TRAITÉ
D'ASTRONOMIE

POUR LES GENS DU MONDE,

AVEC DES NOTES COMPLÉMENTAIRES

Pour les Candidats au Baccalauréat, aux Écoles spéciales et à la Licence ès Sciences mathématiques;

PAR M. FRÉDÉRIC PETIT,

Chevalier de la Légion d'honneur, Correspondant de l'Institut, Directeur de l'Observatoire de Toulouse, Professeur d'Astronomie à la Faculté des Sciences de la même ville, Membre de plusieurs Sociétés savantes

TOME PREMIER.

AVEC 162 FIGURES DANS LE TEXTE ET 2 PLANCHES

PARIS,

VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

LE POLYTECHNIQUE, DU BUREAU DES LONGITUDES,

ccesseur de Mallet-Bachelier,

Quai des Augustins, 55.

1866

TRAITÉ

D'ASTRONOMIE

POUR LES GENS DU MONDE.

Toulouse, Imp. Douladoure; Rouget frères et Delahaut, succrs, rue Saint-Rome, 39.

TRAITÉ D'ASTRONOMIE

POUR LES GENS DU MONDE,

AVEC DES NOTES COMPLÉMENTAIRES

Pour les Candidats au Baccalauréat, aux Écoles spéciales et à la Licence ès Sciences mathématiques;

PAR M. FRÉDÉRIC PETIT,

Chevalier de la Légion d'honneur, Correspondant de l'Institut, Directeur de l'Observatoire de Toulouse, Professeur d'Astronomie à la Faculté des Sciences de la même ville, Membre de plusieurs Sociétés savantes.

TOME PREMIER.

AVEC 162 FIGURES DANS LE TEXTE ET 2 PLANCHES.

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DE L'ÉCOLE IMPÉRIALE POLYTECHNIQUE, DU BUREAU DES LONGITUDES,

Successeur de Mallet-Bachelier,

Quai des Augustins, 55.

1866

PRÉFACE.

En me décidant à publier, après tant de bons Traités d'Astronomie, les Leçons que j'ai professées pendant vingt-sept ans, pour les gens du monde, à l'Observatoire de Toulouse, je ne puis avoir d'autre prétention que celle de répondre aux demandes bienveillantes qui me sont journellement adressées. Je n'entreprendrai donc pas de faire ici l'apologie de mon œuvre; et je me borne à dire qu'elle est le résultat d'une longue expérience qui m'a paru la justifier en établissant, entre les Auditeurs et le Directeur de l'Observatoire, ces émanations sympathiques auxquelles, d'ordinaire, le Professeur doit presque tout le mérite qu'il peut avoir.

N'ayant, au début, l'intention d'écrire que pour les simples Amateurs d'Astronomie, j'ai été conduit peu à peu à donner plus de développements que je n'avais d'abord projeté de le faire. Mon Ouvrage pourra donc aujourd'hui, si je ne me trompe, répondre en même temps, soit aux désirs des gens du monde, soit aux exigences des Programmes officiels pour le Baccalauréat, pour les Écoles spéciales et pour la Licence ès Sciences mathématiques. Seulement, afin de rester fidèle aux habitudes qui sont devenues la cause déterminante de ma publication, j'ai réuni les détails trop abstraits dans des Notes complémentaires. Quant au texte, à peu près complétement dépouillé des difficultés mathématiques, je l'ai divisé par Leçons; et j'ai pris à tâche de l'écrire, autant que possible, comme j'aurais parlé devant mes Auditeurs. Aussi prierai-je les personnes qui voudront bien me lire sans m'avoir entendu, d'accueillir avec indulgence l'abandon auquel j'ai pu quelquefois me laisser entraîner. Cette manière m'a paru toujours réussir en instruisant, sans le fatiguer, l'auditoire élégant et nombreux que le désir d'étudier les phénomènes du Ciel appelait à l'Observatoire; car elle est devenue la source d'un long échange d'affectueux témoignages, sous le patronage desquels je crois pouvoir placer d'avance le Traité dont je viens d'entreprendre la rédaction.

Grâce à la bienveillance des lecteurs de « *bonne volonté* » (comme dit un des représentants les plus autorisés de notre littérature), lecteurs que j'ai surtout en vue dans ma publication, j'ose donc espérer une exception à la règle formulée par l'illustre critique du XVIIe siècle, et me flatter, pour le récit qui me semblait se soutenir habituellement à l'oreille :

« Que, dans l'impression, au grand jour se montrant,
» Il soutiendra des yeux le regard pénétrant. »

F. PETIT.

TRAITÉ

D'ASTRONOMIE

POUR LES GENS DU MONDE.

PREMIÈRE LEÇON [1].

Aperçu historique.— Programme.— Horloges des anciens ; sabliers et clepsydres ou horloges d'eau. — Premiers essais d'horloges à poids.

1. **Aperçu historique.** — L'ASTRONOMIE est une des sciences les plus anciennes. Suivant Bailly, son origine remonterait à des traditions antédiluviennes sauvées du cataclysme général; et Josèphe, à son tour, dans ses *Antiquités judaïques*, raconte, comme preuve du goût des Patriarches pour les phénomènes du firmament, qu'on voyait de son temps, chez les Syriens, des débris d'une colonne sur laquelle, plusieurs siècles avant le déluge, les descendants de Seth auraient gravé leurs principales observations. Néanmoins, la plupart des historiens font naître l'étude du Ciel en Égypte ou en Chaldée. C'est en Égypte, par exemple,

(1) On peut ne commencer la lecture de l'ouvrage qu'à la cinquième Leçon, en supprimant, si l'on veut, l'étude des quatre premières, qui traitent seulement de l'horlogerie et des instruments d'optique employés par les Astronomes.

qu'Eudoxe et Platon allèrent chercher les notions dont ils enrichirent la Grèce, environ 370 ans avant notre ère. Quant aux plus anciennes observations qui nous soient parvenues, elles ont été faites en Chine il y a près de 4000 ans, et à Babylone 700 ans avant Jésus-Christ.

2. — La protection des Ptolémées, rois d'Égypte, produisit une véritable révolution dans l'Astronomie. Ptolémée Philadelphe, surtout, fut celui dont les encouragements portèrent le plus de fruits. Il attira dans sa capitale les savants de la Grèce, les logea dans son palais, et leur fournit largement les moyens de se livrer aux recherches scientifiques. Aussi, même 634 ans après le commencement de notre ère, lors de l'invasion des Sarrasins, l'émulation durait-elle encore en Égypte.

3. — Je ne m'étendrai pas longuement sur l'histoire des premières découvertes, qui sont dues à l'école d'Alexandrie, et je me bornerai à rappeler ici quelques noms, Timocharis, Aristille, Ératosthène, me hâtant d'arriver à l'époque glorieuse que les travaux d'Hipparque ont illustrée.

4. — Ce grand Astronome parut 160 ans avant notre ère. Il reconnut que les mouvements des Planètes n'étaient pas uniformes, détermina quelques-unes des irrégularités de ces mouvements pour le Soleil et pour la Lune, corrigea la longueur de l'année, rectifia la mesure de la Terre donnée par Eratosthène; fit, pour les Éclipses observées par les Chaldéens, un Recueil qui sert de base, encore aujourd'hui, à la détermination du moyen mouvement de la Lune; imagina une méthode pour trouver, par les Éclipses, la distance du Soleil à la Terre; découvrit un phénomène important, la *précession des équinoxes*, qui peut fournir à l'histoire d'heureuses applications; enfin, à l'occasion d'une Étoile nouvelle subitement apparue, construisit un Catalogue de 1022 Étoiles, qu'il calcula pour la 128e année avant notre ère : « Entreprise, dit Pline, digne des Dieux. Car Hipparque » donnait ainsi les moyens de discerner, à l'avenir, si les » Étoiles pouvaient se perdre ou disparaître, si elles chan- » geaient de situation, de grandeur et de lumière; il

» laissait, en un mot, le Ciel pour héritage à ceux qui le » suivraient et qui auraient assez de génie pour féconder son » œuvre. » Après Hipparque, Alexandrie ne nous offre plus que deux Astronomes dignes d'être cités : Sosigène, auquel Jules César, 46 ans avant Jésus-Christ, confia le soin de réformer le Calendrier ; et Ptolémée, dont le livre, connu sous le nom d'*Almageste*, ou grande composition, nous a transmis les travaux d'Hipparque, en perpétuant l'Astronomie depuis l'an 125 de notre ère jusqu'à Copernic, c'est-à-dire pendant 1400 ans. A partir du IIe siècle, une décadence rapide se manifeste ; la bibliothèque d'Alexandrie est détruite par les Arabes en 641, et les sciences n'existent plus en Égypte. Étrange bizarrerie ! néanmoins : après s'être acharnés contre cette précieuse collection, où tant de richesses intellectuelles avaient été si péniblement rassemblées, les Arabes, rougissant bientôt de leur ignorance, et cherchant à dissiper les ténèbres qu'ils avaient faites, sont les seuls à peu près qui, depuis le VIIIe siècle, laissent quelques bonnes observations.

5. — Nous arrivons au XVe siècle sans avoir rien de remarquable à signaler. Mais, en 1472 ou 1473, sur les confins de la Pologne, dans la petite ville de Thorn, dépendant aujourd'hui de la Prusse, naquit le hardi réformateur que l'on connaît sous le nom de Copernic, et dont le système du mouvement de la Terre est maintenant dans toutes les bouches, comme l'expression de la vérité. Vers le même temps, travailleur infatigable, au sein d'une île de la Baltique où le roi de Danemark, Frédéric Ier, l'avait investi de fiefs opulents, Tycho-Brahé, le brillant rejeton d'une illustre famille, préparait par ses nombreuses observations les belles découvertes de Képler.

6. — Je m'arrête quelques instants sur ce dernier nom, devenu désormais, avec celui de Newton, la personnification la plus éclatante de l'Astronomie. Persuadé qu'il devait exister des relations assez simples entre les divers éléments du système planétaire, Képler chercha, pendant plus de vingt ans, les lois qui l'ont immortalisé. Quelques erreurs de chiffres

occasionnèrent, dit-on, la longue durée de ses tentatives; car il avait, presque dès le début, deviné les mystères que son génie voulait pénétrer. Aussi quelles ne furent pas sa surprise et sa joie lorsque, après d'infructueux essais, revenant à ses premiers calculs, l'opiniâtre chercheur en trouva les résultats d'accord avec les phénomènes célestes! Il faut l'entendre lui-même raconter naïvement ses transports et ses craintes! Il faut le voir, lui si laborieux, si actif, abandonnant, pour quelques jours, ses travaux tant aimés afin de jouir en paix du bonheur de sa découverte, et n'osant même pas tenter des vérifications devant lesquelles ses illusions pouvaient encore s'évanouir! Ne lui envions pas ces jouissances intellectuelles si vives. Le malheureux, hélas! n'en connut jamais d'autres. Car plus d'une fois, c'est triste à constater, celui dont les fécondes recherches devaient, par leurs applications au commerce maritime, tant influer sur le développement de la richesse publique, se vit lui-même en butte aux privations du plus douloureux dénûment. Grâce aux éminents travaux où Newton ne tardera pas à trouver la source de nouvelles découvertes, les Tables astronomiques vont désormais devenir exactes; et l'on pourra, longtemps d'avance, prédire aux navigateurs les phénomènes qui devront les diriger.

7. — Nous entrons dans une ère nouvelle pour l'Astronomie. A la suite d'un heureux hasard, les lunettes sont imaginées en 1609; et Galilée aperçoit une série de phénomènes jusqu'alors inconnus. L'Académie des Sciences de Paris est fondée par Colbert; la Société royale de Londres est instituée; l'on applique le pendule aux horloges, le micromètre aux lunettes, les lunettes aux quarts de cercle; et la science, enrichie de la sorte, ne tarde pas à se transformer. Prétendre exposer ici les résultats de tant d'efforts, ce serait vouloir, en quelques mots, pour ainsi dire, expliquer l'Astronomie tout entière. Je me bornerai donc à prononcer pour le moment, comme symboles de brillants travaux, les noms les plus illustres : ceux d'Hévélius, de Cassini, de Picard, de Bradley, de Rœmer, de Halley, de Flamsteed, et, par-dessus tous

encore, le nom, le grand nom de Newton. Remarquez d'ailleurs qu'à ces gloires d'une époque déjà reculée nous pouvons en opposer de plus modernes ; car les noms de Clairaut, d'Alembert, Lacaille, Lalande, Laplace, Herschel, Lagrange, Delambre, Bessel, Arago, Biot, Struve, etc., sont aussi devenus populaires ; et l'avenir réserve également, sans doute, le même honneur à d'autres dont nous aurons occasion d'analyser les travaux.

8. — Je n'insiste pas sur ces détails. Quant à l'utilité de la science que nous devons étudier, elle est trop évidente par elle-même pour qu'il soit nécessaire de la démontrer longuement. Quel est celui, par exemple, qui pourrait, dix années de suite, se passer du Calendrier, le livre le plus insignifiant en apparence, quoiqu'il ait exigé pourtant, je dois le dire, plusieurs siècles de recherches ? Mais croyez-vous que les agriculteurs, entre autres, et tous ceux auxquels il sert constamment de guide, n'auraient pas bientôt à souffrir d'indications inexactes sur l'ordre des saisons, de fausses déterminations sur les divers phénomènes dont on doit faire usage, à chaque instant, dans les besoins de la vie, etc., du moment où les Astronomes ne seraient plus là pour éclairer sa marche ? Aussi peut-on voir, ce me semble, moins une ironie qu'une flatteuse allusion de l'auteur du *Bourgeois gentilhomme* à la popularité de ce petit ouvrage, si simple, si utile et si répandu, dans la demande qu'adresse M. Jourdain à son maître de philosophie, « de lui apprendre l'Almanach. »

Du reste, les exemples ne manqueraient pas pour prouver combien est indispensable à la mesure du temps l'intervention d'une bonne Astronomie. Les anciens peuples de l'Égypte, par la manière dont leur Calendrier était conçu, voyaient successivement l'année commencer dans les différentes saisons ; et la période n'était même pas très-longue, car elle dépassait à peine 1400 ans ; de sorte que la vie de chaque homme était alors suffisante pour permettre de remarquer, sur les saisons, ces altérations progressives que de nos jours, mais à tort, plusieurs personnes croient reconnaître encore. A l'époque de Jules César, une assez grande confusion régnait également dans la manière de calculer le temps; et sans les conseils de l'Astronome Sosigène, le *Calendrier Julien* ne serait pas venu, pendant quinze siècles, mettre un terme au désordre, en fournissant les moyens d'atteindre toute la précision qu'il était alors possible de réclamer. Enfin, même en 1582, sous le Pape Grégoire XIII, malgré les perfectionnements obtenus, le printemps, au lieu d'arriver le 20 mars, avait déjà rétrogradé jusqu'au 10, par suite d'une petite erreur dont le Calendrier Julien n'avait pas pu tenir compte; et l'Astronomie dut intervenir de nouveau pour opérer, sous les auspices du chef de l'Église, la *réforme grégorienne*. Toutefois, notons en passant que, guidés par un esprit d'opposition religieuse contre la cour de Rome, ni les Anglais, ni les Russes, ni les Turcs ne voulurent accepter cette réforme, et qu'encore aujourd'hui, malgré son utilité reconnue, les Anglais seuls l'ont adoptée.

Nous savons tous, maintenant, que les Éclipses, que les Comètes, etc., n'ont rien de bien dangereux. Laissez néanmoins la science s'éteindre, et vous verrez bientôt renaître avec force les préjugés que la science elle-même n'est pas entièrement parvenue à déraciner. Le général athénien Nicias, frappé de terreur par une Éclipse de Lune, laissa passer l'occasion favorable pour quitter la Sicile avec son armée. Il périt, l'armée fut détruite, et la décadence d'Athènes commença. Périclès, Jules César, Christophe Colomb, etc., employèrent au contraire avec avantage, pour échapper à de grands dangers, des Éclipses de Soleil ou de Lune. On ferait une liste presque interminable de tous ceux auxquels ont été profitables les connaissances astronomiques.

