullins et autres.

le fait la Lune?—Oui, d'une façon semblable. Les astronomes ont imaginé une méthode (trop compliquée pour nous permettre de la décrire ici) d'après laquelle ils peuvent déterminer la position du Soleil parmi les étoiles d'un jour à l'autre. La marche du Soleil parmi les étoiles, du 15 mai au 14 juillet, est illustrée à la figure 18. Au cours de ces deux mois, il passe dans les constellations du Taureau et des Gémeaux. Il s'ensuit évidemment, que les étoiles qui forment ces constellations sont invisibles à cette époque.

La marche du Soleil (l'écliptique)

Suivons la marche du Soleil au cours des saisons. Le 21 mars, il se trouve sur l'équateur céleste et le jour est égal à la nuit. Ensuite il progresse vers le nord, tout en continuant d'avancer vers l'est, et il monte tous les jours plus haut dans le ciel, à midi. Son mouvement se continue ainsi jusqu'au 21 juin,

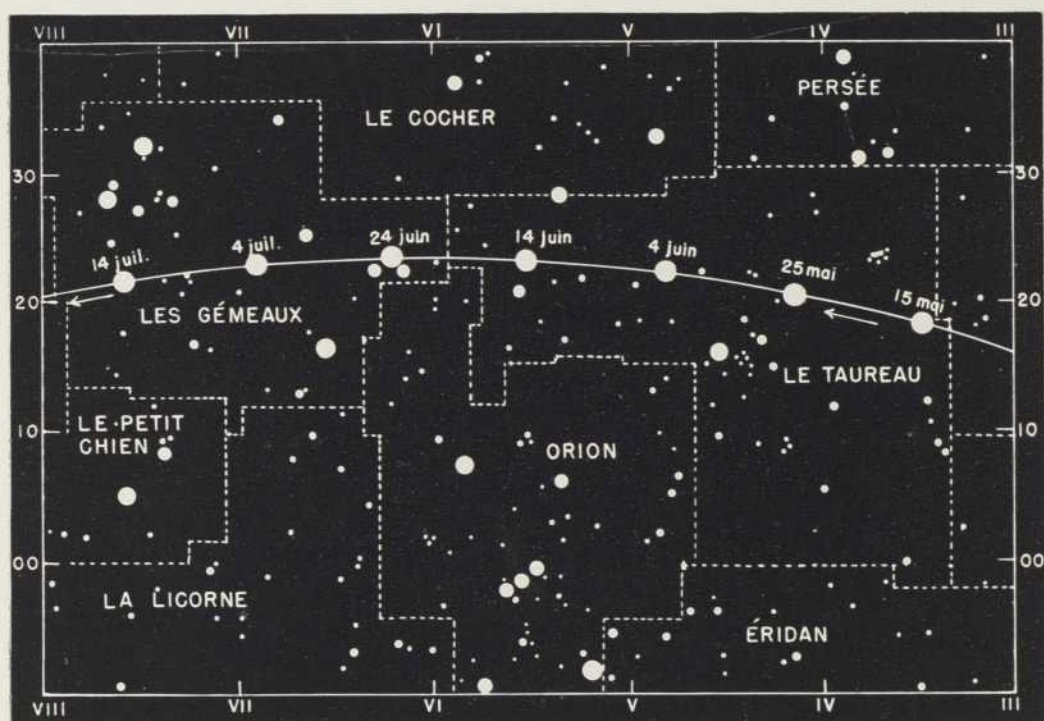


FIG. 18. LA MARCHÉ DU SOLEIL PARMI LES ÉTOILES, DU 15 MAI AU 14 JUILLET.

Chaque année, durant les mois de mai, juin, juillet, le Soleil décrit le même trajet à travers les constellations du Taureau et des Gémeaux. Le chemin apparent du Soleil s'appelle l'écliptique.

alors que le Soleil se trouve le plus au nord possible de l'équateur céleste et que le jour est le plus long. C'est le solstice d'été. À partir de ce moment, il se produit un changement dans la marche du Soleil : il se met à rétrograder vers le sud. Son mouvement vers l'est persiste toujours et c'est ainsi qu'il atteint l'équateur céleste une autre fois, le 22 septembre. Il continue à décliner jusqu'au 21 décembre, qui est le jour le plus court de l'année. C'est le solstice d'hiver. Le Soleil oblique maintenant vers le nord et, tout en continuant sa marche vers l'est, atteint de nouveau l'équateur céleste après trois mois, c'est-à-dire le 21 mars. C'est l'équinoxe du printemps et le jour est de nouveau égal à la nuit. Ainsi, la moitié de la marche du Soleil s'accomplit au nord de l'équateur et la moitié au sud.

La route que suit le Soleil dans le ciel est appelée l'écliptique, et d'année en année c'est toujours le même trajet qu'il parcourt.

La longueur de l'année est le temps exact que le Soleil met à compléter le tour de l'écliptique. Cette route du Soleil, l'écliptique, est montrée sur la figure 19.

Si seulement une fée bienveillante pouvait aller tracer sur la sphère céleste le chemin parcouru par le Soleil, de même que la ligne de l'équateur, quelle aide elle rendrait à ceux qui

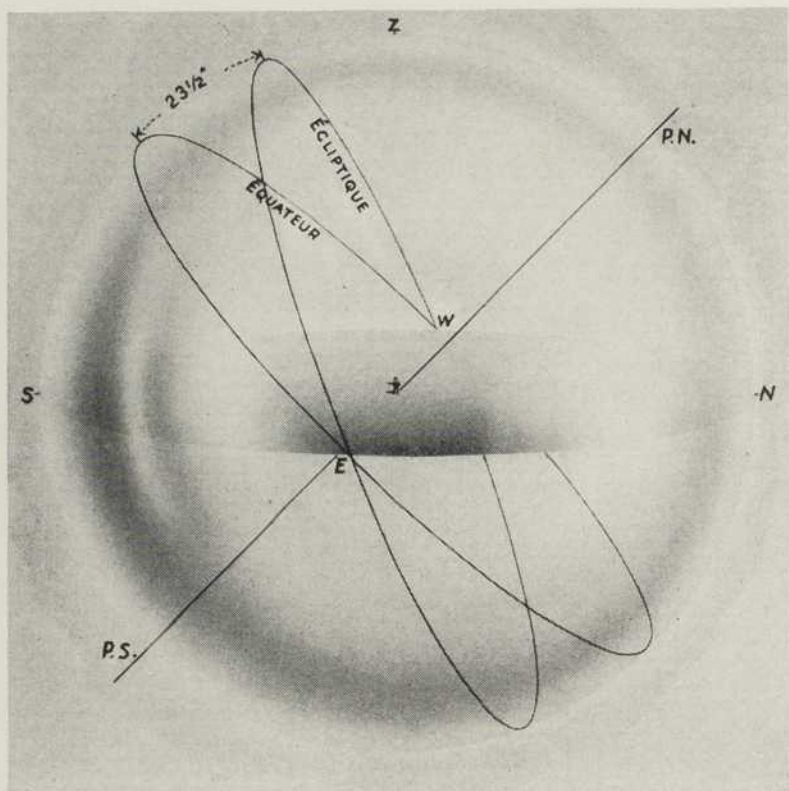


FIG. 19. LA SPHÈRE CÉLESTE MONTRANT L'ÉQUATEUR CÉLESTE ET L'ÉCLIPTIQUE.

L'équateur céleste est à mi-distance entre les pôles célestes; l'écliptique, qui est le chemin apparent du Soleil dans le ciel au cours de l'année, est incliné d'un angle de $23\frac{1}{2}^{\circ}$ sur l'équateur.

Dessin de F. S. Smith.

débutent dans l'étude de l'astronomie! Inutile d'y penser, toutefois, et il faut bien, avec un peu d'imagination, chercher à suivre la route majestueuse du Soleil, toujours fidèle, de jour en jour et d'année en année, à la marche qui lui a été assignée.

Les Grecs anciens représentaient Phébus, le dieu-soleil, conduisant avec dextérité le char du Soleil à travers le champ des étoiles. Son habileté était telle que jamais il ne s'écarterait ni à gauche ni à droite de sa route, l'écliptique. On raconte qu'un jour cependant son fils, Phaéton, obtint de lui la permission de conduire le char durant une journée, il va sans dire, après une longue hésitation du père. Le jeune et téméraire cocher dévia de sa course et faillit embraser toute la Terre!

La figure 20 est extraite d'un vieux livre imprimé à Venise, en 1482. Elle représente Sol (le Soleil) sur son char tiré par un attelage fougueux.

N'est-il pas plus facile, maintenant, de se représenter le Soleil dominateur parcourant la sphère céleste sur sa route séculaire ?



FIG. 20. SOL (LE SOLEIL) CONDUISANT SON CHAR.

Ce dessin de Sol, conduisant son char tiré par quatre chevaux impétueux, est emprunté à un livre publié à Venise, en 1482, par un imprimeur célèbre du nom de Ratdolt. C'est un des premiers livres illustrés de gravures sur bois; parmi celles-ci, se trouvaient des dessins de constellations les plus anciens qu'on connaisse. Le livre était écrit en grec et avait pour titre *Patikon Astronomicon* (*L'Astronomie en vers*); son auteur, Hyginus, fut bibliothécaire de l'empereur romain Auguste (63 A.C.—14 A.D.).

Par courtoisie du bibliothécaire de l'observatoire Naval des États-Unis.

Le Zodiaque

Imaginons un long bandeau de 16° de largeur (c'est-à-dire trente-deux fois à peu près le diamètre du Soleil), entourant la sphère céleste de telle sorte que l'écliptique se trouve située précisément en son milieu. Nous aurons ainsi la zone du zodiaque. La Lune et les planètes se trouvent toujours dans les limites de cette zone. Depuis les temps les plus anciens, on a divisé le zodiaque en 12 portions, chacune de 30° de long par 16° de large. Ces portions ont pris le nom de signes du zodiaque. Les voici, avec les symboles qui servent à les représenter: le Bélier (γ), le Taureau (τ), les Gémeaux (π), le Can-

cer (φ), le Lion (ϱ), la Vierge ($\wp$), la Balance ($\var�$), le Scorpion ($\mathfrak{m}$), le Sagittaire ($\mathfrak{f}$), le Capricorne ($\mathfrak{v}$), le Verseau ($\var�$), les Poissons ($\var�$).

En étudiant quelque peu nos cartes des figures 103, 105, 107 et 109, on peut apprendre à reconnaître les constellations situées le long de l'écliptique et ainsi parvenir à les localiser dans le ciel chaque fois que ces étoiles sont visibles.

Inutile de mentionner, ici, que le mouvement annuel du Soleil sur l'écliptique n'a rien à voir avec son mouvement diurne apparent, qui le fait lever à l'est et coucher à l'ouest, et qui est cause du jour et de la nuit.

Le mouvement du Soleil est apparent, non pas réel

Après tout, ce mouvement du Soleil autour du ciel, en un an, est-il bien réel ?

Non, pas du tout ! Les apparences nous ont trompés encore une fois ! C'est la Terre qui tourne en réalité autour du Soleil, bien qu'il nous *semble* que ce soit plutôt le contraire.

La figure 21 nous explique ce qui se produit. La Terre suit en fait une trajectoire ovale, ou plutôt elliptique, autour du Soleil, comme le montre l'ellipse au centre du diagramme. Lorsque, le 1^{er} janvier, elle est en A, le Soleil nous apparaît dans la direction de *a*, sur l'écliptique, c'est-à-dire dans la constellation du Scorpion. En conséquence, les étoiles du Scorpion et celles des constellations environnantes, telles que la Couronne et Hercule, sont invisibles à cette époque. En même temps, à l'opposé du Soleil, quand la Terre a tourné et qu'il fait nuit, nous voyons le Taureau, Orion, Persée et les autres constellations de l'hiver.

Trois mois plus tard, le 1^{er} avril, la Terre est en B, et le Soleil nous paraît dans la direction de *b*. Alors, le Cygne, Pégase, l'Aigle, etc., sont invisibles, étant donné que ces constellations sont dans la même région que le Soleil, mais nous pouvons contempler le Lion, la Grande Ourse et les autres groupes de la partie du ciel diamétralement opposée. Le 1^{er} juillet, la Terre est en C, et le Soleil dans la direction de *c*. Le 1^{er} octobre, la Terre est en D, tandis que nous voyons le Soleil comme s'il se trouvait en *d*. Enfin, le 1^{er} janvier, la Terre est revenue en A, et le Soleil paraît de nouveau dans la direction de *a*.

Ainsi, tandis que la Terre, dans son mouvement réel, suit sa petite orbite ovale, le Soleil de son côté semble parcourir un grand cercle dans le ciel—l'écliptique, pour nous servir de l'expression que nous connaissons déjà.

Les Étoiles changent avec les saisons

Le dessin de la figure 21 fait bien voir pourquoi les étoiles sont différentes à des saisons différentes. Il est à recommander que chacun comprenne parfaitement le mécanisme en jeu; c'est pourquoi nous allons étudier plus longuement la question.

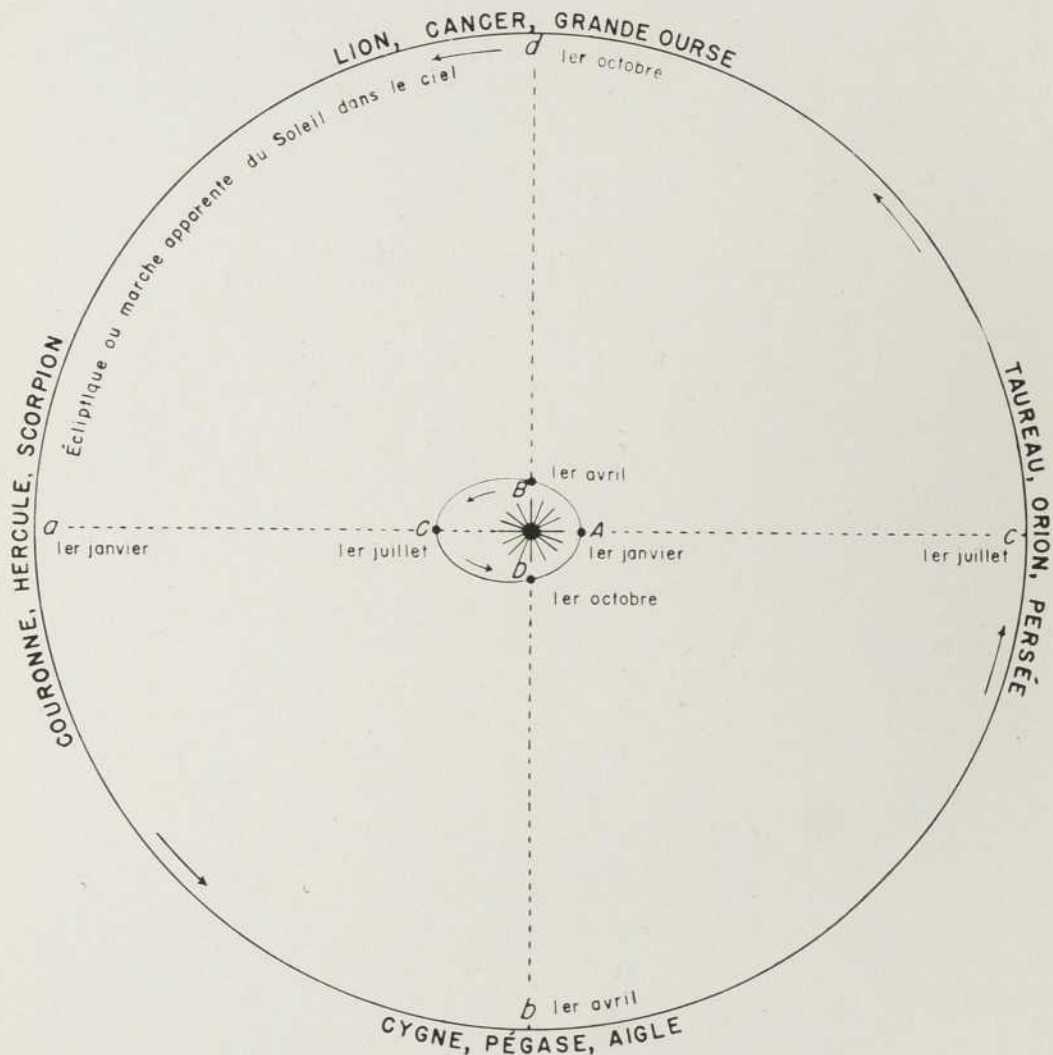


FIG. 21. LA MARCHÉ APPARENTE DU SOLEIL ET L'ORBITE RÉELLE DE LA TERRE.

En réalité, c'est la Terre qui se meut autour du Soleil sur une orbite elliptique; le Soleil n'est pas au centre de l'ellipse, mais à l'un des foyers. Pour un habitant terrestre qui ne se rend pas compte de ce mouvement, le Soleil semble se mouvoir dans le ciel suivant un grand cercle que nous appelons écliptique.

Durant la nuit, le ciel ressemble à une immense cellule sphérique, tout à fait sombre, avec seulement les points brillants des étoiles fixés à sa face interne. Nous avons essayé de représenter cette cellule (fig. 22), telle qu'on la verrait de l'extérieur.

Remarquons que les étoiles sont distribuées à peu près également sur toute la surface. On en aperçoit des brillantes et des faibles dans chaque quadrant.

Au centre se trouve le Soleil et, autour de lui, la Terre en révolution gardant toujours son axe dirigé vers le même point.



FIG. 22. LES ÉTOILES ET LES SAISONS.

La nuit, les étoiles semblent fixées à la face interne d'une grande sphère sombre. Ce dessin a pour but de représenter une telle sphère, transparente et comme on la verrait de l'extérieur. Le Soleil est au centre et la Terre tourne autour.

Dessin de F. S. Smith.

Lorsque la Terre est dans la position *a*, c'est l'hiver pour l'hémisphère boréal. À cette époque, les rayons du Soleil frappent une faible portion de l'hémisphère boréal, tandis qu'ils parviennent bien au delà du pôle sud.

Rappelons-nous maintenant que nous sommes sur la Terre et, plus précisément, dans l'hémisphère boréal terrestre. Durant le jour, nous voyons évidemment le Soleil dans le ciel. Ensuite, lorsque la Terre a tourné et qu'il fait nuit, quelles sont les étoiles que nous apercevons ? Celles qui sont dans la partie du ciel marquée A sur la figure. Le Soleil est dans la direction de la partie marquée C, et les étoiles qui s'y trouvent sont invisibles pour nous.

Trois mois plus tard, la Terre est en *b*, et c'est le printemps pour l'hémisphère boréal. Les étoiles visibles au cours des nuits printanières sont celles de cette partie de la sphère diamétralement opposée au Soleil.

Encore trois mois et la Terre est en *c*. L'été fait son apparition dans notre hémisphère. Durant la nuit, nous pouvons contempler les étoiles situées dans le voisinage de C, tandis que celles de la partie A sont invisibles, parce qu'elles sont dans la direction du Soleil.

Trois mois plus tard, durant les nuits automnales, les étoiles visibles sont celles de cette partie de la sphère située le plus près de notre observateur qui la regarde de l'extérieur.

Ainsi, les étoiles changent avec les saisons, et ce sont les mêmes qui reviennent d'une année à l'autre, aux mêmes saisons.

Examinons maintenant les étoiles de la partie supérieure de la figure, qui sont situées dans la direction de l'axe terrestre—en d'autres termes, celles qui environnent le pôle céleste boréal. En toute saison, un habitant de l'hémisphère boréal est capable de les voir, tandis qu'un habitant de l'hémisphère austral voit toujours celles des environs du pôle céleste austral.

Un coup d'œil sur l'Univers

Ainsi, par deux fois déjà nous nous sommes fourvoyés, et l'astronomie nous aura appris cette leçon qu'il ne faut pas se fier aux apparences.

Quelle est la cause de ces erreurs ?

La Terre évolue sans heurt ni secousse, dans sa rotation autour de son axe comme dans sa translation autour du Soleil, ce qui fait qu'il est impossible de se rendre compte le moins du monde qu'elle bouge.

Si l'on pouvait seulement franchir l'espace et s'éloigner bien loin de la Terre et du Soleil, alors on pourrait voir les choses telles qu'elles sont en réalité. Nous aurions de cette façon ce que l'on pourrait appeler une vue à vol d'oiseau de l'Univers. La figure 23 nous donne une idée du spectacle qui s'offrirait à notre contemplation. Les deux jeunes voyageurs que nous apercevons ont été transportés très loin dans la direction de la Polaire—disons à dix mille millions de milles—et ils examinent notre univers merveilleux de cette position.



FIG. 23. L'UNIVERS À VOL D'OISEAU.

Ces jeunes voyageurs célestes ont erré très loin dans l'espace en direction de l'Étoile Polaire et contemplent l'Univers. Ils voient notre brillant Soleil et la famille des planètes qui tournent autour de lui. Ils observent également deux comètes qui sont venues de l'espace pour visiter le Soleil. Cependant, les constellations sont encore telles qu'on les voit de la Terre.

Dessin d'Henrietta M. Hopper.

Que voient-ils ?

Là-bas, à leurs pieds, dans la direction d'où ils sont venus, ils aperçoivent le système solaire. Voici le Soleil, encore très brillant, malgré la bonne distance qui le sépare de nos voyageurs. Alors, redoublant d'attention, ils distinguent un grand nombre de corps gravitant autour de lui : ce sont les planètes. Chacun de ces corps, remarquent-ils, a l'apparence d'un disque à demi éclairé. Ils s'en étonnent d'abord, mais se rendent bientôt compte que les planètes sont nécessairement sphériques de forme, qu'elles ne sont pas lumineuses par elles-mêmes et que seul l'hémisphère tourné vers le Soleil peut être éclairé et devenir ainsi visible à leurs yeux.

Les voyageurs examinent les planètes avec plus d'attention encore, afin d'en déterminer le nombre et de découvrir la vitesse de leur déplacement.

Tout près du Soleil se trouve Mercure. C'est la plus petite de toutes les planètes et aussi celle qui parcourt sa route à la plus vive allure. La planète suivante est Vénus, sensiblement plus volumineuse que Mercure, mais déjà beaucoup plus lente à évoluer. C'est ensuite la Terre, de dimensions à peu près égales à celles de Vénus, mais sa translation est plus lente encore. Nos explorateurs découvrent aussi que la Terre est accompagnée d'un corps sphérique qui gravite sans cesse autour d'elle. C'est notre Lune. La quatrième place parmi les planètes est occupée par Mars, dont le diamètre est à peu près la moitié de celui de la Terre et qui est accompagné de deux lunes minuscules.

Ensuite vient un grand vide, puis la cinquième planète, Jupiter, de beaucoup la plus grosse de toutes. Elle traîne avec elle quatre grosses lunes et un bon nombre de petites, à peine visibles à nos observateurs. Le sixième membre de la famille est Saturne. Il est volumineux aussi, quoique beaucoup moins que Jupiter. Il possède une merveilleuse série d'anneaux et un cortège imposant de lunes. Ensuite, il reste le septième membre qui se nomme Uranus, avec ses cinq lunes, puis la planète Neptune, la huitième, parcourant sa lointaine orbite, accompagnée de deux lunes. Mais plus loin encore, il s'en trouve une autre beaucoup plus petite que Neptune, qui a reçu le nom de Pluton. Celle-là se traîne à vrai dire dans l'espace, évoluant sans enthousiasme sur son immense orbite. Ainsi, les planètes les plus éloignées du Soleil se meuvent plus lentement que celles qui gravitent près du foyer central.

Nos voyageurs aperçoivent aussi deux comètes qui sont venues de l'espace pour rendre visite au Soleil. Elles s'en approchent, le contournent, puis s'en éloignent pour ne revenir probablement jamais.

Quoi de plus impressionnant que cette grande famille de planètes évoluant majestueusement sur des orbites immuables,

pendant que leur escorte de lunes tournent sans cesse autour d'elles, comme pour les protéger des accidents de la route!

Délaissant la famille du Soleil, nos explorateurs portent maintenant leur attention sur d'autres objets célestes. Dans toutes les directions, ils aperçoivent des étoiles, parfaitement immobiles à leur place, comme des phares fixés dans la profondeur de l'espace. À leur grande surprise, ils reconnaissent précisément les mêmes constellations qui leur étaient familières sur la Terre, et se rendent compte à quelles distances formidables les étoiles doivent se trouver.

Tout là-bas, c'est Orion, avec sa magnifique ceinture, la belle Sirius, le Taureau, la Voie Lactée, et tout le reste!

Enfin, plongeant leurs regards dans l'infini, ils peuvent tout juste apercevoir de faibles et diffuses traînées lumineuses, dont la seule conformation cache tant de mystères! Plus loin, nous reprendrons l'étude de ces corps.

Oui, c'est vraiment un univers merveilleux!

LIVRE II

LE SOLEIL ET SON SYSTÈME

CHAPITRE III

LE SYSTÈME PLANÉTAIRE — LA TERRE

Un coup d'œil sur le système planétaire



XAMINONS maintenant de plus près quelques-uns des corps que nous avons aperçus et essayons de nous en faire une représentation aussi exacte que possible.

D'abord, la grandeur relative des orbites planétaires. On en remarque huit sur la figure 24. Quatre de ces orbites sont, pour ainsi dire, en contact avec le Soleil: ce sont celles de Mercure, de Vénus, de la Terre et de Mars. Ensuite vient un grand espace vide, puis les orbites des autres planètes, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune (et Pluton). Ainsi, nous pouvons diviser les planètes en deux groupes,—les planètes inférieures, celles qui gravitent au voisinage du Soleil, et les planètes supérieures, qui appartiennent aux espaces plus lointains.

Dans la vaste zone entre les orbites de Jupiter et de Mars, se trouvent des petits corps, appelés planétoïdes ou astéroïdes. On en a découvert un très grand nombre, mais la majorité ne sont visibles que dans les grands télescopes.

Étudions chaque groupe séparément. Voici les orbites des quatre planètes inférieures (fig. 25). Leurs distances au Soleil sont respectivement d'environ 36, 67, 93 et 142 millions de milles, ou 58, 108, 149 et 228 millions de km. Ce sont des chiffres qu'il serait bon de retenir. Les disques montrent la position des planètes de dix en dix jours. La position de chaque planète le 1er janvier 1951 est aussi indiquée.

Ensuite, nous avons les orbites des planètes supérieures (fig. 26). Leurs distances au Soleil sont de 480, 880, 1780, 2800, et 3670 millions de milles, ou 770, 1410, 2860, 4500 et 5900 millions de km, en chiffres ronds. Dans le cas des orbites de Jupiter et de Saturne, les disques montrent la position des planètes à intervalles d'une année, tandis que pour Uranus et Neptune, cette position est donnée tous les dix ans. Comme on peut le constater, les planètes supérieures prennent plusieurs années à accomplir leur circuit autour du Soleil. D'après le

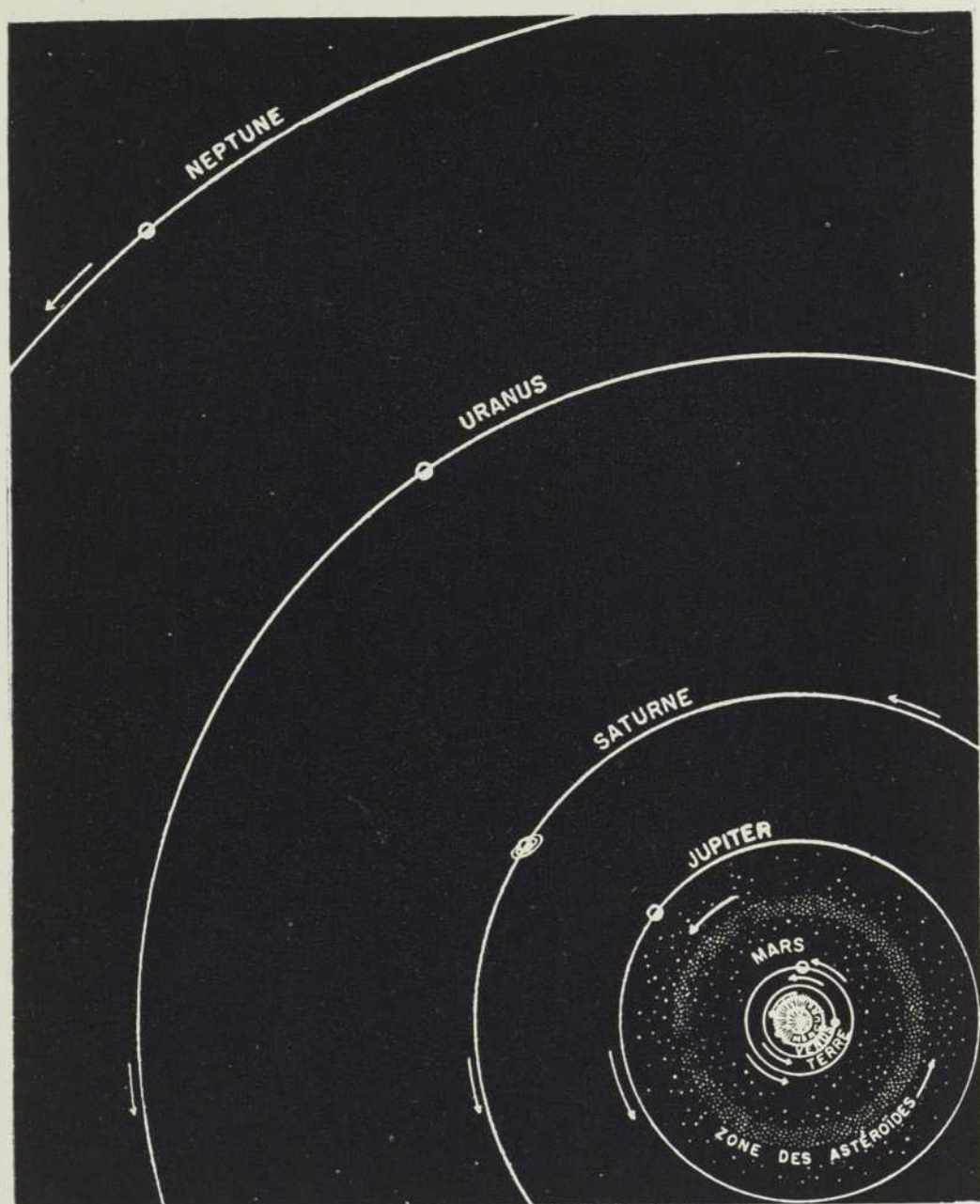


FIG. 24. GRANDEURS RELATIVES DES ORBITES DES PLANÈTES,
À L'EXCEPTION DE PLUTON.

Les orbites sont dessinées à l'échelle. À remarquer que Mercure, Vénus, la Terre et Mars sont près du Soleil. Vient ensuite la vaste zone des astéroïdes ou planétoïdes; puis ce sont les orbites immenses des grosses planètes—Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. Pluton est un petit globe et son orbite est passablement elliptique; une courte section de celle-ci passe à l'intérieur de l'orbite de Neptune, mais le reste s'étend bien loin à l'extérieur, comme le montre la figure 26.

diagramme, les années requises à chaque planète pour compléter son orbite sont les suivantes: Jupiter 12, Saturne $29\frac{1}{2}$, Uranus 84, Neptune 165, Pluton 248.

Chaque orbite des figures 25 et 26, exception faite de celle de Pluton, semble parfaitement circulaire, mais en réalité il s'agit d'ellipses. Vous savez sans doute comment se trace une ellipse (fig. 27). Sur une planche à dessin, on fixe deux épingles auxquelles est attaché un bout de ficelle et on fait le

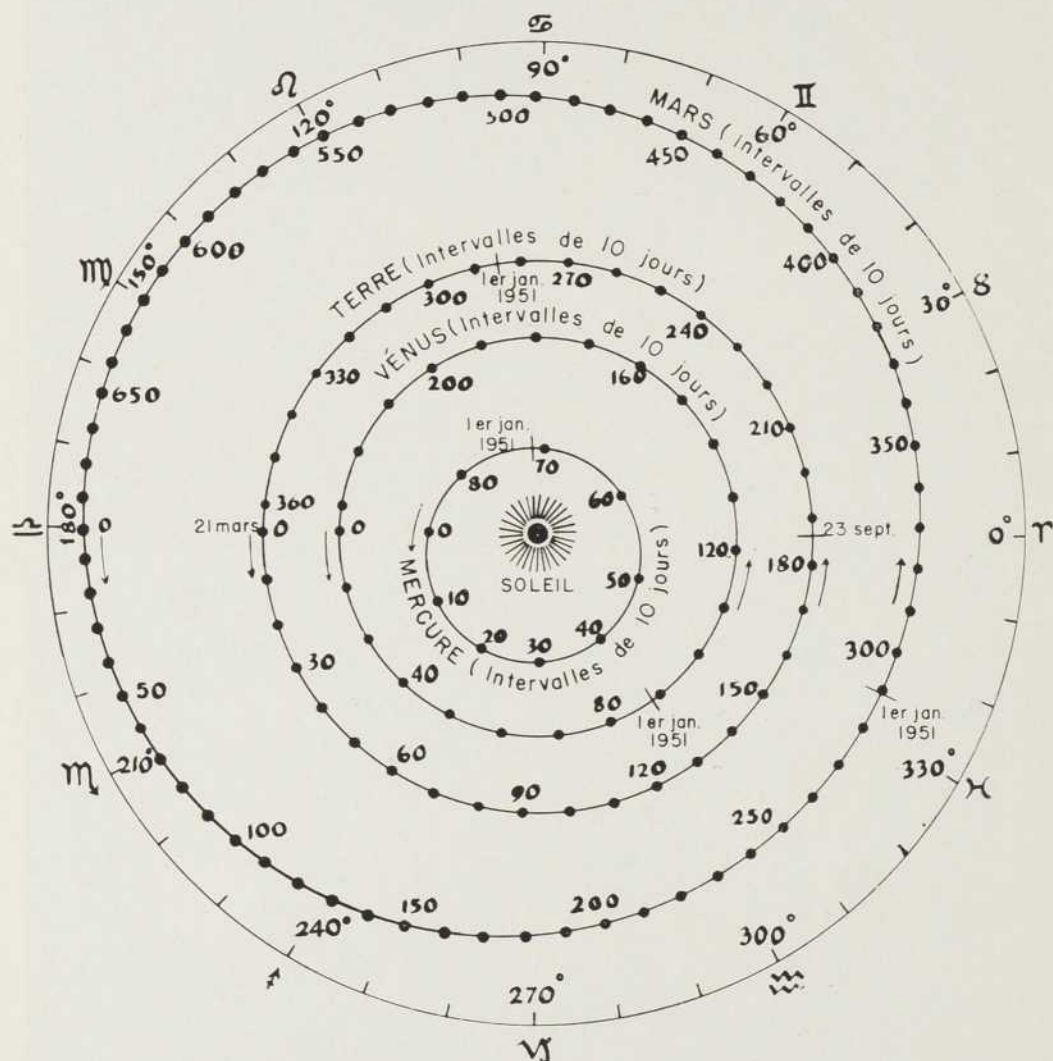


FIG. 25. LES ORBITES DES PLANÈTES INFÉRIEURES.

Les orbites de Mercure, de Vénus, de la Terre et de Mars sont dessinées à l'échelle. La position des planètes est donnée pour le 1er janvier 1951 et par intervalles de dix jours.

D'après un dessin de Ruth J. Northcott.

tour des deux épingles avec un crayon, en ayant soin de maintenir la ficelle bien tendue. Les points où se trouvent les épingles sont appelés les foyers de l'ellipse, et si les épingles sont très près l'une de l'autre, l'ellipse se confond pratiquement avec un cercle.

De fait, les orbites planétaires, sauf celle de Pluton, sont à peu près circulaires.

Encore un point intéressant à mentionner à propos de ces orbites. À part celle de Pluton, elles sont toutes situées dans le même plan à peu près (fig. 28). De plus, toutes les planètes se meuvent dans le même sens sur leur orbite, particularité qui n'est sans doute pas sans raison.

Le dessin de la figure 29 nous fait voir les dimensions relatives du Soleil et des planètes. On remarque que les planètes

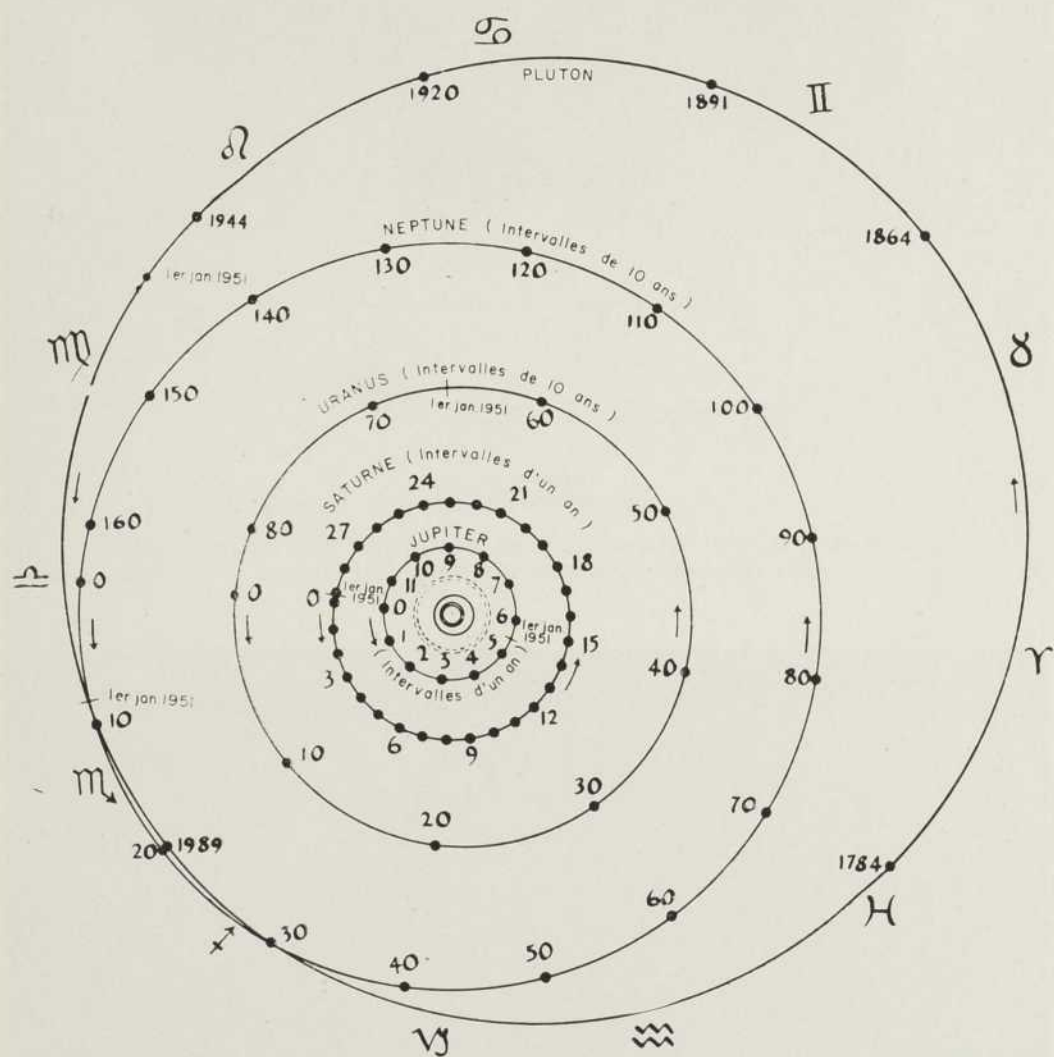


FIG. 26. LES ORBITES DES PLANÈTES SUPÉRIEURES.

Ces orbites sont aussi à l'échelle, mais différente de celle de la figure 25, qui est représentée ici par les petits cercles, au centre. La position des planètes est donnée pour le 1er janvier 1951, et par intervalles d'un an ou de dix ans.

D'après un dessin de Ruth J. Northcott.

inférieures—Mercure, Vénus, la Terre et Mars (au bas de la figure)—sont relativement petites, tandis que les planètes supérieures—Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune—sont plutôt volumineuses. Pluton, cependant, est de la classe des poids-plume. Notons en passant que le Soleil est plusieurs fois plus gros que toutes les planètes réunies.

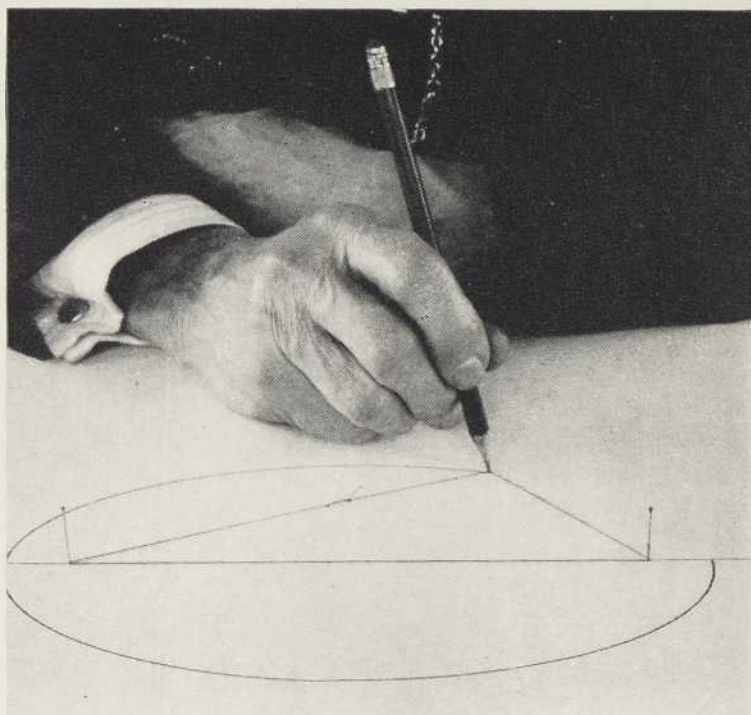


FIG. 27. COMMENT TRACER UNE ELLIPSE.

Si la ficelle est bien tendue, le bout du crayon décrira une ellipse.
Les deux épingles sont au foyer de l'ellipse.

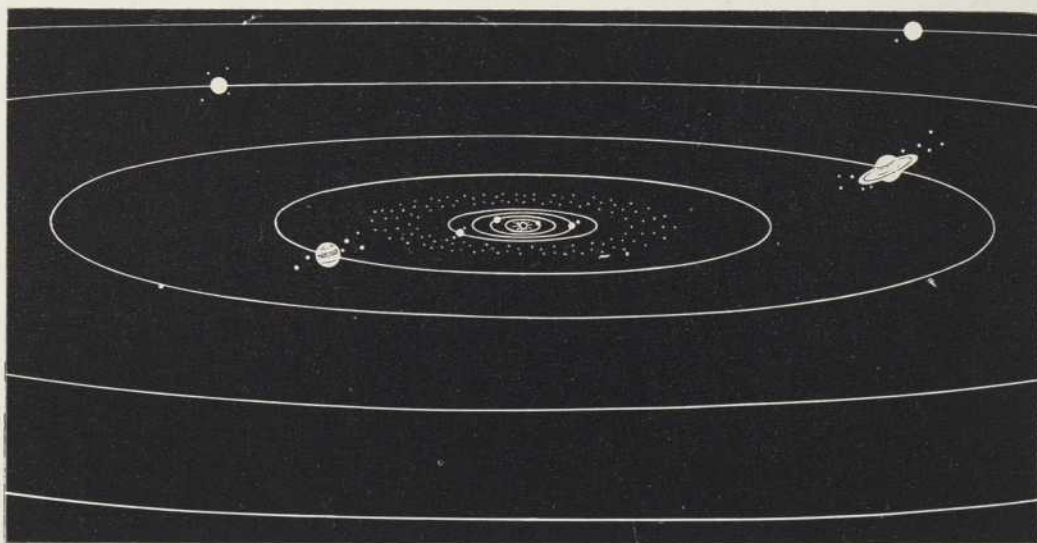


FIG. 28. LES ORBITES PLANÉTAIRES SITUÉES DANS UN MÊME PLAN.

C'est une vue en perspective des planètes (sauf Pluton) dans leur révolution
autour du Soleil. Les plans coïncident presque exactement.

Voici maintenant (fig. 30) les masses relatives, ou pesanteur, de ces corps. Le poids qui domine la figure est celui du Soleil, tandis que la lignée des petits poids représente les planètes. Encore ici, les planètes inférieures le cèdent aux planètes supérieures sous le rapport de la masse. Quant à la masse du Soleil

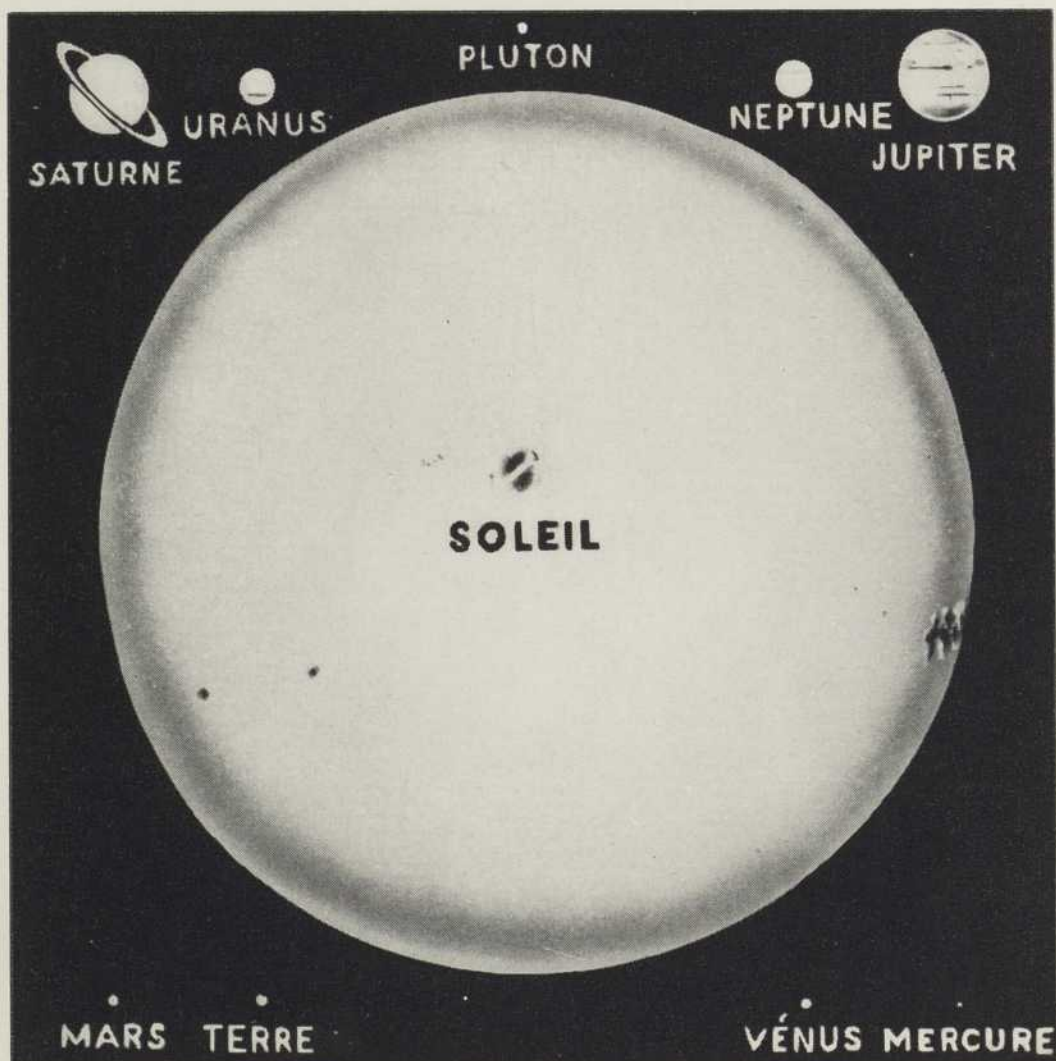


FIG. 29. GRANDEURS RELATIVES DU SOLEIL ET DES PLANÈTES.

Les planètes inférieures, au bas de la figure, sont relativement petites. Des planètes supérieures, au haut de la figure, quatre sont beaucoup plus grosses que les précédentes, mais Pluton, la plus éloignée, est petite. Le Soleil est plusieurs fois plus gros que toutes les planètes réunies.

Dessin de F. S. Smith.

lui-même, elle est si considérable qu'on pourrait en former 746 systèmes planétaires comme le nôtre sans l'épuiser complètement.

Après cette première vue d'ensemble sur la famille du Soleil, essayons d'examiner de plus près chacun de ses membres, en commençant par la Terre.

La Terre

La Terre est une grande sphère d'environ 8000 milles ou 13 000 km de diamètre. Il y a quelque cinq cents ans, on croyait communément qu'elle était plate, et de nos jours encore il n'est pas rare de rencontrer des gens qui soutiennent cet avancé. Toutefois, plusieurs expériences nous conduisent à admettre que la Terre est sphérique de forme.

Sur le rivage de la mer, quand on surveille les navires qui

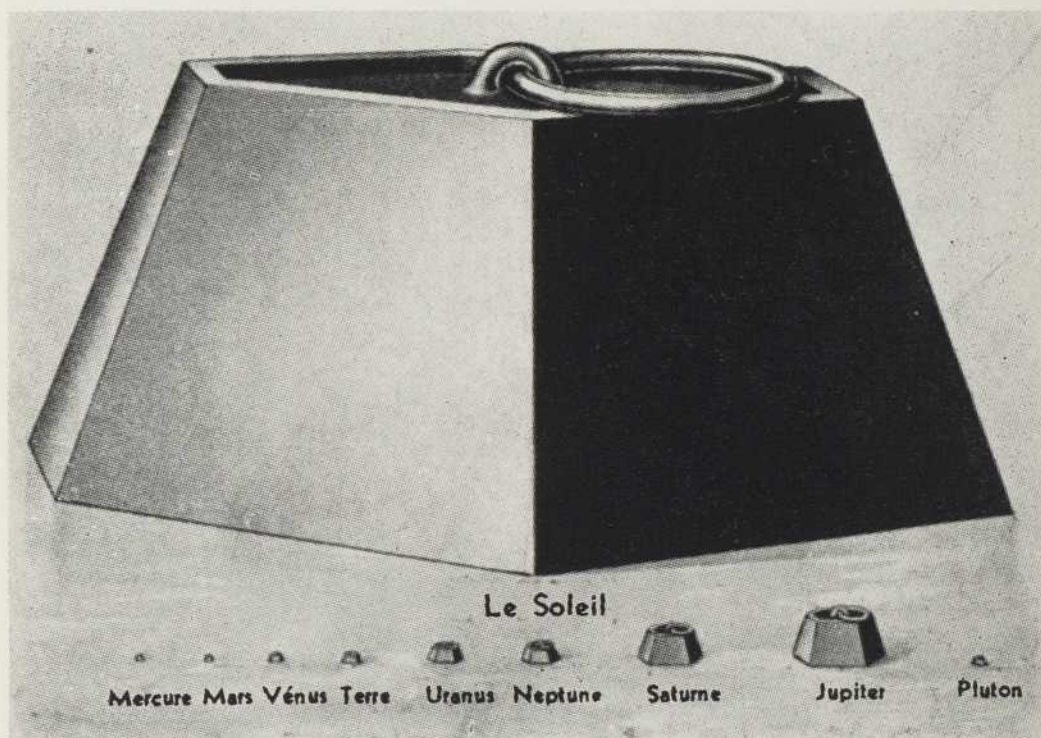


FIG. 30. MASSES RELATIVES DU SOLEIL ET DES PLANÈTES.

Le gros poids, au centre, représente le Soleil; les petits sont les planètes.

Il y a assez de matériaux dans le Soleil pour faire tout près de 750 autres familles de planètes comme la nôtre.

rentrent au port, la première partie qu'on aperçoit est l'extrémité du mat principal. Dans le cas d'un vapeur, c'est la fumée d'abord, puis la cheminée et, finalement, la coque elle-même (fig. 31). C'est précisément ce à quoi il faut s'attendre, si la Terre est ronde. Si elle était plate, nous verrions tout le vaisseau à la fois.

Voici une autre preuve de la rotondité de la Terre. Chaque année, des croisières autour du monde sont organisées par les compagnies maritimes, et les fervents du voyage peuvent, pour quelques centaines de dollars, encercler complètement le globe. Sur la carte de la figure 32, on a tracé un itinéraire qui est fréquemment suivi. Le départ pour le détroit de Gibraltar se

fait soit de Southampton, soit de New-York, avec escale aux Açores. La croisière traverse ensuite la Méditerranée, le canal de Suez, la mer Rouge et l'océan Indien, passe par l'Indo-

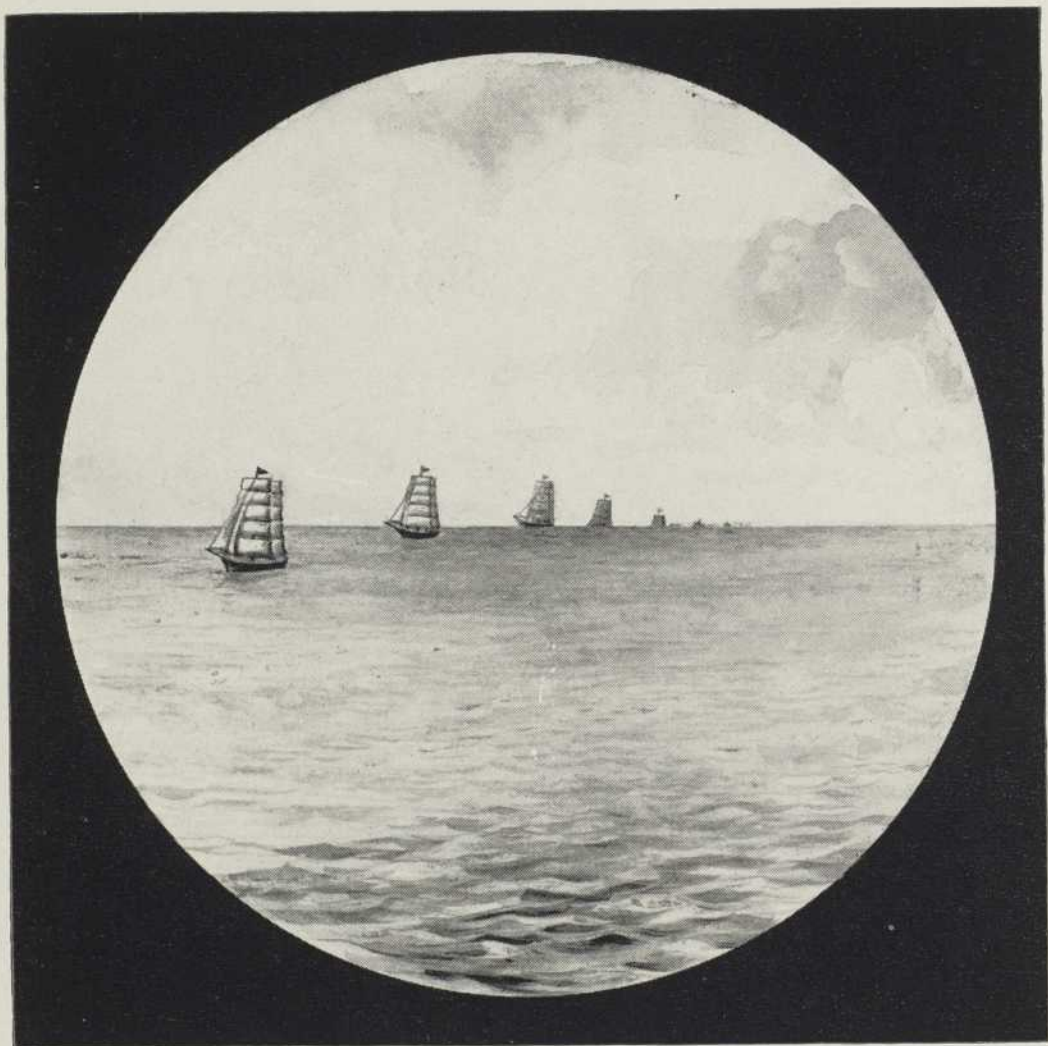


FIG. 31. VAISSEAUX S'APPROCHANT DU PORT.

Lorsqu'un gros navire s'approche, nous voyons d'abord les bouts des mats, puis les voiles et enfin la coque. Si la mer était une étendue plane, on verrait la coque d'abord.

Dessin de F. S. Smith.

chine et le Japon, d'où elle atteint Honolulu et Victoria. Son itinéraire la conduit enfin le long de la côte occidentale de l'Amérique du Nord, puis à travers le canal de Panama, et finalement vers New-York ou Southampton. Un tel voyage requiert normalement quatre mois, mais en utilisant le chemin de fer et l'avion, aussi bien que le transport par voie maritime, ce temps peut être réduit de beaucoup. En effet, en 1938, Hughes a accompli un voyage autour du monde, en suivant

une route un peu différente (15 000 milles, 24 000 km), dans le temps record de trois jours et trois quarts. Actuellement, des services de transport par avion sont en opération régulièrement au-dessus de l'océan Pacifique et de l'océan Atlantique.

L'Étoile Polaire monte à mesure qu'on avance vers le nord

Il s'en trouve sûrement parmi nos lecteurs qui ont voyagé assez loin vers le nord. Ceux-là ont sans doute remarqué que l'Étoile Polaire leur paraissait beaucoup plus haute là-bas que chez eux. De même, les habitants des régions nordiques, qui ont l'habitude de passer l'hiver sur la Côte d'Azur ou en Floride,

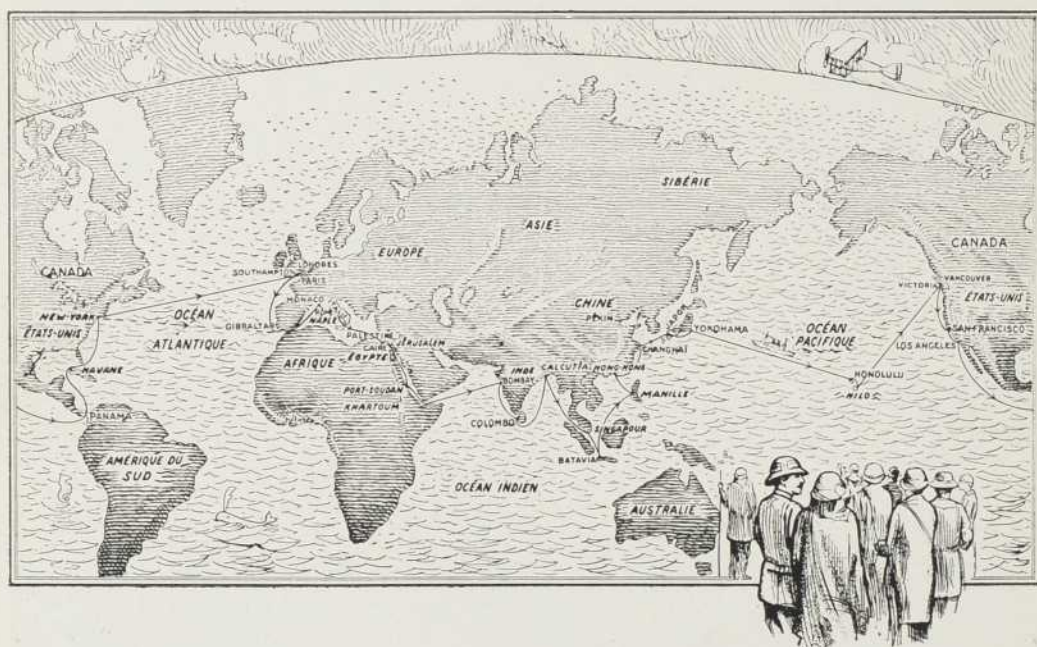


FIG. 32. UNE CROISIÈRE AUTOUR DU MONDE.

Un itinéraire souvent choisi par les voyageurs est tracé sur cette carte. Plusieurs ports mentionnés sont quelquefois omis.

s'aperçoivent qu'elle baisse de façon appréciable dans le ciel. En effet, on a calculé que pour chaque soixante-neuf milles parcourus dans la direction du nord, sur terre ou sur mer, l'Étoile Polaire monte de 1° dans le ciel. Au pôle nord, on verrait cette étoile directement au-dessus de sa tête.

De même, pour chaque étape de soixante-neuf milles parcourus en direction du sud, l'Étoile Polaire baisse de 1° , et à l'équateur elle est tout à fait à l'horizon, dans des conditions difficiles d'observation—si toutefois on peut la voir.

Il résulte de tout ceci que la Terre est en définitive une sphère, autrement il serait impossible d'expliquer le changement de position de la Polaire. Comment imaginer une autre forme qui

rendrait compte du phénomène? Bien plus, les astronomes ont mesuré la Terre avec tellement de précision qu'ils peuvent nous dire avec assurance qu'elle n'est pas parfaitement sphérique, mais légèrement aplatie aux pôles. Le diamètre d'un pôle à l'autre est d'environ vingt-sept milles (43 km) plus court que le diamètre équatorial¹.

Il existe bien d'autres preuves de la rotondité de la Terre. Pour finir, en voici une autre due à la précision des calculs astronomiques. Toutes les circonstances d'une éclipse de Soleil peuvent être calculées plusieurs milliers d'années à l'avance. Les astronomes sont capables de dire à quel instant l'éclipse commencera, à quel instant elle finira, et à quel endroit précis de la Terre il faudra se rendre pour l'observer. Or, dans ces calculs on assume que la Terre est de forme sphérique. S'il n'en était pas ainsi, aucune des prévisions ne se réaliserait.

Comme conclusion, toute personne qui a le moindrement étudié la question ne peut pas ne pas admettre la sphéricité de la Terre.

Nous avons déjà donné (p. 34) les raisons qui nous portent à croire que la Terre pivote sur elle-même; il n'y a pas lieu de nous étendre plus longuement sur le sujet.

¹ Le diamètre équatorial vaut 7926,68 milles (12 754,03 km) et le diamètre polaire 7899,89 milles (12 710,92 km).

CHAPITRE IV

LE SOLEIL ET LA LUNE

Le Soleil—Sa distance à la Terre



VOUS voici rendus à l'étude de notre glorieux Soleil.

Il n'existe aucun corps céleste dont l'importance pour nous puisse se comparer à celle du Soleil. On pourrait se passer de la Lune ou des étoiles, mais si la lumière et la chaleur du Soleil nous étaient subitement retirées, ce serait la mort à brève échéance.

Quelle est la distance du Soleil ?

Vous avez hâte sans doute de savoir comment les astronomes mesurent la distance du Soleil à la Terre. Eh bien ! ils ne procèdent pas autrement que les arpenteurs et les explorateurs pour trouver l'éloignement d'un point inaccessible.

Imaginez que vous êtes sur le bord d'une rivière (fig. 33)¹, et que vous voulez déterminer la distance d'un arbre sur l'autre rive. Vous n'avez pour tout instrument qu'une mesure de longueur, mais il vous est possible d'obtenir une valeur très approchée de cette distance en procédant comme ceci :

Procurez-vous un bout de ficelle, dont vous mesurez cinquante pieds exactement. Enfoncez un piquet dans le sol en A (fig. 33) et un autre en B, à 50 pieds plus loin. Plantez un clou sur chacun, de telle façon que les deux clous soient à 50 pieds l'un de l'autre, c'est-à-dire la longueur de la corde lorsqu'elle est bien tendue. Vous avez ainsi réalisé votre *ligne de base*.

Maintenant, regardant de A vers l'arbre C, vous choisissez la place d'un nouveau piquet D, lequel doit se trouver au moins à quelques pouces de A. Plantez-y encore un clou, de manière que celui-ci soit exactement dans la direction de C. Procédez de la même façon à l'angle B, et vous aurez un nouveau point E, qui se trouvera sur la ligne joignant B et C.

Reliez les clous A et D, de même que les clous B et E, au moyen d'une ficelle bien tendue. Si ces bouts de ficelle étaient

¹ Le 27 septembre 1926, un éboulis dans les montagnes de la Dent-du-Midi, près de St-Maurice, en Suisse, a complètement bloqué le Rhône sur une distance de un demi-mille. La photographie montre le nouveau lit que s'est frayé le cours d'eau. Après plusieurs mois de travail, on a réussi à creuser un canal à travers les amoncellements de pierre et le fleuve a pu reprendre son cours normal.

prolongés jusqu'en C, vous auriez avec la ligne de base les trois côtés du grand triangle CAB.

Connaissant la longueur de la base AB, il s'agit de déterminer celles des côtés AC et BC.

Le truc consiste à tenir une feuille de papier sous les deux ficelles en A et d'y tracer l'angle qu'elles font entre elles. On



FIG. 33. DISTANCE D'UN POINT INACCESSIBLE.

La méthode indiquée permet de trouver la distance d'un point inaccessible sur la rive opposée d'une rivière. Le seul instrument nécessaire est un ruban d'arpenteur.

Photographie tirée de «L'Illustration», Paris.

répète l'opération pour l'angle en B. Avec ces deux angles à la base du triangle CAB, vous avez tout ce qu'il vous faut pour tracer sur une feuille de papier une image réduite du grand triangle.

Tracez d'abord la ligne MN (fig. 34), qui correspond à la ligne AB, et donnez-lui une longueur de six pouces, par exemple. Tracez ensuite l'angle NMO, égal à l'angle BAD, et l'angle MNO, égal à l'angle ABE. Ce dessin doit évidemment être exécuté avec le plus grand soin.

Le petit triangle OMN, ainsi obtenu, est de la même forme que le grand triangle CAB, MO correspondant à AC et NO à BC.

Mesurons avec soin MO et NO, et supposons que ces mesures donnent respectivement 19,2 et 18,6 pouces.

Comme AB mesure 50 pieds, soit exactement 100 fois la longueur MN, qui est de six pouces, il s'ensuit que AC vaut 100 fois MO, soit 1920 pouces ou 160 pieds, et BC 100 fois NO, soit 1860 pouces ou 155 pieds.

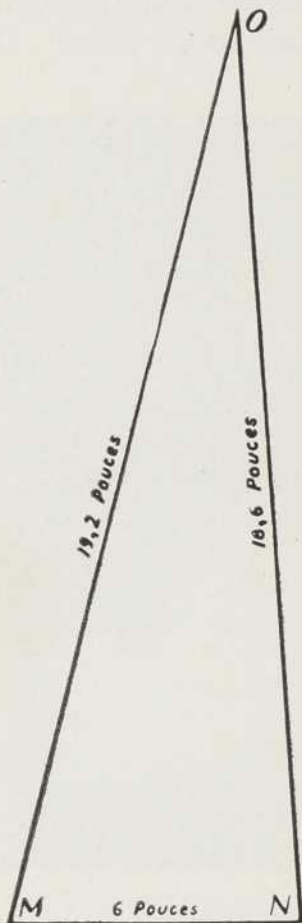


FIG. 34. COMMENT CALCULER LA DISTANCE D'UN POINT INACCESSIBLE.

Ce triangle est exactement semblable à celui de la figure précédente. Si on connaît la longueur du segment AB, on peut en déduire la longueur des deux autres côtés.

thétique tendue entre la Terre et le Soleil, prendrait 175 ans à atteindre son but—la longueur de deux vies humaines au moins!

Évidemment, les arpenteurs font usage d'instruments qui leur permettent de mesurer les angles et les longueurs avec plus d'exactitude. Ils choisissent aussi des lignes de base très longues. Comme résultat, ils parviennent à une extraordinaire précision, les erreurs ne dépassant guère un pouce sur une longueur de dix milles.

L'astronome fait aussi de l'arpentage à sa façon dans le ciel, mais lorsqu'il veut mesurer la distance du Soleil, il se bute à des difficultés énormes. Sa ligne de base qui est le diamètre de la Terre est trop petite, comparée à la distance à mesurer. Mais en employant des instruments de plus en plus perfectionnés et en procédant avec un soin extrême à des mesures souvent répétées, on est finalement arrivé à une valeur très satisfaisante.

La distance de la Terre au Soleil est d'environ 93 millions de milles ou 150 millions de km.

Il est difficile de nous faire une idée exacte d'une distance aussi considérable. Un train lancé sans arrêt à la vitesse de 1 mille par minute, sur une voie ferrée hypo-

Les dimensions du Soleil

Quelle est la grosseur du Soleil?

Dès que nous connaissons la distance du Soleil, il est relativement facile d'en déterminer la grosseur. Peut-être aimeriez-vous connaître la façon dont on procède. La figure 35 nous

montre un garçonnet et une fillette en train de faire une expérience pour trouver le diamètre du Soleil. Le petit garçon tient dans sa main un disque de 1 pied de diamètre, et il essaie de cacher aux yeux de la petite fille le disque entier du Soleil.

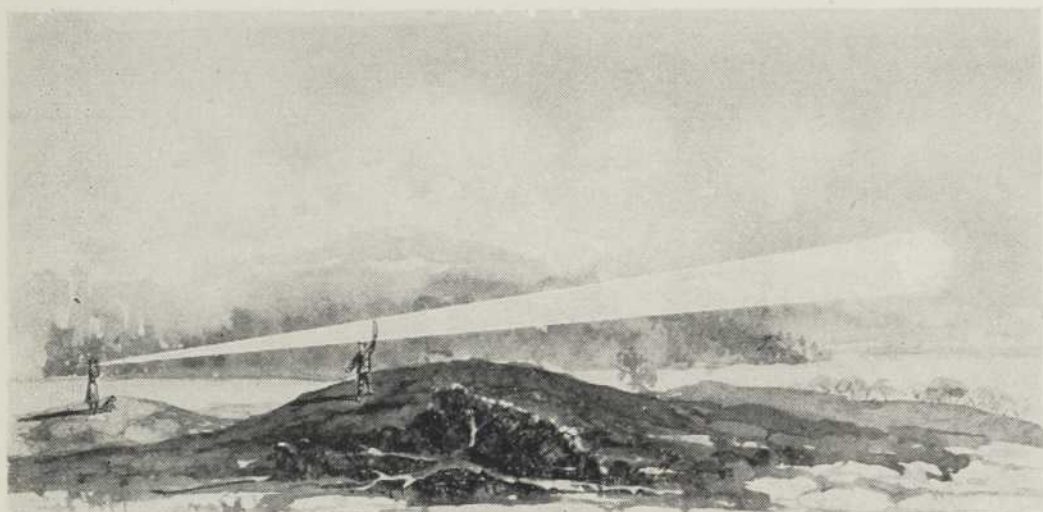


FIG. 35. COMMENT DÉTERMINER LE DIAMÈTRE DU SOLEIL.

Le garçon tient au-dessus de sa tête un disque de 1 pied de diamètre, à une distance telle qu'il cache le Soleil à la petite fille. Si l'on connaît la distance entre le garçonnet et la fillette, de même que la distance Terre-Soleil, il est facile d'établir une relation entre le diamètre du Soleil et celui du disque.

Dessin de F. S. Smith.

D'abord, il se tient près d'elle et l'écran intercepte tout le Soleil et en même temps une grande partie du ciel. Le petit garçon s'éloigne graduellement, jusqu'au moment où le Soleil est tout juste éclipsé. Il mesure alors la distance qui le sépare de la fillette et il trouve 107 pieds.

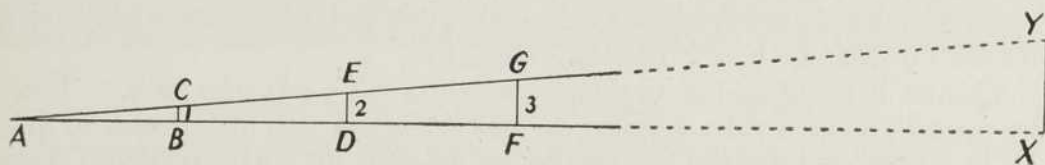


FIG. 36. DIAGRAMME MONTRANT COMMENT CALCULER LE DIAMÈTRE DU SOLEIL.

Ici, AB représente la distance entre le petit garçon et la petite fille; AX la distance du Soleil.

Jetons maintenant un coup d'œil sur le diagramme de la figure 36. A représente l'œil de la petite fille et XY, le Soleil. BC est le disque qui se trouve à 107 pieds de A et qui cache complètement le Soleil. Il est évident que si le Soleil se trouvait en DE, c'est-à-dire à deux fois 107 pieds de A, le diamètre du Soleil serait alors égal à deux fois celui de l'obturateur, soit

deux pieds. De même, s'il se trouvait à trois fois 107 pieds—en GF, par exemple—il mesurerait trois pieds, et ainsi de suite. Donc, autant de fois 107 pieds sont contenus dans la distance du Soleil, autant de fois le diamètre du Soleil surpasse celui de l'écran. Si nous divisons 93 millions de milles, exprimés en pieds, par 107, nous obtenons 4589 millions. Ceci veut dire que le diamètre du Soleil vaut 4589 millions de pieds, ou 866 000 milles, soit 1 393 000 km.

Le diamètre de la Terre, avons-nous dit, est de 7918 milles. Par simple division, nous constatons que le diamètre du Soleil est presque 110 fois plus considérable.

Le Soleil, comparé à la Terre, est un globe énorme. Si l'on représente le Soleil par un ballon de football, la Terre devient, à la même échelle, grosse comme un pois!

La largeur de la plupart des rues de nos villes modernes est de 66 pieds (21,5 m). Supposons que le Soleil est représenté par une grosse sphère de 66 pieds de diamètre, remplissant tout un carrefour, alors la Terre serait une petite boule de 7 pouces de diamètre (19 cm)—celui d'un tuyau de poêle—placée à un mille et tiers de distance (2,14 km).

Taches solaires et facules

Si l'on regarde le Soleil à l'œil nu (à travers un verre fumé, bien entendu), on ne voit qu'un grand disque brillant, mais l'observation à l'oculaire du plus petit télescope révèle une quantité de détails intéressants. Voici une photographie du Soleil (fig. 37). On y remarque de petites étendues sombres, de diverses formes, qu'on appelle *taches solaires*. Le centre de ces taches est plus sombre que le pourtour; elles se présentent, soit groupées, soit isolées. Il arrive parfois que les taches soient si vastes qu'elles pourraient englober plusieurs terres comme la nôtre toutes ensemble.

Quant à la cause de ces taches, nous n'en savons rien. Tout le monde a entendu parler de ces volcans qui crachent le feu et la cendre; l'écorce terrestre se fissure et livre passage à la matière fondue venant de l'intérieur de la Terre. Peut-être en est-il de même pour le Soleil. Les couches supérieures s'affaiblissent à certains endroits et finissent par céder sous la pression de la matière interne à haute température. Cette matière explose et est lancée à des hauteurs considérables au-dessus de la surface du Soleil.

On remarquera sur la photographie que les rebords du disque sont plus sombres que le reste. Ceci prouve qu'il existe une atmosphère quelconque autour du Soleil. Si vous vous rappelez, le Soleil est une immense sphère, et ce qu'on appelle «re-

bord» n'est rien d'autre que la partie qui fuit tangentielllement, à cause de la courbure. La lumière provenant de ces régions doit traverser une plus grande épaisseur de l'atmosphère solaire

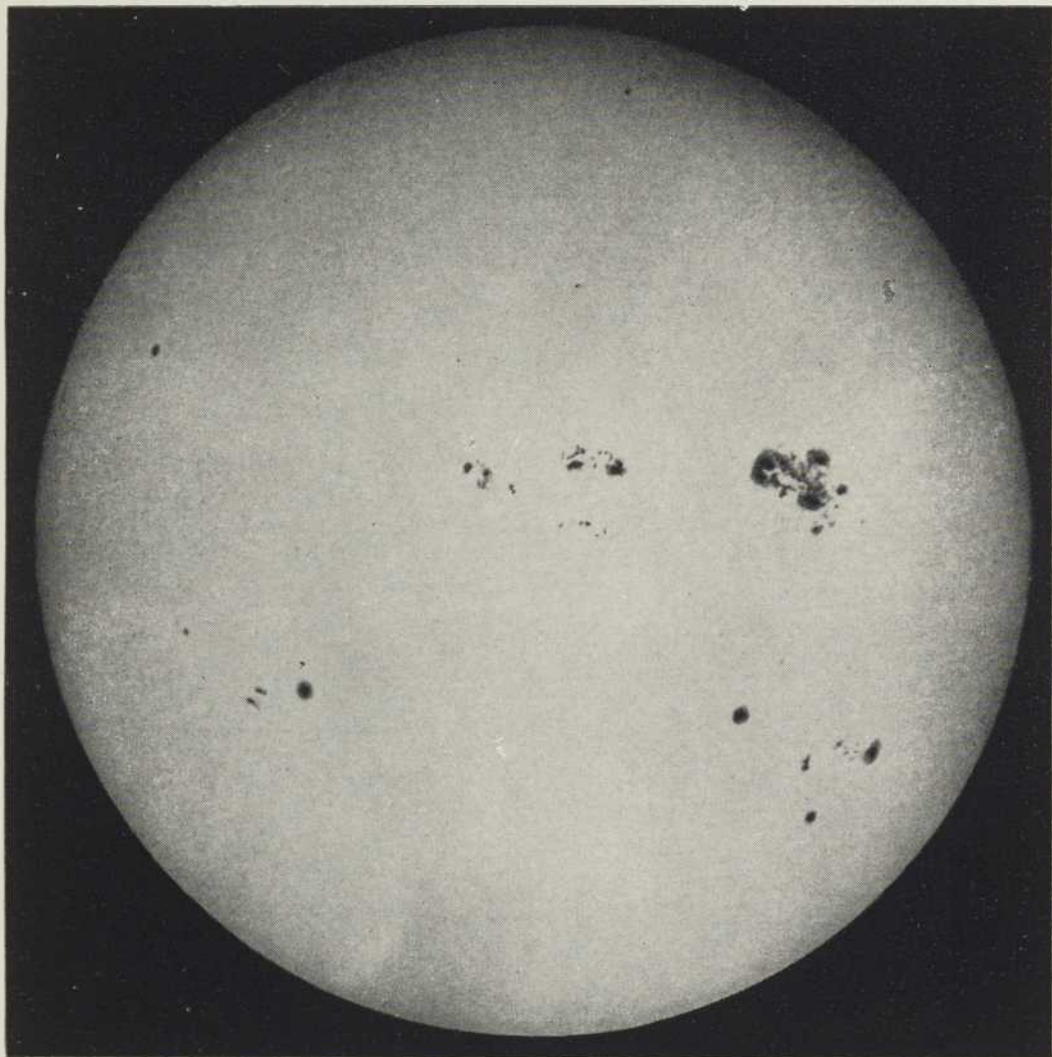


FIG. 37. LE SOLEIL, AVEC SES TACHES ET SES FACULES.

À remarquer l'immense groupe de taches, mesurant plus de 125 000 milles (200 000 km) de long, et les nombreuses taches isolées. Les facules sont les régions blanchâtres à proximité des taches. Elles sont plus facilement visibles en bordure du disque, où l'intensité lumineuse est beaucoup moins forte qu'au centre.

Photo: observatoire du Mont Wilson (tour solaire de 60 pieds).

que celle du centre; par suite, un plus fort pourcentage y est absorbé. C'est pour cette raison que le bord du disque paraît plus sombre.

En étudiant la photographie attentivement, on remarque encore des plages brillantes autour des groupes de taches qui sont près du rebord: ce sont les *facules* (du mot latin *facula*,

qui signifie «petit flambeau»). Ces tourbillonnements de flamme, dont les sommets percent à travers l'atmosphère absorbante, ressemblent à nos montagnes terrestres s'élevant au-dessus des nuages.

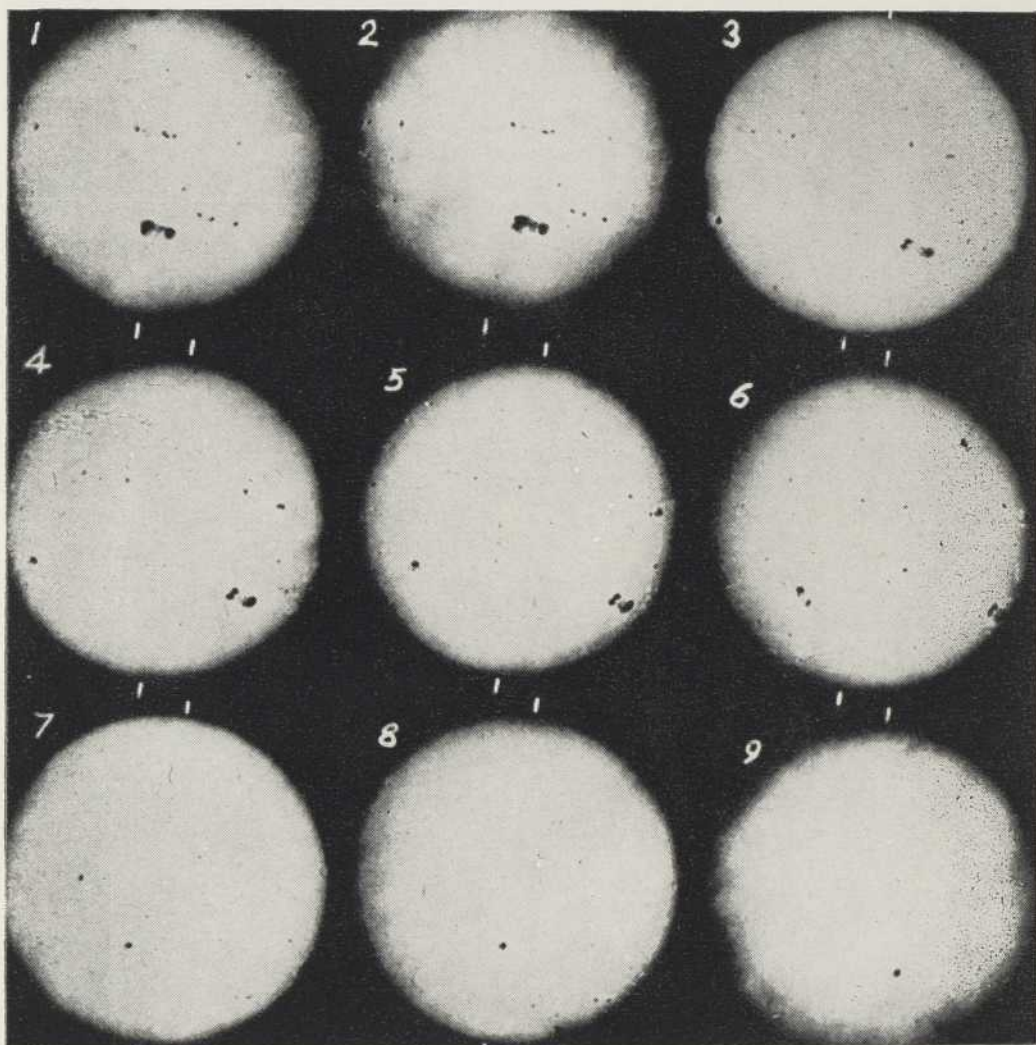


FIG. 38. PHOTOGRAPHIES DU SOLEIL, NEUF JOURS CONSÉCUTIFS.

En comparant la position des taches, d'un jour à l'autre, on constate que le Soleil est en rotation. Le déplacement des taches permet d'en déterminer la période, qui est d'environ 25 jours. Ces photographies furent prises du 6 au 14 août 1893, alors que l'activité solaire était très forte.

Photographies prises à l'observatoire Lick.

Le Soleil tourne sur un axe

La figure 38 nous montre neuf photographies prises à des jours successifs. À remarquer, l'immense groupe de taches de la première photographie, celle du 6 août. Nous savons que le diamètre du Soleil est de 866 000 milles (1 393 000 km). L'étendue de ce groupe semble être le dixième du diamètre

solaire, d'où l'on conclut qu'il mesure environ 86 000 milles de long (139 000 km). Il est assez vaste pour être aperçu à l'œil nu. Toutefois, on en a observé de plus grands encore.

Sur la deuxième photographie, ce groupe de taches se trouve plus à droite, et si l'on examine sa position sur les photographies suivantes, on constate qu'il avance sans cesse. La photographie no 7, prise le 12 août, en laisse voir une faible partie encore. Le lendemain, cependant, il est complètement disparu. Les autres taches se comportent de la même manière.

Comment expliquer tout cela ? Nous répondrons sans hésiter que le phénomène est dû à ce que le Soleil tourne sur un axe. En observant les taches, on peut connaître la position de cet axe et déterminer le temps que le Soleil met à faire un tour complet sur lui-même. Cette période de rotation a été estimée à vingt-cinq jours environ.

La masse du Soleil

Supposons un instant qu'on prenne toute la matière dont est constitué le Soleil pour en former des globes semblables au nôtre. D'après vous, combien de terres cela ferait-il ? Pas moins de 332 000. La masse du Soleil est donc 332 000 fois supérieure à celle de la Terre. Voir de nouveau la figure 30.

Il faut noter, par ailleurs, qu'un pied cube du Soleil ne pèse pas autant qu'un pied cube de la Terre. En effet, un pied cube d'eau pèse $62\frac{1}{2}$ livres; un pied cube du Soleil, 1,4 fois cette quantité, soit $87\frac{1}{2}$ livres; tandis qu'un pied cube de la Terre pèse en moyenne 5,5 fois plus, c'est-à-dire 341 livres.

Taches solaires, aurores boréales et tempêtes magnétiques

D'autres phénomènes remarquables ont été découverts ayant rapport au Soleil. C'est ainsi qu'on a constaté, que les taches solaires sont plus nombreuses à certaines époques qu'à d'autres. Durant de longs mois—comme ce fut le cas en 1943-44—on peut à peine en voir une de temps à autre. Ensuite, les taches commencent à se montrer plus souvent et, environ cinq ans après le minimum, l'apparition des taches est si fréquente que rares sont les jours où la face du Soleil en soit à peu près libre. À la suite d'un maximum, les taches diminuent graduellement et finissent par disparaître à peu près complètement. Ce cycle d'activité se répète environ neuf fois en l'espace de cent ans.

Pendant que les taches se manifestent à la surface du Soleil, des phénomènes étranges se produisent sur la Terre. Lorsque les taches sont nombreuses, la boussole magnétique est affolée; on dit alors qu'il y a *tempête magnétique*. De plus, au cours de

la nuit, les aurores boréales sont observées en plus grand nombre et sont plus brillantes que jamais. Pourquoi tous ces phénomènes, qui semblent de nature si différente, se produisent-ils en même temps? Nous n'en savons rien; c'est encore un grand mystère.

Photosphère, chromosphère, protubérances

La face brillante du Soleil que nous voyons est appelée *photosphère*. Elle est tellement éblouissante qu'elle empêche de voir les objets célestes dans le voisinage du Soleil, tout



FIG. 39. UNE PROTUBÉRANCE SOLAIRE—L'«HÉLIOSAURE».

Cette étrange protubérance fut visible pendant l'éclipse totale du 8 juin 1918; aux États-Unis, la région de totalité s'étendit de l'état de Washington à la Floride. Cette photographie fut prise à Green River, Wyoming. En haut, à gauche, la Terre à la même échelle.

Cliché fourni par l'expédition de l'observatoire Yerkes.

comme les phares d'une automobile nous aveuglent sur la route. Existe-t-il une autre couche superposée à la photosphère et invisible, à cause de l'éblouissement de celle-ci? Le spectroscope nous dit que oui, parce qu'il permet d'explorer le bord du disque solaire et d'y découvrir quelques régions nouvelles appartenant à l'astre. Nous reviendrons sur la question du spectroscope au Chapitre XII.

La couche, ou enveloppe, qui entoure la photosphère, est appelée *chromosphère*, et c'est de cette partie que s'échappent les *protubérances*. Composées surtout de gaz hydrogène et de vapeur de calcium, les protubérances sont ordinairement de couleur cramoisie. Elles prennent les formes les plus fantastiques. Quelques-unes changent très peu dans l'espace d'une semaine; d'autres accusent des mouvements rapides. La figure 39 nous montre une protubérance qui a été photographiée le 8 juin 1918. On dirait un monstre préhistorique lançant des flammes par le naseau. Cette forme a suggéré à un astro-

nome artiste le croquis de la figure 40 et elle a reçu le nom d'«héliosaure», ce qui signifie «lézard solaire». Le cercle à gauche, sur la figure 39, représente la Terre à la même échelle que la protubérance.

Sept photographies de la même protubérance ont été prises le 8 octobre 1920 (voir fig. 41). Dans la première, à 9 h. 32 du matin, elle atteint 75 000 milles de hauteur; dans la dernière, à 1 h. 54 de l'après-midi, une partie détachée monte à une alti-

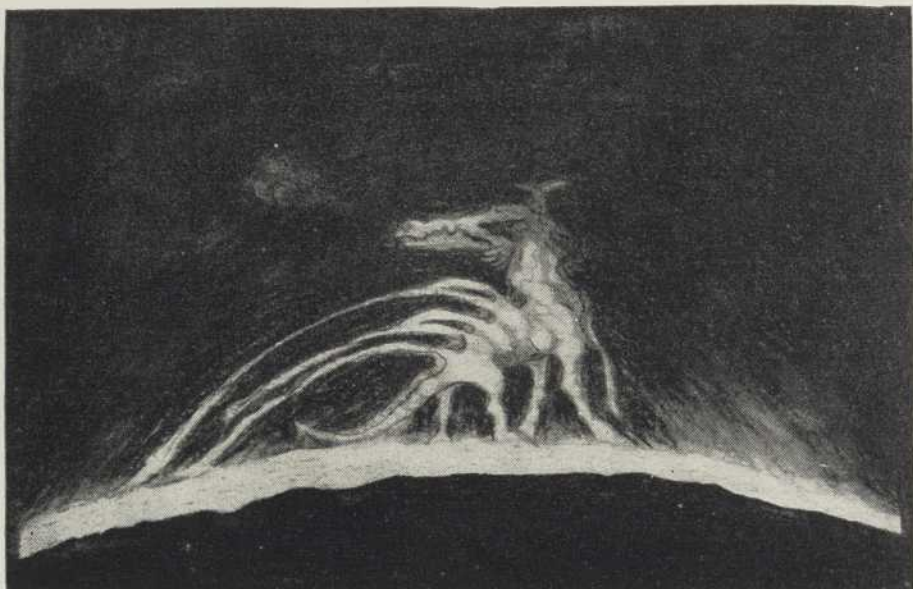


FIG. 40. UN DESSIN DE L'«HÉLIOSAURE».

La forme de la protubérance visible sur la figure 39 a suggéré ce croquis. C'est un monstre farouche rappelant les dinosaures des temps préhistoriques. Son nom signifie «lézard solaire».

Dessin de R. E. De Lury.

tude de 300 000 milles; et, quarante minutes plus tard, elle était rendue à 517 000 milles. Mais ce n'est pas un record; on a déjà enregistré des protubérances de 1 million de milles de hauteur (un million et demi de km). À l'aide d'un appareil spécial de prise de vues animées, on peut cinématographier ces phénomènes d'un rare intérêt.

Les protubérances peuvent être vues à l'œil nu durant les éclipses totales de Soleil. Dans de telles circonstances, la Lune vient intercepter complètement la lumière provenant de la photosphère, ce qui permet d'apercevoir facilement les couches plus sombres qui entourent la sphère du Soleil.

La couronne solaire

Le mécanisme d'une éclipse de Soleil est décrit à la figure 42. Voici encore nos jeunes voyageurs de l'espace qui assistent à une éclipse de Soleil du point de vue que leur offre une planète

voisine. Le mince cône d'ombre que la Lune traîne avec elle touche la Terre. Comme la Lune avance sur son orbite (sur le dessin, la Lune est censée se déplacer vers le lecteur), le cercle d'ombre progresse sur le sol, et la région ainsi affectée s'appelle

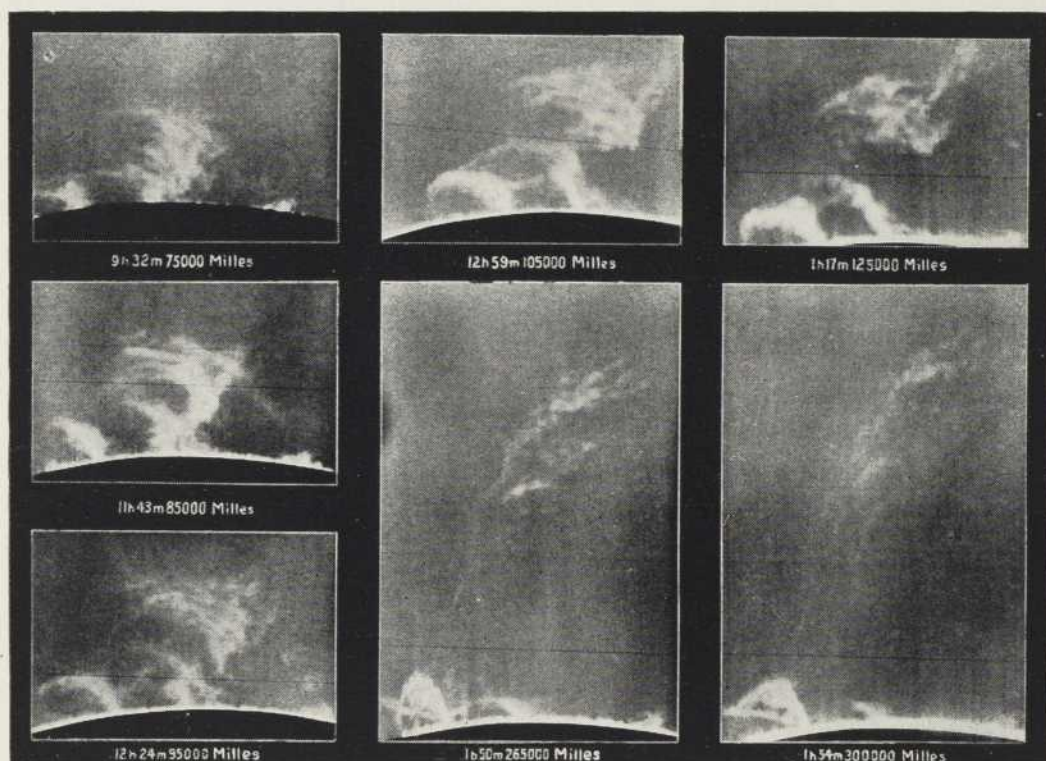


FIG. 41. SEPT PHOTOGRAPHIES DE LA GRANDE PROTUBÉRANCE DU 8 OCTOBRE 1920.

Cette remarquable protubérance a pris les formes les plus bizarres, dont l'une rappelle grossièrement un chien. Elle fut baptisée le «Chien du Soleil». La Terre est représentée à la même échelle, dans le coin supérieur, à gauche, sur la première photographie.

Photographie prise par Pettit, à l'observatoire Yerkes.

la bande de totalité. Un observateur placé à l'intérieur de cette bande perd de vue le Soleil tout le temps que dure le passage de l'ombre—ordinairement de deux à trois minutes.

C'est alors qu'on peut voir, en plus des protubérances, une sorte de hâlo d'un blanc perlé, entourant le Soleil éclipsé. Ces jets lumineux forment ce qu'on appelle la *couronne* solaire et constituent l'un des spectacles les plus impressionnants que nous offre la voûte céleste. La figure 43 montre la couronne solaire telle que photographiée par l'expédition canadienne installée sur la côte nord-ouest de l'Australie, à l'occasion de l'éclipse du 21 septembre 1922. Le disque obscur qu'on voit est celui de la Lune; le Soleil proprement dit est exactement derrière, caché à notre vue.

La couronne présente des aspects différents selon l'importance de la surface tachée du Soleil. Aux époques de maximum, elle semble rayonner de toutes parts; par contre, lorsque les taches sont rares, on observe des renforcements de la couronne à l'équateur solaire, tandis que les régions polaires en sont à peu



FIG. 42. COMMENT SE PRODUIT UNE ÉCLIPSE DE SOLEIL.

Nos deux jeunes voyageurs observent, d'une autre planète sans doute, le phénomène d'une éclipse de Soleil. Puisque la Lune tourne autour de la Terre (en direction du lecteur), son ombre décrit un mince trait sur la Terre.

Si un observateur se trouve sur ce trajet, le Soleil lui est complètement caché par la Lune, durant le passage de l'ombre.

Dessin d'Henrietta M. Hopper.

près libres. Souvent, ces excroissances équatoriales s'étalent à des distances équivalentes à deux ou trois diamètres solaires, soit de $1\frac{1}{2}$ à $2\frac{1}{2}$ millions de milles.

Quel serait l'aspect du Soleil si nous pouvions voir en même temps la photosphère, la chromosphère et la couronne? Les dessins des figures 44 et 45 en donnent une bonne idée. Le



FIG. 43. LA COURONNE SOLAIRE, LE 21 SEPTEMBRE 1922.

Cette photographie est due à l'expédition canadienne envoyée en Australie pour y observer l'éclipse. Le poste d'observation était situé à Wallal, à 20° de latitude sud, sur la côte nord-ouest de l'Australie.

premier nous fait voir les parties constituantes du Soleil au cours d'un minimum de taches; le second, au cours d'un maximum. À remarquer l'aspect différent de la couronne dans les deux cas.

Le culte des Anciens pour le Soleil

Il n'est pas surprenant que les Anciens aient professé un véritable culte pour le Soleil, si l'on songe que l'astre du jour est une source de lumière et de chaleur essentielles à l'existence

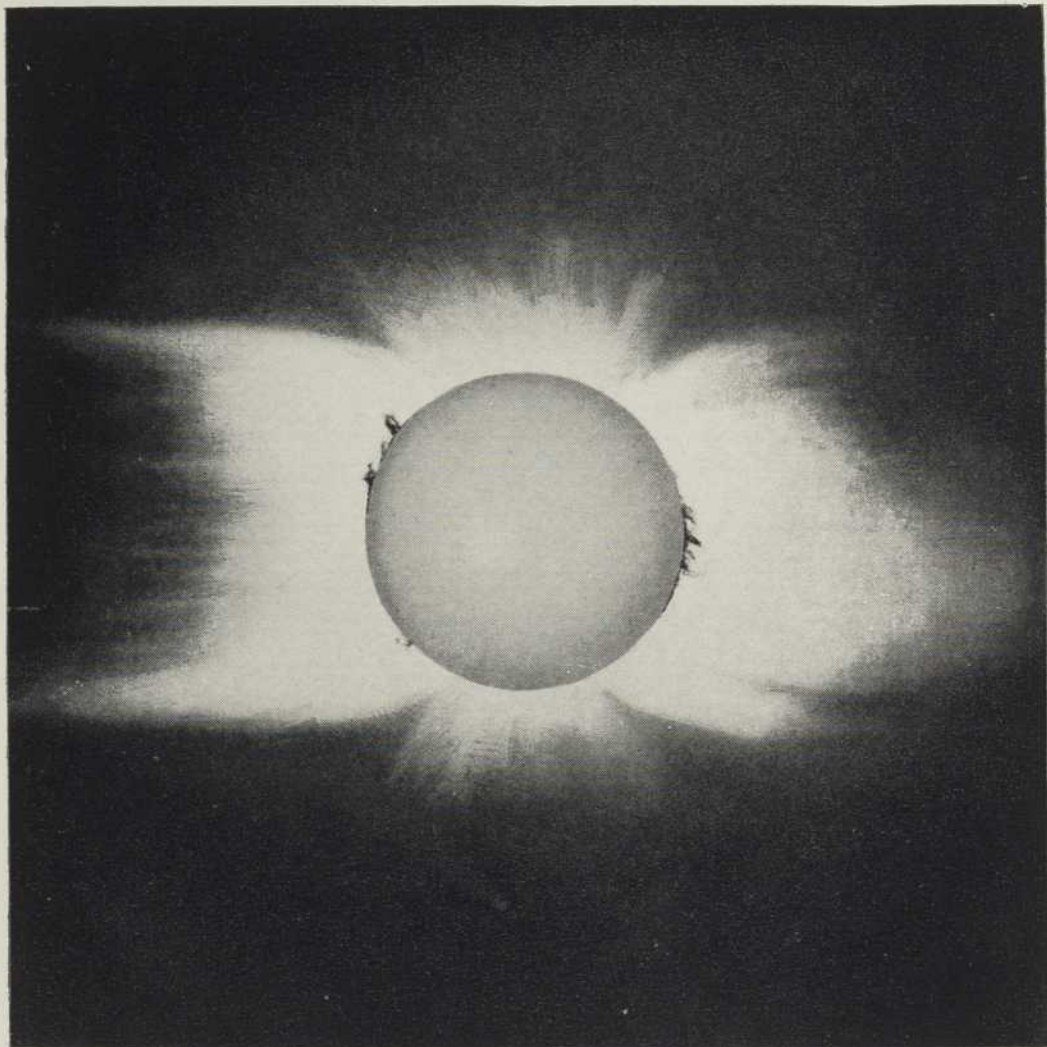


FIG. 44. LA PHOTOSPHERE, LES PROTUBÉRANCES ET LA COURONNE DU SOLEIL, LORS D'UN MINIMUM D'ACTIVITÉ DES TACHES SOLAIRES.

Ce dessin composite serait l'aspect du Soleil, si les protubérances et la couronne pouvaient être vues en même temps que la photosphère. Le tout varie considérablement suivant le nombre de taches solaires. Ce dessin correspond à un minimum. À remarquer les rayons issus de la couronne: ils s'étendent vis-à-vis la région équatoriale à plus de un million de milles de distance dans l'espace. On distingue aussi quelques rares protubérances.

Les photographies de la couronne et des protubérances furent prises par l'expédition de l'observatoire Lick, qui se trouvait en Georgie, le 28 mai 1900. Une photographie de la photosphère, prise le même jour, a été fournie par l'observatoire Royal, à Greenwich.

Dessin de F. S. Smith, d'après des photographies.

de tout être vivant. Les Égyptiens, entre autres, honoraient le Soleil avec une ferveur particulière. Dans leur mythologie,

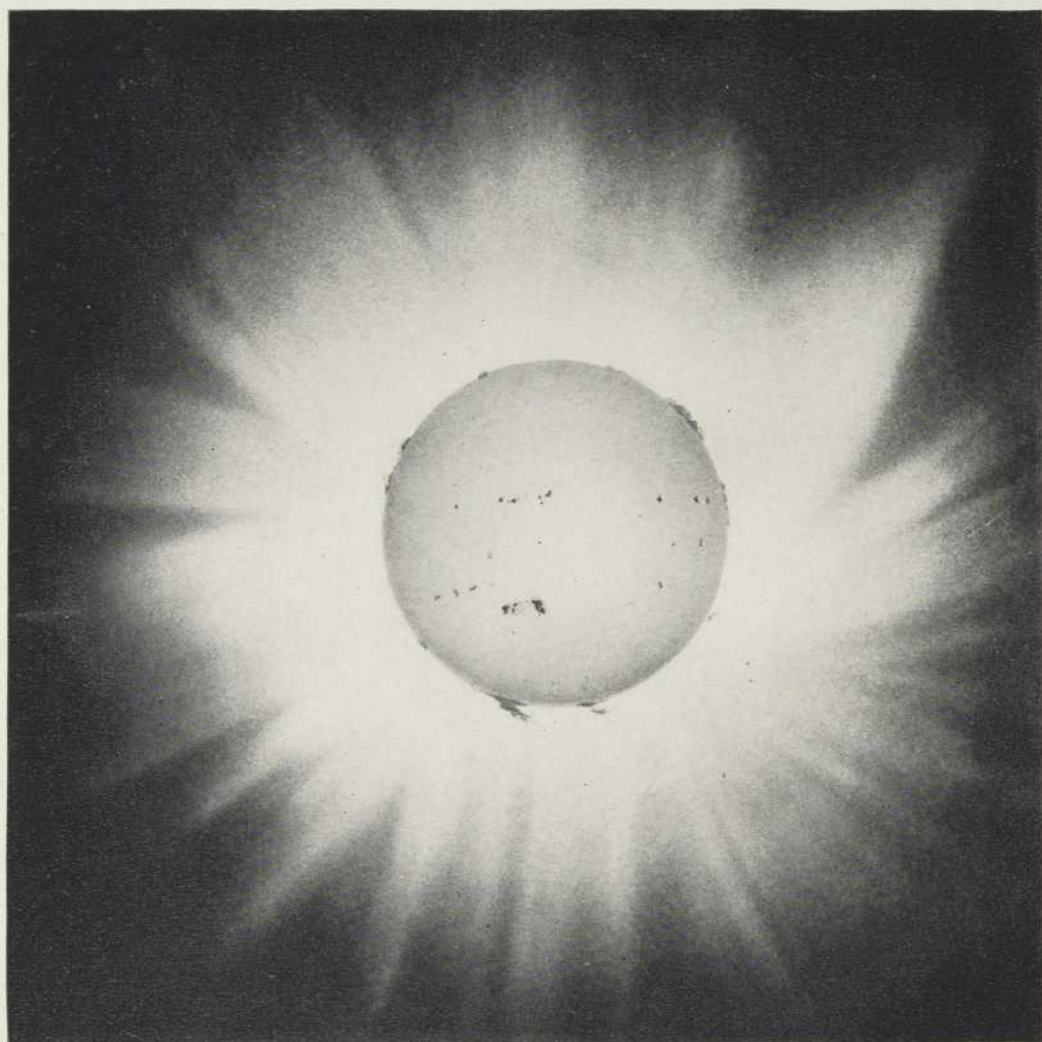


FIG. 45. LA PHOTOSPHÈRE, LES PROTUBÉRANCES ET LA COURONNE DU SOLEIL, LORS D'UN MAXIMUM DE TACHES SOLAIRES.

C'est un dessin composite analogue à celui de la figure précédente, mais il montre l'aspect du Soleil quand les taches sont nombreuses. À l'époque en question, les jets de la couronne sont répartis uniformément sur toute la surface solaire; on note aussi plusieurs protubérances.

Les photographies de la couronne et des protubérances sont celles de l'expédition de l'observatoire Lick, au Chili, le 16 avril 1893. La photosphère provient d'une photographie prise à l'observatoire Lick, le 9 août 1893.

Dessin de F. S. Smith, d'après des photographies.

on trouve pas moins de deux mille divinités, dont le chef est Râ, le dieu-soleil. Les vieux monuments conservent encore différentes représentations de ce dieu; la figure 46 en est une. C'est un corps humain affublé d'une tête d'épervier. Cet oiseau au vol bizarre est doué d'un pouvoir fascinateur. Tantôt, rapide comme l'éclair, il s'engouffre verticalement dans l'espace,

tantôt il plane majestueusement dans les hauteurs du ciel. On le considérait comme un oiseau sacré et on l'avait naturellement associé au Soleil.

Sur sa tête (fig. 46), Râ porte le disque solaire, entouré de l'*uræus* ou aspic—signe de la royauté chez les anciens Égyptiens. Dans sa main droite, il tient l'*ankh*, signe de la vie, et dans sa gauche, le sceptre, symbole de la puissance. Au-dessus de ces figures, apparaît le nom du dieu en hiéroglyphe, ou écriture imagée. Le cercle avec un point au centre (☉) est un symbole encore employé de nos jours par les astronomes pour représenter le Soleil.

De quoi est fait le Soleil ?

Le Soleil est placé bien loin de notre Terre; pourtant les astronomes ont trouvé de quelles substances il est composé. Ils y sont parvenus à l'aide du spectroscope, ce merveilleux instrument dont nous avons déjà parlé (p. 68); voir aussi le Chapitre XII.

De quelles substances, croyez-vous, le Soleil est-il fait? De rien d'autre que le fer, le cuivre, le zinc, le sodium, le calcium, l'hydrogène, etc., toutes substances présentes sur la Terre.

N'est-ce pas étonnant? Le Soleil et la Terre sont constitués des mêmes matériaux! Il n'y a pas de doute qu'à une époque très reculée, ils faisaient tous deux partie d'une seule et même masse.

La Lune—sa distance et sa grosseur

Lorsqu'on compare le Soleil et la Lune dans le ciel, ils ne nous paraissent pas plus gros l'un que l'autre, et l'on est bien loin de penser que le diamètre du Soleil est en réalité 400 fois plus grand que celui de la Lune. Ceci s'explique par le fait que le Soleil est 400 fois plus loin.

La distance moyenne de la Lune à la Terre est de 239 000 milles ou 386 000 km. C'est très peu en comparaison des distances qui font d'ordinaire l'objet des investigations astronomiques. Un mécanicien de locomotive qui accomplit six fois par semaine le trajet Montréal-Toronto (330 milles ou 530 km), a parcouru au bout de deux ans la distance qui nous sépare de la Lune. Mais pour se rendre au Soleil, il lui faudrait voyager ainsi pendant 800 ans.



FIG. 46. RÂ, le DIEU DU SOLEIL, CHEZ LES ÉGYPTIENS.

Des représentations de Râ, le grand dieu du Soleil, ont été trouvées sur plusieurs monuments et temples de l'ancienne Égypte.

Le diamètre de la Lune est de 2160 milles (3480 km), soit un peu plus que le quart de celui de la Terre. Il y a assez de matériaux dans la Terre pour constituer 81 lunes. Les grandeurs relatives de la Terre et de la Lune sont montrées à la figure 47.

Les phases de la Lune

Comme nous l'avons vu antérieurement (p. 36), la Lune tourne autour de la Terre. On se rappelle aussi que c'est un corps obscur par lui-même et qu'il ne peut être aperçu que si

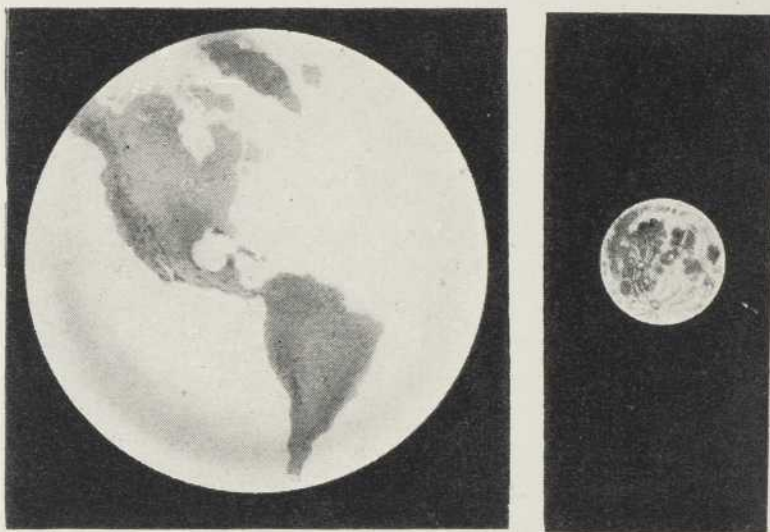


FIG. 47. DIMENSIONS RELATIVES DE LA TERRE ET DE LA LUNE.

Les diamètres sont respectivement de 7918 et de 2160 milles, soit dans le rapport de 100:27.

le Soleil l'éclaire. Ces deux constatations nous aideront à comprendre le mécanisme des phases lunaires, dont voici une courte explication.

La figure 48 représente la Lune à différentes positions sur son orbite. Le Soleil est supposé très loin, à droite. Ses rayons tombent sur la Lune, dont ils illuminent toute une moitié, comme c'est d'ailleurs le cas pour la Terre ou les autres corps sphériques.

La Lune tourne autour de la Terre dans la direction indiquée par les flèches. Lorsqu'elle est en A, en ligne avec la Terre et le Soleil, la face éclairée de la Lune est tournée à l'opposé de nous et totalement invisible. Dans cette position, la Lune est dite *nouvelle*.

Trois jours après environ, la Lune atteint la position B. De la Terre, on peut maintenant apercevoir une portion de l'hémi-

sphère illuminé, sous la forme d'un croissant. On dit que la Lune est alors âgée de trois jours.

Environ quatre jours s'écoulent, et la Lune atteint la position C. De la Terre, on voit maintenant une moitié de l'hémisphère qui reçoit les rayons du Soleil. La Lune a parcouru le

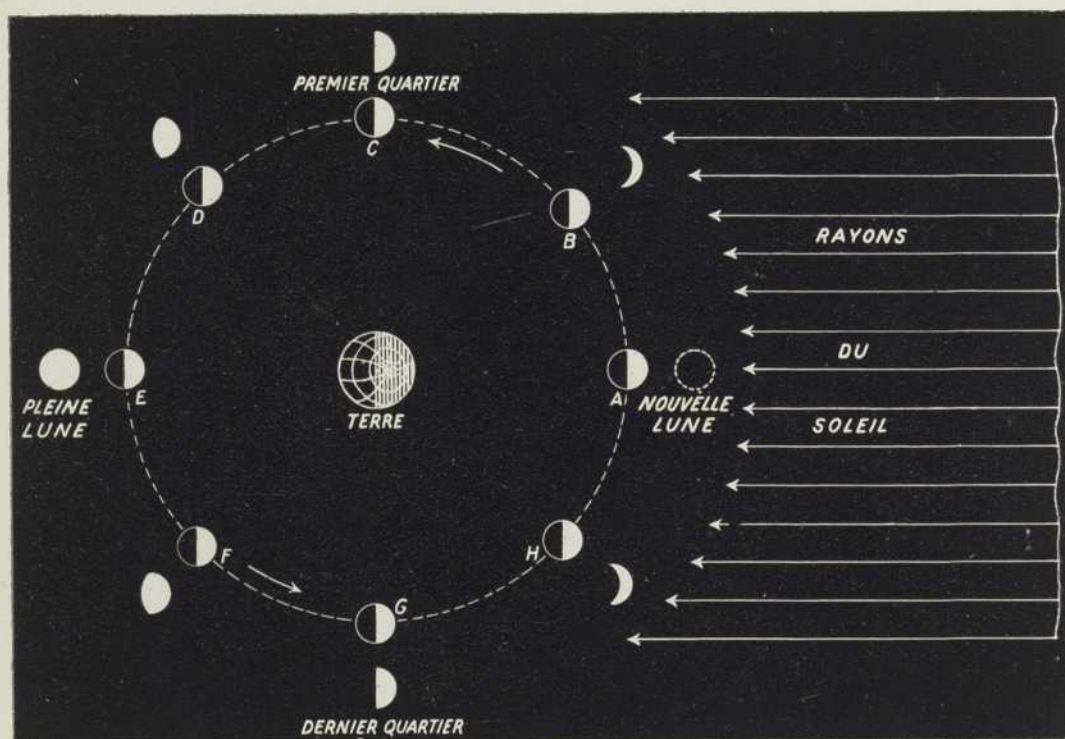


FIG. 48. MÉCANISME DES PHASES DE LA LUNE.

Le Soleil est loin, à droite. Ses rayons éclairent en tout temps la moitié de la surface lunaire, dont nous voyons des portions variables au cours d'une révolution autour de la Terre. En A, nous ne voyons rien de l'hémisphère éclairé, alors qu'en E, on le distingue au complet; en C et en G, on n'en voit que la moitié.

quart de son orbite, si l'on compte à partir du moment où elle était nouvelle. On dit qu'elle est à son *premier quartier*.

Vers le dixième jour, en D, par exemple, elle est de forme *gibbeuse*, elle renfle. Deux semaines environ après la nouvelle lune, on la trouve en position E. De la Terre, nous voyons tout l'hémisphère éclairé, c'est la *pleine lune*. Quand la Lune est à cette phase, elle se trouve sur la même ligne qui joint la Terre et le Soleil, mais dans la direction opposée à celui-ci. Au moment où le Soleil disparaît à l'ouest, la Lune se lève à l'est et passe, cette nuit-là, au méridien à minuit.

Une semaine plus tard, la Lune est en G. Sa forme est de nouveau hémicirculaire: c'est le *troisième* ou *dernier quartier*.

Au bout d'une autre semaine encore, c'est-à-dire un mois environ à partir du début, la Lune arrive en A, son point de départ, et elle est *nouvelle* encore. Le cycle complet des phases s'accomplit en vingt-neuf jours et demi.

Au moment précis où elle se renouvelle, la Lune n'est pas visible du tout. Il faut attendre deux jours environ avant que



FIG. 49. LA PLEINE LUNE VUE À L'ŒIL NU.

La figure supérieure, à gauche, est un dessin de «l'homme dans la Lune»; à droite, c'est «l'écrevisse»; en bas, à gauche, nous voyons la «femme lisant un livre». En bas, à droite, nous avons une photographie normale de la Lune, pour servir de comparaison. Avec un peu d'imagination, on voit toutes sortes de figures sur la Lune.

Reproduit de «The Moon», par W. H. Pickering.

son mince croissant ne soit perceptible. Deux jours avant de se renouveler, en d'autres termes, lorsqu'elle est âgée de vingt-sept jours à peu près, elle montre aussi un croissant semblable, mais il faut le chercher à l'orient, un peu avant le lever du Soleil. Au contraire, lorsque la Lune est jeune—âgée de deux ou trois jours—son croissant est visible à l'occident, immédiatement après le coucher du Soleil.

La Lune et la température

Notons que les cornes du croissant sont toujours tournées à l'opposé du Soleil. C'est bien ce que montre la figure 48. De plus, la ligne qui joint l'extrémité des cornes est à angle droit avec celle qui passe par la Lune et le Soleil. Dans cette partie du globe où nous vivons et qui s'appelle la zone tempérée, la Lune du printemps se présente avec les cornes dirigées vers le haut. La Lune garde son eau, dit un vieux dicton, et il ne pleut pas. En automne, le croissant est tourné sur le côté; la Lune déverse son eau: c'est la saison des pluies.

Or, dans les zones tropicales, le croissant est toujours couché, comme il est toujours vertical dans la zone arctique. La Lune n'a donc rien à voir avec la précipitation, quelle que soit l'inclinaison de son croissant. D'où le peu de sérieux qu'il y a d'associer l'aspect de la Lune avec la température. Malgré une croyance populaire bien enracinée, la Lune ne compte pas du tout dans les phénomènes météorologiques.



FIG. 50. «L'HOMME DANS LA LUNE».

L'homme dans la Lune est encore facilement visible après la Pleine Lune et avant le Dernier Quartier, lorsque la Lune vient de sortir de l'horizon est. Cette figure est tirée d'un croquis fait le 14 septembre 1927, alors que la Lune était âgée de dix-neuf jours.

La Lune vue à l'œil nu

Il n'est pas sans intérêt d'étudier la Lune à l'œil nu. Voici, figure 49, quatre aspects différents de la Lune. En bas, à droite, nous avons une photographie de la Pleine Lune, qui donne une bonne idée de ce qu'on peut apercevoir, par contre, dans un petit télescope, ou dans une jumelle. En haut, à gauche, c'est l'«homme dans la Lune»; on voit très bien les yeux, le nez, la bouche et le menton. Le temps le plus propice pour voir l'homme dans la Lune est l'automne, quand l'astre sort de l'horizon. On aperçoit encore très bien la figure, quatre jours après le plein (fig. 50). Une autre interprétation est la «femme lisant un livre» (fig. 49, en bas, à gauche). Coiffée

d'un chapeau et accroupie, elle tient son livre à la main. Enfin, en haut, à droite, le dessin prend la forme d'une écrevisse. La fantaisie des observateurs ne s'est pas bornée à ces seules re-



FIG. 51. LA PLEINE LUNE.

Les régions sombres sont appelées des «mers», bien qu'il ne s'y trouve pas d'eau; les petits objets circulaires sont des cratères, probablement d'origine volcanique. À remarquer les «rayons» brillants issus du cratère Tycho, dans le haut de la photographie; ils s'étendent sur plusieurs milles de longueur. Personne n'a encore expliqué leur origine de façon satisfaisante.

Photographie prise à l'observatoire de Harvard.

présentations; nous n'avons parlé que des plus faciles à reconnaître—avec un peu d'imagination.

Photographies de la Lune

La figure 51 est une photographie de la Pleine Lune. C'est une image renversée, c'est-à-dire telle que vue au télescope et non à la jumelle ou à l'œil nu.



FIG. 52. LA LUNE À SON PREMIER QUARTIER.

Les mers sombres se voient très bien ici; quant aux cratères, ils sont surtout en évidence du côté échancré (connu sous le nom de «terminateur») qui limite la partie visible. Le plus grand cratère au milieu du terminateur mesure 115 milles de diamètre—soit quinze fois le diamètre du plus grand cratère terrestre. L'autre moitié du disque lunaire est dans l'obscurité, par conséquent, invisible.

Photographie de l'observatoire Yerkes.

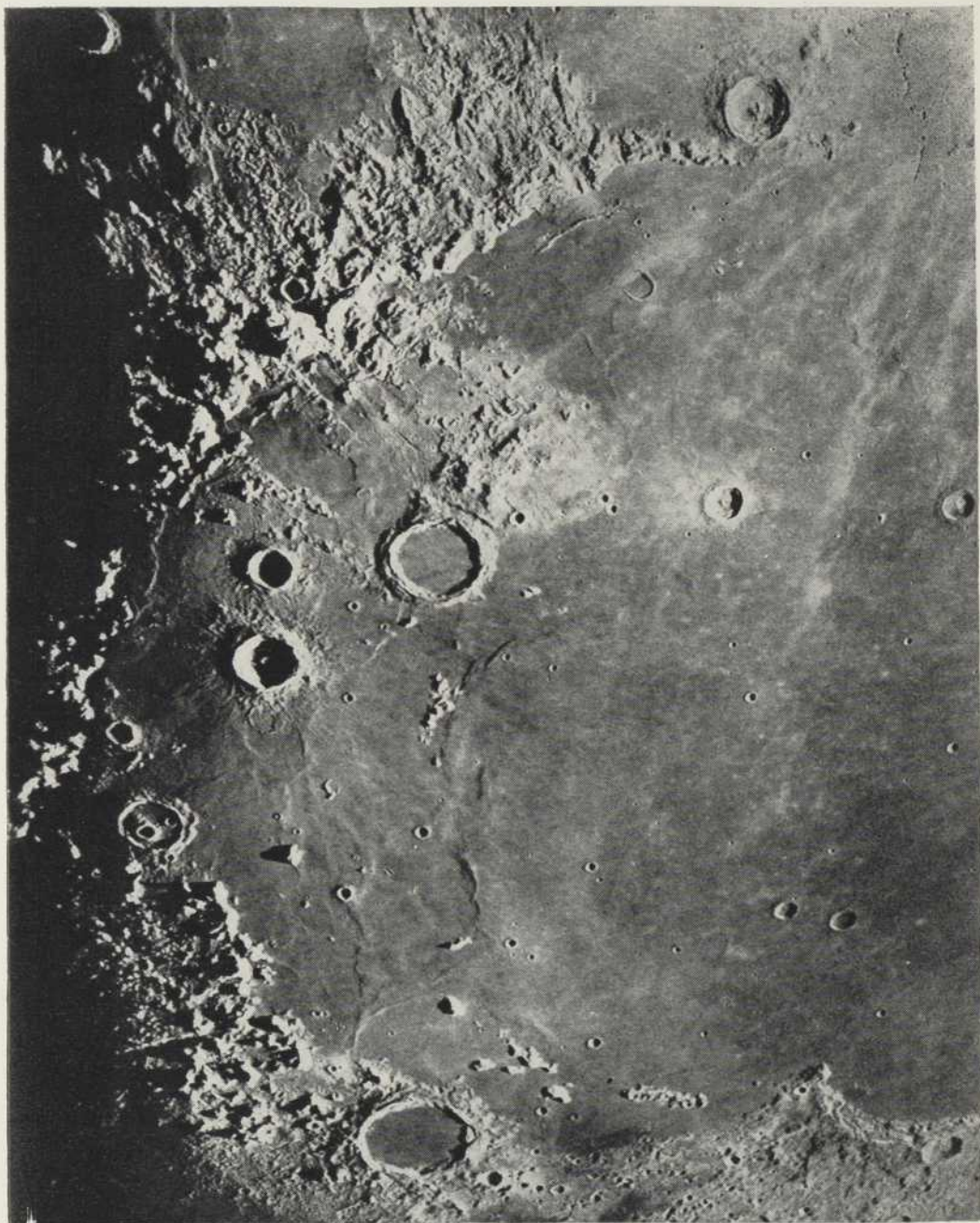


FIG. 53. LA MER DES PLUIES ET LES RÉGIONS ENVIRONNANTES.

Cette photographie fut prise au Mont Wilson, en Californie, au foyer du télescope Hooker, dont le miroir mesure 100 pouces (2,56 m) de diamètre. À remarquer la Mer des Pluies (voir fig. 54), les chaînes de montagnes et les cratères; également, l'ombre fine de la crête des cirques et des objets rocaillieux qui encombrent le fond de cette grande mer.

Photographie de l'observatoire du Mont Wilson.

À remarquer ces régions sombres, la plupart de forme à peu près ronde. On leur a donné le nom de *mers*. Lors de la découverte

de ces taches, on croyait qu'il s'agissait de masses d'eau et le nom leur est resté; on sait maintenant qu'il n'y a pas d'eau sur la Lune. Les appellations les plus fantaisistes leur ont été données. La tache ovale, du côté gauche, au milieu de la figure, est la Mer des Crises. Tout à côté, à droite, se trouve la Mer

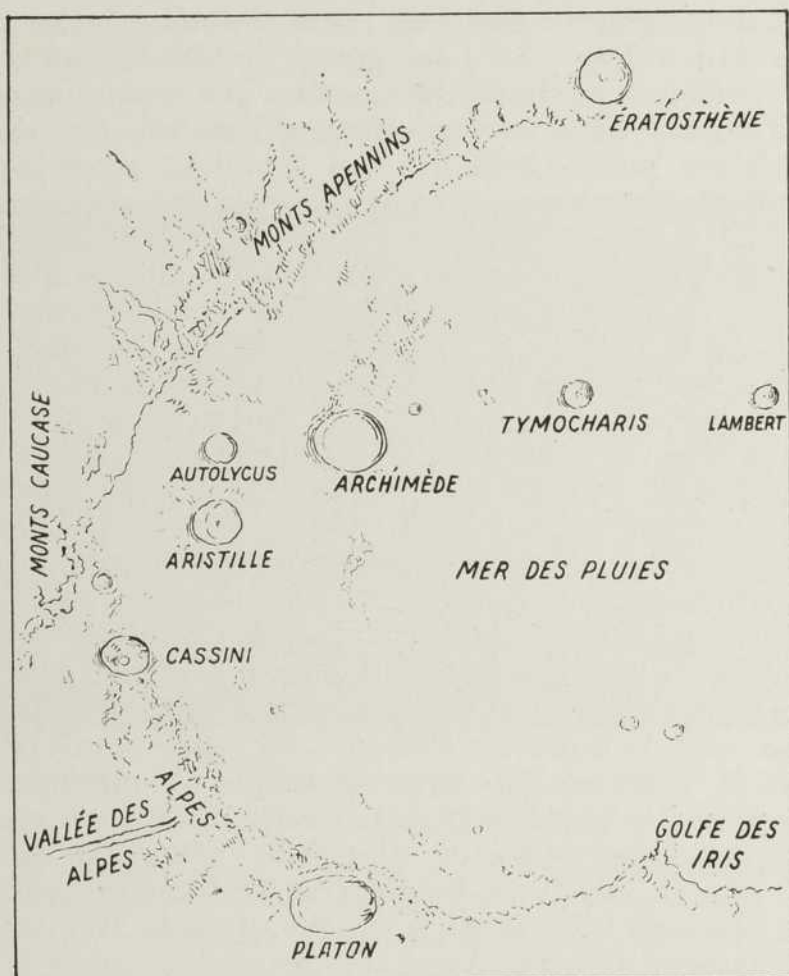


FIG. 54. DESSIN SHÉMATIQUE DE LA FIGURE PRÉCÉDENTE.

On a généralement donné des noms d'astronomes célèbres aux cratères; les montagnes lunaires empruntent leurs noms aux montagnes terrestres.

de la Tranquillité, et directement au-dessous de celle-ci, la Mer de la Sérénité, de forme ovale aussi. Plus bas, en continuant vers la droite, on rencontre une vaste région qui s'appelle la Mer des Pluies. Mentionnons encore, vers le haut, le petit disque brillant et les nombreuses raies qui semblent y prendre naissance: ce n'est pas une mer, mais un cratère qu'on a nommé Tycho, en l'honneur du célèbre astronome danois.

Nous avons ensuite (fig. 52) une photographie de la Lune à son premier quartier, soit vers le septième jour de la lunaison. On aperçoit très bien quelques-unes des mers, mais on remarque

surtout un grand nombre d'objets ronds qui se détachent avec beaucoup de clarté, particulièrement en bordure de l'ombre, à droite. Ce sont des cratères, dus peut-être à des actions volcaniques qui se seraient produites à une époque très reculée. Le plus grand cratère de la Lune est situé vers le milieu de la figure, à la limite de la partie éclairée. Il s'appelle Ptolémée, nom d'un autre grand astronome; son diamètre ne mesure pas moins de 115 milles. Le plus grand cratère de notre globe, celui qui se trouve au Japon, ne mesure que sept milles de diamètre. Dans la région où commence l'ombre, on remarque aussi quelques points brillants qui semblent se détacher du sol: ce sont les pics des montagnes, à peine éclairés par le Soleil levant.

La figure 53 est la reproduction d'une photographie prise au foyer du télescope Hooker (100 pouces de diamètre) du Mont Wilson, dans le sud de la Californie. C'est une partie de la Lune (hémisphère boréal) telle qu'on la voit au dernier quartier. Elle comprend presque toute la région qui porte le nom de Mer des Pluies. Les cratères et divers objets peuvent être identifiés à l'aide du dessin-clé de la figure 54. La Mer des Pluies est limitée, à gauche, en haut, par la chaîne de montagnes des Apennins, dont le nom est emprunté aux Apennins d'Italie. En bas, à gauche, nous remarquons la chaîne des Alpes, tandis que les monts Caucase s'allongent entre les deux. À noter, en passant, la Vallée des Alpes: elle mesure de trois à six milles de large et plus de quatre-vingts milles de longueur. Nous apercevons ensuite le cratère Platon. Sa forme paraît elliptique parce que la Lune est un corps sphérique et que cette partie est affectée par la perspective; en réalité, il est bien circulaire. Il mesure soixante milles de diamètre. Viennent ensuite le Golfe des Iris et, plus haut, les cratères Archimède, Ératosthène et autres. Remarquons aussi, à gauche, dans la Mer des Pluies, un rocher escarpé s'élevant à une très grande altitude. L'ombre, très dense, indique de quel côté le Soleil se trouve. Il est intéressant d'identifier tous ces objets sur les photographies. On en trouvera encore bien d'autres, dont les principaux ont reçu un nom particulier.

La Lune nous montre-t-elle toujours la même face ?

Si l'on observe la Pleine Lune plusieurs mois de suite, on remarque qu'elle présente toujours le même aspect; on en conclut que la Lune tourne toujours la même face vers la Terre. Et c'est vrai à peu de chose près. Si Hipparque, le célèbre astronome grec qui vivait il y a deux mille ans, revenait sur la Terre actuellement, il verrait la même face qu'il contemplait de son observatoire de l'île de Rhodes, dans la mer Egée.

Toutefois, lorsque nous examinons la Lune avec plus d'attention, nous constatons que la portion de sa surface visible n'est

pas toujours la même. Ce phénomène est bien illustré sur les deux photographies de la figure 55. Un examen attentif nous révèle que la photographie de droite montre beaucoup plus de surface dans la direction du cratère Tycho, et beaucoup moins dans la direction de la Mer des Pluies, comparativement à la photographie de gauche. Remarquons aussi qu'un segment, visible à gauche de la Mer des Crises sur la première figure, est invisible sur l'autre.

Ainsi, en observant continuellement la Lune au télescope et en étudiant ses photographies prises à différentes époques,

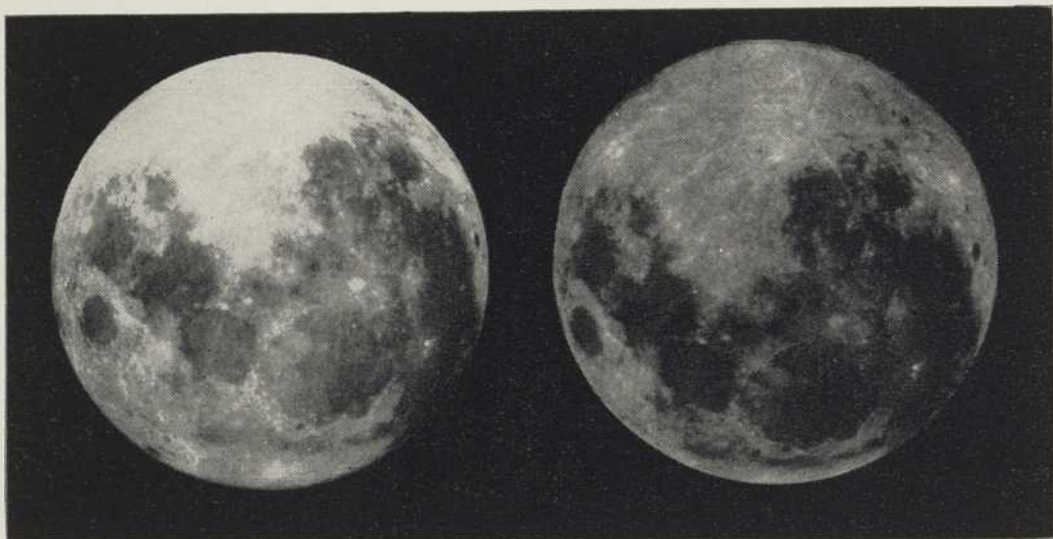


FIG. 55. DEUX PHOTOGRAPHIES DE LA LUNE, METTANT EN ÉVIDENCE LA LIBRATION.

Une comparaison de ces deux photographies, dont la seconde fut prise six mois après la première (31 octobre 1906 et 27 avril 1907), montre bien que la face de la Lune qui est tournée vers nous n'est pas toujours exactement la même. On reconnaît Tycho à la partie supérieure; les rayons issus de ce cratère sont bien visibles.

Photographies d'un amateur, D. R. Marsh.

il est possible de voir 59 pour cent de la surface entière de la Lune. Plusieurs se demandent ce que peuvent avoir l'air les 41 pour cent qui restent, toujours cachés à notre vue; il est fort probable que le côté invisible a à peu près le même aspect général que celui que nous voyons.

Le culte de la Lune

La Lune était aussi l'objet d'un culte chez les Égyptiens, qui rendaient les honneurs à deux divinités lunaires, dont l'une portait le nom de Thoth. La figure 56 montre comment cette divinité était quelquefois représentée. C'est un corps d'homme surmonté d'une tête d'ibis — oiseau sacré de l'ancienne Égypte. La tête est ornée d'un disque auquel est jointe une plume

d'autruche, symbole de la vérité. Dans ses mains, le dieu tient une tablette et une plume de roseau, car Thoth était aussi le dieu de la science et des lettres.

La Lune est un globe mort

C'est l'opinion des astronomes que la Lune est un désert de roche et de sable. Aucun nuage n'a jamais été aperçu à sa surface et on n'a pas encore décelé de changements certains dans ses détails panoramiques. Ceux-ci apparaissent sous un jour différent, selon que le Soleil les éclaire de l'est ou de l'ouest, mais ils ne changent pas d'aspect à proprement parler. On conclut de là qu'il n'y a pas d'atmosphère sur la Lune. Lorsque les rayons du Soleil dardent durant le jour, la chaleur doit être excessive, mais la température retombe forcément très bas durant la nuit.

Tout n'est que silence et mort sur ce monde désertique.



FIG. 56. THOTH, le DIEU DE LA LUNE CHEZ LES ÉGYPTIENS.

Une des représentations de Thoth, trouvées sur d'anciens monuments. Il était aussi le dieu de la science et de la littérature.

CHAPITRE V

MERCURE ET VÉNUS

Mercure



VOUS voici rendus à l'étude des planètes. La plus rapprochée du Soleil a reçu le nom de Mercure. Sa distance moyenne au Soleil est de 36 millions de milles (58 millions de km) et elle varie de $28\frac{1}{2}$ à $43\frac{1}{2}$ millions de milles. Comme nous l'avons déjà vu, c'est la plus petite planète de la famille solaire.

Dans les anciennes mythologies grecque et latine, Mercure jouait le rôle de messager des dieux. On le représentait sous les traits d'un jeune homme svelte, les chevilles ornées d'une aile d'oiseau, symbole de la célérité de ses courses. Il a été le sujet favori des sculpteurs et des peintres, qui en ont fait des représentations admirables. L'une d'elles est reproduite à la figure 57. C'est un bronze d'un art consommé exécuté en Italie, vers l'an 1575, par Jean de Bologne. Il se trouve au musée Bargello, à Florence.

Les planètes tirent leur nom des divinités païennes, et il était tout naturel d'appeler Mercure la première planète du système solaire, c'est-à-dire celle qui évolue le plus rapidement. Sa vitesse, qui n'est jamais inférieure à 23 milles à la seconde, peut aller jusqu'à 35 milles à la seconde. Mercure ne met que 88 jours à parfaire un circuit autour du Soleil—en d'autres termes, son année équivaut à moins de trois de nos mois. Son diamètre est de 3030 milles (4870 km) et sa masse d'environ le vingtième de celle de la Terre. Les dimensions relatives de la Terre et de Mercure sont montrées en figure 58.



FIG. 57. MERCURE, LE
MESSAGER DES DIEUX.

Il tient dans sa main gauche
le caducée ou sceptre. Son pied
gauche est supporté par le vent
de l'ouest.

Pendant longtemps, les astronomes se sont livrés à de patientes recherches sur cette planète, dans l'espoir d'y découvrir quelque particularité de sa surface qui aurait permis d'évaluer sa période de rotation. Mais ils n'ont guère eu de succès. L'opinion généralement admise est que Mercure présente toujours la même face au Soleil et qu'il ne s'y trouve pas, ou à peu près pas, d'atmosphère. Conséquemment, la planète doit être d'un côté un désert brûlant, et de l'autre une solitude morne et glaciale.



FIG. 58. DIMENSIONS RELATIVES DE LA TERRE ET DE MERCURE.

Les diamètres sont respectivement de 7918 et de 3030 milles—soit dans le rapport 100:39.

Vénus

Vient ensuite Vénus, dont la distance au Soleil est de 67 millions de milles (108 millions de km). De même que la déesse Vénus était la plus belle des divinités antiques, de même la planète Vénus est la plus admirable de toute la famille du Soleil. Qu'elle soit étoile du soir, à l'ouest, ou étoile du matin, à l'est, Vénus surpasse facilement par l'éclat toutes les planètes et toutes les étoiles. Elle attire les regards les plus indifférents.

Vénus poursuit sa route à la vitesse de 22 milles par seconde et complète sa révolution autour du Soleil en 225 jours, soit sept mois et demi. Son diamètre est de 7700 milles (12 400 km), sensiblement égal à celui de la Terre. Vénus et la Terre sont deux sœurs jumelles (fig. 59).

Avant d'aborder l'étude des divers aspects de Vénus, il convient de se rappeler les faits suivants:

(1) Vénus est un corps obscur qui ne brille que par la lumière du Soleil.

(2) En tout temps, elle n'est illuminée que d'un côté—l'hémisphère tourné vers le Soleil.

(3) L'observation se fait de la Terre, planète qui se trouve à 93 millions de milles du Soleil, c'est-à-dire au delà de l'orbite de Vénus.

La figure 60 nous montre un jeune astronome qui observe de la Terre le mouvement de Vénus autour du Soleil. Lorsque la planète est dans la position 1, elle se trouve à sa plus grande distance de la Terre, soit 93 plus 67, ou 160 millions de milles.



FIG. 59. DIMENSIONS RELATIVES DE LA TERRE ET DE VÉNUS.

Les diamètres sont respectivement de 7918 et de 7700 milles—soit dans le rapport 100:97.

C'est une distance considérable, et la planète apparaît très petite. Effectivement, la planète ne peut pas être observée dans une telle position: elle est perdue dans le rayonnement du Soleil. Vue de la Terre, elle est au nord ou au sud du Soleil, mais si près de l'astre central qu'elle n'est pas visible. Que la Lune passe devant le Soleil à ce moment-là, produisant une éclipse, la planète devient visible et le télescope nous fait voir son disque parfaitement rond. C'est justement ce à quoi il faut s'attendre, puisque l'hémisphère illuminé de la planète est entièrement tourné vers nous. On a photographié la planète dans des positions très voisines de celle-ci, et l'image obtenue était à peu près ronde (fig. 61, A).

Lorsqu'elle a atteint la position 2, (fig. 60), elle s'est approchée quelque peu de la Terre et paraît plus grande, par conséquent. Mais l'hémisphère illuminé n'est pas visible en entier. À l'œil nu, on ne voit en aucun temps la forme de Vénus, mais un petit télescope nous la montre alors dans sa phase gibbeuse, comme

en figure 60. Dans la position 3, la planète est encore plus proche et plus brillante: elle a l'aspect d'une demi-lune. À mesure qu'elle avance sur son orbite, elle devient de plus en plus brillante, jusqu'à ce qu'elle atteigne la position 4. Le télescope nous révèle un croissant. (Comparer B, C, D, fig. 61).

Cinq semaines après, la planète atteint la position 5 (fig. 60). Sa distance à la Terre est alors de 93 moins 67, ou 26 millions de milles (42 millions de km). C'est sa distance minimum; mais comme l'hémisphère illuminé est tourné à l'opposé de la

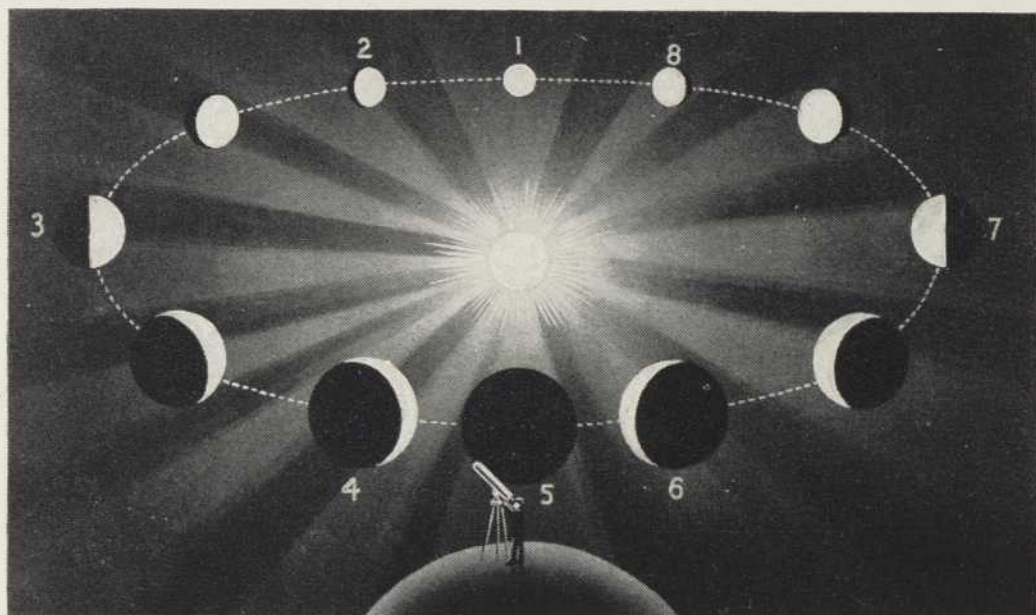


FIG. 60. MÉCANISME DES PHASES DE VÉNUS.

De la Terre, le jeune astronome surveille Vénus alors qu'elle passe de sa conjonction supérieure avec le Soleil (position 1) à sa conjonction inférieure (position 5). Elle semble augmenter de grandeur et montre des phases.

Dessin de F. S. Smith.

Terre, nous n'en voyons aucunement le disque. La belle Vénus se cache à nos regards.

Cinq semaines s'écoulent encore, et la planète arrive en 6, où sa forme est semblable à celle de 4. Elle passe ensuite à 7, 8 et de nouveau à 1.

Ainsi, nous avons la preuve que Vénus présente des phases semblables à celles de la Lune.

Étoile du Matin et Étoile du Soir

Continuons à étudier cette même figure 60. Lorsque Vénus est dans les positions 2, 3 ou 4, un observateur terrestre voit la planète dans le ciel à gauche du Soleil. Jetez maintenant un

coup d'œil à la hauteur du Soleil et imaginez Vénus à votre gauche—c'est-à-dire à l'est du Soleil. Celui-ci se déplace vers l'ouest, suivi de Vénus, et finit par se coucher. À ce moment, la planète est encore au-dessus de l'horizon et elle est appelée *étoile du soir*. C'est l'Étoile du Berger.

Lorsque, d'autre part, Vénus est en 6, 7 ou 8, elle apparaît à droite dans le ciel, ou à l'ouest du Soleil. Elle est donc en avant de lui (elle le précède, pour employer le langage astronomique), dans sa marche à travers le ciel. Il s'ensuit qu'elle se couche avant lui et aussi qu'elle se lève avant lui, le lendemain matin—autrement dit, elle est *étoile du matin*.

Les Anciens croyaient que l'Étoile du Soir et l'Étoile du Matin étaient deux astres différents et ils avaient nommé le premier Vesper et le second Lucifer.

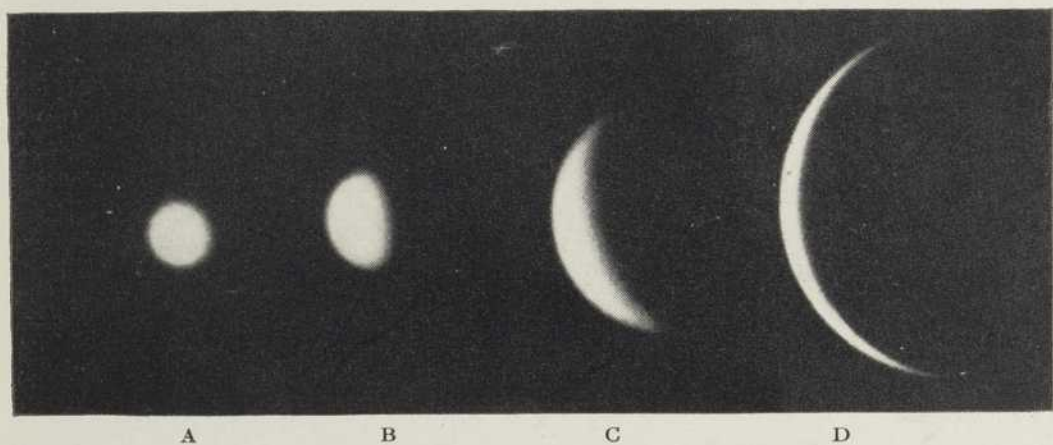


FIG. 61. PHOTOGRAPHIES DE VÉNUS.

Voici de réelles photographies de la planète à différentes périodes, montrant l'augmentation du diamètre apparent, de même que les phases qui varient depuis le disque entier jusqu'au mince croissant.

Photographies de E. C. Slipher, à l'observatoire Lowell.

À la surface de Vénus, on ne remarque pas de configurations permanentes bien définies, ce qui rend difficile la détermination de sa période de rotation autour de son axe. On a cru pendant longtemps que cette période était quelque peu inférieure à vingt-quatre heures. Aujourd'hui, on considère comme plausible l'hypothèse que la planète présente toujours la même face au Soleil, et, par suite, que ses périodes de rotation et de révolution soient les mêmes—c'est-à-dire de 225 jours. Si, par hasard, sa période de rotation était d'une journée, il faudrait nécessairement que la planète présente un aplatissement aux pôles, comme toutes celles qui sont affectées d'une rotation rapide. Or, les mesures les plus précises n'ont jamais révélé la moindre différence entre les diamètres polaire et équatorial.

Actuellement, on serait cependant en faveur d'une période de rotation plutôt courte—vingt jours, ou de cinq à six semaines tout au plus.

La figure 61A, nous montre cinq photographies de Vénus prises en 1927, alors que la planète se trouvait particulièrement bien placée pour l'observation. Ces clichés révèlent des plages claires et sombres que l'on croit être des formations nuageuses. Elles sont toutefois trop mal définies pour servir de base à une détermination de la période de rotation. Remarquons que ces photographies ont dû être prises en lumière ultra-violet; les autres longueurs d'onde ne montrent guère de détails.

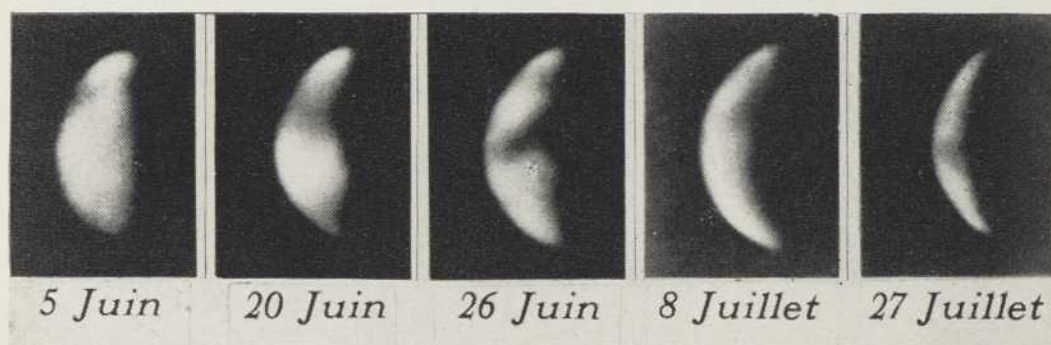


FIG. 61A. TACHES DE VÉNUS RÉVÉLÉES PAR LA PHOTOGRAPHIE.

Ces photographies ont été prises en lumière ultra-violet avec les télescopes de 60 et de 100 pouces du Mont Wilson. En lumière infra-rouge, aucune tache n'était visible. Vénus était à sa plus grande élongation le 2 juillet, mais son plus grand éclat tombait le 5 août 1927.

Clichés de F. E. Ross, observatoire du Mont Wilson.

Vénus vue en plein jour

À l'époque de son plus grand éclat, Vénus l'emporte de beaucoup sur toutes les planètes ou étoiles et peut être aperçue à l'œil nu même en plein jour, quand on sait où la trouver.

Peu de personnes ont cependant réussi l'expérience, mais il est arrivé en quelques occasions que des foules nombreuses se soient mises de la partie. Notamment, en 1716, quand des centaines de Londoniens s'émurent à la vue d'un astre étrange, brillant en plein jour, dont la venue devait présager quelque grande calamité. L'astronome Halley eut beaucoup de mal à leur expliquer que c'était simplement la planète Vénus poursuivant son cours régulier.

Plus récemment, on voyait des groupes de badauds à Los Angeles, en Californie, cherchant Vénus en plein jour. À l'ombre des hauts édifices du quartier des affaires, on pouvait facilement apercevoir la planète qui brillait dans l'azur du ciel. Le petit point lumineux est également facile à repérer en rase campagne. Par exemple, il y a quelques années, des fermiers

des Prairies, dans l'ouest canadien, eurent la surprise de découvrir l'astre en plein jour et télégraphièrent la nouvelle par tout le pays.

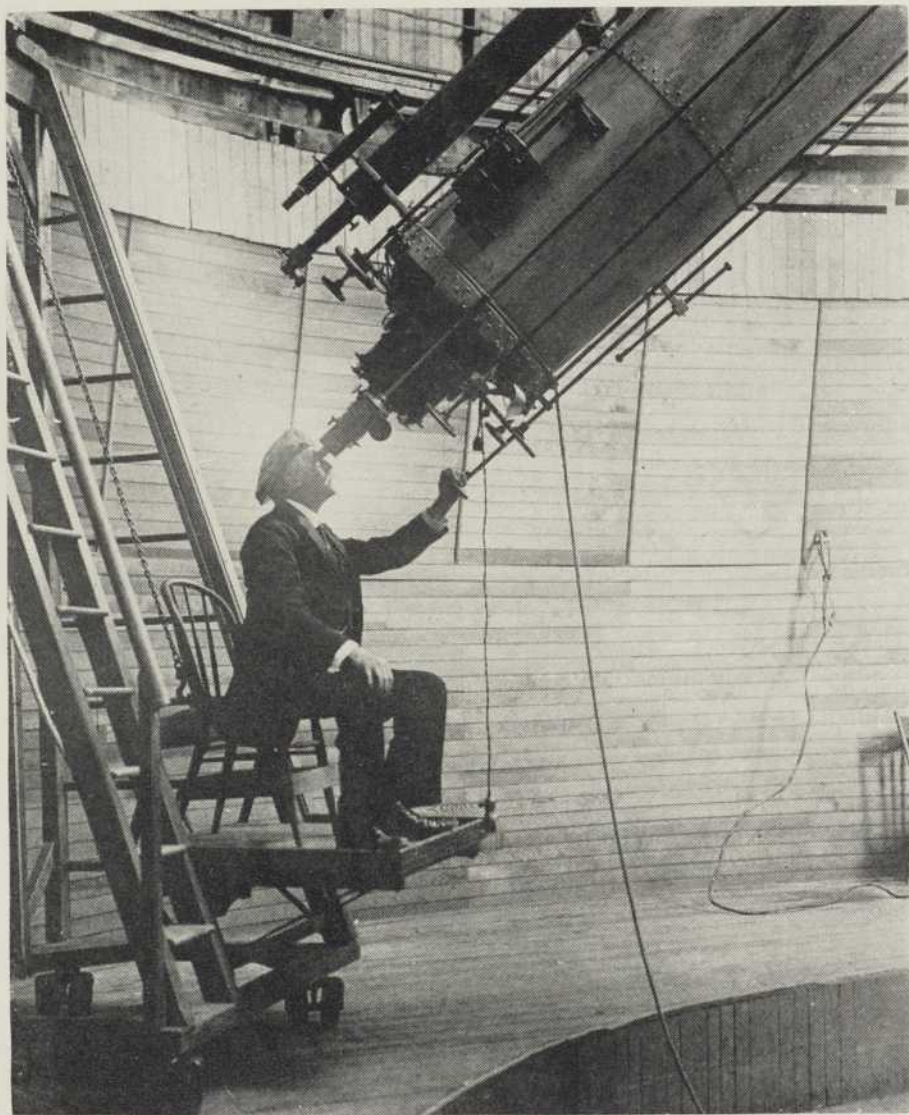


FIG. 62. LE D^r PERCIVAL LOWELL OBSERVANT VÉNUS EN PLEIN JOUR.

Le meilleur temps pour observer Vénus est le jour, alors qu'elle est haute au-dessus de l'horizon. Le D^r Lowell emploie ici le télescope de 24 pouces de l'observatoire Lowell, à Flagstaff, Arizona, dont il est le fondateur. C'est avec ce télescope que le D^r Lowell a fait la plupart de ses observations sur Mars et sur les autres planètes.

Dans le champ du télescope, Vénus est toujours un objet éblouissant et on l'observe de préférence lorsqu'il est encore haut dans le ciel. La figure 62 nous montre le D^r Percival Lowell, à l'observatoire Lowell, à Flagstaff (Arizona), observant Vénus en plein jour.

CHAPITRE VI

MARS

La distance et la grosseur de la Planète



De toutes les planètes, c'est encore Mars qui suscite le maximum d'intérêt. Elle ressemble le plus à la Terre, et l'on voudrait bien savoir si la vie existe là aussi.

La distance de la planète au Soleil est d'environ 142 millions de milles (230 millions de km), ce qui équivaut à une fois et demie la distance de la Terre. Elle fait le tour de son orbite en 687 jours, à une vitesse de 15 milles à la seconde.

Le diamètre de Mars est de 4215 milles, soit un peu plus de

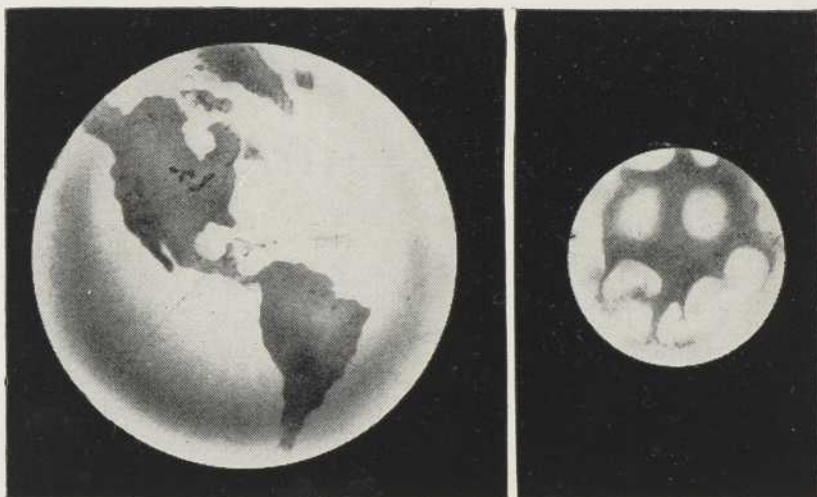


FIG. 63. DIMENSIONS RELATIVES DE LA TERRE ET DE MARS.

Les diamètres sont respectivement de 7918 et de 4215 milles—soit dans le rapport 100:53.

la moitié de celui de la Terre (fig. 63). Sa masse n'en est que le neuvième, ou, si l'on préfère, il y aurait assez de matériaux dans la Terre pour constituer neuf planètes comme Mars.

L'orbite de la Terre et celle de Mars

Étudions maintenant le mouvement de la Terre et celui de Mars. Sur la figure 64, l'orbite intérieure est celle de la Terre,

et l'orbite extérieure, celle de Mars. Ces orbites sont en réalité des ellipses, mais elles diffèrent très peu du cercle.

La position de la Terre est donnée pour chaque premier jour du mois, position qui reste d'ailleurs la même d'années en années.

La position correspondante de Mars pour l'année 1952 est aussi indiquée. Comme cette planète met presque deux ans

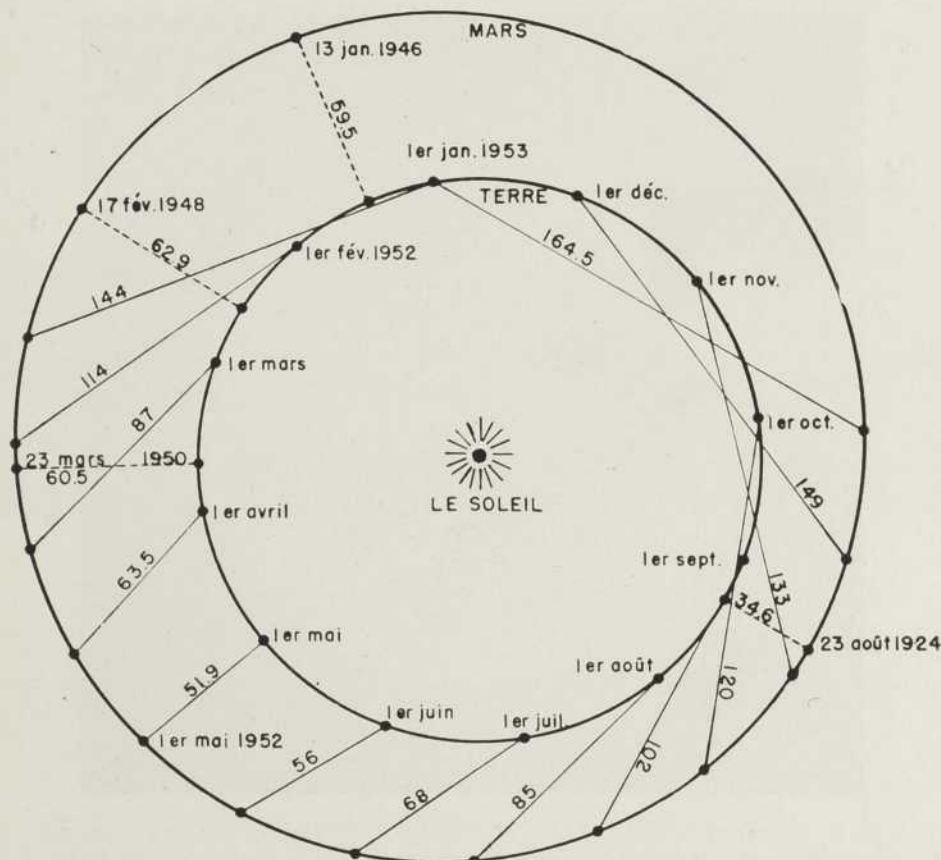


FIG. 64. DIAGRAMME DES ORBITES DE LA TERRE ET DE MARS.

Les orbites sont dessinées à l'échelle. À remarquer que les orbites se rapprochent plus d'un côté que de l'autre. La position de la Terre est celle qu'elle occupe le premier du mois, chaque année; la position de Mars est donnée pour le premier du mois durant l'année 1952. Le nombre inscrit sur la ligne joignant la Terre à Mars est la distance en millions de milles. Pour obtenir ces distances en millions de km, on multiplie par le facteur 1,609.