9. — Mais ce ne sont pas seulement la superstition et l'ignorance qui peuvent avoir à compter avec l'Astronomie. Les lumières et les besoins journaliers de la civilisation ont avec elle des rapports bien autrement intimes. Elle fournit à la marine, par exemple, les plus utiles et les plus fréquentes applications. Nos devanciers, vous le savez, n'osaient guère que longer les côtes; plus heureux aujourd'hui, nous nous lançons hardiment au milieu des mers, certains, en obser-

vant le Ciel, de pouvoir, sans échouer, passer, pour ainsi dire, à quelques mètres d'un écueil. Constatez, au reste, que les Astronomes font ici le double travail de l'Ingénieur et du Savant. Car ils ne bornent pas à perfectionner sans cesse les Tables astronomiques; ils calculent aussi, d'avance, les éphémérides sur la foi desquelles doivent se diriger les navigateurs.

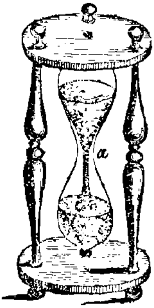
10. **Programme de l'ouvrage.** — Avant d'aborder spécialement nos études, je crois devoir, en peu de mots, dire suivant quel ordre ces études seront parcourues. — Les horloges et les lunettes, instruments indispensables des Astronomes, deviendront, dès le début, l'objet de quelques détails. Ensuite j'exposerai ce que nous savons sur les Étoiles, et j'indiquerai les moyens de reconnaître ces corps célestes. De là nous passerons successivement à l'étude du Soleil, de la Lune et des différentes Planètes. J'entrerai, à cette occasion, dans des développements circonstanciés sur le Calendrier, sur les saisons, sur la durée des jours et des nuits, sur les phases de la Lune, sur les Éclipses, sur les phénomènes de la précession des Équinoxes, de la nutation de l'axe terrestre et de l'aberration de la lumière, enfin sur les vents, sur les variations de température et sur quelques autres effets dus à l'action solaire; puis, je parlerai des Comètes, des Bolides et des météores lumineux, de la Terre et des principales applications que l'Astronomie fournit soit à la Géographie, soit à la Navigation, des divers systèmes qui ont été imaginés pour expliquer les mouvements célestes, etc.; et je terminerai par l'étude de la cause unique qui, sous le nom de *gravitation*, préside à l'ensemble du mécanisme de l'Univers.

Tel est, réduit à quelques mots, le rapide exposé de ce que nous allons entreprendre. Je me hâte d'aborder le premier point de mon programme, la théorie des instruments.

11. **Horloges des anciens. — Sabliers.** — Les anciens se servirent d'abord, pour mesurer le temps, de l'appareil appelé *sablier*. Cet instrument est si connu que je n'ai nul besoin de m'appesantir sur sa description. Il est formé (*fig.* 1) de deux cônes adossés par leurs sommets, et communiquant

entre eux par un orifice a, qui laisse le sable s'écouler du compartiment supérieur dans le compartiment inférieur. Quand l'écoulement est terminé, on retourne tout simplement l'appareil, de manière à mettre en haut le compartiment qui était en bas, et réciproquement. Les deux compartiments se vident ainsi et se remplissent, alternativement, dans des intervalles de temps qu'on supposait et qui sont, en effet, sensiblement égaux. On pouvait même, à l'aide d'un petit sablier auxiliaire, se vidant plusieurs fois pendant chacun de ces intervalles, en fractionner la durée et graduer l'instrument.

Fig. 1.



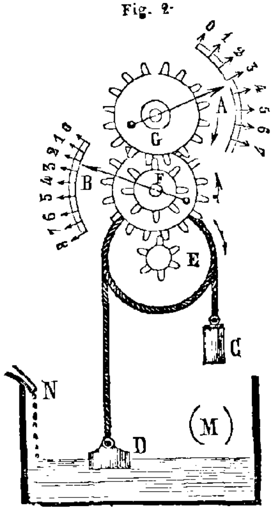
Des expériences modernes ont fait voir que le sablier était susceptible d'une assez grande précision, et que la loi de l'écoulement du sable diffère notablement de la loi d'écoulement de l'eau. Dans le dernier cas, en effet, la vitesse à l'orifice dépend, à chaque instant, de la hauteur ou *charge* du liquide au-dessus du point a, et diminue avec cette charge. Si l'on se sert de sable, au contraire, la quantité qui s'écoule paraît, quelle que soit la charge, rester sensiblement constante et par conséquent être, comme on dit en Mathématiques, *proportionnelle au temps*; de sorte que la vitesse du sable à la sortie dépendrait uniquement du diamètre des grains. Malgré cette propriété qu'ils ignoraient d'ailleurs peut-être, les anciens firent sans doute un assez faible usage du sable, auquel ils ne tardèrent pas, en modifiant convenablement l'appareil, à substituer l'emploi de l'eau. Car les historiens nous racontent que Platon introduisit en Grèce les horloges d'eau ou *clepsydres* (1); que, 200 ans avant J.-C., Ctésibius, fils d'un barbier d'Alexandrie, fit à ces horloges l'application des engrenages inventés par Archimède; que les clepsydres existaient, en Angleterre, du temps de César; que, parmi les trophées apportés d'Orient, on voyait, au

(1) *Klepto*, je dérobe; *udor*, eau.

triomphe de Pompée, une horloge d'eau placée dans une boîte enrichie de perles; que, dans le v^{e} siècle, deux horloges d'eau furent construites par Boëce, pour Gondebault, roi de Bourgogne; que, dans le VIII^{e} siècle, une horloge d'eau, remarquable, fut construite également chez les Chinois; enfin, qu'au commencement du XI^{e} siècle, le calife arabe Haroun-al-Raschid fit présent à Charlemagne d'une magnifique horloge d'eau, etc., etc.

12. **Clepsydres ou horloges d'eau.** — Ces appareils étaient, au reste, d'une construction fort simple en principe, et ne se compliquaient quelquefois que par suite des superfluités dont on les surchargeait. Un vase M (*fig.* 2) où l'eau tombait, *goutte à goutte*, du petit orifice N disposé de manière à donner, autant que possible, en temps égaux, des quantités égales de liquide; un flotteur D équilibré par le contre-poids C, et s'élevant graduellement avec le niveau du fluide dans le vase (M), pour imprimer des vitesses déterminées, par l'engrenage de la poulie E, au système de roues F, G, etc., dont les aiguilles A, B, etc., venaient marquer les heures, les minutes, etc., sur des cadrans convenablement disposés; voilà, dégagée de toute addition inutile, quelle était l'horloge d'eau. Et même encore pouvait-on, le plus souvent, la réduire à la simple poulie E, armée alors d'une aiguille qui marchait devant un cadran.

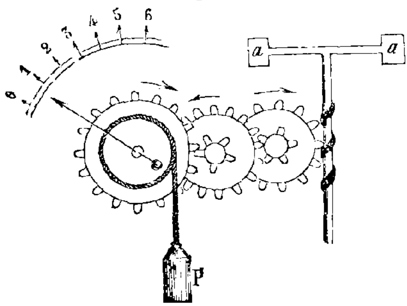
Fig. 2.



13. **Premiers essais d'horloges à poids.** — Le liquide ici remplissait un double rôle : celui de *moteur*, en soulevant le flotteur qui faisait marcher l'horloge; celui de *régulateur*, en s'élevant dans le vase M de hauteurs toujours,

autant que possible, égales dans des temps égaux. Mais on conçoit aisément qu'un pareil système devait être sujet à bien des irrégularités, provoquées par l'évaporation, par les variations qu'éprouvaient la densité du liquide, l'adhésion du flotteur et de l'eau, etc. Aussi dut-on chercher, dès l'origine même, à le modifier. Toutefois, ce fut vers le milieu seulement du IXe siècle, ou peut-être vers la fin du Xe, qu'eut lieu le premier résultat couronné de quelque succès. On rapporte, en effet, tantôt à l'une, tantôt à l'autre de ces deux époques, l'invention des horloges à poids et à balancier, employées encore de nos jours, mais qui paraissent ne dater réellement que du XIVe siècle. Le fait est que la première horloge à balancier qui ait été construite en France, à la suite de l'invention toute récente venue d'Allemagne, fut celle qu'Henri de Vic établit, en 1370, sur la tour du Palais de Charles V, à Paris; et que les prétendues horloges à balancier, attribuées, soit à Pacificus (1), soit à Gerbert (2), étaient tout simplement des horloges à poids, avec des ailettes *a* (*fig.* 3) pour régulateur, et des engrenages dans le système de nos *tournebroches* modernes, chez lesquels les variations de densité de l'air ont une si grande influence sur la résistance aux ailettes et, par suite, sur la régularité de marche de l'appareil.

Fig. 3.



14. — Malgré cette cause de variation, la machine offre néanmoins d'assez grands avantages. On peut d'abord, en

(1) Archidiacre de Vérone, sous Lothaire, vers 850.

(2) D'abord moine, vers 996, à Aurillac en Auvergne, et plus tard Pape sous le nom de Sylvestre II.

inclinant convenablement les ailettes, augmenter plus ou moins la résistance que l'air leur oppose, et par conséquent éloigner ou rapprocher les limites de vitesse qui font équilibre à cette résistance, accélérer ou ralentir, en un mot, la marche de l'instrument. Quant aux heures, aux minutes, aux secondes, rien n'est plus facile que de les obtenir à l'aide de roues et de pignons convenablement disposés. Le poids moteur substitué à l'eau, présente également des garanties de régularité que les pertes par évaporation, l'adhésion, variable avec la température, entre le liquide et le flotteur, etc., étaient loin de donner dans les clepsydres. Enfin, comme la résistance de l'air au mouvement des ailettes croît très-rapidement à mesure que la vitesse de ces ailettes augmente, on conçoit qu'après les premiers moments de variation rapide, au départ de la machine, la tendance à l'accélération, due à l'attraction de la Terre sur le poids moteur, sera détruite à chaque instant par la résistance de l'air sur les ailettes, et que le mouvement deviendra sensiblement uniforme, du moins tant que la densité de l'air ne changera pas trop notablement, ou que le déroulement de la corde n'ajoutera pas un trop grand excès de poids au moteur.

Vous voyez donc ici, sans aucun doute, un progrès marqué sur les horloges d'eau, mais, en même temps, bien des causes d'erreur à détruire encore. Nous allons aborder maintenant les horloges à balancier proprement dites, et rapidement analyser les diverses inventions auxquelles l'horlogerie moderne doit d'avoir atteint une perfection inespérée.

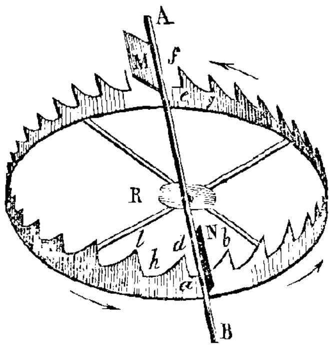
DEUXIÈME LEÇON.

Suite de l'étude des horloges. — Divers perfectionnements apportés aux instruments chronométriques depuis le XIVe siècle jusqu'à nos jours. — Échappement à roue de rencontre ou à couronne. — Ressort spiral du balancier. — Pendule de Galilée. — Application du pendule aux horloges par Huyghens. — Échappement à ancre. — Compensations du pendule : 1° à mercure ; 2° à grille ; 3° emploi des tiges de sapin verni. — Suspensions à ressort et à couteau. — Longueur du pendule à secondes à Toulouse, à Paris et sous l'Équateur. — Horloges à ressort moteur. — Fusée. — Échappement à cylindre. — Spiraux isochrones. — Échappement libre. — Compensation du balancier. — Horloges à sonnerie.

15. — Nous avons vu quelles furent les horloges dont on se servit successivement jusque vers la fin du XIVe siècle. A cette époque, ainsi que je l'ai déjà dit, un Allemand, Henri de Vic, arrivait en France pour construire à Paris, sur la tour du Palais de Charles V, la première horloge bien authentique, à poids et à balancier. Dans l'ingénieuse machine de l'artiste d'outre-Rhin, au lieu du mouvement uniforme et continu qui, dans l'horloge à ailettes de Pacificus ou de Gerbert, rendait la division du temps assez difficile, on employa des mouvements saccadés, en faisant mouvoir les aiguilles de l'horloge par tout petits sauts, de telle manière que la durée totale d'un mouvement et du temps d'arrêt dont chaque mouvement était suivi restât constamment la même. Pour donner ce résultat, le système d'engrenages, aboutissant du poids moteur aux différentes aiguilles, dut se terminer par une dernière roue destinée à empêcher le poids de descendre d'un mouvement trop rapide, et qu'on nomma *roue d'échappement à couronne ou à rencontre*.

Échappement à couronne ou à roue de rencontre, pour les horloges à poids. — C'est parallèlement au plan de cette roue R (*fig.* 4), placée, à l'aide d'engrenages convenables, horizontalement ou verticalement, à volonté, qu'oscille dans des collets A, B l'axe du balancier, composé lui-même de cet axe AB, et de deux palettes M, N, disposées suivant des plans perpendiculaires l'un à l'autre, de manière à pouvoir choquer alternativement, sur la roue de rencontre, des dents opposées.

Fig. 4.

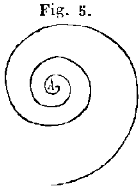


Celles-ci, placées en saillie perpendiculairement au plan de la roue, présentent, d'un côté, la face plane *ef*, de l'autre une face courbe quelconque *fg*. A mesure que la roue tourne sous l'impulsion du poids moteur, agissant par les engrenages de la machine, son mouvement vient successivement s'anéantir contre l'une ou contre l'autre des palettes M, N, qui s'élèvent et s'abaissent périodiquement par des oscillations successives dues aux chocs alternatifs des deux dents opposées.

Je n'insisterai pas longuement sur cet objet. La figure que je trace suffit, il me semble, pour faire comprendre aisément le jeu du balancier. Dans cette figure, la palette N, après avoir choqué la face plane de la dent *ad* qu'elle vient d'arrêter brusquement, commence, par suite du choc, à se relever dans le sens *ab* ; et la roue de rencontre se remet elle-même en mouvement dans le sens indiqué par les flèches. Mais pendant que la palette N se relève vers *ab*, la palette M, au contraire, descend vers la dent *ef*, choque cette dent, arrête à son tour la marche de la machine, et rétrograde sous l'impulsion du choc pour reprendre la position qu'elle occupe dans la figure. Alors la palette N s'est placée de nouveau perpendiculairement au plan de la roue. Seulement, la dent *lh* est venue prendre la position qu'occupait d'abord la dent échappée *ad ;* et les deux petits soubresauts, avec les deux temps d'arrêt qui ont suivi, se sont communiqués successivement aux aiguilles de l'horloge.

16. **Ressort spiral du balancier.** — La régularité de l'appareil dépendait ici complétement, on le voit sans peine, du temps employé par le balancier pour faire son oscillation; car la durée de cette oscillation était précisément la même que la somme des deux temps, réunis, de l'arrêt et de l'échappement de chacune des dents de la roue de rencontre. Malheureusement, le mouvement de recul imprimé par le choc à la roue en même temps qu'au balancier se répercutait d'une manière fâcheuse sur toutes les pièces de la machine, et provoquait des variations auxquelles il était très-désirable qu'on portât remède. Afin de régler les oscillations, Huyghens (1) imagina, vers 1674, d'attacher à l'axe du balancier l'extrémité A (*fig.* 5) d'un petit ressort roulé en *spirale*, et fixé par l'autre extrémité B à l'une des pièces immobiles de la machine. L'appareil reçoit de la sorte un élément de stabilité qu'il était loin d'avoir quand il se trouvait entièrement libre, et qui correspond à la forme naturelle du *ressort spiral.* Mais dès que le choc des dents de la roue de rencontre vient mettre les palettes en mouvement, le spiral se roule ou se déroule suivant le sens de l'oscillation qu'effectue le balancier; et, dans l'un comme dans l'autre cas, il tend à ramener le balancier à la position de l'équilibre, pour la lui faire dépasser ensuite en vertu de la vitesse acquise et de sa propre élasticité. Après quoi, réagissant sur lui-même, et recevant d'ailleurs le contre-coup d'un nouveau choc, il détermine

Fig. 5.



(1) On a réclamé l'invention du ressort spiral en faveur de Hook, qui, dit-on, aurait consigné sa découverte dans un manuscrit déposé, en 1660, à la Société royale de Londres, quatorze ans avant la publication d'Huyghens. Mais cette réclamation, faite aussi par Hook lui-même, a généralement, paru tardive, ainsi que celle qu'on a soulevée également en faveur de notre compatriote Hautefeuille.

une oscillation en sens inverse de la première, jusqu'au moment d'un second arrêt, etc.