à faire le tour du Soleil, il s'ensuit qu'elle ne parcourt, en un an, qu'un peu plus de la moitié de son orbite. La ligne qui joint les deux corps représente la distance qui les sépare aux différentes dates, et il est assez curieux de voir par quel mécanisme cette distance varie. Les chiffres placés le long de ces lignes donnent les distances en millions de milles.

Le 1er janvier, la planète est à 144 millions de milles de la Terre, mais le 1er février, cette distance est réduite à 114 millions de milles. Ainsi, durant le mois de janvier de 1952, Mars s'est rapprochée de la Terre de 30 millions de milles, ce

qui donne une vitesse d'approche de onze milles à la seconde. La distance entre les deux corps diminue continuellement jusqu'en mai. Le 30 avril, le Soleil, la Terre et Mars sont en ligne, et un observateur sur la Terre voit le Soleil et la planète dans des directions *opposées*. L'astronome dit dans ce cas que Mars est en opposition par rapport au Soleil. Pendant que le Soleil se couche à l'ouest, Mars se lève à l'est et reste

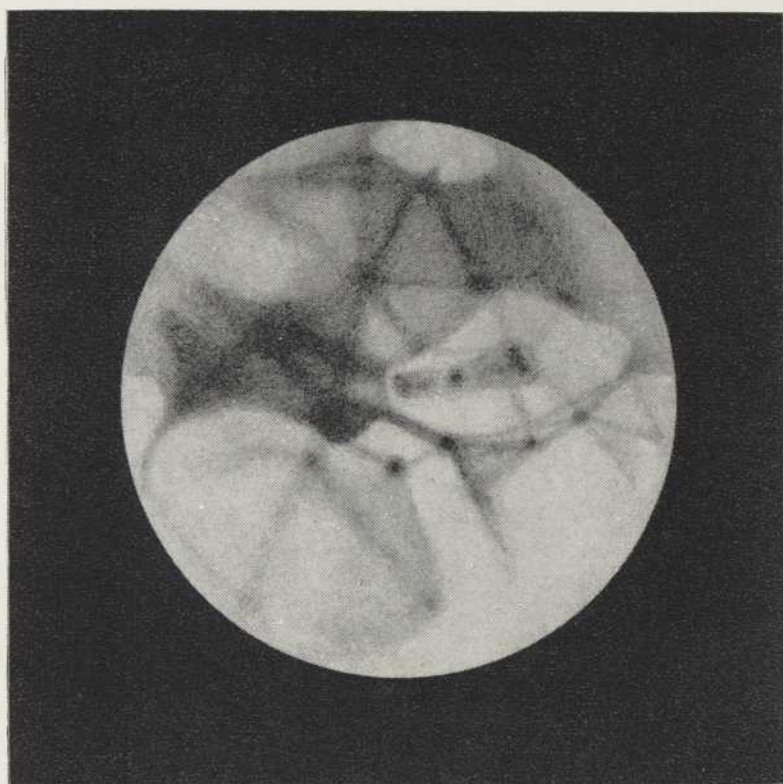


FIG. 65. UN DESSIN DE MARS.

Ce dessin représente Mars tel qu'on le voyait au foyer du télescope de 26 pouces de l'observatoire Lick, en Californie, le 29 août 1924. La région claire à la partie supérieure est la calotte polaire; les étendues plus sombres (verdâtres au télescope) sont probablement couvertes de végétation, et les parties claires (rosées au télescope) seraient des déserts. Les lignes droites sont les «canaux».

Dessin de R. J. Trumpler.

visible toute la nuit. À l'opposition du 30 avril 1952, Mars se trouvera à environ 52,4 millions de milles de la Terre, soit 84,2 millions de km.

L'intervalle qui sépare une opposition de la suivante est d'environ 780 jours. Ainsi, nous avons eu une opposition le 23 mars 1950, alors que la distance entre Mars et la Terre était de 60,5 millions de milles. Leurs positions respectives à cette opposition sont aussi indiquées sur le diagramme. L'une des plus faibles distances de Mars, pour notre siècle, s'est présentée le 23 août 1924, alors que la planète était à 34,6 millions de milles (55,7 millions de km) de nous. La première opposition après celle

du 30 avril 1952 aura lieu 780 jours après cette date, c'est-à-dire le 19 juin 1954.

L'aspect de Mars au télescope

Lorsque Mars est à une très grande distance de la Terre, comme en février ou mars 1953, son éclat est tout à fait ordinaire—à peu près celui de l'Étoile Polaire; mais à sa distance minimum, c'est un des objets les plus brillants du ciel. Sa lumière est rougeâtre, comme celle d'une flamme, et il n'est pas étonnant que les Anciens lui aient donné le nom du dieu de la guerre.

Quand on dirige un grand télescope sur Mars, on aperçoit



FIG. 66. MARS: TROIS PHOTOGRAPHIES MONTRANT SA ROTATION.

Ces photographies, de droite à gauche, ont été prises à 9 h. 24, 10 h. 24 et 10 h. 46 du soir respectivement. La rotation est très évidente, surtout dans l'intervalle d'une heure et vingt-deux minutes écoulées entre la première et la troisième photographie.

Photo: Barnard, à l'observatoire Yerkes.

des détails intéressants à sa surface, contrairement à ce qui se produit pour Mercure ou pour Vénus. La figure 65 nous montre un dessin effectué, en 1924, à l'observatoire Lick, en Californie. Certaines taches à la surface y sont très en évidence. Et lorsqu'on regarde les mêmes taches après un intervalle de quelques heures, le spectacle est tout à fait différent. La figure 66 illustre très bien ce phénomène. La photographie de droite a été prise à 9 h. 24 du soir, celle du centre, à 10 h. 24, et celle de gauche à 10 h. 46. La différence entre la première et la dernière est frappante; c'est le résultat de la rotation de la planète durant l'intervalle d'une heure et vingt-deux minutes qui sépare les deux poses.

L'examen du mouvement des taches a révélé le temps que la planète met à faire un tour complet sur elle-même. On a trouvé 24 heures, 37 minutes, 22,6 secondes. C'est la longueur du jour sur Mars.

La planète a aussi ses saisons, mais elles durent sensiblement le double des nôtres. Elles sont aussi beaucoup plus froides, étant donné que Mars est une fois et demie plus loin du Soleil,

source de toute chaleur sur la Terre aussi bien que sur Mars. Pendant le long hiver martien, la température descend très bas, ce qui rendrait difficile l'existence d'êtres constitués comme nous.

L'aspect de Mars est très différent en été et en hiver, à en juger d'après les figures 67 et 68. Dans la première, nous avons deux dessins, l'un exécuté au cours de l'hiver (pour l'hémis-



FIG. 67. DEUX ASPECTS DE MARS, MONTRANT LES CHANGEMENTS SAISONNIERS.

Le dessin de gauche représente l'hiver martien; celui de droite correspond à la même région, en été. La calotte polaire, bien visible durant l'hiver, disparaît l'été, mais d'autres configurations se développent dans l'intervalle.

Dessin de P. Lowell, à l'observatoire Lowell.

phère austral) et l'autre au milieu de l'été. La seconde nous montre des aspects photographiques de Mars, à une saison correspondant à notre mois de mai et à différentes dates de l'été martien. Les changements du sol martien sont faciles à constater. La grande calotte polaire, qu'on suppose formée de glace, a fondu et disparaît presque en entier, tandis que les taches de l'équateur s'agrandissent et deviennent plus sombres.

Les canaux de Mars

C'est au cours des quatre-vingts dernières années que les astronomes ont aperçu, à la surface de Mars, des lignes délicates qu'ils ont appelées *canaux*. La figure 69 nous montre quatre

aspects de la planète d'après les dessins du D^r Percival Lowell. Les lignes droites et fines sont les canaux. Les parties les plus claires qu'on remarque sur les dessins sont d'une teinte rougeâtre au télescope, tandis que les parties plus sombres semblent vertes. Les premières sont censées être des déserts et les secondes des plaines riches en végétation. Certains pensent que ces lignes droites sont de véritables canaux construits par les êtres intelligents qui habitent la planète, mais la plupart des astronomes sont sceptiques sur ce point.

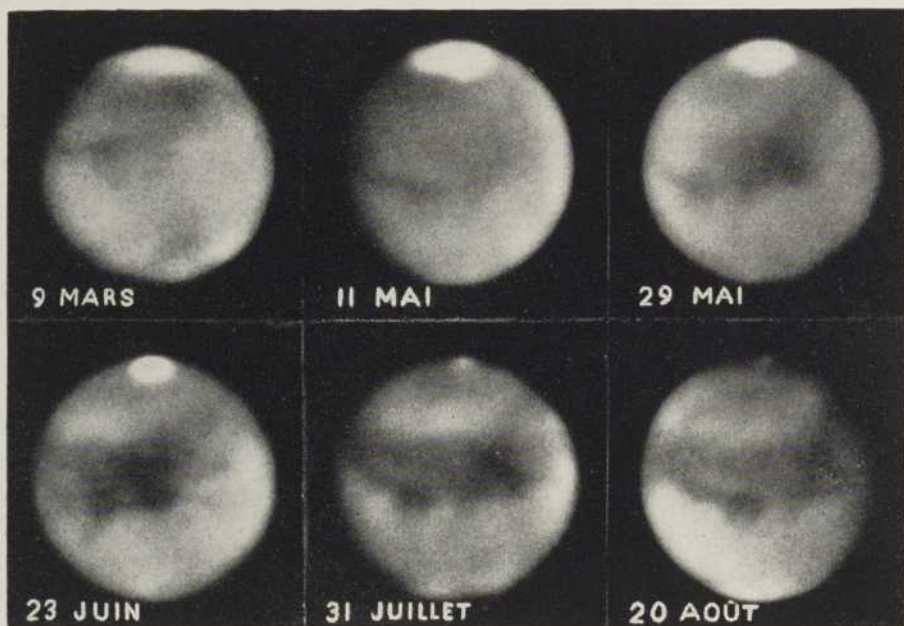


FIG. 68. PHOTOGRAPHIES DE MARS, MONTRANT LE PASSAGE DU PRINTEMPS À L'ÉTÉ.

On remarque la fonte graduelle des neiges au pôle et les progrès très apparents de la végétation à l'équateur, à mesure que la saison avance. Les dates inscrites donnent une idée de la saison qui sévissait sur Mars au moment où la photographie a été prise.

Photographies de E. C. Slipher, au réfracteur de 24 pouces de l'observatoire Lowell.

Les canaux sont vus surtout par l'observation directe au télescope. Ils sont trop délicats et trop faiblement éclairés pour être photographiés avec des chances de succès. Voici (fig. 70) une intéressante comparaison de quelques photographies avec un dessin pris à la même date. En 1, 2 et 3, nous avons des photographies prises suivant le mode ordinaire—c'est-à-dire avec la caméra placée à la suite du télescope. Pendant le temps de pose, on a effectué le dessin 4. Ensuite, ce dessin a été photographié à travers le télescope, à une distance telle qu'il produisait sur la plaque photographique une image de même grandeur que les photographies directes de la planète. C'est la photographie numéro 5. Celle-ci ressemble en tous points aux trois premières.

L'atmosphère de Mars

Le fait qu'on peut voir clairement la surface même de Mars indique que son atmosphère, contrairement à celle de Vénus,

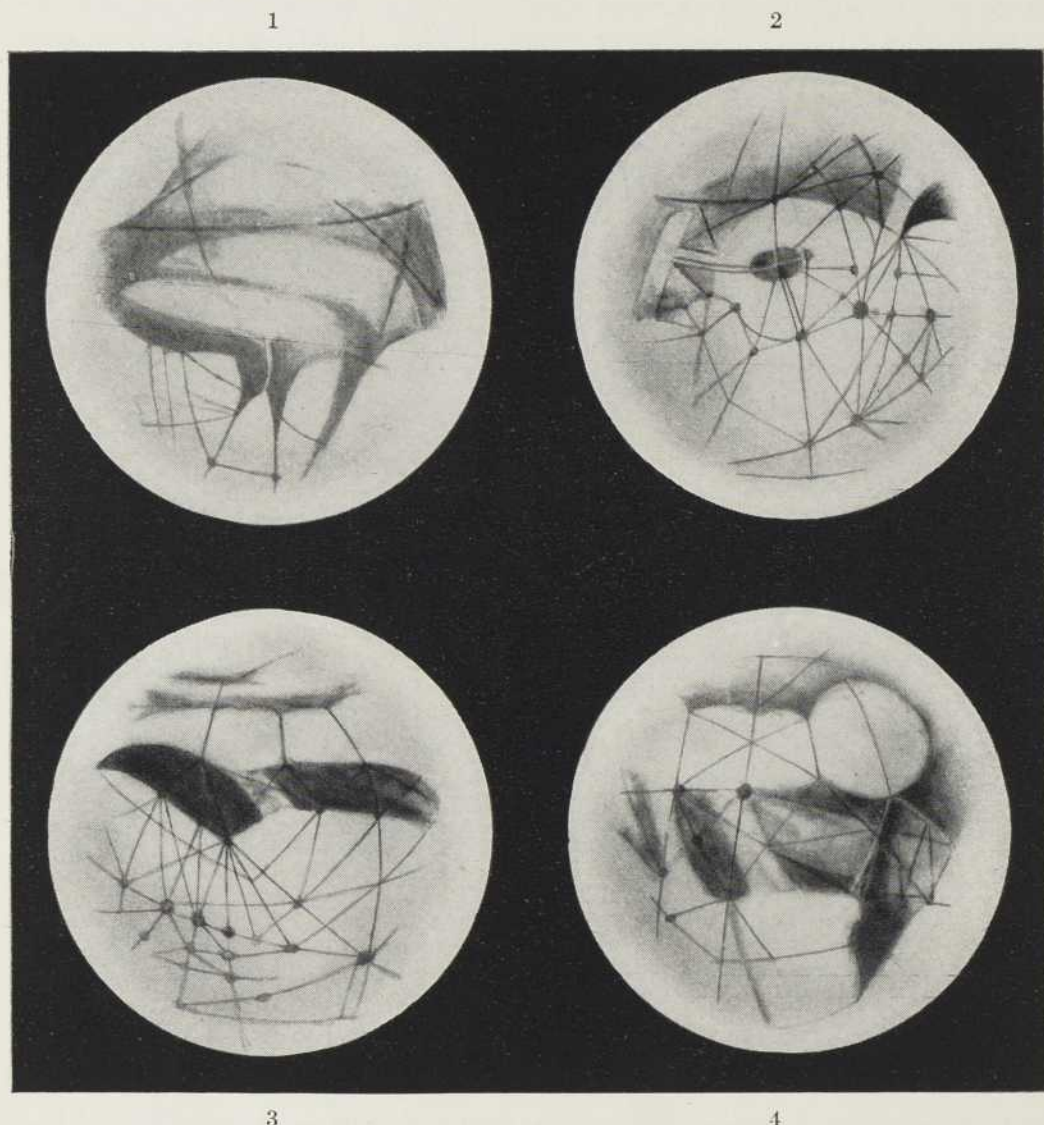


FIG. 69. QUATRE DESSINS DE MARS (LOWELL).

Ces dessins montrent les quatre «côtés» de Mars. Ce sont les différents aspects que prend la planète après chaque rotation de 90° sur son axe. La période de rotation de Mars est de 24 heures 37 minutes.

Dessins de F. S. Smith, d'après des dessins originaux.

est raréfiée et transparente. D'ailleurs, des observations très méticuleuses, opiniâtement continuées pendant des années, ont révélé de temps à autre de légers nuages dans son atmosphère, mais les observateurs s'accordent à dire que la température est toujours au beau fixe sur la planète—qu'il n'y existe pas de troubles atmosphériques, comme les tempêtes qui sévissent sur notre Terre.

En 1924, et de nouveau en 1926, on a obtenu d'autre part une preuve très forte de l'existence de cette atmosphère, grâce à une technique ingénieuse. Il y avait déjà quelques années que le professeur W. H. Wright, à l'observatoire Lick, en Californie, étudiait le meilleur moyen de photographier les objets terrestres au moyen du télescope. Il trouva que les images les plus satisfaisantes étaient obtenues en plaçant un filtre rouge foncé devant la plaque photographique. De cette façon, la lumière rouge était la seule à former image sur le négatif. Quand il se servait d'un filtre bleu ou violet, ou qu'il n'en employait pas du tout, l'image enregistrée était loin d'être aussi détaillée.

Les deux photographies de la figure 71 illustrent bien ce procédé. Elles ont été prises au sommet du mont Hamilton,

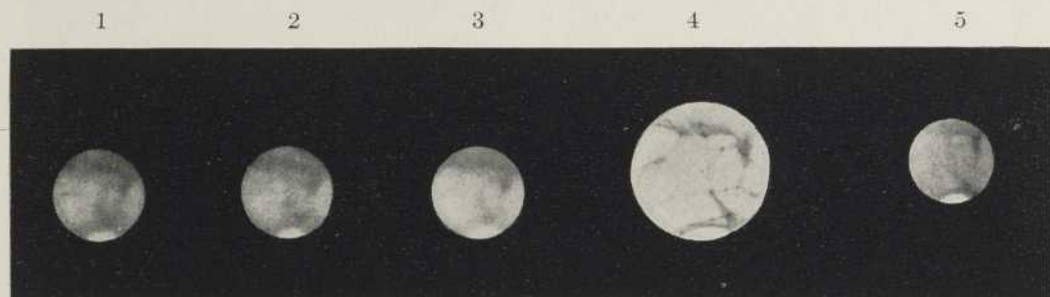


FIG. 70. PHOTOGRAPHIES DE MARS ET UN DESSIN EXÉCUTÉ À LA MÊME DATE.

Même lorsque Mars est à son point le plus proche de la Terre, l'image qu'elle forme sur la plaque photographique est encore trop petite pour permettre l'enregistrement des fins détails que l'œil perçoit au télescope. Les trois premières figures sont des photographies, la quatrième est un dessin exécuté en même temps, et la cinquième une photographie de ce dessin à une distance telle du télescope, qu'il se présentait sous le même angle apparent que les autres photographies. Cette dernière ressemble en tous points aux photographies directes de la planète.

Photo: E. C. Slipher, à l'observatoire Lowell.

sur lequel se trouve l'observatoire Lick. La ville de San-José est à treize milles et demi au loin, dans la fameuse vallée de Santa-Clara. La photographie de droite a été prise en lumière rouge: on y aperçoit très nettement la ville, de même que les arbres et les routes de la vallée. Celle de gauche a été prise en lumière violette¹ et elle ne montre que cette partie des montagnes qui voient l'observatoire; la vallée elle-même est noyée dans le brouillard.

Nos lecteurs savent sans doute que la lumière blanche est composée des radiations de toutes les couleurs. (Voir encore le Chapitre XII). Or, les radiations rouges peuvent passer facilement à travers l'atmosphère, tandis que les autres sont à peu près entièrement absorbées.

Lorsque Mars approcha à une distance particulièrement

¹ Plus exactement, ces photographies ont été prises en lumière infra-rouge et en lumière ultra-violette—c'est-à-dire en employant les radiations du spectre au delà du rouge et du violet.

favorable, en 1924, le professeur Wright eut l'idée de photographier la planète en lumière rouge et en lumière violette. Les résultats ont été tout à fait inattendus.

Quelques-unes des photographies ainsi obtenues sont reproduites ici (fig. 72 et 73). Dans chacune d'elles, la photographie A a été prise en lumière violette, et la photographie B en lumière rouge. Avec celle-ci, on obtient des détails qui étaient complètement absents sur les plaques impressionnées par la lumière violette.

De plus, les photographies en lumière violette étaient sensiblement plus grandes que les autres.

Qu'est-ce à dire ? La seule explication qui tienne est qu'il existe une atmosphère autour de Mars. Lorsque la lumière

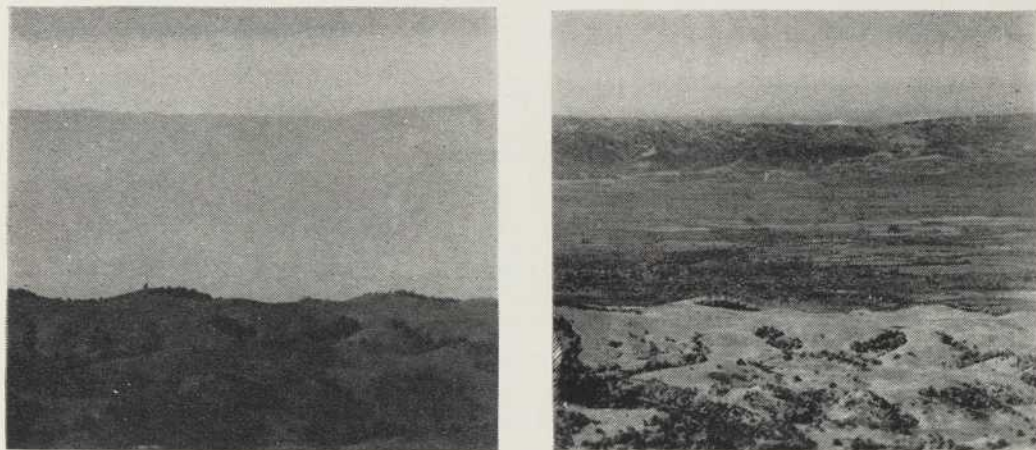


FIG. 71. PHOTOGRAPHIES D'UN PAYSAGE TÉRRESTRE LOINTAIN, EN LUMIÈRE VIOLETTE ET EN LUMIÈRE ROUGE.

En plaçant un filtre violet devant l'appareil, seule la lumière violette parvient jusqu'à la plaque photographique et l'on obtient la photographie de gauche; avec un filtre rouge, c'est la photographie de droite qui en résulte. Ces paysages représentent la ville de San-José, à 13 milles du sommet du mont Hamilton, en Californie, emplacement de l'observatoire Lick.

Photo: Wright, à l'observatoire Lick.

du Soleil atteint cette atmosphère, la partie de ses radiations qui est violette n'y entre pas et est immédiatement réfléchi. Elle ne donne pas d'image de la surface, mais seulement de l'atmosphère. Au contraire, la partie rouge des radiations pénètre l'atmosphère, parvient à la surface et en revient: elle donne sur la plaque photographique une image de la surface.

En juxtaposant une moitié de l'image violette et une moitié de l'image rouge (fig. 72, C), on se rend compte facilement que la première est plus grande. Des mesures précises ont montré que le diamètre de l'image violette est d'environ 5,7 pour cent plus grand que celui de l'image rouge. Or, l'image rouge semble bien reproduire la surface réelle de la planète. Les 5,7 pour cent additionnels doivent donc être attribués à l'atmos-

phère qui l'entoure. Le rayon de la planète étant d'environ 2100 milles, 5,7 pour cent équivalent à près de 120 milles (193 km); ce serait la hauteur de l'atmosphère martienne.

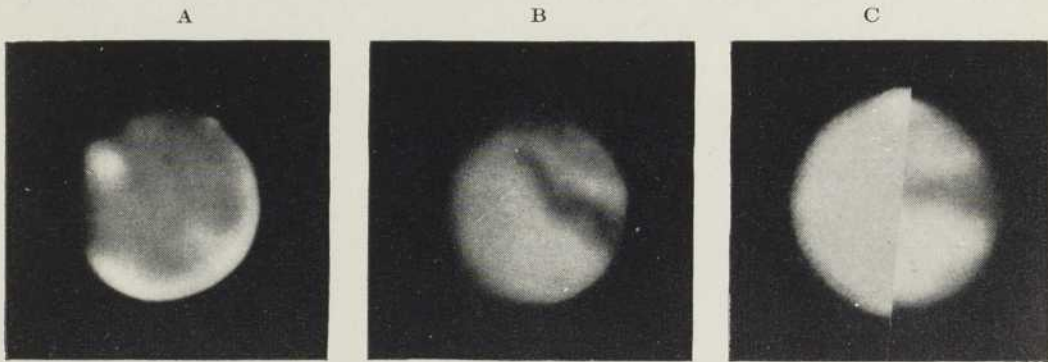


FIG. 72. PHOTOGRAPHIES DE MARS EN LUMIÈRE VIOLETTE ET EN LUMIÈRE ROUGE.

A, en lumière violette; B, en lumière rouge; en C, la moitié de chacune des images précédentes est placée l'une près de l'autre; on constate que l'image en lumière violette est plus grande. De là on conclut que l'atmosphère de Mars est très épaisse.

Photo: Wright, à l'observatoire Lick.

À remarquer l'«excroissance» brillante de la photographie A (fig. 72): c'est un nuage particulièrement vaste. En B, on n'en voit aucune trace. La photographie 73B nous montre

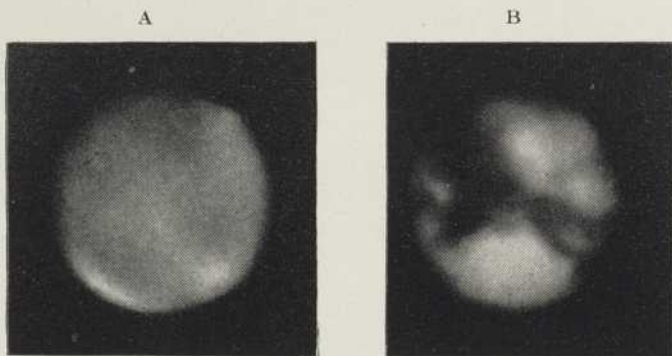


FIG. 73. AUTRES PHOTOGRAPHIES EN LUMIÈRE VIOLETTE ET EN LUMIÈRE ROUGE.

L'image rouge (B) est plus petite et montre plus de détails que l'image violette (A).

Photo: Wright, à l'observatoire Lick.

une plage claire sur le limbe gauche de la planète et vers le milieu de la figure.¹ C'est encore un nuage, semble-t-il, mais il est invisible cette fois sur la photographie A.

Ainsi, ce qui fut à l'origine un simple amusement de photographe amateur, a conduit à d'importantes découvertes en astronomie.

¹ Tourner le livre jusqu'à ce que la droite de la figure soit en haut. Les parties sombres représenteront grossièrement une tête de daim. La tache blanche est sous la gorge du daim.

Mars est-il habitable ?

Nous avons déjà fait remarquer que les hivers sont excessivement froids sur Mars. Que dire maintenant des étés ? En ces dernières années, on a fait du thermo-couple un instrument si parfait et si sensible qu'il peut maintenant servir à mesurer la chaleur irradiée par Mars en direction de la Terre. De ces mesures, on peut déduire la température des différentes régions

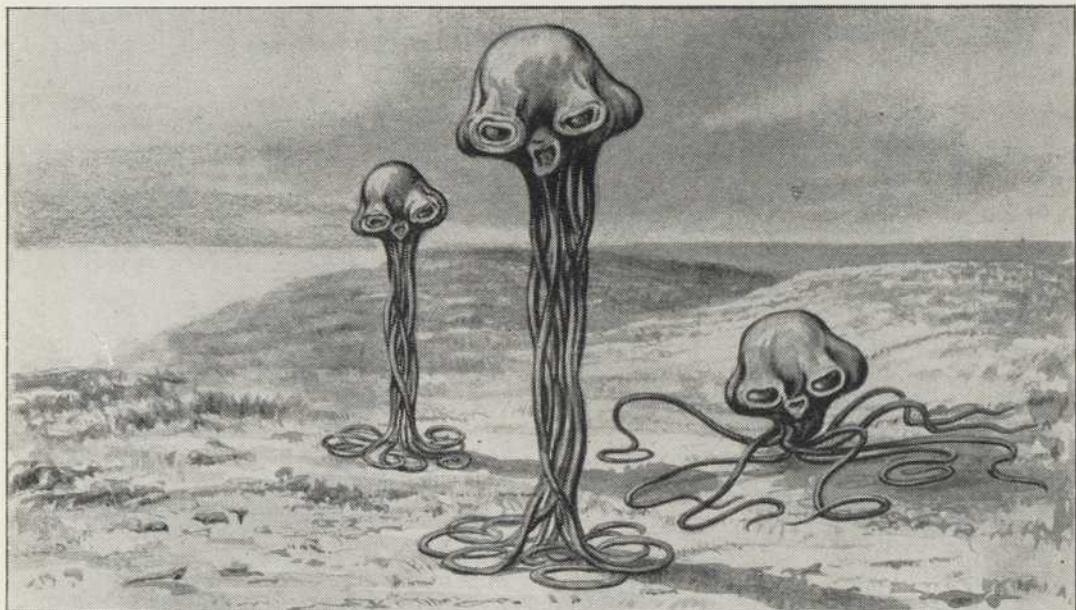


FIG. 74. LES MARTIENS, D'APRÈS H. G. WELLS.

Dans son livre de haute fantaisie, *La Guerre des Mondes*, Wells donne aux Martiens un cerveau démesuré et un corps réduit à de minces tentacules.

Dessin de F. S. Smith, d'après Dudouyt.

de la planète. On a trouvé que la température des parties les plus claires de la surface ne diffère pas beaucoup de celle d'une journée fraîche sur la Terre, c'est-à-dire qu'elle pouvait varier de 45° à 56° F ($7,2^{\circ}$ à $13,3^{\circ}$ C). Il n'est donc pas impossible qu'une certaine vie végétale, et même animale, puisse exister sur Mars.

Il y a quelques années, H. G. Wells publiait une très curieuse fiction ayant pour titre *La Guerre des Mondes*. Il y décrivait une attaque imaginaire conduite par les habitants de Mars contre la Terre. L'auteur faisait des Martiens des êtres très avancés au point de vue intellectuel et pourvus d'un cerveau énorme. La tête seule mesurait quatre pieds de diamètre, tandis que le corps avait complètement dégénéré et ne présentait plus que de minces tentacules en guise de membres.

Il n'est pas nécessaire d'ajouter que l'histoire de Wells est une pure fantaisie, mais elle est racontée dans un style pittoresque et très réaliste.

L'artiste français, Dudouyt, a essayé de représenter les Martiens suivant la conception de Wells (fig. 74). On en voit deux qui se tiennent debout, tandis qu'un troisième gît sur le sol, trop faible pour se soulever. Remarquons ici que la force de gravité, qui tend à attirer les corps vers le centre de la Terre,

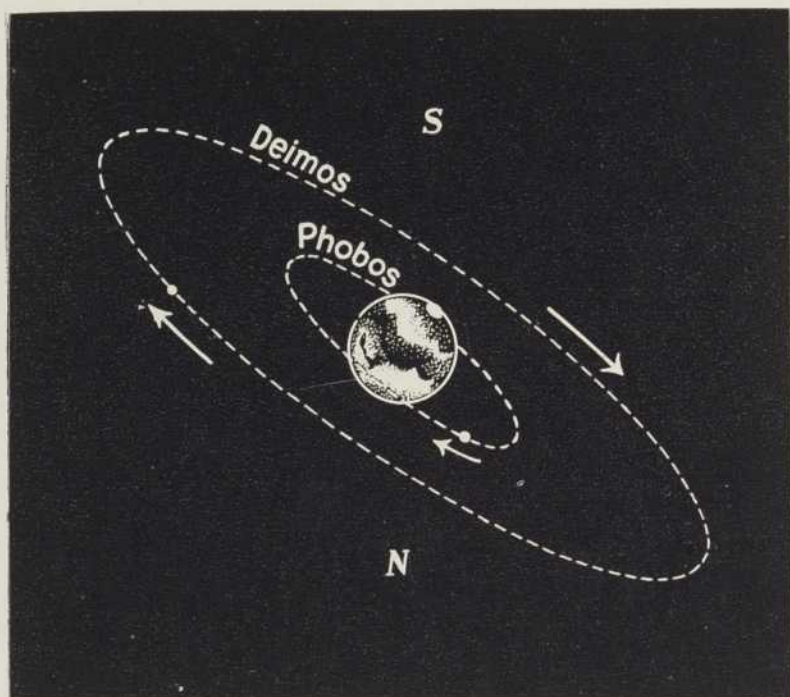


FIG. 75. ORBITES DES LUNES DE MARS.

La lune la plus proche tourne autour de la planète en 7 h. 39 m., l'autre en 30 h. 18 m., alors que la planète tourne sur elle-même en 24 h. 37 m. Ainsi, Phobos fait trois fois le tour de Mars en un jour martien. Cette lune se déplace avec une telle rapidité qu'elle se lève à l'ouest et se couche à l'est.

et de toute autre planète en général, est beaucoup plus faible sur Mars que sur la Terre. Les deux valeurs sont dans le rapport de deux à cinq environ. Un corps pesant 100 livres sur Terre n'en pèserait plus que 40 sur Mars, dans une balance à ressort. Un Terrien transporté sur Mars aurait beaucoup plus de facilité à se lever de son lit; s'il est capable d'exécuter un saut de 10 pieds sur la Terre, il pourrait facilement atteindre 25 pieds sur la planète voisine. Les rôles seraient renversés pour un Martien qui visiterait la Terre. Il lui serait probablement impossible de passer de la position horizontale à la position verticale. Aussi, dans l'histoire de Wells, les Martiens trouvent-ils beaucoup de difficultés à se mouvoir à la surface de la Terre; en tout cas, le fait ne semble pas douteux pour celui qui gît sur le sol (dessin de la fig. 74).

Les Lunes de Mars

Mars possède deux lunes minuscules (fig. 75). Elles furent découvertes par un astronome du nom d'Asaph Hall, en 1877. Dans l'été de cette année-là, Mars passa très près de la Terre, mais pas encore autant qu'en 1924. Une lunette de 26 pouces de diamètre, la plus puissante d'alors, venait tout juste d'être mise en service à Washington, capitale des États-Unis. Toutes les nuits du mois d'août, l'astronome Hall fouillait le ciel dans le voisinage de la planète, avec l'espoir d'y découvrir quelque satellite appartenant à Mars. Il était sur le point de tout abandonner, quand Mme Hall lui suggéra de persévérer encore quelques nuits. C'est ce qu'il fit et, le 11 août, il découvrait le premier satellite. Six jours plus tard, il en apercevait un second.

Ces lunes ont reçu les noms de Deimos et de Phobos, noms donnés par Homère aux chevaux qui tiraient le char de Mars, dieu de la guerre. Elles ne mesurent que quelques milles de diamètre et sont très peu brillantes. Elles circulent très près de la planète et à des vitesses considérables—Phobos, le satellite le plus rapproché, fait un tour complet en sept heures et trente-neuf minutes; Deimos, le plus éloigné, en trente heures et dix-huit minutes. Quel satellite étonnant que Phobos! Il fait trois fois le tour de Mars pendant que la planète ne tourne qu'une fois sur elle-même. Il se lève donc, en réalité, à l'ouest, traverse tout le ciel, et se couche finalement à l'est. Aucun autre satellite ne se comporte de cette façon. Notre Lune prend quatre semaines à faire le tour de la Terre.

CHAPITRE VII

JUPITER—SATURNE—URANUS—NEPTUNE—PLUTON

Jupiter



OUT ce que nous avons appris jusqu'ici concernait les planètes inférieures — groupe de la famille solaire qui comprend quatre planètes relativement peu éloignées du foyer central. Ce sont des corps de dimensions moyennes, mais formés de matériaux lourds, ou denses. Pénétrons maintenant plus avant dans l'espace et visitons l'un après l'autre les derniers membres de la famille, qui évoluent sur des orbites de dimensions impressionnantes.

Nous atteignons en premier lieu le majestueux Jupiter, la plus grosse des planètes. Sa distance au Soleil est 5,2 fois plus grande que celle de la Terre, soit 483 millions de milles (776 millions de km). Il met presque douze de nos années à compléter une seule de ses révolutions, bien que sa vitesse linéaire soit de huit milles à la seconde.

Jupiter vu au télescope

Jupiter aperçu dans un télescope est certes un beau spectacle (fig. 76). À son large disque s'ajoutent quatre petites lumières disposées sur une ligne droite passant par le centre de la planète, comme des perles enfilées. Ce sont des satellites, ou lunes. Galilée les découvrit, en 1610, à l'aide de sa lunette, et ce furent les premiers objets célestes révélés par cet instrument nouvellement inventé. Ces lunes sont tout juste au delà de la limite de visibilité à l'œil nu, mais on les aperçoit dans la moindre jumelle, si l'on a soin d'appuyer l'instrument à un support fixe.

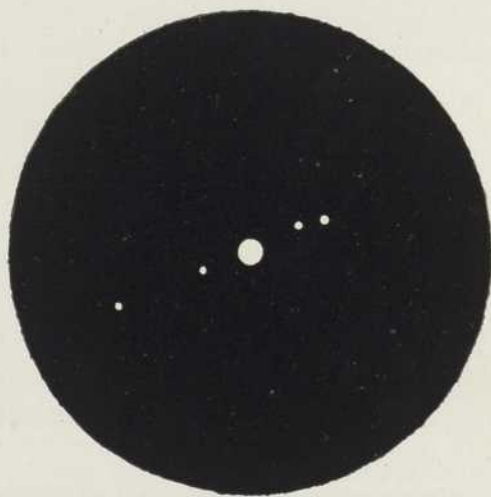


FIG. 76. JUPITER, TEL QU'APERÇU DANS UNE PETITE LUNETTE.

Les quatre lunes sont vues en ligne. Jupiter a huit autres lunes, mais elles sont si petites qu'il faut un grand télescope pour les voir.

Un grand télescope nous montre des bandes et différentes taches à la surface de la planète (fig. 77). Il permet de constater aussi que Jupiter n'est pas sphérique, mais fortement aplati aux pôles. Le dessin met bien en évidence ce phénomène. Les mesures ont révélé que le diamètre équatorial était d'environ 89 000 milles (143 000 km), tandis que le diamètre polaire n'en comptait que 83 000 (134 000 km).

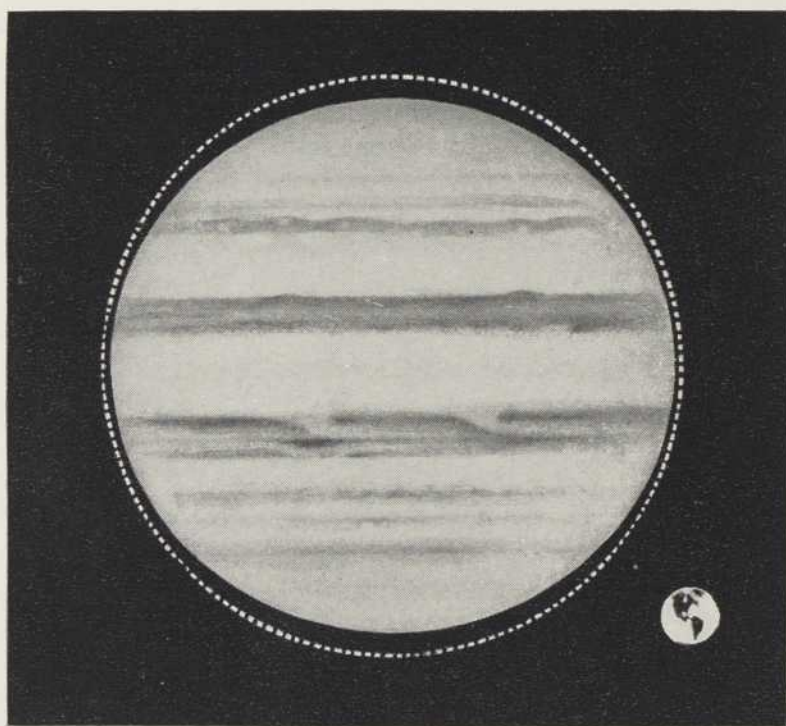


FIG. 77. JUPITER, VU DANS UN INSTRUMENT PUISSANT.

Les fins détails des bandes que révèle un puissant télescope, de même que les teintes brunes et olives de la surface, font de la planète un objet peu ordinaire. L'aspect n'est plus le même au bout de deux ou trois heures, puisque la planète tourne sur son axe en moins de dix heures. L'aplatissement des pôles est aussi très évident, comme le montre le dessin.

Dessin de Keeler, à l'observatoire Lick.

Pourquoi Jupiter est-il tellement aplati ? Il faut chercher la raison dans sa grande vitesse de rotation. En effet, la planète fait un tour complet sur son axe en neuf heures et vingt-cinq minutes, et un point situé à son équateur se déplace à pas moins de 28 000 milles à l'heure !

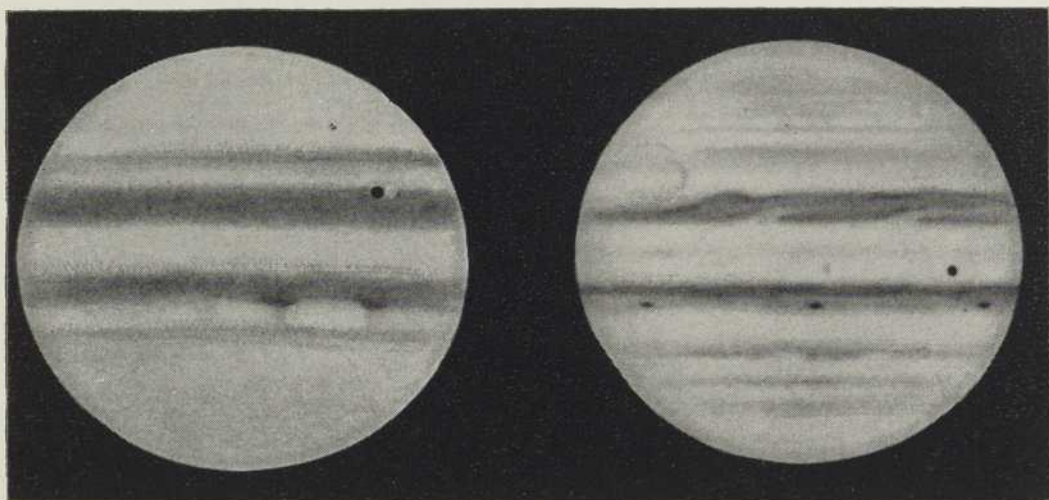
La masse de Jupiter

Jupiter renferme assez de matériaux pour constituer 317 terres comme la nôtre, mais il est loin d'être aussi dense—sa densité n'est que le quart de celle de la Terre. C'est à peu près celle du Soleil, d'où certains ont conclu que cette planète

était encore très chaude. Pourtant, elle n'émet aucune lumière propre et si nous la voyons, c'est simplement parce qu'elle est illuminée par les rayons du Soleil. De plus, les mesures récentes ont montré que la température de sa surface était très basse.

Mouvement des satellites de Jupiter

Un passe-temps amusant pour celui qui dispose d'un petit télescope est de suivre le mouvement des quatre satellites de



*Dessin de J. H. Bridger, à Croydon,
le 20 octobre 1916, à 11 h. 05 du soir.*

*Dessin de J. E. Keeler, à l'observatoire Lick,
le 30 août 1890, à 11 h. 09 du soir
(heure du Pacifique).*

FIG. 78. DEUX DESSINS DE JUPITER, MONTRANT UN SATELLITE ET SON OMBRE PROJETÉS SUR LE DISQUE.

Sur chaque photographie, on voit le satellite et son ombre en projection sur la planète. Le petit point noir à la surface de la planète est l'ombre du satellite. Sur la figure de gauche le satellite est tout près de son ombre, tous deux sont bien visibles sur une bande sombre de la planète. Dans ces dessins, la planète apparaît telle qu'on la voit dans un télescope ordinaire; le sud est donc en haut. Dans le télescope, le satellite et son ombre traversent le disque de la planète en passant du côté droit au côté gauche. Lorsque ce dessin fut pris, le satellite est resté visible sur le disque durant seize minutes et son ombre durant trente-deux minutes.

Le dessin de droite montre l'ombre près du limbe, le satellite lui-même est tout près du centre. Il est peu en évidence, parce qu'il se projette sur une bande claire. Lorsque ce dessin fut exécuté, le satellite était sur le disque depuis une heure et six minutes, et l'ombre depuis vingt et une minutes.

Jupiter. On les a numérotés I, II, III et IV, dans l'ordre des distances croissantes à la planète. Ces lunes sont toutes plus grosses que la nôtre, et leurs périodes de révolution sont respectivement de 42 heures, 3 jours et demi, 7 jours, et 16 jours et demi. C'est un spectacle captivant que de les voir évoluer autour de la planète géante. Parfois le satellite passe devant la planète et l'on peut suivre sa marche lente, de même que celle de son ombre, à la surface de la planète, pour finalement les voir disparaître sur le bord. C'est ce que nous avons illustré

en figure 78, qui montre deux dessins de Jupiter. Sur celui de gauche un satellite et son ombre, très près l'un de l'autre, passent sur le disque de la planète. Le dessin de droite montre très bien le petit disque obscur de l'ombre, qui se projette sur une bande claire, près du limbe droit. Le satellite lui-même

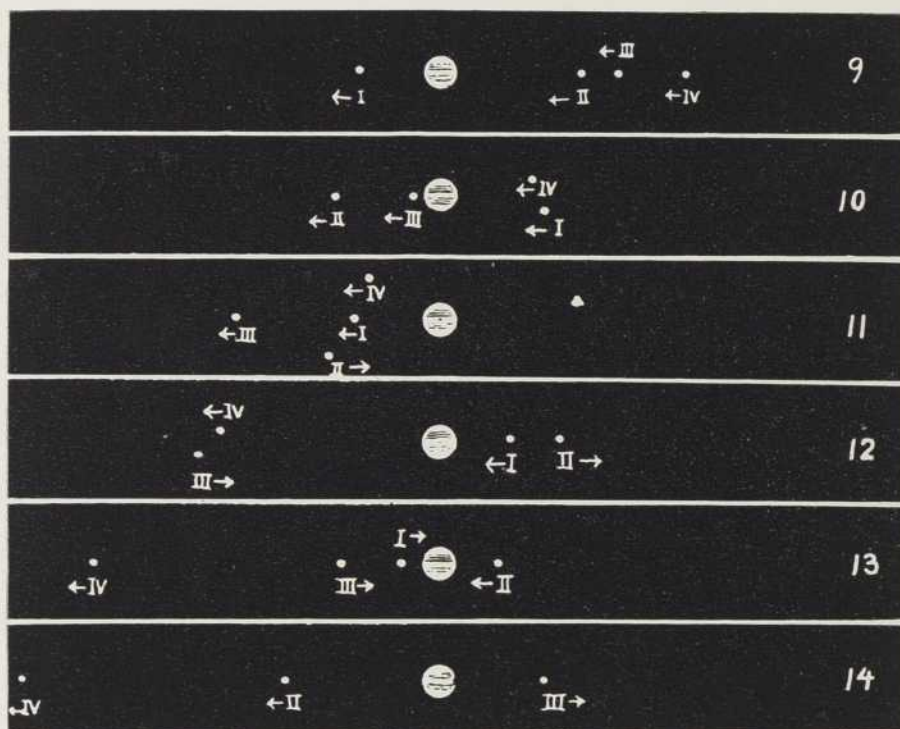


FIG. 79. JUPITER ET SES SATELLITES DURANT SIX JOURS CONSÉCUTIFS.

La planète est au centre, tandis que les points marquent l'emplacement des quatre principaux satellites. Leur distance à la planète et leur période de révolution sont les suivantes: No I: 261 800 milles et $42\frac{1}{2}$ h.; No II: 416 600 milles et 3 j. 13 h.; No III: 664 200 milles et 7 j. 4 h.; No IV: 1 168 700 milles et 16 j. 17 h. Dans ce diagramme les positions sont indiquées pour 7 h. du soir, du 9 au 14 janvier 1951. La flèche indique la direction du satellite. Il est intéressant de suivre leurs déplacements d'un jour à l'autre.

qui produit cette ombre est à gauche de l'ombre et un peu à droite du centre de la planète. On peut à peine l'apercevoir parce qu'il est placé vis-à-vis d'une bande claire.

On remarque encore sur la dernière figure un objet elliptique au-dessus de la bande équatoriale, pas très loin en bordure gauche de la planète. C'est ce qu'on a appelé la *grande tache rouge*. Observée pour la première fois en 1878, elle est restée visible pendant plusieurs années. À son stage de plus grand développement, elle mesurait 30 000 milles de long par 7000 milles de large. Aujourd'hui, elle est disparue, mais on peut encore apercevoir la cavité qu'elle occupait.

La figure 79 donne la position des satellites à 19 heures (7 heures du soir) du 9 au 14 janvier 1951. La flèche indique la direction du satellite, et l'on peut suivre chacun d'eux facilement d'un jour à l'autre.

Photographies de Jupiter

D'excellentes photographies de Jupiter ont été obtenues, en dépit du fait qu'à l'époque de sa plus faible distance il soit

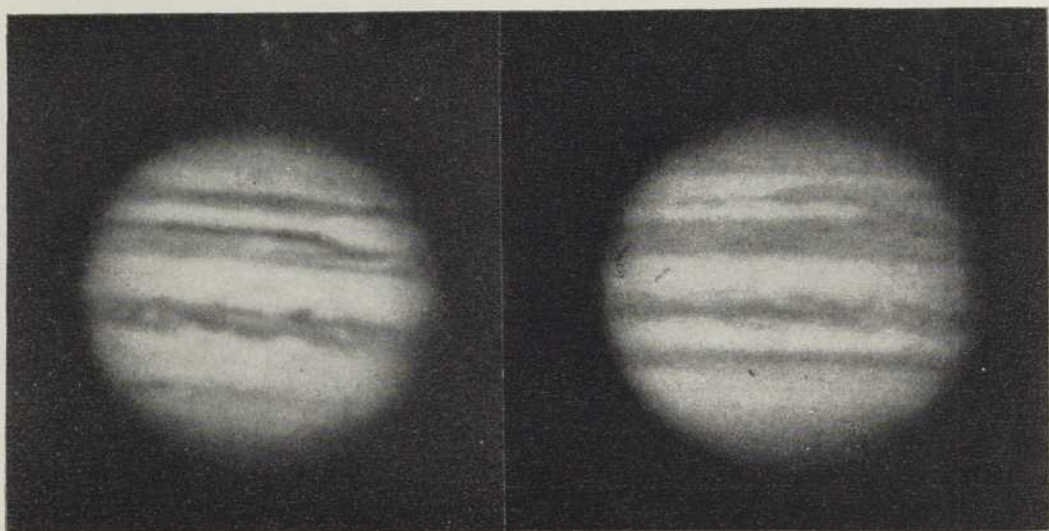


FIG. 80. PHOTOGRAPHIES DE JUPITER.

Ces photographies, prises au cours de deux années différentes, montrent l'évolution du système de bandes, avec presque autant de détails qu'un bon dessin exécuté au foyer d'un grand télescope.

Photo: E. C. Slipher, à l'observatoire Lowell.

encore à plus de 370 millions de milles. La figure 80 nous montre deux photographies prises à l'observatoire Lowell, l'une en 1915 et l'autre en 1917. Les bandes et diverses particularités de sa surface sont très bien visibles. Sur la première photographie, on remarque, à droite et un peu au-dessus de la bande équatoriale, l'emplacement où se trouvait la grande tache rouge.

Le professeur Wright a aussi photographié Jupiter en lumière ultra-violette et en lumière infra-rouge. La figure 81 nous montre deux de ses clichés, le second ayant été pris une heure et seize minutes après le premier. Comme c'est le cas pour Mars, l'image rouge est la plus petite des deux et montre quelques détails qui n'apparaissent pas sur l'image violette. Dans l'intervalle qui a séparé les deux poses, la planète a tourné d'un huitième de tour — ce mouvement est de droite à gauche à cause de l'orientation des photographies que nous avons choisie

ici. La cavité de la grande tache rouge commence à se montrer sur l'image violette; sur l'autre, elle devrait être près du centre du disque, mais elle est invisible.

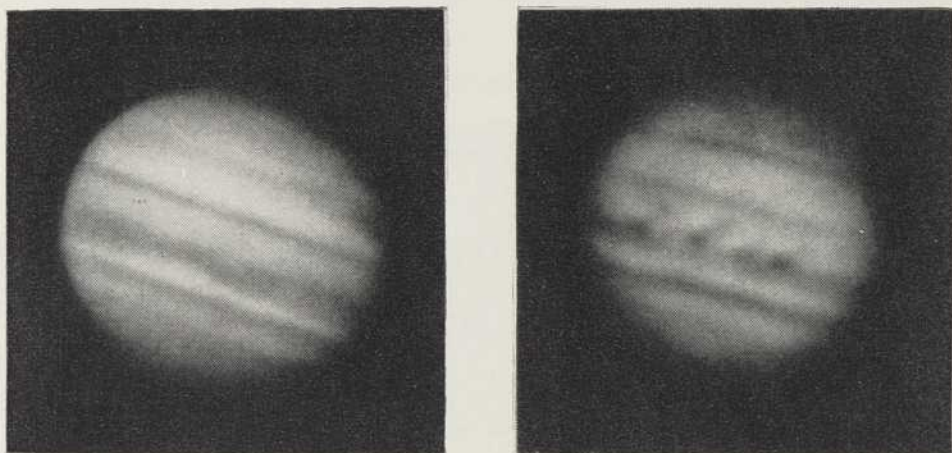


FIG. 81. PHOTOGRAPHIES DE JUPITER, EN LUMIÈRE VIOLETTE ET EN LUMIÈRE ROUGE.

Le cliché de gauche a été obtenu en lumière ultra-violette, celui de droite en lumière infra-rouge. Le premier fut pris à 3 h. 09 du matin, le 18 octobre 1926; l'autre, 1 h. 16 m. plus tard. Entre les deux poses la planète a tourné de 45°. La rotation se fait de la droite vers la gauche. L'espace vide où la tache rouge se trouvait autrefois commence à se montrer sur la photographie de gauche; elle devrait être près du centre sur la seconde, mais elle est invisible. À remarquer qu'en lumière ultra-violette le diamètre est plus grand; noter aussi l'aplatissement des pôles.

Photo: Wright, à l'observatoire Lick.

Saturne

La planète qui vient ensuite, à mesure qu'on s'éloigne du Soleil, est la plus remarquable de toutes. C'est la planète Saturne (fig. 82). Située à 880 millions de milles (1415 millions de km) du Soleil, soit à neuf fois et demie la distance de la Terre, elle se meut sur son orbite à la vitesse de six milles à la seconde et complète sa révolution en vingt-neuf ans et demi.

Son globe immense, traversé d'une quantité de bandes, est entouré d'une magnifique série d'anneaux. Fidèle au parcours qui lui a été assigné, elle évolue majestueusement dans l'espace. Neuf satellites en font le tour sans arrêt, les uns de près, les autres de loin, véritable escorte qui la protège contre les dangers de la route.

Le diamètre équatorial de son globe est de 74 100 milles (119 200 km), et le diamètre polaire de 66 300 milles (106 700 km), soit 7800 milles de moins (12 500 km). La planète est donc aplatie aux pôles et l'on doit s'attendre à ce qu'elle tourne rapidement sur son axe. C'est bien ce que les observations ont révélé: sa rotation complète s'effectue en dix heures et quatorze minutes seulement.

La matière dont se compose Saturne a la densité du bois

d'érable ou de chêne sec. Ainsi la planète flotterait sur l'eau s'il se trouvait un océan assez vaste pour la recevoir. Toutes les autres planètes enfonceraient.

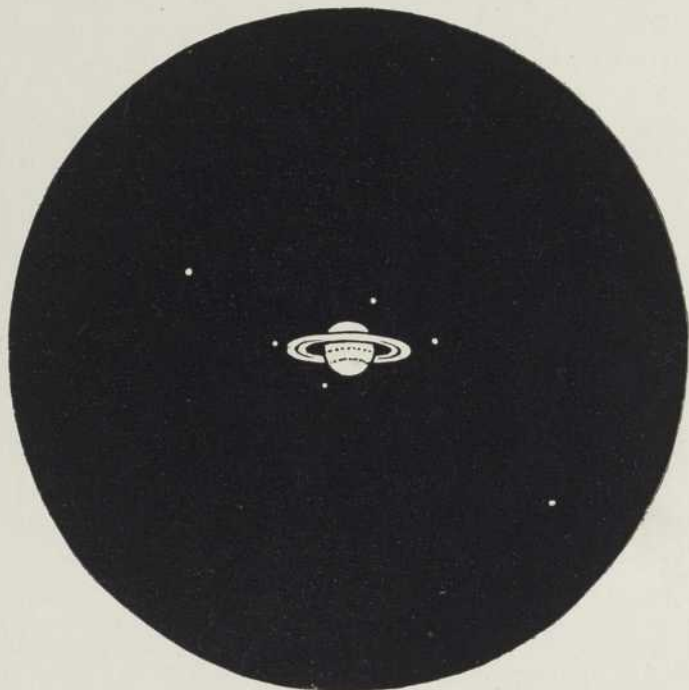


FIG. 82. SATURNE ET SES SATELLITES DANS UNE PETITE LUNETTE.

Saturne, entouré d'anneaux et d'un cortège imposant de lunes, est un objet extraordinaire au télescope.

Les anneaux de Saturne

Le système d'anneaux se compose de trois unités, comme le dessin de la figure 83 le montre très bien. L'anneau extérieur est séparé par une ligne sombre de celui du milieu, qui est plus large et plus brillant. L'anneau intérieur est le moins brillant des trois. Le diamètre extérieur du système mesure 171 000 milles (276 000 km) et son épaisseur ne dépasse probablement pas dix milles (16 km). Pour vous donner une idée de l'épaisseur des anneaux comparée au diamètre, prenez une feuille de papier pelure très mince et découpez-y un disque de dix-sept pouces de diamètre (43 cm) : vous aurez alors une représentation des anneaux de Saturne à l'échelle.

De quoi ces anneaux sont-ils faits ?

Ils sont composés de corpuscules distincts, de cailloux, de grosses pierres, si rapprochés les uns des autres qu'ils ne laissent passer à peu près pas de lumière dans les interstices. Ces différents corps tournent autour du globe central comme un essaim de lunes, dont les mouvements sont indépendants les uns des autres.

Phases des Anneaux

Au cours de la révolution de la planète autour du Soleil, les anneaux se présentent sous différentes phases, comme illustré ici (fig. 84). Lorsque la Terre, ou le Soleil, se trouve dans le plan des anneaux, ceux-ci ne peuvent être aperçus. Le phéno-

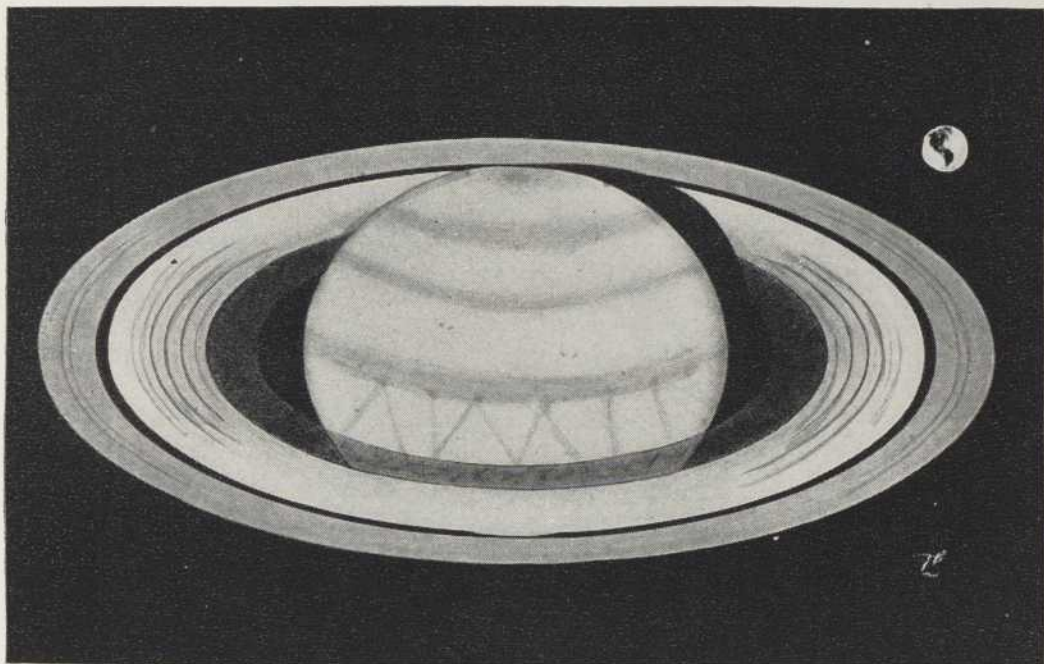


FIG. 83. UN DESSIN DE SATURNE.

À remarquer cette immense sphère encerclée de bandes et ce chapelet de points marqués d'une croix, à l'équateur, et surtout le merveilleux système d'anneaux. L'anneau extérieur a un diamètre externe de 171 000 milles et une largeur d'environ 10 000 milles. La division de Cassini, large de 3000 milles, sépare l'anneau extérieur de l'anneau du milieu, large de 16 000 milles (diamètre: 145 000 milles). Une légère division sépare celui-ci de l'anneau interne, ou anneau de crêpe, large de 11 500 milles.

Dessin de Percival Lowell.

mène se répète tous les quatorze ans et trois-quarts. Les anneaux ont disparu en 1921, en 1936 et en 1950, et seront de nouveau invisibles en 1965.

Quoique Saturne soit encore à 800 millions de milles (1300 millions de km) quand il s'approche le plus de la Terre, on a pu en prendre de merveilleuses photographies. La figure 85 nous en montre trois, reproduites d'après des négatifs pris à l'observatoire Lowell. On voit très bien les phases.

À l'œil nu, Saturne est un feu terne et tranquille. Vénus, par contre, est si brillante qu'il est bien difficile de ne pas la reconnaître. Immédiatement après Vénus dans l'échelle d'éclat, mais loin de l'égaliser, vient Jupiter qui est encore plus brillant que toutes les étoiles fixes. Mars peut, en de rares occasions, surpasser Jupiter en éclat, mais en général il lui est bien infé-

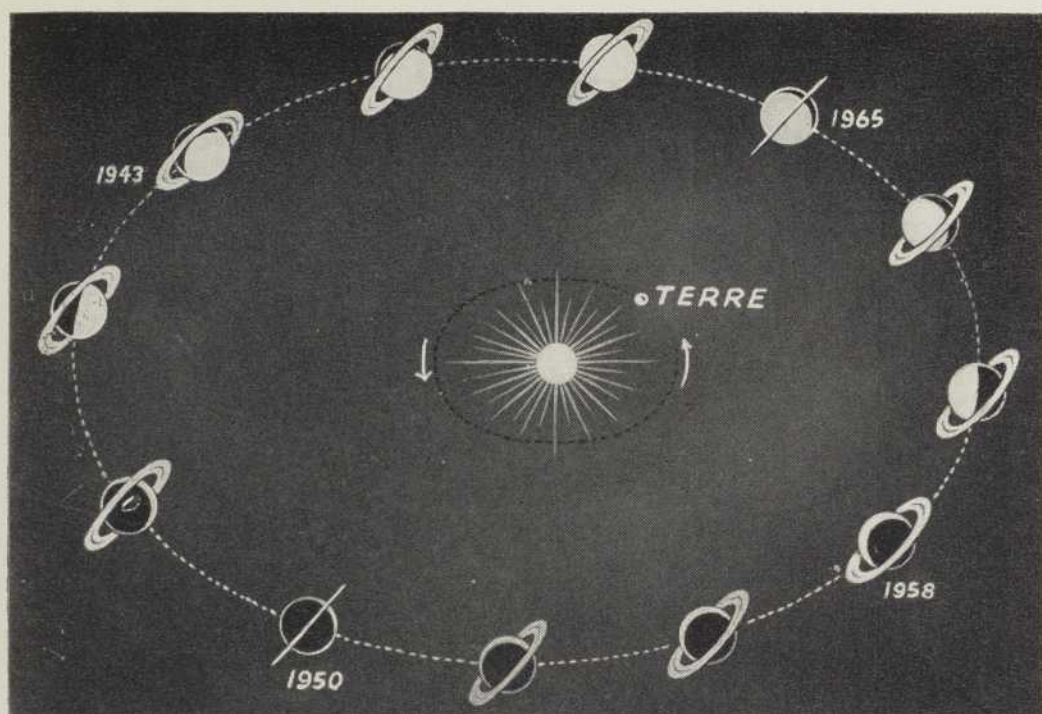


FIG. 84. POURQUOI LES ANNEAUX DE SATURNE ONT DES PHASES.

Au cours de la révolution de la planète autour du Soleil, révolution qui dure vingt-neuf années et demie, les anneaux se présentent deux fois par la tranche, pour un observateur placé sur la Terre ou sur le Soleil. À ces époques, les anneaux sont invisibles, sauf dans les grands télescopes. Nous avons indiqué, sur le dessin, les années auxquelles cet événement se produit, de même que les années où les anneaux sont grands ouverts.



FIG. 85. PHOTOGRAPHIES DE SATURNE, MONTRANT LES PHASES DE SES ANNEAUX.

Ces belles photographies—prises en février 1916, en avril 1921 et en mai 1922—montrent Saturne d'abord avec ses anneaux se présentant sous un angle très fort, puis par la tranche et, un an plus tard, sous un angle très faible. À remarquer la division de Cassini et l'ombre de la planète sur les anneaux.

Photo: E. C. Slipher, à l'observatoire Lowell.

rieur. Toutefois, sa lumière rougeâtre le rend facile à reconnaître en tout temps. Saturne brille comme une étoile de première grandeur — Arcturus ou Procyon — mais sa teinte

est jaune et son scintillement nul. En fait, à part Mercure, aucune planète ne scintille, sauf lorsqu'elle se trouve près de l'horizon.

Uranus

On a cru pendant plusieurs siècles que Saturne était la plus éloignée des planètes, et que son orbite marquait l'extrême limite de notre système. Une découverte, annoncée en 1781, à l'étonnement de tous, montra qu'il fallait doubler la distance de Saturne avant d'atteindre la frontière du royaume qui appartient au Soleil.

Le 13 mars de cette année-là, William Herschel, un musicien de carrière qui vivait à Bath, en Angleterre, était en train de fouiller le ciel avec un télescope de sa propre fabrication. Herschel s'était mis dans l'idée qu'il fallait étudier l'algèbre, la géométrie et les autres branches des mathématiques, pour pénétrer à fond la théorie de la musique. C'est ce qu'il fit, puis ses études le menèrent à l'optique, science de la lumière, et de là à la construction des télescopes. Après avoir observé quelques objets célestes dans un petit instrument, il voulut en essayer un plus grand. Comme le prix demandé pour l'instrument était au-dessus de ses moyens, il décida de le construire lui-même.

Les deux types d'instruments

Il existe deux types bien distincts d'instruments astronomiques: la lunette, qui fait usage d'une lentille pour recueillir la lumière des astres, et le télescope, où cet office est rempli par un miroir. Le premier est un réfracteur, et c'est l'instrument le plus commun; le second est un réflecteur, parce que la lumière est réfléchiée à la surface du miroir. Or, il est beaucoup plus facile de tailler un miroir qu'une lentille. Voilà pourquoi Herschel entreprit la construction d'un télescope, de préférence à une lunette astronomique. Pour l'astronome amateur, l'idéal est en effet de construire lui-même son télescope, et c'est ainsi que nombre d'excellents instruments ont été réalisés par des non-professionnels. La taille et le polissage d'un miroir requièrent, de la part du fabricant qui tient à produire un objectif de qualité, beaucoup de travail, une bonne dose de patience et un peu d'ingéniosité.

Voici (fig. 86) un télescope d'amateur et le constructeur, un avocat de Toronto, que l'on voit à l'oculaire de son instrument. Le miroir est à la partie inférieure du tube, tandis que l'oculaire par où l'observateur regarde est à l'autre bout. Le tube de ce télescope est fait de tôle galvanisée, mais le reste de la monture est en bois. Les plus grands télescopes du monde sont fabriqués suivant le même principe.

Celui de l'observatoire du Mont Wilson, en Californie, mesure 100 pouces (2,54 m) de diamètre (voir p. 258). Les résultats obtenus avec cet instrument ont été si encourageants qu'on a décidé d'en construire un autre encore plus grand (200 pouces de diamètre ou 5,07 m) au mont Palomar, non loin du premier (voir p. 263). L'observatoire McDonald, au Texas, possède un télescope de 82 pouces ou 2,08 m (1939). Le diamètre de celui de l'observatoire David Dunlap (fig. 87) est de 74 pouces (1,88 m) (1935), la même dimension que le réflecteur Radcliffe, à Prétoria, Afrique du Sud. Le télescope de l'observatoire du Canada pour l'Astrophysique, à Victoria, Colombie Britannique, mesure 72 pouces (1,83 m) de diamètre, et depuis sa mise en service, en 1918, il a servi à d'importantes investigations.

Ces grands instruments sont des triomphes de la technique moderne. Malgré leur masse imposante et la complexité de



FIG. 86. UN AMATEUR ET SON TÉLESCOPE.

Le miroir (et non la lentille) est placé à l'extrémité inférieure du tube métallique; celui-ci est fixé à une base en bois, à l'aide de tuyaux et de contre-poids en fer. Le constructeur (M. A. R. Hassard, de Toronto) observe à l'oculaire, à l'autre bout du tube.

leur mécanisme, ils sont d'une maniabilité extrême et tournent avec la précision d'une horloge.

La figure 88 nous montre la plus grande lunette qui existe. C'est celle de l'observatoire Yerkes qui fait partie des établissements de l'Université de Chicago et qui est situé à William Bay (Wisconsin). Sa lentille a 40 pouces (1,02 m) de diamètre et le tube mesure 65 pieds de long (19,8 m).

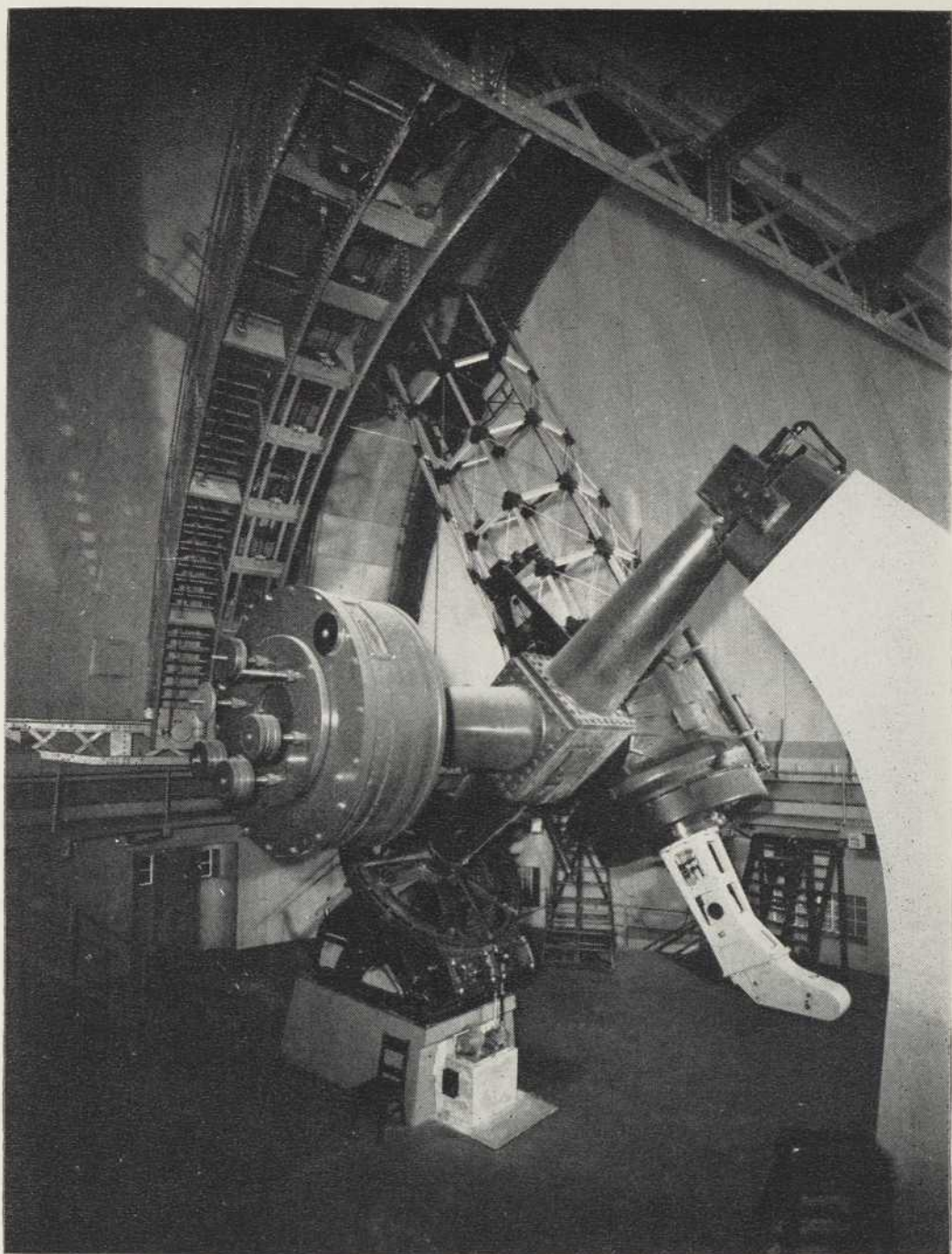


FIG. 87. LE TÉLESCOPE DE 74 POUCES DE L'OBSERVATOIRE DAVID DUNLAP, À RICHMOND HILL, ONTARIO.

Le télescope dont se servait Herschel, en 1781, avait un miroir de $6\frac{1}{4}$ pouces de diamètre et mesurait 7 pieds de long. C'était son habitude, après les répétitions et les concerts, de revenir en hâte à la maison et de se livrer à l'observation du ciel le reste de la nuit. Sa sœur Caroline lui servait habituellement de secrétaire.



FIG. 88. LA GRANDE LUNETTE DE L'OBSERVATOIRE YERKES.

C'est la plus grande lunette astronomique qui existe. Le diamètre de l'objectif est de 40 pouces (102 cm) et sa distance focale de 62 pieds (19,3 m).

Photo: Ross, à l'observatoire Yerkes.

Comment fut découvert Uranus

Herschel examinait ce soir-là toutes les étoiles de la constellation des Gémeaux, les unes après les autres, lorsque à un moment donné l'une d'elles attira son attention. Dans un bon télescope, une étoile apparaît toujours comme un simple point lumineux, mais celle-ci lui parut plus grande—avec un disque évident. Essayant un oculaire plus fort, il constata que le disque paraissait uniquement agrandi. Une étoile fixe ne se

comporte pas de cette façon et il en conclut que ce ne pouvait pas être une étoile ordinaire. L'examinant de nouveau quelques jours plus tard, il s'aperçut que l'objet s'était déplacé par rapport aux étoiles environnantes. Sa première idée fut qu'il s'agissait d'une comète, et l'absence de queue pouvait s'expliquer par le fait que la comète se trouvait très loin. Il n'eut pas la moindre idée que ce pouvait être une nouvelle planète.

Après quelques mois, il fut prouvé que l'objet était une planète et on lui donna le nom d'Uranus. Le roi Georges

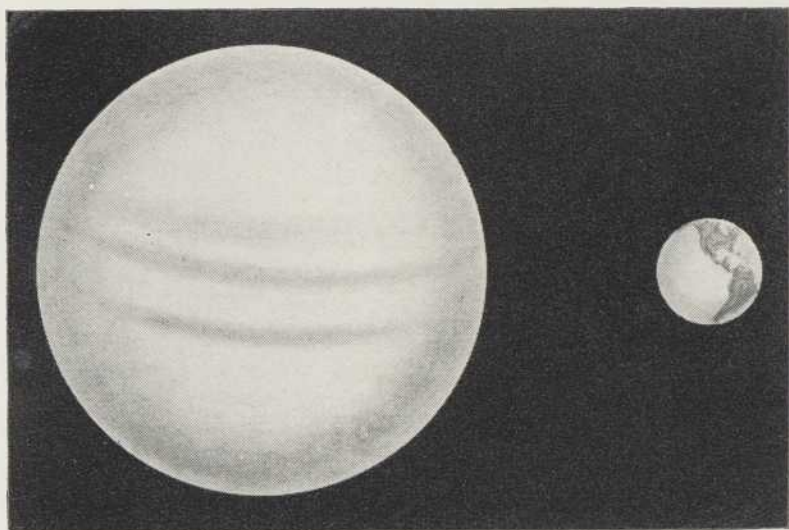


FIG. 89. DIMENSIONS RELATIVES DE LA PLANÈTE URANUS
ET DE LA TERRE.

Les diamètres sont respectivement de 32 400 milles et de 7918 milles
—soit dans le rapport 4,1:1.

III créa Herschel chevalier, le gratifia d'une pension et lui conféra le titre d'Astronome du Roi. Dans la suite, Herschel construisit de plus grands et de meilleurs télescopes, ce qui le rendit fameux dans toute l'Europe. Il consacra un temps considérable à l'observation du ciel et devint le plus grand astronome observateur de tous les temps.

Uranus et la Terre

Voici un dessin montrant la planète d'Herschel et la Terre à la même échelle (fig. 89). La planète est à 1800 millions de milles du Soleil (2900 millions de km), et son orbite est tellement grande que, malgré une vitesse de quatre milles et tiers à la seconde, elle prend 84 ans à achever son circuit autour du foyer central. Le diamètre d'Uranus est d'environ 32 000 milles (51 000 km), ce qui fait que son volume équivaut à pas moins de soixante-six fois celui de la Terre. Les matériaux dont il est constitué ne sont pas aussi denses, toutefois, que

ceux de la Terre, et il ne «pèse» que quinze fois plus que notre planète.

Uranus traîne avec lui cinq petits satellites, visibles seulement dans les plus grands télescopes. Malgré leurs faibles dimensions et leur grande distance, on a réussi à en photographier quatre, et voici le résultat obtenu (fig. 90).¹ Les quatre petits disques sont les satellites, dont les noms sont indiqués sur le dessin-clé, au bas de la figure.

Neptune

Uranus n'est pas la dernière planète du système solaire; il en reste encore au moins deux, dont la première est Neptune.

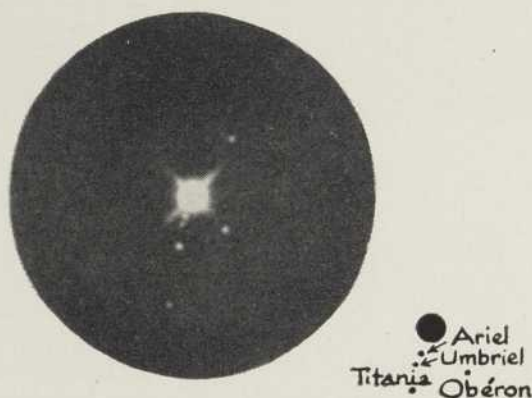


FIG. 90. UNE PHOTOGRAPHIE D'URANUS ET DE SES SATELLITES.

Les lunes d'Uranus sont très petites et visibles seulement dans les grands télescopes, mais elles peuvent être photographiées facilement. Pour leurs noms, voir le dessin-clé.

Photo: Lampland, à l'observatoire Lowell.

Uranus a été découvert par accident, pourrait-on dire; Neptune, lui, a été cherché méthodiquement et trouvé par le mathématicien, dans son cabinet de travail.

Sitôt après la découverte d'Uranus, les astronomes ont observé le mouvement de la nouvelle planète, et, au bout de quelques mois, ils ont pu déterminer la grandeur et la position de son orbite. Ainsi, ils ont prédit quels points du ciel elle occuperait dans la suite. Toutefois, après quelques années, on s'aperçut qu'elle n'était pas à l'endroit prévu. Il est vrai qu'elle ne s'en éloignait pas beaucoup, mais c'était déjà suffisant pour alerter les astronomes, qui ont fini par admettre la présence d'un corps inconnu affectant le mouvement d'Uranus.