On conçoit que l'élasticité du *ressort spiral*, en se combinant avec les chocs des palettes contre les dents de la roue de rencontre, puisse donner au balancier un assez bon *isochronisme* (1); c'est le mot qu'on emploie pour désigner des oscillations faites dans des temps égaux. Toutefois, afin de reprendre l'ordre historique, momentanément interverti par la description précédente de l'invention de Huyghens, je dois dire que cette invention était postérieure de quelques années à la découverte non moins brillante qui a permis de substituer, dans les horloges à poids, le pendule au balancier.

17. **Pendule de Galilée.** — Une sorte de hasard, mais de hasard recueilli et fécondé par le génie d'un grand homme, avait, en effet, déjà fourni à Galilée, il y a plus de deux siècles, le premier élément de correction. L'illustre Astronome considérait un jour les oscillations des lampes suspendues à la voûte d'une église, et l'étude attentive du phénomène lui permit bientôt d'en déterminer les lois; car il ne tarda pas à reconnaître que les oscillations étaient isochrones quand leurs amplitudes demeuraient comprises dans des limites assez restreintes, et, qu'en outre les durées des oscillations variaient, d'une lampe à l'autre, proportionnellement aux *racines carrées* des longueurs des cordes de suspension.

Que les mots *racines carrées* ne vous effrayent pas; je me hâte de les expliquer. La *racine carrée* d'un nombre, c'est la quantité qui, multipliée par elle-même, reproduit ce nombre. Ainsi, la racine carrée de *un* est *un*, parce que *un* multiplié par lui-même ou par *un* donne un produit égal à *un*. La racine carrée de *quatre* est égale à *deux*, parce que 2 multiplié par 2 donne 4; la racine carrée de 9 est 3, parce que 3 multiplié par 3 donne 9, etc., etc. D'où il résulte que si la lampe suspendue à une corde de 4 mètres emploie,

(1) *Isochronisme* ou d'égale durée; *isos* égal, *chronos* temps.

pour faire son oscillation, un temps représenté par 2, la lampe ayant 9 mètres de suspension emploiera un temps représenté par 3; celle dont la suspension aurait 16 mètres emploierait un temps égal à 4, etc., etc. Découverte pleine d'avenir, et qui donna naissance, en 1639, au traité de Galilée sur l'*Emploi du pendule comme horloge physique universelle.*

Application du pendule aux horloges, par Huyghens. — On a prétendu qu'un Suisse, nommé *Juste Byrge*, avait utilisé déjà cet appareil, en 1552, pour la mesure du temps. Mais Juste Byrge n'a rien publié qui le prouve; et s'il est vrai qu'il ait réellement connu l'usage d'un instrument aussi précieux, on peut se demander à quel titre la postérité lui devrait de la reconnaissance pour une découverte dont il aurait emporté le secret dans la tombe? Il en serait de même à l'égard des Arabes, auxquels la découverte a été également attribuée. L'honneur tout entier revient donc à Galilée. Néanmoins, l'application du pendule aux horloges ne fut faite que quinze ans après la mort de cet homme célèbre, par Huyghens, qui construisit, en 1657, la première horloge authentique à pendule (1) et à cadran. Je dis *authentique*, parce que quelques-uns ont assuré, mais sans preuves certaines, que le fils de Galilée avait précédé Huyghens dans cette voie.

18. **Échappement à ancre.** — Les formes de l'*échappement* appliqué au pendule ont été très-variées. Je me bornerai, pour abréger, à tracer l'un des systèmes qui sont le plus généralement employés et qu'on appelle *échappement à ancre.* Il fut imaginé par Hook, en 1666. Voici en quoi il consiste :

Supposez le pendule CB oscillant autour du point C, et portant une *ancre* DFE, armée de deux crochets D, E; lorsque le pendule est dans la position CB (*fig.* 6), c'est-à-dire lorsqu'il va recommencer à descendre, on voit que la chute du poids P, et, par suite aussi, le mouvement de la

(1) Les horloges à pendule ont, par abréviation, pris le nom de *pendules*, sous lequel on les désigne généralement aujourd'hui.

machine, sont complétement arrêtés par le crochet E, contre lequel bute une des dents de la roue d'échappement.

Fig. 6.

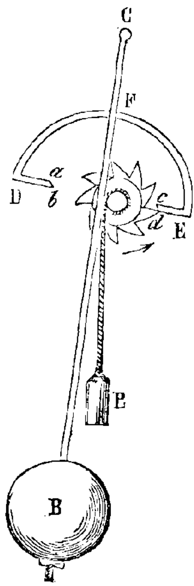
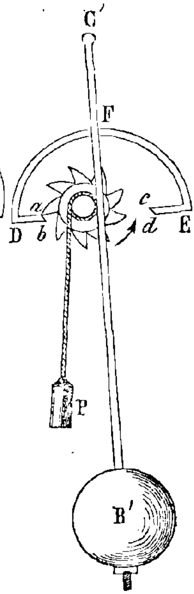


Fig. 7



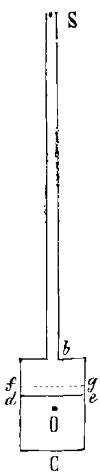
Lorsque, au contraire, le pendule est venu dans la position C'B' (*fig.* 7), ce sera le crochet D qui empêchera le mouvement de la roue.

Les crochets D, E sont, au reste, taillés en biseau; de telle sorte que le glissement du sommet des dents contre les faces *ab*, *cd* de ces crochets, loin de diminuer et d'éteindre les oscillations, contribue, au contraire, à rendre au pendule la vitesse qu'il aurait perdue par le frottement.

19. **Compensations du pendule. — 1° Compensation à mercure.** — Il ne reste guère plus, dans cette horloge, qu'une seule cause de variation; c'est celle qui provient de l'allongement ou de l'accourcissement du pendule par l'effet de la chaleur. Pour obvier à cet inconvénient et rendre la longueur du pendule invariable à toutes les températures, on a imaginé une foule de procédés ingénieux. L'un des plus simples est celui que donna l'horloger anglais Graham, en 1715, sous le nom de *compensation à mercure*. Il consistait tout simplement en une tige de verre S*b* (*fig.* 8), terminée par une cuvette *b*C, dans laquelle on mettait du mercure jusqu'à une certaine hauteur *de*. Quand la température venait à s'élever, la tige et la cuvette s'allongeaient; mais le mercure contenu

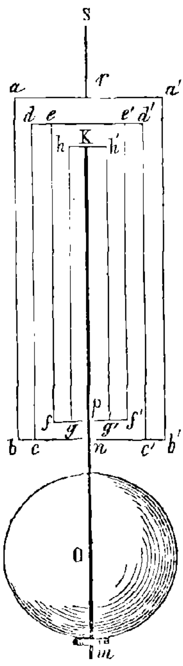
dans la cuvette se dilatait également, et son niveau s'élevait de *de* en *fg*. Or, comme la dilatation du mercure est beaucoup plus considérable que celle du verre, l'exhaussement *df* ou *eg* du niveau du mercure suffisait pour compenser l'allongement de la tige et de la cuvette, et pour faire que la distance du point de suspension S à un point O, qu'on nomme le *centre d'oscillation*, ne changeât pas. D'après les principes de la mécanique rationnelle, c'est cette distance qui constitue réellement la longueur du pendule; c'est elle, par conséquent, qu'il importait de rendre invariable, et le procédé que je viens d'exposer remplissait parfaitement le but. Il présentait même cet autre avantage, que, venant à reconnaître un défaut de compensation, l'Astronome pouvait corriger lui-même très-facilement l'appareil sans le secours d'un artiste, en ajoutant ou en retirant quelques gouttes de mercure à l'aide d'une pipette. On voit d'ailleurs aisément que, dans le cas d'un refroidissement, l'accourcissement de la tige en verre correspondrait à un abaissement du niveau du mercure dans la cuvette, et, par suite encore, comme dans le cas d'une élévation de température, à l'invariabilité de la longueur SO.

Fig. 8.



2° **Compensation à grille.** — Pourquoi ce système si simple a-t-il été à peu près abandonné? J'avoue que j'ai quelque peine à le comprendre. Mais, depuis 1787, il est généralement remplacé (du moins en France) par la *compensation à grille*, de Ferdinand Berthoud, composée (*fig.* 9) : 1° d'un premier cadre en acier *baa'b'* ; 2° de deux montants *cd*, *c'd'*, en laiton, reposant aux points *c*, *c'* sur la traverse inférieure *bb'* du cadre en acier, et reliés supérieurement par une traverse *dd'* également en acier; 3° de deux tringles d'acier *ef*, *e'f'*, suspendues en *e*, *e'* à la traverse *dd'*, et réunies inférieurement par la traverse d'acier *ff'*; 4° de deux autres montants en laiton, *gh*, *g'h'*, reposant aux points *g*, *g'* sur la traverse *ff'* et, comme tous les autres montants, assujettis vers le haut par une dernière traverse *hh'*; 5° enfin, de la tige d'acier K*m* qui passe dans de petites ouvertures *p*, *n*, pratiquées sur *ff'* et sur *bb'*, pour se terminer en *m*, après avoir traversé la lentille O, par une vis dont l'écrou, destiné à soulever ou à laisser descendre la lentille à volonté, permet de régler l'instrument, en allongeant ou accourcissant la distance SO du centre de suspension au centre d'oscillation du pendule.

Fig. 9.



On peut, avec ces données, suivre aisément le jeu de la compensation. La dilatation et la contraction du laiton étant, en effet, plus considérables que celles de l'acier, quand, par une variation de température, les tringles *ab*, *a'b'* s'allongent ou se raccourcissent, auquel cas le point O tend à *descendre* ou à *s'élever*, les tringles *cd*, *c'd'*, éprouvant les mêmes influences, tendent, au contraire, à *exhausser* ou à *abaisser* la traverse *dd'*, c'est-à-dire, quoique plus courtes que *ab*, *a'b'*, à compenser le premier effet. Seulement, comme on ne veut pas donner trop de longueur au pendule, on est obligé de *compléter* la compensation par le second système de tringles dont la *dilatation* ou la *condensation* produisent, pour celles d'acier *ef*, *e'f'*, *l'abaissement* ou *l'élévation* de la traverse *ff'*, et, pour celles de laiton, *gh*, *g'h'*, *l'élévation* ou *l'abaissement* de *hh'*, ainsi que du point d'attache K de la tige K*m*. On est même obligé *d'exagérer* la compensation des tringles d'acier par celles de cuivre, parce que la tige K*m* qui porte la lentille O, et la tige S*r* qui va du centre de suspension S à la traverse *aa'*, *éloignent* encore ou *rapprochent* le centre O d'oscillation du centre de suspension S, de manière à détruire l'excès de compensation dû au système des tringles, et de manière aussi, par conséquent, à conserver au pendule son invariabilité. Pour que l'appareil batte la seconde, c'est-à-dire fasse 86400 oscillations par jour, il faut, à Toulouse, que sa longueur, mesurée du centre de suspension au centre d'oscillation, soit égale à $0^m,99\,339$. Or, la force qui le fait mouvoir, et qui n'est autre que la pesanteur, variant légèrement d'un point à l'autre du globe, la longueur du pendule à secondes doit aussi varier un peu; à Paris, par exemple, elle est égale à $0^m,99\,386$; au pôle, elle serait $0^m,99\,622$, et sous l'équateur, $0^m,99\,087$.

20. **Suspension à ressort et à couteau. — Tiges de sapin verni. —** Je n'ai pas besoin de dire, sans doute, comment, d'habitude, on suspend le pendule. Il n'est personne qui n'ait eu l'occasion de voir, soit le ressort *ab* (*fig.* 10) pincé entre deux biseaux fixes, au point *c* pris alors pour centre de suspension, soit le couteau *g* oscillant sur le plan d'agate ou d'acier *de*, à travers lequel passe, par une ouverture pratiquée en *f* (*fig.* 11), la tige

Fig. 10.

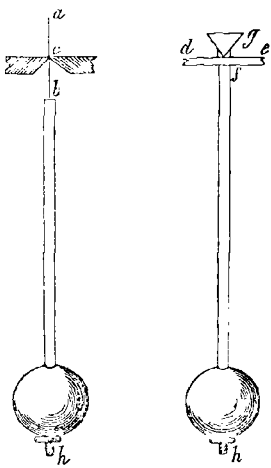
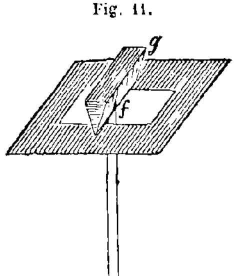


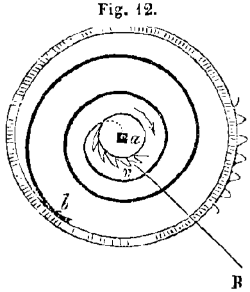
Fig. 11.



fh de l'appareil. J'ajouterai seulement, en terminant cette partie de nos études, que le pendule convenablement compensé donne des résultats très-remarquables, et que les horloges qui en sont munies ne varient pas, ordinairement, d'un *dixième* de seconde par jour, souvent même par *semaine* ou par *mois*. Je pourrais ajouter également qu'on substitue quelquefois aux systèmes que je viens dedécrire une simple tige de sapin verni à fibres bien droites, qui paraîtrait, d'après quelques expériences, conserver une longueur invariable à toutes les températures; enfin, qu'à l'aide d'un ressort auxiliaire ou d'une combinaison de moufles convenablement disposées, on parvient aisément à conserver à l'horloge, pendant qu'on la monte, la force motrice nécessaire pour que le mouvement ne soit pas interrompu.

21. **Horloges à ressort moteur.** — Lorsque l'espace manque pour la descente du poids moteur, comme dans les pendules de cheminée, par exemple, on substitue au poids un ressort roulé en spirale dans un cylindre auquel on a donné le nom de *barillet*. Le ressort est fixé par l'une de ses extrémités à l'axe *a* (*fig.* 12), par l'autre à la paroi intérieure du barillet, en *b*; et pour monter l'horloge, on se sert d'une clef qui saisit, comme chacun sait, l'un des bouts équarris de l'axe, à l'autre extrémité duquel se trouve un rochet *m* armé de dents convenablement taillées pour glisser sur la petite lame élastique R, en tournant dans le sens qu'indique la flèche, et pour s'arc-bouter, au contraire, dans le sens opposé. Il devient dès lors impossible à l'axe de faire un retour sur lui-même et de détendre subitement le ressort moteur. L'effet ne peut donc se produire que par le mouvement du barillet qui engrène, à sa base, avec les rouages de la machine, et se trouve périodiquement arrêté, comme dans le cas du poids moteur, par le jeu de l'échappement. Seulement, à mesure que l'horloge marche, le ressort perd de sa force en se débandant; et les chocs communiqués par l'intermédiaire des engrenages, soit au pendule, soit au balancier armé de son spiral, vont en diminuant d'intensité. D'où

Fig. 12.

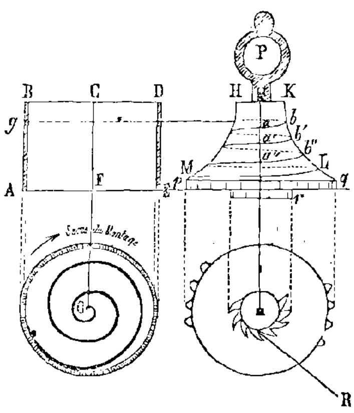


il suit que les oscillations du balancier ou du pendule doivent, à leur tour, diminuer d'amplitude, et que la marche de l'horloge doit varier.

22. **Fusée.** — Pour obvier à cet inconvénient, on imagina, presque en même temps que le ressort moteur, vers le commencement du XVI^e siècle, un ingénieux appareil qui, pendant trois cents ans, a été employé avec succès, et que l'on voit encore dans quelques *montres* anciennes. La *fusée*, c'est le nom qu'on lui donne, est aujourd'hui presque abandonnée; mais les longs services qu'elle a rendus, et ceux qu'elle sera peut-être un jour appelée à rendre encore, m'engagent à dire ici succinctement en quoi elle consiste.

Quand le ressort moteur enfermé dans le barillet vient d'être monté; lorsque, par conséquent, il peut agir énergiquement sur les rouages de la machine, supposez qu'on l'oblige à transmettre son action par l'intermédiaire d'un levier très-court. Supposez, en outre, qu'on fasse graduellement augmenter, à mesure que le ressort en se déroulant perdra de sa force, la longueur du levier auquel l'impulsion du ressort restera liée. Ne devient-il pas évident que l'effet produit sur l'échappement pourra conserver une valeur constante? Car personne n'ignore aujourd'hui qu'une force très-faible, agissant à l'extrémité d'un grand levier, peut faire parfaitement équilibre à une force beaucoup plus considérable, mais dont le bras de levier serait plus court. Voilà, dit en quelques mots, tout l'artifice de la fusée.

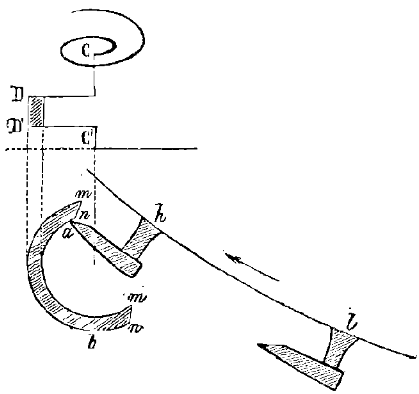
Fig. 13.



O (*fig.* 13) est la projection horizontale du barillet et du ressort intérieur; ABCDE la projection verticale; CF la projection verticale de l'axe, cette fois immobile, autour duquel est enroulé le ressort; enfin g un point du barillet auquel se trouve attachée une chaîne à maillons articulés, qui vient s'enrouler sur la surface MHKL de la fusée, quand on fait tourner cette fusée avec une clef P, pour entraîner le barillet et monter l'horloge. Sous la fusée se trouve le rochet r, et à sa base est une roue d'engrenage pq qui communique le mouvement à l'appareil. Lorsque le ressort est complétement bandé, l'axe du barillet étant fixé d'une manière invariable, c'est le barillet qui, par l'effet du ressort, tend à revenir sur lui-même et à entraîner la fusée sur laquelle il agit à l'aide du petit bras de levier ab. Mais à mesure que le ressort perd de sa force, la petite chaîne à maillons s'enroule sur le barillet en se déroulant sur la fusée; et les bras de levier à l'extrémité desquels agit la puissance qui doit, par l'intermédiaire de la fusée, transmettre son action jusqu'à l'échappement, deviennent successivement $a'b'$, $a''b''$, etc., c'est-à-dire augmentent de manière à compenser l'affaiblissement du ressort.

Le seul inconvénient d'un pareil système, c'est que pendant le temps employé à monter l'horloge par l'axe de la fusée, le cylindre du barillet tourne en sens inverse du mouvement qu'il devra prendre quand le ressort se détendra. L'horloge est donc arrêtée pendant quelques instants, ce qui n'est pas acceptable dans une horloge astronomique. Aussi ne tarda-t-on pas à imaginer une combinaison de ressorts et de roues placés sous la fusée, pour suppléer à l'inaction momentanée du ressort moteur. Seulement, on tombait alors dans une assez grande complication qui a fait abandonner la fusée pour un système plus simple, où les variations de la force du ressort moteur sont à peu près sans effet, grâce, d'un côté, à l'intervation du spiral dans le balancier, de l'autre, à des formes nouvelles d'échappement, imaginées par Graham et perfectionnées par Lépine, par Bréguet, etc. Les échappements dont je veux parler sont ceux qu'on appelle vulgairement : 1° échappement *à cylindre* ou *à repos*, par opposition à l'échappement *à recul* des roues de rencontre; 2° échappement *libre*, pour désigner un échappement tout à fait indépendant du ressort moteur. Bien que les variations de la force motrice soient d'ailleurs ici à peu près indifférentes, on les renferme néanmoins dans des limites assez restreintes, en employant de très-longs ressorts, afin que le montage de l'horloge n'augmente que d'un petit nombre les tours primitivement enroulés. Ce montage se fait, au reste, il n'est pas besoin de le dire, puisque la fusée est supprimée, par l'axe du barillet qui, dès lors, ne peut plus être momentanément arrêté dans son mouvement de détente.

23. **Échappement à cylindre.** — Le premier des deux échappements que je viens de nommer, l'échappement *à cylindre*, se compose tout simplement (*fig.* 14) d'un demi-cylindre creux DD′ (dont *ab* représente la coupe circulaire horizontale), faisant partie du balancier CC′ armé de son spiral, et sur les faces (inférieure *a*, ou extérieure *b*) duquel viennent s'arrêter successivement les dents *h*, *l*, etc., de la roue d'échappement. Il est évident que pendant chaque oscillation du balancier, les surfaces concave et convexe du cylindre glissent alternativement sur les diverses dents, sans les déplacer. Les variations de la force motrice, transmises à la roue d'échappement, n'ont donc ici d'autre effet que d'augmenter ou de diminuer légèrement le choc et le frottement des dents contre le cylindre. Mais le temps de l'échappée et de l'arrêt, pour chaque dent, ne dépendant plus que de la durée de l'oscillation du balancier, lorsqu'un frottement ou un choc

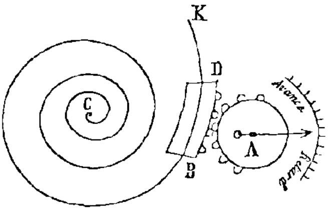
Fig. 14.


plus énergique contre les faces du cylindre tendrait à neutraliser en partie l'effet du ressort spiral et à diminuer l'amplitude des oscillations, il se produit par la même cause un effet inverse sur les biseaux *mn* du cylindre, quand les dents recommencent à se mouvoir en glissant contre ces biseaux, et l'influence des altérations de la force par le bandage ou par la détente graduelle du ressort se trouve, de la sorte, sensiblement annihilée.

Spiraux isochrones. — Pierre Leroy, Ferdinand Berthoud et, après eux, les artistes de nos jours, sont parvenus, du reste, à faire des spiraux isochrones, quelle que soit l'amplitude des oscillations, en remarquant : 1° qu'un ressort très-long et très-enroulé recevra peu de bandage d'un nouveau tour tout entier; que le balancier emploiera, par conséquent, pour faire son oscillation, c'est-à-dire pour parcourir une circonférence complète, sous l'action de la force très-faible dont il est animé, beaucoup plus de temps qu'il n'en emploierait à faire une petite oscillation sous l'action d'une force peu inférieure à la première, mais qui ne correspondrait cependant qu'à une fraction de tour dans le bandage du spiral; 2° qu'au contraire, un très-court spiral recevra, d'un tour nouveau ajouté au petit nombre de spires correspondant à l'état d'équilibre, un tel excès d'énergie, que le balancier attaché à ce ressort pourra parcourir une circonférence tout entière, c'est-à-dire une grande oscillation, en moins de temps qu'il n'en emploierait pour parcourir le tout petit arc résultant d'une tension beaucoup plus faible, c'est-à-dire d'une tension due à une fraction de tour seulement. D'où il résulte qu'un spiral de longueur *moyenne* et convenablement déterminée mettra le même temps à faire les grandes et les petites oscillations; que, par conséquent, les variations de la force motrice seront sans influence sur la marche de l'horloge, puisqu'elles ne pourront altérer l'isochronisme du balancier.

Chacun sait, d'ailleurs, que, pour éviter une usure trop rapide, on construit d'ordinaire le cylindre en pierre dure, et les palettes en acier. On sait aussi qu'il est possible de ramener le spiral à la longueur convenable, par un petit tâtonnement, en faisant tourner dans un sens ou dans l'autre (*fig.* 15) la roue A qui conduit elle-même la crémaillère BD à l'intérieur de laquelle glisse l'un des bouts du spiral fixé au point K, pendant que l'autre bout vient s'attacher au centre C du balancier. Car, suivant le sens dans lequel marche la crémaillère assujettie, je n'ai pas besoin de le dire, entre deux montants parallèles à BD, le point B, considéré comme point d'attache du spiral, se rapproche ou s'éloigne du point K; et la portion BC de ce spiral, qui fonctionne, s'allonge ou se raccourcit.

Fig. 15.

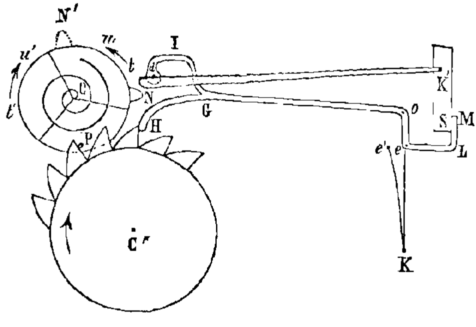


24. **Échappement libre.** — L'échappement à cylindre est aujourd'hui généralement employé pour les horloges de poche, ou *montres*, qui ne doivent donner le temps qu'à la précision d'une ou de deux minutes par vingt-quatre heures. Quand, au contraire, on a besoin, comme dans la marine, par exemple, d'horloges *à balancier* douées d'une exactitude comparable à celle des horloges à pendule adoptées dans les Observatoires, on est obligé de recourir à l'échappement *libre* dont on a varié les détails, mais dont le type se rapporte toujours à peu près à la construction suivante :

*d*IG, HG (*fig.* 16) sont deux doigts ou pièces courbes terminant une des extrémités du levier coudé G*oe*LM. Ce levier peut tourner autour du point *o*; mais il est soutenu par un ressort très-faible et très-long K'*d* qui va en s'amincissant, du point *d* à son point d'attache K', et sur lequel repose une cheville *d* plantée dans le doigt *d*IG.

K*e* est un second ressort extrêmement flexible, fixé en K et battant, par son autre extrémité, sur une cheville *e* plantée dans le levier. LM est un talon non élastique, destiné à buter contre la pièce K'S, et à empêcher ainsi le levier coudé de s'écarter, sous la pression du ressort Ke, de la position d'équilibre dans laquelle il est représenté.

Fig. 16.



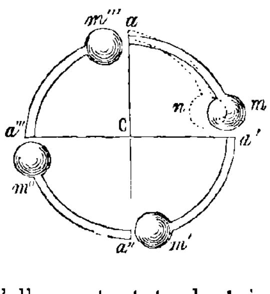
Soit C′ le centre de la roue d'échappement, dont les dents sont terminées d'un côté par des surfaces planes suivant la direction des rayons, et de l'autre par des surfaces courbes quelconques.

Soit encore C la projection de l'axe du balancier armé de son spiral. A cet axe est fixée une petite eirconférence portant la dent N placée de manière à pouvoir frapper contre l'extrémité du levier dK'. Lorsque l'oscillation du balancier a lieu dans le sens tu, le choc de la dent N, soulevant l'extrémité du ressort dK' sur lequel repose la cheville d, entraîne le levier à tourner autour du point o, et fait échapper la dent qui butait contre le doigt GH. Mais à peine cet effet a-t-il eu lieu, que l'élasticité du petit ressort auxiliaire Ke, déplacé en Ke' par la rotation autour du point o, tend à ramener le levier à sa position primitive, et par conséquent à opposer le doigt GH à la dent qui suit. Il y a donc, presque instantanément, un nouvel arrêt de la machine; et la durée de cet arrêt se prolonge jusqu'au moment où le balancier pourra choquer encore le ressort dK', en reprenant sa marche dans le sens tu. Car lorsque l'oscillation revient sur elle-même dans le sens $t'u'$, le choc qui se produit de *bas* en *haut*, ou de N vers d

contre le ressort K'd, reste évidemment sans effet sur le doigt GH qui continue tout simplement à se tenir arc-bouté contre les dents de la roue d'échappement, pendant que le ressort K'd s'abaisse un instant sous le choc du balancier.

Compensation du balancier. — Dans cet ingénieux système, le spiral régulateur conserve une indépendance à peu près complète, tandis que dans l'échappement à cylindre il est constamment influencé par les palettes de la roue d'échappement, qui ne cessent de frotter sur le cylindre pendant toute la durée de l'oscillation. Les petits chocs de la dent N contre le ressort dK' et le frottement des pivots finiraient cependant, à la longue, par éteindre le mouvement, si l'on n'avait soin d'armer le balancier d'une cheville auxiliaire P, convenablement placée pour qu'au moment même de l'échappement chacune des dents de la roue C' puisse successivement la choquer. Les pertes de force éprouvées par le spiral se trouvent ainsi constamment réparées; et quand les autres conditions de l'isochronisme ont été convenablement remplies, les oscillations se continuent avec une régularité parfaite. Nous avons déjà vu que l'une de ces conditions résidait dans la longueur du spiral. Je dois ajouter qu'une autre condition non moins importante consiste dans la compensation du balancier; compensation que l'on obtient par un procédé analogue à celui employé pour le pendule, c'est-à-dire en formant le contour extérieur du balancier, comme l'indique la *fig.* 17, à l'aide d'un système am, $a'm'$, $a''m''$, $a'''m'''$, de quatre lames courbes terminées par les masses m, m', m'', m''', et composées, chacune, de deux métaux inégalement dilatables, soudés dans toute leur longueur. Lorsque la température vient, en effet, à s'élever par exemple, les rayons Ca, Ca', Ca'', Ca''' s'allongent et tendent à éloigner du centre C les masses

Fig. 17.



m, m', m'', m'''. Mais le métal le plus dilatable étant à l'extérieur de chacune des lames, la longueur de la partie extérieure augmente plus que celle de la partie intérieure ; et les deux métaux soudés ensemble ne pouvant se séparer, les lames prennent la forme *an*, c'est-à-dire rapprochent du centre C les masses *m* et compensent de la sorte l'allongement des rayons C*a*. Il est d'ailleurs facile de voir que, dans le cas d'un abaissement de température, la compensation se produirait également, puisque, le métal le plus dilatable éprouvant alors la condensation la plus forte, les lames tendraient à se dérouler vers l'extérieur, et à éloigner du centre C les petites masses *m*, ou plus exactement les centres d'oscillation de chacune des branches C*am*, que le refroidissement des rayons C*a* tendrait, au contraire, à en rapprocher.

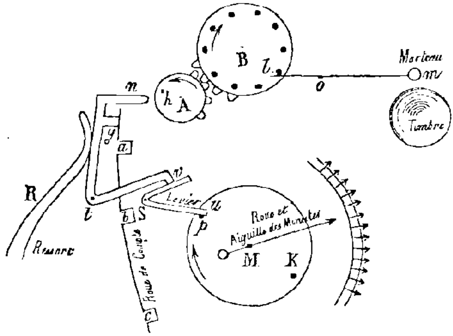
Les horloges ainsi compensées portent le nom de *chronomètres* (1), de *montres marines*, de *garde-temps*, etc. On les a quelquefois armées de *deux* balanciers qui, quoique indépendants l'un de l'autre, paraissent néanmoins s'influencer et se régulariser mutuellement. On en a construit également qui peuvent, à volonté, sans que l'observateur ait à se préoccuper d'autre chose que de donner de petits coups, marquer sur le cadran, soit l'instant précis d'un phénomène, soit les phases successives d'une série de phénomènes se succédant à intervalles très-rapprochés, etc. Mais ces diverses constructions présentent des détails trop spéciaux qui sortiraient de notre cadre ; et pour terminer ce que je dois dire sur l'horlogerie, je me bornerai à décrire un dernier mécanisme qui, bien que très-peu employé par les Astronomes, semble de nature cependant à piquer la curiosité, je veux parler du mécanisme de la sonnerie. Voici, en quelques mots, l'explication de la *fig.* 18, qui peut le faire connaître.

25. **Sonnerie.** — La roue A tourne sous l'impulsion d'un ressort ou d'un poids particulier, destiné spécialement à produire le mouvement de la sonnerie. Cette roue

(1) *Chronos*, temps ; *métron*, mesure.

entraîne, à son tour, la roue B armée de chevilles qui viennent

Fig. 18.



successivement soulever le marteau *m*, en pressant sur l'extrémité *l* du levier *lm* fixé au point *o*. En même temps la *roue de compte*, *abc*, mue également par le ressort ou par le poids de la sonnerie, glisse sous le doigt *g* du levier coudé *gtr*, mobile autour du point *t*, jusqu'au moment où l'une des coches *a*, *b*, *c*, etc., vient se présenter à ce doigt qui, pressé par le ressort R, tombe dans la coche et laisse le doigt *n* se placer, à son tour, sous la cheville *h* de la roue A.