Découvert par les Mathématiciens

Deux astronomes mathématiciens, Adams en Angleterre et Le Verrier en France, chacun dans l'ignorance des travaux

¹ Le cinquième satellite d'Uranus, Miranda, a été découvert par Kuiper, le 16 février 1948.

de l'autre, entreprirent de trouver la position de l'agent perturbateur. Le problème était très ardu, mais tous deux se mon-

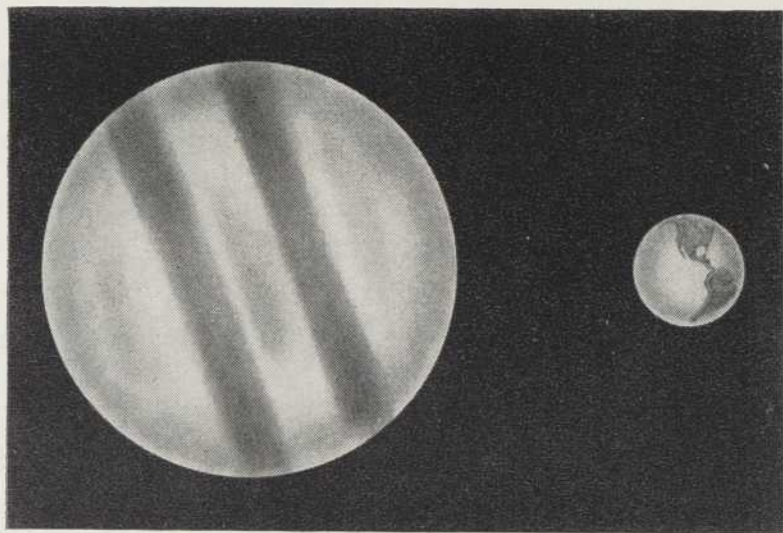


FIG. 91. DIMENSIONS RELATIVES DE LA PLANÈTE NEPTUNE ET DE LA TERRE.

Les diamètres sont respectivement de 31 000 milles et de 7918 milles—soit dans le rapport 3,9:1.

trèrent à la hauteur de la tâche. Ils déterminèrent le point du ciel où il fallait chercher le corps en question, et le 23 septembre 1846, un astronome de Berlin dirigeait sa lunette à cet endroit et trouvait la nouvelle planète. On imagine la sensation d'une découverte accomplie dans de telles conditions.

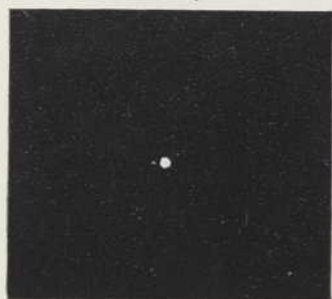


FIG. 92. NEPTUNE ET L'UN DE SES DEUX SATELLITES.

Le point brillant est la planète et le faible objet, à gauche, le satellite.

Photo: Lampland, à l'observatoire Lowell.

Neptune se tient à 2800 millions de milles (4500 millions de km) du Soleil. Il avance sur son orbite à la vitesse de trois milles et tiers à la seconde et met 165 ans à compléter une révolution. Il n'a donc parcouru qu'une partie de son orbite depuis sa découverte.

La figure 91 nous montre un dessin de Neptune et de la Terre. Le diamètre de Neptune est d'environ 31 000 milles (50 000 km). Cette planète serait assez volumineuse pour contenir soixante terres, mais les matériaux dont elle est formée, ou sa masse, serait à peine suffisante pour en constituer dix-sept.

Découverte du premier satellite de Neptune

Moins d'un mois après la découverte de la planète, on lui trouvait déjà une petite lune, Triton, tournant autour. Bien

qu'à une distance énorme de la Terre, le compagnon de la planète a pu impressionner nos plaques photographiques. Sur la figure 92, le disque brillant, au centre, est celui de la planète, tandis que le satellite est le petit point à côté. Sa distance à la planète est à peu près la même que celle de la Lune à la Terre.¹

Pluton

À la longue, on s'aperçut par l'observation que ni Uranus, ni Neptune, ne se conformaient aux orbites calculées, ce qui naturellement fit croire à une autre planète encore plus éloi-

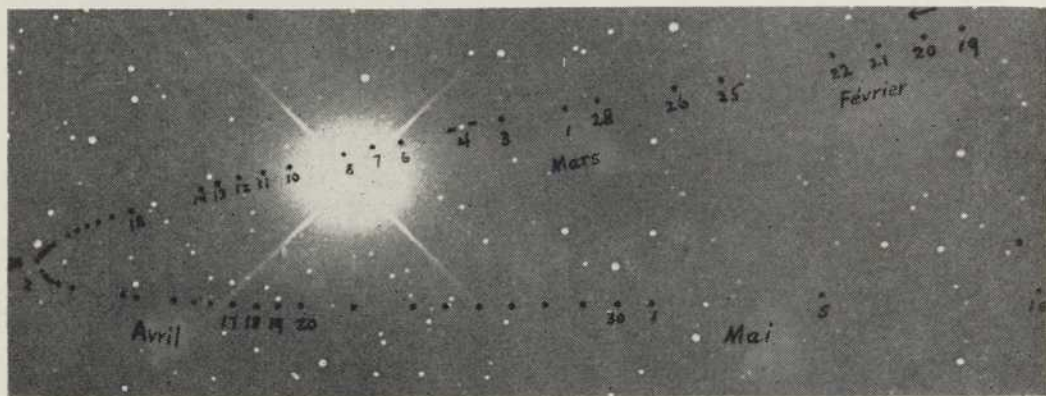


FIG. 92A. LA PLANÈTE PLUTON—DU 19 FÉVRIER AU 10 MAI 1930.

Cette photographie, prise le 4 mars 1930, montre une partie de la constellation des Gémeaux. Pluton, la nouvelle planète, est le petit point brillant entre les deux petits traits noirs. La position de la planète, avant et après cette date, est indiquée par de petits points noirs, d'après d'autres enregistrements photographiques. La marche de la planète est ainsi rendue visible. L'étoile brillante devant laquelle est passée la planète, le 8 mars, est δ des Gémeaux. Tous les clichés, sauf ceux du 19 au 22 février, ont été pris avec le télescope de 42 pouces de l'observatoire Lowell.

Photo: Lampland, à l'observatoire Lowell.

gnée du Soleil. Plusieurs tentatives ont été faites pour la trouver, soit par les calculs mathématiques, soit par l'observation, mais ce fut sans succès jusqu'à tout dernièrement, en 1930. Au début de cette année-là, des photographies prises à l'observatoire Lowell enregistrèrent un très faible objet qui se déplaçait parmi les étoiles. Les calculs ont révélé qu'il s'agissait d'un corps tournant autour du Soleil, sur une orbite située au delà de celle de Neptune. La figure 92A nous montre la position de cet objet au cours de la période s'étendant du 19 février au 10 mai 1930. On l'a nommé Pluton. Il est très petit, probablement de la grosseur de Mars, et sa distance au Soleil varie entre 2750 et 4590 millions de milles (4420 et 7370 millions de km). Pour la forme de son orbite, voir la figure 26, p. 53.

¹ Un deuxième satellite, qui a reçu le nom de Néréide, a été découvert à Neptune par Kuiper, le 1er mai 1949.

CHAPITRE VIII

ASTÉROÏDES—L'HYPOTHÈSE NÉBULAIRE—COMÈTES— ÉTOILES FILANTES

Les Astéroïdes ou Planétoïdes



NOUS sommes maintenant parvenus à l'ultime frontière du système solaire, mais avant de le quitter il nous reste encore quelques points d'intérêt à mentionner.

Revenons au vaste espace compris entre les orbites de Mars et de Jupiter. Lorsqu'on jette un coup d'œil sur les distances qui séparent les différentes orbites des planètes (fig. 24), on s'aperçoit que celle-là est bien trop grande comparée aux autres. Pendant plusieurs années, on s'est contenté d'ergoter sur la possibilité de trouver des planètes, de petites dimensions sans doute, évoluant dans ce vaste espace du domaine solaire. Finalement, un groupe d'astronomes s'est formé dans le but exclusif de faire la chasse à ces membres de la famille du Soleil, qui savaient si bien se dérober à l'attention des observateurs. La société portait le nom assez bizarre de Police du Ciel. Le premier coupable fut arrêté le 1er janvier 1801, dans des circonstances imprévues. Aujourd'hui on connaît environ 1500 de ces planétoïdes, dont les orbites ont été déterminées. Chaque année, on photographie pas moins de 200 objets du même type, mais on ne réussit à calculer que 30 ou 40 nouvelles orbites.

La méthode de découverte est la suivante. L'astronome dirige son appareil photographique sur la partie du ciel où il soupçonne la présence de planétoïdes et lui applique un mouvement égal à celui du ciel. Les étoiles s'enregistrent sur la plaque sous forme de points ronds, tandis qu'une planète, qui se meut par rapport aux étoiles, produit un trait révélant ainsi sa présence. La figure 93 nous montre deux de ces traits laissés par des astéroïdes. Le temps de pose a été de 1 heure.

Une famille de quinze cents membres

La famille des astéroïdes est tellement nombreuse aujourd'hui qu'il est bien difficile de noter tous les faits et gestes de chacun. Ce sont pour la plupart de petits objets de quelques milles de

diamètre. Un seul de toute cette famille est assez brillant pour être visible sans télescope. C'est Vesta, qui fut décou-



FIG. 93. UNE PHOTOGRAPHIE OÙ SONT ENREGISTRÉS DEUX ASTÉROÏDES.

Les astéroïdes, ou petites planètes, se déplacent continuellement par rapport aux étoiles. Pour cette photographie, la caméra a été assujettie à la monture du télescope de manière à suivre les étoiles, qui apparaissent ici ponctiformes. Les astéroïdes, au contraire, ont laissé une traînée révélatrice. On en distingue deux près du centre.

Photo: Barnard, à l'observatoire Yerkes.

verte en 1807. Son diamètre, de 300 milles probablement, surpasse de beaucoup le diamètre moyen des astéroïdes, qui est de trois ou quatre milles. Selon toute apparence, ce ne sont pour la plupart que des morceaux de roc sans formes régulières.

L'Histoire du Système Solaire

Avant d'aller plus loin, il serait bon de résumer ce que nous avons appris jusqu'ici sur le système solaire.

(1) Les orbites des planètes sont toutes à peu près circulaires. Elles sont situées dans des plans presque identiques, ou, si l'on préfère, dans des plans qui font des angles négligeables entre eux. Seule l'orbite de Pluton déroge à cette règle.

Le plan de référence est par convention celui de l'orbite de la Terre (qui s'identifie avec le plan de l'écliptique). Toutes les autres orbites des planètes (exception faite des planétoïdes) font des angles très faibles avec lui.

(2) Les planètes se meuvent toutes dans le même sens sur leurs orbites.

(3) Au centre, le Soleil, qui régit le mouvement des planètes, est en rotation sur lui-même dans le sens de révolution des planètes et son équateur est à peu près dans le plan de l'écliptique.

(4) La rotation des planètes, dans les cas où elle est connue avec certitude, se fait dans le même sens que la révolution.

(5) Les satellites, à part quelques rares exceptions, tournent autour des planètes dans le sens de rotation général, et leurs plans orbitaux coïncident à peu près avec celui de l'écliptique.

(6) La Terre et le Soleil sont composés des mêmes matériaux, et il est permis de supposer qu'il en est de même pour les autres planètes, bien que celles-ci soient dans des conditions physiques différentes des nôtres.

Que conclure après avoir réfléchi à tous ces faits, sinon que les planètes ont une origine commune ?

Pour plusieurs, un sujet d'étude et de spéculation passionnant est celui de l'origine du système solaire et de son évolution à travers les âges. Le problème est de reconstituer son histoire passée par la seule observation de ses conditions présentes.

Origine du Système Solaire

Les premières idées un peu cohérentes que nous ayons eues sur l'origine des planètes, se retrouvent dans l'Hypothèse Nébulaire, proposée il y a plus de cent ans déjà. D'après cette hypothèse, l'espace qu'occupent actuellement le Soleil et les planètes et les espaces environnants étaient remplis d'un gaz très ténu—en d'autres termes, c'était une nébuleuse. La température la plus haute aurait dominé dans ces gaz, pendant que toute la masse était soumise à un mouvement de rotation autour d'un axe quelconque. Au cours des âges, cette nébuleuse se serait refroidie et contractée. Mais, plus la masse gazeuse se contractait, plus sa rotation devenait rapide, si bien qu'à la fin

quelques parties s'en sont détachées, tout comme des gouttes d'eau s'échappent d'une roue en mouvement. Les matériaux ainsi libérés se seraient agglomérés par la force d'attraction et auraient constitué les planètes les plus éloignées.

Continuant à se contracter et à augmenter de vitesse, la nébuleuse aurait encore lancé dans l'espace les matériaux d'une autre planète. Et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'elle devienne notre Soleil d'aujourd'hui.

Cette théorie explique une bonne partie des faits, mais elle reste quand même insuffisante sur certains points importants. Elle a dû être rejetée par les astronomes.

Une autre théorie bien différente de la première a été mise de l'avant, il y a quelques années. Cette fois, on suppose que le Soleil était à l'origine une étoile isolée, sans système planétaire, et que, dans les temps reculés, une autre étoile serait venue à passer tout près, créant ainsi une formidable attraction entre les deux corps. Comme résultat, le Soleil aurait d'abord perdu sa forme sphérique, puis une grande quantité de matériaux se seraient séparés de lui. En s'éloignant, l'étoile perturbatrice aurait mis le Soleil en rotation et forcé les matériaux détachés à circuler autour de lui. Ces matériaux, avec le temps, auraient formé nos planètes.

Nous n'avons donné ici qu'un bref exposé de ces théories, trop difficiles d'interprétation pour être discutées plus longuement dans un ouvrage comme celui-ci. Il est bon de se rappeler, toutefois, qu'il ne s'agit là que de *théories*, dont les preuves ne seront jamais faites. D'ordinaire, l'astronome édifie sur des bases plus solides : des observations de premier choix et des calculs mathématiques très au point. Ses prédictions sont alors de tout repos.

Comètes et Météores

Les corps célestes qu'on appelle comètes et météores peuvent aussi être considérés comme des membres du système solaire, puisqu'ils gravitent autour du Soleil. Cependant, ils ne sont pas toujours confinés dans nos parages. La figure 94 montre la façon dont une comète se comporte. Lorsqu'on aperçoit une comète pour la première fois, son éclat est très faible, par suite de la distance considérable qui la sépare de la Terre, et c'est tout juste si l'on peut l'identifier comme telle. Puis, elle s'approche du Soleil (direction indiquée par les flèches), et une queue se développe à sa suite, qui devient de plus en plus grande et plus brillante. Lorsque la comète est parvenue à son point le plus proche du Soleil, on dit qu'elle est à son *périhélie*; la queue est alors ordinairement très longue. L'astre continue sa marche, en maintenant toujours sa queue en direc-

tion opposée au Soleil; elle diminue graduellement d'éclat et disparaît enfin, pour ne revenir probablement jamais.

Il arrive cependant que les comètes reviennent; dans ces cas, on peut réellement les considérer comme membres de la famille du Soleil. Celle qui revient au foyer du Soleil le plus fréquemment est la comète d'Encke, ainsi nommée d'après l'astronome qui a étudié son mouvement. Une de ses photographies est reproduite ici (fig. 95). Elle est trop faible pour être visible

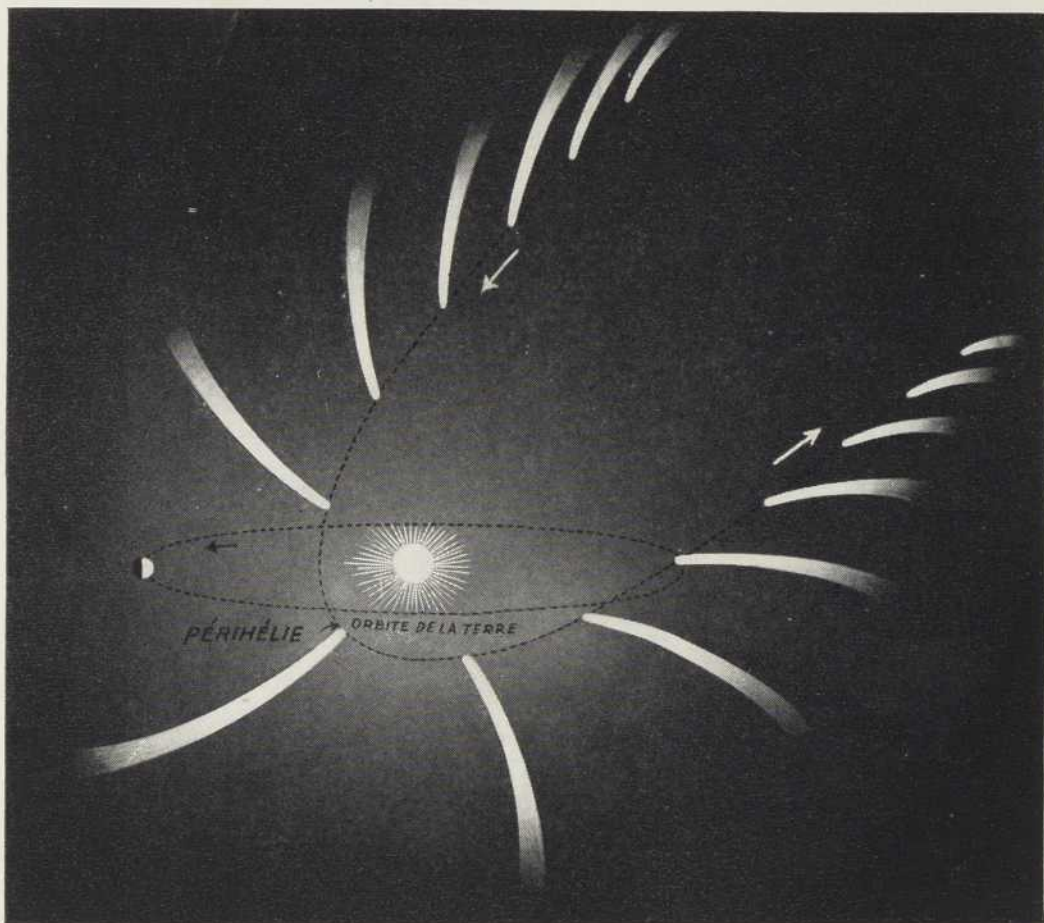


FIG. 94. L'ORBITE D'UNE COMÈTE.

Voici l'aspect d'une grande comète depuis son arrivée des profondeurs de l'espace jusqu'à son approche du Soleil (périhélie), et son retour à l'infini. Dans sa course, elle passe près de l'orbite terrestre et peut évidemment s'approcher beaucoup de la Terre. En certaines occasions, la Terre a été complètement englobée par la queue de la comète.

Dessin de F. S. Smith.

à l'œil nu et, comme on peut le remarquer, elle n'a pas de queue du tout. Elle revient tous les trois ans et trois-dixièmes.

Aspect étrange des Comètes

La comète d'Encke, vous en conviendrez, ne présente aucun trait bien frappant. D'autres, au contraire, sont des objets

très remarquables, comme celle qu'a découverte l'astronome américain Brooks, en 1911 (fig. 96). À remarquer la longueur de cette queue merveilleuse qui s'échappe de la tête de la comète.



FIG. 95. UNE PHOTOGRAPHIE DE LA COMÈTE ENCKE.

Cette comète n'a pas de noyau brillant, ni de queue; c'est une simple tache nébuleuse dans le ciel, invisible d'ailleurs à l'œil nu. Temps de pose: 1 h. 53 m. L'appareil suivait le mouvement de la comète, de sorte que les étoiles se sont enregistrées sous forme de traits.

Photo: Barnard, à l'observatoire Yerkes.

Une autre comète, découverte en 1908 par Morehouse (fig. 97), a subi d'étranges transformations durant les quelques mois qu'elle a été visible. On peut voir sur la figure une quantité de filaments gazeux, d'une extrême ténuité, qui se sont séparés sous l'effet de la pression engendrée par le rayonnement solaire. La queue s'est brisée à un endroit et les matériaux qui la composent semblent vouloir se perdre dans l'espace.



FIG. 96. UNE PHOTOGRAPHIE DE LA COMÈTE BROOKS.

Lorsqu'on l'a vue pour la première fois, cette comète n'avait pas de queue, mais celle-ci s'est développée rapidement à mesure que la comète s'approchait du Soleil. Avec le temps, la comète devint un objet remarquable et sa queue atteignit 30° de long. À noter, la structure filamenteuse des matériaux qui s'échappent de la tête. Cliché pris le 23 octobre 1911; temps de pose: 1 h. 15 m.

Photo: Barnard, à l'observatoire Yerkes.

La Comète de Halley

La plus fameuse de toutes les comètes est sans aucun doute celle qui a reçu le nom de l'astronome anglais Halley. Elle nous visite tous les soixante-seize ans. Venue au foyer du

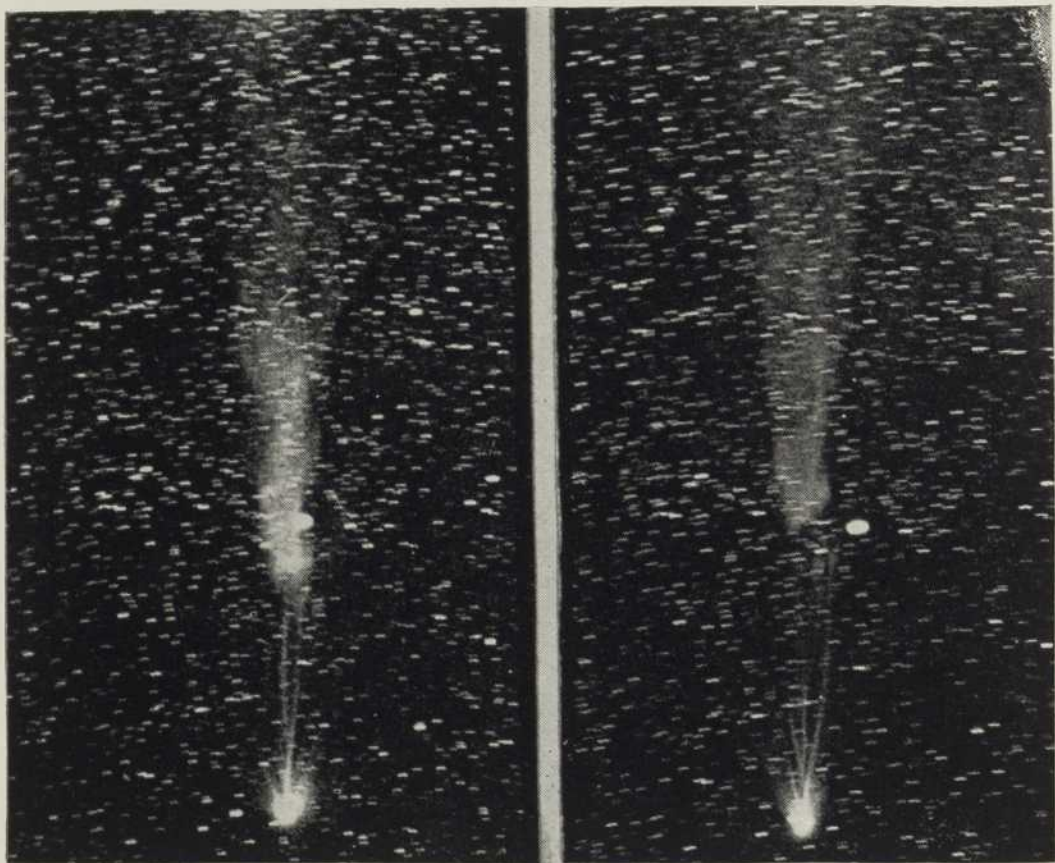


FIG. 97. LA COMÈTE MOREHOUSE, LE 1^{ER} OCTOBRE (8 H. 45 DU SOIR)
ET LE 2 OCTOBRE (1 H. 18 DU MATIN) 1908.

Ces deux photographies furent prises la même nuit, la seconde après un intervalle de quatre heures et demie. On note cependant un grand changement; la queue se détache de la tête et s'échappe dans l'espace. Cette comète fut découverte par Morehouse, à l'observatoire Yerkes; ses nombreux changements de forme ont intrigué les astronomes.

Photo: Barnard, à l'observatoire Yerkes.

Soleil en 1910, elle y reviendra probablement en 1986. Parmi les lecteurs de ces pages, il s'en trouvera certainement qui vivront assez longtemps pour saluer son prochain retour au centre du système solaire. La figure 98 est une photographie de ce curieux vagabond, prise le 13 mai 1910. On a exposé la plaque durant trente-six minutes. L'expansion de la queue est particulièrement remarquable. La tache brillante qu'on aperçoit à droite de la comète est nulle autre que la planète Vénus qui se trouvait dans le ciel à ce moment-là. À remarquer

encore un petit trait oblique contigu à la queue, à la hauteur de Vénus: c'est la trace d'une étoile filante. Ainsi, quatre corps célestes différents ont été enregistrés sur cette même photographie—une comète, une planète, une étoile filante et des étoiles fixes.

Nature des Comètes

Nos connaissances actuelles sur la nature des comètes se résument à peu de chose. Leur volume est souvent énorme. La tête, par exemple, peut avoir 100 000 milles (160 000 km) de diamètre et même plus; la queue 50 000 000 milles (80 000-000 km) de longueur. La comète ne possède toutefois qu'une masse très faible—inférieure à celle de la plus petite planète. La matière qui constitue ces astres est très ténue: on en a une bonne preuve quand on aperçoit une étoile à travers la tête même de la comète. L'éclat de l'étoile ne paraît pas diminué sensiblement.

Au centre de la tête, on remarque un point brillant, ressemblant beaucoup à une étoile: c'est ce qu'on appelle le noyau. Il contient probablement des matériaux solides, dont les divers fragments sont à des distances considérables les uns des autres. Dans un mille cube de substance cométaire, on peut dire qu'il s'y trouve en moyenne moins d'une demi-once de matière solide. À mesure que la comète s'approche du Soleil, ces corps solides dégagent des gaz et de fines poussières sous l'action de la chaleur.

La queue se compose de très fines particules qui sont expulsées du noyau par la pression qu'exerce le rayonnement solaire. En comparant des photographies prises à de brefs intervalles, comme celles de la figure 97, on constate que les particules s'éloignent graduellement de la tête. En effet, dans le cas de la comète de Halley, on a pu observer le mouvement d'une condensation durant plus de deux semaines. À 800 milles de la tête, la portion observée était animée d'une vitesse de six-dixièmes de mille par seconde, mais à la distance de 8 400 000 milles cette vitesse avait augmenté à 57 milles par seconde. Il est donc certain que les comètes perdent continuellement leurs matériaux et, comme on ne leur connaît aucun moyen de compenser ces pertes, elles doivent nécessairement finir par disparaître.

Le spectroscope a montré que les comètes contiennent de l'azote, de même que des gaz toxiques, comme le monoxyde de carbone et le cyanogène. Toutefois, on n'a remarqué aucun accident quand la Terre a traversé la queue d'une comète, un phénomène qui s'est produit assez souvent.

Les Étoiles Filantes

Les étoiles filantes, comme celle qui a laissé sa trace sur la photographie de la figure 98, sont bien familières à tout le



FIG. 98. PHOTOGRAPHIE DE LA COMÈTE DE HALLEY.

Sur cette photographie sont enregistrées quatre espèces différentes de corps célestes. La grande comète, dont une partie de la queue se sépare apparemment du reste et s'éloigne rapidement, constitue l'objet principal. Le disque brillant, à droite, n'est autre que la planète Vénus. On remarque aussi un petit trait oblique à environ un pouce au-dessus de la tête de la comète: c'est une étoile filante. Les étoiles fixes couvrent le fond du ciel. Cette photographie fut prise le 13 mai 1910, avec un temps de pose de trente-six minutes.

Photo: E. C. Slipher, à l'observatoire Lowell.

monde. D'ordinaire, on n'observe qu'un trait lumineux qui traverse le ciel et ne dure qu'un instant.

Ces traits lumineux sont dus à des particules solides, de la grosseur d'un grain de sable, probablement, qui voyagent à travers l'espace et qui entrent, à un moment donné, dans l'atmosphère terrestre. Les particules s'échauffent par friction sur les molécules d'air et se consomment plus ou moins complètement.

Il y a des gens qui s'étonnent de ce que des grains de sable puissent voyager dans l'espace à des vitesses de plusieurs milles par seconde. De telles vitesses paraissent normales pour une grosse planète, mais non quand il s'agit d'un simple corpuscule rocheux. Pourtant, loin de la Terre et des autres planètes, dans le vide interplanétaire, rien ne peut entraver la marche des corps célestes; qu'ils soient gros ou petits, ils voyagent sans entrave.

Un grand bolide

Il arrive que les particules soient plus grosses—parfois d'un pied de diamètre et même plus—alors, elles fendent l'atmosphère en produisant un long trait fulgurant. Dans ce cas, le météore est appelé un bolide. La photographie de la figure 99 nous montre un spécimen très remarquable de bolide. Un astronome du nom de Klepesta, à Prague, en Tchécoslovaquie, prenait une photographie à longue pose dans la nuit du 12 septembre 1923, quand, vers les 11 heures du soir, un brillant bolide traversa le ciel dans la région couverte par le télescope, s'enregistrant ainsi sur la plaque photographique.

La boule de feu descendit lentement du ciel, en augmentant continuellement d'éclat, et laissa derrière elle une traînée lumineuse très jaune qui persista une dizaine de secondes. Lorsque le bolide, dans son mouvement apparent, passa tout près de la nébuleuse d'Andromède (qu'on aperçoit à droite sur la figure), il fit explosion et son éclat embrasa toute la contrée des environs. On voit très bien la double traînée lumineuse produite par les deux segments du bolide.

D'autres personnes observèrent également ce météore extraordinaire, ce qui permit de déterminer avec précision le trajet parcouru par le bolide, de même que sa vitesse. Ainsi, au moment où il est apparu, il se trouvait à quatre-vingt-cinq milles de la surface de la Terre. Après avoir voyagé sur une distance de vingt-cinq milles, à la vitesse de trente-sept milles à la seconde, il s'éteignit complètement. À ce moment-là, il se trouvait à une hauteur de trente-cinq milles au-dessus de la Terre. La photographie n'a enregistré que sept milles et demi du trajet du bolide, alors qu'il se trouvait à une hauteur de cinquante milles.



FIG. 99. PHOTOGRAPHIE D'UN BOLIDE.

Très peu de bolides aussi brillants que celui-ci ont été photographiés. Les renforcements de la trajectoire sont probablement dus à des explosions successives du météore, alors qu'il traversait l'atmosphère à la vitesse de trente-sept milles par seconde. Cette photographie fut prise à l'observatoire National de Tchécoslovaquie.

Photo: J. Klepesta, à Prague, Tchécoslovaquie.

La figure 100 est une photographie d'une brillante Perséide, obtenue par un amateur sur une plaque exposée pendant une demi-heure. Des photographies de ce genre sont très utiles au progrès de la science.

Quelquefois, les fragments minéraux qui constituent les bolides se rendent jusqu'à la Terre; dans ce cas ce sont des mé-



FIG. 100. UNE BRILLANTE PERSÉIDE.

Le météore est apparu pendant une pose de 2 h. 40 à 3 h. 10 du matin, le 12 août 1935, à Kincardine, Ontario. Les étoiles appartiennent à la constellation de Persée. Distance focale de la lentille, $f = 13,5$ cm, ouverture $f/4,5$.

Photo: Alan H. Armstrong.

téorites. On en a trouvé un grand nombre et nos musées en possèdent de nombreux spécimens. Quelques-uns sont cons-

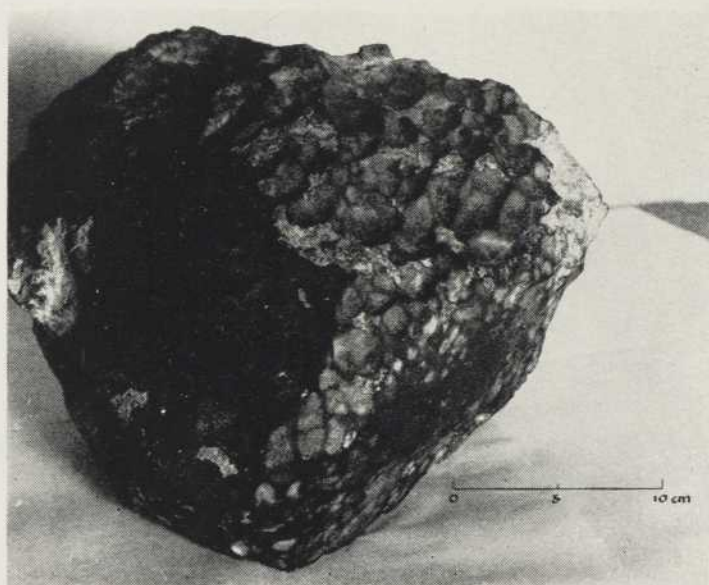


FIG. 100A. UNE MÉTÉORITE TOMBÉE EN 1939.

Une photographie du fragment principal d'une météorite pierreuse tombée vers 9 h. du soir, le 11 juillet 1939, dans un champ près du village de Dresden, dans la Province d'Ontario, au Canada. Cette pierre pesait 88 livres, après que quelques morceaux en furent enlevés. On trouva d'autres fragments plus petits dans les environs. La trajectoire du bolide était visible sous forme de trait de feu très intense, aperçu à plus de cent milles à la ronde; son passage à travers l'atmosphère a été accompagné de grondements sourds, de «roulements de tambour» et de «coups de canon».

titués presque uniquement de fer, mais la plupart sont de nature rocheuse, comme, par exemple, celui de la figure 100A.

LIVRE III

LES ÉTOILES

CHAPITRE IX

Les Étoiles et les Saisons



Il y aurait encore beaucoup à dire sur le système solaire, mais nous ne pouvons nous y attarder plus longuement. Abandonnons ces espaces restreints, pour nous plonger dans l'immensité du monde sidéral.

Nos lecteurs ont déjà eu l'occasion de se familiariser avec les cartes géographiques. Certaines couvrent de faibles étendues, par exemple, un département ou une région industrielle; d'autres représentent tout un continent. Il en est de même des cartes célestes, qui réfèrent à de grandes portions du ciel, à une constellation ou même à une partie de constellation.

Il existe cependant une différence qu'il ne faut pas perdre de vue: si nous observons de l'extérieur la surface de la Terre, c'est de l'intérieur que nous regardons la voûte étoilée. La face interne de cette voûte semble parsemée d'étoiles.

Les Étoiles du Pôle Boréal

Examinons maintenant quelques cartes du ciel, en commençant par celles qui couvrent de grands espaces de la voûte céleste. Notre première carte (fig. 101) contient les étoiles visibles lorsqu'on fait face au nord et qu'on regarde à la hauteur de la Polaire. Pour un observateur situé à une latitude moyenne dans notre hémisphère, ces étoiles sont toujours visibles par une nuit claire, mais leur orientation n'est pas toujours la même. On dirait qu'elles sont clouées au ciel et qu'elles tournent continuellement autour du pôle céleste, effectuant une révolution complète en un jour. Leur disposition varie avec la saison aussi. En automne, au début de la soirée, le Chariot est aperçu au-dessous de la Polaire, tandis qu'au printemps, à la même heure, on le voit au-dessus.

La figure 101 montre les étoiles telles qu'on les voit dans le ciel, tandis qu'à la page suivante nous avons le dessin-clé

(fig. 102), indiquant le nom des constellations et des étoiles les plus brillantes. Le dessin mentionne en plus les mois de l'année. Ainsi, le mois à la partie supérieure de la figure est



FIG. 101. LES ÉTOILES CIRCUMPOLAIRES, TELLES QUE VUES DANS LE CIEL.

Cette carte montre la position des étoiles du pôle boréal, vers 9 h. du soir, en novembre. On n'a qu'à renverser, haut en bas, pour avoir la position des étoiles six mois plus tard. Le printemps, au début de la soirée, le Chariot est au-dessus du pôle.

novembre; ceci veut dire que le dessin représente les étoiles circumpolaires telles qu'on les voit en novembre, à 9 heures du soir. Pour connaître la position des étoiles à la même heure au cours des autres mois, on n'a qu'à tourner le dessin jusqu'à ce que le mois correspondant apparaisse au haut.

La Grande et la Petite Ourse

L'étoile tout près du centre de la carte est l'Étoile Polaire, ou simplement la Polaire. À quelque distance au-dessous se

trouve le Chariot, qui fait partie de la constellation de la Grande Ourse. Sept étoiles brillantes constituent ce groupe. Sur les cartes d'étoiles, c'est l'habitude d'identifier chaque étoile brillante par une lettre de l'alphabet grec, mais ici nous n'avons

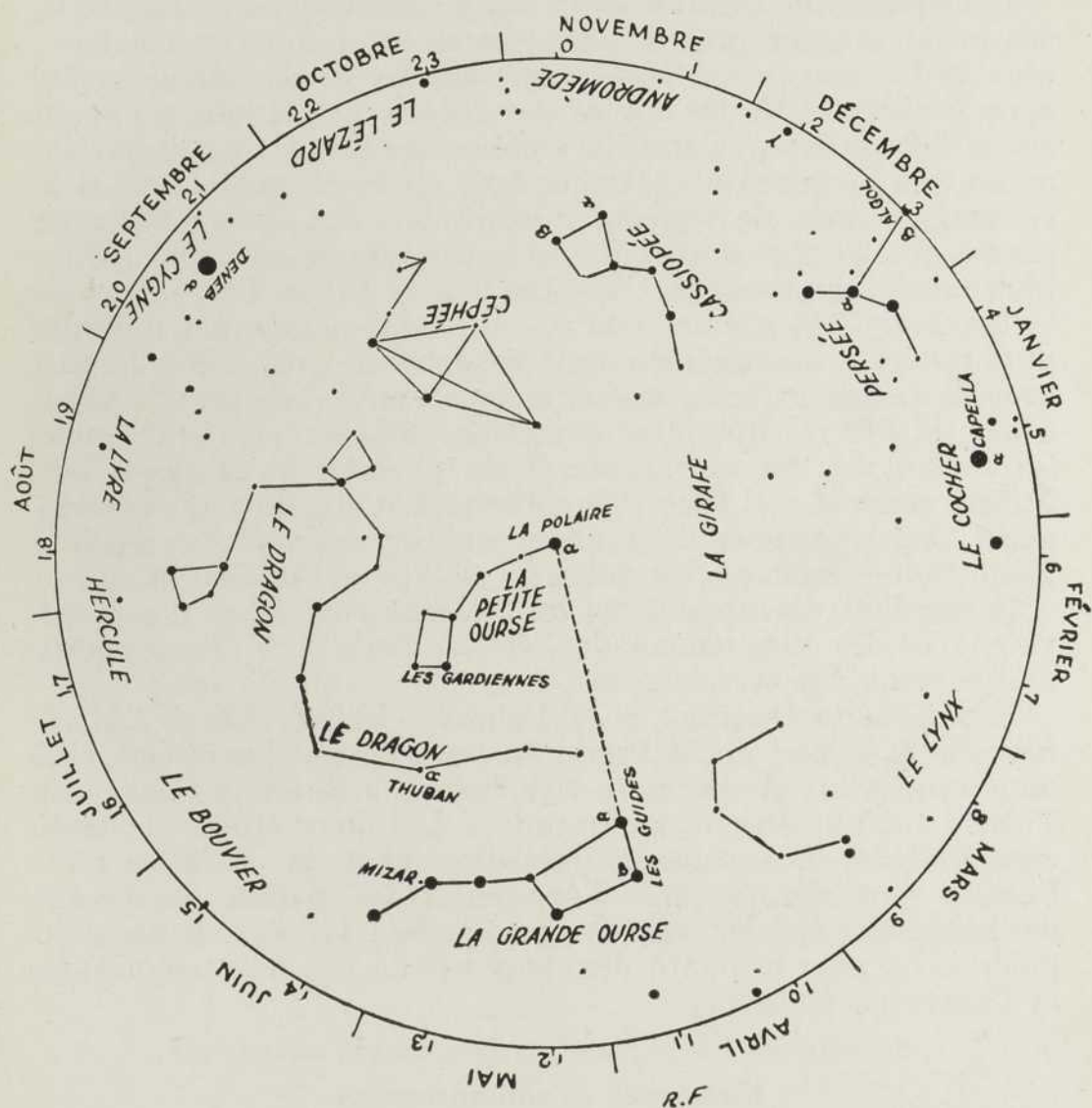


FIG. 102. Dessin-clé de la figure 101, avec les noms des constellations.

On trouve la position des étoiles à 9 h. du soir, pour n'importe quel mois, en tournant la carte de telle sorte que le nom du mois apparaisse à la partie supérieure.

employé que les deux premières, α (alpha) et β (bêta). Les étoiles α et β de la Grande Ourse sont appelées les «guides». Elles sont à une distance de 5° environ l'une de l'autre. Si l'on tire une ligne de β à α , et qu'on la prolonge sur une distance d'environ 30° , on arrive tout près de la Polaire.

Les anciens Arabes ont donné le nom de Dubhé à α et celui de Méraïk à β . Ils ont aussi appelé Mizar l'étoile qui fait l'angle dans le timon du Chariot. En regardant avec attention tout près de cette dernière, on peut apercevoir une autre étoile très faible, qui porte le nom d'Alcor.

Les étoiles du Chariot sont dites de deuxième magnitude. On peut compter près de vingt étoiles qui sont franchement plus brillantes que celles-là; ce sont les étoiles de première magnitude. Après les étoiles de seconde magnitude, viennent celles de troisième, et ainsi de suite. Les étoiles les plus faibles qu'on peut apercevoir par une nuit claire et sans Lune, à la campagne, sont de sixième magnitude. En pleine ville, on peut à peine apercevoir celles de quatrième magnitude. (Pour plus de détails, voir le Chapitre XI.) Avant l'invention de la lunette (1608), on ne connaissait évidemment pas d'étoiles plus faibles. Les progrès dans ce domaine sont allés de pair avec le perfectionnement des instruments. Les grands télescopes de l'heure présente permettent d'observer visuellement les étoiles de 19^e magnitude et de photographier jusqu'à la 21^e magnitude. Il faut 100 millions d'étoiles de magnitude 21 pour donner autant de lumière qu'une seule étoile de 1^{ère} magnitude—comme, par exemple, Altaïr ou Aldébaran.

Il convient de rappeler ici que le mot *magnitude* n'a rien à voir avec les dimensions de l'étoile, mais qu'il se rapporte uniquement à son éclat.

Revenons maintenant à la Polaire: c'est l'étoile à l'extrémité de la queue de la Petite Ourse. Quand les étoiles sont dans la position de la figure 101, l'ourse a la tête en bas. La Polaire est de seconde magnitude. Les deux étoiles de cette constellation, qui suivent immédiatement la Polaire pour l'éclat, sont figurées par l'épaule et les pattes de devant de l'animal. On les appelle quelquefois les «gardiennes du pôle». La plus brillante des deux est de seconde magnitude, et l'autre de troisième.

Cassiopee et son entourage

À l'opposé de la Grande Ourse, par rapport au pôle céleste, se trouve la constellation de Cassiopee. Cinq des principales étoiles de ce groupe forment un W renversé ou un M aux jambages fortement écartés. Les trois constellations voisines sont connues sous les noms de Céphée, d'Andromède et de Persée, que nous ont légués les mythologies anciennes.

D'après la légende grecque, Andromède était la fille de Céphée et de Cassiopee, roi et reine d'Éthiopie. Comme Cassiopee s'était vantée, un jour, d'égaler en beauté les nymphes qui servaient Neptune, dieu de la mer, cet auguste personnage s'en

offensa et résolut de punir les monarques en inondant leur pays et en envoyant un monstre marin ravager les populations et les troupeaux. Neptune fit savoir qu'il n'y aurait pas de répit à sa colère tant que le roi ne livrerait pas sa fille au monstre. La pauvre princesse dut être conduite sur le rivage pour se faire enchaîner à un rocher et fut ainsi abandonnée à son sort. Mais voici que Persée, le jeune héros qui avait déjà triomphé de la terrible Méduse, vint à passer par là. Il tua le monstre, délivra Andromède et l'épousa.¹ Les Anciens croyaient reconnaître la forme de ces personnages fictifs parmi les étoiles, virtuosité de l'imagination qui est rare de nos jours.

Entre la Grande et la Petite Ourse, on trouve le Dragon. Le bout de la queue n'est pas loin de la ligne qui joint les «guides» à la Polaire. De là, il déploie sa longue sinuosité marquée d'étoiles relativement faibles. A la suite d'une boucle, vient la tête, située près de la constellation d'Hercule. La tête du Dragon est indiquée par quatre étoiles gauchement disposées en quadrilatère. La plus brillante des quatre, celle qui est la plus éloignée du pôle, est désignée par la lettre grecque γ (*gamma*). La rotation diurne ramène cette étoile directement au-dessus de Londres tous les jours, et c'est sur elle que d'importantes observations ont été faites par James Bradley, astronome royal de 1742 à 1762, et le troisième à occuper ce poste.

Une autre étoile remarquable, dans le Dragon, est α , ou Thuban, à mi-chemin entre Mizar et les gardiennes du pôle. Il y a environ 4700 ans, c'était notre étoile polaire, mais elle était beaucoup plus loin du pôle réel que la nôtre ne l'est actuellement.

En s'aidant de cartes célestes, il est donc facile de passer d'une constellation à l'autre et d'identifier chacune d'elles. C'est un réel plaisir que d'en relever les configurations bizarres.

La région équatoriale—Les Étoiles de l'Hiver

Si nous nous tournons maintenant vers le sud, nous pouvons voir une large zone qui s'étend de part et d'autre de l'équateur céleste; nous en faciliterons l'étude en la divisant en quatre sections.

Commençons par les étoiles d'hiver qui offrent le coup d'œil le plus magnifique. La carte de la figure 103 nous montre les constellations d'hiver, tandis que la figure 104 en est le dessin-clé. La ligne droite, dans cette dernière figure, représente l'équateur céleste; la ligne courbe en pointillé est celle de

¹ Pour autres renseignements mythologiques, voir *The Myths of Greece and Rome*, par H. A. Guerber (Harrap).

l'écliptique qui, comme on sait, est la marche apparente du Soleil parmi les étoiles.

Le Soleil passe (mouvement de droite à gauche) dans la partie de l'écliptique représentée ici, durant la période qui s'étend du 7 avril au 7 septembre. Au milieu de ces deux dates—c'est-à-dire le 21 juin—il se trouve au point le plus éloigné de l'équateur céleste.



FIG. 103. LES ÉTOILES DE L'HIVER.

Imaginez un plan passant par le pôle céleste, par le point directement au-dessus de votre tête (le zénith) et par vous-même; ce plan passera aussi par les points cardinaux nord et sud, à l'horizon. Vous aurez ainsi votre *plan méridien*. Sur la sphère céleste, ce plan trace un grand cercle; c'est le *méridien* de l'observateur. Lorsque le Soleil, ou tout autre corps céleste, a atteint ce cercle, on dit qu'il est *sur le méridien*.

À la partie supérieure du dessin (fig. 104), on a indiqué vis-à-vis des constellations, les mois durant lesquels ces étoiles passent au méridien vers les 9 heures du soir.

La plus en évidence des constellations d'hiver est sans nul doute Orion, dont les Anciens avaient fait un puissant guerrier. Nous en avons la représentation un peu plus loin (fig. 175). Les trois brillantes étoiles, disposées en ligne droite et séparées d'environ $1\frac{1}{2}^\circ$, forment sa ceinture. Elles sont toutes de seconde magnitude. À 8° au nord de la ceinture se trouve la belle étoile rouge de première magnitude, appelée Bételgeuse. À 10° au sud de la ceinture, on a la splendide

étoile blanc-bleuâtre qui porte le nom de Rigel. Elle est de première magnitude aussi. La constellation d'Orion est la plus belle de tout le ciel. C'est la seule qui compte deux étoiles de première magnitude.

Le Grand Chien, le Taureau et les Gémeaux

Si l'on prolonge de 20° vers la gauche la ligne qui passe par la ceinture d'Orion, on arrive à l'étoile Sirius dans la constella-

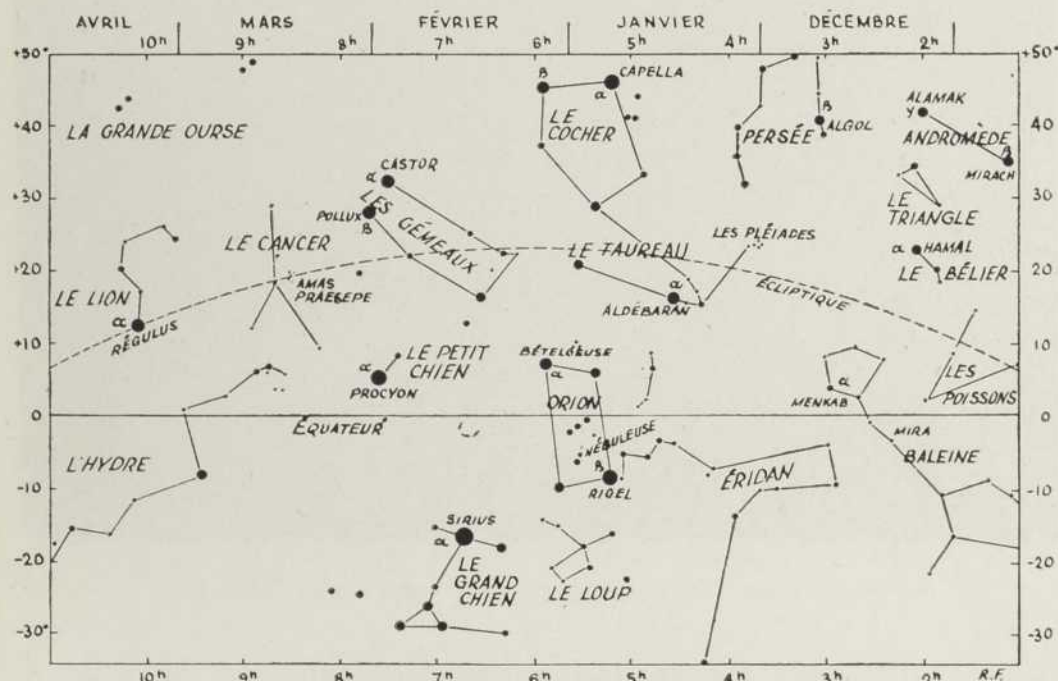


FIG. 104. DESSIN-CLÉ DES CONSTELLATIONS DE L'HIVER.

tion du Grand Chien. C'est l'étoile la plus brillante du ciel. Sur la même ligne, mais cette fois vers la droite et à une distance équivalente, on rencontre Aldébaran, étoile rouge de première magnitude appartenant à la constellation du Taureau.

Orion est juste en bordure de la Voie Lactée. De l'autre côté de cette traînée blanchâtre, un peu plus haut (*i.e.* plus au nord) et sur la gauche (*i.e.* à l'est), on a la constellation des Gémeaux. Les deux étoiles les plus brillantes sont Castor et Pollux, de seconde et de première magnitude respectivement. En tirant une ligne de Castor à Pollux et en obliquant un peu vers Orion, on rencontre Procyon, la brillante étoile de première magnitude du Petit Chien. À gauche de la ligne qui joint Pollux et Procyon, on aperçoit une étoile brillante qui forme un grand triangle avec les premières: c'est Régulus de la

constellation du Lion. Elle est blanche, de première magnitude et située presque exactement sur la ligne de l'écliptique. Régulus et cinq autres étoiles du Lion forment aussi un groupe qu'on appelle la Faucille Céleste.

Les étoiles qui restent peuvent être facilement localisées dans le ciel en partant de celles dont nous venons de parler.



FIG. 105. LES ÉTOILES DU PRINTEMPS.

Les Étoiles du Printemps

La carte suivante (fig. 105) nous montre les étoiles du printemps. On trouvera leurs noms sur le dessin-clé de la page opposée (fig. 106).

Au mois de mars, la constellation du Cancer est dans une position avantageuse pour l'observation, mais elle ne renferme pas d'étoiles brillantes. À mi-chemin à peu près entre Pollux et Régulus se trouve l'amas d'étoiles connu sous le nom de Præsepe (la ruche d'abeilles). Il n'est pas sans intérêt d'en faire la recherche par un ciel pur. Elle nous apparaît alors sous forme d'une nébulosité de faible étendue, qu'une petite lunette, ou même une jumelle, révèle composée d'une multitude d'étoiles de faible éclat. C'est un amas ouvert, dont la photographie a été reproduite plus loin. (Fig. 166.)

En avril et en mai, la Vierge est facile à identifier. Elle renferme une étoile brillante, d'un blanc pur, appelée l'Épi, laquelle se trouve près de l'écliptique et à environ 10° au sud de l'équateur. L'Épi est un très grand soleil. D'après les

plus récentes mesures, sa distance serait de 180 années-lumière—ce qui veut dire que sa lumière prend 180 années à parvenir jusqu'à la Terre. Nous la voyons actuellement dans l'état où elle se trouvait il y a 180 ans. Nous recevons de notre Soleil beaucoup plus de lumière que de cette étoile, mais c'est seulement parce qu'il est plus près de nous. En effet, si l'Épi

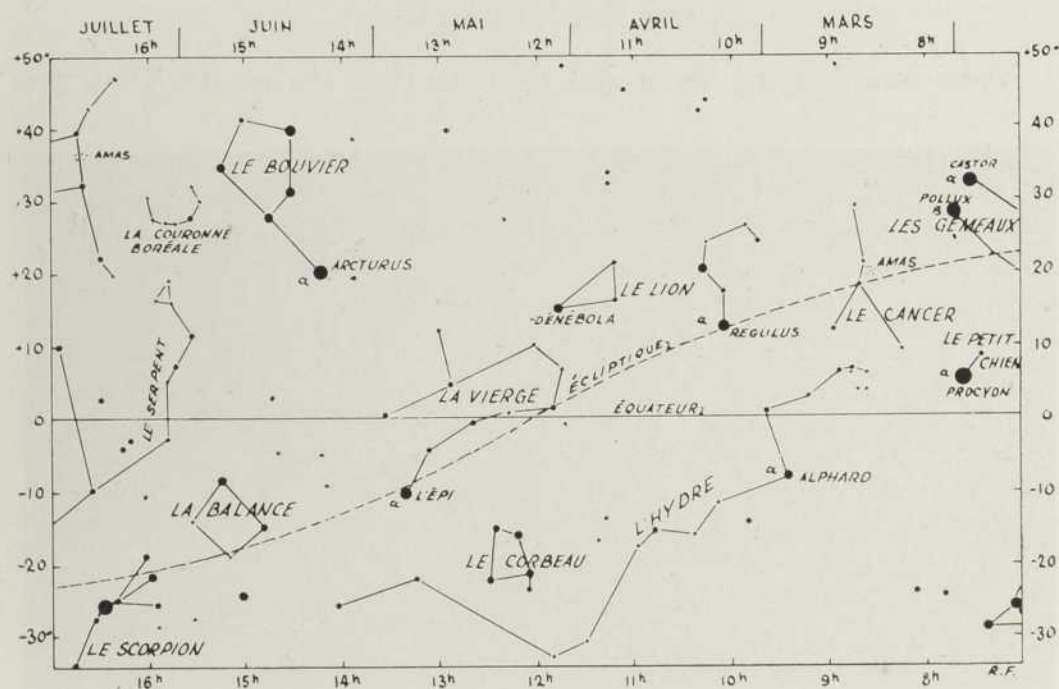


FIG. 106. DESSIN-CLÉ DES CONSTELLATIONS DU PRINTEMPS.

était placé à la même distance que le Soleil, l'intensité du jour deviendrait 870 fois plus forte.

Mais la plus remarquable des étoiles qui nous viennent au printemps est Arcturus, la principale attraction de la constellation du Bouvier. C'est l'une des premières étoiles qui aient reçu un nom particulier. Elle était connue et admirée dans les temps les plus reculés, et le poète grec Hésiode, qui vivait 800 ans avant Jésus-Christ, la mentionne déjà dans ses écrits.

Le 1er mars, Arcturus se lève vers 8 h. du soir, à l'est. Chaque jour, son lever avance de quatre minutes, si bien qu'à la fin du mois, l'étoile sort de l'horizon quand le Soleil se couche. C'est alors qu'elle est visible toute la nuit, bien en évidence parmi les constellations, même par un grand clair de Lune.

Arcturus est à 38 années-lumière de la Terre. On l'appelle conventionnellement une étoile *fixe*, mais les relevés précis de sa position montrent qu'elle se déplace sur la sphère céleste à la vitesse de 85 milles par seconde. Toutefois, à cause de sa grande distance, il faudrait pas moins de 800 ans pour que son trajet atteigne une longueur équivalente au diamètre de

la Lune. Son diamètre a été mesuré en ces dernières années et évalué à 23 000 000 de milles—soit vingt-sept fois le diamètre de notre Soleil. Elle émet aussi cent fois plus de lumière que lui.

Ces notes nous reviendront sans doute à la mémoire, la prochaine fois que nous aurons l'occasion de contempler Arcturus dans le ciel.

Les Étoiles de l'Été

Voici maintenant les étoiles de l'été (fig. 107 et 108). L'une



FIG. 107. LES ÉTOILES DE L'ÉTÉ.

des constellations de cette saison est la Lyre, qui, bien que de faible étendue, n'en renferme pas moins plusieurs curiosités. Dans la mythologie, c'est sur cette lyre qu'Orphée avait l'habitude de jouer une musique si douce que les bêtes sauvages s'apprivoisaient à l'entendre et que les rivières, les arbres et les rochers s'approchaient, attirés par la magie des sons. On raconte même qu'elle troubla si vivement les rudes gardiens des Enfers, qu'ils permirent à son épouse Eurydice de retourner vivre avec lui sur la Terre. À la mort d'Orphée, sa lyre fut placée dans le ciel.

Le joyau de cette constellation est Véga, une splendide étoile blanc-bleuté. Pour les régions voisines du 45° de latitude nord, Véga est près du zénith au début de la soirée, au mois d'août. Après Sirius, Véga est l'étoile la plus brillante de l'hémisphère boréal, suivie cependant de près par Arcturus et Capella. Véga et cinq autres étoiles forment un petit triangle équilatéral et un parallélogramme qu'on identifie sans difficulté. Entre les deux étoiles de ce parallélogramme les plus éloignées de

Véga, se trouve la nébuleuse Annulaire (fig. 181), qui n'est pas visible toutefois à l'œil nu.

Il est maintenant prouvé que le système entier du Soleil se déplace à travers l'espace à la vitesse de 12 milles par seconde et ce mouvement se fait dans la direction de la constellation de la Lyre.

À l'est de la Lyre, c'est le Cygne, aussi désigné sous le nom de Croix du Nord, à cause de la disposition en forme de croix

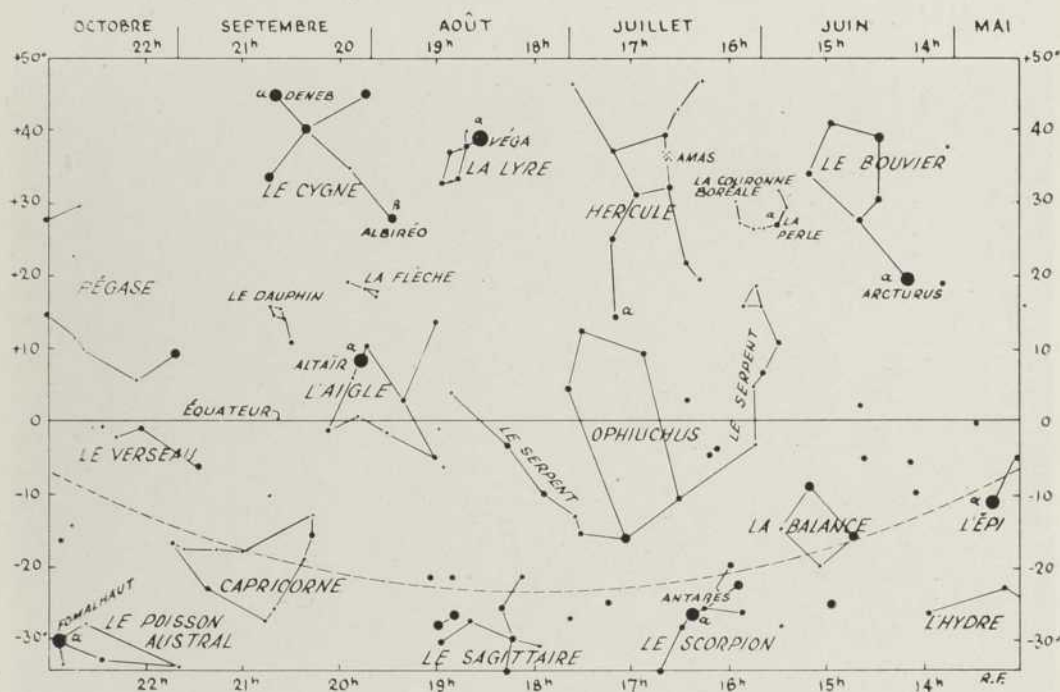


FIG. 108. DESSIN-CLÉ DES CONSTELLATIONS DE L'ÉTÉ.

de ses principales étoiles. La Croix du Nord est située au milieu d'une portion très riche de la Voie Lactée. L'étoile marquant le haut de la croix est appelée Deneb (ou encore Arided). C'est l'une des plus éloignées parmi les étoiles brillantes, avec une distance de 600 années-lumière. On estime qu'elle émet 10 000 fois plus de lumière que notre Soleil. L'étoile marquant le pied de la croix porte le nom d'Albiréo.

Entre la Lyre et le Bouvier, se trouvent Hercule et la Couronne. Quatre des étoiles d'Hercule, d'éclat moyen, forment ce que l'on appelle le Pot à Fleurs ou la Clé de Voûte. Sur l'un des côtés du «pot», l'on remarque un objet, de très faible éclat, à peine visible à l'œil nu, mais d'aspect nébuleux lorsqu'on l'observe dans une petite lunette. De quoi s'agit-il? Un grand télescope nous renseignera sur ce point et nous révélera un amas de magnifiques bijoux célestes. Nous en avons reproduit des photographies ailleurs dans ce livre (fig. 169 et le frontispice). Arcturus est encore un très bel objet dans le ciel.

Plus bas, vers l'équateur, Altaïr, dans la constellation de l'Aigle, est bien en évidence et l'on remarque aussi, beaucoup plus bas, l'étoile rouge Antarès de la constellation du Scorpion. On a évalué le diamètre de cette dernière étoile à quatre cents millions de milles!

Les Étoiles de l'Automne

Nous terminons cette description par le ciel d'automne (fig. 109 et 110).



FIG. 109. LES ÉTOILES DE L'AUTOMNE.

La Lyre et le Cygne sont encore visibles, un peu à l'ouest du zénith—qui est le point situé directement au-dessus de notre tête. Très haut, dans le ciel du sud, se trouve Pégase, le cheval ailé que Persée monta pour aller combattre le monstre ravisseur d'Andromède. Quatre étoiles brillantes forment le Carré de Pégase, mais l'une de ces étoiles appartient à la constellation voisine, Andromède. Cette étoile s'appelle Sirrah (ou encore Alpheratz), tandis que les deux autres étoiles importantes d'Andromède portent les noms de Mirach et d'Alamak. Elles sont situées toutes les trois sur une ligne à peu près droite. Le grand carré de Pégase peut ressembler, si l'on veut, à un cerf-volant, dont les trois étoiles d'Andromède figureraient la queue. Cette queue s'étend encore jusqu'à Mirfak, la plus brillante étoile de Persée. À 10° à l'ouest de Mirach (c'est-à-dire au-dessus de la lettre È dans le mot Andromède, fig. 110), on trouve ce merveilleux objet connu sous le nom de la Grande Nébuleuse d'Andromède. Nous en verrons une photographie plus loin (fig. 193).

À l'est d'Andromède, nous avons Persée, remarquable par son étoile Algol, nom d'origine arabe qui signifie «le démon». Cette étoile brille ordinairement de l'éclat de la Polaire, mais toutes les 69 heures elle perd les trois quarts de sa lumière, puis revient à la normale après quelques heures; ces variations s'accomplissant avec une régularité parfaite. Cette étoile est composée en réalité d'un corps brillant et d'un corps obscur, tournant l'un autour de l'autre. À chaque révolution, l'astre obscur passe en avant du brillant et intercepte les trois quarts de sa lumière. Mais aussitôt que cette éclipse partielle est

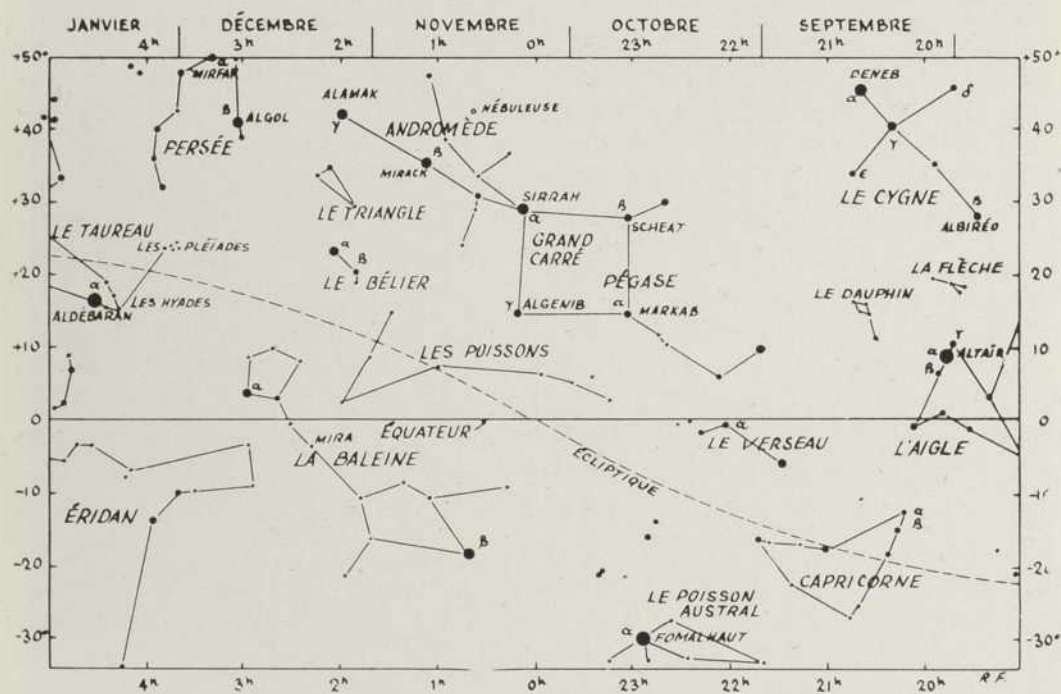


FIG. 110. DESSIN-CLÉ DES CONSTELLATIONS DE L'AUTOMNE.

terminée, l'étoile principale reprend son éclat normal. (Voir page 194).

À 45° environ au sud d'Algol, se trouve une étoile de la Baleine appelée Mira. Ce mot latin signifie «merveilleuse» et l'étoile est vraiment extraordinaire aussi. Habituellement, elle n'est pas assez brillante pour être visible à l'œil nu, mais tous les onze mois elle atteint presque l'éclat de l'Étoile Polaire. Aucune explication satisfaisante n'a encore été donnée pour rendre compte des bouleversements que subit cette étoile. (Voir page 191).

Plus au sud encore, on aperçoit au cours de la soirée, en octobre et en novembre, une étoile blanche du Poisson Austral connue sous le nom de Fomalhaut. Elle est tellement au sud—30° au-dessous de l'équateur céleste—que sa présence dans le ciel ne dure que quelques heures. Toutefois, les étoiles brillantes sont absentes dans son entourage et il est facile de l'identifier.

CHAPITRE X

LA MULTITUDE DES ÉTOILES — LA VOIE LACTÉE

Le nombre des Étoiles



ORSQUE, par une nuit claire et sans Lune, vous vous promenez sous le ciel étoilé de la campagne, le nombre des étoiles vous semble infini. Pourtant, il est loin d'en être ainsi. Le meilleur moyen de s'en rendre compte est de choisir de petites portions du ciel, le quadrilatère de la Grande Ourse ou le Carré de Pégase, par exemple, et de compter les étoiles qui s'y trouvent. On arrive, en effet, à un total bien modeste.

Les étoiles visibles à l'œil nu ont été comptées par plusieurs astronomes et estimées à environ 6000. Comme on ne voit qu'une moitié de la sphère céleste à la fois, il s'ensuit que la moitié de ce nombre, soit 3000 étoiles, sont au-dessus de l'horizon à un moment donné. D'autre part, les vapeurs à l'horizon nous font perdre une bonne partie des étoiles faibles, et la quantité des étoiles visibles à l'œil nu se réduit à 2000 seulement. En pleine ville, où la profusion des lumières diminuent encore la portée de la vue, c'est à peine si nous pouvons voir 1500 étoiles à la fois. Comme on le constate, les étoiles sont loin d'être innombrables!

Une simple jumelle d'opéra nous permet de voir au moins 100 000 étoiles, tandis que les grands télescopes en montrent probablement plus de 100 millions. Les photographies à longue pose prises au foyer des instruments en révèlent plus encore. Le nombre des étoiles est énorme, en vérité, mais il n'est pas *infini*—ou impossible à déterminer.

Étoiles visibles à l'œil nu et dans un télescope

Il y a soixante-quinze ans environ, un astronome allemand, Argelander, a dressé une carte des étoiles situées au nord de l'équateur céleste; il a enregistré toutes celles qu'il pouvait apercevoir dans sa lunette de 7 cm ($2\frac{3}{4}$ pouces) de diamètre. Cette carte contenait 324 198 étoiles en tout. La figure 111 montre une partie de cette carte. Elle couvre une super-

ficie de 8° carrés et contient 1442 étoiles. Les deux petits carrés de la figure 112 renferment les étoiles visibles à l'œil nu dans la même région. À droite, celles qui sont visibles à la

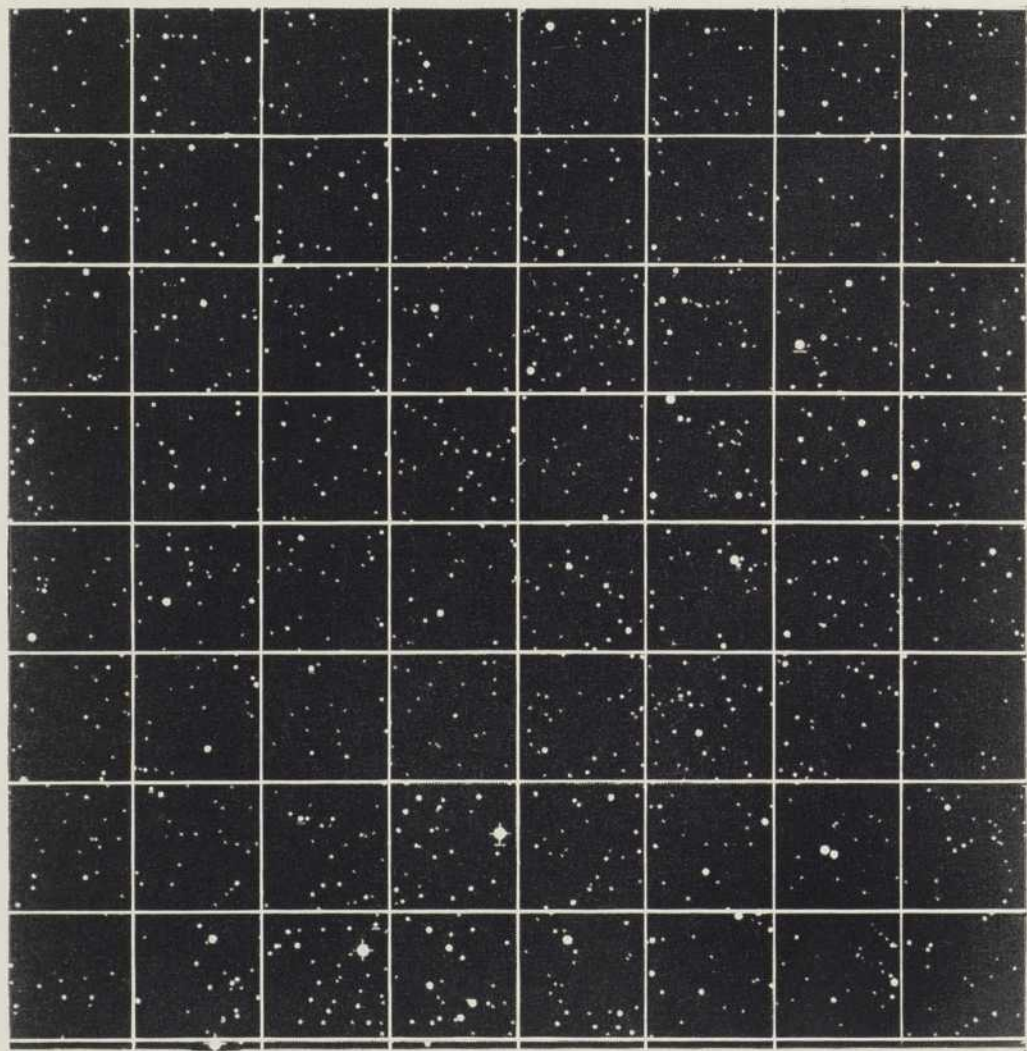


FIG. 111. LES ÉTOILES VUES DANS UN PETIT TÉLESCOPE.

Une section d'une de ces fameuses cartes célestes réalisées par Argelander, astronome allemand. Elle renferme toutes les étoiles visibles dans cette partie du ciel avec un télescope de $2\frac{3}{4}$ pouces. C'est une région au nord de la constellation d'Orion: on distingue, à la partie inférieure, les trois étoiles du Baudrier. La carte a 8° de côté, de sorte que la surface entière est de 64° carrés¹, elle contient 1442 étoiles, soit une moyenne de $22\frac{1}{2}$ par degré carré.

campagne par une nuit claire et sans Lune—on en compte vingt-quatre. À gauche, celles qu'on peut apercevoir par un clair de Lune à la campagne, ou en ville à proximité des lumières des rues et des maisons—seulement huit! La figure 113 est une photographie de la même partie du ciel. La région encadrée est celle de la figure 111: il semble impossible de

¹ Un carré de la voûte céleste, dont le côté mesure 1° , s'appelle un degré carré.

dénombrer les étoiles qui s'y trouvent. À remarquer que le ciel, dans toute cette région, est comme rempli de vapeurs nébuleuses.

Les étoiles de ces diverses figures sont celles du Baudrier d'Orion et de la région immédiatement au nord. Les trois principales étoiles du Baudrier sont au bas. Il serait intéressant de faire un relevé des étoiles visibles à l'œil nu dans les figures 111 et 113.

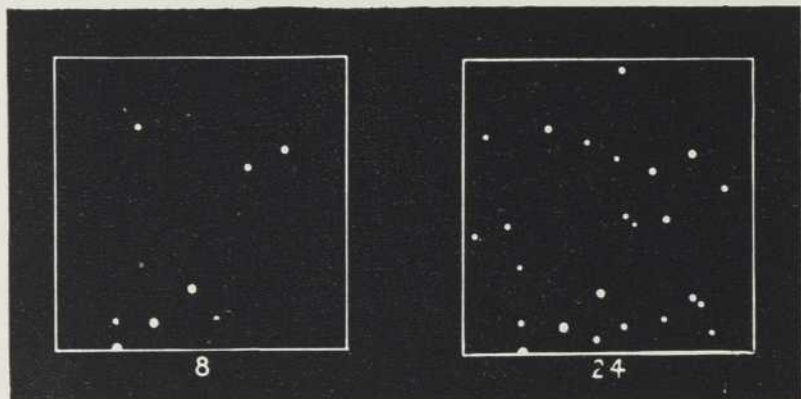


FIG. 112. LA MÊME RÉGION DU CIEL VUE À L'ŒIL NU.

Ces petits carrés montrent les étoiles visibles à l'œil nu dans la région du ciel reproduite à la figure 111. À droite: celles qu'on voit à la campagne, par une nuit sans Lune—vingt-quatre en tout. À gauche: celles qu'on voit en ville où les lumières artificielles nuisent à la visibilité, ou à la campagne pendant la Pleine Lune—huit étoiles.

La Voie Lactée

Certaines parties du ciel sont beaucoup mieux fournies en étoiles que d'autres. Ainsi, la Voie Lactée, nuage d'étoiles bien familier à la plupart d'entre nous, quoiqu'il s'en trouve encore qui disent ne l'avoir jamais remarqué. On l'observe de préférence lorsqu'on est à quelques milles des lumières urbaines. La Lune doit aussi être au-dessous de l'horizon et il faut nécessairement que le ciel soit pur.

La Voie Lactée est une pâle zone argentée de forme irrégulière, qui encercle complètement le ciel. Sa ligne centrale fait un angle d'environ 60° avec l'équateur céleste, de sorte que sa position dans le ciel varie beaucoup avec l'heure de la nuit et la saison.

Au début du printemps, dans la première partie de la nuit, cette lueur se déploie du sud-ouest au nord-est, en passant tout près du zénith. En automne, on l'aperçoit aussi très haut, mais elle sort de l'horizon au sud-est, pour disparaître au nord-ouest. Évidemment, la rotation de la Terre sur son axe fait déplacer cette mystérieuse clarté en direction de l'ouest.

Voici la liste complète des constellations que traverse la Voie Lactée: Persée, Cassiopée, Céphée, le Cygne, le Renard, la Flèche, l'Aigle, Ophiuchus, le Sagittaire, le Scorpion, le Loup, la Croix, le Navire, la Licorne et le Cocher. Dans le Cygne,



FIG. 113. UNE PHOTOGRAPHIE DE LA RÉGION MONTRÉE
AUX FIGURES 111 ET 112.

Photographie d'une partie de la constellation d'Orion, prise avec un objectif Ross, dont le diamètre avait 3 pouces et la distance focale 21 pouces. Temps de pose: cinq heures. La région comprise à l'intérieur du carré est la même que celle des figures précédentes. Il est tout simplement impossible de compter les étoiles—il y en aurait pas moins de 200 000. Remarquer aussi les nébulosités qui semblent couvrir la plus grande partie de cette constellation. La brillante étoile, à un demi-pouce de la bordure inférieure et à un pouce de la bordure de droite, est Rigel.

Photo: F. E. Ross, à l'observatoire Yerkes.

le flot des étoiles se scinde en deux branches que sépare une longue île sombre. La nature de cette île sera expliquée plus loin. (Voir page 232.)

Les peuplades primitives de diverses régions du globe avaient associé certaines légendes à la Voie Lactée. Pour les Indiens d'Amérique, les Esquimaux et les Nègres de la brousse africaine, c'était la Voie Cendrée. Les cendres chaudes et incandescentes, disaient-ils, permettaient aux voyageurs surpris par la nuit de se remettre sur la bonne route.

Pour ceux qui vivent dans l'hémisphère boréal, sous nos latitudes moyennes, la saison la plus favorable pour l'étude de la Voie Lactée est l'été, à la campagne, sur le bord d'un lac. Ses plus belles portions sont alors en plein épanouissement.

Longtemps avant l'invention du télescope, on avait de fortes présomptions que la Voie Lactée était formée par la réunion d'une multitude d'étoiles faibles, hypothèse qui fut d'ailleurs prouvée magnifiquement par les grands télescopes modernes et la photographie.

Nuages stellaires dans le Sagittaire et l'Aigle

La plus grande agglomération d'étoiles est située dans la constellation du Sagittaire, un peu à l'ouest de l'amas bien familier qu'on a appelé «le pot au lait». La figure 114 nous montre cette région du ciel. La plaque photographique originale mesurait 14 pouces par 17, et l'on y avait enregistré 2 000 000 d'étoiles distinctes. La partie reproduite ici en contient environ 500 000. On y remarque également plusieurs nuages stellaires. Ces immenses amas d'étoiles couvrent une surface considérable du ciel et leurs ramifications s'étendent de toutes parts dans les profondeurs de l'espace. De toutes les parties du ciel que nous explorons, c'est toujours dans cette direction que nous sommes sûrs de rencontrer le plus d'étoiles.

Une représentation encore plus frappante d'un nuage stellaire est celle de la figure 115. C'est la partie australe de la constellation de l'Aigle, appelée encore Écu de Sobieski. Au centre de la photographie, on aperçoit un véritable amoncellement d'étoiles; on dirait un grand tourbillon de neige, avec ses milliers de flocons épars. À remarquer les deux traits—l'un à la partie supérieure de la figure et l'autre dans le bas—produits par le passage fortuit de deux étoiles filantes, pendant que l'astronome était à prendre sa photographie à longue pose.

La Croix du Sud

Le sujet de la figure 116 est encore emprunté à la Voie Lactée. C'est la fameuse Croix du Sud, invisible de nos régions nordiques, vu qu'elle se trouve située à près de 60° au sud de l'équateur céleste. Les voyageurs qui pénètrent dans l'hémisphère

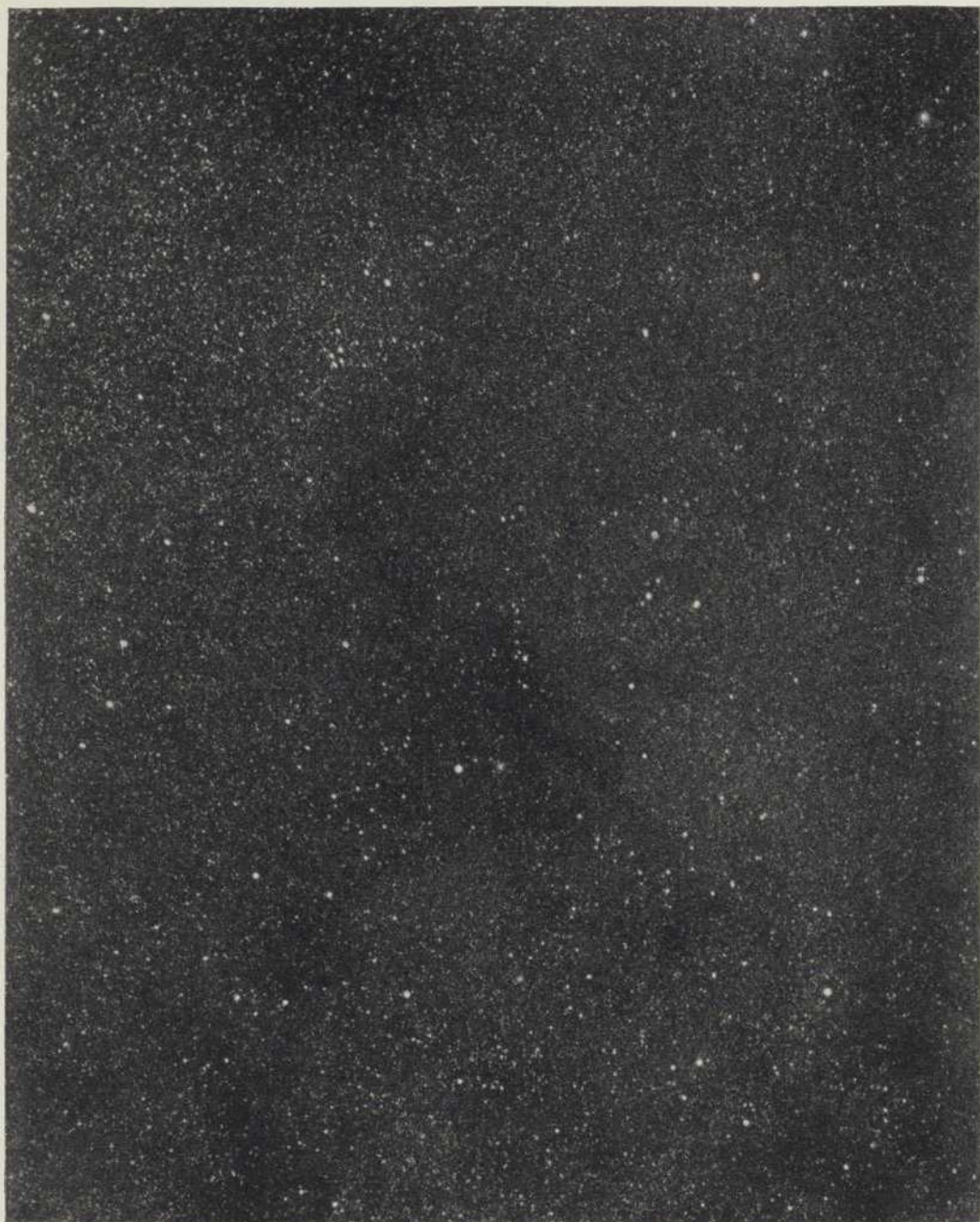


FIG. 114. UNE PHOTOGRAPHIE OÙ SONT ENREGISTRÉES
UN DEMI-MILLION D'ÉTOILES.

La partie de la Voie Lactée d'où provient cette photographie est dans la constellation du Sagittaire. Le cliché original mesurait 14 par 17 pouces et couvrait une surface de 64 degrés carrés, avec environ 45 000 étoiles par degré carré. La plaque entière compte donc plus de 2 000 000 d'étoiles. La présente figure est une portion du cliché: elle couvre environ 22 degrés carrés et contient plus de 500 000 étoiles.

Photo: l'observatoire de Harvard.

sud sont souvent déçus quand ils voient la Croix du Sud pour la première fois: ils s'attendaient à beaucoup mieux à la suite



FIG. 115. NUAGES D'ÉTOILES DANS LA VOIE LACTÉE, AVEC LA TRACE DE DEUX MÉTÉORES.

Ce nuage d'étoiles très dense est situé dans la partie sud de la constellation de l'Aigle. La photographie fut prise au Mont Wilson, en Californie, avec le télescope Bruce de 6 pouces de l'observatoire Yerkes. Temps de pose: 2 h. 40 m. On remarque la traînée lumineuse de deux météores, qui ont passé par hasard durant la pose.

Photo: Barnard.

des descriptions par trop enflammées qu'ils avaient lues. De plus, la forme de croix n'est pas évidente de prime abord.

Mais ce n'est pas une région où l'on risque d'épuiser tout intérêt par l'étude. Elle est remplie d'objets remarquables. On n'a qu'à jeter un coup d'œil sur la figure 117 qui est le dessin-clé de la photographie précédente.



FIG. 116. UNE PHOTOGRAPHIE DE LA CROIX DU SUD ET DE LA RÉGION ENVIRONNANTE, DANS LA VOIE LACTÉE.

Les quatre étoiles qui forment la Croix sont près du centre de la figure. Celle du haut est rouge; sur la plaque, elle paraît plus faible qu'à l'œil nu, en comparaison des trois autres qui sont blanc-bleuté. À gauche de la Croix, se trouve le « Sac à charbon »; à droite, un grand nuage d'étoiles. L'amas globulaire ω du Centaure est tout près du coin gauche supérieur. Cette photographie a été prise avec une lentille d'un pouce de diamètre à l'une des succursales de l'observatoire de Harvard, dans l'hémisphère sud.

Photo: Margaret Harwood, à Arequipa, Pérou.

Comme les étoiles α , β et δ de la Croix sont de couleur bleue, elles impressionnent la plaque photographique avec plus d'intensité que l'étoile γ , qui est rouge. Contiguë à la Croix, on

remarque une région sombre, que les marins appellent avec beaucoup d'à-propos le «Sac à Charbon». Nous en reparlerons plus loin, à la page 232. La «croix» est encore plus facile à reconnaître à l'œil nu, que sur la photographie.

Les astronomes désignent cette constellation sous le nom de Crux, mot latin qui signifie *croix*, mais on l'appelle communé-

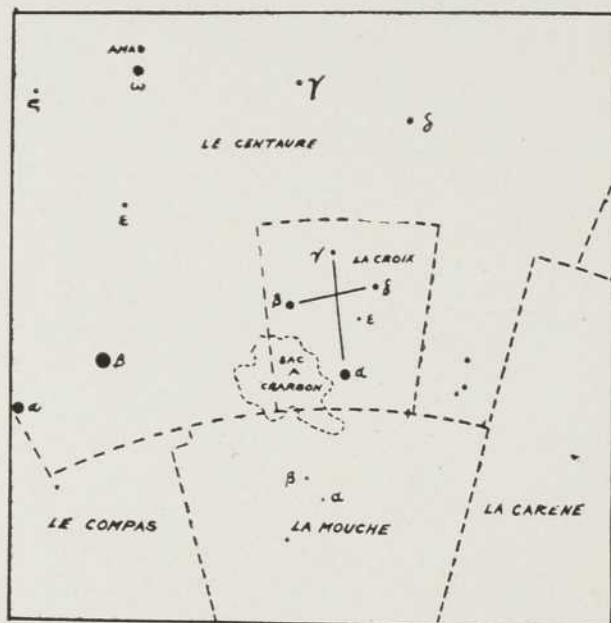


FIG. 117. DESSIN-CLÉ DE LA FIGURE 116.

La Croix du Sud est plus facile à reconnaître à l'œil nu que sur une photographie, parce que l'étoile γ est rouge et s'enregistre trop faible sur la plaque. L'étoile α du Centaure, à l'extrême gauche, est notre plus proche voisine dans le ciel, et l'amas globulaire, ω , à l'angle supérieur gauche, est le plus magnifique du genre (voir fig. 170).

ment Croix du Sud, pour la distinguer de notre Croix du Nord, qui n'est autre que la configuration formée par les principales étoiles du Cygne.

La Voie Lactée ne passe pas par Orion; elle oblique un peu à l'est de cette constellation. Cependant, la figure 113 met en évidence certains prolongements peu intenses qui baignent les étoiles d'Orion. Des temps de pose très longs sont nécessaires pour enregistrer de si faibles nébulosités.

CHAPITRE XI

MAGNITUDES DES ÉTOILES — MESURE DES DISTANCES STELLAIRES

I — MAGNITUDES DES ÉTOILES

Signification du mot magnitude



L semble opportun de préciser dès maintenant le sens du mot *magnitude* dans son acception astronomique.

Ptolémée, qui vécut à Alexandrie, en Égypte, vers l'an 150 après Jésus-Christ, fut l'un des plus grands astronomes de l'antiquité. Il étudia d'abord les œuvres d'Hipparque, dont les observations faites dans l'île de Rhodes remontaient à 300 ans en arrière, puis prépara un traité d'astronomie où figurait une longue liste d'étoiles. Cette liste était donnée à l'intention expresse de ceux qui étudieraient l'astronomie après lui. On remarque que les noms des constellations qu'il mentionne sont ceux qui étaient employés depuis longtemps. Sa liste contient 1028 étoiles et dans la description qui les accompagne il donne : (1) la position de chacune dans la constellation—comme ceci : la Polaire est celle du bout de la queue de la Petite Ourse ; (2) sa latitude et sa longitude ; (3) finalement, sa « magnitude ».

On y compte six degrés d'éclat, ou magnitudes. Les étoiles les plus brillantes qu'on pouvait observer à la latitude d'Alexandrie, environ quinze en tout, ont été classées dans la *première* magnitude, tandis que celles qui étaient tout juste visibles dans les meilleures conditions—c'est-à-dire, par un ciel limpide, sans lune ou éclaircissement quelconque—ont été mises par convention dans la *sixième* magnitude. Les autres étoiles, qui occupent tous les intermédiaires entre ces extrêmes, se virent assigner les magnitudes *deux, trois, quatre* et *cinq*. Cette classification était préconisée dans le but unique d'aider à l'identification des étoiles, et non pas d'en déterminer avec précision les éclats relatifs. Les astronomes anciens étaient plus préoccupés de la position des étoiles que de leur éclat, et la question en resta là jusqu'à il y a environ un siècle.

Avec l'amélioration des télescopes et les progrès de la physique expérimentale, il devint possible d'instaurer des méthodes plus précises de mesure. Le photomètre est un instrument qui sert à comparer les intensités lumineuses provenant de sources différentes: chandelles, lampes à pétrole, lampes électriques, etc. Et c'est tout naturel qu'on songea à introduire cet instrument dans l'astronomie. Nous référons aux manuels de physique pour une description des divers photomètres en usage, dont quelques-uns ont été inventés spécialement pour les besoins de l'astronomie. Le plus récent et le plus sensible de ceux-ci est sans contredit la cellule-photoélectrique, employée aussi dans les projecteurs de cinéma sonore et plusieurs autres appareils.

Les magnitudes 1 et 6

Pendant des siècles, on s'est contenté de classer les quelque vingt étoiles les plus brillantes dans la première magnitude, bien qu'elles fussent d'éclats assez inégaux. Qu'on jette un coup d'œil sur Sirius, Pollux et Aldébaran, visibles en même temps en hiver (fig. 104), et l'on se rendra compte qu'elles sont loin d'émettre la même intensité de lumière.

Alors, quelle sera l'étoile-type de première magnitude? Le plus logique serait de prendre l'étoile qui se rapproche le plus de la moyenne des vingt étoiles brillantes. Décrire dans tous les détails comment ce choix a été fait est malheureusement impossible ici; disons seulement qu'Aldébaran, dans le Taureau, et Altaïr, dans l'Aigle, sont considérées comme les étoiles se rapprochant le plus de la magnitude 1. D'autre part, on s'est aperçu par le photomètre qu'une étoile de magnitude 1 était 100 fois plus brillante qu'une étoile de magnitude 6, ce qui donnait une relation fixe entre ces deux magnitudes.

Les magnitudes 2, 3, 4 et 5

Nous ne sommes pas encore au bout de toutes nos difficultés, cependant; il nous faut encore trouver des étoiles qui ont précisément les magnitudes 2, 3, 4 et 5. Ces étoiles doivent être choisies de telle sorte que disposées comme ceci:

1, 2, 3, 4, 5, 6

la diminution d'éclat de 1 à 6 se fasse par degrés égaux. Si le plancher de la véranda (1, dans la fig. 118) est à 40 pouces au-dessus du sol (6, dans la fig. 118), il est possible de passer du niveau supérieur au niveau inférieur au moyen de cinq marches d'égale hauteur (8 pouces). C'est très simple.

Intervalles d'éclat égaux

Mais supposons que nous ayons deux sources lumineuses, dont l'une est 100 fois plus intense que l'autre. Comment procéderons-nous pour en trouver quatre autres dont les éclats déclineront par degrés égaux de la première à la sixième ? Une expérience nous aidera à résoudre le problème.

Prenons une petite lampe électrique qui donne au photomètre autant de lumière qu'une bougie—autrement dit, dont la puissance est d'une bougie. Ce sera notre numéro 6. Construisons maintenant une lampe de 100 bougies et appelons-la le numéro 1. Jusqu'ici, pas de difficultés; le reste est plus compliqué. Il s'agit d'arriver par tâtonnements à fabriquer quatre autres

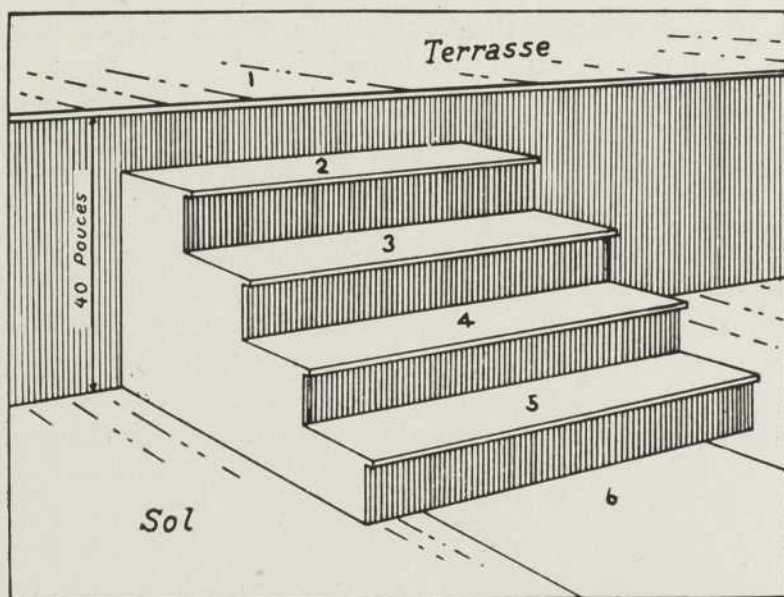


FIG. 118. PASSAGE À UN NIVEAU INFÉRIEUR PAR DEGRÉS ÉGAUX.

lampes, les numéros 2, 3, 4 et 5, de telle sorte que placées entre les numéros 1 et 6, nous ayons notre série de lampes dont les éclats décroîtront graduellement. De telles lampes peuvent être réalisées par des ouvriers entraînés à évaluer les intervalles lumineux, comme les musiciens le sont pour les intervalles musicaux.

Cette série de six lampes est alors une parfaite image des étoiles des six magnitudes. Il ne reste plus maintenant qu'à mesurer au photomètre l'éclat comparé de chacune. Or, voici ce que nous obtenons comme résultat: la première lampe est deux fois et demie plus brillante que la seconde, laquelle à son tour est deux fois et demie plus brillante que la troisième, et

ainsi de suite. Chaque lampe est deux fois et demie plus brillante que la suivante. (Voir fig. 119).

Nous concluons de cette expérience que si deux étoiles diffèrent d'une magnitude, la plus brillante émet $2\frac{1}{2}$ ¹ fois plus de lumière que la moins brillante; si elles diffèrent de deux magni-

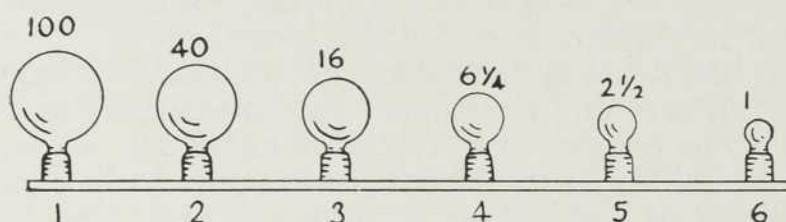


FIG. 119. SIX AMPOULES ÉLECTRIQUES DIMINUANT D'ÉCLAT PAR CINQ INTERVALLES OU DEGRÉS ÉGAUX.

tudes, la plus brillante l'emporte par $2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2}$, ou $6\frac{1}{4}$ fois, sur l'éclat de l'autre; et ainsi de suite.

Magnitudes supérieures à 1 et inférieures à 6

Représentons maintenant les étoiles des six magnitudes par des cercles pleins (fig. 120), dont les surfaces sont proportionnelles à l'éclat de l'étoile.

Prenons une autre étoile $2\frac{1}{2}$ fois plus brillante que l'étoile de magnitude 1; quelle sera sa magnitude? Elle sera 1-1, *i.e.* 0. Si une étoile est $2\frac{1}{2}$ fois plus brillante que cette dernière, elle sera de magnitude -1, et ainsi de suite. La planète Vénus est ordinairement de magnitude -4; celle du Soleil, -26,7.

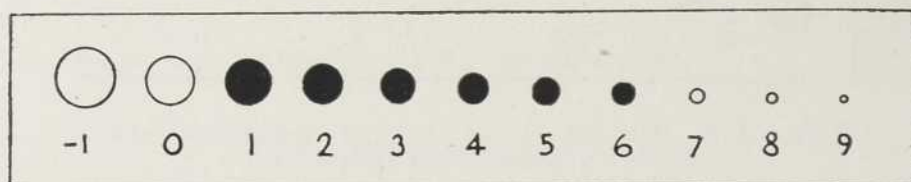


FIG. 120. LES MAGNITUDES AU DELÀ DE 1 ET DE 6. L'aire des cercles est proportionnelle à l'éclat de l'étoile.

Mais le télescope nous révèle des étoiles plus faibles que la magnitude 6. Quelles seront leurs magnitudes? Ce sont évidemment les magnitudes 7, 8, 9, etc.; dans ce cas encore une étoile de magnitude 6 est $2\frac{1}{2}$ fois plus brillante que celle de magnitude 7; et ainsi de suite.

Notons encore qu'il faut se servir des décimales, étant donné que les magnitudes ne sont pas nécessairement des nombres entiers. Ainsi, la magnitude de la Polaire est 2,1.

¹ Le rapport n'est pas exactement $2\frac{1}{2}$, mais un nombre tel que multiplié quatre fois par lui-même—*i.e.* $2,512 \times 2,512 \times 2,512 \times 2,512$ —le résultat soit 100.

Un observateur entraîné peut estimer visuellement la magnitude d'une étoile avec une précision remarquable, mais d'ordinaire l'astronome emploie un photomètre approprié.

Voici les magnitudes de quelques étoiles: Sirius, $-1,6$; Arcturus, $0,2$; Rigel, $0,3$; Aldébaran, $1,1$; Pollux, $1,2$; Castor, $1,6$; Alcyone, $3,0$; etc.

Remarquons en passant que la magnitude de Pollux est de $1,2$, ce qui est plus près de 1 que de 2; on la considère donc comme une étoile de première magnitude. D'autre part, la magnitude de Castor est de $1,6$, plus proche de 2 que de 1, c'est pourquoi elle est classée d'ordinaire dans la deuxième magnitude.

La photographie et les étoiles faibles

Les deux clichés de la figure 121 ont été pris avec le 100-pouces du Mont Wilson. Ce sont deux représentations de la

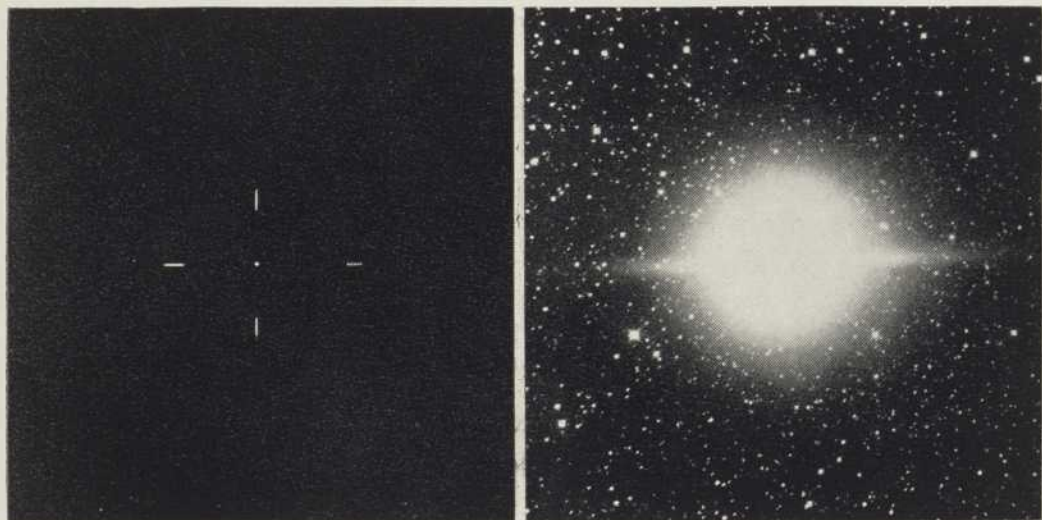


FIG. 121. ESPACE VIDE, EN RÉALITÉ TRÈS PEUPLÉ.

Ces deux photographies représentent la même région du ciel, aux alentours de η du Cocher, étoile de troisième magnitude. À gauche, on ne voit que cette étoile, bien que le temps de pose eût permis d'enregistrer les étoiles jusqu'à la magnitude 9, soit des étoiles 190 fois moins lumineuses que η du Cocher. Sur le cliché de droite, on a enregistré les étoiles jusqu'à la magnitude 18.

Photographié avec le 100-pouces de l'observatoire du Mont Wilson.

même région du ciel, mais combien différentes! La pose dans le premier était assez longue pour permettre l'enregistrement des étoiles jusqu'à la 9e magnitude. On n'en aperçoit pourtant qu'une seule: c'est η du Cocher, de magnitude $3,3$, facilement visible à l'œil nu.

Pour obtenir la photographie de droite, on a exposé beaucoup plus longtemps et les étoiles sont visibles jusqu'à la 18e magnitude. Une étoile de magnitude 3 émet un million de fois plus

de lumière qu'une étoile de magnitude 18. Dans cette figure, l'étoile brillante est passablement surexposée; les axes qui la traversent ne lui appartiennent pas; ils sont produits par la diffraction de la lumière sur les tiges qui supportent le miroir secondaire.

Les magnitudes d'étoiles—spécialement dans le cas des étoiles faibles—sont maintenant déterminées la plupart du temps par la photographie. En effectuant ces mesures, l'astronome doit tenir compte de la couleur de l'étoile et du type de la plaque sensible.

II — MESURE DES DISTANCES STELLAIRES.

Distance d'un objet inaccessible

Il serait bon de revenir ici à la page 60 et de revoir comment l'on procède pour déterminer la distance d'un objet inaccessible par triangulation, méthode qui est aussi efficace pour mesurer la distance du Soleil et des planètes. La ligne de base employée en arpentage peut avoir entre quelques verges et un mille de long; l'astronome, lorsqu'il ne sort pas du système solaire, a toujours à sa disposition deux points éloignés à la surface de la Terre. Mais de telles lignes de base sont définitivement trop faibles lorsqu'il s'agit de mesurer les distances stellaires.

Que faire? Si nous ne possédons pas la distance des étoiles, autant dire que nous ne connaissons pas grand'chose à leur sujet. Et nous restons avec une bien pauvre idée de la grandeur de l'univers.

Une immense ligne de base

Une fois éliminée l'ancienne notion d'une Terre immobile au centre de l'univers et réalisé l'accord sur la place du Soleil au foyer de notre système planétaire, dont la Terre n'est qu'un membre, une nouvelle ligne de base, susceptible de servir à la mesure des distances stellaires, devint disponible: la ligne qui joint deux points opposés de l'orbite terrestre.

Le diagramme de la figure 122 nous aidera à comprendre la méthode. Voici l'orbite terrestre et l'étoile C dont nous essayons de connaître la distance.

Lorsque la Terre est en A, l'astronome observe la position de C parmi les étoiles qui sont loin derrière elle dans le ciel—beaucoup plus loin que ne le laisse soupçonner la figure. L'étoile C apparaît dans la direction AX et près de l'étoile *a*. Six mois plus tard, lorsque la Terre est en B, une autre observation est faite et l'on trouve l'étoile dans la direction BY et près de l'étoile *b*.

Ainsi, observée aux deux extrémités de la ligne de base AB, qui mesure 186 000 000 de milles, la direction de l'étoile change de AX à BY—c'est-à-dire de la valeur de l'angle c . Le problème est donc réduit à la mesure de cet angle. Pendant des siècles, les astronomes ont essayé, mais sans succès. On le croyait nul; certains sont même allés jusqu'à douter du mouvement de la Terre autour du Soleil. Mais, en 1838, parvint la nouvelle qu'un astronome allemand, du nom de Bessel, avait mesuré l'angle c pour une étoile assez faible (6e magnitude), connue sous la désignation de 61 Cygni. Peu de temps après,

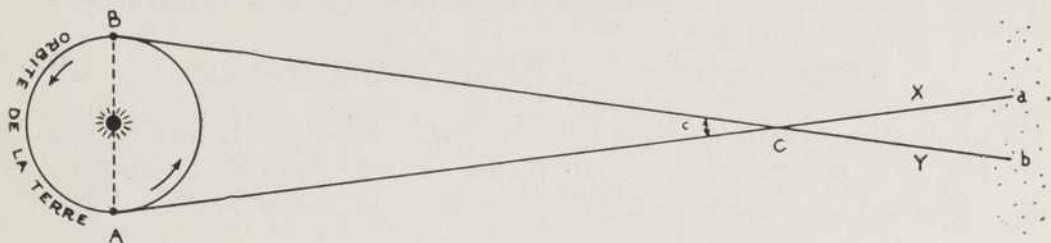


FIG. 122. DIAGRAMME ILLUSTRANT LA MÉTHODE EMPLOYÉE POUR TROUVER LA DISTANCE D'UNE ÉTOILE.

d'autres astronomes annoncèrent qu'ils avaient réussi cette même mesure pour deux autres étoiles.

La difficulté provenait du fait que les instruments employés jusque là se prêtaient mal à la mesure d'angles aussi faibles. C'était comme mesurer le diamètre d'un cheveu avec une règle de deux pieds.

Des angles très faibles

L'étoile qui possède le plus grand angle c et qui par conséquent est la plus proche¹ encore découverte, est α du Centaure (voir fig. 116). Il mesure $1\frac{1}{2}''$. Essayons de nous faire une idée de la petitesse de cet angle. À l'aide d'un compas, décrivons un cercle et par le centre tirons deux lignes à angle droit. Chacun des angles formés au centre est un angle droit et l'arc de cercle qui lui est opposé vaut un quart de la circonférence. Si cet arc est divisé en 90 parties égales, chacun sous-tendra 1° au centre. En d'autres termes, on a 90° dans un angle droit.

Un degré est un angle très petit. Une bonne manière de s'en rendre compte est d'essayer de tracer 1° au centre d'un cercle.

¹ Une étoile faible (de 11e magnitude) située à environ $2\frac{1}{2}^\circ$ de α , semble, d'après certaines mesures, se trouver plus proche encore et par suite a reçu le nom de Proxima Centaure (voir fig. 138). Les deux étoiles voyagent ensemble à travers l'espace et peuvent être considérées à la même distance du Soleil.

Or $\frac{1}{60}$ de 1° est $1'$, ce qui se lit «une minute d'arc» ou «une minute d'angle»; et $\frac{1}{60}$ de $1'$ est $1''$, ou «une seconde d'arc». C'est un angle extrêmement faible: à peu près l'angle sous lequel on verrait une pièce de vingt-cinq sous placée à trois milles de distance. Tels sont les angles que l'on a à mesurer en astronomie.

Depuis 1838, les méthodes de mesure d'angles aussi faibles se sont beaucoup améliorées. La photographie est venue à l'aide de l'astronome, et c'est ainsi que maintenant, avec de puissants microscopes, il peut mesurer le déplacement d'une étoile par rapport à ses voisines sur des clichés enregistrés alors que la Terre occupe des points différents de son orbite.

Signification de la Parallaxe d'une étoile

Soit p (fig. 123), l'angle à l'étoile C sous-tendu par le rayon de l'orbite terrestre r . Cet angle p est appelé la parallaxe de l'étoile C . C'est la différence dans la direction de l'étoile,

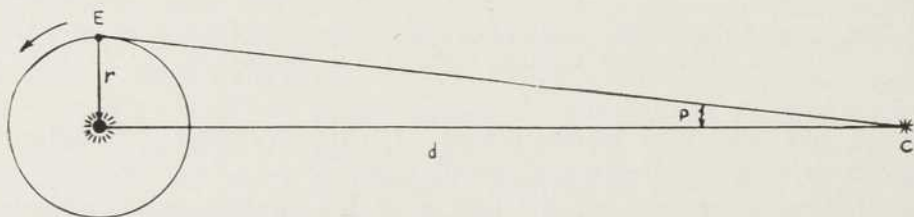


FIG. 123. DIAGRAMME EXPLIQUANT LE SENS DU MOT PARALLAXE.

L'angle p est la parallaxe de l'étoile C .

si elle était observée simultanément de la Terre et du Soleil, comme le montre le diagramme. Il est égal à la moitié de l'angle c de la figure 122. Connaissant la valeur de r , la distance de la Terre au Soleil, soit 93 000 000 de milles, nous pouvons calculer d , sa distance au Soleil. Tout se résume donc à mesurer p . Mais la technique est trop compliquée pour être exposée ici.

Si la parallaxe p est de $1''$, on peut démontrer que la distance d est de $206\,265 \times 93\,000\,000$ milles. Cette distance est appelée un *parsec*, mot nouveau introduit, il y a quelques années, pour désigner la distance d'une étoile dont la parallaxe serait une seconde d'arc. Si l'on multiplie les deux nombres donnés, on trouve que

$$1 \text{ parsec} = 19\,182\,645\,000\,000 \text{ milles.}$$

C'est un chiffre énorme, et la distance qu'il représente est difficile à imaginer. Si l'on veut représenter de telles distances par des nombres à la portée de notre entendement, on emploiera une plus grande unité de distance, par exemple, l'année-lumière. C'est la distance que parcourt la lumière en une année.

Parsec et année-lumière

La vitesse de la lumière est très grande, mais elle est mesurable avec précision. Elle est approximativement de 186 000 milles (ou 300 000 km) à la seconde. La lumière peut faire le tour de la Terre près de huit fois en une seconde. Nous rappelant qu'il y a 60 secondes dans une minute, 60 minutes dans une heure, 24 heures dans une journée et $365\frac{1}{4}$ jours dans un an, nous voyons qu'une année-lumière est égale à $186\,000 \times 60 \times 60 \times 24 \times 365\frac{1}{4}$ milles. En effectuant cette multiplication, on trouve

$$\begin{aligned} 1 \text{ année-lumière} &= 5\,869\,713\,600\,000 \text{ milles} \\ &= 6\,000\,000\,000\,000 \text{ milles (en chiffres ronds)} \\ &= 9\,000\,000\,000\,000 \text{ km.} \end{aligned}$$

En divisant la distance de un parsec par celle d'une année-lumière, on trouve $3\frac{1}{4}$ (app.). Ce qui donne la relation suivante:

$$1 \text{ parsec} = 3\frac{1}{4} \text{ années-lumière.}$$

Si la parallaxe est $\frac{1}{2}''$, la distance est deux fois plus grande—c'est-à-dire 2 parsecs, ou $6\frac{1}{2}$ années-lumière; si elle est $\frac{3}{4}''$, la distance vaut $\frac{4}{3}$ de parsec, ou $4\frac{1}{3}$ années-lumière, et ainsi de suite.

Les distances de quelques étoiles sont données dans l'Appendice, page 270.

Parallaxes spectroscopiques

En ces dernières années, une autre méthode d'évaluer les distances de certaines étoiles a été mise au point. Elle utilise diverses particularités des spectres, mais c'est un domaine trop technique pour nous dans le moment. D'ailleurs, cette méthode spectroscopique est basée en définitive sur la méthode trigonométrique, que nous venons de décrire brièvement.

Les «Ailes de l'Aurore»

La question des distances stellaires est aussi intéressante qu'importante, c'est pourquoi il n'est pas sans à-propos de nous étendre sur le sujet. Considérons, par exemple, la distance de α du Centaure, qui, on se le rappelle, est le plus proche voisin de notre Soleil dans l'espace. Si sa parallaxe est de $0,75''$, nous avons pour distance 275 000 fois la distance de la Terre au Soleil, ou $4\frac{1}{3}$ années-lumière. Essayons de nous faire une idée d'une pareille distance.

Dans la Bible on trouve partout de belles envolées poétiques, des figures de style qui frappent l'imagination. Par exemple, le Psaume cxxxix: «Si je prends les ailes de l'aurore et que je vais habiter aux bornes les plus reculées de la mer, là encore Ta main me guidera et Ta droite me soutiendra».

Que signifie cette expression les «ailes de l'aurore»? La photographie de la figure 124 nous propose une très belle explication. Au moment où le Soleil sort de l'horizon, à l'est, ses rayons frappent les nuages en passant à travers leurs interstices; ils les peignent des couleurs les plus vives et produisent ces longs faisceaux de lumière que nous voyons ici. Ce sont les «ailes de l'aurore». Vous avez sans doute observé souvent le même phénomène, sur la fin d'un bel après-midi d'été. On dit alors que le «Soleil pompe les eaux» (fig. 125).

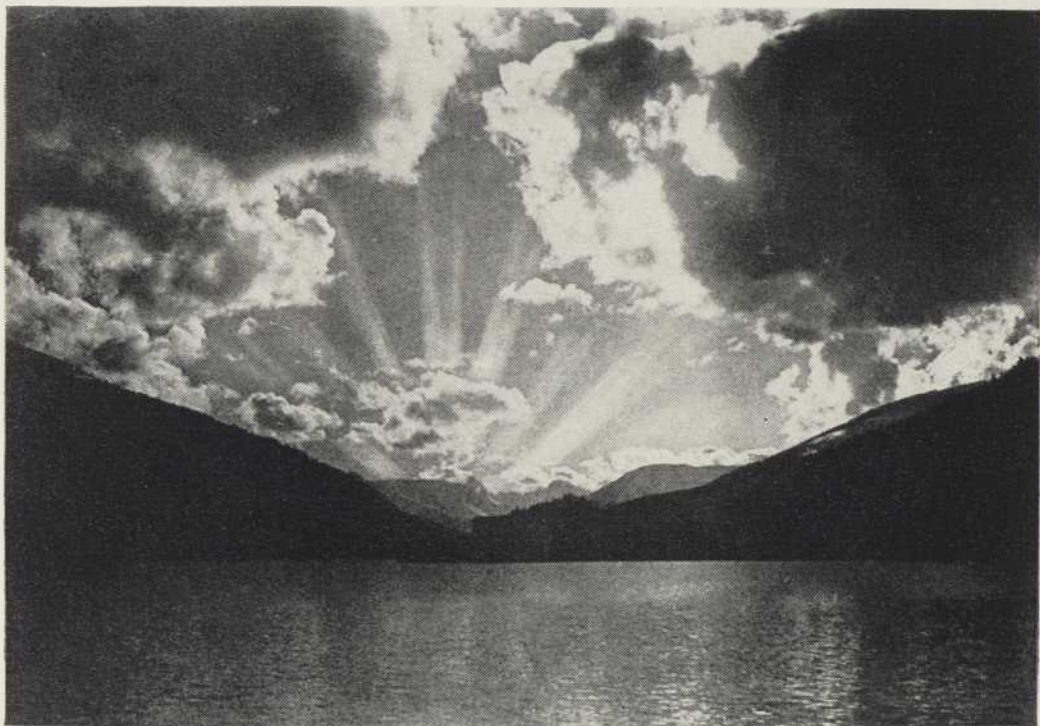


FIG. 124. LES «AILES DE L'AURORE».

Les gloires du Soleil levant percent à travers les nuages et se déploient en éventail au-dessus de l'horizon est. Ce sont sans doute les «Ailes de l'Aurore» dont parle le Psalmiste.

Photographie, légèrement retouchée, prise par Ballance.

«Prendre les ailes de l'aurore» voudrait donc dire voyager à travers l'espace à la vitesse de la lumière, vitesse qui est, comme nous l'avons déjà dit, de 186 000 milles par seconde, soit environ onze millions de milles par minute.

Supposons un instant que nous avons pris les «ailes de l'aurore» et qu'ainsi équipés nous entreprenons une grande randonnée à travers l'espace, voyageant à la vitesse de la lumière.

Partons du Soleil, le centre de notre système. En trois minutes et tiers, nous sommes sur Mercure; en six minutes, sur Vénus; en huit minutes et tiers, sur la Terre, et en treize minu-

tes, sur Mars. Ensuite, nous atteignons Jupiter, Saturne, Uranus et, quatre heures après notre départ, Neptune. Quelques minutes après, nous arrivons sur Pluton, la dernière planète découverte.

Nous avons maintenant atteint les confins du système solaire et nous jetons un coup d'œil circulaire afin de choisir une étoile à visiter.

Nous serions tentés de mettre le cap sur Sirius, parce qu'elle est la plus brillante. Mais nous nous rappelons ce que les astro-



FIG. 125. EN PLEIN VOL AU SOLEIL COUCHANT.

Une photographie prise durant la guerre 14-18, au camp Borden, en Ontario. Elle illustre bien le phénomène souvent observé et que le langage populaire décrit comme le «Soleil pompant l'eau des nuages». Il est dû aux rayons solaires passant à travers les nuages, et rappelle les «ailes de l'aurore».

nomes terriens ont affirmé à propos d'une certaine étoile de l'hémisphère austral, nommée Alpha du Centaure, et nous partons dans sa direction, assurés qu'elle est l'étoile la plus rapprochée de notre système.

Nous avançons vers elle durant toute une journée: elle ne paraît pas plus brillante. On dirait qu'elle est toujours aussi loin. Nous voyageons une semaine, un mois—pas de changement appréciable. Cette étoile doit être terriblement loin! Nous continuons pendant un an, nous précipitant toujours vers elle à la vitesse de onze millions de milles à la minute. Maintenant, il n'y a pas de doute, nous approchons; elle est deux fois plus brillante qu'au départ. Cependant, elle n'a pas encore l'éclat de Sirius.

Et ainsi, nous voyageons pendant deux ans, trois ans, quatre ans; elle est alors décidément plus brillante, mais c'est toujours une étoile. Au bout de quatre autres mois, elle est devenue éblouissante avec toutes facilités de l'étudier.

Qu'est-ce que nous constatons? C'est un grand et majestueux soleil, resplendissant comme le nôtre!

Ainsi en est-il du reste des étoiles. Ce sont toutes des soleils—quelques-uns plus grands, d'autres plus petits que notre astre central. Certains d'entre eux ne possèdent-ils pas de système planétaire comme le nôtre? Sans doute, mais impossible d'en avoir la preuve.

Un fil d'araignée jusqu'à une étoile

Au foyer des oculaires de certains instruments astronomiques, le constructeur a disposé des fils très fins dont l'objet est de faciliter la mesure des angles. La substance employée n'est autre que du fil d'araignée, mais non pas ce fil relativement grossier que l'on trouve pendu aux arbres ou dans l'herbe, couvert de la rosée matinale. On préfère la fibre excessivement ténue avec laquelle l'araignée femelle enveloppe ses minuscules cocons, protégeant ainsi la larve qui est à l'intérieur. Il faut beaucoup d'adresse et une patience hors pair à celui qui manipule une substance aussi délicate.

Un jour, un ouvrier qui travaillait à monter ces fils d'araignée eut l'idée d'en peser un bout sur une balance très sensible et de calculer quelle longueur il pourrait avoir par livre de fil. Ses opérations lui donnèrent comme résultat 25 000 milles, c'est-à-dire assez pour encercler complètement la Terre. Dix livres du même fil suffiraient amplement à le rendre jusqu'à la Lune.

Un autre calcul simple nous donne la quantité qu'il faut pour atteindre Alpha du Centaure. Devinez combien? Pas moins de 500 000 tonnes. Pour expédier tout ce fil par chemin de fer, il faudrait un train de 150 milles de long, tiré par 500 puissantes locomotives!

Et c'est la distance de la plus *proche* étoile fixe—notre voisine parmi les soleils de l'espace. Sirius, la plus brillante de toutes est à huit années-lumière; Véga, à 26; l'Étoile Polaire, à 400; Rigel, à 540. Et combien d'autres plus loin encore!

Mais ce n'est pas tout. Plus tard, nous verrons que ces étoiles, apparemment «isolées» dans l'espace et toutes celles qui font partie de la Voie Lactée, ne sont que les membres d'un même système stellaire, le nôtre, lequel n'est qu'un spécimen parmi les myriades de systèmes qui peuplent l'Univers.

CHAPITRE XII

CONSTITUTION PHYSIQUE DES ÉTOILES—MOUVEMENT PROPRE DES ÉTOILES

I. CONSTITUTION PHYSIQUE DES ÉTOILES

Le Spectre Solaire



L'UNE des expériences les plus connues du grand Newton est celle qu'il fit, aux environs de 1668, en décomposant la lumière à l'aide d'un prisme de verre. Dans une chambre noire, il introduisit un mince faisceau de lumière solaire et plaça un prisme sur son trajet (fig. 126). Alors apparut sur le mur opposé une bande lumineuse très allongée dans laquelle il reconnut le violet, l'indigo, le bleu, le vert, le jaune, l'orangé et le rouge.

Plusieurs fois déjà, on avait observé les couleurs produites lorsqu'on faisait passer la lumière blanche à travers un mor-

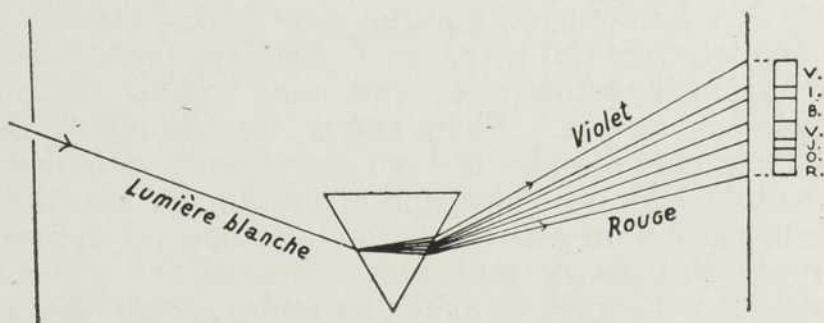


FIG. 126. LA CÉLÈBRE EXPÉRIENCE DE NEWTON.

ceau de verre, mais on avait toujours cru qu'elles prenaient naissance dans le verre lui-même.

Le mérite de Newton a été l'interprétation tout à fait nouvelle qu'il donnait du phénomène. Dans tous les cas, on n'a rien trouvé de mieux depuis. Pour Newton, la lumière blanche n'est pas du blanc homogène, mais une fusion de plusieurs couleurs; le prisme de verre (ou de toute autre matière transparente) a pour effet de séparer les composantes et de les étaler suffisamment pour les rendre visibles.

La bande colorée obtenue de cette façon s'appelle un *spectre*, et quand la lumière analysée est celle du Soleil, on l'appelle le *spectre de la lumière solaire* ou *spectre solaire*.

Dans le siècle qui suivit, l'expérience de Newton a été la préoccupation constante des expérimentateurs, mais ce n'est qu'en 1815, que Fraunhofer, à Munich, fit faire de nouveaux progrès à l'étude de la lumière. Cette année-là, il découvrit qu'en certaines circonstances la bande colorée était traversée d'une quantité de raies sombres, comme celles de la figure 127.



FIG. 127. CROQUIS DU SPECTRE SOLAIRE.

Les limites approximatives des différentes couleurs sont indiquées, de même que certaines raies sombres et les lettres données par Fraunhofer pour les identifier.

D'après le dessin original de Fraunhofer (1814).

Couleurs et longueurs d'onde de la lumière

D'où vient cette propriété du prisme de décomposer ainsi la lumière ? Voilà un autre grand mystère de la nature.

Pour expliquer ce qui se passe, il convient d'assimiler la lumière à un fluide ondulatoire, dont nous voyons plusieurs exemples dans la nature. Entre autres, les vagues de la mer, dont les longueurs d'ondes et les vitesses sont variables; et les petites ondulations, ou rides, qu'on produit en heurtant d'un coup sec la paroi d'un seau d'eau, ondulations qui se propagent très vite et subissent de multiples réflexions. Il y a aussi les ondes sonores véhiculées par l'air, les ondes sismiques qui traversent l'écorce terrestre et les ondes radiophoniques qui voyagent à travers le supposé éther.

On assume qu'un faisceau de lumière blanche est composé d'ondes de diverses longueurs, cheminant côte à côte, jusqu'à ce qu'il entre dans le prisme de verre. À ce moment, les différentes ondes se mettent à voyager à des vitesses différentes et sont séparées ou dispersées en un spectre. La longueur des ondes lumineuses est extrêmement faible et leur vitesse excessivement grande. Les ondes radiophoniques et les ondes lumineuses voyagent à la même vitesse; la seule différence est dans la longueur d'onde, qui s'évalue en mètres dans le premier cas et en dix-millionièmes ou cent-millionièmes de millimètres dans le second.

Dans la partie visible du spectre, les ondes de la lumière violette sont les plus courtes, et celles de la lumière rouge, les plus longues, tandis que les autres sont intermédiaires. Dans le spectre solaire, les raies sombres ne sont autres que les longueurs d'ondes qui manquent.

Pourquoi ces raies sombres ?

L'explication du phénomène des raies sombres dans le spectre solaire ne remonte pas très loin. C'est en 1859 qu'on a découvert le moyen de les reproduire au laboratoire et par suite de déterminer de quelles substances se compose le Soleil. Le fer, le sodium, l'hydrogène, le carbone, et plusieurs autres éléments, déjà identifiés sur la Terre, furent retrouvés dans le Soleil. D'où l'on peut déduire que le Soleil et la Terre sont constitués des mêmes éléments et que, selon toute évidence, les deux astres ont eu la même origine.

Spectroscope et Spectrogramme

Le spectroscope est l'instrument qui produit le spectre d'une source lumineuse quelconque à étudier. Les figures 128 et 129 nous en montrent un modèle très simple. Le tube C, appelé

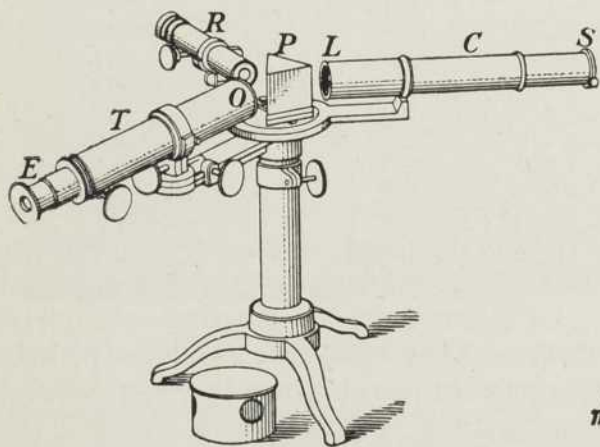


FIG. 128. UN SPECTROSCOPE À PRISME UNIQUE, POUR LABORATOIRE.

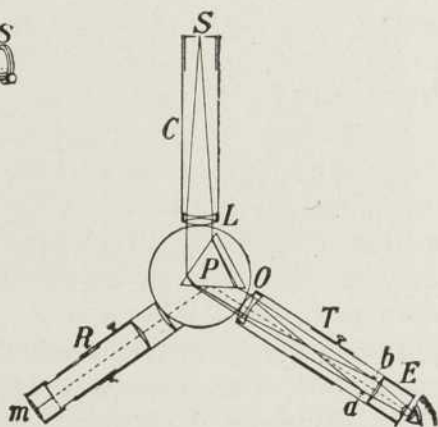


FIG. 129. UNE COUPE HORIZONTALE DE L'INSTRUMENT DE LA FIG. 128.

collimateur, est muni d'une fente S à un bout et d'une lentille L à l'autre. La fente est au foyer de la lentille, de sorte que la lumière qui émerge en L est un faisceau parallèle. Cette lumière passe par le prisme P et parvient à la lunette T, au foyer de laquelle (en *ab*) l'image du spectre se forme. On regarde cette image au moyen de l'oculaire E.

La lumière à analyser est placée devant S. D'ordinaire on ajoute un troisième tube R. Ce tube est muni d'une échelle

graduée transparente *m* à un bout et d'une lentille à l'autre. La lumière d'une lampe placée devant l'échelle pénètre dans le tube et se réfléchit sur l'une des faces du prisme pour passer ensuite dans la lunette. Une image de la graduation est alors formée au foyer *ab*, juste au-dessus du spectre. Ce dispositif facilite considérablement les mesures.

La lunette T peut être remplacée au besoin par un appareil photographique approprié. La photographie du spectre prend alors le nom de *spectrogramme*. Actuellement, les spectres sont étudiés à peu près exclusivement par la méthode photographique.

Le Spectrographe Astronomique

Le spectroscopie illustré aux figures 128 et 129 est destiné aux travaux de laboratoire. Quand on veut l'adjoindre à un télescope, le pied ordinaire n'a plus sa raison d'être. Le collimateur, le prisme et la caméra sont alors solidement fixés à une charpente rigide et placés dans une caisse protectrice en métal, le tout assujéti au télescope par de forts boulons. Ces précautions sont essentielles, si l'on veut éviter toute flexion ou déplacement quand le spectrographe prendra les positions les plus diverses, par exemple, au cours d'une longue pose. Le caisson est tapissé à l'intérieur d'un feutre épais, ou de tout autre calorifuge, et sa température est maintenue constante grâce à un système de chauffage électrique contrôlé par un thermostat très sensible.

L'appendice en forme de botte qu'on voit à l'extrémité du télescope illustré à la figure 87 (page 118) est le spectrographe que nous venons de décrire. On aperçoit la caisse métallique peinte d'un ton plus clair. Il se compose d'un prisme unique (comme celui de la figure 128). Le spectrographe au complet pèse plus de 1200 livres. Certains spectrographes utilisent même deux ou trois prismes en série et nécessitent des supports spéciaux. Ces instruments peuvent donc prendre des formes assez diverses, suivant l'usage qu'on veut en faire.

La figure 130 est la photographie d'un spectrographe en opération. Le télescope était alors dirigé sur une étoile tout près du zénith. L'astronome, au sommet de l'échelle roulante, suit au microscope l'image de l'étoile qui doit être maintenue sur la fente étroite du spectrographe. Il va sans dire que le télescope est muni d'un moteur électrique synchronisé sur le mouvement du ciel (dû évidemment à la rotation de la Terre), mais on doit faire en sorte que toute irrégularité dans la marche de ce moteur, ou tout déplacement de l'image dû à des causes diverses, soient corrigés. C'est ce que l'observateur peut faire en pressant les boutons appropriés d'un panneau de commande

qu'il tient à la main. Ces circuits électriques contrôlent les moteurs qui déplacent le télescope dans la direction voulue.

Le temps de pose écoulé, l'observateur enlève la plaque,



FIG. 130. LE SPECTROGRAPHE DE L'OBSERVATOIRE DAVID DUNLAP.

Ce spectrographe n'a qu'un seul prisme, mais deux caméras de distances focales différentes peuvent être employées au choix. À gauche, se trouve le moteur synchrone qui sert à entraîner le télescope. Cette photographie a été prise à minuit, dans la nuit du 4 au 5 octobre 1939, pendant que le télescope était en opération. Temps de pose: 12 secondes.

Photo: Peter M. Millman.

dirige le télescope sur une autre étoile, insère une plaque vierge et commence une nouvelle pose.

Trois sortes de spectres

Tous les spectres appartiennent à l'un des trois types suivants:

I. *Spectres continus.* La lumière provenant d'un solide

chauffé à blanc, comme le filament d'une lampe électrique, ou d'un liquide incandescent, comme le fer fondu, donne un spectre continu, sans raie sombre ni interruption.

II. *Spectres à raies brillantes.* La lumière d'une vapeur incandescente, comme celle qu'on produit en jetant du sel de cuisine dans la flamme d'un bec de gaz, ou encore le gaz rendu luminescent, comme dans les enseignes à néon, donnent un spectre constitué de raies brillantes séparées. L'apparence de ces lignes et leurs groupements divers permettent l'identification du gaz ou de la vapeur.

III. *Spectres à raies sombres.* Lorsque la lumière provenant d'un solide ou d'un liquide chauffés à blanc passe à travers un gaz incandescent, on obtient un spectre coloré coupé de raies sombres. Ces raies sombres sont situées exactement dans la position qu'occupent les raies brillantes de ce même gaz. On peut donc reconnaître, d'après l'arrangement des raies sombres, la nature du gaz à travers lequel la lumière passe.

Le Soleil et la plupart des étoiles donnent des spectres à raies sombres, qui permettent de déterminer la nature des gaz ou des vapeurs qui entourent la sphère incandescente de ces astres.

Le Spectre du Soleil et celui d'une Étoile

Examinons quelque peu les spectrogrammes de la figure 131. Ces photographies ne donnent pas tout le spectre visible, du violet au rouge, mais seulement une région comprenant le bleu et le vert.

En A, nous avons le spectre du Soleil, traversé d'une multitude de raies sombres. Plus de trente mille de ces raies ont été photographiées dans tout le spectre. Si l'on plaçait l'œil à l'endroit occupé par la caméra, on verrait une bande bleu-vert entrecoupée de lignes sombres. Au-dessus et au-dessous, en a_1 , a_1 , on a photographié le spectre du fer, vaporisé dans l'arc électrique. On remarquera que celui-ci est constitué de multiples raies brillantes, et, surtout, que plusieurs d'entre elles (indiquées par un petit trait clair) coïncident avec les raies sombres du Soleil. Ceci est une preuve de la présence du fer dans le Soleil.

Maintenant, étudions le spectre B, qui est celui de l'étoile ϵ d'Andromède. Comparons ses associations de raies avec celles du Soleil, en A. Ce sont exactement les mêmes, et l'on a de bonnes raisons de croire que cette étoile est tout à fait semblable au Soleil.

Une seule différence: les lignes sombres du spectre de l'étoile ne coïncident pas exactement—en position—avec les raies brillantes du fer en a_2 , a_2 . Les raies de l'étoile sont déplacées

quelque peu vers la gauche, c'est-à-dire vers le bleu. Ce déplacement est appelé *effet Doppler* et est dû à ce que l'étoile et la Terre s'approchaient l'une de l'autre quand la photographie du spectre a été prise. D'après la valeur de ce déplacement, mesuré au microscope sur le négatif, on a pu calculer que la vitesse relative des deux corps au moment de l'expérience était de 68 milles par seconde. De cette vitesse on soustrait

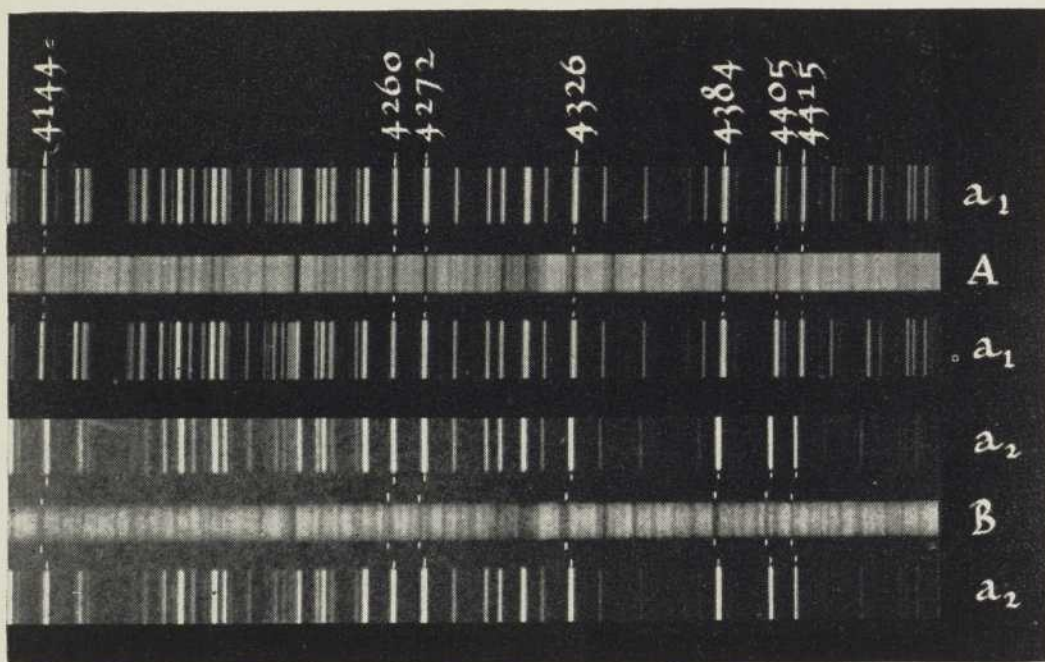


FIG. 131. SPECTRE DU SOLEIL ET CELUI D'UNE ÉTOILE.

Le spectre du Soleil est en A et celui de l'étoile Epsilon d'Andromède, en B. Les spectres a_1 , a_1 , et a_2 , a_2 , sont ceux de la vapeur de fer. Les nombres inscrits à la partie supérieure de la figure donnent en dix-millionièmes de millimètre la longueur d'onde des raies correspondantes.

Photographies de l'observatoire David Dunlap.

14 milles, vitesse déduite du mouvement de la Terre sur son orbite, et l'on obtient finalement 54 milles par seconde comme vitesse d'approche de l'étoile vers le Soleil (ou le système solaire). C'est ce que l'on appelle sa *vitesse radiale* ou sa *vitesse dans la ligne de vision*. On sait, par ailleurs, que cette étoile possède encore un autre mouvement, à angle droit avec la ligne de vision (voir la Section II de ce chapitre), dont la vitesse est de 26 milles par seconde. La combinaison de ces deux quantités donne 60 milles par seconde pour la vitesse de l'étoile à travers l'espace.

Plusieurs observatoires se spécialisent dans les mesures de vitesse radiale des étoiles. Ainsi, des milliers de ces vitesses ont déjà été obtenues, ce qui a permis des progrès remarquables dans nos connaissances du monde sidéral.

Résultats des mesures de vitesses radiales

Voici trois des principaux résultats obtenus :

I. Un certain nombre d'étoiles s'éloignent du système solaire, tandis que d'autres s'en approchent, et cela à des vitesses s'échelonnant entre 10 et 50 milles par seconde (16 et 80 km), et même plus—vitesses qui, on se le rappelle, sont du même ordre de grandeur que celles des planètes tournant autour du Soleil.

II. Plusieurs étoiles ont été découvertes, dont la vitesse radiale subissait des variations cycliques bien définies. De telles étoiles ne sont pas simples, mais composées de deux corps en révolution l'un autour de l'autre. On les appelle des binaires spectroscopiques (voir p. 198). Aucun télescope ne peut séparer les composantes de ces étoiles; seul le spectroscopie en révèle l'existence.

III. Toutes les vitesses radiales sont mesurées à partir des observatoires terrestres et l'on doit tenir compte du mouvement de la Terre dans les calculs. Cette opération est ce que l'on appelle la *réduction* des calculs au Soleil et donne comme résultat final la vitesse de l'étoile par rapport au Soleil. L'analyse d'un grand nombre de ces vitesses a révélé que le Soleil et tout son système se déplacent vers la constellation d'Hercule, dans le voisinage de la Lyre, à une vitesse de 12 milles (19 km) par seconde.

La rotation du Soleil

Nous savons déjà que l'observation quotidienne des taches solaires (voir page 66) a mis en évidence la rotation du Soleil autour d'un axe central et que cette rotation est d'environ 25 jours pour un point situé à l'équateur.

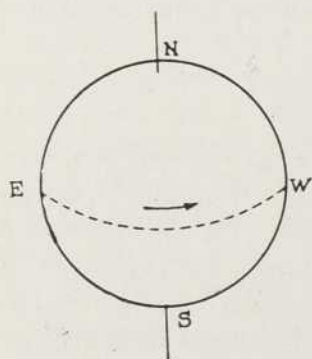


FIG. 132. DIAGRAMME MONTRANT L'ÉQUATEUR ET LES PÔLES DU SOLEIL, ET LE SENS DE LA ROTATION.

La figure 132 nous montre l'aspect du Soleil pour une personne habitant l'hémisphère nord de la Terre. Le nord est donc en haut, le sud en bas, le limbe-est à gauche et le limbe-ouest à droite. Le sens de la rotation est indiqué par la flèche. Il est évident que le limbe-est s'approche et que le limbe-ouest s'éloigne.

À l'aide d'un dispositif ingénieux, on a réussi à introduire simultanément dans le spectrographe les rayons provenant du limbe gauche et ceux provenant du limbe droit. Ainsi, l'on a pu photographier l'un en regard de l'autre chacun des deux spectres. La figure 133 nous montre le résultat obtenu. Dans la première série de photographies, le

spectre du haut et celui du bas proviennent du limbe-ouest; entre les deux se trouve le spectre du limbe-est. La deuxième série représente les spectres des limbes-nord et sud disposés semblablement aux premiers.

En examinant attentivement ces photographies, voici ce qu'on remarque. Les lignes spectrales du limbe-est sont identiques à celles du limbe-ouest, mais elles ne sont pas sur le prolongement l'une de l'autre. Les lignes du limbe-est sont déplacées vers le bleu (ou le violet), montrant par là que l'est s'approche; celles du limbe-ouest sont déplacées vers le rouge et ce côté s'éloigne. La vitesse propre de ces deux mouve-

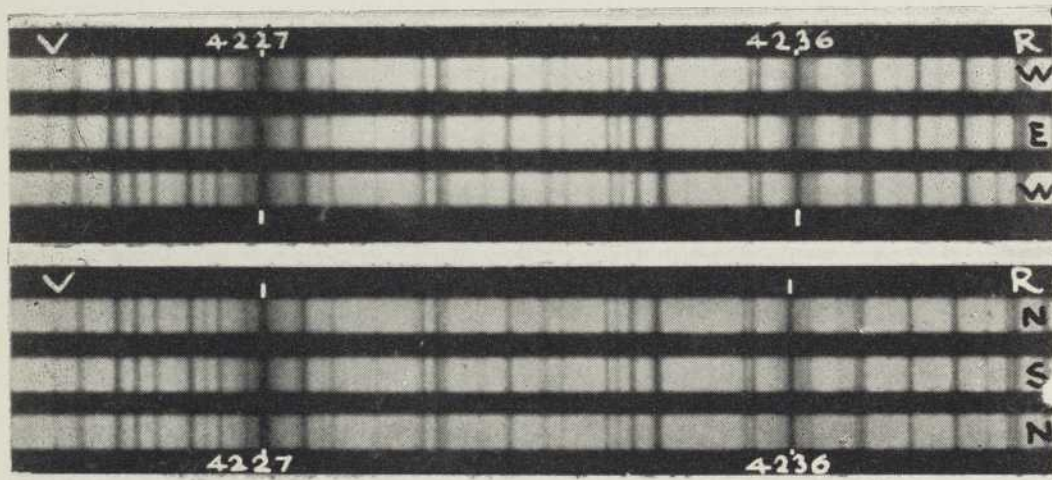


FIG. 133. SPECTRES DU LIMBE SOLAIRE.

Sur le cliché supérieur, on a deux spectres du limbe-ouest et, intercalé, le spectre du limbe-est. À remarquer le déplacement des raies. Sur le cliché inférieur, ce sont les spectres des pôles nord et sud; aucun déplacement n'y est perceptible.

Photo: R. E. De Lury, à l'observatoire du Canada, à Ottawa.

ments égaux est de 2 kilomètres par seconde, ou, si l'on préfère, de 4 km par seconde en les considérant l'un par rapport à l'autre. La période de rotation, calculée d'après ces données, s'accorde avec celle obtenue par l'observation des taches solaires.

La deuxième série de photographies montre les spectres des pôles nord et sud; il est impossible d'y déceler le moindre déplacement dans les lignes spectrales.

Les spectres des Étoiles

Lorsqu'on a devant soi une bonne quantité de spectres stellaires, il vient naturellement à l'esprit de les ranger par classes, afin de mettre en relief certains caractères communs.

On s'aperçoit alors que la grande majorité des spectres stellaires tombent dans six classes principales appelées *séquence principale*. C'est cette série que nous avons reproduite à la

figure 134. Les étoiles de la Classe B figurent en tête et sont considérées comme très chaudes: elles sont de couleur blanc-bleuâtre. Les dernières, de la Classe M, sont rouges: on est à peu près certain que la température de celles-ci est plus basse. Entre ces deux extrêmes se groupent les étoiles jaunes, puis orangées, à mesure que nous descendons dans l'échelle. Il y a longtemps qu'on sait que les étoiles sont colorées et que ces couleurs sont l'indice de températures différentes. Les étoiles de la Classe O, placées au-dessus de celles de la Classe B, sont des corps blanc-bleuâtre, où règnent des températures excessivement hautes. De plus, ils sont très éloignés.

Il ne faut pas étudier bien longtemps ces diverses classes de spectres pour se rendre à l'évidence de l'évolution progressive des étoiles au cours des âges, évolution qui les fait passer insensiblement d'un type au type suivant dans la série.

Ce problème de la formation et de l'évolution des étoiles est extrêmement compliqué et difficile à aborder; c'est le spectroscope qui l'a imposé à l'attention des astronomes. En accumulant les renseignements, autant sur les étoiles que sur les atomes des substances terrestres, nos successeurs, dans un siècle peut-être, pourront se faire une idée plus satisfaisante que la nôtre sur la vie des étoiles.

D'ici là, l'esprit humain aura de quoi à spéculer amplement, et quels sujets sont plus nobles et plus riches de conséquences que ceux-là!

II. MOUVEMENTS PROPRES DES ÉTOILES

Les Étoiles fixes

Nous disons que les étoiles sont fixes et nous avons raison, puisque nous les voyons actuellement dans ces mêmes positions, ou peu s'en faut, que notaient déjà les auteurs anciens. La ceinture d'Orion continue à serrer la taille du géant Orion, comme ils disaient; Aldébaran est toujours l'œil rouge du Taureau; et il en est ainsi de toute la cohorte céleste.

Pourtant, Edmund Halley, rendu célèbre par la comète qu'il découvrit, s'est employé à déterminer la position exacte de certaines étoiles brillantes et montra, en 1718, que Sirius, Bételgeuse, Aldébaran et Arcturus s'étaient déplacées d'un angle équivalant au diamètre de la Lune depuis le temps de Ptolémée, c'est-à-dire seize siècles auparavant. Suivant l'exemple de Halley, les astronomes ont consacré le meilleur de leur temps aux mesures délicates de la position des étoiles sur la sphère céleste. De fait, il y a encore une cinquantaine d'années, la tâche principale de l'astronome consistait à mettre à jour les catalogues d'étoiles et à dresser des cartes célestes avec le maximum de précision.

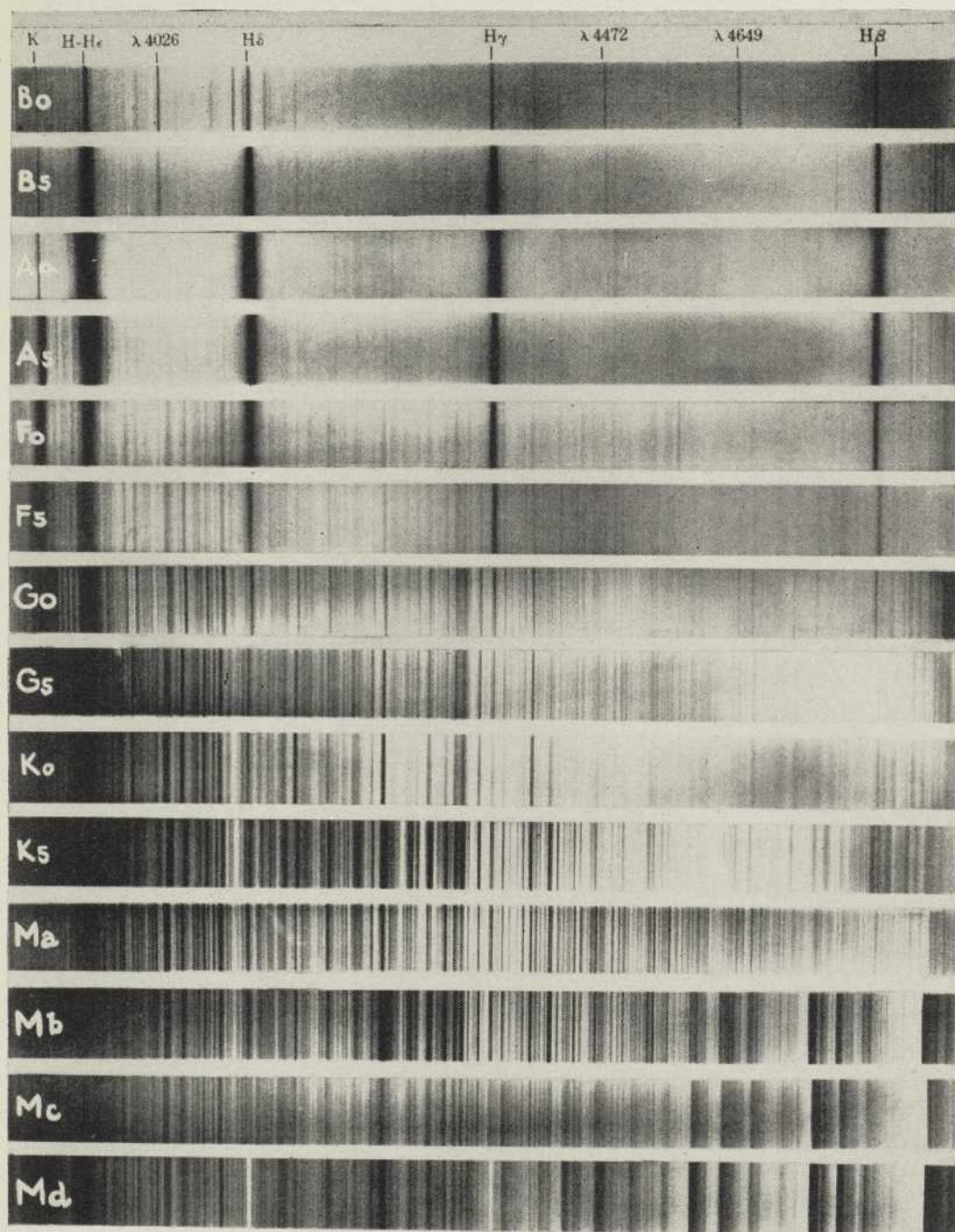


FIG. 134. LA SÉQUENCE DES SPECTRES D'ÉTOILES.

Les étoiles dont les spectres sont donnés plus haut sont les suivantes: B0, ϵ d'Orion; B5, η du Taureau; A0, Sirius; A5, β du Triangle; F0, δ des Gémeaux; F5, Procyon; G0, Capella; G5, κ des Gémeaux; K0, Arcturus; K5, Aldébaran; Ma, Bételgeuse; Mb, ρ de Persée; Mc, W du Cygne; Md, Mira.

Les classes sont subdivisées en dix sous-classes égales; A5 signifie que le spectre est exactement le moyen terme entre A0 et F0.

Photo: W. Carl Rufus, à l'observatoire de l'Université du Michigan.

Lorsque la position d'une étoile est reprise après un long intervalle de temps, on sait de quel angle elle s'est déplacée entre les deux mesures. Ce déplacement est appelé *mouvement propre*, c'est-à-dire mouvement particulier de l'étoile. On exprime d'ordinaire ce mouvement par l'angle parcouru sur la sphère céleste en une année, mais l'on obtient encore des quantités très faibles, la plupart du temps inférieures à une seconde d'arc, qui est, comme on sait, la 3600^e partie d'un degré!

Mouvement propre et Vitesse Radiale

Supposons un observateur placé en O (fig. 135), et une étoile qui se meut dans l'espace de A à B, dans l'intervalle d'un an. Ce mouvement réel AB est équivalent au mouvement AD dans la ligne de vision et au mouvement perpendiculaire AC, lequel

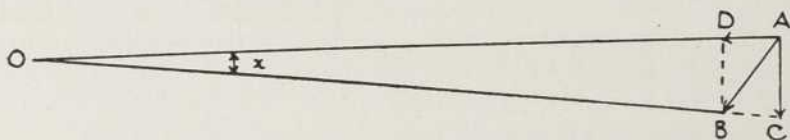


FIG. 135. DIAGRAMME ILLUSTRANT LE MOUVEMENT PROPRE ET LA VITESSE RADIALE.

L'observateur est placé en O. Durant l'année l'étoile se déplace de A en B dans l'espace. Ceci équivaut à un mouvement AD en direction de l'observateur et à un mouvement AC sur la sphère céleste. L'arc AC, qui sous-tend l'angle x , est le mouvement propre de l'étoile.

est le mouvement apparent sur la sphère céleste et sous-tend l'angle x en O. L'angle x (ou l'arc AC) est le mouvement propre de l'étoile.

La vitesse radiale AD est mesurée au moyen du spectroscope et exprimée d'ordinaire en kilomètres par seconde; sur le diagramme, AD représente la distance parcourue en un an. Quant à la distance AC, il est impossible de l'évaluer à moins de connaître la distance qui nous sépare de l'étoile.

Mesures sur les clichés

À l'heure présente, les mouvements propres des étoiles, aussi bien que leurs parallaxes, sont généralement déterminés par photographie. Des clichés d'une même région du ciel sont pris à plusieurs années d'intervalle et examinés sous le microscope. On emploie souvent dans ce but le blinkmicroscope (fig. 136), instrument qui sert à faire alterner plusieurs fois par seconde, dans l'œil de l'observateur, les deux images photographiques. Tout changement dans la position d'une étoile par rapport à ses voisines est alors facilement décelé.

Le plus grand mouvement propre qu'on connaisse est celui d'une petite étoile (10^e magnitude) dans la constellation d'Ophiuchus. Il a été estimé à 10,3'' par année, ce qui veut dire qu'elle mettra 175 ans pour se déplacer d'un demi-degré, le

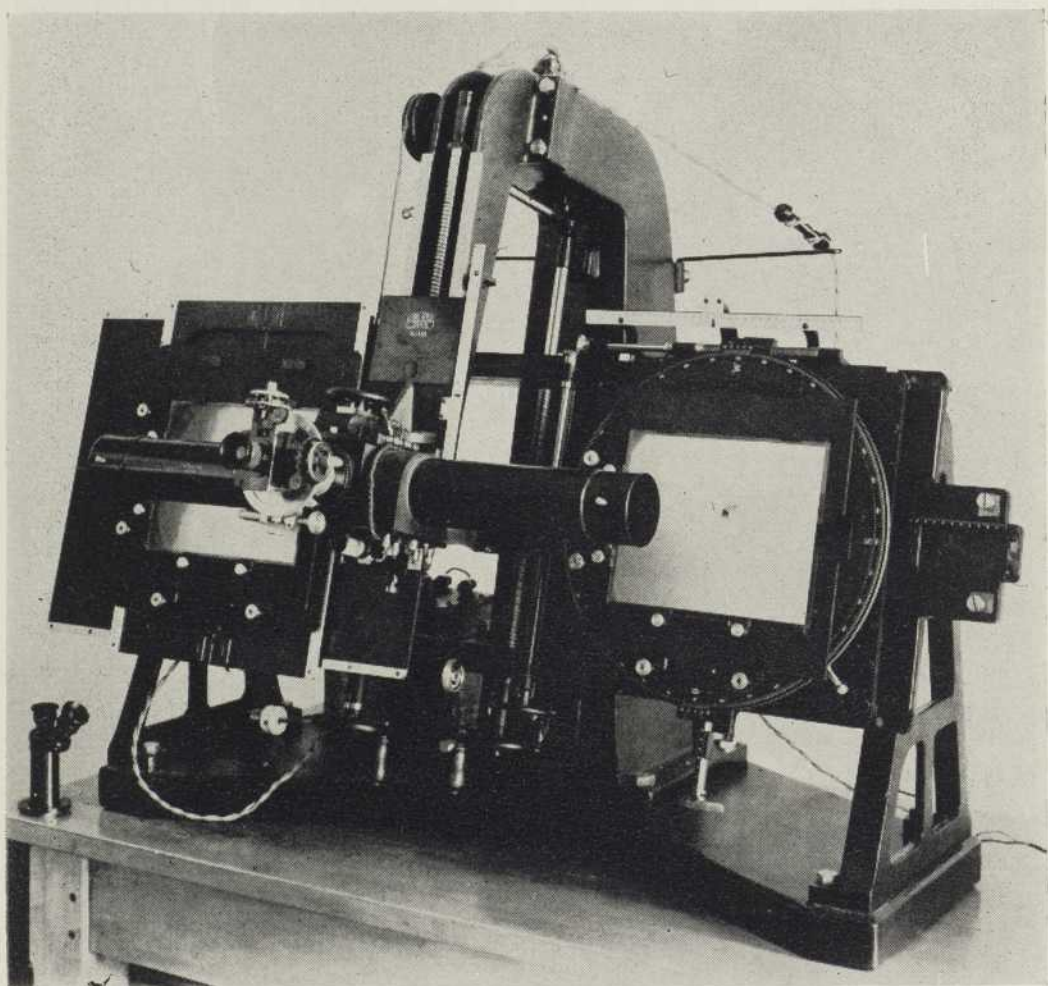


FIG. 136. LE BLINKMICROSCOPE.

Les deux clichés sont placés l'un près de l'autre et, par un mécanisme approprié, l'œil peut passer de l'un à l'autre plusieurs fois en une seconde. Deux photographies du Soleil sont sur l'appareil, prêtes à être comparées.

diamètre de la Lune. Deux photographies montrant cette étoile et son mouvement propre sont reproduites à la figure 137. Cette découverte a été faite par Barnard à l'observatoire Yerkes à l'aide du blinkmicroscope.

Un autre exemple intéressant de mouvement propre est celui de la figure 138. Ces quatre photographies mettent en évidence le mouvement d'une très faible étoile dans le voisinage de α du Centaure, étoile dont il a déjà été question dans une note au bas de la page 165. Son déplacement rapide par rapport à nous, porte à croire que cette étoile évolue dans les pa-

rages de notre Soleil. En tout cas, elle fait partie d'un groupe qui comprend α du Centaure et qui est animé d'un mouvement propre de $3,8''$ par année.