La marche des rouages de la sonnerie se trouve, dès lors, arrêtée jusqu'au moment où la seconde cheville K de la roue M des minutes, arrivant à la place qu'occupe actuellement la cheville *p*, soulève de nouveau le levier S*u* mobile autour du point S, et, par l'intermédiaire de ce levier, dégage le doigt *g* de la coche dans laquelle il était entré sur la roue de compte, pour permettre à la roue A, devenue également libre par l'écartement du doigt *n*, de se remettre en mouvement et de faire jouer la sonnerie.

Les coches de la roue de compte sont d'autant plus espacées que le nombre de coups frappés sur le timbre est plus considérable. Un volant à ailettes, comme dans les horloges de Pacificus ou de Gerbert, régularise le mouvement avec une exactitude très-suffisante dans le cas actuel. Enfin, pour obtenir la répétition, on n'a qu'à doubler chacune des chevilles K, *p*, de la roue des minutes, à doubler également les coches de la roue de compte, et à faire les espaces qui séparent ces coches sur le contour de la roue, égaux deux à deux.

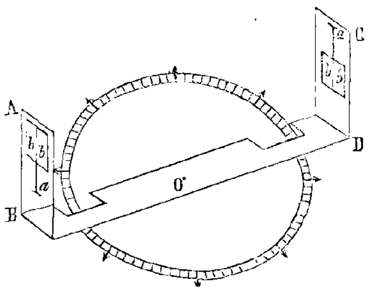
On a varié les détails et la construction de la sonnerie, comme ceux des autres organes. Mais de plus longs développements à cet égard dépasseraient les bornes que j'ai dû me prescrire. En entreprenant d'esquisser les diverses phases qu'a successivement parcourues l'une des branches les plus utiles et les plus délicates de la mécanique, j'avais uniquement pour objet d'exposer les principes généraux sur lesquels repose la construction de ces ingénieuses machines, dont personne aujourd'hui ne sait plus se passer. Je me féliciterais de pouvoir penser que mon but a été convenablement atteint; et je me hâte de commencer l'étude des instruments d'optique, auxquels l'Astronomie moderne doit également de si brillants succès.

TROISIÈME LEÇON.

Usage et inconvénients des alidades. — Notions préliminaires pour l'étude des instruments d'optique. — Lois de la réfraction simple dans les lentilles. — Foyers conjugués. — Foyer virtuel. — Foyer principal. — Centre optique. — Description de l'œil et théorie de la vision. — Vision nette. — Vision confuse. — Distance de la vue distincte. — Myopie et presbytisme. — Durée des sensations produites sur la rétine. — Images accidentelles. — Daltonisme. — Contractilité de l'iris. — Insensibilité de l'épanouissement du nerf optique. — Explication de Képler, renouvelée par Descartes, sur la cause qui nous fait voir les objets droits malgré le renversement des images dans l'œil.

26. **Usage et inconvénients des alidades.** — Les anciens Astronomes se servaient d'alidades pour viser aux objets éloignés. Ces appareils, que l'on emploie tous les jours encore dans l'arpentage, sont composés (*fig.* 19) d'un système de deux pinnules AB, CD perpendiculaires au cercle O et percées de deux fentes : l'une très-étroite *a* nommée *l'œilleton*, parce qu'on place l'œil derrière elle, l'autre *bb* beaucoup plus large, nommée *fenêtre*, et portant à son milieu un fil dirigé sur le prolongement de l'œilleton. Le fil et l'œilleton déterminent une ligne de visée qui, dans la rotation des pinnules autour

Fig. 19.



du centre O, reste elle-même toujours parallèle à l'un des diamètres du cercle, et dont le mouvement angulaire, mesuré sur ce cercle, donne précisément la valeur de l'angle compris entre deux objets visés successivement. Chaque pinnule est munie ordinairement d'un œilleton et d'une fenêtre disposés, sur AB l'œilleton en bas et la fenêtre en haut, sur CD l'œilleton en haut et la fenêtre en bas, de manière que l'œil puisse venir se placer à l'une ou à l'autre, et avoir toujours néanmoins un œilleton et une fenêtre dans la ligne de visée.

On conçoit sans peine combien un pareil système doit être défectueux, soit à cause de l'épaisseur du fil fixé à la fenêtre, et de la largeur qu'il faut donner à l'œilleton pour permettre de voir (d'où peuvent résulter des erreurs assez fortes dans le pointage), soit à cause de la difficulté que l'on éprouve à discerner de très-loin, et par une toute petite fente, le point auquel on veut viser. Et cependant, bien que les lunettes fussent connues depuis la fin de 1609, c'est vers 1667 seulement qu'elles ont été substituées aux pinnules pour la mesure des angles. Je dirai bientôt pourquoi tant de retard (1) dans une application aussi importante. Mais je veux tracer auparavant l'histoire de ces admirables instruments qui ont doublé, pour ainsi dire, la vie de l'Astronome, en permettant d'observer une foule de corps célestes, le jour aussi bien que la nuit, et dont l'usage est venu donner, en outre, aux mesures angulaires un degré d'exactitude inouï, tout en augmentant d'une manière inespérée la puissance de la vue dans l'étude de la constitution physique des Astres.

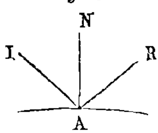
Pour comprendre le jeu des lunettes, il est bon de connaître quelques propriétés de la lumière, ainsi que le mécanisme de la vision. Ce sont là, sans doute, des détails bien vulgaires; je ne saurais me dispenser néanmoins de les rappeler succinctement.

27. **Notions préliminaires pour l'étude des instruments d'optique.** — Il y a des corps qui sont lumineux par eux-

(1) On n'avait pas eu plus tôt l'idée de placer des fils en croix pour déterminer des points de repère et des lignes de visée dans les lunettes.

mêmes, d'autres qui ne le sont que par réflexion. Les premiers lancent des rayons dans tous les sens; et l'œil placé sur le trajet d'un de ces rayons aperçoit le point duquel le rayon émane. Les seconds, au contraire, sont toujours invisibles, tant qu'une lumière étrangère ne vient pas les éclairer. Seulement, on distingue deux espèces de réflexion : 1° celle qui a lieu à la surface des corps parfaitement polis, et qui se fait suivant des lois géométriques, c'est-à-dire de manière que le rayon réfléchi AR (*fig.* 20) forme avec la perpendiculaire, ou, pour parler un langage plus mathématique, avec la normale AN à la surface, un angle NAR égal à l'angle IAN que le rayon incident IA faisait avec cette même normale; et 2° la réflexion due aux surfaces rugueuses, sur lesquelles la lumière incidente vient, en quelque sorte, s'écraser pour se disperser ensuite dans tous les sens comme si elle émanait de corps lumineux par eux-mêmes. La réflexion géométrique, ou réflexion *régulière* des physiciens, ne fait pas apercevoir le corps poli sur lequel elle s'opère; elle n'apporte à l'œil que la sensation de la source lumineuse; la réflexion *irrégulière*, au contraire, ne conserve plus en quelque sorte aucune trace de cette source, et ne donne à l'œil que la sensation des surfaces rugueuses sur lesquelles la lumière s'est écrasée (1).

Fig. 20.



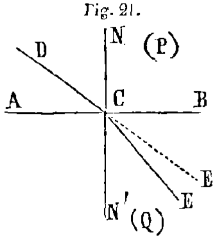
Nous utiliserons plus tard les propriétés de la réflexion *régulière*; pour le moment, c'est la réflexion *irrégulière* qui seule nous intéresse, puisque c'est par elle que nous apercevons la plupart des objets dont nous sommes environnés. Dès qu'il en est ainsi, pourquoi donc, sous l'influence d'une source unique, du Soleil pendant le jour, d'une flamme éclatante pendant la nuit, voyons-nous tant de couleurs diverses parmi les objets sur lesquels notre vue peut se porter? Pour ne pas entrer dans des détails trop étendus, je me bornerai à rappeler ces belles teintes irisées que chacun a remarquées,

(1) Les anciens croyaient à des émanations partant de l'œil, pour aller embrasser le corps visible; mais devant les découvertes de la physique moderne, il serait oiseux de discuter une pareille opinion.

sans doute, quand des jets de lumière traversent les facettes d'un cristal. Convenablement analysé, le phénomène a permis de reconnaître que la lumière du soleil, comme toutes les lumières blanches, se compose de *sept* couleurs élémentaires dont le mélange en diverses proportions peut produire les nuances les plus variées; et l'on a dû conclure, en même temps, que la constitution moléculaire des surfaces rugueuses est de nature à exercer une sorte d'action *élective* qui fait réfléchir telle ou telle couleur, absorber ou détruire telle ou telle autre, de manière à donner à chaque corps la couleur de la lumière réfléchie que l'œil en reçoit.

28. **Réfraction.** — Blanc ou coloré, le rayon de lumière marche toujours en ligne droite, tant que le *milieu* (substance) dans lequel il se meut, ne change ni de nature, ni de densité. Mais dès que ce rayon arrive obliquement à la surface AB de séparation des deux milieux (P) (Q) de densités différentes (*fig.* 21), il se brise, il se *réfracte*, comme on dit en physique, et change de direction; se rapprochant, suivant CE, de la *normale* NCN' à la surface de séparation des deux milieux, quand la substance (P) de laquelle il sort est moins dense que celle (Q) dans laquelle il pénètre; s'éloignant, au contraire, suivant CD, de la même normale lorsqu'il sort, après avoir parcouru la direction EC, du milieu le plus dense (Q), pour entrer dans le milieu (P) moins dense que le premier. Ce curieux phénomène peut se démontrer de bien des manières. Je n'en chercherai, pour le moment, d'autre preuve que la propre expérience de ceux qui se sont amusés quelquefois à tirer des poissons dans l'eau. Aucun de ceux-là n'ignore, en effet, que, pour atteindre le poisson qui semble être en E', il faut viser au-dessous, et plus ou moins bas suivant l'appréciation que l'on fait de la profondeur, afin d'envoyer la charge à véritable place, au point E; parce qu'en s'éloignant de la normale CN au passage de l'eau dans l'air, le faisceau lumi-

Fig. 21.

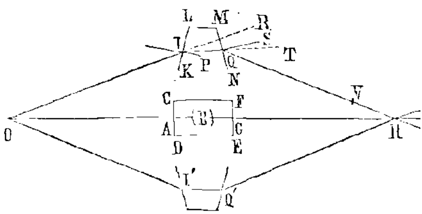


neux EC par lequel doit être transmise la sensation, vient imprimer contre l'œil un choc qui paraît émaner d'un des points E′ de la direction CD dans laquelle il arrive.

Quant aux diverses explications qui ont été imaginées pour rendre compte de la réfraction, elles m'éloigneraient trop de mon but, sans grande utilité. Je me contente donc de prendre le fait tel que l'observation nous le présente; et je vais le mettre à profit pour exposer les lois suivant lesquelles s'opère la vision, soit à l'œil nu, soit à l'aide des lunettes : en faisant observer seulement que, si au lieu d'arriver obliquement, le rayon tombait d'*aplomb* sur la surface de séparation des deux milieux, il pénétrerait alors sans se dévier, car il n'y aurait pas de raison pour qu'il se détournât dans un sens plutôt que dans l'autre.

29. — Supposons donc un point O, lumineux par lui-même ou par réflexion, et envoyant des rayons dans tous les sens. Un de ces rayons OA (*fig.* 22) venant à tomber perpendicu-

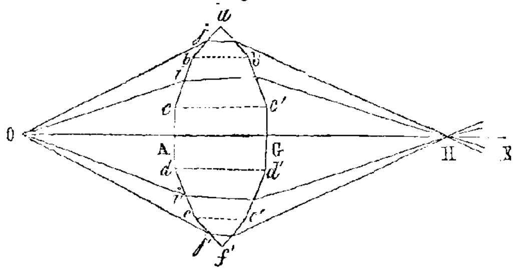
Fig. 22.



lairement, au point A, sur le corps transparent B, pénétrera sans déviation dans l'intérieur, et, si la face CD est parallèle à la face EF, sortira au point G dans la direction GH, située sur le prolongement de OA. Mais un autre rayon OI qui tomberait obliquement sur la surface KL, passant de l'air ou du vide dans un milieu plus dense, abandonnera sa direction primitive OIR pour se rapprocher de la normale IP, et viendra tomber, suivant IQ, à un point Q de la seconde surface. Là, il tendra à repasser dans un milieu moins dense que celui qu'il vient de traverser; il tendra donc aussi à se dévier de sa marche IQT et, cette fois, à s'éloigner de la normale QS à la surface MN. Il continuera, par conséquent, sa route dans une direction QV plus éloignée de QS que ne l'était QT ; et si l'inclinaison des deux surfaces LK MN par rapport au rayon incident OI a été convenablement déterminée, le rayon émergent QV pourra se trouver assez dévié de la direction primitive OI pour venir couper le rayon central quelque part, en H.

La construction que nous venons de faire au-dessus de la ligne OH, nous pourrions la faire, exactement identique, au-dessous ; et nous trouverions, par conséquent, qu'un rayon OI′ symétrique de OI, viendrait, à son tour, après une double déviation éprouvée aux points I′ et Q′, rencontrer le rayon OH au point H où est arrivé le rayon OI. Nous pourrions même, par un assemblage bien combiné de divers fragments (*fig.* 23) *abb′*, *bcc′b′*...*dee′d′*, *ef′e′*, symétriques deux à deux au-

Fig. 23.

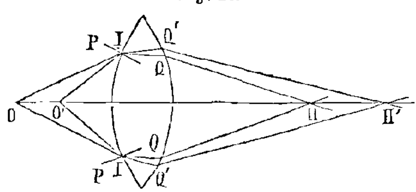


tour de l'axe OH, faire que les rayons O*j*, O*i*... O*i′*, O*j′* vinssent tous se couper en un seul point H, pour continuer ensuite leur route en divergeant de ce point.

Lois de la réfraction simple dans les lentilles. — Imaginons maintenant que les contours anguleux *abcdef*, *ab′c′d′e′f′*, au lieu d'être formés, chacun, par un certain nombre d'éléments rectilignes plus ou moins grands, *ab*, *bc*, *cd*... *ab′*, *b′c′*, *c′d′*..., etc., se trouvent composés, au contraire, d'une multitude d'éléments infiniment petits ; ces contours se changeront en courbes continues auxquelles on pourra, mot pour mot, appliquer ce que nous venons de dire des contours brisés *abcdef*, *ab'c'd'e'f'*. Et comme les mêmes raisonnements seraient encore rigoureusement applicables à toutes les sections identiques faites, suivant l'axe OH, dans le solide que produirait la surface *abcdefe'd'c'b'a* en tournant autour de AG, nous pourrons conclure : que *lorsqu'un point lumineux se trouve placé en présence d'un corps transparent symétrique autour d'un axe passant par ce point, et terminé par deux surfaces convexes convenablement taillées* (1) *qui donnent au corps transparent à peu près la forme d'une lentille, tous les rayons lumineux partis du point* O *viennent, après s'être brisés dans l'intérieur et au sortir de la lentille, converger en un même point* H *situé par rapport à la lentille du côté opposé au point* O, *et duquel ils s'éloignent ensuite, en divergeant, après s'être croisés*.

30. **Foyers conjugués.** — Le mot *lentille* qui nous a servi à désigner la forme du corps transparent est devenu le mot consacré par l'usage; et les points O, H, ont pris le nom de *foyers conjugués*.

Fig. 24.



Lorsque le point O (*fig.* 24) se rapprochant de la lentille, vient, par exemple, en O', les rayons tombent plus obliquement, suivant O'I, par rapport à la normale PI; et la force réfringente de la lentille ne peut plus alors conduire ces rayons que suivant IQ'H'. Le foyer conjugué H' du point O' est donc plus éloigné de la lentille que le foyer H conjugué du point O.

Foyer virtuel. — Il devra même arriver que le foyer lumineux se rapproche assez de la lentille, que les incidences deviennent par conséquent assez obliques pour que les rayons

(1) Ces surfaces sont ordinairement sphériques; mais l'arc qu'elles comprennent ne doit soutendre qu'un très-petit nombre de degrés. En d'autres termes, les surfaces des verres ne sont qu'une très-petite portion des surfaces sphériques dont elles font partie.

émergents ne convergent plus et sortent du corps réfringent tantôt (*fig*. 25), parallèles à l'axe, tantôt divergents (*fig*. 26); et dans ce dernier cas ils sembleront, pour l'œil qui les recevra derrière la lentille, vers H, être partis d'un point F situé du même côté, mais plus loin que le point rayonnant O‴, et qui prend alors le nom de *foyer virtuel* ou de *foyer imaginaire*.

Fig 25.

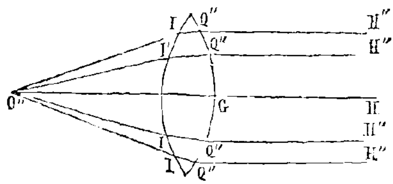
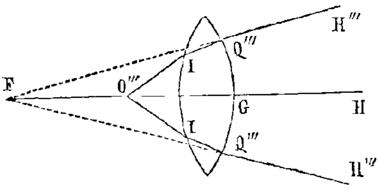


Fig. 26.



Je n'ai pas besoin d'ajouter, sans doute, que si le point lumineux venait à s'éloigner (les deux foyers étant réels), le foyer conjugué suivrait, à son tour, une marche inverse et se rapprocherait de la lentille.

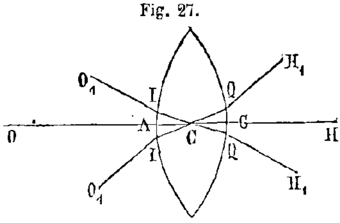
31. **Foyer principal.** — Il y a, l'expérience le prouve et le raisonnement le montrerait aisément, réciprocité complète entre les foyers conjugués. Cela veut dire que si, au lieu de se trouver en O, le point lumineux était en H (*fig*. 24), les rayons réfractés dans la lentille viendraient converger ou se réunir en O; que si le point lumineux venait en H′, la convergence aurait lieu sur le point O′; que si les rayons arrivaient (*fig*. 25) suivant les directions H″ Q″..., parallèles entre elles et à l'axe HG de la lentille, ils viendraient se croiser en O″ qui prend alors le nom de *foyer principal*; enfin que s'ils convergeaient primitivement (*fig*. 26) vers un point F suivant HG... H‴Q‴..., etc., ils se briseraient dans la lentille de manière à se croiser, en réalité, au point O‴ situé entre la lentille et le point F.

32. — Ce qui précède ne suppose pas une courbure identique pour les deux faces de la lentille; et l'expérience aussi bien

que le calcul, prouvent en effet qu'on peut obtenir des lentilles à faces inégalement convexes, qui jouissent de toutes les propriétés signalées plus haut. Néanmoins, d'habitude, les constructeurs paraissent trouver plus commode de donner sensiblement la même courbure aux deux faces, mais sans, pour cela, s'astreindre à une rigoureuse identité. Quant à la densité du corps réfringent, il est évident qu'elle doit être partout la même, à moins qu'elle ne variât, ce qui n'est pas supposable dans la pratique, avec une régularité parfaite autour de l'axe; car tous les points semblablement placés par rapport à cet axe doivent jouir d'un même pouvoir réfringent, pour que les rayons lumineux qui viennent y passer soient brisés de la même manière, et convergent en un seul foyer. Or la convergence ne saurait avoir lieu dans le cas de densités irrégulières.

33. — Lorsque le point lumineux est placé en O_1, au-dessus ou au-dessous de l'axe de la lentille, on peut prouver par un calcul des plus simples, mais dont les détails ne sont pas ici nécessaires, qu'il y a sur l'axe (*fig.* 27), à égale distance des deux faces si les courbures sont les mêmes, un peu plus près de la face la plus convexe que de celle qui l'est le moins, si les courbures sont inégales (1), un certain point C, jouissant de la propriété que tous les rayons lumineux qui passent par ce point traversent la lentille sans se dévier ou, plus exactement, que la portion émergente QH_1 de chacun de ces rayons est parallèle à la portion incidente O_1I, mais légèrement exhaussée ou abaissée suivant que la portion incidente se trouve elle-même au-*dessus* ou au-*dessous* de l'axe OA. Seulement, à cause du peu d'épaisseur de la lentille relativement aux distances habituelles des points lumineux,

Fig. 27.

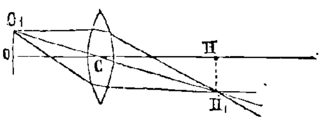


(1) Soient r et R les rayons de courbure des deux faces de la lentille. Supposez deux de ces rayons NI N'I' parallèles (*fig.* 28). Evidemment

l'exhaussement ou l'abaissement du rayon émergent, par rapport au rayon incident, est tellement faible, qu'on regarde généralement les deux portions parallèles d'un même rayon, comme ne faisant qu'une seule et même ligne droite.

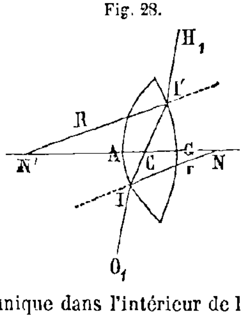
34. **Centre optique.** — Le point C déterminé par la condition précédente, porte le nom de *centre optique* de la lentille; et les lignes qui y passent sont appelées *axes secondaires*, par analogie avec l'axe principal, dont elles possèdent toutes les propriétés tant qu'elles ne font entre elles que de petits angles, que des angles s'élevant, au *maximum*, à 3 ou 4 degrés de la division sexagésinale dans laquelle chacun des 360 degrés égaux d'une circonférence de cercle est divisé, comme on sait, en 60 minutes qui se subdivisent elles-mêmes, chacune, en 60 secondes, puis en tierces, etc. Jusqu'à la limite de 3 ou 4 degrés, que je viens d'indiquer, la forme de lentille qui est susceptible de faire converger en H tous les rayons partis de O, fera converger en H_1 sensiblement à la même distance que H (*fig.* 29), tous les rayons

Fig. 29.



alors, puisque les angles NII' N'I'I sont égaux, un rayon réfracté, suivant II' sera la continuation de deux rayons (incident O_1I émergent $I'H_1$) parallèles, et l'on aura pour déterminer le point C, la proportion résultant des triangles semblables NCI, N'CI';

Fig. 28.



$$(NI = NA) : NC :: (N'I' = N'G) : N'C$$

d'où $(NA - NC = AC) : (N'G - N'C = GC) :: NI : N'I' :: r : R$; et par suite,

$$\frac{AC}{GC} = \frac{r}{R}.$$

Le rapport $\frac{AC}{GC}$ ne dépend donc que de r et R mais nullement de la direction des rayons incident et émergent. Le point C est donc lui-même un point unique dans l'intérieur de la lentille; et comme r se trouve plus petit que R, AC doit être, à son tour, plus petit que GC. Le centre optique C est donc plus près de la surface la plus courbe.

partis de O_1; rendra parallèles à O_1CH_1 (*fig.* 30) tous les rayons émergents envoyés par O_1, quand elle rend parallèles

Fig. 30.

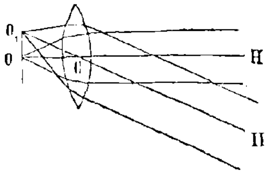
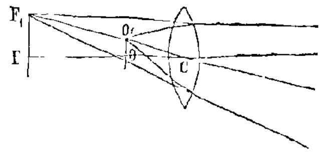


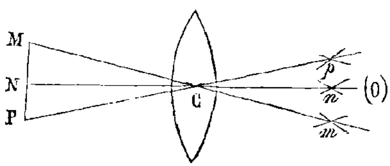
Fig. 31.



à OCH les rayons partis de O; fera enfin diverger (*fig.* 31), en apparence, des foyers virtuels F_1, les rayons émergents envoyés par O_1, quand elle fait diverger du foyer F, situé à la même distance de la lentille que F_1, les rayons émanés de O.

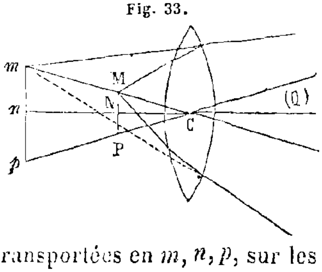
D'où il résulte que lorsqu'un objet MNP (*fig.* 32) est placé devant la lentille à une distance suffisante pour que les rayons émanés de chacun de ses points aillent converger derrière la lentille aux points *mnp*, pour que les deux *foyers conjugués*, en un mot, soient réels l'un et l'autre, les points *m*, *n*, *p*, deviendront eux-mêmes des points rayonnants; et l'œil qui serait situé quelque part, vers O, apercevrait l'objet MNP comme si cet objet était placé en *pnm*, c'est-à-dire derrière la lentille, et *renversé*.

Fig. 32.



D'où il résulte encore que, dans le cas des foyers virtuels (*fig.* 33), les images des points M, N, P, paraissant transportées en *m*, *n*, *p*, sur les axes mêmes CM, CN, CP, qui

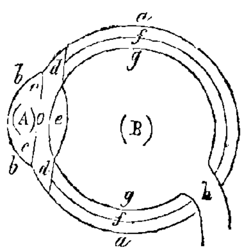
Fig. 33.



passent par les points rayonnants M, N, P, et par le centre optique C de la lentille, l'œil situé vers (Q) verra l'objet en *mnp*, c'est-à-dire *droit* et *agrandi*.

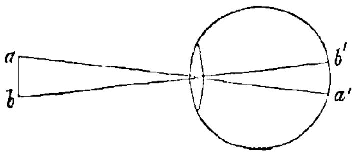
35. **Description de l'œil et théorie de la vision.** — Ces préliminaires étant bien compris, rien n'est plus facile que de se rendre compte des divers phénomènes relatifs à la vision. Et d'abord, pour le cas de la vision sans emploi d'appareils optiques, il suffit de savoir que l'œil, enfermé dans la cavité osseuse qu'on nomme orbite, se compose (*fig.* 34) : 1° d'une membrane fibreuse *a a* tapissant le fond de l'orbite sous le nom de *sclérotique* ou de *cornée opaque*, et se terminant à la partie antérieure, avec des courbures plus prononcées, par une surface diaphane *bb*, qu'à cause de sa principale propriété l'on appelle *cornée transparente ;* 2° d'une membrane circulaire

Fig 34.



cc (*l'iris*), fixée sur le pourtour de séparation entre la sclérotique et la cornée transparente, présentant toujours une teinte plus ou moins foncée qui donne à l'œil sa couleur, et percée à son centre d'une ouverture arrondie *o* (*la pupille*) qui peut être agrandie ou diminuée par la contraction ou la dilatation des fibres musculaires dont l'iris est formée ; 3° d'une autre membrane *dd* placée derrière l'iris, portant le nom de *couronne ciliaire* et destinée à enchâsser une lentille diaphane *e* appelée *cristallin ;* 4° d'une quatrième membrane *ff* qu'on nomme *choroïde*, qui renferme une matière colorante assez foncée et qui se trouve appliquée intérieurement sur la sclérotique, de manière à faire de l'œil une véritable *chambre obscure ;* 5° d'une membrane médullaire *gg* (*la rétine*) terminée par le nerf optique *h* et qui ne serait même, d'après certains, qu'un épanouissement de ce nerf ; 6° enfin de deux humeurs transparentes qui remplissent les deux chambres (A), (B), formées dans l'œil par la séparation due au cristallin et à la couronne ciliaire, et qui portent les noms, l'une (A) d'*humeur aqueuse*, l'autre (B) plus visqueuse et plus dense que A, d'*humeur vitrée*. Or si l'on suppose

Fig 35.



(*fig*. 35 un objet lumineux *a b* placé, à la *distance convenable*, devant l'œil réduit à ses éléments les plus essentiels, c'est-à-dire au cristallin et à la rétine, on voit tout de suite que cet objet viendra former son image renversée en *a'b'* sur le fond de l'œil ; et là-dessus, en effet, des expériences multipliées ont rendu le doute impossible.

36. **Vision nette.** — J'ai dit avec intention que la distance de l'objet à l'œil devait être *convenablement* choisie ; car, pour que la vision soit nette, il faut que chacun des points *a*, *b*, etc., de l'objet vienne se peindre sur la rétine en un *point unique* ou, en d'autres termes, que la position de la rétine corresponde exactement au foyer conjugué de l'objet *ab*.

Vision confuse. — Si cette condition n'était pas remplie, le point O placé devant l'œil, tendant à former son image soit en O′ derrière la rétine (*fig*. 36), soit en O″ (*fig*. 37) devant la rétine, la sensation produite s'éparpillerait, pour ainsi dire, sur la surface d'un petit cercle *mn* ; et l'œil, au lieu de voir un point nettement déterminé, ne recevrait qu'une impression plus ou moins confuse, suivant la grandeur du cercle qui correspondrait, sur la rétine, à l'image du point lumineux. A plus forte raison, l'impression serait-elle vague, lorsque le point unique deviendrait un assemblage de points

Fig. 36.

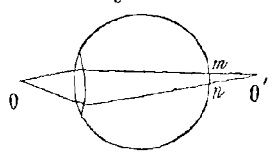
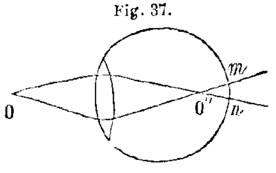


Fig. 37.



uxtaposés, c'est-à-dire un objet ayant des dimensions appréciables, puisque alors les cercles correspondant aux images de chacun des points en contact, empiéteraient l'un sur l'autre et superposeraient, amalgameraient, en quelque sorte, une série de sensations qui auraient dû rester distinctes et séparées pour transmettre au cerveau la sensation nette des divers points.

Distance de la vue distincte. — Myopie et presbytisme. — Dans un œil bien conformé, la vision s'opère avec une netteté parfaite quand l'objet est placé à une distance de 30 centimètres environ. Cette distance porte le nom de *distance de la vue distincte*. Elle varie d'un œil à l'autre avec la courbure du cristallin qui se trouve très-bombé chez les *myopes* (1) et très-aplati, au contraire, chez ceux qu'on appelle *presbytes* (2). Les premiers, comme on sait, doivent, pour bien voir, placer l'objet très-près de l'œil; tandis que les seconds (les vieillards, d'habitude, chez lesquels le cristallin s'est aplati par l'effet de l'âge) sont obligés d'éloigner cet objet à des distances quelquefois assez considérables. Nous étudierons, prochainement, les moyens employés pour remédier à ce double inconvénient. Mais, auparavant, analysons quelques-unes des propriétés physiologiques de l'œil, dont on peut avoir souvent intérêt à connaître les diverses fonctions, soit pour se rendre compte de certains phénomènes bizarres en apparence, soit pour éviter ou pour corriger des illusions qui seraient de nature à altérer l'exactitude des observations astronomiques.

37. **Durée des sensations produites sur la rétine.** — Il n'est personne qui ne se souvienne, par exemple, de ces lignes de feu que les enfants s'amusent quelquefois à produire en

(1) Myopes, *muo*, je ferme, *ops*, œil, parce qu'en effet, les myopes clignent les yeux pour diminuer l'ouverture de la pupille et, par conséquent aussi, la largeur des faisceaux qui forment les images dans l'œil. C'est le moyen de diminuer la grandeur des cercles *mn* de la *fig*. 37, et de donner de la netteté à la vision. Mais alors aussi l'on nuit à la clarté des images.

(2) *Presbus*, vieillard, *ops*, œil.

faisant mouvoir rapidement un charbon incandescent. Pourquoi voit-on *simultanément* l'objet lumineux sur tous les points de la ligne qu'il parcourt, bien qu'il ne vienne se placer que successivement en ces divers points ? Une seule réponse paraît plausible; c'est que les sensations produites sur chacun des points de la rétine par le choc lumineux, sont susceptibles de durer un certain temps après la disparition ou le déplacement de l'objet qui les a fait naître. Des expériences multipliées ont permis d'évaluer ce temps, qui est un peu variable avec l'éclat du corps lumineux, mais qui, généralement, égale un *dixième de seconde*; en sorte que l'image brillante qui se promènerait sur la rétine de manière à revenir périodiquement y occuper, dix fois par seconde, les mêmes places, donnerait la sensation d'une courbe continue, puisque pour chaque élément de cette courbe l'image lumineuse viendrait renouveler la sensation au moment où celle-ci serait sur le point de disparaître.