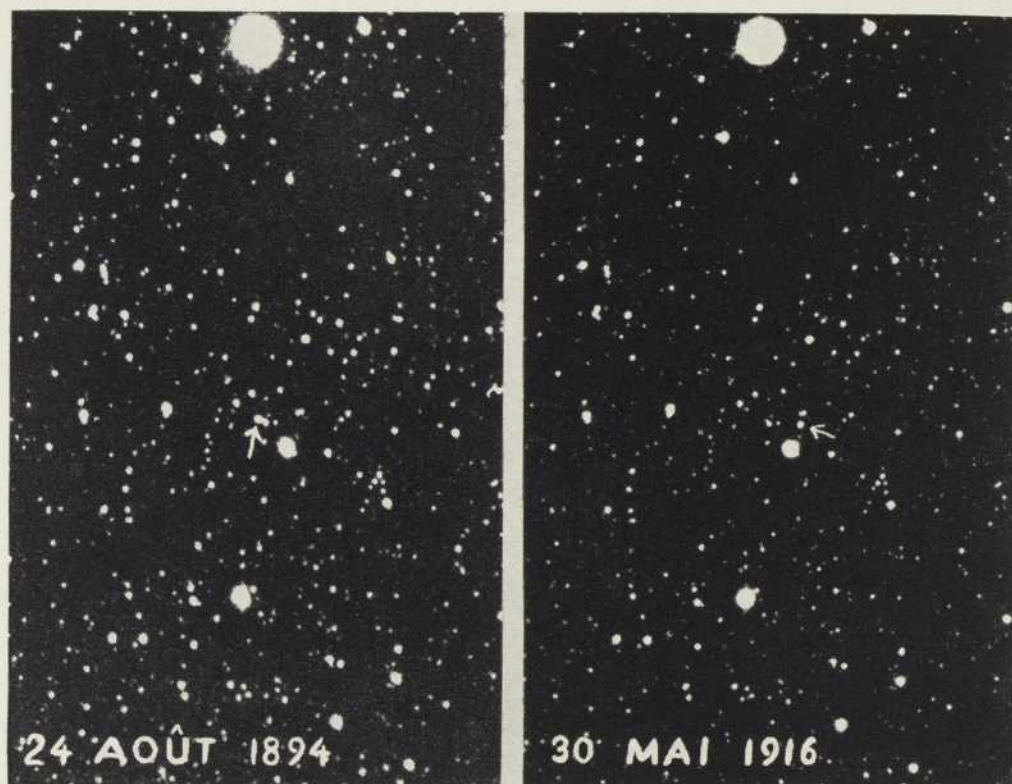


FIG. 137. DEUX PHOTOGRAPHIES DE L'ÉTOILE DE BARNARD, À GRAND MOUVEMENT PROPRE.

La flèche indique l'étoile; le déplacement de l'étoile en 22 ans est appréciable.

Photographies de l'observatoire Yerkes.

Dans le tableau de l'Appendice, (p. 272), on trouvera les mouvements propres de quelques étoiles, de même que d'autres renseignements utiles.



FIG. 138. QUATRE PHOTOGRAPHIES METTANT EN RELIEF LE MOUVEMENT PROPRE DE PROXIMA DU CENTAURE.

La flèche indique Proxima. Son mouvement par rapport aux étoiles environnantes, beaucoup plus éloignées qu'elle, est facile à constater.

Photographies de l'observatoire de Harvard.

CHAPITRE XIII

LES ÉTOILES VARIABLES

Les Étoiles changent-elles ?



ORSQUE nous observons le ciel par une nuit claire, passant en revue l'une après l'autre les étoiles principales de chaque constellation, nous constatons qu'elles n'ont pas changé d'éclat depuis notre dernière observation. Peut-être avons-nous pensé comme ceci : « Il y a dans le ciel six mille étoiles visibles à l'œil nu et des millions d'autres nous sont révélées par le télescope et la photographie. Toutes ces étoiles ont-elles un éclat constant et invariable ? Pourquoi quelques-unes n'auraient-elles pas des variations, « des hauts et des bas », comme tout ce qui existe dans la nature ? »

De telles réflexions ne sont pas déplacées, mais avant d'en venir à une conclusion définitive, reportons-nous aux faits observés.

Observations anciennes

Avant l'invention du télescope, on a enregistré l'apparition de quelques étoiles étranges qui, après avoir brillé d'un éclat inaccoutumé pendant quelques semaines ou quelques mois, sont redevenues invisibles—tout comme une allumette enflammée brille un instant et s'éteint.

Les deux plus célèbres étoiles de cette espèce furent observées par des astronomes bien connus—l'une en 1572 par Tycho Brahé, l'autre en 1604 par Képler. On les appela *novæ*—c'est-à-dire *novæ stellæ*, étoiles nouvelles. Les penseurs du temps attribuèrent au phénomène une importance toute particulière : les *novæ* prouvaient que la « sphère des étoiles fixes », assise des cieux, n'était pas éternelle et immuable, comme le prétendaient les anciens philosophes. Partout on observait de l'action et du changement.

En 1596, Fabricius, un amateur d'astronomie hollandais, découvrit dans la constellation de la Baleine (voir fig. 110) une étoile qui, d'invisible passait à l'éclat de la Polaire, puis

diminuait, pour redevenir brillante quelques mois plus tard. Il l'appela Mira—c'est-à-dire *mira stella*, étoile merveilleuse—dont les fluctuations sont encore un mystère

Même après l'invention du télescope, qui stimula pourtant l'ardeur des astronomes, cette branche de l'observation astronomique ne fit guère de progrès. En 1669, Montanari, à Modène, Italie, remarqua dans Persée une étoile qui perdait, à certains moments, son éclat coutumier, pour le recouvrer au bout de quelques heures. Elle s'appelle Algol, nom qui signifie *le démon*. Les astronomes modernes ont réussi à expliquer parfaitement la nature de ces perturbations. Nous reparlerons plus loin de Mira et d'Algol.

Les cent dernières années

Jusqu'en 1844, dix-huit étoiles variables, en plus des novæ, avaient été découvertes, surtout au cours d'observations entreprises en vue d'établir les cartes célestes. En effet, pour ce travail, on observe plusieurs fois la position et la magnitude de chaque étoile. La moindre variation qui se produit entre deux observations est facilement remarquée. Si l'objet s'est déplacé, c'est probablement une petite planète ou une comète; si c'est l'éclat qui a varié, on a vraisemblablement affaire à une étoile variable.

Actuellement, plus de 5000 étoiles variables sont cataloguées, et de nombreux astronomes amateurs, disséminés à travers le monde entier, se consacrent à leur observation. En effet, cette branche de l'astronomie convient particulièrement bien aux amateurs et plusieurs sociétés se sont formées en divers pays, afin de coordonner ce travail.

Espèces d'étoiles variables

Les étoiles variables manifestent les caractères les plus disparates; il est donc difficile de les classer. Pour les besoins présents, nous avons choisi cinq types principaux:

1. Les variables céphéides, qui se subdivisent en
 - (a) céphéides typiques, ou à longue période.
 - (b) céphéides du type d'amas, ou à courte période.
2. Les variables à longue période.
3. Les variables irrégulières.
4. Les novæ, ou étoiles temporaires.
5. Les variables à éclipses.

Les céphéides typiques

Les céphéides typiques ont des périodes qui s'échelonnent entre un et quarante-cinq jours, mais la plupart n'ont qu'une semaine environ. On les appelle céphéides parce que la première découverte, et la plus connue aussi, est δ Céphée. Cette étoile a été reconnue comme variable en 1784, par John Goodricke (1764-1786), jeune anglais qui était sourd-muet. La figure 139 est sa courbe de lumière.

Par convention, la période débute lorsque l'étoile est à son minimum d'éclat; sa magnitude est alors de 4,3. On la voit

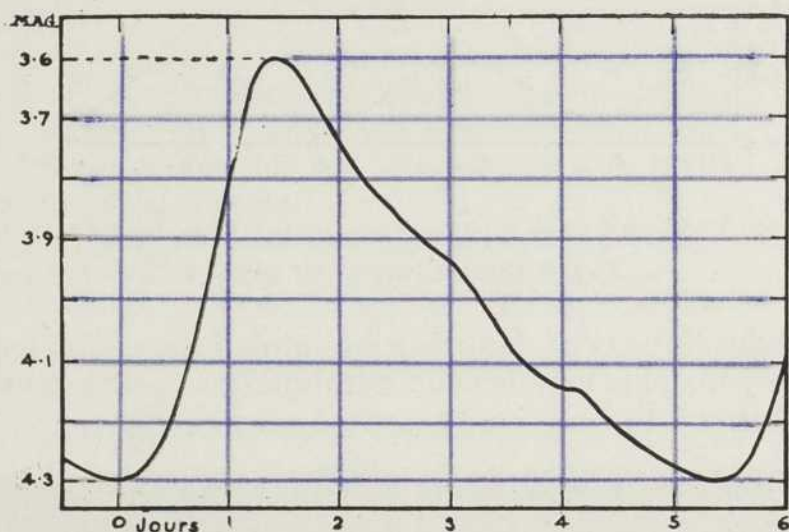


FIG. 139. COURBE DE LUMIÈRE DE δ CÉPHÉE.

À son plus faible éclat, sa magnitude est de 4,3. Elle augmente ensuite d'éclat pendant 1,7 jour, alors qu'elle atteint son éclat maximum avec une magnitude de 3,6. Son éclat diminue pendant 3,7 jours pour atteindre de nouveau le minimum. Sa période est de 5 j. 8 h. 47 m. 37 s.

Extrait d'« Astrophysical Journal », Vol. 27.

facilement à l'œil nu, mais une jumelle permet de l'observer plus aisément. Son éclat augmente pendant le premier tiers de sa période jusqu'à ce qu'il atteigne une magnitude maximum de 3,6: la variation est donc de 0,7 de magnitude, ce qui signifie que l'éclat maximum est 1,9 fois plus grand que l'éclat minimum. Puis, comme l'indique la courbe, la luminosité décroît pour atteindre de nouveau le minimum, après 5,36640 jours, ou 5 jours 8 heures 47 minutes et 37 secondes. Et un nouveau cycle commence, les variations se répétant avec la précision d'un chronomètre.

Les céphéides du type d'amas

Les céphéides du type d'amas, ou variables d'amas, ont des périodes d'environ douze heures. Leurs courbes de lumière

n'ont pas toutes exactement la même allure (voir fig. 140), mais elles se répètent avec fidélité. On trouve fréquemment

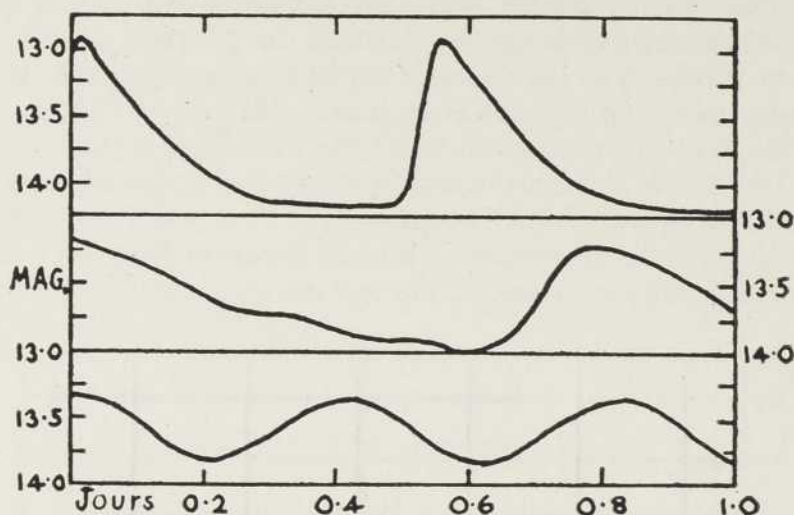


FIG. 140. TROIS COURBES DE LUMIÈRE — VARIABLES DU TYPE D'AMAS.

Tiré de « Stars Clusters », de Shapley.

des céphéides de ce type dans les amas globulaires, d'où leur nom. Nous parlerons plus loin des amas globulaires (voir le frontispice et le Chapitre XV).

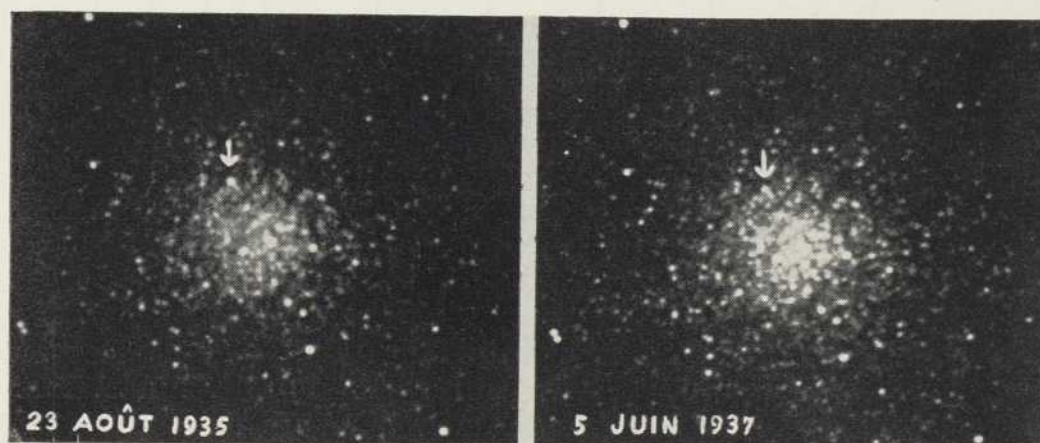


FIG. 141. DEUX PHOTOGRAPHIES DE L'AMAS GLOBULAIRE M. 14.

La photographie de gauche a été prise le 23 août 1935; celle de droite, le 5 juin 1937. La pose n'a pas été prolongée, afin de faciliter l'identification des étoiles. L'étoile marquée d'une flèche a atteint presque son maximum d'éclat sur le premier cliché (magn. 14,3); et son minimum, sur le second (magn. 16,0). Cette étoile est une céphéide classique et sa période est de 18,75 jours. Plus de soixante-dix autres variables, toutes beaucoup plus faibles que celle-ci, furent trouvées dans cet amas, dont la distance est estimée à 35 000 années-lumière.

Photo: Helen S. Hogg, à l'observatoire David Dunlap.

En figure 141, nous avons deux photographies de l'amas globulaire M. 14, dans Ophiuchus. C'est en comparant des

photographies de ce genre, prises dans des conditions identiques, qu'on a découvert plusieurs céphéides typiques et variables d'amas. Elles sont toutes beaucoup trop faibles pour être vues à l'œil nu.

Nouvel étalon de mesure

L'étude des céphéides a pris, en ces dernières années, une importance considérable. À la suite de nombreuses investigations, on a réussi à mettre au point une méthode qui permet de déterminer la distance d'une céphéide, avec la seule connaissance de sa période, dans le cas d'une céphéide typique, de la magnitude apparente moyenne, dans le cas d'une céphéide du type d'amas.

Le procédé employé dans l'établissement de cette relation entre la période et la distance est beaucoup trop technique pour être rapporté ici¹; disons seulement qu'il supporte admirablement la critique.

Par ce moyen, l'astronome est parvenu à étendre le champ de ses mesures beaucoup plus loin dans l'espace.

Pulsations des Étoiles

Dans le but de découvrir la vraie raison, si possible, des changements cycliques des céphéides, on a analysé au spectroscopie la lumière qu'émettent quelques-unes des plus brillantes étoiles de ce type. Deux faits très importants ont été ainsi révélés.

Premièrement, il se produit des changements très évidents dans le type spectral au cours de la variation de l'étoile. Nous en concluons que des changements réels s'opèrent dans l'atmosphère de l'étoile, et peut-être aussi dans sa structure interne.

En second lieu, les raies du spectre se déplacent alternativement vers le bleu et le rouge, suivant en cela un cycle semblable à celui des variations de lumière (voir fig. 142). Le diagramme supérieur est celui des variations de magnitude que subit l'étoile en une période; celui du bas montre comment varie la vitesse radiale dans le même temps.

Les variations périodiques de la vitesse radiale sembleraient indiquer la présence d'un système de deux corps tournant l'un autour de l'autre—en d'autres termes, l'étoile serait une double spectroscopique. Mais on incline plutôt à croire actuellement qu'il s'agit d'un seul corps—un immense volume de gaz incandescents, dont les fluctuations cycliques sont les suivantes. La température s'élève considérablement et comme résultat, le volume augmente; naturellement, la partie de la surface dirigée vers nous s'approche, comme le montre le déplacement vers

¹ Pour renseignements supplémentaires, voir le Chapitre X de «Star Clusters» (McGraw-Hill, 1930), par H. Shapley.

le bleu des raies spectrales. Après avoir atteint sa dilatation maximum et avoir commencé de refroidir, le corps se contracte sous l'action des forces de gravitation. L'éclat maximum

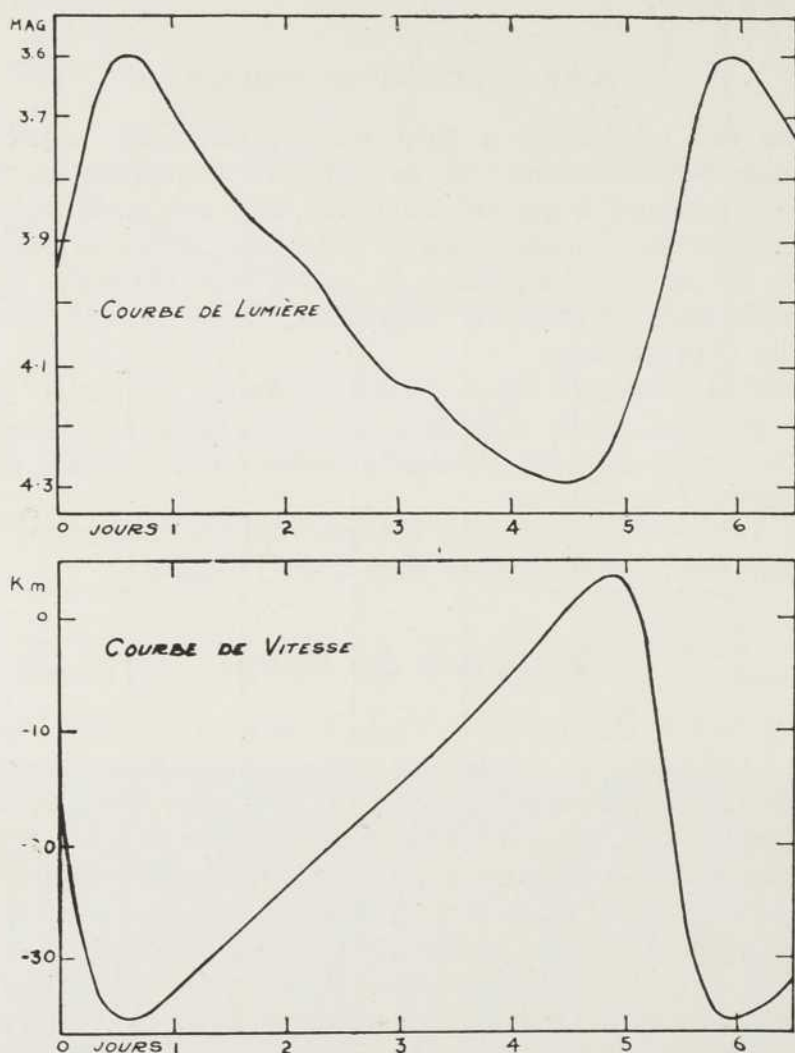


FIG. 142. COURBES DE LUMIÈRE ET DE VITESSE DE δ CÉPHÉE.

La première courbe montre comment varie l'éclat de l'étoile durant une période. La seconde donne les changements correspondants de la vitesse radiale pour cette partie de l'étoile qui fait face à l'observateur.

Extrait de «Lick Observatory Bulletin», Vol. VII.

se produit lorsque la vitesse d'approche est la plus grande; l'éclat minimum, lorsque la vitesse d'éloignement est maximum.

Imaginez un de ces immenses soleils, plusieurs fois supérieur au nôtre, se dilatant violemment et rejetant au loin sa surface géante; après deux ou trois jours de ce manège, il commence à se contracter et revient au bout d'une semaine à sa condition première, prêt à commencer un autre acte de ce drame cosmique.

Variables à longue période

Ces variables sont toutes des étoiles rouges, et leurs périodes s'échelonnent de 100 à 600 jours. La plus brillante et la plus connue de ce groupe est Mira, qu'on a désignée sous le nom de α (Omicron) de la Baleine dans les catalogues. On l'observe depuis trois siècles et on a constaté que la valeur moyenne de sa période était de 331,8 jours (11 mois approximativement). L'instant de son maximum ne peut être prédit avec certitude; il est soit en avance, soit en retard de plusieurs semaines. La figure 143 représente la courbe de lumière de Mira, d'après

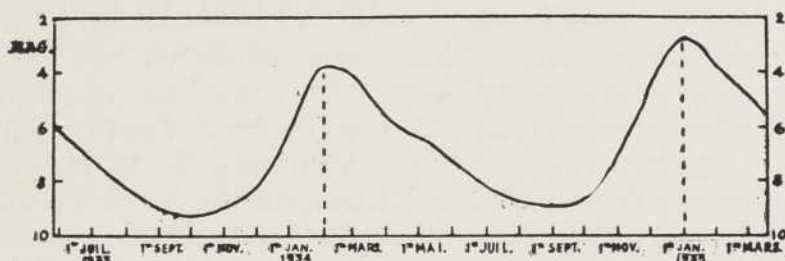


FIG. 143. COURBE DE LUMIÈRE DE MIRA, 1933-35.

D'après Gaposchkin, «*Variable Stars*».

les magnitudes observées durant deux périodes successives. On voit que l'éclat maximum prend des valeurs différentes. En fait, les variables à longue période ne suivent pas les mêmes lois rigides que ces chronomètres stellaires que sont les céphéides.

Le spectre d'une variable à longue période est ordinairement du type M (voir fig. 134). C'est d'ailleurs en étudiant les spectres d'étoiles qu'on découvre habituellement les variables de ce type. Certaines particularités du spectre nous mettent sur la piste; l'observation directe confirme ensuite la découverte.

Le spectre de Mira change considérablement pendant la variation d'éclat de l'étoile; on en conclut que la structure même de l'étoile est soumise à de grandes perturbations, au cours de son cycle de onze mois.

Mira est une des plus grosses étoiles dont on ait mesuré directement le diamètre. Son diamètre angulaire est de 0,056'' et sa distance de 272 années-lumière; le calcul donne pour son diamètre linéaire une valeur de plus de 400 000 000 milles, soit 500 fois le diamètre de notre Soleil.

Variables irrégulières

Les variables de ce groupe sont aussi des étoiles rouges. Leurs variations sont de faible amplitude et ne suivent aucune

loi connue. Les principales sont α d'Orion (Bételgeuse) et α d'Hercule (Ras Algethi), toutes deux d'immenses soleils comparables en grandeur à Mira.

Les novae ou étoiles temporaires

La plus brillante nova qui ait été enregistrée est celle que découvrit, en 1572, l'astronome danois Tycho Brahé. En plus de l'astronomie, Tycho s'intéressait à la chimie. Le soir du 11 novembre, après avoir passé quelque temps dans son laboratoire, il retournait chez lui pour le souper. Suivant son habitude, il portait de temps à autre ses regards vers les étoiles, lorsqu'il remarqua avec surprise dans Cassiopée, à ce moment près du zénith, une étoile très brillante qu'il savait fort bien ne pas appartenir à cette constellation. Il ne pouvait en croire ses yeux. Aux serviteurs qui l'accompagnaient, il demanda s'ils ne voyaient pas une étoile à l'endroit qu'il leur montrait. Ils répondirent dans l'affirmative. Mais ce témoignage ne parut pas suffisant à l'homme de science, qui arrêta des passants pour leur poser la même question. Comme tous disaient bien voir l'étoile à la position indiquée, Tycho dut admettre la réalité de sa découverte.

L'étoile atteignit un éclat égal à celui de Vénus, et devint visible en plein jour. On put la suivre pendant dix-huit mois. Tycho détermina avec le plus de précision possible la position de l'étoile nouvelle par rapport aux autres étoiles de Cassiopée. C'était pour le bénéfice des astronomes futurs; mais on ne peut l'identifier aujourd'hui.

Au cours du présent siècle, sept novæ ayant atteint la première magnitude ont été découvertes, mais personne ne peut dire quand la prochaine se produira. Très fréquemment les novæ sont découvertes par des astronomes amateurs et se localisent dans la Voie Lactée ou son voisinage.

D'ordinaire, une nova passe brusquement à son maximum, puis s'éteint graduellement en quelques semaines. La Nova Herculis 1934 (fig. 144) en fut un exemple remarquable, récemment. Au début de novembre, c'était une étoile très faible de magnitude 14,5, comme le montrent des photographies du ciel prises à ce moment. Le 22 décembre, elle était passée à la magnitude 1,5—c'est-à-dire que son éclat s'était accru 160 000¹ fois. Puis elle commença à décliner, et, à la fin d'avril 1935, elle était revenue à son éclat primitif. La figure 145 montre les variations de la Nova Aquilæ 1918. Les novæ nous réservent toujours des surprises et chacune possède une histoire propre fort captivante.

¹ La différence de magnitude entre 14,5 et 1,5 est 13. L'augmentation d'éclat est $(2\frac{1}{2})^{13}$, ou $2\frac{1}{2}$ multiplié treize fois par lui-même.

Quelques novæ plus faibles ont été découvertes par hasard sur d'anciens clichés, lorsque l'étoile était déjà revenue à son éclat ordinaire ou qu'elle s'était complètement évanouie. Les

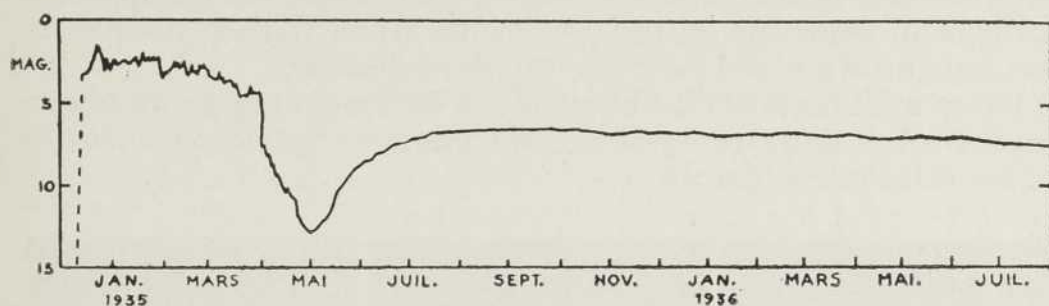


FIG. 144. COURBE DE LUMIÈRE DE NOVA HERCULIS, 1934.

Extrait de «Astronomical Journal of the Soviet Union», Vol. XIV.

novæ photographiques qu'on découvre dans les nébuleuses de faible éclat (voir fig. 146) sont sûrement parmi les plus curieuses.

En 1901, une photographie de la nébuleuse spirale dans la Chevelure de Bérénice, connue sous le nom de N.G.C. 4321, ou M. 100, fut prise par H. K. Palmer avec le télescope de 26 pouces de l'observatoire Lick. On y découvrit une nova.



FIG. 145. COURBE DE LUMIÈRE DE NOVA AQUILAE, 1918.

Extrait de «Harvard College Observatory Annals», Vol. LXXXI.

Treize ans plus tard, H. D. Curtis prit une autre photographie avec le même instrument. La nova de 1901 était disparue, mais une autre était visible.

Ainsi, lorsqu'un de ces gigantesques soleils se met soudainement à augmenter d'éclat, on sait que le ciel a été témoin de quelque grande catastrophe. Cette nébuleuse de la Chevelure, qui (comme nous le verrons plus loin) est probablement

un système stellaire très distant et semblable à notre Voie Lactée, a donc été le théâtre de vastes perturbations cosmiques, bouleversements qui se sont produits des millions d'années avant d'être observés sur la Terre. En 1925, un autre cliché fut pris au télescope de 100 pouces du Mont Wilson, mais cette fois aucune trace des novæ ne put être décelée.

Cette nébuleuse est à une distance énorme, et pour un observateur situé dans ce système, les novæ en question auraient eu un éclat considérable.



FIG. 146. NOVAE DANS LA NÉBULEUSE SPIRALE M. 100.

Dans la première photographie (1901), la nova est indiquée par la flèche. Treize ans plus tard (1914), la première était disparue, mais une autre était enregistrée, c'est l'étoile marquée d'une flèche. En 1925, cette dernière était disparue à son tour.

Photos 1 et 2: l'observatoire Lick. Photo 3: l'observatoire du Mont Wilson.

Les variables à éclipses

L'étoile type de ce groupe est Algol, ou β Persée. Dès 1670, on observa que cette étoile était parfois moins brillante que d'ordinaire. En 1783, Goodricke, alors âgé de dix-neuf ans, découvrit que sa magnitude variait suivant une période bien définie, et il émit l'hypothèse que le phénomène était dû à la rotation d'une étoile autour d'un compagnon plus brillant, qui devenait ainsi plus ou moins éclipsé. C'était la véritable explication.

La courbe de lumière d'Algol est donnée ici, en figure 147. Habituellement, l'étoile est de magnitude 2,3. Après être restée quelque temps à ce niveau, elle commence à décliner (*a* dans la figure 147) et son éclat baisse en $4\frac{1}{2}$ heures jusqu'à la magnitude 3,5 (*b* dans la figure 147). L'étoile a alors perdu les trois quarts de son éclat normal. Le corps le moins brillant s'est donc interposé entre l'étoile et nous. La figure 148A donne une idée de ce qui se passe. Quatre heures et demie plus tard, la luminosité est redevenue normale (*c* dans la figure 147). Puis après 30 heures environ, il se produit une légère baisse (*d* dans la figure 147). À ce moment le corps sombre

passé en arrière du corps brillant (fig. 148B). Cette diminution montre que le corps secondaire n'est pas complètement obscur, mais qu'il émet un peu de lumière propre. Trente heures après, on parvient au point *e* (fig. 147), un nouveau minimum com-

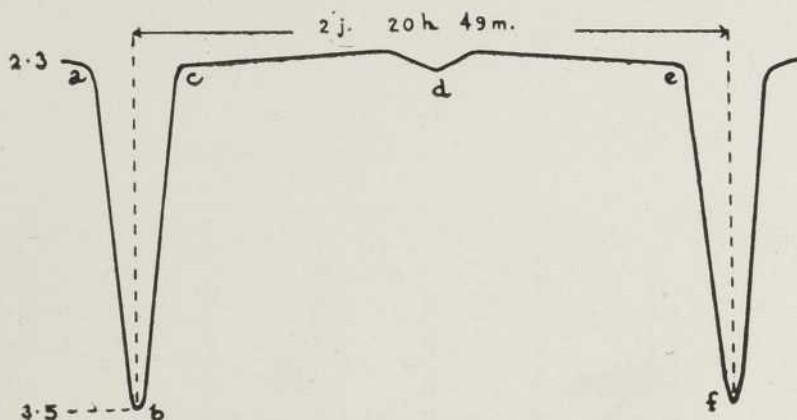


FIG. 147. COURBE DE LUMIÈRE D'ALGOL.

Dessinée d'après les observations de Stebbins.

mence (point *f* sur la courbe) et $4\frac{1}{2}$ heures plus tard l'étoile retrouve son éclat normal. La période est de 2,86731 jours, ou 2 jours, 20 heures et 49 minutes.

Algol est appelée une binaire à éclipse: on a découvert plus de 1600 autres étoiles semblables. On a aussi décelé la pré-

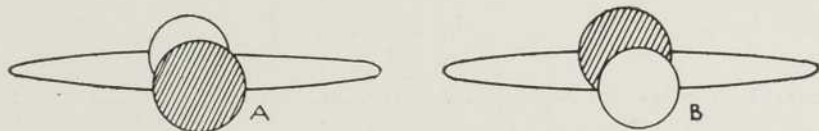


FIG. 148. REPRÉSENTATION SHÉMATIQUE DE L'ÉTOILE DOUBLE ALGOL.

En A, le corps le moins brillant est devant le compagnon plus lumineux, mais légèrement plus petit; ce sont les phases *b* et *f* de la figure 147. En B, le corps sombre est derrière le corps brillant, correspondant à la phase *d* de la figure précédente.

sence d'un troisième corps dans le système d'Algol, les deux premiers corps tournant autour du troisième en deux ans environ. Il n'est pas nécessaire de tenir compte de ce troisième corps pour expliquer la courbe de lumière.

CHAPITRE XIV

LES ÉTOILES DOUBLES

Découverte des Étoiles Doubles



EVENONS maintenant à la constellation familière du Chariot de David, la Grande Ourse, dans l'hémisphère nord. Examinons de plus près la deuxième étoile du timon, celle qui se trouve à l'angle. Elle est de magnitude 2,2, et cataloguée sous le nom de ζ de la Grande Ourse; elle porte aussi le nom de Mizar. C'est l'automne et la position du Chariot est celle de la figure 149. Si nous regardons très attentivement Mizar, nous apercevons une petite étoile à sa gauche et un peu au-dessus, (voir fig. 150). Une jumelle montre très bien les deux étoiles. La plus faible se nomme Alcor, «de cavalier sur sa monture». Elle est de 4^e magnitude et située à 11' 50'' de Mizar, presque un cinquième de degré.

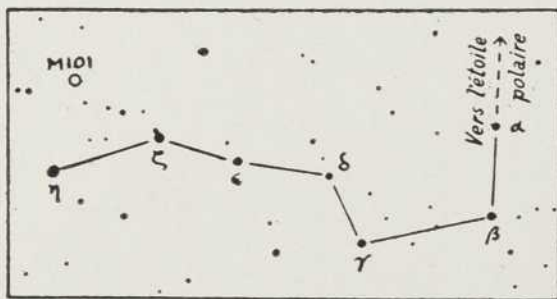


FIG. 149. LA GRANDE OURSE, TELLE QU'ON LA VOIT UN SOIR D'AUTOMNE.

Depuis plusieurs siècles, les sept étoiles portent des noms arabes. Voici ces noms et la magnitude de l'étoile: α , Dubhé, 2,0; β , Méraak, 2,4; γ , Phecda, 2,5; δ , Mégrez, 3,4; ϵ , Alioth, 1,7; ζ , Mizar, 2,2; η , Alkaide, 1,9. À l'exception de δ qui est de magnitude 3, ces étoiles sont de bons spécimens de la seconde magnitude.

Maintenant, tournons un petit télescope (3 pouces) sur Mizar. Nous constatons avec surprise que Mizar elle-même est double (voir fig. 151). La plus brillante étoile, appelée étoile A, est de magnitude 2,4, l'autre, B, de magnitude 4,0. La combinaison des deux fait une magnitude globale de 2,2.

À l'aide d'un plus grand télescope, muni d'un micromètre à fils (fig. 152), l'astronome trouve que la distance entre A et B est de $14''$. Il mesure aussi l'angle que fait la ligne AB avec la direction nord-sud (cercle horaire) dans le ciel. C'est

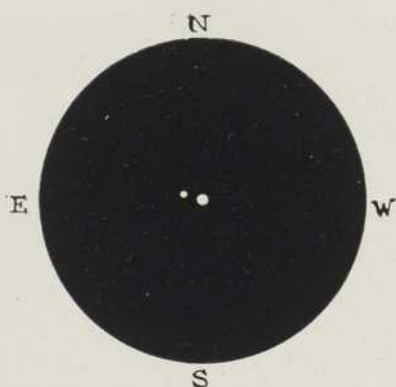


FIG. 150. MIZAR ET ALCOR

Telles qu'on les voit à l'œil nu ou à la jumelle. La distance entre les deux étoiles est de $11'50''$. La magnitude d'Alcor: 4,0.

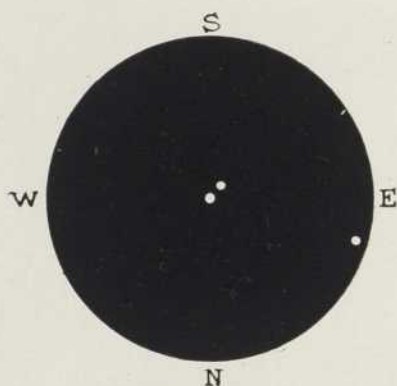


FIG. 151. MIZAR ET ALCOR.

Vues dans un télescope de 3 pouces. Mizar est au centre, Alcor un peu plus bas, sur le bord, à droite. Le télescope renverse l'image.

ce qu'on appelle l'*angle de position*: dans le cas présent, il vaut 150° . Ces deux mesures sont répétées autant de fois que nécessaire.

Couples optiques et Étoiles binaires

Voici un exemple des mesures faites sur Mizar (D., distance en secondes; A.P., angle de position en degrés):

ANNÉE	D.	A.P.	ANNÉE	D.	A.P.
1830	14,4	148	1908	14,3	149
1890	14,5	149	1925	14,5	150

D'après ces valeurs, qui représentent un siècle d'observation, on doit conclure qu'il n'y a pas eu de changement appréciable dans la position de B par rapport à A. Mizar est appelée une étoile double optique.

Il n'en est pas toujours ainsi avec les étoiles doubles. Voici un exemple de mesures faites sur un couple très faible (magnitude 9 et 11), connu sous le nom de Krüger 60, dans Céphée:

ANNÉE	D.	A.P.	ANNÉE	D.	A.P.
1890	2,3	179	1922	1,2	357
1909	3,0	94	1925	1,5	301

Il y a une très grande variation dans la distance et dans l'angle de position; une étude de toutes les mesures obtenues montre que les deux composantes de cette étoile sont deux

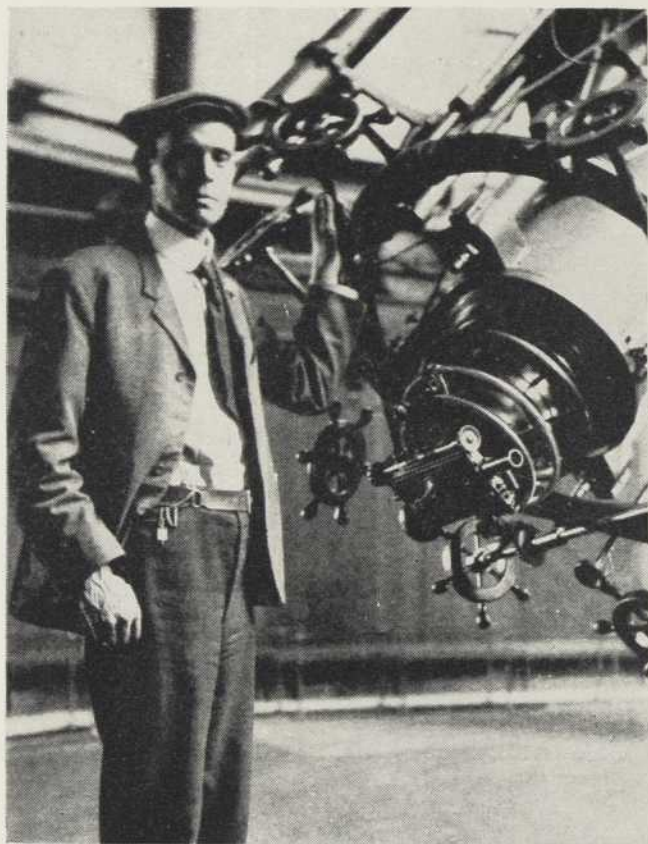


FIG. 152. LE D^r R. G. AITKEN DEVANT LE MICROMÈTRE À FILS DE LA LUNETTE DE 36 POUCES DE L'OBSERVATOIRE LICK.

Depuis ses débuts en 1889, le D^r Aitken a découvert plus de trois mille étoiles doubles visuelles. Il les a toutes mesurées, et bien d'autres encore, avec le micromètre à fils.

Photo: C. A. Chant.

soleils qui tournent l'un autour de l'autre. Krüger 60 est appelée une étoile *binaire*. Nous en reparlerons plus tard.

Binaires spectroscopiques

Revenons à Mizar, qui a encore quelque chose à nous apprendre. Les photographies de son spectre donnent lieu à de curieuses constatations. En certaines occasions, le spectre de A, la composante la plus brillante, est tout à fait normal, avec un grand nombre de fines raies sombres (voir fig. 153, *a*); d'autres fois, ces raies semblent dédoublées (fig. 153, *b*). Quelle peut être la raison de ce dédoublement ?

L'explication est bien simple. En réalité, A se compose de deux soleils de même type, qu'aucun télescope ne parvient à séparer. Les deux soleils tournent l'un autour de l'autre, ou plutôt, comme il est naturel de le supposer, chacun d'eux

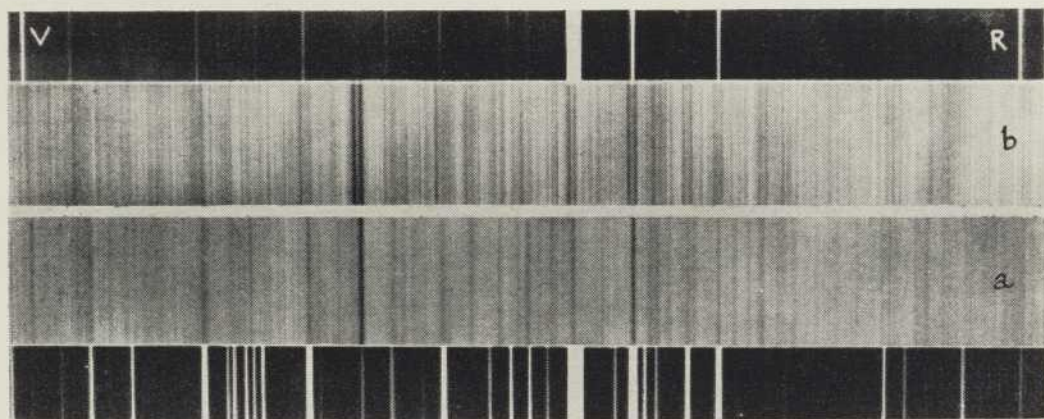


FIG. 153. LE SPECTRE DE L'ÉTOILE A DE MIZAR.

En *a*, les raies sont simples; en *b*, elles sont doubles. Deux soleils composent cette étoile. Lorsque le spectre *a* fut photographié, les deux corps se déplaçaient perpendiculairement au rayon visuel; en *b*, l'un s'approchait, l'autre s'éloignait. Voir figure 154.

Photographies de l'observatoire Yerkes.

tourne autour du centre de gravité commun ou plus exactement autour de leur centre de masse.

Parfois les deux corps *m* et *n* (fig. 154, X) se meuvent perpendiculairement à la ligne de vision et leurs spectres se superposent de sorte qu'on n'en distingue qu'un seul. Un quart

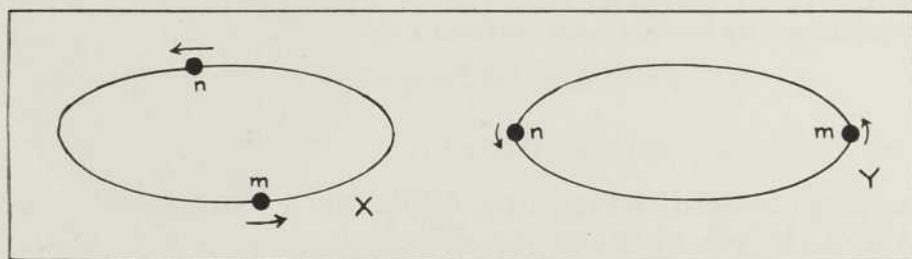


FIG. 154. DIAGRAMME EXPLIQUANT LA FIGURE PRÉCÉDENTE.

En X, les deux corps *m* et *n* se meuvent à angle droit avec le rayon visuel; en Y, *m* s'éloigne tandis que *n* s'approche.

de période plus tard (fig. 154, Y) *m* s'éloigne de l'observateur terrestre et ses raies se déplacent vers le rouge; mais le corps *n* s'approche et ses raies se déplacent vers le violet. Nous pouvons alors voir séparément les deux séries de raies. L'étoile A est appelée une *binaire spectroscopique*. La période de révolution est de 20,5 jours.

D'autres recherches ont montré que l'étoile B est aussi une binaire spectroscopique.

Ainsi, l'œil nu sépare Alcor et Mizar; un petit télescope sépare Mizar en deux étoiles A et B; le spectroscopie montre que A et B sont toutes deux composées de deux soleils qui tournent l'un autour de l'autre. Chaque paire constitue une binaire spectroscopique. Quelle riche mine d'or avons-nous découverte en examinant ce simple point du ciel!

Jetons maintenant un coup d'œil sur la figure 155. Il s'agit de deux photographies, prises à quelques jours d'intervalle,

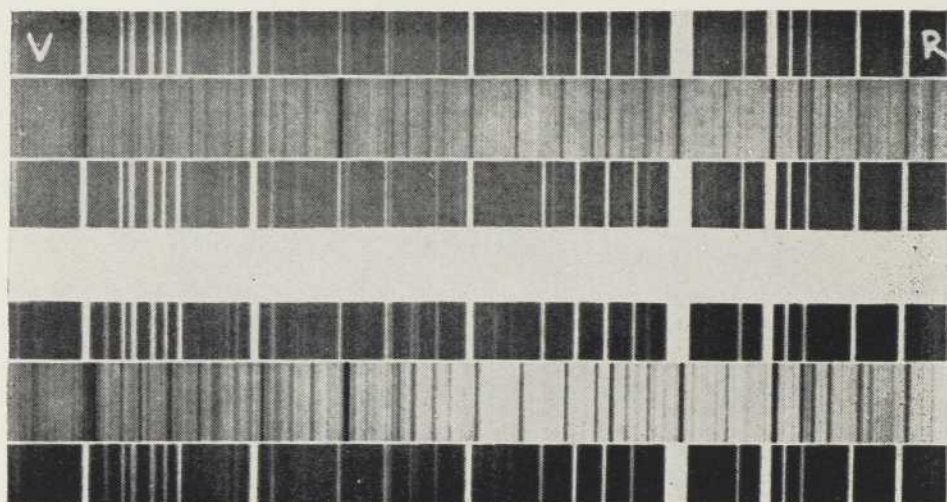


FIG. 155. LE SPECTRE DE μ D'ORION.

La position des raies sombres de l'étoile peut être déterminée par comparaison avec les raies brillantes de la vapeur de titane. On remarque, sur le second spectre de l'étoile, que les raies sombres sont déplacées vers la droite, par rapport aux positions qu'elles occupent sur le premier spectre. Cela est dû au mouvement (éloignement cette fois) d'un des corps formant le couple; le deuxième corps n'émet pas suffisamment de lumière pour révéler sa présence.

Photographies de l'observatoire Yerkes.

du spectre de μ d'Orion, une étoile de 4^e magnitude, située à environ 3° au nord-est de Bételgeuse (voir fig. 175). Le spectre de cette étoile est la bande centrale traversée de raies sombres. Les raies brillantes et plus courtes de chaque côté du spectre sont celles de la vapeur de titane et servent de point de repère dans l'identification des raies sombres.

En comparant les deux photographies, on remarque dans celle du bas un déplacement très net des raies sombres vers la droite. Cela est dû au mouvement de l'étoile visible. Comme les déplacements à droite et à gauche varient suivant un cycle de 4,4 jours, nous en concluons que telle est la période de révolution de deux soleils autour de leur centre de gravité; l'un

d'eux est brillant, mais l'autre est trop faible pour laisser des traces de sa présence sur le spectre.

Une double-double

Une autre étoile intéressante à étudier est ϵ de la Lyre. La minuscule constellation de la Lyre est très haute dans le ciel, les soirs d'été. Installons-nous confortablement et examinons-la. Voici le parallélogramme et le triangle qui forment ce groupe. La brillante Véga, α , est à l'un des sommets du triangle; ϵ et ζ occupent les deux autres.

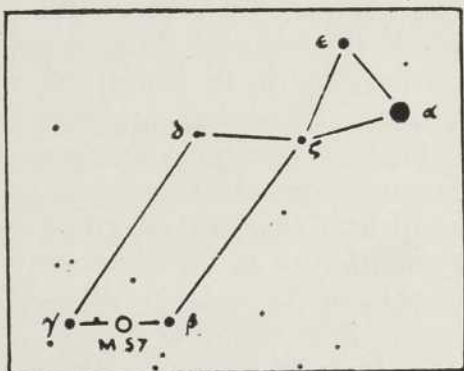


FIG. 156. LES PRINCIPALES ÉTOILES DE LA LYRE.

Le nord est à la partie supérieure, l'est à gauche. La nébuleuse annulaire est entre β et γ .

Examinons attentivement ϵ . Plusieurs ne voient qu'une seule étoile, mais une bonne vue permet d'en distinguer deux—d'ailleurs très rapprochées. Une jumelle les sépare aisément. La distance angulaire des deux composantes est de $207''$, ce qui montre l'infime petitesse d'une seconde d'arc.

Maintenant, observons-la avec une bonne lunette de trois pouces ou plus. Nous constatons que chacune des compo-

santes est elle-même double: en d'autres termes, l'étoile est une double-double. Les quatre étoiles sont disposées comme la figure 157 l'indique.

Il est fort possible que certaines de ces quatre composantes soient elles-mêmes doubles.

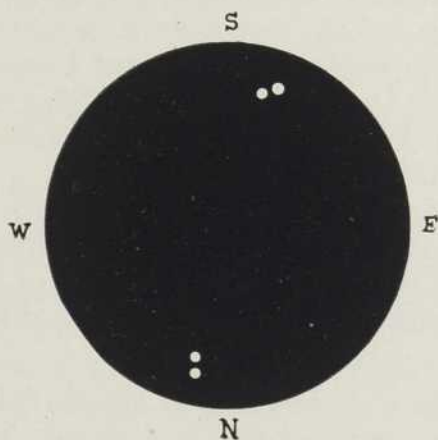


FIG. 157. ϵ DE LA LYRE VUE AU TÉLESCOPE.

L'image est renversée. Les étoiles du couple supérieur sont séparées de $2,5''$; celles du bas de $3,2''$.

alors (1779) que William Herschel entreprit, avec les grands télescopes qu'il venait de construire, la recherche systématique des étoiles doubles.

L'œuvre capitale à laquelle il se destinait était l'exploration de notre système stellaire. Il lui fallait donc à tout prix trouver

La découverte des étoiles doubles

Le remarquable objet qu'est Mizar, déjà étudié, fut identifié comme double en 1650. Pendant le siècle qui a suivi, la duplicité de α Gémeaux, Castor, de α Centaure et de quelques autres a été découverte par hasard. C'est

la vraie distance des étoiles. Si deux étoiles paraissaient très près l'une de l'autre dans le ciel, c'était, pensait-il, parce qu'elles se trouvaient par hasard toutes les deux à peu près sur la même ligne de vision pour l'observateur terrestre, l'une proche et l'autre bien loin dans l'espace.

Pour vous aider à comprendre ce qui suit, essayez la petite expérience que voici. Placez une chandelle sur une table à dix pieds de vous et demandez à quelqu'un d'en mettre une autre en arrière de la première, mais à vingt ou trente pieds de distance. Observez maintenant avec un seul œil: les deux vous semblent très près l'une de l'autre, mais dès que vous faites un mouvement de la tête à gauche et à droite, les deux lumières semblent alternativement se séparer et se rapprocher. Herschel pensait que si on observait une étoile double, lorsque la Terre occupe différents points de son orbite (voir fig. 122, p. 165), la distance apparente entre les deux composantes augmenterait ou diminuerait, ce qui permettrait d'apprécier la distance de l'étoile la plus proche.

Aussi Herschel entreprit-il avec enthousiasme ses mesures de distances angulaires sur des couples très serrés. Il n'a pu observer les variations auxquelles il s'attendait, mais il découvrit un fait important. La distance qui sépare les étoiles doubles qu'il surveillait ne changeait pas appréciablement au cours de l'année; mais en poursuivant ses observations un bon nombre d'années, il put noter dans certains cas une altération sensible dans la distance, aussi bien que dans la direction, d'une des composantes par rapport à l'autre. Les variations notées étaient un indice sûr que les étoiles en question tournaient l'une autour de l'autre—c'est-à-dire qu'elles formaient un «système» de deux corps retenus ensemble par les forces de gravitation. Il appela étoile *binaire* un tel système.

Certains astronomes consacrent une grande partie de leur temps à l'observation des étoiles doubles, et à l'heure actuelle plus de 20 000 sont cataloguées. Ce n'est qu'après une longue série d'observations qu'on saura combien de ces étoiles sont des binaires.

Photographie d'étoiles doubles

Les composantes d'une étoile binaire sont, dans certains cas, photographiées nettement séparées. Tel est celui de la binaire Krüger 60, déjà mentionnée. La figure 158 montre trois photographies de cette étoile de Céphée, comprenant également une étoile voisine de cette même constellation.

Grâce à de nombreuses mesures de distances et d'angles de position, on est parvenu à dessiner l'orbite apparente de la composante la plus faible autour de la plus brillante (voir fig. 159). La période est de 44,3 années. La distance de ce

couple au système solaire est de 12,6 années-lumière. L'orbite réelle dans l'espace, de l'étoile la plus faible autour de la plus brillante, a été calculée, ce qui a rendu possible l'évaluation de la masse des deux étoiles. Chacune d'elles possède une masse d'environ un cinquième de celle du Soleil; c'est la plus faible masse stellaire qu'on connaisse encore.

Sirius et Procyon

Dès 1834, au cours de ses travaux sur le mouvement propre de Sirius, l'astronome Bessel s'aperçut que ce gigantesque soleil, dans son mouvement à travers l'espace, ne progressait pas suivant une ligne droite, mais oscillait de part et d'autre. Quel-



FIG. 158. TROIS PHOTOGRAPHIES DE L'ÉTOILE BINAIRE KRÜGER 60.

Les composantes de l'étoile double sont à l'angle supérieur gauche; la troisième étoile appartient à la même constellation. Voici la distance et l'angle de position pour les dates mentionnées:

1908,	distance 3,2'',	angle de position 104°
1915,	" 2,5'',	" " " 70°
1920,	" 1,8'',	" " " 26°

Les étoiles formant ce couple ne sont pas très brillantes. Magnitudes 9 et 11.

Photo: Barnard, à l'observatoire Yerkes.

ques années plus tard, il suspectait Procyon d'en faire autant. Quelle était la cause de ces anomalies? Bessel proposa comme explication que chacun de ces soleils était associé à un compagnon, trop faible pour être vu, mais assez massif pour influencer fortement la marche de l'astre primaire, ou principal, pendant la révolution des deux corps l'un autour de l'autre. Des observations subséquentes permirent de calculer l'orbite du compagnon relative à l'étoile principale de Sirius, et la période de révolution fut estimée à cinquante années. À partir de ces données, on obtint la distance et la direction du compagnon pour quelques années à l'avance.

En janvier 1862, Alvan G. Clark, célèbre opticien américain, procédait à l'essai d'un nouvel objectif de 18½ pouces de diamètre, le plus grand du temps. La lentille fut montée à l'extrémité d'un long tube et dirigée sur Sirius. Lorsque George Clark, son fils, mit l'œil à l'oculaire, à l'autre bout du tube,

il s'écria: «Regardez, père, Sirius a un compagnon!» C'était bien le compagnon, à la place qu'on lui avait assignée, et, le plus curieux de toute l'affaire, c'est que ni l'un ni l'autre des deux observateurs n'était au courant des prédictions faites à ce sujet. Depuis cette découverte, les deux étoiles ont effectué une révo-

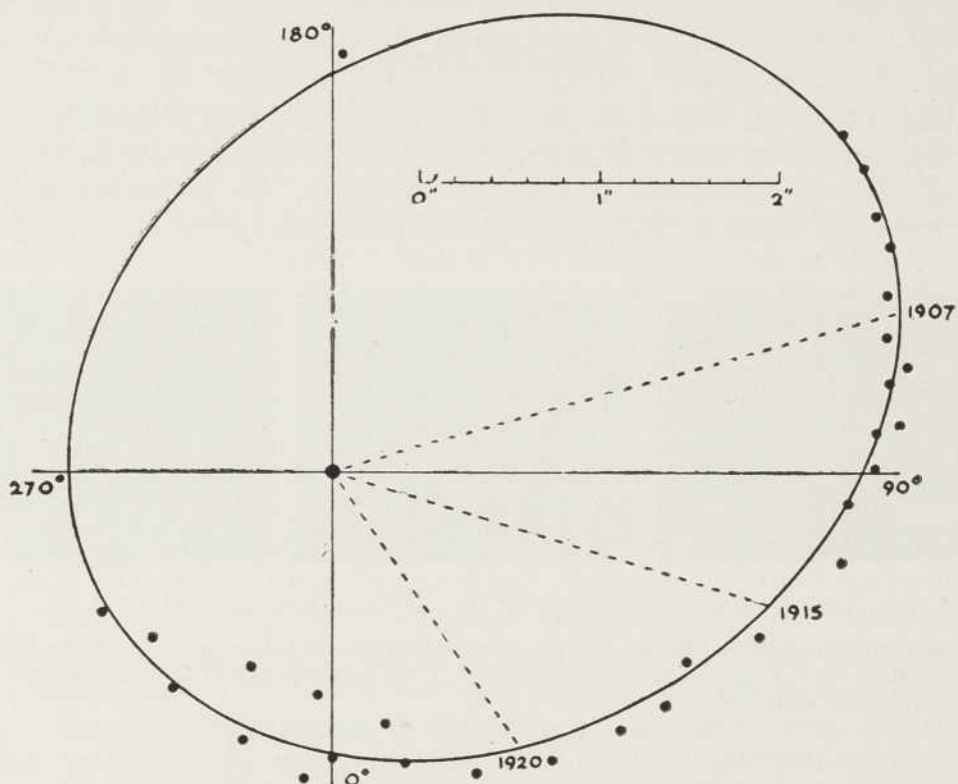


FIG. 159. L'ORBITE APPARENTE DU COMPAGNON AUTOUR DE L'ÉTOILE PRINCIPALE, DANS LA BINAIRE KRÜGER 60.

Cette courbe est tracée d'après les distances et les angles de position donnés par Aitken dans son *New General Catalogue of Double Stars*.

Dessin de Ruth J. Northcott.

lution complète et l'orbite est bien déterminée. (Voir la forme de cette orbite, fig. 160).

Le compagnon de Sirius a acquis une certaine notoriété en ces dernières années. Il est peu volumineux mais extrêmement lourd, et par conséquent très dense. On a de bonnes raisons de croire que la matière dont il se compose est d'au moins 30 000 fois plus dense que l'eau; en d'autres termes, un pouce cube de sa substance pèserait plus d'une demi-tonne.

Dans le cas de Procyon, le compagnon ne fut pas observé visuellement avant 1896, année de sa découverte à l'observatoire Lick, en Californie. Son éclat est très faible et sa période de quarante ans environ.

La brillante α du Centaure—dans l'hémisphère sud—dont

nous avons déjà parlé souvent, fut très tôt reconnue comme binaire. Elle est composée de deux corps brillants. L'orbite du moins lumineux autour de l'étoile primaire est légèrement plus grande que l'orbite d'Uranus autour de notre Soleil; toutefois, son excentricité est plus forte. La faible étoile Proxima Centauri (voir page 183), quoique à plus de 2° d'Alpha,

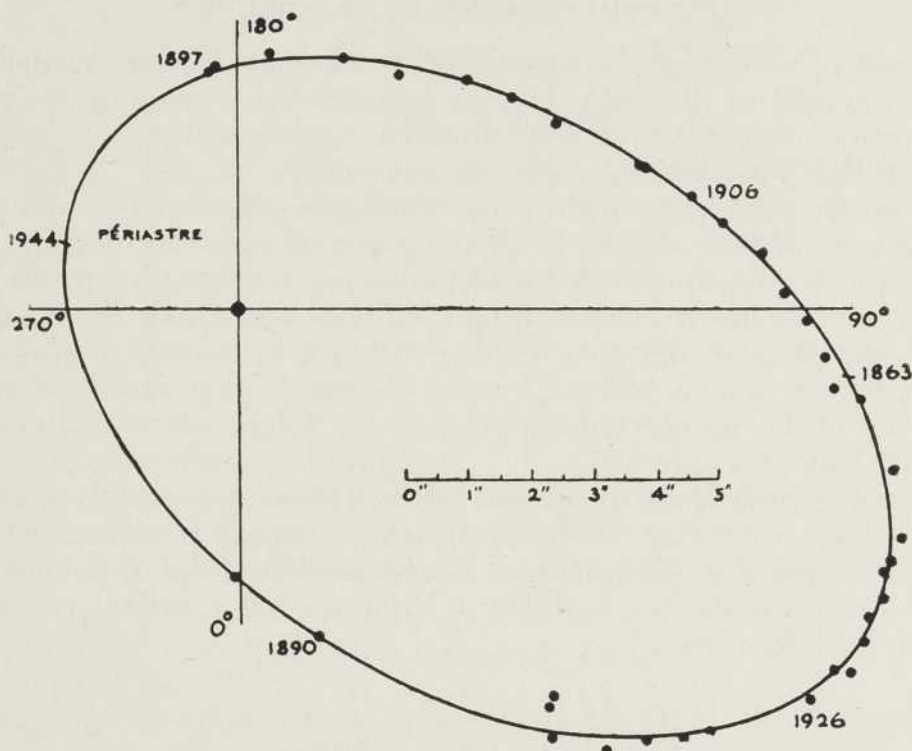


FIG. 160. L'ORBITE DE SIRIUS.

Cette ellipse est l'orbite apparente du compagnon par rapport à l'étoile principale, Sirius. Les étoiles se trouvaient à leur distance minimum l'une de l'autre (périastre) en 1944. Un an ou deux avant et après cette date, le compagnon est resté invisible, surtout à cause du grand éclat de l'étoile principale. L'orbite a été tracée d'après les données parues dans le *New General Catalogue of Double Stars*, d'Aitken.

Dessin de Ruth J. Northcott.

est un autre membre de ce système. Sa période de révolution autour d'Alpha est de plus de 300 000 années.

L'Astronomie de l'Invisible

L'étude de Sirius et de Procyon ouvrit la voie à des recherches sur l'existence des corps invisibles, qui révèlent leur présence par leur seule action sur d'autres corps célestes. La découverte de la planète Neptune, en 1846, est un autre exemple de ce qu'on appelle «l'astronomie de l'invisible». On a longtemps cherché la trace de la planète Pluton, mais sa découverte ne fut pas due uniquement à des prédictions. Il

y eut un élément de hasard qui s'est ajouté à de patientes et minutieuses recherches par photographie. Les nombreuses binaires spectroscopiques et les variables à éclipses (comme Algol) démontrent aussi l'existence de ces corps qu'il faut se résigner à ne jamais voir.

Que nous apprennent les binaires ?

Quand l'astronome a supputé l'orbite d'une binaire visuelle et qu'il connaît sa distance, il peut calculer les masses de ses composantes. L'orbite d'une binaire spectroscopique permet également d'estimer la masse de deux corps.

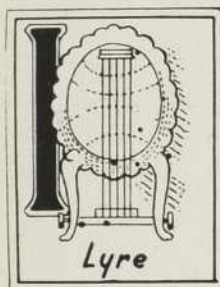
Il est du plus haut intérêt que les masses des étoiles soient apparues du même ordre de grandeur que celle du Soleil. On ne connaît aucune étoile dont la masse soit inférieure au cinquième de celle de notre Soleil et très peu dont la masse la surpasse plus de dix fois. Par contre, il existe des étoiles d'un éclat 10 000 fois supérieur à celui du Soleil—*i.e.* si elles étaient placées à la même distance que le Soleil, elles brilleraient 10 000 fois plus que lui.

Les binaires nous prouvent qu'il existe des étoiles éteintes aussi bien que des étoiles brillantes. Quand vous regardez le ciel, pensez à ces myriades de corps sans éclat qui viennent s'ajouter aux étoiles visibles à l'œil nu et à celles que nous révèle le télescope.

CHAPITRE XV

NOTRE SYSTÈME STELLAIRE—AMAS D'ÉTOILES

Définition de notre Système Stellaire



L n'est pas facile de définir exactement ce qu'est notre système stellaire. Disons que c'est cette portion de l'univers dont notre Soleil et nous-mêmes faisons partie; on peut encore se le représenter comme l'ensemble des étoiles visibles, y compris tous les corps célestes qui leur sont associés. La plupart de ces objets célestes sont contenus dans la Voie Lactée, aussi appelée la Galaxie; c'est pourquoi on dit souvent que notre système stellaire est le système galactique.

L'idée que nous nous faisons du système stellaire est celle d'un tout bien distinct; il est du plus haut intérêt et de la plus grande importance de savoir ce qu'il renferme exactement.

La structure de la Voie Lactée

Nous avons déjà décrit brièvement la Voie Lactée; examinons-la maintenant de plus près. Comme nous l'avons vu, elle contient des millions de soleils individuels, et le spectroscope nous en révèle l'infinie variété. Ils diffèrent énormément en grandeur, en densité, en luminosité—c'est-à-dire en capacité d'émettre de la lumière—ainsi que par la température et les conditions physiques de leur atmosphère. Seule leur masse ne varie pas entre d'aussi grandes limites, comme nous l'avons vu au chapitre précédent.

Les étoiles sont des corps simples, ou des systèmes composés de deux ou plusieurs soleils en révolution les uns autour des autres. Il n'est pas impossible qu'elles possèdent des planètes, avec satellites, mais ici l'observation ne peut nous fournir aucune preuve. Il y a probablement aussi des comètes qui rendent visite à ces soleils, et des météorites errant dans les espaces voisins.

Amas d'Étoiles

On trouve dans le ciel de petites agglomérations d'étoiles, appelées amas, bien différentes des immenses nuages d'étoiles

de la Voie Lactée (voir fig. 114, 115 et 116). On distingue deux types d'amas : les amas ouverts et les amas globulaires.

Le voyageur, qui survole notre globe en avion, n'observe pas partout la même densité de population. Il aperçoit des étendues considérables où pour ainsi dire les hommes fourmillent à la surface du sol ; ailleurs, en des régions non moins étendues, c'est à peine s'il remarque un habitant ici et là — en tout cas, très peu au mille carré. Entre ces extrêmes, on voit encore des agglomérations, des petits villages peu peuplés, mais d'étendues relativement vastes, et ces villes où les citoyens vivent côte à côte, entre d'étroites limites.

La distribution des étoiles dans le ciel ressemble beaucoup à celle des habitants sur la Terre. La Voie Lactée est constituée de nuages d'étoiles couvrant des étendues considérables et renfermant des myriades de soleils, tandis qu'ailleurs, on peut découvrir des régions où l'œil aperçoit à peine quelques étoiles, par exemple, une seule par degré carré. Les amas ouverts rappellent nos villages et nos petites villes ; les amas globulaires, nos grandes villes où les habitants vivent entassés les uns sur les autres.

Les amas ouverts

Deux des amas ouverts les plus connus sont les Pléiades et les Hyades. Tous les deux sont situés dans la constellation

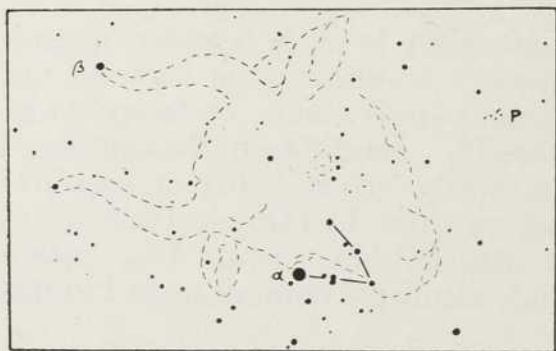


FIG. 161. UNE PARTIE DU TAUREAU, MONTRANT LES HYADES ET LES PLÉIADES.

La rutilante Aldébaran est l'œil droit du Taureau ; elle est la dernière étoile à l'extrémité du groupe en forme de V, appelé les Hyades. Les Pléiades, en P, marquent le cou de l'animal.

Pléiades. Ce groupe est fameux depuis les temps anciens. Les auteurs grecs, romains et orientaux en parlent. Les indigènes de pays aussi éloignés les uns des autres que l'Australie, le Pérou, l'Amérique du Nord, etc., avaient l'habitude de régler leurs cérémonies religieuses sur la date à laquelle ce groupe passait au méridien à minuit.

du Taureau, figure 161 ; ce sont des objets bien familiers aux observateurs du ciel, en automne et en hiver.

La figure 162 est une splendide photographie contenant les deux groupes et les étoiles environnantes, beaucoup plus faibles. Avec un peu d'attention, on remarque la forme en V des Hyades et la « casse-roule » des Pléiades.

La figure 163 est une photographie agrandie des

Combien d'étoiles renferment les Pléiades ?

Un œil normal peut compter six étoiles dans les Pléiades, bien que les Anciens parlent toujours de sept. Qu'est-il advenu de la septième ? On a conservé plusieurs légendes sur la Pléiade perdue, mais la science n'a jamais expliqué la disparition d'aucune étoile. Prises séparément, les étoiles des



FIG. 162. UNE PHOTOGRAPHIE DE LA RÉGION DES HYADES ET DES PLÉIADES.

On reconnaît facilement sur le cliché les deux groupes, et plusieurs autres étoiles de faible éclat. L'étoile Aldébaran, dans les Hyades, est très brillante à l'œil nu, mais à cause de sa couleur décidément rouge, son image photographique n'est pas aussi en évidence qu'elle devrait.

Photographie de l'observatoire de Harvard.

Pléiades sont plutôt faibles, mais le groupe ne manque pas d'attirer l'attention. L'étoile la plus brillante se trouve au point d'attache de la poignée de la casserole et se nomme Alcyone. L'étoile la plus rapprochée d'Alcyone au fond de la casserole est Mérope. Les autres portent de jolis noms comme Atlas, Pléïone, Électra, Celæno, Maïa, Taygète et Astérope.

Une vue parfaite permet d'apercevoir les neuf étoiles dont nous venons de donner les noms, et ceci nous amène à la ques-

tion suivante: Combien y a-t-il d'étoiles dans cet amas? Un grand télescope ou une photographie révèle environ 2300 étoiles dans cette région. Sont-elles toutes membres du même groupe? Si cet amas constitue une famille de soleils dont les membres

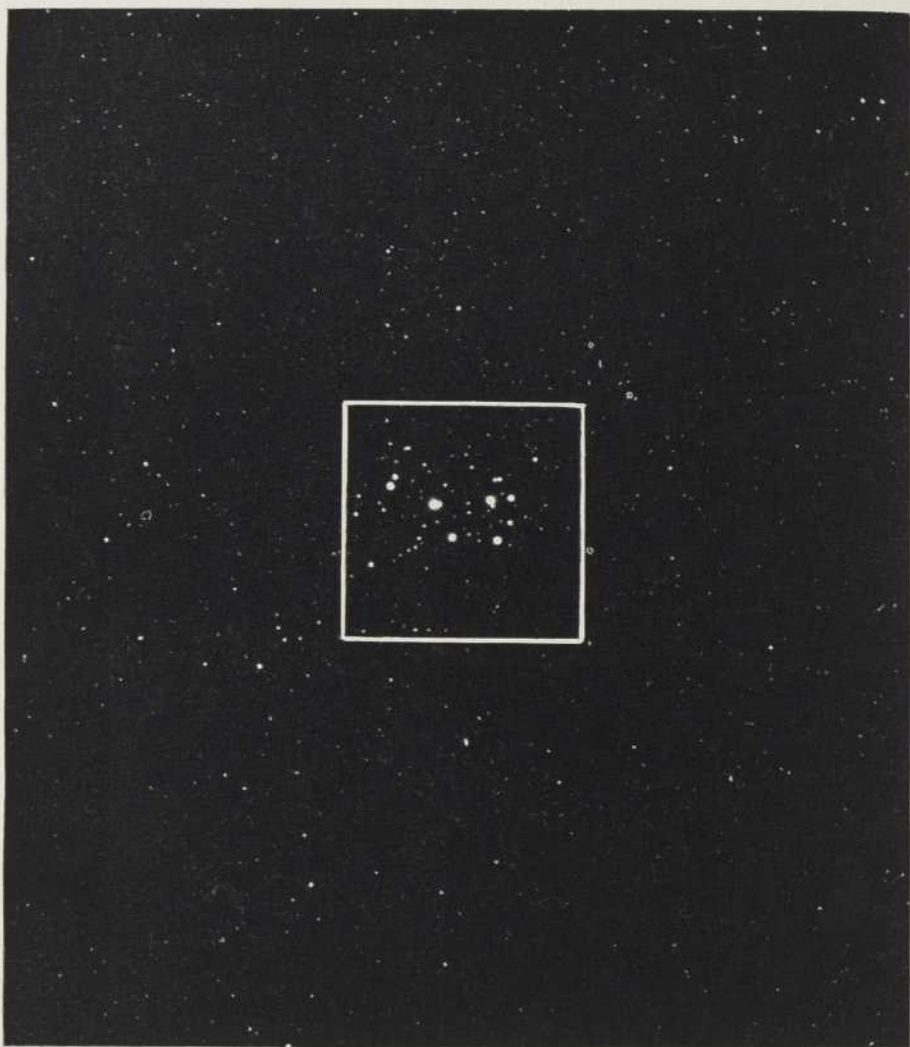


FIG. 163. LES PLÉIADES—UN AMAS OUVERT.

Par une nuit sombre, on compte facilement six étoiles. Un télescope de 3 pouces nous en révèle près de cent et la plaque photographique en enregistre beaucoup plus encore. L'étoile la plus brillante se nomme Alcyone. Le groupe est à environ 500 années-lumière de distance. Cette photographie montre les étoiles jusqu'à la treizième magnitude. La partie encadrée est reproduite à la figure 178.

Photo: Wallace, à l'observatoire Yerkes.

sont intimement liés entre eux, ils voyagent à travers l'espace dans la même direction générale et à la même vitesse. Or, on a trouvé dans cet amas de 300 à 500 étoiles qui se comportaient ainsi et qui sont, par conséquent, associées.

Le spectrographe a servi à l'étude des Pléiades. La figure 164

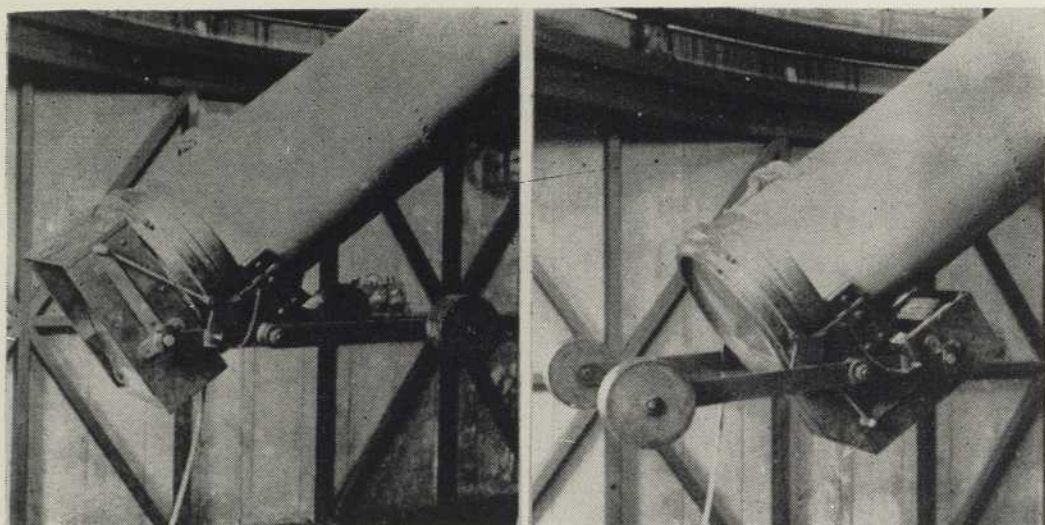


FIG. 164. UNE LUNETTE MUNIE D'UN PRISME-OBJECTIF.

À gauche, on voit le prisme devant l'objectif; à droite, le prisme est retiré sur le côté du tube et la lunette peut servir à son usage ordinaire. C'est la lunette Draper de 11 pouces, de l'observatoire de Harvard.

Photographies de l'observatoire de Harvard.

montre un télescope muni d'un prisme qui peut s'adapter à l'objectif (figure de gauche). En dirigeant vers les Pléiades l'objectif du télescope seul, sans le prisme (figure de droite), on obtient la photographie de la figure 163; avec le prisme installé en avant de l'objectif, on obtient les spectres des principales étoiles (voir fig. 165).

Cette photographie montre que ces étoiles sont toutes du même type (classe B, voir fig. 134). Les raies sombres révèlent beaucoup d'hydrogène dans l'atmosphère de ces étoiles. On admet donc que les Pléiades sont

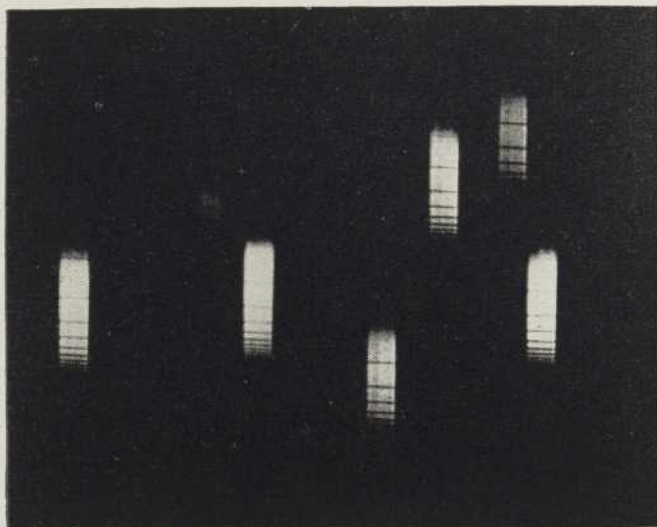


FIG. 165. SPECTRES DES PLUS BRILLANTES PLÉIADES.

Ces spectres provenant d'un prisme-objectif sont tous du même type, ce qui laisse supposer que les Pléiades forment réellement une même famille d'étoiles.

Photographies de l'observatoire Yerkes.

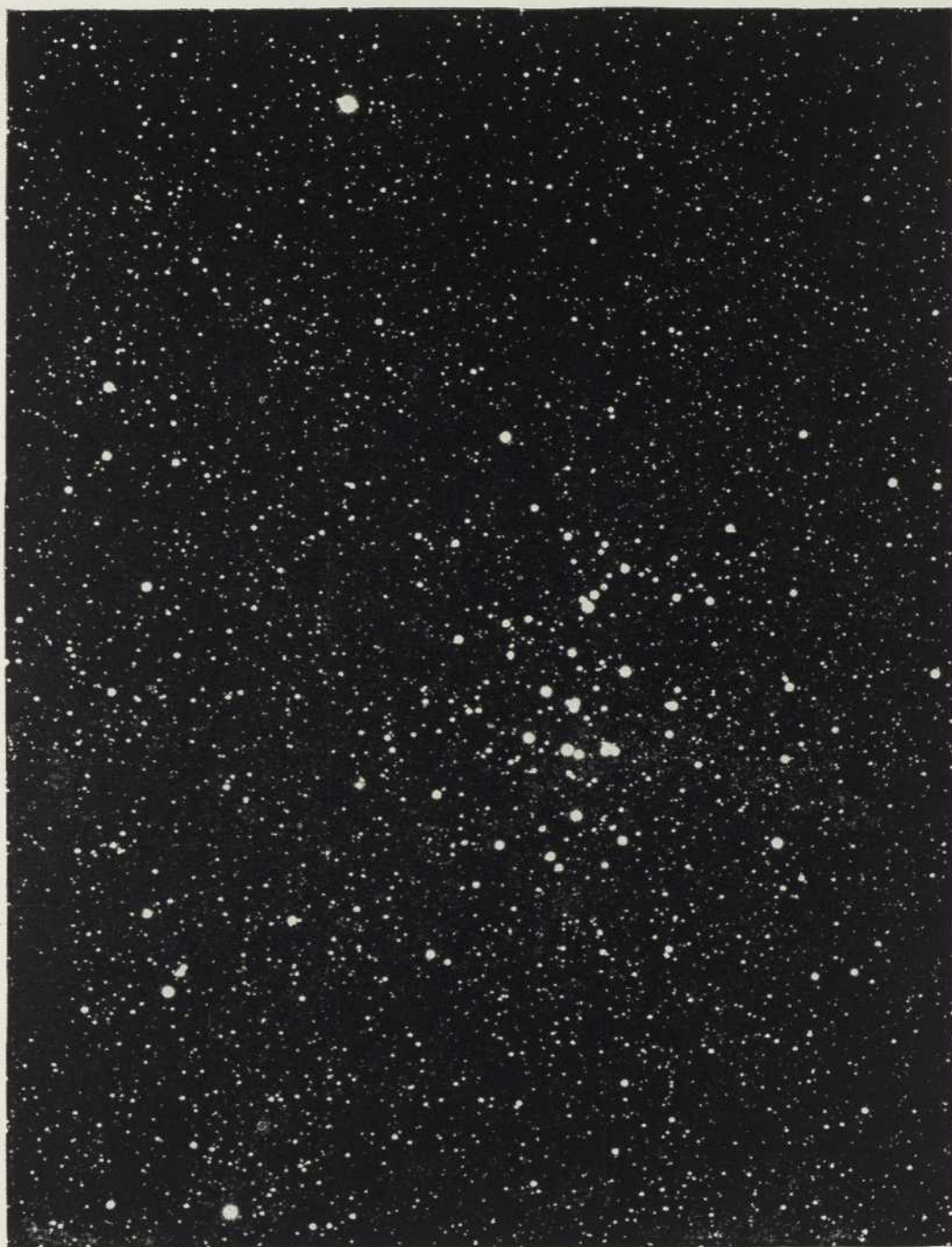


FIG. 166. PRÆSEPE (LA RUCHE D'ABEILLES).