38. **Images accidentelles.** — On peut citer encore une expérience assez curieuse et des plus faciles à effectuer. Fatiguez vos yeux en les fixant sur un objet vivement éclairé, sur les carreaux d'une croisée par exemple, et fermez-les ensuite. Vous verrez, pendant un certain temps, l'objet avec ses teintes lumineuses. Après quoi, l'impression s'effacera pour se reproduire bientôt, avec les mêmes formes, mais avec des couleurs qu'on dit *complémentaires* des premières parce que la réunion des deux teintes donne du blanc; c'est-à-dire avec la sensation du *noir* (absence complète de lumière) sur les parties qui d'abord étaient *blanches*, et du *blanc* sur celles qui se montraient en *noir*, avec la sensation du *vert* remplaçant le *rouge*, du *violet* succédant au *jaune*, etc. Puis tout disparaîtra de nouveau, mais pour laisser immédiatement reparaître les teintes primitives affaiblies, que ne tarderont pas à remplacer, à leur tour, les teintes complémentaires plus affaiblies encore, etc., etc.; jusqu'à ce qu'enfin l'illusion s'évanouisse entièrement, après une série plus ou moins prolongée d'alternatives, produites par des paralysies momentanées et par des redoublements successifs d'impres-

sionnabilité de la rétine, pour les couleurs qui l'avaient frappée.

39 **Daltonisme.** — Ces effets, accidentels dans la plupart des yeux, deviennent quelquefois permanents chez certaines organisations, et constituent alors une véritable maladie qu'on appelle *daltonisme*, du nom de l'illustre physicien *Dalton*, sur lequel, si je ne me trompe, elle a été remarquée pour la première fois. Depuis lors, on a recueili une foule d'observations intéressantes et présentant plus d'un côté plaisant. Je me souviens, entre autres, avoir lu quelque part qu'un excellent peintre fit, sans se douter de sa méprise, un paysage très-bien dessiné d'ailleurs, mais dans lequel toutes les parties qui auraient dû être peintes en vert, le gazon, les feuilles des arbres, se trouvaient, au contraire, enluminées d'une magnifique couleur *écarlate* (la complémentaire du vert). j'ai lu aussi dans un Mémoire (de M. d'Hombres-Firmas, je crois), qu'un avocat distingué d'Alais choisissait constamment des habits d'un marron faux qu'il prenait pour du beau noir. M. Wartmann cite également un officier anglais arrivant à la parade avec un uniforme *vert*, au lieu d'un uniforme *rouge*. Enfin, on rencontre quelquefois des yeux discordants chez la même personne, comme l'étaient les oreilles d'un certain baron allemand qui se trouvait énervé par la musique la plus harmonieuse, jusqu'au jour où son médecin eut l'heureuse idée de l'engager à tenir constamment l'une de ses deux oreilles bouchées; ce qui, soit dit en passant, lui réussit à merveille, et fit un zélé mélomane de l'homme qui n'avait cessé d'avoir auparavant la musique en horreur. Je dois ajouter, avant d'abandonner ce sujet, que si, pour des couleurs vives la plupart des yeux se trouvent d'accord, il n'en est pas de même lorsque les couleurs sont très-affaiblies; et que, presque constamment, sur plusieurs personnes qui regarderont deux teintes complémentaires extrêmement pâles juxtaposées, du vert et du rose par exemple, l'une verra *rose* et *vert* ce que l'autre au contraire trouvera être *vert* et *rose*, ce qu'une troisième assurera être parfaitement *identique* et *blanc*. D'où l'on peut conclure que la limite de sensibilité,

à laquelle chacun commence à percevoir les teintes peu éloignées du blanc, diffère, généralement, d'une organisation à l'autre.

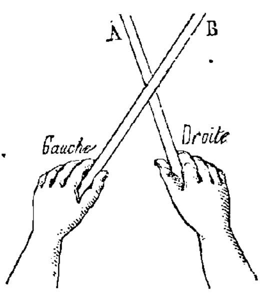
40. **Contractilité de l'iris. — Insensibilité de l'épanouissement du nerf optique.** — La pupille ne conserve pas toujours la même grandeur. Sous l'impression d'une lumière vive, on la voit se rétrécir par suite de la dilatation de l'iris; on peut la voir, au contraire, s'ouvrir considérablement, lorsque l'œil est obligé de faire un effort pour distinguer des objets trop faiblement éclairés. Il n'est pas nécessaire, sans doute, d'insister sur l'explication de ce double phénomène. Chacun a déjà compris que l'ouverture de la pupille est destinée à permettre l'introduction des faisceaux lumineux dans l'œil; et que, pour ménager convenablement la sensibilité de la rétine, les faisceaux doivent avoir des dimensions inverses de leurs intensités. Ai-je besoin de dire, après cela, que chez les hiboux, chez les chats, etc., enfin chez tous les animaux doués de la faculté de voir pendant la nuit, c'est-à-dire avec une lumière diffuse extrêmement faible, la rétine jouit d'une très-grande impressionnabilité; que, par conséquent, les dimensions de la pupille peuvent varier dans des amplitudes considérables? Ce sont là des résultats sur lesquels chacun se serait affirmativement prononcé, par avance. Mais il n'en est plus ainsi de la singulière propriété dont jouit l'extrémité du nerf optique. Les points, en effet, où commence l'épanouissement qui forme la rétine, au lieu d'avoir un excès d'impressionnabilité, comme semblerait devoir le faire supposer, *à priori*, la condensation des filets nerveux, sont précisément, d'après de curieuses expériences de Mariotte, doués de la plus complète insensibilité.

41. — On s'est demandé souvent pourquoi nous voyons les objets droits, bien que leurs images soient renversées dans l'œil. On s'est aussi demandé pourquoi les deux yeux ne donnent au cerveau qu'une sensation unique. Cette seconde question ne paraît pas difficile à résoudre lorsqu'on remarque avec quelle facilité l'on peut faire naître des images doubles par la plus

légère pression exercée sur l'un des deux yeux. En agissant ainsi, l'on dérange tout simplement la symétrie des axes optiques, celle par conséquent des points de chaque rétine, qui sont simultanément impressionnés; d'où l'on peut conclure que l'unité de sensation provient d'une sorte d'harmonie entre les points identiques des deux rétines. Quant à la question de la vision *droite* correspondant aux images *renversées*, j'avoue qu'elle ne paraît pas aussi simple malgré les nombreuses explications auxquelles elle a donné lieu. Ce qui semble donc le plus sage, à mon avis, dans l'état actuel de nos connaissances, c'est de se borner à constater la propriété, que l'œil a reçue, de nous faire voir droits les objets dont les images sont renversées sur la rétine; réserve bien naturelle, quand on songe que nous n'avons pas un second œil pour observer ce qui se passe dans le premier.

Explication de Képler, renouvelée par Descartes, sur la cause qui fait voir les objets droits malgré le renversement des images dans l'œil. — Je dois mentionner cependant l'explication de Képler, renouvelée par Descartes, parce qu'elle paraît assez rationnelle, malgré les objections qu'elle a également soulevées, et parce que d'ailleurs elle a l'avantage d'être fort simple; car elle se borne à comparer les faisceaux entrant dans l'œil, aux bâtons croisés à l'aide desquels se dirigent certains aveugles. Le bâton A (*fig.* 38) porté par le bras droit va toucher les objets placés à gauche, tandis que le bâton B dirigé par l'autre bras est destiné à indiquer la présence des objets de droite. De même, selon Képler, les faisceaux lumineux partis des points inférieurs d'un objet, pour aller, après s'être réfractés dans le cristallin, former, vers le haut de la rétine, les images correspondantes, indiqueraient à l'œil, par la direction même des chocs opérés

Fig. 38.



contre lui, qu'ils marchent du bas vers le haut, et que les points desquels ils émanent se trouvent conséquemment à la partie inférieure de l'objet. Les chocs imprimés par les faisceaux dirigés du haut vers le bas, donneraient à l'œil la sensation des points supérieurs; enfin, la droite et la gauche de l'objet se manifesteraient par des impulsions aboutissant, sur la rétine, à la gauche ou à la droite de l'image.

Abordons maintenant l'étude des procédés employés pour remédier à certaines imperfections de l'œil, ou pour ajouter à la puissance optique de cet organe.

QUATRIÈME LEÇON.

Moyens de corriger la vision. — Besicles, verres de myopes. — Verres de presbytes. — Lunettes astronomiques de Galilée ; de Képler. — Longue vue ou lunette terrestre. — Grossissement. — *Irisation des images*. — Télescopes. — Expériences de Dollond. — Lunettes achromatiques. — Diaphragmes. — Fils placés au foyer des lunettes pour la mesure des angles. — Visibilité des étoiles pendant le jour à l'aide des lunettes.

42. — Nous avons vu que chez les *myopes* dont le cristallin est trop bombé, comme chez les presbytes pour lesquels il est trop aplati, les faisceaux lumineux partis des points placés devant l'œil à la distance de 30 centimètres environ (1), n'apportent à la rétine qu'une sensation confuse. Nous savons d'ailleurs que lorsqu'un objet se *rapproche* ou *s'éloigne* de la lentille derrière laquelle il doit former son image, cette image, à son tour, *s'éloigne* ou se *rapproche* de la même lentille. L'on comprendra facilement, d'après cela, pourquoi les myopes mettent très-près de leur œil l'objet qu'ils veulent voir nettement; car un point distant de 30 centimètres, formant, pour eux, son image entre le cristallin et la rétine, ils doivent nécessairement rapprocher l'objet afin de ramener l'image sur la rétine même, en éloignant cette image du cristallin. L'on comprendra donc aussi pourquoi l'effet est inverse chez les presbytes, dont le cristallin aplati n'imprime aux faisceaux lumineux qu'une faible déviation ; car le foyer conjugué tend alors à se former

(1) Distance ordinaire de la vue distincte, très-commode pour la portée de la main

derrière la rétine, trop loin du cristallin, pour un objet situé à la distance de la vue distincte, et ne peut être ramené sur la rétine que par l'éloignement de l'objet.

43. — Il serait difficile d'assigner l'époque précise où furent imaginés les moyens de remédier aux défauts de la vision. Mais on peut affirmer que cette époque ne remonte guère au delà de la fin du XIII^e ou des premières années du XIV^e siècle. D'après les uns, en effet, l'invention des lunettes ordinaires, de celles qu'on appelle vulgairement *besicles* (1), *conserves*, etc., serait due au moine *Roger Bacon*, auquel on attribue tant d'autres découvertes merveilleuses et qui, vers 1290, expia si cruellement, par la prison, ses hardis efforts pour réformer la philosophie ancienne, c'est-à-dire pour substituer l'autorité de la raison et de l'expérience à l'autorité, jusqu'alors incontestée, d'Aristote. D'après les autres, ce serait un Florentin nommé *Sylvio di Glarmati*, mort en 1317, qui aurait montré l'usage des verres destinés à perfectionner la vue. *Alexandre di Spina*, mort en 1313, aurait de son côté, suivant l'inscription latine gravée sur son tombeau, « *enseigné à construire les lunettes qu'un autre avait déjà construites et refusait de faire connaître*, etc., etc. (2). » Bien que laissant du doute sur le véritable auteur de la découverte, ces diverses assertions s'accordent néanmoins, comme on voit, pour en fixer la date vers l'époque assignée plus haut, et se trouvent confirmées d'ailleurs par un témoignage contemporain, conservé dans le Dictionnaire de *Crusta*, où on lit : « *Frère* JORDANUS DE RIVALTO, *mort en* 1311, *écrivit en* 1305 *que, depuis vingt ans, on avait trouvé l'art de polir les verres à lunettes.* »

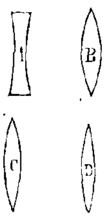
Moyens de corriger la vision. — Comment ces verres agissent-ils pour détruire les inconvénients de la myopie et du presbytisme ? — Si nous voulions avoir seulement une idée de leurs effets généraux, sans chercher à préciser les modifi-

(1) *bis cyclus ;* double cercle.

(2) *Ocularia ab aliquo alio facta et communicare nolenti, ipse fecit et communicavit.*

cations géométriques apportées par leur interposition dans la marche des faisceaux lumineux, nous pourrions nous borner à dire : « Votre cristallin est-il trop bombé ? Cherchez, puis- » qu'il ne vous est pas possible de l'aplatir, à modifier les ré- » fractions trop énergiques qu'il tend à produire dans un » sens, par un verre capable de produire des réfractions un » peu moins énergiques dans un sens contraire; de manière » que la différence des deux effets soit équivalente à l'effet que » produirait un cristallin bien constitué. » Le verre capable de donner un pareil résultat serait évidemment (*fig.* 39) le verre A, qu'on nomme lentille biconcave, et dont la taille est précisément inverse de celle du cristallin B. Quant aux presbytes, leur cristallin aplati D ne fonctionnant pas avec une énergie suffisante, ce serait par l'addition d'un second cristallin ou d'une lentille convexe C, qu'ils obtiendraient le supplément nécessaire de puissance réfringente, pour permettre à l'œil de fonctionner comme s'il était bien conformé, c'est-à-dire comme s'il avait un cristallin capable de donner, sur la rétine, une image nette des objets placés à la distance ordinaire de la vue distincte.

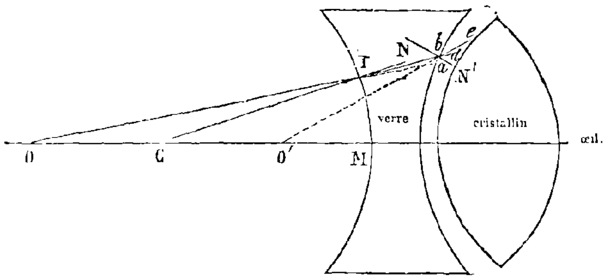
Fig. 39.



44. — Mais pour ceux qu'un raisonnement aussi simple ne satisferait pas, et qui désireraient suivre la lumière à travers le verre et le cristallin, voici des constructions à l'aide desquelles il sera facile d'analyser les diverses réfractions.

Verres de myope. — Soit O (*fig.* 40) le point lumineux placé devant un œil de myope, à la distance de la vue distincte ordinaire. Le faisceau parti de ce point serait brisé par le cristallin de manière à venir converger en avant de la rétine; et pour ramener le point de concours sur la rétine même, il faudrait rapprocher le point O de l'œil, jusqu'à une certaine position O'. Or, on peut reconnaître aisément qu'après avoir traversé le verre *biconcave* interposé sur leur trajet, les rayons lumineux envoyés par le point O arrivent sur le cristallin précisément comme s'ils étaient partis de ce point O'; que, par conséquent, l'interposition du verre aura produit

Fig. 40.

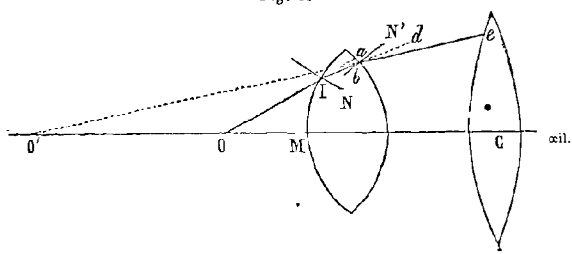


l'effet désiré, en faisant voir un objet O, placé à la distance ordinaire, comme on l'aurait vu s'il eût été placé plus près, au point O' lui-même. En effet, le rayon normal OM ne se déviant pas, ce rayon suit, pour arriver à l'œil, une ligne droite complétement indépendante de la présence du verre. Mais tout autre rayon OI, passant, au point I, de l'air dans le verre, c'est-à-dire d'un milieu moins dense dans un milieu plus dense, se rapprochera de la normale CIN; et, au lieu de continuer à suivre sa direction primitive OI*a*, brisera sa route suivant I*b* plus rapprochée de IN que I*a*. Parvenu au point *b* pour rentrer du verre dans l'air, il s'éloignera, cette fois, de la normale *b*N', et viendra sortir suivant *be* plus éloigné de *b*N', que ne l'est la direction I*bd* suivie dans le verre.