Dans cet amas de la constellation du Cancer, les étoiles sont plus près les unes des autres que dans les Pléiades; ce sont probablement des soleils isolés, dans un espace à peu près dépourvu de matières nébuleuses.

Photo: Barnard, à l'observatoire Yerkes.

toutes de la même famille. Les spectres des étoiles moins brillantes ont aussi été étudiés. Ils sont d'un type plus évo-

lué, mais correspondent bien à la relation générale qui existe entre la classe spectrale et la magnitude absolue d'une étoile.

La distance des Pléiades a été mesurée: elle est d'environ 500 années-lumière. De cette valeur, on déduit qu'Alcyone émet 1000 fois plus de lumière que notre Soleil.

Les Hyades, Praesepe et autres amas

L'amas des Hyades est aussi mentionné dans les auteurs grecs et latins, de même que dans la Bible. L'étoile la plus remar-



FIG. 167. L'AMAS DOUBLE DE LA CONSTELLATION DE PERSÉE.

Ces deux amas, situés dans la Voie Lactée, sont beaucoup plus fournis en étoiles que les amas ouverts ordinaires. Ils sont des objets du plus grand intérêt dans un petit télescope. Cette photographie a été prise à la station de l'observatoire de Paris, en Haute-Provence.

Photo: de Kérolyr, à Forcalquier.

quable de ce groupe, dont les principales forment un V, est Aldébaran. Détail assez curieux, cette étoile ne fait pas partie de l'amas proprement dit. Son mouvement dans l'espace n'est pas celui des autres et sa distance est beaucoup moins grande. On a trouvé qu'elle évoluait à 57 années-lumière, tandis que l'amas lui-même se trouve à 120 années-lumière. Le groupe des Hyades est le plus rapproché de tous les amas ouverts.

L'amas Praesepe dans le Cancer (fig. 166) est facilement visible à l'œil nu, mais on ne distingue pas les étoiles individuelles. Pour en venir là, il faut s'aider d'un petit télescope. Sa distance est d'environ 500 années-lumière.

Il y a encore le bel amas double dans la constellation de Persée (fig. 167). Il faut l'observer de préférence dans un instrument de faible puissance, qui ne révèle toutefois pas le magnifique encadrement de cet amas, situé dans une section relativement peu dense de la Voie Lactée.

On a étudié plus de trois cents amas ouverts, dont on a réussi à évaluer la distance. Ils diffèrent beaucoup par le nombre d'étoiles qu'ils renferment—ce nombre est considérable dans certains cas et tout à fait modeste dans d'autres—mais on s'est rendu compte que la plupart étaient situés dans la Voie Lactée ou tout près. On admet donc qu'ils font partie de notre système stellaire. L'amas ouvert le plus éloigné qu'on ait découvert est distant de 20 000 années-lumière. Il est situé dans la Carène, à quelque 29° du pôle céleste austral.

Les tentatives qui ont été faites pour déterminer la distance de certaines condensations d'étoiles dans la Voie Lactée ont donné les résultats suivants: nuage du Cygne, 8500 années-lumière; celui de l'Écu de Sobieski, dans la constellation de l'Aigle (fig. 115), 9000 années-lumière.

Amas globulaires

L'aspect des amas globulaires diffère passablement de celui des amas ouverts. Ceux-ci sont comme les villages dispersés du domaine céleste; ceux-là comme nos cités modernes avec leurs habitants serrés les uns sur les autres.

Les amas globulaires ont une forme remarquablement régulière (voir le frontispice et les fig. 169 et 170). L'examen de photographies à longue pose révèle la présence de milliers d'étoiles réunies en un immense globe où jouent les forces de gravitation.

Le plus bel amas globulaire observable dans l'hémisphère nord fait partie de la constellation d'Hercule, et passe au zénith au début de la soirée, en été. Il est situé sur un des côtés de la «clef de voûte» d'Hercule,

constellation qui se trouve presque à mi-chemin entre Véga, à l'est, et Arcturus, à l'ouest (voir fig. 168). Lorsque les conditions atmosphériques sont bonnes, on peut le distinguer à l'œil nu, et un télescope de faible puissance montre une petite tache laiteuse. Sur les clichés ordinaires son diamètre est environ le tiers de celui de la Lune, mais ses limites sont difficiles à préciser. Plus le temps de pose est long, plus la région qu'il semble couvrir s'élargit.

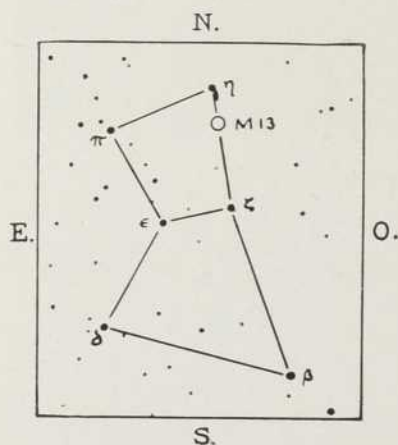


FIG. 168. DIAGRAMME MONTRANT LA POSITION DU GRAND AMAS D'HERCULE.

Une photographie de cet amas est montrée en figure 169. On y distingue les étoiles individuelles occupant le centre de l'amas. Le plus bel amas globulaire se trouve dans le Centaure, cons-

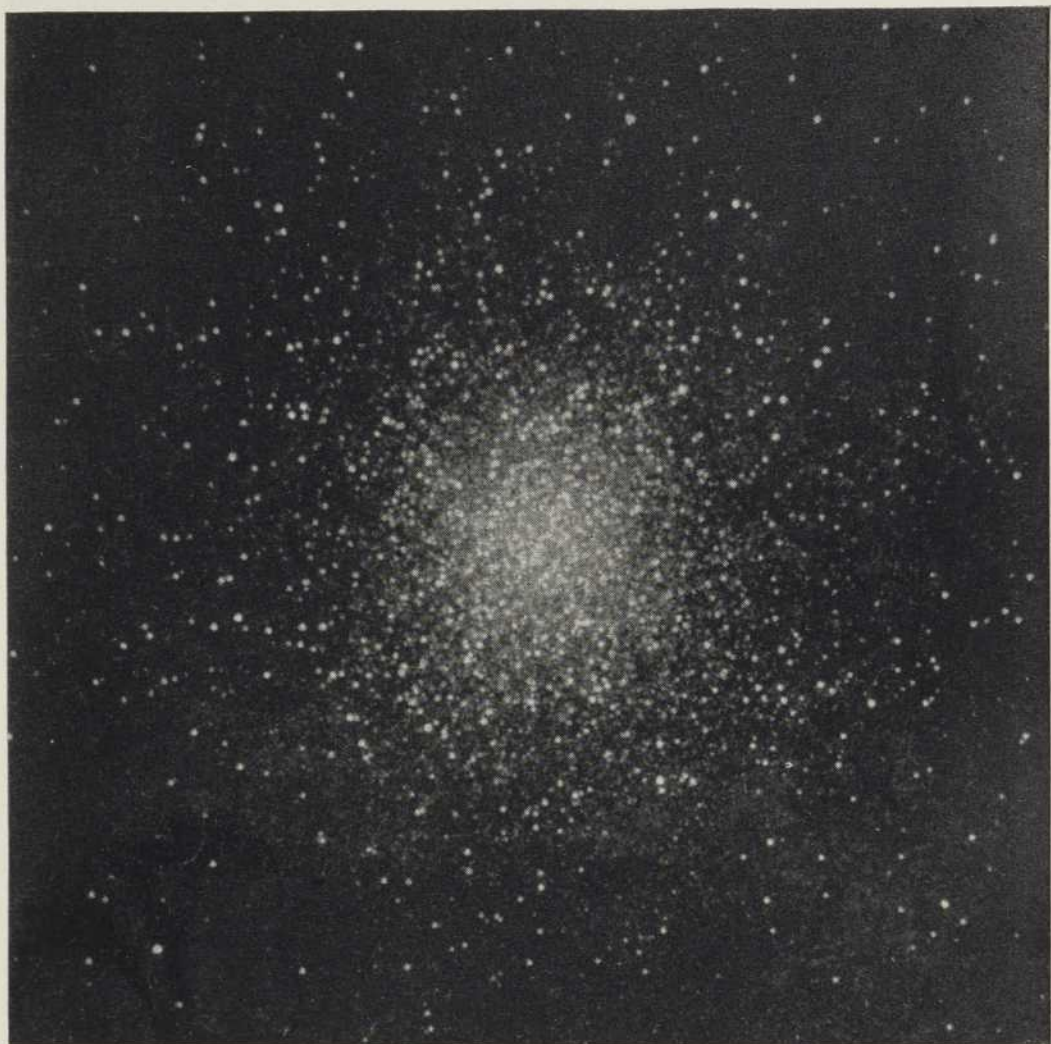


FIG. 169. LE GRAND AMAS D'HERCULE.

Ici, on dirait que les étoiles se sont agglomérées en une sphère immense. Elles sont toutes très faibles, ce qui n'a pas empêché la photographie d'enregistrer quelques individus séparément. Plusieurs étoiles, moins brillantes encore, sont à peine visibles à l'arrière plan. Les amas de ce genre sont à des distances énormes, variant de 22 000 à 225 000 années-lumière. Cette photographie a été prise avec le télescope de 72 pouces de l'observatoire du Canada pour l'Astrophysique, en Colombie Britannique. Temps de pose: 1 heure.

Photo: Plaskett, à Victoria, Colombie Britannique.

tellation de l'hémisphère sud (voir fig. 116); la figure 170 en est une splendide reproduction.

Tous les amas globulaires sont construits sur le même modèle. La figure 171 est une photographie de l'amas M. 22, dans le

Sagittaire; elle fut prise à Tucson, dans l'Arizona; la figure 172 représente l'amas connu sous le nom de 47 du Toucan, qui ap-



FIG. 170. L'AMAS GLOBULAIRE OMÉGA DU CENTAURE.

C'est le plus magnifique amas dans tout le ciel. Cette photographie a été prise au foyer du télescope de 60 pouces de la succursale de l'observatoire de Harvard, à Bloemfontein, Afrique du Sud. Temps de pose: 1 h. 30 m. Les étoiles individuelles sont bien visibles au centre; leur nombre est considérable.

Photographie de l'observatoire de Harvard.

paraît aussi sur la photographie de la Petite Nuée de Magellan reproduite à la figure 200. Quelques-uns sont plus petits et

plus faibles que les autres. Si ces amas se ressemblent tous quant au reste, l'astronome sait quand même les distinguer par quelque trait particulier, tout comme il est possible d'identifier deux jumeaux. On connaît environ 100 amas globulaires.



FIG. 171. L'AMAS GLOBULAIRE M. 22, DANS LE SAGITTAIRE.

C'est un des amas les plus rapprochés et les plus riches. La plaque photographique n'a été exposée que dix minutes, pourtant elle a enregistré plus de mille étoiles appartenant à l'amas. On a compté au delà de 25 000 étoiles sur une plaque à longue pose. Photographie prise avec le télescope de 30 pouces de l'observatoire Steward, à Tucson, Arizona.

Photo: Helen S. Hogg.

Quelle est leur distance ?

Dans plusieurs amas globulaires, on a découvert des variables céphéides du type classique, et aussi du type d'amas. Connaissant la période de ces variables, on a pu évaluer la distance des amas. Les deux photographies de la figure 141, qui sont celles de l'amas M. 14 (N.G.C. 6402), dans Ophiuchus, ont servi à une telle mesure. On prend de nombreuses photographies du même amas, sans trop prolonger la pose, de manière

à distinguer les étoiles individuelles sous un microscope de faible puissance. On compare alors l'éclat d'une même étoile à des dates différentes, ce qui permet de tracer sa courbe de lumière



FIG. 172. L'AMAS GLOBULAIRE 47 DU TOUCAN.

Cette photographie fut prise à la succursale de l'observatoire de Harvard, à Bloemfontein, en Afrique du Sud, avec le réflecteur de 60 pouces. Temps de pose: 1 h. 30 m. À comparer avec les figures 169, 170 et 171. Les amas sont tout à fait semblables.

Photographie de l'observatoire de Harvard.

et finalement d'en calculer la distance. Les détails de la méthode sont cependant trop techniques pour être exposés ici.

Les distances trouvées sont considérables. Deux amas du ciel austral, ω du Centaure et 47 du Toucan, sont à environ 22 000 années-lumière. Le grand amas d'Hercule est situé à près de 34 000 années-lumière. L'amas le plus éloigné est à environ 225 000 années-lumière. Il est possible toutefois que ces distances aient été estimées trop grandes. On a dé-

couvert récemment un milieu très ténu qui absorbe une certaine quantité de lumière venant de ces espaces lointains. Mais on n'a pas appliqué de correction pour cela dans la méthode de calcul des distances. Même si les valeurs devaient être réduites de moitié, ce qui est exagéré, les distances resteraient encore énormes.

Combien y a-t-il d'étoiles dans un amas ?

Un coup d'œil sur une photographie d'amas globulaires suffit pour nous convaincre que le décompte des unités stellaires qui s'y trouvent n'est pas une tâche facile. Si le temps de pose est assez court pour enregistrer les étoiles individuelles au centre (fig. 169 et 170), beaucoup de celles qui sont sur la périphérie n'apparaissent pas, et si on prolonge la pose afin d'enregistrer ces dernières (voir le frontispice et la fig. 172), les étoiles du centre empiètent les unes sur les autres et ne peuvent plus être séparées.

On a toutefois essayé d'évaluer, au moins approximativement, le nombre d'étoiles contenues dans l'amas d'Hercule. On a tiré deux rayons à partir du centre de l'amas et on a compté le nombre des étoiles comprises dans ce secteur. L'angle entre les deux rayons étant connu, il était facile de calculer le nombre d'étoiles contenu dans le cercle entier. On a estimé ainsi que cet amas renfermait quelque 50 000 étoiles, chacune étant un soleil, et que la distance qui sépare deux soleils voisins était probablement de un million de millions de milles.

En outre, comme nous l'avons déjà fait remarquer, les amas sont tous semblables dans leur structure et à peu près de mêmes dimensions réelles. S'il y en a qui paraissent plus petits, c'est qu'ils sont plus loin. Il est difficile de concevoir de si prodigieuses agglomérations de soleils. Selon toute évidence, ces amas sont animés d'un mouvement de rotation autour d'un axe, puisqu'ils paraissent légèrement aplatis—ce sont des sphéroïdes aplatis et non pas des sphères parfaites.

Les amas globulaires font-ils partie de notre système stellaire ?

Si l'on marque la place des amas globulaires sur une sphère céleste, on constate qu'au moins le tiers sont situés dans le voisinage du grand nuage d'étoiles du Sagittaire, de part et d'autre d'une fissure sombre de la Voie Lactée. Il est fort probable qu'il se trouve quelques amas derrière cette nuée obscure qui les dérobe à notre vue. Tous les amas connus sont situés dans une même moitié du ciel, celle où se trouve le grand nuage stellaire.

On a déterminé la position des amas dans l'espace. Ils forment un système dont le centre coïncide à peu près avec celui des grands nuages d'étoiles. C'est aussi le centre de la Voie Lactée ou Galaxie.

Nous pouvons donc conclure, à bon droit, que les amas globulaires font partie de notre système stellaire; ils nous donnent une idée de sa prodigieuse étendue.

CHAPITRE XVI

NOTRE SYSTÈME STELLAIRE—NÉBULEUSES GALACTIQUES

(a) DIFFUSES, (b) PLANÉTAIRES, (c) OBSCURES

Les nébuleuses galactiques



LORSQUE l'astronome amateur fouille le ciel, à l'aide de son télescope de faible puissance, il rencontre souvent de petites taches laiteuses, qui depuis longtemps déjà ont reçu le nom de nébuleuses, d'après le mot latin *nebula* qui signifie nuage. Une comète au tout début de sa découverte ressemble fort à une nébuleuse, mais son mouvement parmi les étoiles permet de la reconnaître en moins d'une heure. Une nébuleuse, au contraire, occupe une position invariable et ne change pas d'aspect d'une année à l'autre.

Nébuleuses et amas d'étoiles

Les nébuleuses et les amas d'étoiles sont catalogués ensemble vu la difficulté, en certains cas, de différencier ces deux objets célestes. Au début du siècle dernier, les perfectionnements apportés aux télescopes permirent de résoudre en étoiles nébuleuses après nébuleuses, si bien que les astronomes crurent qu'elles étaient de simples concentrations d'étoiles, et que si elles n'étaient pas toutes résolues, il fallait s'en prendre à l'insuffisance des instruments.

Mais, en 1864, un spectroscopie ajouté au télescope et dirigé sur les nébuleuses révéla bientôt que certaines d'entre elles n'étaient sûrement pas des amas d'étoiles. Comme nous l'avons déjà vu (page 176), un spectre composé de raies brillantes provient d'une vapeur ou d'un gaz incandescents. Or, nombre de nébuleuses donnent un tel spectre (fig. 173), ce qui prouve qu'elles sont formées de gaz raréfiés. D'autre part, l'analyse de la lumière provenant de certaines nébuleuses montre que ce sont vraisemblablement des agglomérations d'étoiles.

Depuis ce temps les nébuleuses ont été l'objet d'une foule d'investigations. À l'aide des grands télescopes modernes et de plaques photographiques de plus en plus sensibles, on a réussi de magnifiques photographies de nébuleuses. C'est ainsi que ces objets nous sont apparus sous les aspects les plus divers et que certains se sont révélés d'une finesse de détails

insoupçonnée. Le spectroscope nous a encore renseignés sur la nature interne et les mouvements des nébuleuses; cependant, il est encore très difficile, en ce moment, d'interpréter tout cela comme il convient. Quand nous parviendrons à dévoiler le mystère qui entoure les nébuleuses, nous aurons la clé d'un grand problème, celui de la structure de l'univers.

Liste des nébuleuses et des amas d'étoiles

La première liste de nébuleuses a été dressée, en 1781, par Charles Messier, chercheur passionné de comètes, que Louis XV avait surnommé plaisamment «le furet des comètes». Messier avait entrepris un relevé des objets nébuleux pour faciliter la découverte des comètes. Si, en fouillant le ciel de son petit télescope, il rencontrait une tache laiteuse, il consultait sa liste, et, dans le cas d'une nébuleuse, il poursuivait ses ob-

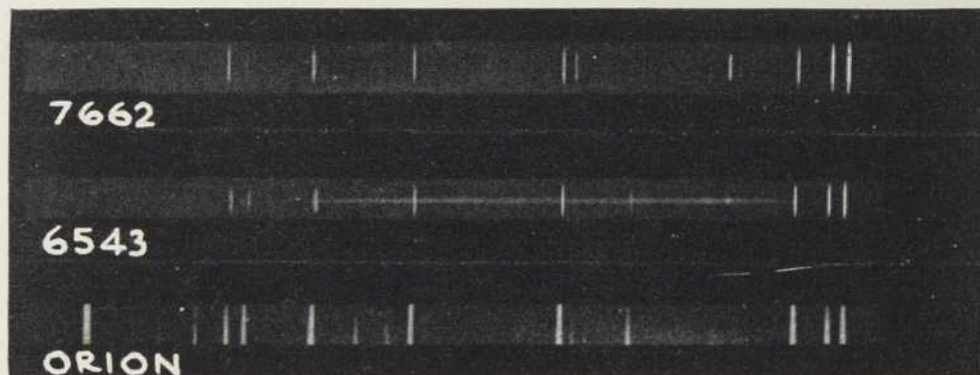


FIG. 173. SPECTRES À RAIES BRILLANTES DE NÉBULEUSES.

Le spectre supérieur est celui de la nébuleuse planétaire N.G.C. 7662, dans Andromède; celui du milieu appartient à la nébuleuse planétaire N.G.C. 6543, dans le Dragon, la première nébuleuse à être analysée au spectroscope (Huggins, en 1864); le dernier est celui de la Grande Nébuleuse d'Orion. Les raies brillantes révèlent la présence d'hydrogène, d'hélium, de même que d'oxygène et d'azote sous une forme particulière—ionisés une et deux fois. À remarquer que ces spectres, bien que tous à raies brillantes, sont loin d'être identiques.

Photo: Wright, à l'observatoire Lick.

servations sans y prêter attention. Son catalogue contient 103 objets, tous facilement visibles. Le symbole M. 13 représente le numéro 13 du catalogue de Messier. C'est le grand amas d'Hercule. Deux autres relevés furent complétés plus récemment: le New General Catalogue (N.G.C.) contenant 7840 objets (N.G.C. 6205 est le même objet que M. 13); et l'Index Catalogue (I.C.) en contenant 5386 de plus.

Comme nous le verrons plus loin, il existe des millions de nébuleuses dans le ciel.



FIG. 174. LA GRANDE NÉBULEUSE D'ORION (M. 42).

Ce merveilleux objet est situé dans l'épée d'Orion, à l'endroit marqué d'un cercle sur la figure 175. Les plages sombres qu'on remarque sur cette belle photographie sont probablement des nuages de poussière qui cachent la vue des gaz lumineux plus éloignés. On croit que la nébuleuse est à une distance d'au moins 600 années-lumière. Photographie prise le 19 novembre 1920; pose: trois heures.

Photographiée au télescope de 100 pouces du Mont Wilson.

(a) LES NÉBULEUSES DIFFUSES ET IRRÉGULIÈRES

Un grand nombre de nébuleuses sont diffuses et sans forme régulière. La plus brillante de cette espèce est la Grande Nébuleuse d'Orion (voir fig. 174). C'est le numéro 42 de Messier

et sa position dans la constellation est indiquée par un petit cercle sur l'épée suspendue à la ceinture du géant (fig. 175), au-dessous des trois brillantes étoiles qui forment le Baudrier. À l'œil nu, on aperçoit trois faibles étoiles très près l'une de l'autre sur une ligne nord-sud, et celle du milieu a l'air bizarre. Tennyson, dans *Vivien*, la décrit ainsi :

A single misty star
Which is the second in a line of stars
That seem a sword beneath a belt of three.

À la jumelle, on voit une étoile mal définie et d'aspect vapoureux, mais dans un grand télescope, ou sur un bon cliché,

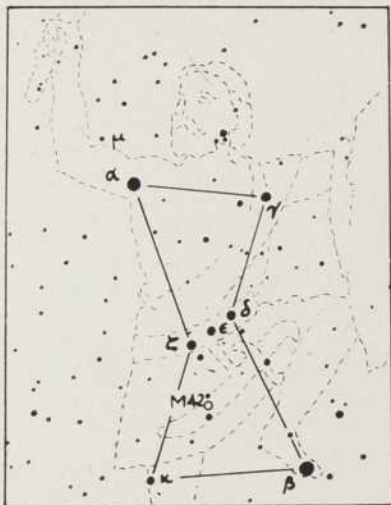


FIG. 175. UNE PARTIE DE LA CONSTELLATION D'ORION.

La position de la grande nébuleuse est marquée d'un cercle, visible sur l'épée suspendue à la ceinture d'Orion. Les noms des principales étoiles sont : α, Bételgeuse ; β, Rigel ; γ, Bellatrix ; δ, Mintaka ; ε, Alnilam ; ζ, Alnitak ; κ, Saïph ; μ est au-dessus et à gauche de α.

c'est un objet tout simplement merveilleux. Elle se prolonge dans toutes les directions, en de longs filaments incurvés de densité variable. De quoi est-elle composée ? Le spectroscopie la révèle de nature gazeuse (fig. 173). Elle contient de l'hydrogène et de l'hélium, et aussi de l'oxygène et de l'azote sous une forme encore inconnue au laboratoire.

La figure 176 montre une autre nébuleuse irrégulière, située dans le Cygne, au milieu de la Voie Lactée. Elle ressemble à une longue dentelle qui s'agite dans la brise ; cependant on n'y a observé encore aucun changement. La distance de cette nébuleuse est à peu près la même que celle des étoiles qu'elle renferme dans ses limites—soit plusieurs centaines d'années-lumière. Il s'ensuit qu'elle couvre une étendue considérable et pourrait envelopper plus d'un système solaire. Dans les ré-

gions de l'espace où elle se trouve, il n'existe pas de déplacements d'air ou de vents comme sur la Terre—il s'agit de corps tout à fait différents. Cette nébuleuse donne un spectre de raies brillantes et il faut en conclure qu'elle est constituée de gaz incandescents.

La figure 177 est une nébuleuse remarquable découverte dans la Grande Nuée de Magellan (fig. 199) et cataloguée sous la dénomination de 30 Dorade. La Nuée est, en effet, située dans la constellation de la Dorade. Sa forme lui a valu le nom de « Nébuleuse à la Boucle », et l'on croit que c'est la plus grande des nébuleuses diffuses. Shapley lui trouva un diamètre de 40 parsecs, soit 130 années-lumière.

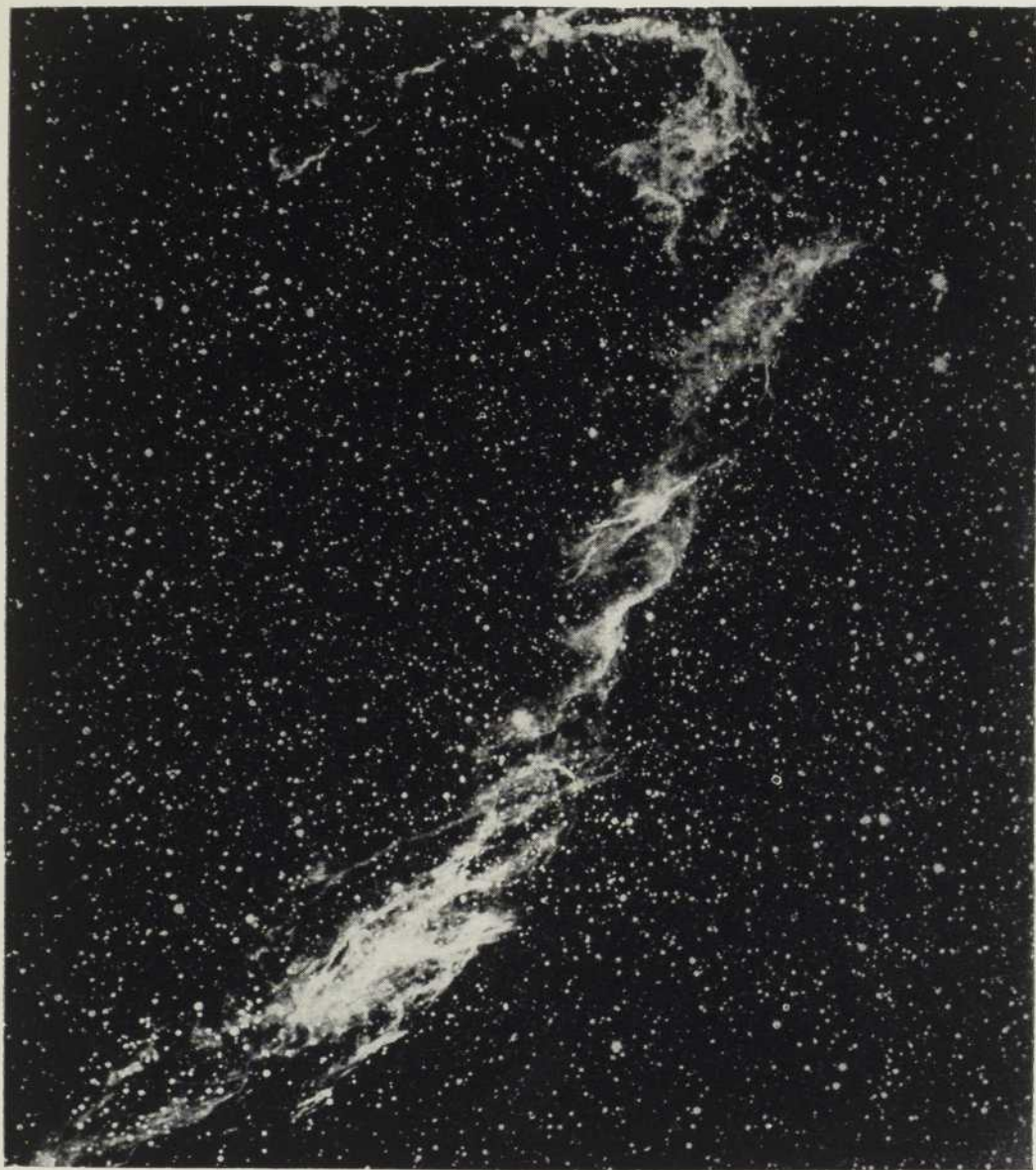


FIG. 176. LA NÉBULEUSE «LA DENTELLE», DANS LE CYGNE.

Cette nébuleuse irrégulière et filamenteuse se trouve au milieu de la Voie Lactée. Elle est probablement à plusieurs centaines d'années-lumière, mais elle est moins éloignée que les nébuleuses spirales. Pas très loin de cette nébuleuse, on en trouve une autre de même type; les photographies ont révélé l'existence d'une nébulosité extrêmement faible dans l'espace qui les environne. Photographiée au réflecteur de deux pieds; pose: trois heures.

Photo: Ritchey, à l'observatoire Yerkes.

Les nébuleuses des Pléiades

Une photographie à longue pose sur les Pléiades révèle un phénomène tout à fait inattendu : les principales étoiles de cet amas sont enveloppées de matière nébuleuse (fig. 178). Les spectres des plus brillantes étoiles des Pléiades sont re-



FIG. 177. LA «NÉBULEUSE À LA BOUCLE», OU 30 DORADE.

Cette nébuleuse de forme bizarre fait partie de la Grande Nuée de Magellan, pas très loin du pôle céleste austral.

Photo: l'observatoire de Harvard.

produits à la figure 165, page 211, et on se rappelle que nous les avons déclarés tous très semblables. Ces étoiles sont donc bâties sur le même plan et avec les mêmes matériaux. Mais le spectroscope peut nous fournir d'autres renseignements encore.

Dans la figure 178, l'étoile Mérope est celle du bas, que l'on voit enveloppée de nébulosité ; un agrandissement de la même photographie est donné à la figure 179. Au mois de décembre 1912, le Dr V. M. Slipher dirigea son spectroscope sur cette nébulosité et après une pose de vingt et une heures, réparties sur trois nuits, obtint un spectre qui était la copie fidèle de celui de Mérope.

Spectres à raies sombres et spectres à raies brillantes

Qu'est-ce que cela signifie ? Le spectre de la Lune ou d'une planète est le même que celui du Soleil, ce qui prouve que la Lune et les planètes n'émettent pas de lumière propre, mais



FIG. 178. LES PLÉIADES ENVELOPPÉES DE MATIÈRE NÉBULEUSE.

Une photographie à longue pose révèle des nébulosités autour des étoiles de ce groupe. Le spectre de la nébuleuse est de même nature que celui de l'étoile qu'elle enveloppe, d'où l'on conclut que la matière qui environne l'étoile est probablement un nuage obscur rendu lumineux par l'étoile elle-même. Cette photographie représente la même région que la partie encadrée de la figure 163.

Photo: Barnard, à l'observatoire Yerkes.

réfléchissent simplement celle qui leur parvient du Soleil. De même, nous concluons que l'étoile Mérope est entourée de poussières ou de matériaux quelconques finement divisés qui, illuminés par l'étoile, nous en transmettent la lumière caracté-

ristique. On a découvert d'autres nébuleuses diffuses dont l'examen au spectroscopie a conduit aux mêmes résultats. Il a aussi été prouvé que plus l'étoile est brillante, plus ses rayons pénètrent profondément dans la poussière environnante qu'elle



FIG. 179. L'ÉTOILE MÉROPE, ENVELOPPÉE DE MATIÈRE NÉBULEUSE.

V.M. Slipher a dirigé son spectrographe en bordure de cette nébulosité, c'est-à-dire au-dessus et à gauche de l'étoile centrale qu'elle renferme. Après une pose de 21 heures répartie sur les nuits des 11, 12 et 13 décembre 1912, il obtint un spectre prouvant l'origine stellaire de la lumière émise par la nébulosité.

rend lumineuse. Ces nébuleuses diffuses sont hors de doute à l'intérieur de notre système stellaire.

Par contre, la Grande Nébuleuse d'Orion donne simplement un spectre gazeux à raies brillantes (fig. 173). La photographie de la nébuleuse, reproduite en figure 174, semble indiquer que la matière gazeuse enveloppe plusieurs étoiles. La figure 113 nous a d'ailleurs appris que toute la constellation d'Orion était pour ainsi dire couverte de nébulosité. Pourquoi alors

certaine nébuleuse diffuse a-t-elle le spectre à raies sombres de l'étoile qu'elle enveloppe, tandis qu'une autre, également diffuse, donne un spectre à raies brillantes, caractéristique des gaz incandescents. Une étude attentive des étoiles responsables mène à la solution du problème. Quand ces étoiles sont du type le plus chaud, avec des températures de surface de plus de $21\,000^{\circ}\text{C}$., ou $38\,000^{\circ}\text{F}$., la nébuleuse environnante produit un spectre à raies brillantes; et quand la température est plus basse, le spectre est celui de l'étoile elle-même. Comment ces radiations d'étoiles intensément chaudes agissent sur les poussières ou gaz cosmiques pour permettre à ces derniers de devenir incandescents et d'émettre leur propre spectre, voilà de quoi rend bien compte la théorie atomique moderne des protons et électrons. Mais le sujet est trop technique pour être abordé ici.

Notre conclusion est donc que les nébuleuses diffuses et irrégulières appartiennent à notre système stellaire, et sont à bon droit comptées parmi les nébuleuses galactiques.

(b) NÉBULEUSES PLANÉTAIRES

Dans un télescope, une planète—par exemple Mars ou Uranus—montre un disque bien défini, tandis qu'une étoile apparaît comme un point brillant, ou plus exactement sous forme d'un très petit disque, d'autant plus brillant et plus petit que l'instrument est plus grand et plus parfait. Vers 1783, lorsque Sir William Herschel balayait le ciel de ses grands télescopes dans le but, comme il disait, «de découvrir la structure de l'univers», il trouva un bon nombre de petits objets peu brillants et vaguement circulaires qu'il appela, en s'inspirant de leur forme, des nébuleuses «planétaires». Elles sont toutes trop faibles pour être visibles à l'œil nu.

Comment distinguer les nébuleuses planétaires

On a catalogué environ 150 nébuleuses planétaires, mais les plus petites, et les plus faibles aussi, n'ont pas été découvertes par l'observation télescopique ordinaire. Leurs images minuscules et de faible éclat sont quelque peu plus brillantes au centre qu'à la périphérie—pas tout à fait comme le faux disque d'une étoile. Mais il y a beaucoup d'autres petites nébuleuses qui ne sont pas des nébuleuses planétaires. Alors, comment les distinguer? Les nébuleuses planétaires de faible éclat sont identifiées par leur spectre, qu'on obtient au moyen d'un télescope à prisme-objectif, comme celui de la figure 164. Toutes les nébuleuses planétaires donnent des spectres à raies brillantes, semblables aux spectres du haut et du milieu, figure 173.

Lorsqu'on les étudie par photographie directe, les nébuleuses planétaires ne sont pas aussi simples qu'elles le paraissent à prime abord. Des temps de pose de plus en plus longs nous révèlent sans cesse de nouvelles complexités dans leur structure, comme en fait preuve la figure 180. Il s'agit de la nébuleuse planétaire N.G.C. 7662, dans Andromède.

La nébuleuse annulaire dans la Lyre

Entre les deux étoiles β et γ de la Lyre (fig. 156), se trouve la nébuleuse annulaire bien connue, magnifique dans un instrument de moyenne puissance. On dirait un anneau fantôme, formé de vapeurs légères. La figure 181 en est une photographie prise au foyer d'un grand télescope. L'anneau paraît formé de plusieurs tresses et assez fourni en matériaux. Des poses plus longues révèlent encore d'autres courants nébuleux

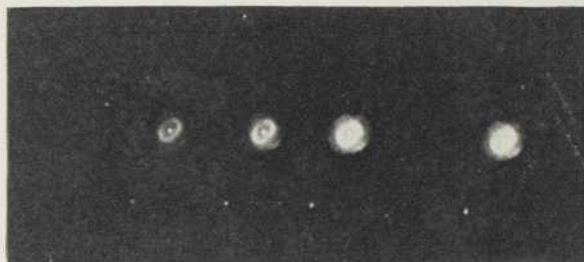


FIG. 180. LA NÉBULEUSE PLANÉTAIRE N.G.C. 7662.

Pose: 20, 30, 60 et 120 secondes, respectivement.

Photo: l'observatoire Lick.

à l'intérieur et à l'extérieur de l'anneau. Si l'on en juge seulement par la photographie, l'étoile centrale de la nébuleuse est brillante et il devrait être possible de l'apercevoir dans un petit télescope. Il n'en est rien, pourtant. Cette étoile est de magnitude 15,4, et nécessite l'emploi d'un télescope assez puissant pour être visible.

La Nébuleuse Annulaire est classée parmi les nébuleuses planétaires et son étoile centrale est une véritable curiosité. C'est une des étoiles les plus chaudes qui soient; sa température de surface s'élève à 50 000° F. et les radiations émises excitent les gaz environnants, de sorte que ceux-ci deviennent lumineux à leur tour, comme nous avons déjà expliqué à propos de certaines nébuleuses diffuses. La figure 182 montre d'abord une photographie de la Nébuleuse Annulaire elle-même, puis une série d'images obtenues en faisant passer sa lumière à travers un prisme. Cette figure prouve clairement que la lumière de la nébuleuse consiste en radiations de diverses longueurs d'onde, donnant chacune une image; ces longueurs d'onde sont en majeure partie celles de l'hydrogène et de l'hélium.

Localisation et distance des nébuleuses planétaires

Lorsqu'on rapporte sur une carte céleste la position des nébuleuses planétaires, on constate qu'elles sont associées au sys-



FIG. 181. LA NÉBULEUSE ANNULAIRE DE LA LYRE.

Cette nébuleuse se trouve entre les étoiles β et γ de la Lyre et peut être aperçue dans un petit télescope. L'étoile centrale, qui est si en évidence sur la photographie, peut à peine impressionner l'œil, même armé d'un télescope de deux pieds de diamètre. La distance moyenne des nébuleuses de ce type est probablement de plus de 1000 années-lumière. Cette nébuleuse couvre sûrement une étendue supérieure au système solaire. Photographiée au télescope de six pieds de l'observatoire du Canada pour l'Astrophysique, à Victoria, Colombie Britannique. Temps de pose: 30 minutes.

Photo: Plaskett, à Victoria, Colombie Britannique.

tème galactique. Quelques-unes, il est vrai, parmi les plus brillantes s'éloignent de la Voie Lactée, mais les plus petits objets

de cette classe, et les plus distants aussi selon toute évidence, sont invariablement situés tout près d'elle sinon dans la Voie Lactée elle-même.

Les distances des nébuleuses planétaires sont déterminées grâce à l'étoile centrale; elles sont considérables. La plus proche est déjà à plus de 1000 années-lumière, croit-on, tandis que pour un grand nombre il faut multiplier plusieurs fois cette distance. Malgré les apparences, elles sont très vastes, les plus petites étant probablement plus étendues que le système solaire; mais tout porte à croire qu'elles font partie de notre système stellaire.

(c) LES NÉBULEUSES OBSCURES

Dans certaines régions de la Voie Lactée, il existe des filaments et plages sombres de forme irrégulière qui ont longtemps intrigué les astronomes. Des exemples typiques sont ceux de la



FIG. 182. PHOTOGRAPHIE DIRECTE DE LA NÉBULEUSE ANNULAIRE, PUIS À TRAVERS UN PRISME.

La lumière émise par les gaz incandescents n'est constituée que de quelques longueurs d'onde, qui donnent chacune une image distincte de l'anneau. Photographie prise le 17 septembre 1928, avec deux prismes de quartz adaptés au réflecteur Crossley. Pose: trois heures.

Photo: Wright, à l'observatoire Lick.

figure 183, où l'on remarque très bien la forme en S d'une région obscure, et différentes taches sombres; à comparer aussi avec le «Sac à Charbon», dans la Croix du Sud (fig. 116, p. 157). Il y a vingt-cinq ans, l'opinion générale voulait que ces régions sombres fussent de simples trous dans le ciel et que, par ces ouvertures pratiquées dans le champ des étoiles, le regard pouvait plonger dans le vide absolu. Depuis ce temps, la science a accumulé une quantité de preuves attestant le mouvement rapide des étoiles dans toutes les directions. Il est clair, donc, que même s'il se trouvait un espace dépourvu d'étoiles à un moment donné, il ne resterait pas vide toujours. Par leurs déplacements continuels, les étoiles combleraient au moins partiellement cet espace.

Actuellement, nous disposons d'une meilleure explication. Ces configurations obscures ne sont rien d'autre que des nuages de poussière qui cachent les étoiles situées au delà. Dans certains cas, une étoile est visible dans ces espaces som-



FIG. 183. PLAGES OBSCURES DANS LA VOIE LACTÉE.

On croit que les régions sombres sont dues à la présence de poussières cosmiques, ou à d'autre matière semi-opaque, qui interceptent la lumière des étoiles situées plus loin. Si un tel nuage se trouve près d'une étoile brillante, il devient faiblement lumineux sous l'action du rayonnement de l'étoile. Si l'on en juge par cette photographie, une quantité considérable de matière cosmique serait répandue un peu partout dans l'espace représenté ici. Ces plages sombres font partie de la constellation du Cygne. La photographie a été obtenue au télescope de 100 pouces, après une pose de deux heures et quarante-cinq minutes.

Photo: Duncan, à l'observatoire du Mont Wilson.

bres, mais elle est évidemment située en avant de la nuée obscure—c'est-à-dire entre la nuée et nous. Ce raisonnement semble très juste dans le cas de la figure 184. C'est un nuage obscur qui prend vaguement la forme d'une tête de cheval; il cache les étoiles situées en arrière, mais on peut en apercevoir quelques-unes en avant. Les étoiles du côté droit de la photographie rendent lumineuse la bordure du nuage, comme le Soleil émergeant d'un beau cumulus. Il existe plusieurs de ces nébuleuses obscures dans le système galactique. La figure 185 en est un autre exemple typique: on y remarque diverses condensations de lumière diffuse, de même que des plages obscures de formes bizarres.

Le même type de nuages obscurs se rencontre ailleurs que dans notre système galactique. Nous y reviendrons au chapitre suivant.

Principaux caractères de notre système stellaire

Résumons maintenant ce que nous avons appris sur notre système stellaire. D'abord, son épine dorsale (nous pourrions aussi bien dire son corps principal) est la Voie Lactée. Comme nous le savons, elle a la forme d'une large bande encadrant le ciel, à l'intérieur de laquelle se trouve le Soleil. La Voie Lactée contient des millions d'étoiles de couleurs, de grandeurs et d'états physiques différents. Certaines étoiles sont formées de deux, trois ou plusieurs soleils qui tournent les uns autour des autres; d'autres varient d'éclat de façon étrange; mais dans chaque cas nous pouvons être assurés que ces variations se font en accord avec la loi de la gravitation, aussi bien qu'avec les lois de la chaleur, de la lumière et de l'électricité, toutes lois découvertes d'abord sur la Terre. À l'intérieur de notre système, se rencontrent aussi de nombreux amas d'étoiles, les uns ouverts, les autres formés d'agglomérations sphériques. On trouve enfin des nébuleuses de différentes espèces—les unes de faible luminosité, les autres diffuses et amorphes, ou d'apparence planétaire—sans oublier ces nuées obscures qui ne révèlent leur présence qu'en interceptant la lumière des étoiles. Tous ces objets, et peut-être d'autres dont nous ne soupçonnons pas encore l'existence, font partie de notre système stellaire.

La forme de notre système stellaire

On peut se faire une idée de la distribution des étoiles dans l'espace en dirigeant un télescope dans différentes régions et en comptant le nombre des étoiles présentes dans le champ de vision. Ce travail fut fait avec une très grande autorité et une patience admirable par Sir William Herschel, dans l'hé-



FIG. 184. LA NÉBULEUSE OBSCURE «TÊTE DE CHEVAL».

Cet objet remarquable est un peu au sud de l'étoile ζ d'Orion, l'étoile la plus à l'est parmi celles qui forment le Baudrier d'Orion. On remarque cette faible nébulosité en forme de strie ou de bande, qui traverse la photographie de haut en bas et la divise en deux. À droite, de nombreuses étoiles faibles sont visibles; à gauche, on n'en aperçoit que quelques-unes seulement. Il est évident qu'une grande masse de matière obscure intercepte la lumière des étoiles faibles, à gauche; les étoiles brillantes qu'on y aperçoit sont situées en deçà de l'écran, qui forme un arrière-plan obscur. Cette photographie a été obtenue au télescope de 100 pouces. Pose: trois heures.

Photo: Ritchey, à l'observatoire du Mont Wilson.



FIG. 185. LA NÉBULEUSE «PÉLICAN».

La partie du ciel montrée ici se situe à environ 3° à l'est de l'étoile Deneb du Cygne. La nébulosité brillante est évidemment constituée de poussières cosmiques formant enveloppe autour des étoiles qui la rendent lumineuse. Les rainures et les plages sombres, de faibles dimensions apparentes, sont quand même d'immenses nuages de poussières qui cachent le fond brillant du ciel. Les petites condensations brillantes sont probablement des amas de matière cosmique rendue lumineuse par les étoiles situées dans leur masse même. Casse-tête: chercher le pélican. Photographie obtenue au télescope de 100 pouces. Pose: quatre heures et quarante-cinq minutes.

Photo: Duncan, à l'observatoire du Mont Wilson.

misphère nord, et par son fils, Sir John, dans l'hémisphère sud. De nos jours, on procède au décompte de préférence sur des clichés photographiques pris dans des régions choisies du ciel.

Le résultat de ces travaux montre que notre système stellaire occupe un volume dont la forme rappelle quelque peu celle d'une meule ou d'une montre légèrement bombée. Son diamètre est d'environ 100 000 années-lumière. Le Soleil est un peu au nord du plan central et à quelque 30 000 années-lumière du centre du système. Tout le système est en rotation, non pas comme un corps rigide, une meule par exemple, où

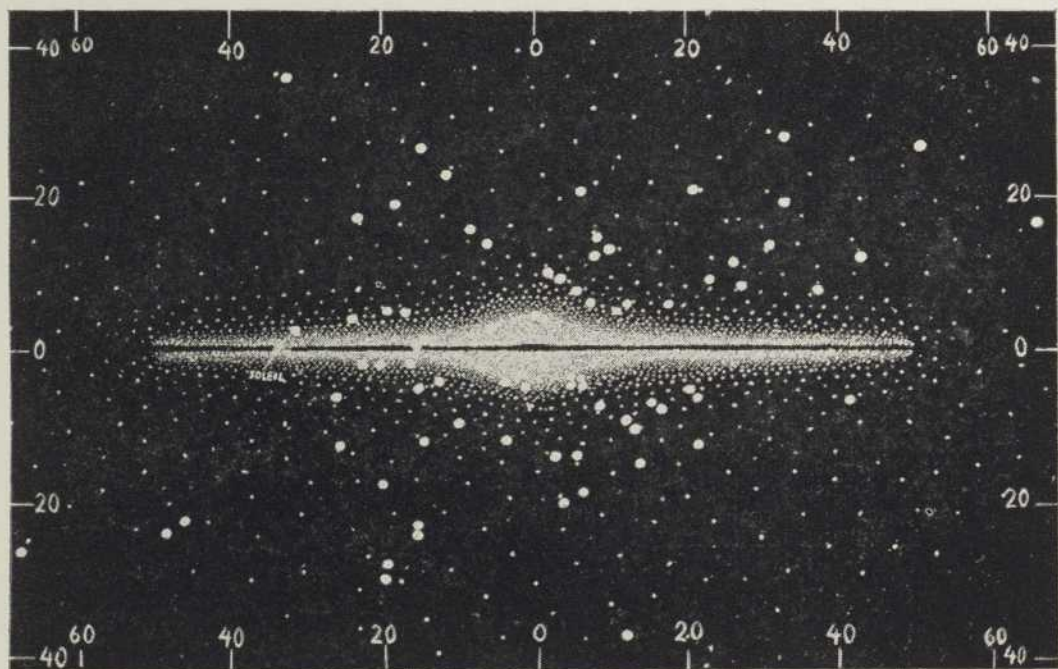


FIG. 186. UN MODÈLE DE NOTRE SYSTÈME STELLAIRE, D'APRÈS LES CONCEPTIONS MODERNES.

Ce modèle, dû à J. S. Plaskett, est une vue en perspective de notre système stellaire tel qu'il apparaîtrait d'un point situé à une grande distance dans le plan de la Voie Lactée. À remarquer la matière obscure qui passe par le plan central, de même que la position du Soleil. La graduation est en milliers d'années-lumière. Ce modèle est décrit dans *Halley Lecture* pour l'année 1935.

Illustration fournie par le Dr Plaskett.

chaque point tourne avec la même vitesse angulaire—c'est-à-dire avec la même période—mais comme les planètes, dont les périodes de révolution augmentent avec la distance au Soleil. À la distance où se trouve le Soleil du centre de la galaxie, la période de révolution est de plus de 200 millions d'années.

Cette question a été sérieusement étudiée par plusieurs astronomes. L'un des plus récents «modèles» de notre système stellaire qui ait été proposé est celui du Dr J. S. Plaskett, ancien directeur de l'observatoire du Canada pour l'Astrophysique, à Vic-

toria, Colombie Britannique. Ce modèle est représenté ici (fig. 186): c'est l'aspect que prendrait notre système stellaire pour un observateur placé dans le plan de notre Voie Lactée sur un autre système stellaire, distant de un million d'années-lumière, par exemple.

Le gonflement du centre représente les grands nuages d'étoiles situés dans la direction de la constellation du Sagittaire. Ils forment la portion centrale de notre système stellaire. Le Soleil se trouve un peu à gauche, et au-dessus—c'est-à-dire au nord—du plan central. La raie noire du centre est de même nature que les nébuleuses obscures. Nous en verrons de semblables dans certaines nébuleuses spirales, un peu plus loin.

CHAPITRE XVII

LES SYSTÈMES STELLAIRES EXTERNES

Différents types de nébuleuses



DANS le chapitre précédent, nous avons fait connaissance avec les nébuleuses visibles par la lumière qu'elles émettent, soit les nébuleuses diffuses et les nébuleuses planétaires. Les premières n'ont pas de formes propres caractéristiques; les autres, à première vue, sont simplement circulaires, mais un examen plus complet nous en fait découvrir la structure assez compliquée. C'est d'ailleurs un fait souvent constaté quand on étudie la nature: à l'extérieur les corps nous paraissent simples, mais dès qu'on a levé le voile de leur surface, ils se montrent dans toute leur complexité. Les deux types de nébuleuses que nous venons de nommer, ainsi que les objets sombres appelés nébuleuses obscures, sont distribués abondamment à travers tout notre système stellaire.

Les nébuleuses spirales

Mais que dire des nébuleuses comme celle de la figure 187? L'esprit en est littéralement ébloui. Sa forme est celle d'une spirale symétrique et, en y regardant de plus près, on aperçoit des nébulosités, des étoiles, des filaments et des plages sombres. D'autres nébuleuses en spirales, toutes obtenues à la suite de longues poses sur des plaques très sensibles, sont reproduites aux figures 188, 189 et 190. Elles ont un noyau brillant sur lequel deux bras en spirale sont greffés en des points diamétralement opposés. Leur beauté naturelle et leur mystère nous mettent dans le ravissement et excitent notre curiosité. Si les étoiles représentent les joyaux du ciel, les nébuleuses en sont les riches tapisseries.

La photographie de certaines régions choisies du ciel et le dénombrement des nébuleuses qui s'y trouvent, ont permis de constater d'abord que les nébuleuses spirales étaient très nombreuses, et ensuite qu'elles étaient réparties dans toutes les régions de l'espace et non seulement dans le voisinage de la Voie Lactée. De fait, elles semblent plus nombreuses dans les parties du ciel les plus éloignées de la Voie Lactée. Consé-

quemment, les astronomes sont d'avis qu'elles sont d'une grande importance.

Les nébuleuses spirales reproduites jusqu'ici nous ont paru



FIG. 187. LA NÉBULEUSE SPIRALE M. 33, DANS LE TRIANGLE.

C'est un très faible objet; de forme remarquable, elle ne peut se révéler dans toute sa splendeur que par photographie. C'est une spirale vue exactement de face. Les petites plages lumineuses situées dans les bras sont entremêlées avec les étoiles; on croit, en effet, que la matière nébuleuse s'y condense en étoile. Cette spirale est à peu près à la même distance que la nébuleuse d'Andromède et son diamètre est d'environ 15 000 années-lumière. Photographie obtenue au 60-pouces; pose: huit heures et demie. Sa position parmi les étoiles est indiquée à la figure 194.

Photo: Ritchey, à l'observatoire du Mont Wilson.

des objets aplatis vus de face. Quel serait leur aspect si on les voyait par la tranche ou suivant un angle plus ou moins prononcé? Les figures 191 et 192 nous montrent deux nébu-

leuses vues par la tranche, tandis que la figure 193 est un magnifique exemple d'une nébuleuse vue de biais. C'est la Grande Nébuleuse d'Andromède, la seule nébuleuse que l'on peut identifier comme telle à l'œil nu. Sa position dans la constellation



FIG. 188. LA NÉBULEUSE SPIRALE DÉSIGNÉE SOUS LE NOM DE M. 101.

Cette splendide photographie fut obtenue au télescope de 60 pouces, les 10 et 11 mars 1940, après une pose totale de sept heures et demie. La formation en spirale est bien marquée, mais quelque peu irrégulière. On remarque une grande quantité de fines nébulosités dans les bras. Il serait intéressant de savoir où se trouve ce merveilleux objet. C'est dans la Grande Ourse, non loin de l'extrémité de la queue. M. 101 forme un triangle équilatéral, avec les étoiles ζ et η , (voir fig. 149). Mais l'observation visuelle, même au foyer des plus grands télescopes, ne donne qu'une bien faible idée de la beauté sereine de cette nébuleuse.

Photo: Ritchey, à l'observatoire du Mont Wilson.

est indiquée sur le dessin de la figure 194. C'est un exercice amusant que d'essayer de la localiser dans le ciel du nord-est, par une soirée d'été. On peut la trouver sans difficulté à l'œil nu, mais une jumelle en facilitera de beaucoup l'identification.

Si l'on examine la magnifique photographie de la figure 193, on retrace facilement les deux bras qui encerclent le noyau. Cependant, la forme réelle de cette nébuleuse fut longtemps un mystère pour les astronomes qui l'observaient avec des téles-



FIG. 189. LA NÉBULEUSE SPIRALE M. 81.

Sans nul doute, il s'agit d'une spirale, mais combien différente des autres. La nébulosité centrale est plus vaste et les bras plus grêles que d'habitude. On y remarque des étoiles nébuleuses, plutôt que de véritables étoiles. Les filaments sombres qui courent entre les bras sont bien visibles, et l'on peut observer une quantité de fins détails. Cette nébuleuse appartient encore à la Grande Ourse; on la trouve à 10° environ de α (Dubhé), en direction du nord-est. Photographiée au télescope de 60 pouces.

Photo: Ritchey, à l'observatoire du Mont Wilson.



FIG. 190. LA NÉBULEUSE «WHIRLPOOL», DANS LES CHIENS DE CHASSE.

Fameuse spirale vue directement de face. On remarque un noyau central très fort, sur lequel sont pris deux bras en des points diamétralement opposés. Ces bras sont composés de matière nébuleuse et d'étoiles. La forme en spirale de cette nébuleuse a été d'abord remarquée par le comte de Rosse, en 1845, alors qu'il observait avec son célèbre réflecteur de six pieds de long. Mais ce n'est que depuis l'avènement de la photographie et des grands télescopes modernes qu'on en connaît la fine structure. Sa distance est d'environ 2 000 000 d'années-lumière. Le brillant objet au-dessous de la spirale est une autre nébuleuse. Les étoiles individuelles qu'on aperçoit sont en deçà de la nébuleuse.

Photo: Humason, au 100-pouces du Mont Wilson.



FIG. 191. UNE NÉBULEUSE SPIRALE VUE PAR LA TRANCHE.

Cette étrange nébuleuse est dans une constellation pauvre en étoiles, la Chevelure de Bérénice, située entre le Bouvier et le Lion. La photographie prouve qu'il s'agit d'une nébuleuse spirale vue par la tranche. On remarque le noyau brillant, qui est certainement de forme sphérique. La bande sombre qui le traverse est sans doute la bordure extérieure de la nébuleuse, ou l'un des bras en projection sur la masse claire du noyau. Cette photographie a été obtenue au télescope de 60 pouces, après une pose de cinq heures.

Photo: Ritchey, à l'observatoire du Mont Wilson.



FIG. 192. UNE SPIRALE, VUE PAR LA TRANCHE (N.G.C. 891, DANS ANDROMÈDE).

Cette nébuleuse ne mesure que un sixième de degré de longueur. La bande d'absorption, traversant le centre, est bien marquée; en projection sur cette bande, on remarque de légères condensations nébuleuses. Les étoiles visibles sur cette photographie sont sans aucun doute beaucoup plus près de nous que la nébuleuse. Photographiée au télescope de 60 pouces, les 23 et 24 novembre 1916. Pose totale: 7 heures 15 minutes.

Photo: l'observatoire du Mont Wilson.



FIG. 193. LA GRANDE NÉBULEUSE D'ANDROMÈDE (M. 31).

On peut fort bien apercevoir cette nébuleuse à l'œil nu; au télescope, elle nous apparaît comme un très bel objet. Elle mesure 3° de part en part—soit six fois le diamètre de la Lune. Sa distance est estimée à 800 000 années-lumière et son diamètre à 40 000 années-lumière. Elle est probablement aussi vaste que notre Voie Lactée toute entière et serait elle-même un autre «univers-île». Les étoiles distinctes visibles çà et là sur la nébuleuse sont probablement situées en deçà d'elle. C'est une spirale vue de biais. L'objet elliptique à droite, à un pouce du haut, (N.G.C. 205), et l'objet rond à deux pouces de la bordure gauche, (M. 32), sont des nébuleuses satellites. Photographie prise au télescope de deux pieds de diamètre. Temps de pose: quatre heures.

Photo: Ritchey, à l'observatoire Yerkes.

copies plus ou moins puissants. Sa forme en spirale a été révélée pour la première fois sur un cliché pris le 1er octobre 1888, à l'aide d'un télescope de 20 pouces, après une pose de trois heures. L'auteur de la découverte était l'Anglais Isaac Roberts, entrepreneur en construction à la retraite.

Les nébuleuses spirales n'ont pas toutes la fine structure de celles que nous venons de présenter. Elles ont les formes les plus diverses, comme on peut le constater en jetant un coup d'œil sur les figures 195, 196 et 197. Toutefois, elles diffèrent essentiellement des nébuleuses diffuses et des nébuleuses planétaires, et forment probablement une classe à part. Pour des

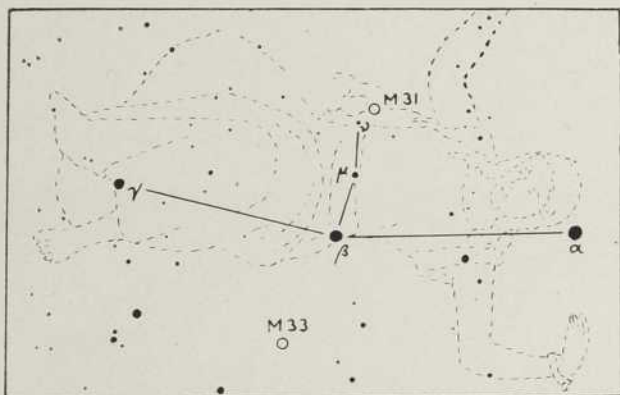


FIG. 194. UNE PARTIE DE LA CONSTELLATION D'ANDROMÈDE.

On reconnaît la constellation par ses trois étoiles brillantes presque en ligne droite. L'étoile α marque la tête d'Andromède, β , la gauche de la taille, et γ le bas de la jupe. Le cercle à droite de la taille indique la position de la Grande Nébuleuse. Partant de β , on monte de 4° jusqu'à μ , puis on oblique légèrement vers la gauche sur une distance de 3° pour atteindre ν ; la nébuleuse se trouve à 1° , en haut et à droite.

raisons qui paraîtront évidentes après la lecture des pages qui suivent, ces nébuleuses spirales sont considérées comme extérieures à notre système stellaire.

Nature des nébuleuses spirales

C'est le désir de tous d'en connaître plus long sur ces nébuleuses; naturellement nous commencerons avec la Grande Nébuleuse d'Andromède.

Lorsqu'un grand télescope, muni d'un spectrographe (comme celui de la figure 87, p. 118) est dirigé sur cette nébuleuse, il faut que la pose dure plusieurs heures si l'on veut enregistrer le spectre sur la plaque photographique. Par une nuit pure et sombre, l'instrument est fixé sur la nébuleuse et on l'y maintient aussi longtemps que le mouvement de la Terre le permet, pendant cinq ou six heures, par exemple. La nuit suivante, on continue la pose sur la même partie de la nébuleuse. Le procédé peut durer une semaine de temps.

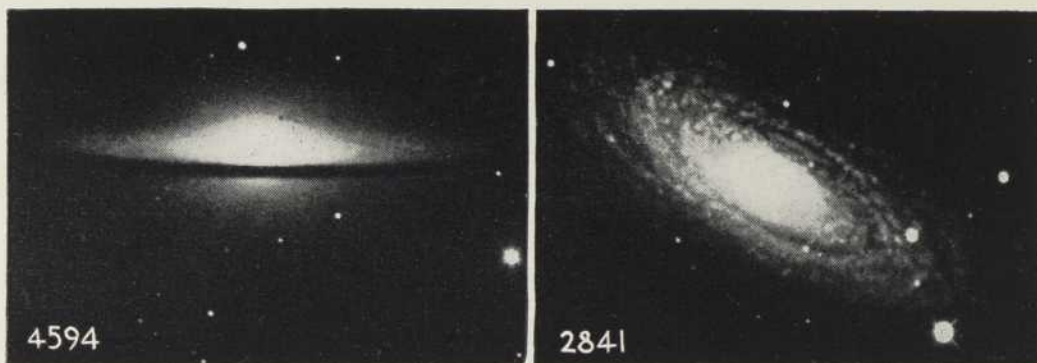


FIG. 195. DEUX NÉBULEUSES SPIRALES.

N.G.C. 4594, dans la Vierge, est une spirale vue par la tranche. Slipher a prouvé qu'elle était en rotation. Pose: $2\frac{1}{4}$ heures, le 3 mai 1916. N.G.C. 2841, dans la Grande Ourse, est une spirale vue obliquement. Pose: 2 heures, le 19 février 1912. Toutes deux photographiées au télescope de 60 pouces.

Photo: l'observatoire du Mont Wilson.



FIG. 196. NÉBULEUSE IRRÉGULIÈRE ET NÉBULEUSE FUSIFORME.

N.G.C. 3034, dans la Grande Ourse. Pose: $4\frac{1}{2}$ heures, le 6 février 1910. N.G.C. 3115, dans le Sextant. Pose: 1 heure 40 minutes, le 25 décembre 1911. Photographiées toutes les deux au télescope de 60 pouces.

Photo: l'observatoire du Mont Wilson.



FIG. 197. NÉBULEUSE ANNULAIRE ET NÉBULEUSE GLOBULAIRE.

N.G.C. 7217, dans Pégase. Pose: $5\frac{1}{2}$ heures, le 2 décembre 1913, au télescope de 60 pouces. N.G.C. 4486, dans la Vierge. Pose: 2 heures, le 26 février 1920, au télescope de 100 pouces.

Photo: l'observatoire du Mont Wilson.

On développe enfin la plaque et on aperçoit une faible bande. Le spectre ne renferme aucune raie brillante, ce qui indique que la nébuleuse n'est pas composée de gaz incandescents. Un examen plus attentif révèle que le minuscule pinceau lumineux est traversé de raies ombrées et obscures, comme celles qu'on



FIG. 198. PARTIE SUD DE LA GRANDE NÉBULEUSE D'ANDROMÈDE.

Grâce à cette photographie, on a réussi à résoudre certaines nébulosités en étoiles. Le Dr Edwin Hubble y remarque, par exemple, un nuage stellaire, en *a*; un amas ouvert, en *b*; un amas globulaire, en *c*; une variable céphéide à son éclat maximum, en *d*. La période de cette céphéide est de 18,28 jours, avec une magnitude maximum de 18,75. Le Dr Hubble a découvert dans cette nébuleuse plusieurs autres objets du même genre, ainsi que des novæ; tous des objets bien connus dans notre système stellaire. Photographie, au télescope de 100 pouces, le 24 août 1925. Pose: 2 heures.

Photo: Duncan, à l'observatoire du Mont Wilson.

rencontre dans les spectres ordinaires d'étoiles. Pour l'astronome, c'est un indice que la nébuleuse est une vaste agglomération d'étoiles.

La fine structure de la Nébuleuse d'Andromède

Le rayon visuel—la ligne qui joint la nébuleuse à l'observateur—semble incliné de 15° sur le plan central de la nébuleuse. La photographie reproduite à la figure 193 met bien en évidence le noyau central, les bras en spirale et une multitude d'étoiles, les unes appartenant à la nébuleuse elle-même, les autres situées en avant d'elle. On remarque aussi de nombreuses crevasses, qui sont probablement des nuages de poussières cosmiques, comme les régions obscures du système galactique.

La photographie à grande échelle de la partie sud (fig. 198), où plus de détails sont enregistrés, a été obtenue au télescope de 100 pouces. Certaines plages nébulaires sont résolues en étoiles. Le Dr Edwin Hubble y a identifié un nuage d'étoiles, un amas ouvert, un amas globulaire et une variable céphéide. On a pris encore un grand nombre de photographies dans diverses régions de cette nébuleuse, avec le résultat que plusieurs amas, variables et novæ y ont été découverts.

Cette grande nébuleuse renferme donc un bon nombre d'objets semblables à ceux que nous avons rencontrés dans notre système galactique. Fait-elle alors partie de notre galaxie? Nous ne pouvons répondre avant d'avoir déterminé sa distance à la Terre, ou plutôt au système solaire.

Distance obtenue au moyen des céphéides

Comme nous l'avons déjà fait remarquer (p. 189), on a trouvé une relation très utile entre la période et la distance d'une variable céphéide. Si nous connaissons la période de la variable, nous pouvons en déduire sa distance. Or, on a découvert dans cette nébuleuse plusieurs céphéides, grâce à de nombreuses photographies prises au télescope de 100 pouces. Leurs périodes sont en majeure partie d'un mois, ce qui donne pour la distance de la Grande Nébuleuse d'Andromède environ 800 000 années-lumière et 40 000 années-lumière pour son diamètre.

Sur les photographies de cette nébuleuse, on a aussi remarqué des novæ, des variables à longue période et des étoiles des types O et B, qui semblent posséder les mêmes caractéristiques que les objets similaires de notre système galactique, mais qui sont évidemment beaucoup moins brillants. Ils sont moins brillants parce qu'ils sont plus éloignés, et une comparaison avec l'éclat d'une étoile du même type dans le système galactique nous permet de déterminer combien de fois ils sont plus éloignés que les nôtres. Nous obtenons ainsi une autre méthode pour évaluer la distance de la nébuleuse et cette distance est encore de 800 000 années-lumière.

Autres systèmes stellaires

Cette distance est si grande que forcément nous devons considérer la Nébuleuse d'Andromède comme un système stellaire séparé. On a aussi prouvé que la nébuleuse spirale M. 33 (fig. 187) était approximativement à la même distance, mais de dimensions plus modestes.



FIG. 199. LA GRANDE NUÉE DE MAGELLAN.

Les deux Nuées, qui semblent des parties détachées de la Voie Lactée, sont à environ 20° du pôle céleste austral et renferment plusieurs variables. Aucune de ces étoiles n'est cependant visible dans l'espace environnant. Les Nuées ont reçu le nom de l'explorateur portugais, Magellan (1480-1521), le premier homme à faire le tour de la Terre. Cette photographie a été prise par Schæberle, à Mina Bronces, au Chili, le 9 avril 1893.

Photo: l'observatoire Lick.

Nous commençons à nous demander si les nébuleuses spirales ne sont pas toutes des systèmes stellaires distincts, et si notre galaxie ne ressemble pas à une spirale pour les habitants de M. 31 ou de M. 33—s'ils existent. C'est possible, bien que aucune observation directe n'ait encore été faite dans ce dernier cas. On a aussi découvert des novæ dans la petite nébuleuse spirale M. 100 (fig. 146).

Par les mêmes méthodes—c'est-à-dire basées sur les observa-

tions de variables céphéides, de novæ et d'étoiles de types spéciaux—la distance de la Grande Nuée de Magellan (fig. 199) a pu être évaluée à 85 000 années-lumière, et celle de la Petite Nuée (fig. 200) à 95 000 années-lumière. Ces deux objets ne sont pas loin du pôle céleste austral, et si vous venez à visiter l'hémisphère sud, ne manquez pas de jeter un coup d'œil dans cette direction. On dirait des parties détachées de la Voie Lactée, mais leurs distances sont si grandes qu'aujourd'hui on les considère comme des galaxies séparées. Il n'est pas impossible, toutefois, qu'un jour ou l'autre, on nous



FIG. 200. LA PETITE NUÉE DE MAGELLAN ET L'AMAS GLOBULAIRE 47 DU TOUCAN.

C'est surtout par l'étude de nombreuses variables céphéides contenues dans cet amas que Mlle Leavitt, à l'observatoire de Harvard, découvrit la fameuse loi Période-Luminosité. Au moyen de cette loi, on peut déterminer la distance d'une céphéide si on connaît sa période.

Photo: l'observatoire de Harvard.

annonce avec preuves à l'appui qu'elles font partie de notre système stellaire.

Nébuleuses spirales moins brillantes

Certaines photographies à longue pose ont révélé un grand nombre de ces objets nébuleux de faibles dimensions, disséminés un peu partout dans le ciel. Leurs formes sont très variées, et, dans certains cas, il est difficile de dire s'il s'agit

de spirales, ou de nébuleuses de quelque type que ce soit, en raison de la petitesse des images qu'elles présentent. Toutefois, elles ne semblent pas avoir les caractères propres aux nébuleuses diffuses et planétaires de notre système et on présume qu'elles sont toutes des systèmes extérieurs situés à des distances énormes.

En certaines parties du ciel, on rencontre de véritables agglomérations de ces faibles nébuleuses—sorte d'amas ouverts. La Grande Nébuleuse d'Andromède, avec ses deux voisines M. 32 et N.G.C. 205 (fig. 193) forment un groupe de trois,



FIG. 201. UNE PARTIE DE L'AMAS DE NÉBULEUSES DANS LA COURONNE BORÉALE.

Environ 400 petites nébuleuses peuvent être comptées dans une région de la Couronne Boréale pas plus grande que la surface apparente de la Pleine Lune. La figure n'est qu'une partie de la région en question. Photographie prise au télescope de 100 pouces, le 20 juin 1933.

Photo: l'observatoire du Mont Wilson.

mais certains amas contiennent des centaines de nébuleuses. On a découvert environ vingt amas semblables. Celui de la Couronne Boréale contient 400 unités, toutes comprises dans une étendue pas plus grande que la Pleine Lune. La figure 201 nous montre une partie de cet amas.

Une très petite région, dans le Chariot de David, renferme un amas d'environ 300 membres; dans la constellation de la Vierge, on trouve, vers 12 h. 40 m. d'ascension droite et entre 5° et 40° de déclinaison nord (voir fig. 106, p. 145), un amas contenant au moins 2775 nébuleuses, dont chacune est probablement un système stellaire distinct.

Le calcul de ces grandes distances

Dans ces minuscules images de nébuleuses, on ne peut évidemment pas distinguer les variables céphéides et il devient impossible d'utiliser ce moyen facile de déterminer les distances. En certains cas, toutefois, on peut observer une étoile d'un type connu—par exemple une étoile de la classe O—dont l'éclat permet ensuite d'évaluer la distance. Quand cette méthode échoue, on estime la distance d'après le diamètre apparent de la nébuleuse. C'est de cette façon qu'on a donné à l'amas de la Couronne Boréale une distance d'environ 125 millions d'années-lumière. La distance du grand amas de la Vierge est plus faible; elle est d'à peu près 7 000 000 d'années-lumière, soit 2 200 000 parsecs.

Mais on trouve aussi des nébuleuses isolées encore plus faibles que celles des amas et leurs distances sont estimées à pas moins de 500 millions d'années-lumière.

Ces chiffres réellement prodigieux sont bien de nature à nous faire douter de leur exactitude. Il serait donc utile de découvrir quelque autre moyen de calculer les distances des nébuleuses, afin de vérifier l'exactitude des valeurs données. Fort heureusement, cette méthode existe aujourd'hui; elle est basée sur les données fournies par le spectrographe, qui, on l'admettra, vient immédiatement après le télescope comme instrument de recherches astronomiques.

CHAPITRE XVIII

SYSTÈMES STELLAIRES EXTERNES—VITESSES RADIALES DES NÉBULEUSES SPIRALES—L'UNIVERS

Vitesses Radiales des Nébuleuses



'EST en 1912 que le D^r V. M. Slipher, à l'observatoire Lowell, réussit pour la première fois à mesurer la vitesse radiale d'une nébuleuse extérieure à notre galaxie. Son spectrographe était muni d'une fente très large et d'un prisme à grande dispersion angulaire, mesurant 64° au sommet et fait d'un verre très dense. Le tout combiné avec un appareil photographique à court foyer donnait un grand pouvoir de résolution et réduisait considérablement le temps de pose. On entend par pouvoir de résolution cette propriété des instruments de révéler la structure fine d'une image. Le spectrographe fut donc monté sur la lunette de 24 pouces (fig. 62), et dans la nuit du 17 septembre, après une pose de 6 heures et 50 minutes, un spectrogramme très passable était obtenu.

Au cours de novembre et de décembre, l'astronome obtint trois autres clichés, et toutes ces observations réunies ont donné, comme moyenne, une vitesse d'approche, en direction de notre système solaire, de 300 kilomètres à la seconde, soit 190 milles à la seconde. Cette vitesse radiale était la plus grande découverte jusqu'alors, mais il ne pouvait y avoir de doute sur sa réalité. La figure 202 reproduit l'un de ces spectres. On y voit très bien les lignes d'absorption qui coupent le spectre un peu partout. Le spectre de la nébuleuse ressemble à celui du Soleil, excepté que ses raies sont déplacées vers le violet (vers la gauche), comme on peut le constater à l'aide des spectres de comparaison au-dessus et au-dessous du spectre principal.

Autres observations de Slipher

Slipher continua ce travail de pionnier durant plusieurs années. En 1914, il avait obtenu 13 mesures de vitesse, et vers 1925 il avait porté ce nombre à 41. En même temps, d'autres astronomes procédaient aux mêmes mesures sur quatre de ces nébuleuses et obtenaient des résultats identiques à ceux de Slipher. Les valeurs déterminées par Slipher variaient entre 190 milles par seconde comme vitesse d'approche et

1125 milles comme vitesse d'éloignement. Cette dernière est celle de N.G.C. 584, dans la Baleine (fig. 203), nébuleuse que H. D. Curtis décrivait comme suit, après l'avoir observée dans un grand télescope: «Passablement brillante, avec forte condensation centrale et noyau bien défini; longueur 2'; très allongée; pas de bras visible». Ceci veut dire qu'une formation en spirale n'a pu être décelée dans cette nébuleuse, probablement à cause de sa trop grande distance. De fait, les vitesses des nébuleuses en spirale sont la plupart du temps énormes, et seulement cinq, parmi les plus faibles, ne sont pas des vitesses d'éloignement.

Ces vitesses se trouvaient être d'un ordre de grandeur bien supérieur à celui des autres corps célestes et nécessitaient le classement à part de ces nébuleuses.

Slipher continua son travail jusqu'à ce qu'il eut observé la totalité des nébuleuses que son télescope pouvait pratiquement atteindre.

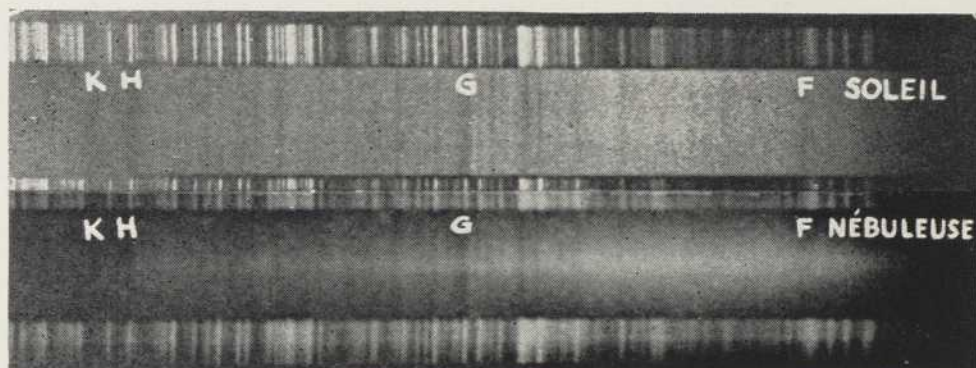


FIG. 202. SPECTRE DE LA GRANDE NÉBULEUSE D'ANDROMÈDE.

Les deux plus larges bandes centrales sont les spectres du Soleil et celui de la nébuleuse. En les examinant de près, on constate qu'ils sont du même type. À remarquer ces raies sombres de faible intensité qui coupent le spectre à différents endroits. Les principales sont désignées par les lettres F, G, H, K. De part et d'autre des spectres principaux, on a photographié le spectre à raies brillantes de la vapeur de fer. Les deux photographies sont disposées de telle façon que les raies du fer coïncident exactement et forment une ligne continue. Comparons maintenant la position des raies sombres dans le spectre solaire et dans celui de la nébuleuse. On constate que les raies du spectre inférieur sont déplacées vers la gauche—c'est-à-dire, vers le bleu—et les mesures permettent d'évaluer à 190 milles par seconde la vitesse d'approche de la nébuleuse vers le Soleil.

Photo: V. M. Slipher, à l'observatoire Lowell.

Les grands télescopes du Mont Wilson

Au cours de 1918, le télescope de 100 pouces du Mont Wilson était mis en opération et on s'en servit dès lors pour l'étude des problèmes que les autres instruments s'étaient avérés impuissants à résoudre. On l'utilisa, par exemple, dans la photographie directe d'objets de très faible luminosité, puis, en 1920, en combinaison avec l'interféromètre de Michelson pour

la mesure des diamètres angulaires d'étoiles, d'où l'on a pu, connaissant la distance, déduire le diamètre réel de l'étoile. Tous ces travaux ont fait époque dans l'histoire de l'astronomie. (Voir fig. 204.)

C'est en 1928 qu'on commença à prendre des spectrogrammes avec le 100-pouces et le 60-pouces en vue de déterminer les vitesses radiales des nébuleuses, et, dès 1935, on avait déjà obtenu 150 nouvelles déterminations. Quelques-unes d'entre elles étaient encore plus surprenantes que celles de Slipher. Dans ces recherches, on employait un spectrographe et une chambre photographique d'un rapport d'ouverture



FIG. 203. LA NÉBULEUSE SPIRALE N.G.C. 584, DANS LA BALEINE.

La nébuleuse est près du centre de la figure. Sa vitesse d'éloignement est de 1125 milles à la seconde. Deux autres nébuleuses plus faibles sont visibles de chaque côté. Photographie prise au télescope de 42 pouces.

Photo: Lampland, à l'observatoire Lowell.

équivalant à $f/0,6$ —ce qui veut dire que la distance focale de l'appareil était juste un peu plus grande que la moitié du diamètre de la lentille. Ceci augmentait la vitesse du spectrographe, tout en fournissant des spectres encore très nets.

Recherches de Humason

Ces travaux difficiles et laborieux étaient l'œuvre de Milton L. Humason. Il prit d'abord les spectres de quelques nébuleuses brillantes dont les vitesses étaient déjà connues, afin de

mettre au point son équipement et ses méthodes. En même temps, il acquérait la technique qui lui était indispensable. Puis le télescope fut tourné successivement sur les différentes nébuleuses réunies en amas dans Persée (fig. 205). Les résul-

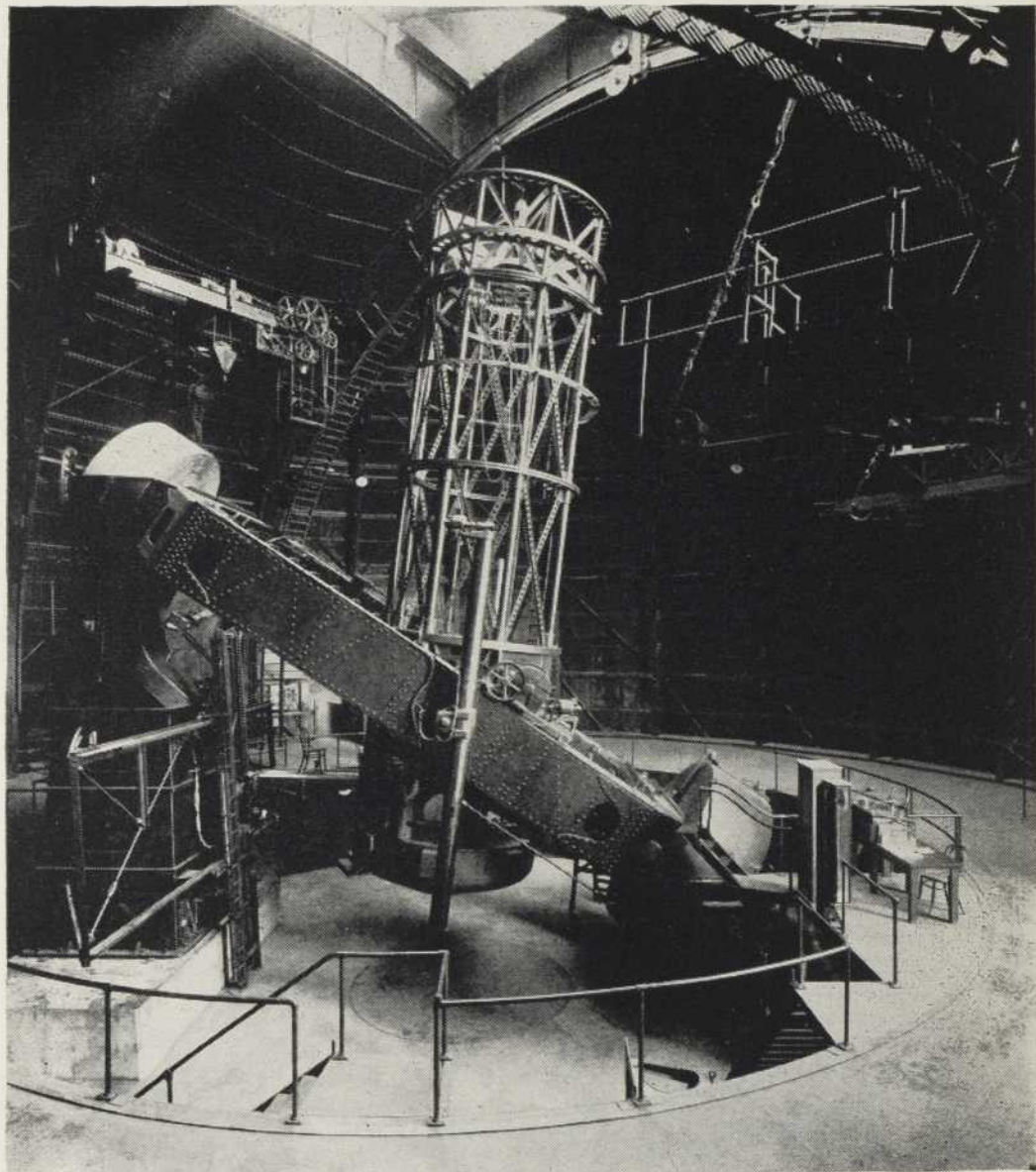


FIG. 204. LE TÉLESCOPE DE 100 POUCHES DE L'OBSERVATOIRE DU MONT WILSON.

Le miroir de ce télescope mesure 100 pouces ($2^m,57$) de diamètre utile. On l'a taillé et poli à Pasadena, où sa monture a également été construite. Le télescope est installé sur le Mont Wilson, à une altitude de 5800 pieds (1800 m) au-dessus du niveau de la mer.

Photo: l'observatoire du Mont Wilson.

tats ont donné, comme moyenne, une vitesse d'éloignement de 2400 milles par seconde! C'était plus que le double des vitesses obtenues jusqu'alors. Puis on observa des amas de

plus en plus faibles et les vitesses augmentaient encore. L'amas de la Chevelure de Bérénice a donné 4700; celui de la Grande Ourse (le no 1), 9400; celui des Gémeaux, 15 000; celui du Bouvier, 24 500; et le no 2 de la Grande Ourse, 26 000 milles à la seconde, ce qui est déjà le septième de la vitesse de la lumière!

Le spectre d'une nébuleuse, ou de tout autre objet céleste, s'obtient en dirigeant sur elle un télescope muni d'un spectro-



FIG. 205. UNE PARTIE DE L'AMAS DE NÉBULEUSES, DANS PERSÉE.

Cet amas, découvert par Wolf, en 1905, compte environ 500 unités. Il est situé à faible distance à l'est d'Algol. La majorité des objets visibles sur cette photographie sont des nébuleuses.

Photo: l'observatoire du Mont Wilson.

graphe. La lumière qui vient de la nébuleuse descend dans le tube du télescope et tombe sur le miroir, qui en forme une image au foyer. D'ordinaire, l'observateur voit cette image et il peut la faire tomber sur la fente du spectroscopie en déplaçant convenablement l'instrument. La lumière passe ensuite dans le collimateur (fig. 128, p. 173), qui rend parallèles les rayons issus de la fente, et finalement à travers le prisme et dans la chambre photographique, dont la lentille fait converger le spectre sur la plaque sensible.

Il arrive, cependant, comme dans le cas des deux derniers amas mentionnés, que l'image produite par le grand télescope

n'est pas assez brillante pour être vue par l'observateur, incapable alors de placer l'image sur la fente du spectroscope. Dans un tel cas, l'astronome doit faire appel à toute son ingéniosité et à son expérience du télescope; et voici comment il a contourné la difficulté. Sur une photographie directe de l'amas (fig. 206), il a d'abord repéré une étoile brillante et mesuré la distance qui la sépare de la nébuleuse à étudier. Cette étoile est ensuite placée dans le champ de vision du télescope et ajustée exactement sur la fente du spectroscope. Grâce aux

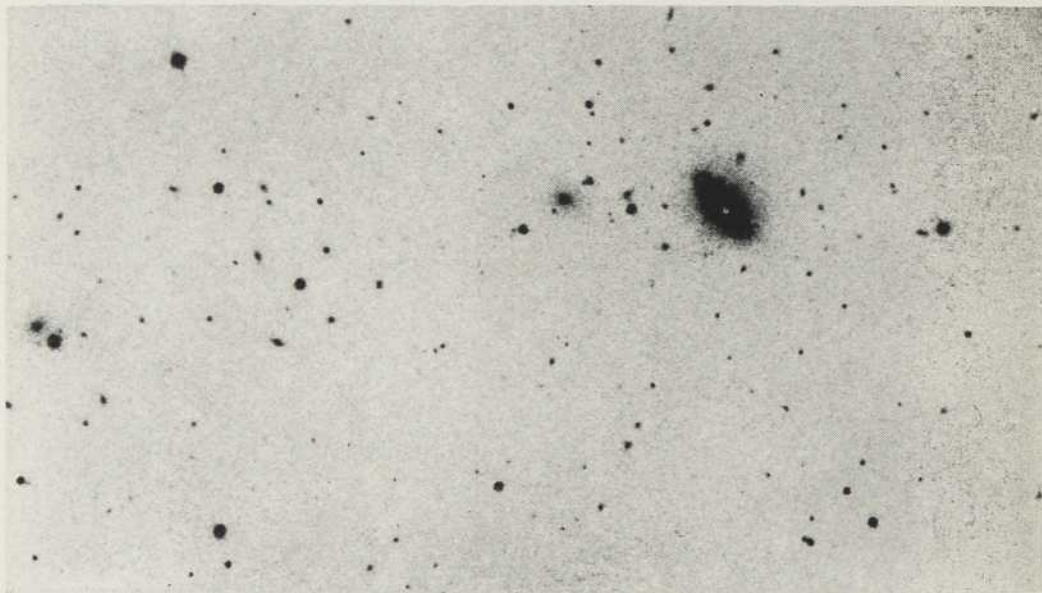


FIG. 206. AMAS DE FAIBLES NÉBULEUSES, DANS LE BOUVIER.

Un négatif comme celui-ci permet de voir plus facilement des objets de faible luminosité. La région du ciel qu'il représente couvrirait environ un douzième de la Pleine Lune. La grande nébuleuse n'appartient pas à l'amas et elle est beaucoup plus près de nous. Elle se trouve tout simplement entre nous et l'amas. La distance de cet amas est estimée à 240 millions d'années-lumière. Pour plus de renseignements, voir *The Realm of the Nebulae* et *The Observational Approach to Cosmology*, par Edwin Hubble, qui a gracieusement permis la reproduction de la photographie ci-dessus et de nombre d'autres.

Photo: l'observatoire du Mont Wilson.

cercles gradués, le télescope est ensuite déplacé de l'angle requis pour amener la nébuleuse sur la fente du spectroscope. Et une longue pose commence. Ces nébuleuses très faibles sont juste à la limite atteinte par le télescope de 100 pouces. Seul le 200 pouces permettra d'aller plus loin.

Spectrogrammes de nébuleuses

La figure 207 reproduit une série de spectrogrammes de nébuleuses en même temps que leurs photographies directes. Dans le spectre des nébuleuses, on ne voit à peu près rien, sauf les raies bien connues H et K du calcium. Ce sont ces deux

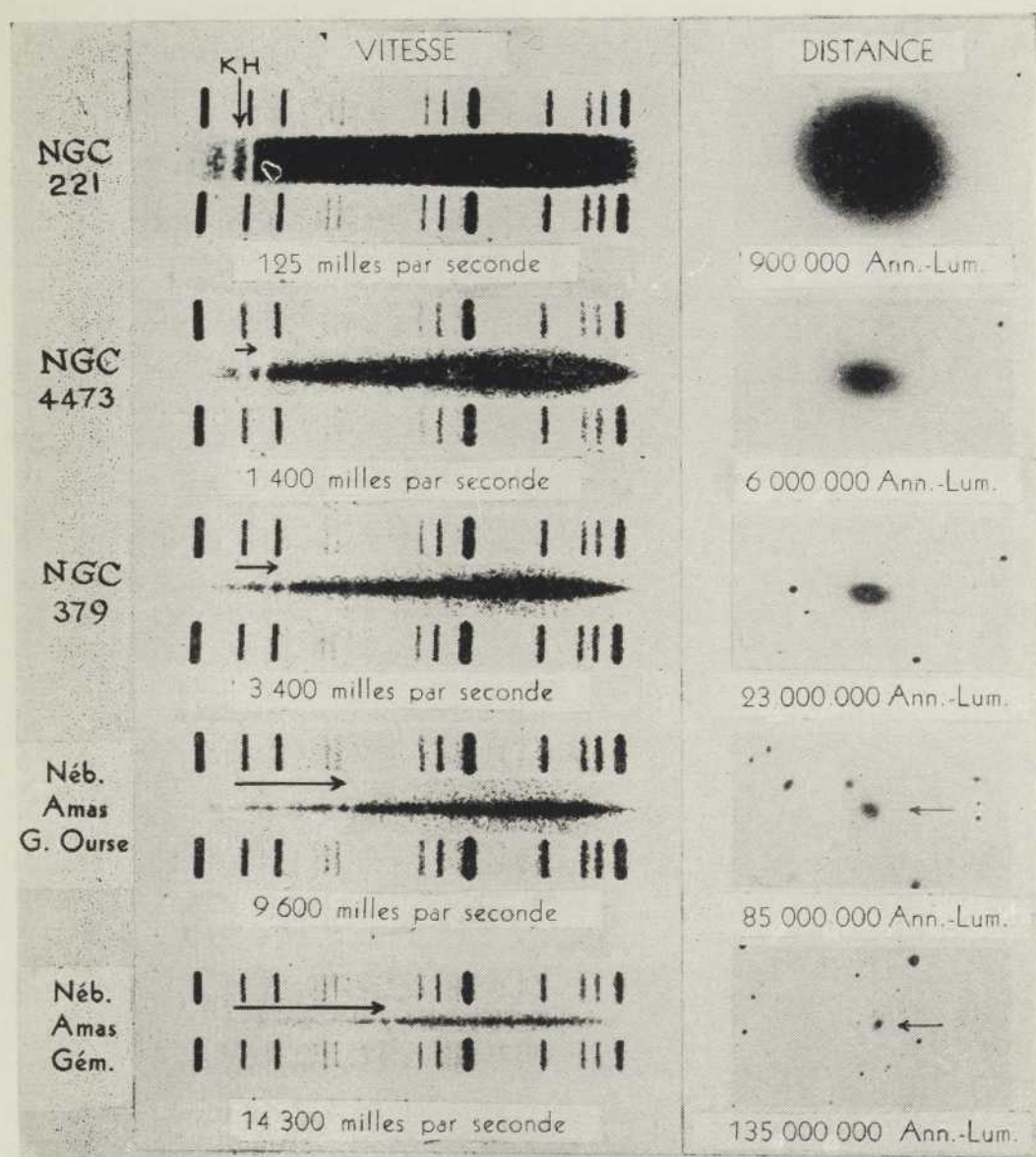


FIG. 207. LA RELATION VITESSE-DISTANCE CHEZ LES NÉBULEUSES EXTERNES (HUBBLE).

La flèche au-dessus de chaque spectre indique l'emplacement des raies H et K du calcium; la longueur des flèches horizontales est proportionnelle au déplacement des raies vers le rouge. Le spectre de comparaison est celui de l'hélium. Les photographies directes, à droite (toutes à la même échelle et prises avec un temps de pose à peu près égal) mettent en évidence la diminution de la grandeur et de l'éclat des nébuleuses à mesure qu'augmente leur vitesse, ou le déplacement de leurs raies vers le rouge. La nébuleuse N.G.C. 4473 fait partie de l'amas de la Vierge, et N.G.C. 379 est un membre du groupe de nébuleuses des Poissons. Les photographies sont des négatifs. En réalité, les raies spectrales des nébuleuses sont obscures, tandis que les raies de comparaison et les photographies directes des nébuleuses sont brillantes.

Courtoisie de l'observatoire du Mont Wilson.

raies que l'on remarque à l'extrémité du spectre solaire, dans le violet (fig. 127). On peut facilement trouver la position de ces raies dans les spectres des nébuleuses et l'on constate

de forts *déplacements vers le rouge*. Ces déplacements sont d'autant plus considérables que la nébuleuse est plus faible d'éclat.

Déplacements vers le rouge et vitesses

Lorsqu'on réfléchit quelque peu aux vitesses énormes des nébuleuses, on se prend à douter de leur existence réelle. La plus grande vitesse d'une planète¹ sur son orbite est de 35 milles par seconde, et celle de la Terre, de $18\frac{1}{2}$ milles par seconde. Le spectre d'une planète montre un déplacement des raies, et la vitesse calculée s'accorde bien avec celle qu'on détermine d'après sa révolution autour du Soleil. Pour les étoiles, les vitesses d'approche ou d'éloignement, mesurées encore par le déplacement des raies spectrales, sont de l'ordre de 50 milles par seconde. Dans la direction perpendiculaire à la ligne de vision, les vitesses des étoiles, calculées d'après leur mouvement propre et leur distance, sont à peu près de même grandeur. C'est bien là ce à quoi nous devons nous attendre. Le principe de Doppler, sur lequel les déterminations de vitesses radiales sont fondées, a beaucoup d'autres applications, et tous les astronomes et les physiciens sont d'accord sur sa validité.

Mais que dire d'une vitesse de 25 000 milles à la seconde et d'une distance de 200 000 000 d'années-lumière ?

Premièrement, on ne doit pas rejeter un fait simplement parce qu'il nous étonne. Nous avons appris à accepter comme vraies bien des notions mises de côté, il n'y a pas si longtemps. Les grandeurs, les masses et les vitesses que les physiciens ont constatées dans leurs recherches sur l'atome, échappent autant à notre entendement que les vitesses attribuées aux corps célestes.

Deuxièmement, plusieurs chercheurs ont proposé des théories nouvelles pour expliquer ces chiffres extraordinaires, mais sans succès. Si ce déplacement des raies spectrales vers le rouge n'est pas dû aux vitesses, il faudra l'expliquer par une loi ou un principe physique dont on n'a encore aucune idée.

Déplacements vers le rouge et distances

Examinons de nouveau les spectres de la figure 207. Il est évident que plus la nébuleuse est faible, plus le déplacement des raies est grand. Or, comme le montrent les photographies directes, la raison de cette diminution d'éclat est dans l'augmentation de la distance. Il semble donc que la distance soit proportionnelle au déplacement.

¹ La vitesse de Mercure varie entre 22 et 35 milles à la seconde.

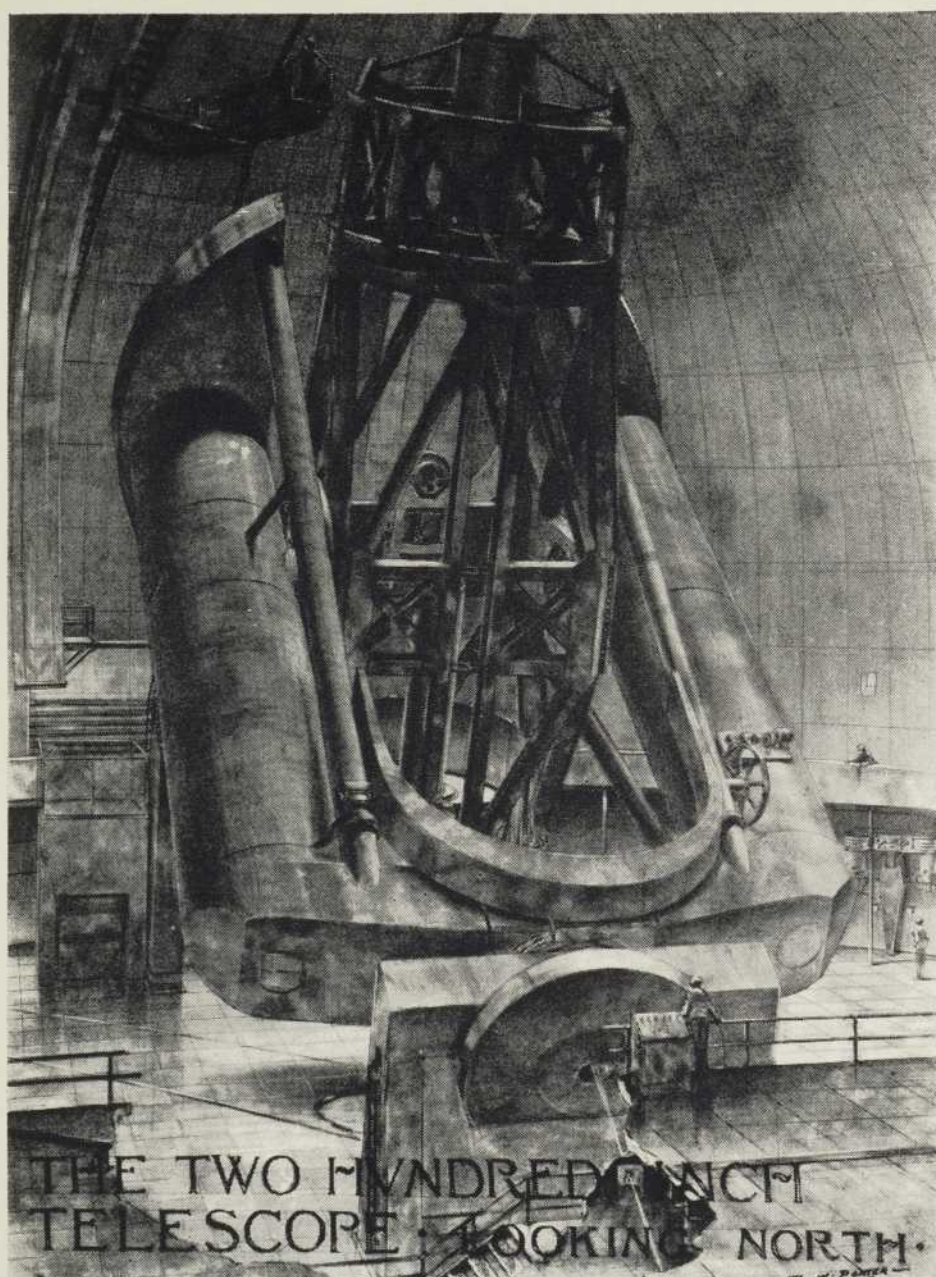


FIG. 208. LE TÉLESCOPE DE 200 POUCES DU MONT PALOMAR.

Ce puissant instrument a été construit sous les auspices du *California Institute of Technology*, à Pasadena. La figure montre une vue du télescope face au nord. Avec ce genre de monture, le télescope peut être dirigé exactement vers le pôle céleste. On se rend compte facilement des dimensions énormes du télescope par comparaison avec les hommes qu'on aperçoit, dessinés à la même échelle. Cette figure est une reproduction d'un dessin exécuté par R. W. Porter, qui a travaillé aux plans du télescope géant pendant plusieurs années.

Photo: l'observatoire du Mont Wilson.

On se rappelle que les distances des nébuleuses les plus proches sont déterminées à l'aide des variables céphéides et des

autres types spéciaux d'étoiles qui s'y trouvent. On a calculé aussi le déplacement des raies spectrales dans ces cas, et l'on est ainsi parvenu à établir une relation entre la distance de l'objet céleste et le déplacement de ses raies. Grâce à cette relation, la mesure des distances a pu être portée à des millions d'années-lumière. Le télescope de 100 pouces a atteint des systèmes stellaires à plus de 200 millions d'années-lumière,

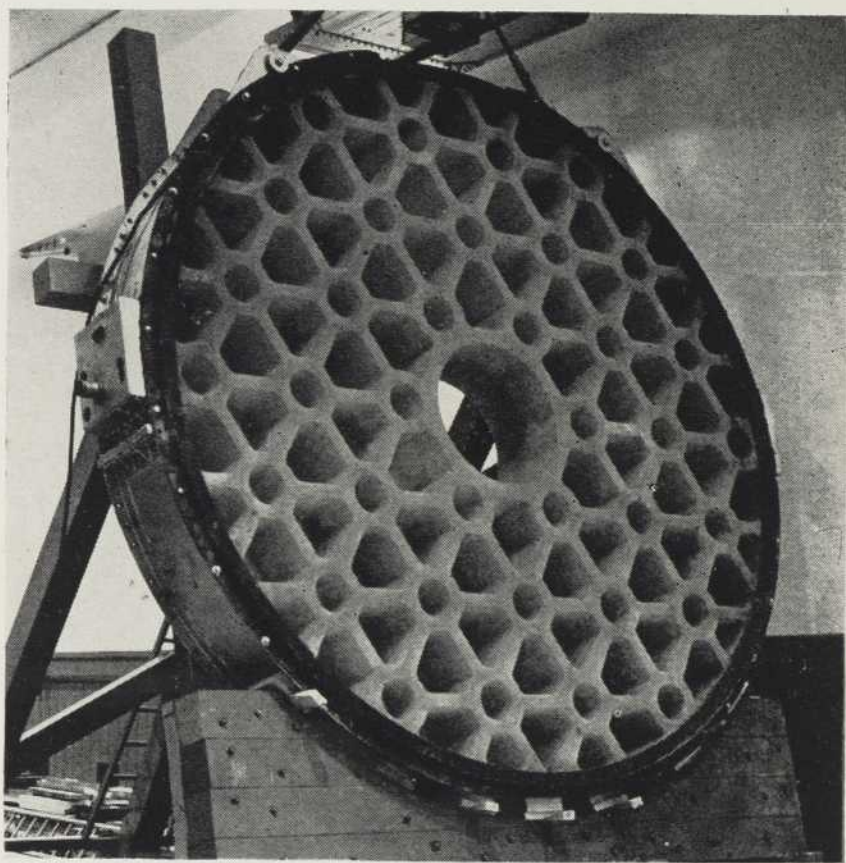


FIG. 209. LE MIROIR DU TÉLESCOPE DE 200 POUCES.

Le disque mesure un peu plus de 200 pouces (5^m, 14) de diamètre et 25 pouces d'épaisseur; il pèse 20 tonnes. Le dos du miroir est évidé de façon à réduire son poids et à permettre à la masse de verre de répondre plus vite aux changements de température de l'air ambiant. Le trou central, qui mesure 40 pouces de diamètre, a dû être rempli avec un bouchon de verre durant la taille et le polissage. Le matériel de ce disque est une variété de verre «Pyrex» à coefficient de dilatation thermique très faible.

Photo: O. K. Harter, Pasadena.

mais pour sonder plus loin encore, il a fallu un télescope plus puissant. C'est spécialement dans ce but que le nouveau télescope de 200 pouces a été installé au Mont Palomar, dans le sud de la Californie. On s'attend à ce qu'il pénètre dans l'espace deux fois plus loin que le 100-pouces. La figure 208 est un dessin de ce télescope et la figure 209 une photographie du miroir vu de dos.

L'Univers en expansion

Quelques nébuleuses, dont les vitesses sont faibles comparées à celles qu'on rencontre d'ordinaire chez ces corps célestes, semblent se déplacer en direction du système solaire. Pourquoi s'approchent-elles de nous quand tant d'autres s'éloignent ?

Le Soleil est un membre de notre système stellaire et chaque système stellaire forme un tout distinct qui possède son mouvement propre. On est d'opinion que si l'on pouvait tenir compte de ce mouvement propre, les vitesses radiales indiqueraient toutes un mouvement de récession—autrement dit, les différents systèmes stellaires se sépareraient tous les uns des autres et l'univers serait en expansion.

Cette théorie assez étonnante est tout de même basée, comme on voit, sur des faits observés.

De plus, en 1915, Einstein a publié sa fameuse théorie de la relativité générale, qui n'est en somme qu'une série d'équations mathématiques difficiles à comprendre. Ces équations ont été retournées dans tous les sens et l'on s'est aperçu que l'une d'elles, interprétée de façon adéquate, rendait parfaitement compte de la séparation des objets ou systèmes placés à de grandes distances. Bien plus, elle expliquait encore pourquoi les vitesses d'éloignement augmentent avec la distance. Mais c'est là un sujet très ardu, dont il faut bien abandonner ici la discussion.

Combien existe-t-il de systèmes stellaires ?

Il serait intéressant de savoir combien il existe de ces systèmes stellaires, quelquefois appelés «univers-îles.» Comment répondre à cette question de la plus haute importance ?

Le télescope de 100 pouces s'est montré utile en cette circonstance. Afin de l'employer à son maximum de rendement, on a fait usage d'émulsions d'une sensibilité accrue et l'on a exposé le plus longtemps possible. La figure 210 nous montre le résultat d'un de ces essais. On y remarque une quantité d'objets qui sont considérés comme des nébuleuses extérieures, et dont le nombre est comparable à celui des étoiles. De là, il faut conclure que ces nébuleuses—ou, si l'on préfère, ces systèmes stellaires—se comptent par centaines de millions. La distance de ces faibles nébuleuses est estimée à 500 millions d'années-lumière.

L'Univers

Revenons maintenant en arrière et essayons, avec les notions que nous avons apprises, de nous faire une idée de l'univers tel que l'astronomie moderne le conçoit.

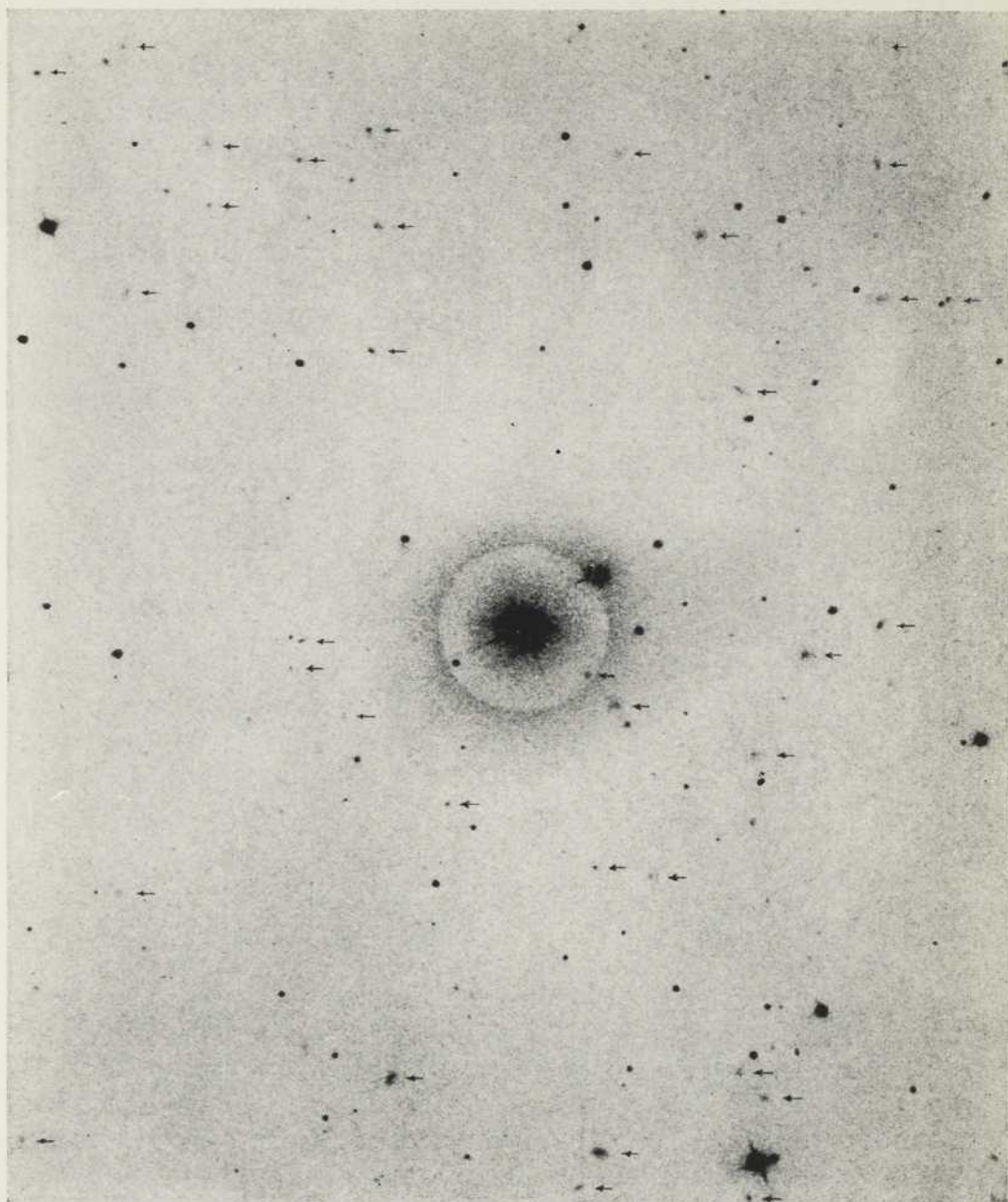


FIG. 210. LES PROFONDEURS DE L'ESPACE.

Cette photographie a été obtenue au télescope de 100 pouces, avec un temps de pose de deux heures. Le cliché est un négatif. On y remarque des étoiles et des nébuleuses; plusieurs de ces dernières sont marquées d'une flèche. Les plus faibles sont de magnitude 21 environ, c'est-à-dire que leur éclat est le un-millionième de celui d'une étoile de 6e magnitude, la plus faible visible à l'œil nu. On croit que ces objets, peu lumineux à cause de leur distance, sont de vrais systèmes stellaires. La distance moyenne, d'après Hubble, l'auteur de cette photographie, est de 400 millions d'années-lumière. On remarquera que, dans les profondeurs de l'espace atteintes par le télescope de 100 pouces, les nébuleuses sont presque aussi nombreuses que les étoiles. En effet, à mesure que la distance augmente, on voit diminuer le nombre des étoiles, pendant que celui des nébuleuses augmente. L'étoile au centre, fortement surexposée, appartient à la Couronne Boréale et est de magnitude 9.

Photo: E. Hubble, à l'observatoire du Mont Wilson.

Nous vivons sur la Terre, globe d'environ 8000 milles de diamètre, en rotation sur un axe et en révolution autour du Soleil, comme les autres membres de la famille des planètes.

Le Soleil est une immense sphère, dont la température de surface est de 11 000° F. et la température au centre d'environ 70 millions de degrés. Il irradie dans toutes les directions une quantité énorme de lumière et de chaleur, nécessaires à notre existence même. Ce n'est qu'un soleil parmi les millions qui constituent notre système stellaire. Quelques-uns de ces soleils sont associés par couple ou par combinaisons multiples, les uns tournant autour des autres, ou encore ils sont groupés en amas de différentes formes; tous sont incontestablement liés entre eux et régis par la loi de la gravitation. En outre, à l'intérieur de notre système stellaire, on trouve des nébuleuses diffuses de formes irrégulières et aussi des grandes nuées de fines poussières dont la substance absorbe complètement la lumière des étoiles, ou seulement l'affaiblit.

Plongeant nos regards encore plus loin, nous voyons par l'imagination des millions de systèmes stellaires, les uns groupés en petites familles, les autres en amas, enfin plusieurs solitaires. Ils se présentent sous les formes les plus variées et peuplent l'immensité de l'espace.

De plus, le spectroscopie nous a clairement démontré que tout ce vaste univers est constitué des mêmes éléments que nous manipulons dans nos laboratoires terrestres. Partout, c'est la même unité merveilleuse qu'on rencontre.

Les progrès de la science, en ces dernières années, ont changé considérablement nos vieilles conceptions de la grandeur de l'univers. Plus ses limites ont reculé, plus sa sublime majesté et son mystère accablant ont grandi à nos yeux. Ceux qui se sont plongés un moment dans l'étude de l'univers ne peuvent cacher leurs sentiments de révérence envers l'Être Suprême, dont ils devinent la présence en toutes choses.

Tel est Notre Univers Merveilleux. «Les cieux proclament la gloire de Dieu; et le firmament est l'œuvre de Ses mains».



FIG. 216. L'OBSERVATOIRE DE LA TOUR MARTELLO, À QUÉBEC.

Le Centre de Québec de la Société Royale d'Astronomie du Canada a ses quartiers généraux temporaires dans cette tour des Plaines d'Abraham, depuis le 2 juillet 1940. En dix ans, l'observatoire a accueilli plus de quatorze mille visiteurs. Le site est l'un des plus favorables dans l'immense parc des Champs de Bataille Nationaux. On projette d'ériger un observatoire permanent non loin de cette tour.

Photo: Nadeau.

APPENDICE

QUELQUES RENSEIGNEMENTS UTILES

I. LE SYSTÈME SOLAIRE

1. LE SOLEIL ET LA LUNE

NOM	DIAMÈTRE EN MILLES	MASSE (TERRE=1)	VOLUME (TERRE=1)	DENSITÉ (EAU=1)	ROTATION SUR L'AXE	GRAVITÉ À LA SURFACE
Soleil...	866 000	332 000	1 300 000	1,39	24 $\frac{2}{3}$ jrs	27
Lune...	2160	$\frac{1}{81,5}$	$\frac{1}{49}$	3,39 ¹	27 $\frac{1}{3}$ jrs	$\frac{1}{6}$

2. LES PLANÈTES

NOM	DISTANCE MOYENNE EN MILLIONS DE MILLES ²	PÉRIODE DE RÉVOLUTION	VI- TESSE MOY- ENNE SUR L'OR- BITE, EN MILLES PAR SEC.	DIAMÈTRES EN MILLES	MASSE (TERRE = 1)	ROTATION SUR L'AXE
Mercure	36	88 jrs	30	3100	$\frac{1}{24}$	88 jrs
Vénus...	67	225 "	22	7700	0,81	Indéterminée
La Terre	93	365 $\frac{1}{4}$ "	18 $\frac{1}{2}$	7918	1,00	23 h. 56 m. 4,09 s. ³
Mars. . .	141 $\frac{1}{2}$	687 "	15	4215	0,11	24 h. 37 m. 22,6 s.
Jupiter .	483	11,86 ans	8	86 720	317	9 h. 55 m.
Saturne .	886	29,5 "	6	71 500	95	10 h. 14 m.
Uranus..	1782	84 "	4 $\frac{1}{4}$	32 400	14,6	10 $\frac{3}{4}$ h.
Neptune	2793	164,8 "	3 $\frac{2}{3}$	31 000	17,2	19 h. (?)
Pluton..	3666	247,7 "	3	4000(?)	0,1 (?)	(?)

¹ Densité de la Terre par rapport à l'eau: 5,5.

² La distance moyenne d'une planète est la moitié du plus grand diamètre de son orbite elliptique. Pour convertir les milles en kilomètres, on multiplie par le facteur 1,609.

³ La période vraie de la rotation de la Terre n'est pas le jour ordinaire qui est l'intervalle d'un midi à l'autre. Le Soleil se déplace (mouvement apparent) parmi les étoiles; de même, on doit déterminer la rotation de la Terre par rapport aux étoiles.

3. NOMBRE DE SATELLITES POUR CHAQUE PLANÈTE

PLANÈTE	NOMBRE DE SATELLITES	PLANÈTE	NOMBRE DE SATELLITES
Mercure.....	0	Saturne.....	9
Vénus.....	0	Uranus.....	5
Terre.....	1	Neptune.....	2
Mars.....	2	Pluton.....	0
Jupiter ¹	12		

¹ Le 12^e a été découvert sur des clichés pris au 100-pouces du Mont Wilson par le D^r S.S. Nicholson, le 19 sept. 1951.

II. LES ÉTOILES

1. LES VINGT ÉTOILES LES PLUS BRILLANTES

Par ordre de grandeur

NOM DE L'ÉTOILE	MAGNITUDE	VITESSE EN MILLES PAR SECONDE	DISTANCE EN ANNÉES- LUMIÈRE	LUMINOSITÉ (SOLEIL=1)
α Grand Chien (Sirius).....	-1,58	12	8	26
α Carène (Canopus) (S).....	-0,86	18	650	80 000
α Centaure (S).....	0,06	20	4	1,3
α Lyre (Véga).....	0,14	12	23	50
α Cocher (Capella).....	0,21	26	43	150
α Bouvier (Arcturus).....	0,24	84	38	100
β Orion (Rigel).....	0,34	14	543	17 000
α Petit Chien (Procyon).....	0,48	12	10	6
α Éridan (Achernar) (S).....	0,60	6	71	200
β Centaure (S).....	0,86	11	125	3100
α Aigle (Altaïr).....	0,89	22	18	9
α Orion (Bételgeuse).....	0,92	14	272	1200
α Croix (S).....	1,05	11	210	1650
α Taureau (Aldébaran).....	1,06	36	54	90
β Gémeaux (Pollux).....	1,21	18	32	28
α Vierge (Épi).....	1,21	17	181	1500
α Scorpion (Antarès).....	1,22	11	172	3400
α Poisson Austral (Fomalhaut)	1,29	9	28	13
α Cygne (Deneb).....	1,33	12	1630	10 000
α Lion (Régulus).....	1,34	11	71	70

Ces vingt étoiles sont ordinairement considérées comme «étoiles de première grandeur», bien qu'en réalité elles soient d'éclats assez différents.

Dans la dernière colonne se trouve l'éclat relatif de l'étoile par rapport au Soleil, les deux étant supposés placés à la même distance de l'observateur.

La lettre S indique que l'étoile est visible dans l'hémisphère sud.

2. DIAMÈTRES STELLAIRES QUI ONT PU ÊTRE MESURÉS

ÉTOILE	DIAMÈTRE EN MILLES	ÉTOILE	DIAMÈTRE EN MILLES
α Bouvier (Arcturus)...	23 000 000	β Pégase (Scheat)	35 000 000
α Taureau (Aldébaran)...	33 000 000	α Hercule (Ras Algethi)...	350 000 000
α Orion (Bételgeuse)...	240 000 000	$\circ$ Baleine (Mira).....	260 000 000
α Scorpion (Antarès)...	400 000 000		

3. TEMPÉRATURES DE SURFACE DES ÉTOILES

COULEUR DE L'ÉTOILE ET EXEMPLE	TEMPÉRA- TURE (C)	COULEUR DE L'ÉTOILE ET EXEMPLE	TEMPÉRA- TURE (C)
Blanc-bleu (Bellatrix) ..	23 000°	Jaune (Capella)	5 600°
Blanc (Sirius)	11 000°	Orange (Arcturus)	4 200°
Blanc jaunâtre (Cano- pus)	7 400°	Rouge (Bételgeuse)	3 000°
		Rouge foncé (étoiles fai- bles)	2 600°

La température est donnée en degrés centigrades. Pour obtenir les degrés Fahrenheit, on multiplie par le facteur 1,8. La température est déterminée d'après le spectre de l'étoile, non pas simplement par sa couleur. La température au centre de l'étoile est beaucoup plus élevée.

4. NOMBRE DES ÉTOILES DE CHAQUE MAGNITUDE

MAGNITUDE	NOMBRE	MAGNITUDE	NOMBRE
1	20	7	15 500
2	57	8	45 000
3	189	9	123 000
4	514	10	330 000
5	1820	15	27 000 000
6	5500	20	550 000 000

Ces chiffres peuvent varier suivant les observateurs.

5. VITESSE DE LA LUMIÈRE

La lumière parcourt en 1 seconde 186 000 (plus exactement 186 271) milles, ou 300 000 km.

“ “ “ “ 1 minute 11 000 000 milles (approximativement).

“ “ “ “ 1 année 6 000 000 000 000 milles (approximativement).

Donc, 1 année-lumière = 6 millions de millions de milles ou
9,6 “ “ “ “ kilomètres.

6. LES DIX ÉTOILES LES PLUS PROCHES

NOM	A.R.		DÉCL.		<i>m</i>		μ	π	A.L.	LUMINO- SITÉ
	h.	m.	°	'			"	"		
{ α Centaure...	14	33	- 60	25	0,3	1,7	3,7	0,76	4,3	1,10
} Prox. Cent. . .	14	23	- 62	15	11,0		3,8	,76	4,3	,00006
Barnard.....	17	53	+ 4	25	9,7		10,3	,54	6,0	,0004
Wolf 359.....	10	52	+ 7	38	13,5		4,8	,41	7,9	,00002
BD+36° 2147.	10	58	+36	38	7,6		4,8	,38	8,6	,0052
Sirius.....	6	41	-16	35	-1,6	8,4	1,3	,37	8,7	25,1
Innes.....	11	12	-57	02	12,5		2,7	,34	9,6	,0004
Ross 248.....	23	36	+43		13,8		1,8	,32	10,2	,0002
ϵ Éridan.....	3	28	- 9	48	3,8		1,0	,30	10,7	,28
Procyon.....	7	34	+ 5	29	0,5	12,5	1,2	,30	10,8	5,8
61 du Cygne..	21	02	+38	15	5,6	6,3	5,3	,30	10,8	,08

Dans la première colonne se trouve le nom de l'étoile; dans la seconde et la troisième, sa position. Ensuite nous avons *m*, sa magnitude; μ , son mouvement propre par année; π , sa parallaxe; A.L., sa distance en années-lumière; luminosité, son éclat comparé au Soleil.

Lorsque nous donnons deux valeurs pour *m*, l'étoile est double, et ce sont les magnitudes de chaque composante.

À remarquer que ces étoiles, bien qu'elles soient les plus rapprochées de nous, sont pour la plupart très faibles. Ce sont des «naines».

7. LES DIX PLUS BRILLANTES ÉTOILES DOUBLES

NOM	A.R.		DÉCL.		MAGNITUDES		DISTANCE	REMARQUES
	h.	m.	°	'			"	
γ Androm.	1	58	+41	51	2,3	5,4	10	Orange et bleu-vert.
δ Gémeaux	7	14	+22	10	3,5	8,0	7	Blanc et rouge.
α Gémeaux	7	28	+32	6	2,0	2,8	4	Binaire; période 340 a.
γ Lion....	10	14	+20	21	2,6	3,8	4	Binaire; longue période
γ Vierge...	12	37	- 0	54	3,6	3,7	6	Binaire; période 178 ans, couple magnif.
α C. de Ch.	12	51	+38	51	2,9	5,4	20	—
ζ Gr. Ourse	13	20	+55	27	2,4	4,0	14	Mizar (voir p. 196).
α Hercule..	17	10	+14	30	var. 3	5,4	5	Orange et bleu.
ϵ Lyre....	18	41	+39	32	5,1	6,0;	3—2	Double-double (voir p. 201).
β Cygne...	19	27	+27	45	3,2	5,4	34	Orange et bleu.

Un troisième corps est présent dans le système de γ d'Andromède et également dans celui d' α des Gémeaux; ce dernier est rouge.

8. LES DIX ÉTOILES VARIABLES LES PLUS BRILLANTES

NOM	A.R.	DÉCL.	MAGNI- TUDES	PÉRIODE	DÉCOUVREURS
	h. m.	° ' "	Max. Min.	j. h. m.	
η Aigle.....	19 47	+ 0 45	3,7 4,4	7 42 22	Pigott, 1784.
δ Céphée.....	22 25	+57 54	3,6 4,2	5 8 48	Goodricke, 1784.
σ Baleine (Mira)	2 14	- 3 20	2,0 10,1	331,8 j.	Fabricius, 1596.
ζ Gémeaux.....	6 58	+20 43	3,7 4,1	10 3 41	Schmidt, 1865.
η Gémeaux.....	6 9	+22 32	3,3 4,2	235 13 54	Schmidt, 1865.
α Hercule.....	17 10	+14 30	3,1 3,9	Irrégulière	W. Herschel, 1795.
β Lyre.....	18 46	+33 15	3,4 4,3	12 22 18	Goodricke, 1784.
α Orion (Bételg.)	5 50	+ 7 23	0,2 1,2	Irrégulière	J. Herschel, 1840.
β Persée (Algol)	3 2	+40 34	2,3 3,5	2 20 49	Montanari, 1669.
λ Taureau.....	3 55	+12 12	3,8 4,1	3 22 52	Baxendell, 1848.

Dans la première colonne, on a le nom de l'étoile; dans la seconde et la troisième, sa position; dans la quatrième, sa magnitude, au maximum et au minimum d'éclat; dans la cinquième, sa période; dans la sixième, le nom du découvreur ainsi que la date.

9. LES DIX PLUS BRILLANTES NOVÆ DÉCOUVERTES

1572. Dans Cassiopée, découverte par Tycho Brahé. Aussi brillante que Vénus; visible en plein jour; visible durant dix-huit mois.

1604. Dans Ophiuchus, découverte par Képler. Aussi brillante que Jupiter; visible dix-huit mois.

1866. Dans la Couronne. A atteint la magnitude 2. La première nova observée au spectroscope.

1885. Dans la Grande Nébuleuse d'Andromède; a atteint la magnitude 7,2.

1891. Dans le Cocher. A atteint la magnitude 4,2.

1901. Dans Persée. A atteint la magnitude 0,1; visible à l'œil nu pendant trois mois.

1912. Dans les Gémeaux. A atteint la magnitude 3,6.

1918. Dans l'Aigle. A atteint la magnitude -1,1; seule Sirius était plus brillante qu'elle.

1920. Dans le Cygne. A atteint la magnitude 1,8; un peu plus brillante que la Polaire.

1925. Dans le Chevalet du Peintre. A atteint la magnitude 1,2; un peu plus brillante que l'Épi.

1934. Dans Hercule. A atteint la magnitude 1,5.

L'ALPHABET GREC

A, α , alpha
B, β , bêta
Γ, γ , gamma
Δ, δ , delta
E, ϵ , epsilon
Z, ζ , dzêta
H, η , êta
Θ, θ , thêta

I, ι , iota
K, κ , kappa
Λ, λ , lambda
M, μ , mu
N, ν , nu
Ξ, ξ , ksi
O, $\omicron$, omicron
Π, π , pi

P, ρ , rô
Σ, σ , s, sigma
T, τ , tau
Υ, υ , upsilon
Φ, ϕ , phi
X, χ , khi
Ψ, ψ , psi
Ω, ω , oméga



LE SOLEIL, DISPENSATEUR DE VIE.

Cette scène, gravée sur le dossier en or d'un trône, a été trouvée dans la tombe de Tut-ankh-Amen. Le roi est assis sur un trône rembourré, alors que la jeune reine se tient debout devant lui. Dans sa main gauche, elle porte une cassette de parfum ou d'onguent, qu'elle applique délicatement sur l'épaule du roi. Au-dessus, le Soleil déverse ses rayons vivifiants sous la forme de mains dispensatrices. Vis-à-vis le roi et la reine, les mains tiennent le *ankh*, symbole de la vie prospère qui leur est souhaitée. Derrière le roi sont inscrits ses deux noms, Tut-ankh-Amen et Kheperu-neb-Ra. L'inscription derrière la reine se lit comme suit : « La Dame des deux Pays, Ankh-s-p-Aten, apporte beaucoup d'huile précieuse pour oindre la couronne du Roi. Puisse cette huile donner la vie éternelle et une puissance sans fin ! »

Dessiné d'après une photographie.

INDEX ALPHABÉTIQUE

- ADAMS, J. C., astronome anglais (1819-1892), découvreur de Neptune, 121.
- Aigle, constellation, 43, 148; nuage d'étoiles dans, 154.
- «Ailes de l'aurore», les, 167.
- Alamak, étoile, dans Andromède, 148, 247 (carte).
- Albiréo, étoile, dans le Cygne, 147.
- Alcor, étoile, dans la Grande Ourse, 140, 196.
- Alcyone, la plus brillante étoile des Pléiades, 163, 209.
- Aldébaran, étoile, dans le Taureau, 143, 163, 213.
- Algol, étoile, dans Persée, 149; découverte comme variable par Montanari, 186; explication, 194.
- Alpes, montagnes lunaires, 83, 84.
- Alpha du Centaure, l'étoile la plus proche, 158 (carte), 165, 167, 169; étoile double, 201, 204.
- Alpheratz — voir Sirrah.
- Altaïr, étoile, dans l'Aigle, 148.
- Amas d'étoiles, ouverts et globulaires, 207; Pléiades et Hyades, 208; Praesepe, 213; amas double dans Persée, 213; distance des amas ouverts, 214; amas globulaires, 214; distance des, 217; nombre d'étoiles dans les, 219; amas à l'intérieur de notre système stellaire, 219.
- Andromède, constellation, 140, 148, 247 (carte); mythologie, 140-141; Grande Nébuleuse dans, 148; étoile Epsilon d', 177; forme en spirale de la Grande Nébuleuse mise en évidence par Roberts, 247; étude de Hubble, 250; distance de la Grande Nébuleuse, 250; système stellaire séparé, 251; spectre de la Grande Nébuleuse, 255.
- Année-lumière, 167.
- Antarès, étoile, dans le Scorpion, 148.
- Apennins, montagnes lunaires, 83, 84.
- Arcturus, étoile, dans le Bouvier, 145, 146; distance, grandeur, mouvement, 145, 180; magnitude, 163.
- Argelander, F. W. A., astronome allemand (1799-1875), ses cartes du ciel, 150.
- Arided — voir Deneb.
- Astéroïdes (Planétoïdes), 50; entre les orbites de Mars et de Jupiter, 124; découverte du premier, 124; nombre, 124; méthode de découverte, 124; dimensions, 124; le plus gros (Vesta), 125.
- Astronomie de l'invisible, 205.
- Atmosphère sur la Lune, 86; sur Mars, 100-101.
- Aurore boréale, relation avec les taches solaires, 67.
- Automne, étoiles de l', 148-149.
- BALANCE (Libra), signe du zodiaque, 43; constellation, 145 (carte), 147 (carte).
- Baleine (Cetus), constellation, 149; étoile Mira dans la, 186, 191.
- Barnard, E. E., astronome américain (1857-1923), étoile à grand mouvement propre de, 183.
- Baudrier, voir Ceinture.
- Bélier (Aries), signe du zodiaque, 42; constellation, 143 (carte).
- Bellatrix, étoile, dans Orion, 224 (carte).
- Bessel, F. W., astronome allemand (1784-1846), mesure de la distance de 61 Cygni, 165; découverte du caractère binaire de Sirius et de Procyon, 203.
- Bételgeuse, étoile, dans Orion, 29, 142, 224 (carte).
- Binaires, étoiles, visuelles et spectroscopiques, 197, 198, 202.
- Blinkmicroscope, 183.
- Bolide, de Klepesta, 134; photographie d'amateur, 135.
- Bouvier (Bootes), constellation, 145, 147 (carte).
- Bradley, James, astronome anglais (1692-1762), 141.
- Brooks, W. R., astronome américain, comète découverte par, 129.
- CANCER, signe du zodiaque, 42; constellation, 143 (carte), 144, 213.
- Capella, étoile, dans le Cocher, 146.
- Capricorne (Capricornus), signe du zodiaque, 43; constellation, 147 (carte), 149 (carte).
- Cartes terrestres et célestes, 137.

- Cassiopeée (Cassiopeia), constellation, 140; mythologie, 140-141.
- Castor, étoile, dans les Gémeaux, 143, 163.
- Caucase, montagnes lunaires, 83, 84.
- Ceinture d'Orion, 29, 142, 224.
- Centaure (Centaurus), constellation, 158 (carte); Alpha du, 167, 169, 170; amas globulaire dans, 215.
- Céphéides (variables), 187; emploi pour déterminer les distances stellaires, 189.
- Chariot de David, groupe d'étoiles, 24, 137, 138, 196; étoiles incluses, 150.
- Chiens de Chasse (Canes Venatici), nébuleuse spirale dans les, 243.
- Chromosphère du Soleil, 68.
- Circumpolaires, étoiles, mouvement diurne, 26, 27, 137; carte, 138, 139; Guides, 139; Gardiennes, 140.
- Clark, Alvan G., opticien américain, 203.
- Cocher (Auriga), constellation, 139 (carte), 143 (carte); champ stellaire très faible dans le, 163.
- Comètes, 48; membres du système solaire, 127; changement à l'approche du Soleil, 127; longueur de la queue au périhélie, 128; d'Encke, 128; étrange aspect, 129; de Brooks, 129; de Morehouse, 131; de Halley, 131; matériaux contenus dans les, 132.
- Compas gyroscopique, preuve de la rotation de la Terre, 32-34.
- Corbeau (Corvus), constellation, 145 (carte).
- Couleurs et longueurs d'onde de la lumière, 172.
- Couronne Boréale (Corona Borealis), constellation, 43, 147; amas de nébuleuses dans la, 253.
- Couronne solaire, 69-70; forme variable suivant le nombre de taches solaires, 71.
- Cratère, Tycho, sur la Lune, 83; autres cratères lunaires, 83 (carte); Platon, 84.
- Croix du Nord — voir Cygne.
- Croix du Sud (Crux), constellation, 154-158 (carte); dans la Voie Lactée, 154; désappointement de certains voyageurs, 155; «Sac à Charbon», 158; différence avec la Croix du Nord, 158.
- Crux — voir Croix du Sud.
- Culte des Égyptiens pour le Soleil, 74; pour la Lune, 85.
- Curtis, H. D., astronome américain, photographies de novæ dans les nébuleuses, 193; descriptions de N.G.C. 584, 256.
- Cyanogène, gaz dans les comètes, 132.
- Cygne (Cygnus), constellation, 43, 147, 148; étoile 61 du, 165; distance du nuage stellaire dans le, 214; nébuleuse «Dentelle» dans le, 224.
- DAUPHIN (Delphinus), constellation, 147 (carte), 149 (carte).
- Deimos, lune de Mars, 106.
- Deneb (Aried), étoile, dans le Cygne, 147.
- Déplacement des raies spectrales vers le rouge, chez les nébuleuses, 262.
- Distance, d'un objet inaccessible, 60, 164; des étoiles, 164-170; des amas ouverts et des nuages stellaires, 214; des amas globulaires, 218; de la nébuleuse d'Andromède, 250; déplacement vers le rouge des lignes spectrales et, 262.
- Doppler, effet, principe de, 177, 262.
- Dorade (Dorado), constellation, nébuleuse «À la boucle» dans la, 224, 226.
- Doubles — voir Étoiles doubles.
- Dragon (Draco), constellation, 139 (carte); l'étoile Gamma dans le, 141; l'étoile Alpha, ancienne étoile polaire, 141.
- Dubhé, étoile de la Grande Ourse, 140, 196 (carte).
- ÉCLIPTIQUE, marche apparente du Soleil dans le ciel, 40, 41, 43.
- Éclipses, calculs et preuve de la sphéricité de la Terre, 59.
- Éclipses de Soleil, comment elles se produisent, 69-70.
- Écu de Sobieski, nuage stellaire, 154; sa distance, 214.
- Effet Doppler, 177, 262.
- Égyptiens, culte du Soleil chez, 74; culte de la Lune chez, 85.
- Einstein, A., sa théorie et l'expansion de l'univers, 265. $w = Mc^2$
- Ellipse, 52, 54.
- Encke, J. F., astronome allemand (1791-1865), sa comète, 128.
- Épi (Spica), étoile, dans la Vierge, 144, 145.
- Équateur céleste, 29, 30, 41.
- Équinoxe, le Soleil est sur l'équateur céleste au moment de, 40.
- Éridan (Eridanus), constellation, 143 (carte).
- Été, étoiles de, 146-148.
- Étoiles, leur mouvement diurne, 23-24; circumpolaires, 27, 28, 137-138; changement avec les saisons, 43, 137; cartes stellaires, 137-149; équatoriales,

- 141; de l'hiver, 142-144; du printemps, 144-146; de l'été, 146-148; de l'automne, 148-149; nombre, 150, (tableau) 271; visibles à l'œil nu et au télescope, 150-152; magnitudes, 159; mesure des distances, 164-170; nature physique, 171-180; vitesses radiales, 177, 262; classes spectrales, 179; mouvements propres, 180-184; masses, 203, 206; éteintes et brillantes, 206; les vingt plus brillantes, 270 (tableau); température, 271 (tableau); les dix étoiles les plus proches, 272 (tableau).
- Étoiles binaires, visuelles et spectroscopiques, 197, 198, 202.
- Étoiles circumpolaires, mouvement diurne, 26, 27, 137; carte, 138, 139.
- Étoiles doubles, 196-206; Mizar et Alcor, 196; mesure, 197; optiques et binaires, 197; binaires spectroscopiques, 198; double-double, 201; relevé d'Herschel, 201; photographies des, 202; compagnon de Sirius, 203, 204; Sirius, Procyon, α Centauri, 204; masses, 206; les dix plus brillantes, 272 (tableau).
- Étoile du Berger, 91.
- Étoile du Matin, Vénus, 90-91.
- Étoile du Soir, Vénus, 90-91.
- Étoiles éteintes et étoiles brillantes, 206.
- Étoiles filantes, enregistrements photographiques, 132, 133, 154; nature, 134; bolide, 134; observé par Klepesh, 134; par un amateur (Armstrong), 135-136; météorites, 136.
- Étoile Polaire (Polaris), 26, 27; elle monte dans le ciel à mesure que le voyageur se rapproche du pôle, 58; dans la Petite Ourse, 138, 140; sa distance, 170.
- Étoiles variables, 185-195; aucun changement observé dans les étoiles de prime abord, 185; Tycho Brahé, Képler, Fabricius, 185; Montanari, 186; découvertes accomplies durant le dernier siècle, 186; types de variables, 186; céphéides typiques, 187; céphéides d'amas, 187; emploi dans les mesures des distances cosmiques, 189; pulsations des étoiles, 189; variables à longue période, 191; variables irrégulières, 191; novæ, 192; Nova Herculis 1934, 192; Nova Aquilæ 1918, 192; nova dans M. 100, 193; variables à éclipse (Algol), 194; les dix plus brillantes, 273 (tableau); les dix plus brillantes novæ, 273 (tableau).
- Étoiles variables à longue période, 191.
- Expansion de l'Univers, 265.
- FABRICIUS, découverte de Mira, en 1596, 185.
- Facules, sur le Soleil, 64, 65.
- Fauçille, groupe d'étoiles dans le Lion, 144.
- Fomalhaut, étoile, dans le Poisson Austral, 149.
- Fraunhofer, raies sombres du spectre, 172.
- GALAXIE, Voie Lactée, 207.
- Galilée, astronome italien (1564-1642), découvre les satellites de Jupiter, 107. «Gardiennes» du pôle, 140.
- Gémeaux (Gemini), signe du zodiaque, 42; constellation, 143.
- Girafe (Camelopardalus), constellation, 139 (carte).
- Globulaire — voir Amas.
- Golfe des Iris, 84.
- Grand Carré de Pégase (Pegasus), 148; étoiles situées à l'intérieur, 150.
- Grand Chien (Canis Major), constellation, 143.
- Grande Nuée de Magellan, 224.
- Grande Ourse (Ursa Major), constellation, 43, 138, 140; «guides», 139; carte du Chariot, 196.
- Grande tache rouge sur Jupiter, 110, 112.
- Gravité, force de, sur Mars, 105.
- «Guides», deux étoiles dans la Grande Ourse, 139.
- HALL, Asaph, astronome américain (1829-1907), découvre les lunes de Mars, 106.
- Halley, Edmund, astronome anglais (1656-1722), sa comète, 131; période, 131; retour en 1910 et en 1986, 131; découvre le mouvement propre des étoiles, 180.
- Hercule (Hercules), constellation, 43, 147; amas d'étoiles dans, 147, 214, 218, 219; nova dans, 192.
- Herschel, William, astronome anglais (1738-1822), 116, 118; son télescope en 1781, 118; découverte d'Uranus, 119-120; ses autres télescopes, 120; recherche des étoiles doubles, 201; découverte des nébuleuses planétaires, 229; étude de la distribution des étoiles, 234.
- Hésiode, poète grec, première mention d'Arcturus, 145.
- Hipparque, astronome grec (150 A.C.), 84, 159.
- Hiver, étoile de l', 142-144.
- «Homme dans la Lune», 79.
- Hubble, Edwin, astronome américain, analyse la nébuleuse d'Andromède, 250. Voir aussi pages 260, 261, 266.

- Humason, M. L., astronome américain, photographie les spectres de nébuleuses, 257.
- Hyades, amas ouvert, 208, 213.
- Hydre (Hydra), constellation, 143 (carte), 145 (carte).
- Hypothèse nébulaire, 126-127.
- INVISIBLE, astronomie de l', 205.
- JUPITER, la planète, 48, 50, 53; la plus grosse des planètes, 107; distance au Soleil, 107; période de révolution, 107; vitesse orbitale, 107; lunes, 107, 109-111; aplatissement aux pôles, 108, 112; diamètre, 108; période de rotation, 108; masse, densité, température, 109; la grande tache rouge sur, 110, 112; photographie de la planète, 111, 112.
- KÉPLER, découverte d'une nova, en 1604, 185.
- Klepesta, J., astronome tchécoslovaque, photographie d'un bolide, 134.
- Krüger 60, étoile binaire, 197-198, 202.
- LE VERRIER, U. J. J., astronome français (1811-1877), découvre Neptune, 121.
- Lévriers — voir Chiens de Chasse.
- Lion (Leo), signe du zodiaque, 43; constellation, 43, 144.
- Longue période, variables à, 191.
- Longueurs d'onde et couleurs, 172.
- Lowell, Percival, astronome américain (1855-1916), observe Vénus en plein jour, 93; dessins de Mars, 98, 99; dessin de Saturne, 114.
- Lucifer, Vénus, Étoile du Matin, 90-91.
- Lumière, vitesse de la, 167, 168.
- Lune, mouvement diurne, 22; phases, 23, 76-78; mouvement parmi les étoiles, 36; et le Soleil, dimensions apparentes, 75; distance à la Terre, 75; et la Terre, dimensions relatives, 76; diamètre, masse, 76; croissant et forme gibbeuse, 77; influence sur la température, 79; le terminateur, 81; mers, cratères, raies, montagnes, 83; elle montre toujours la même face, 84; librations, 85; culte, 85; un astre mort, 86; absence d'atmosphère, 86.
- Lunes de Mars, découvertes par Hall, 106; de Jupiter, 107, 109-111, 270 (tableau).
- Lyre (Lyra), constellation, 146, 148, 201; mythologie, 146; apex solaire, 147; nébuleuse annulaire dans la, 201 (carte), 230.
- MAGNITUDES, des étoiles, 159-164; signification du mot magnitude, 159; les six groupes de Ptolémée, 159; usage du photomètre, 160; magnitudes 1 et 6, 160; magnitudes comprises entre 1 et 6, 160; magnitudes au delà de 1 et 6, 160-162; faibles magnitudes atteintes par photographie, 163.
- Mars, la planète, 48, 50, 53, 94; distance au Soleil, 94; période de révolution, 94; vitesse, diamètre, masse, 94; dimensions comparées à celles de la Terre, 94; opposition avec le Soleil, 96; topographie de la surface, 97; période de rotation, 97; saisons, 97; calotte polaire, 98; canaux, 98-99; atmosphère, 100; atmosphère révélée par la photographie, 101-103; est-elle habitée?, 104; force de la gravité sur, 105; lunes, 106.
- Masses, du Soleil et des planètes, 55, 56, 269 (tableau); du Soleil et de la Terre, 67; des étoiles et du Soleil, 203, 206.
- Mégrez, étoile, dans la Grande Ourse, 196.
- Mer des Crises, sur la Lune, 83, 85.
- Mer des Pluies, sur la Lune, 83, 84, 85.
- Mérak, étoile, dans la Grande Ourse, 140, 196.
- Mercure, la planète, 48, 50, 53, 87; distance au Soleil, 87, 170; mythologie, 87; la plus rapide des planètes, 87; vitesse orbitale, 87; période de révolution, 87; diamètre, masse, 87; les dimensions relatives de la Terre et de, 88; période de rotation, 88; atmosphère, 88.
- Mérope, étoile, dans les Pléiades, 209, 227.
- Messier, Charles, liste des nébuleuses, 222.
- Météores, — voir Étoiles filantes.
- Météorites, 136.
- Micromètre à fils, 197.
- Mira, étoile, dans la Baleine, 149; découverte comme variable par Fabricius, 185; période, spectre, dimensions, 191.
- Miranda, satellite d'Uranus, 121n.
- Mirach, étoile, dans Andromède, 148, 247 (carte).
- Mirfak, étoile, dans Persée, 148.
- Mizar, étoile, dans la Grande Ourse, 140, 196-198.
- Monoxide de carbone dans les comètes, 132.

- Montanari, découvre la variabilité d'Algol, 186.
- Morehouse, D. W., astronome américain, sa comète, 129.
- Mouvements propres des étoiles, 180; étoiles fixes, 180; découverts par Halley, 180; relation avec la vitesse radiale, 182; mesure par la photographie, 182; de l'étoile de Barnard, 183; de Proxima Centauri, 184.
- Mouvement, du Soleil, 21-22, 36-40, 43; de la Lune, 22, 36; des étoiles, 23-24; vitesse radiale, 177; propre, 180.
- NÉBULEUSES, signification du mot, 221; cataloguées avec les amas d'étoiles, 221; liste de Messier, 222; autres catalogues, 222; diffuses, irrégulières, 222; spectre des nébuleuses diffuses, 224; spectre de la nébuleuse dans les Pléiades, 226; diffuses à l'intérieur de notre système stellaire, 228; explication du spectre de la nébuleuse d'Orion, 229; planétaires, 229; découverte des nébuleuses planétaires, 229; annulaire, dans la Lyre, 147, 230; distance des nébuleuses planétaires, 231; obscures, 232; nombre des nébuleuses spirales, 239; spirales remarquables, 239-246; description des, 239; vues de face, obliquement et par la tranche, 240; Grande Nébuleuse dans Andromède, 241; sa forme, 247; détermination de sa distance, 250; chaque nébuleuse spirale est un système stellaire, 251; amas de, 253; grandes vitesses des nébuleuses spirales, 258; spectrogrammes des nébuleuses de faible éclat, 260; déplacements vers le rouge et distances, 262; aussi nombreuses que les étoiles, 265; la plus grande distance observée: 500 millions d'années-lumière, 265.
- Nébuleuse «À la boucle», 224, 226.
- Nébuleuse «Dentelle», dans le Cygne, 224.
- Nébuleuses galactiques, 221-238.
- Nébuleuses obscures, 232.
- Nébuleuse «Pélican», 236.
- Nébuleuses planétaires, 229.
- Nébuleuses spirales, 239; voir aussi: Nébuleuses.
- Nébuleuse «Whirlpool», 243.
- Neptune, la planète, 48, 50, 53, 121; découverte mathématiquement, 121, 122; distance au Soleil, 122; vitesse orbitale, 122; période de révolution, 122; diamètre, masse, 122; dimensions comparées à celles de la Terre, 122; découverte de son satellite, 122.
- Néréide, satellite de Neptune, 123n.
- Newton, Isaac, le spectre de la lumière solaire, 171.
- Novæ, ou étoiles temporaires, 192-194, 273 (tableau); dans la nébuleuse M. 100, 193; dans la nébuleuse d'Andromède, 250.
- Nuages stellaires, dans le Sagittaire et l'Aigle, 154, 238.
- Nuées de Magellan, Grande, 224, 251; Petite, 252; leurs distances, 252; systèmes stellaires séparés, 252.
- OMICRON Ceti, voir Mira.
- Ondes, diverses sortes, 172.
- Ondes, longueurs et couleurs, 172.
- Ophiuchus, constellation, 147 (carte); mouvement propre de l'étoile de Barnard dans, 183; amas globulaire dans, 188.
- Opposition d'une planète avec le Soleil, 96.
- Orages magnétiques, leur relation avec les taches solaires, 67.
- Orion, constellation, 29, 43, 49, 142, 143, 224; ceinture, 29, 143, 152; nombre d'étoiles dans, 152; Grande Nébuleuse dans, 223.
- Ouvert — voir Amas.
- PALMER, H. K., photographies d'une nova dans M. 100, 193.
- Parallaxe, signification, 166; spectroscopique, 167.
- Parsec, définition, 166; relation avec année-lumière, 167.
- Pégase (Pegasus), constellation, 43, 148; Grand Carré de, 148; étoiles à l'intérieur du Grand Carré de, 150.
- Périhélie, de l'orbite d'une comète, 128.
- Persée (Perseus), constellation, 43, 139 (carte), 140, 149; mythologie, 140-141; amas double, 213.
- Perséides (météores), photographie des, 135.
- Petit Chien (Canis Minor), constellation, 143.
- Petite Ourse (Ursa Minor), constellation, 26, 140.
- Phaéton, mythologie, 41-42.
- Phases, de la Lune, 76-78; de Vénus, 89-90.
- Phébus, mythologie, 41.
- Phobos, lune de Mars, 106.
- Plan méridien, définition du, 142.
- Planètes, distances au Soleil, 50; dimensions comparées des orbites, 50; orbites elliptiques, 52; orbites situées à peu près dans le même plan, 53; mouvements orbitaux, 53; dimensions

- et masses relatives du Soleil et des, 53, 55; tableau, 269.
- Planétoïdes — voir Astéroïdes.
- Plaskett, J. S., astronome canadien, modèle de notre système stellaire, 237.
- Pléiades, amas ouvert, 208–213; amas universellement connu, 208; nom des principales étoiles des, 209; nombre des étoiles dans les, 210; spectres des principales étoiles des, 211; nébulosités autour des, 226.
- Pluies — voir Mer des Pluies.
- Pluton, planète, 48, 50–53; irrégularités dans les orbites d'Uranus et de Neptune, 123; découverte de, 123, 205; distance et dimensions de, 123.
- Poissons (Pisces), signe du zodiaque, 43; constellation, 143 (carte).
- Poisson Austral (Pisces Australis), constellation, 147 (carte), 149; étoile Fomalhaut dans le, 149.
- Polaire — voir Étoile Polaire.
- Pôle céleste, 28–30, 46; relation avec le pôle terrestre, 34.
- Pollux, étoile, dans les Gémeaux, 143, 144, 163.
- Poussières cosmiques, matériaux finement divisés dans l'espace, 232.
- Præsepe, amas d'étoiles, 144, 213.
- Printemps, étoiles du, 144–146.
- Procyon, étoile, dans le Petit Chien, 143, 203.
- Protubérances solaires, 68–69; formes fantastiques, 68, 70; matières constituant les, 68; les plus grandes altitudes observées, 69; visibles durant les éclipses, 69.
- Proxima Centaure, 165n., 183, 184.
- Ptolémée, astronome de l'antiquité, 159; son catalogue d'étoiles, 159, 180; ses magnitudes, 159.
- Ptolémée, cratère lunaire, 84.
- Pulsation des variables céphéïdes, 189.
- Râ, dieu-soleil des Égyptiens, 74.
- Raies sombres dans le spectre, explication des, 173.
- Régulus, étoile, dans le Lion, 144.
- Relativité, 265.
- Rigel, étoile, dans Orion, 29, 143, 163.
- Roberts, Isaac, astronome anglais (1829–1904), prouve la formation en spirale de la nébuleuse d'Andromède, 247.
- Rotation de la Terre, preuve de la, 32, 33.
- «SAC À CHARBON», dans la Croix du Sud, 158; nature du, 232.
- Sagittaire (Sagittarius), signe du zodiaque, 43; constellation, 147 (carte); nuage d'étoiles dans le, 154, 238; amas globulaire dans, 215; le centre de notre système stellaire, 238.
- Satellites des planètes, 270 (tableau).
- Saturne, planète, 48, 50, 53, 112; distance au Soleil, 112; vitesse orbitale, 112; période de révolution, 112; satellites, 112; diamètre du globe de, 112; période de rotation, 112; densité, 112–113; anneaux, 113; phases des anneaux, 114; apparence à l'œil nu, 114.
- Scorpion (Scorpio), signe du zodiaque, 43; constellation, 43, 147 (carte).
- Serpent (Serpens), constellation, 145 (carte), 147 (carte).
- Shapley, H., astronome américain, 189n.; dimensions de la nébuleuse «À la boucle», 224.
- Sirius, étoile, dans le Grand Chien, 29, 49, 143, 146, 163; distance, 169; une étoile double, 203; orbite du compagnon, 204; densité du compagnon, 204.
- Sirrah (Alpheratz), étoile, dans Andromède, 148, 247 (carte).
- Slipher, V. M., astronome américain, spectre de nébuleuses dans les Pléiades, 226; spectres et vitesses des nébuleuses spirales, 255.
- Sol, mythologie, 42.
- Soleil, son mouvement diurne, 21–22, 43; mouvement dans le ciel, 36–37; mouvement annuel, 43; mouvement apparent, non réel, 43; dimensions et masses relatives des planètes et du, 53, 55; comment mesurer la distance du, 60–62; sa distance à la Terre, 62, 168; comment mesurer son diamètre, 62–64; son diamètre, 64; dimensions et masses relatives de la Terre et du, 64, 67; facules, 64; rotation sur son axe, 66–67, 178; sa masse et sa densité, 67; photosphère, 68; chromosphère, 68; protubérances, 68–69; couronne, 69–72; éclipses, 69, 71, 72; culte, 73–75; composition, 75, 171, 172, 176; aspirant l'eau, 168.
- Solstice, d'été, d'hiver, 40.
- Spectre, du Soleil, Newton, 171; Fraunhofer, 172; trois sortes de spectres, 175; du Soleil et d'une étoile, 176; des étoiles, 179; vitesse radiale, 177, 256, 261.
- Spectrographe à prisme-objectif, 211.
- Spectroscope, description, 173–174; analyse du Soleil, 68, 75; des étoiles, 177, 180.

- Sphère céleste, 21 *et suiv.*; vue de l'intérieur, 137.
- Stonehenge, 37.
- Système planétaire, 50-55.
- Système solaire, 48, 50 *et suiv.*; histoire et origine, 126-127; son mouvement à travers l'espace, 147; tableau, 269
- Système stellaire, notre, 207 *et suivantes*.
- TACHES SOLAIRES, causes, 64; dimension, 67; relation avec les aurores boréales et les tempêtes magnétiques, 67; périodicité, 67; relation avec la couronne solaire, 71.
- Taureau (Taurus), signe du zodiaque, 42; constellation, 43, 49, 143, 208 (carte).
- Télescopes, réflecteurs et réfracteurs, 116; œuvres d'amateurs, 116; du Mont Wilson, 117, 256; du Mont Palomar, 117, 263; de l'observatoire McDonald, 117; de l'observatoire David Dunlap, 117; à Pretoria, Afrique du Sud, 117; à Victoria, Colombie Britannique, 117; de l'observatoire Yerkes, 117; spectrogrammes obtenus avec le 60-pouces et le 100-pouces, 256; recherches entreprises par Humason, 257; le télescope de 200 pouces, 264.
- Tempêtes magnétiques, relation avec les taches solaires, 67.
- Température, la Lune et la, 79.
- Terre, sa rotation, 32, 33; son orbite, 43; comme planète, 50, 53; preuves de sa forme sphérique, 56, 58, 59; dimensions, 56, 59; dimensions relatives du Soleil et de la, 64; masses relatives du Soleil et de la, 67; autrefois associée au Soleil, 75; dimensions relatives de la Lune et de la, 76; de Mercure et de la, 88; de Vénus et de la, 89; de Mars et de la, 94; de Jupiter et de la, 108; d'Uranus et de la, 120; de Neptune et de la, 122; distance entre le Soleil et la, 168, 269 (tableau).
- «Tête de Cheval», nébuleuse obscure dans Orion, 235.
- Thoth, dieu de la Lune chez les Égyptiens, 85.
- Toucan (Tucana), amas globulaire dans le, 218.
- Tour Martello, à Québec, 268.
- Triangle, nébuleuse dans le, 240, 251.
- Trois Rois Mages, *voir* Ceinture.
- Tycho, cratère lunaire, 83, 85.
- Tycho Brahé, découvre une nova, 185, 192.
- UNIVERS, à vol d'oiseau, 46-49; notre système stellaire est une partie de, 207; aspect général de, 265-267.
- Univers, en expansion, 265.
- Uranus, planète, 48, 50, 53, 116, 119; découverte par Herschel, 116, 119-120; dimensions comparées à celles de la Terre, 120; vitesse orbitale, 120; distance au Soleil, 120; période de révolution, 120; diamètre, densité, 120; satellites, 121; désaccord avec l'orbite calculée, 121.
- VARIABLES d'amas, 187.
- Variables — *voir* Étoiles variables.
- Véga, étoile, dans la Lyre, 146-147, 201.
- Vénus, planète, 48, 50, 53, 88; distance au Soleil, 88, 168; étoile du matin et étoile du soir, 88, 90; la plus brillante des planètes, 88; vitesse orbitale, 88; période de révolution, 88; diamètre, 89; dimensions comparées à celles de la Terre, 89; phases, 89-90; conjonctions supérieures et inférieures avec le Soleil, 90; période de rotation, 91-92; atmosphère sur, 92; visibilité en plein jour, 92-93.
- Verseau, signe du zodiaque, 43; constellation, 147 (carte), 149 (carte).
- Vesta, le plus gros des astéroïdes, 125.
- Vester, Vénus, Étoile du soir, 90-91.
- Vierge (Virgo), signe du zodiaque, 43; constellation, 144; amas de nébuleuses dans, 253, 254.
- Vitesse radiale, 177; renseignements fournis par la, 178; rotation du Soleil, 178; relation avec le mouvement propre, 182; des nébuleuses, 262.
- Voie Lactée, 49, 143, 147; visibilité, 152; où la trouver, 152; constellations traversées par la, 153; régions obscures dans la, 154, 232; légendes attachées à la, 154; composée d'une infinité d'étoiles faibles, 154; nuages stellaires dans la, 154, 214; la Croix du Sud, 154; la Galaxie, 207; sa structure, 207; amas ouverts et amas globulaires, dans la, 208.
- WELLS, H. G., et les Martiens, 104-105.
- Wright, W. H., astronome américain, photographies de Mars, 101-103; photographies en lumière rouge, 102; photographie de Jupiter, 111-112.
- «Whirlpool», nébuleuse spirale, 243.
- ZODIAQUE et ses signes, 42.

15

DES ATELIERS DU SOLEIL

BNQ



000 437 502