D'où, en dernière analyse, le cristallin sur lequel, après deux réfractions successives du bas vers le haut, tombera le rayon lumineux *be*, recevra ce rayon et (si la lentille est convenablement taillée) tous les autres rayons émanés du point O, comme s'ils étaient partis du point O' auquel aboutit la ligne *eb* prolongée. L'effet annoncé plus haut se trouvera donc obtenu.

Verres de presbytes. — Supposons maintenant un œil de presbyte placé, de même, à la distance ordinaire de la vue distincte, par rapport à l'objet lumineux. L'image allant se former alors derrière la rétine, il devient nécessaire, nous l'avons déjà remarqué, d'éloigner l'objet pour obtenir une sensation nette. Or je dis que l'interposition d'une lentille pourra faire arriver sur l'œil, comme s'ils émanaient du point plus éloigné O′ (*fig.* 41), les rayons envoyés par le point O.

Fig. 41.



Afin de nous convaincre que la lentille biconvexe produira ce résultat, nous n'avons qu'à suivre, à travers ses deux faces, la marche de la lumière.

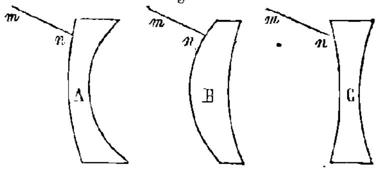
Et d'abord, ici, de même que pour le verre biconcave, le rayon normal OM pénétrera soit dans le verre soit dans l'œil sans se dévier. Quant aux autres rayons OI...., la première réfraction (de l'air dans le verre) les rapprochant de la normale IN à la face d'entrée, ils s'abaisseront, suivant la ligne I*bd*, vers cette normale, et viendront rencontrer la seconde face de la lentille en *b*..., au-dessous des points *a*.... situés sur le prolongement de leurs directions primitives OI. La seconde réfraction au contraire (du verre dans l'air), les éloignant de la normale *b*N′ à la face de sortie, ils se briseront en s'abaissant, une fois encore, vers le rayon central OM; et ils arriveront enfin sur le cristallin C, dans la direction *be* qui semblera, pour l'effet produit, émaner du point O′. L'œil presbyte, ainsi secouru, verra donc nettement, et comme si le foyer lumineux était placé plus loin, un objet O situé à la distance ordinaire de la vue distincte.

La courbure du cristallin variant d'ailleurs, d'un œil l'autre, on a dû nécessairement varier aussi la courbure des verres destinés à corriger la vision. C'est ce que les opticiens indiquent par des numéros qui correspondent aux diverses portées de la vue (1).

45. — Plus de trois siècles s'écoulèrent entre l'époque de la découverte des verres dont nous venons d'analyser les effets, et celle de la découverte des lunettes d'approche proprement dites. *Porta*, noble Napolitain, avait bien, il est vrai, dans un traité de *Magie naturelle*, parlé vaguement, en 1469, de la possibilité de grossir les objets au moyen de verres; mais cette assertion était restée à l'état de pure chimère sous les obscures élucubrations de Porta, auxquelles Képler lui-même, invité, cent vingt ans plus tard, par l'empereur Rodolphe, à les examiner, avait déclaré « *ne pouvoir rien comprendre.* » Si quelqu'un se fût donc avisé de demander sérieusement qu'on rapprochât les astres de ses yeux; qu'on lui fournît un instrument, à l'aide duquel il pût distinguer aisément les principales particularités de la surface des corps célestes, on aurait certainement taxé de pareilles pré-

(1) On emploie aussi depuis Wollaston, auquel l'invention est due, des verres qu'on nomme *périscopiques* (*péri* autour, *scopeo* je vois) parce qu'ils ont pour objet de recevoir les rayons venant de côté, sous des incidences moins obliques, afin d'augmenter la netteté des perceptions latérales. La courbure antérieure de ces verres est toujours convexe, et la courbure en regard de l'œil, concave. Celle-ci se trouvant plus prononcée que la première pour les myopes, mais moins prononcée pour les presbytes, de manière que la différence des effets inverses, dus aux deux courbures, ait lieu dans le sens de la plus forte, et soit équivalente tantôt A (*fig.* 42) à un verre biconcave, et tantôt, au contraire, B, à un verre biconvexe. L'on voit d'un coup d'œil que les rayons latéraux *m n* sont plus près d'être perpendiculaires aux surfaces de A, B, et se réfractent plus nettement, dans ce cas, qu'ils ne le feraient sur les surfaces de C.

Fig. 42.



tentions, d'illusion ou de folie. Mais, ainsi que l'a dit notre fabuliste :

« Le hasard fut souvent père d'invention ; »

et une circonstance fortuite, en portant les méditations de Galilée sur un problème insoluble au premier abord, dota l'Astronomie moderne du plus précieux de ses instruments.

Lunettes astronomiques. — On raconte, en effet, que les enfants d'un certain *Zacharie Hansen* ou *Jansen* (d'autres disent *Lipperson*), lunetier de Middelbourg, s'amusant à jouer, un jour, avec des verres qu'ils avaient enlevés à leur père, grossirent le coq d'un clocher voisin. On raconte aussi que *Jacques Métius*, d'Alcmaër, en Hollande, le frère de cet *Adrien Métius* qui s'est rendu célèbre par sa détermination du rapport de la circonférence au diamètre, ayant l'habitude, sans aucune idée théorique, de combiner des verres pour concentrer les rayons solaires, construisit la première lunette. Quoi qu'il en soit, vers le mois de mai 1609, Galilée entendit parler de la découverte; et l'instrument qui n'avait été d'abord qu'un pur effet du hasard, devint bientôt, entre ses mains, le résultat de combinaisons mathématiques. Un verre *convexe* rapproché d'un verre *concave* lui fournit un appareil qui grossissait trois fois. Quelques jours plus tard, il obtint un grossissement de *sept* à *huit*; enfin, après de nouveaux essais, il parvint à grossir jusqu'à *trente-trois*.

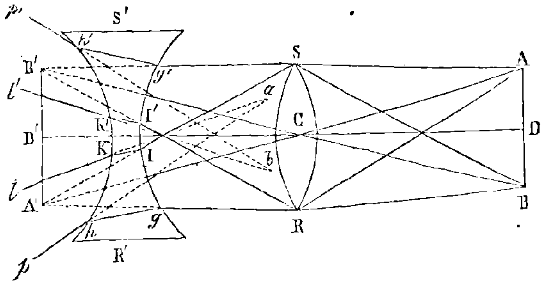
Telle fut l'origine de la lunette que nous appelons aujourd'hui *lunette de spectacle* ou *lunette de Galilée*, et que, plus tard, Képler proposa de remplacer par l'instrument à deux verres convexes, afin d'agrandir le champ de la vision.

Examinons successivement ces deux systèmes d'appareils :

46. **Lunette de Galilée.** — Un objet AB (*fig.* 43), est placé très-loin en présence de la lentille biconvexe SR. Il envoie, de chacun de ses points A, D, B, des faisceaux, divergents, de rayons lumineux qui viennent tomber sur cette lentille, et qui, après s'être réfractés dans l'intérieur du verre, tendent à aller converger vers A′, D′, B′, etc., foyers conjugués des points A, D, B, etc. Mais avant leur réunion, les rayons

tendant vers A′, par exemple, rencontrent un verre biconcave S′R′ qui, à son tour, brise SA′ en I et en K, RA′ en g

Fig. 43.



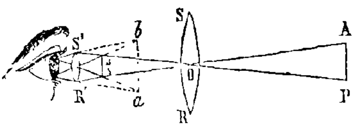
et en h, de manière à mener SI suivant IK l, Rg suivant ghp, et à faire que, derrière le verre, pour l'œil qui recevrait le faisceau compris dans l'espace lKhp, ce faisceau semble être parti du point a situé à la distance de la vue distincte, quoique, en réalité, il émane du point très-éloigné A. Le faisceau parti de B, et tendant à converger en B′, se réfractera de même en I′, K′, g', h', et arrivera, derrière le verre concave, en l' p', comme s'il était parti du point b qui sera, par conséquent, l'image virtuelle du point B.

L'œil placé vers A′B′ recevra donc, si sa pupille est suffisamment dilatée, chacun des deux faisceaux, ou du moins une portion de chacun d'eux. Il apercevra donc aussi l'objet éloigné AB, comme si cet objet était tout près, en $a\,b$, à la portée de sa vue. L'on conçoit, d'ailleurs, que cette portée puisse être aisément obtenue par l'éloignement ou par le rapprochement des deux verres, enchâssés exprès dans des tuyaux qui s'emboîtent l'un l'autre. Quant à l'image, il est évident qu'elle est vue droite, puisque a correspond à A et b à B. La lentille biconvexe qui regarde l'objet ayant reçu le nom d'*objectif*, le verre biconcave derrière lequel on place l'œil devait tout naturellement prendre, à son tour, le nom d'*oculaire*.

On reproche avec raison, à cet instrument, de n'avoir qu'un *champ* peu étendu, c'est-à-dire de ne laisser voir en entier qu'un objet ou qu'un espace de dimensions assez restreintes. Les faisceaux partis des extrémités A, B, de l'objet ou du champ, venant se croiser, en divergeant, vers le centre même de l'oculaire, on voit, en effet, que la pupille recevra difficilement une portion de chacun d'eux; et qu'il suffira d'un petit déplacement de la tête vers B', ou vers A', pour que les faisceaux partis de A, ou de B, cessent de pénétrer dans l'œil, en d'autres termes, pour que A ou B disparaissent. Voici comment, par l'invention de la lunette à deux verres biconvexes, Képler sut éviter un pareil défaut.

47. Lunette de Képler. — L'objet AB (*fig.* 44) vient former réellement, cette fois, son image *renversée* en A' B' au foyer de l'objectif SR. L'image A' B' devient dès lors, elle-même, une source d'émanations lumineuses produites, ainsi que nous l'a montré l'étude des lentilles, par des rayons qui sont venus se croiser en chacun de ses points, après s'être réfractés dans l'objectif. Mais l'oculaire est placé assez près de cette image pour que le foyer conjugué soit virtuel, par conséquent pour que les rayons lumineux partis de chacun des points B', A', arrivent à l'œil comme s'ils partaient des points b, a. C'est donc en ba que l'objet AB est vu *renversé*, ce qui, pour les objets célestes, est sans inconvénient; car il importe peu de voir à droite ce qui est à gauche, en haut ce qui est en bas, etc., pourvu que l'on distingue nettement les détails qu'on a intérêt à connaître.

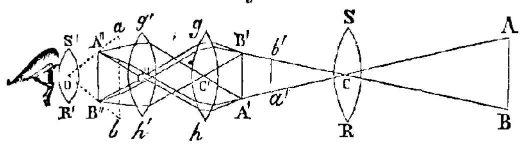
Fig. 44.



On comprendra d'ailleurs aisément, en examinant la figure, pourquoi, dans le cas actuel, les petits déplacements de l'œil ne font pas, comme dans la lunette de Galilée, disparaître les extrémités A, ou B, du champ; car on verra que les faisceaux partis de ces extrémités, au lieu de s'éloigner l'un de l'autre lorsqu'ils sortent de l'oculaire, se croisent au contraire de manière à pouvoir pénétrer simultanément dans l'ouverture de la pupille.

48. — En remédiant à la petitesse du champ de la vision, la lunette à verres convexes conserverait cependant un grave défaut pour l'observation des objets terrestres qu'elle montre renversés, si, par l'addition de deux verres intermédiaires et également convexes, le défaut n'avait été très-heureusement corrigé. Lorsque l'image renversée B'A' est venue (*fig.* 45) se former au foyer de l'objectif SR, un second

Fig. 45.



verre biconvexe gh, placé de manière que son foyer principal coïncide exactement avec cette image, reçoit les faisceaux lumineux qui en émanent, et rend tous les rayons du faisceau parti de B', parallèles à la ligne B'C', tous ceux du faisceau parti de A', parallèles à la ligne A'C' etc. Ces faisceaux ainsi orientés rencontrent bientôt une nouvelle lentille $g'h'$, qui fait converger sur les lignes C''A'', C''B'' (1), chacun des systèmes de rayons parallèles, reproduit en B'' l'image de B', par conséquent aussi de B, en A'' celle de A' ou de A, et présente à l'oculaire S'R' chargé de la transporter en ab, à la distance de la vue distincte, l'image redressée A''B'' de l'objet AB. L'on conçoit d'ailleurs que A'B' et A''B'' puissent, généralement, différer en grandeur. Mais quand les deux lentilles intermédiaires C', C'', sont semblables (et d'habitude il en est ainsi), les distances focales de ces lentilles étant égales, il est clair que les images A''B'', A'B', seront elles-mêmes égales, puisque tout sera symétriquement identique par rapport aux deux lentilles (2).

(1) C''A'', C''B'', sont des lignes menées par le centre optique C'', parallèlement à C'A', C'B' qui passent au centre optique C'.

(2) La longue-vue a l'inconvénient d'exiger un assez grand développement de tubes emboîtés ordinairement les uns dans les autres. Aussi pour lunette de poche, préfère-t-on la lunette de Galilée. On doit

49. **Grossissement.** — La dernière image *ab*, placée à la distance de la vue distincte, grandira et diminuera évidemment en même temps que chacune des images égales A″ B″, A′ B′. Or l'objet AB étant ordinairement très-éloigné de la lunette, les faisceaux de rayons qui émanent de chacun de ses points peuvent être considérés comme parallèles; et l'image A′B′ est placée dès lors au foyer principal. Mais puisque cette image est toujours comprise entre les axes secondaires AC, BC, prolongés, on voit que si au lieu de se former en A′B′, elle se formait plus près de l'objectif en *a′b′*, c'est-à-dire si la distance focale principale de l'objectif venait à diminuer, l'image elle-même diminuerait et, par conséquent aussi, le pouvoir grossissant de la lunette. D'où il résulte que ce pouvoir grossissant est proportionnel à la distance focale principale de l'objectif.

En considérant, à leur tour, la dernière image réelle A″B″ et l'image virtuelle *ab*, comprises l'une et l'autre entre les axes secondaires (*a*A″O, *b*B″O) de l'oculaire, on voit également que plus l'image A″ B″ sera près de l'oculaire, plus aussi l'angle A″OB″ sera ouvert; ce qui agrandira d'autant la dernière image *ab*. Et comme la position de A″B″ correspond à peu près à la distance focale principale de l'oculaire, on peut dire que plus cette distance focale sera petite, ou que plus l'oculaire sera petit et bombé, plus l'image *ab* portée à la distance de la vue distincte, se trouvera grossie. L'amplification *angulaire* produite par les lunettes est donc, en dernière analyse, d'autant plus grande que la distance focale de l'objectif est plus grande, et que celle de l'oculaire est plus petite.

cependant à M. Porro, depuis quelques années, une modification heureuse qui fait aussi, de la longue-vue, une lunette de poche très-portative, en brisant les faisceaux lumineux par des réflexions successives sans altérer leur convergence, de manière à promener plusieurs fois la lumière dans le tube avant la réunion des rayons au foyer. L'on conçoit que la lunette puisse de la sorte être singulièrement raccourcie, puisque la distance focale est, pour ainsi dire, coupée en fragments qui se superposent. Mais comme, en définitive, l'instrument de M. Porro n'est pas, à proprement parler, une lunette astronomique, je n'insiste pas plus longuement sur sa construction.

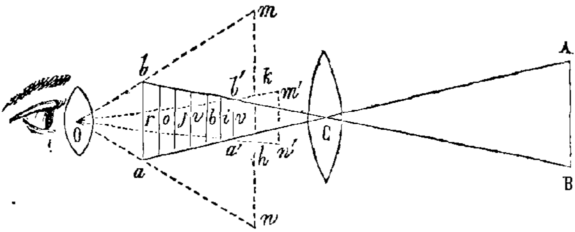
Je n'ai pas besoin d'ajouter sans doute que la suppression des lentilles intermédiaires C′, C″, ne modifierait en rien les conclusions précédentes. Seulement, la démonstration deviendrait un peu plus simple ; et je ne l'ai faite sur les longues-vues elles-mêmes, qu'afin d'en montrer la généralité.

La clarté de l'image doit croître évidemment avec la quantité de lumière qui vient converger au foyer, et par conséquent avec le diamètre de l'objectif qui reçoit cette lumière. Malheureusement, il n'est pas toujours facile d'obtenir, avec des verres de grande dimension, le degré d'homogénéité nécessaire à la régularité des réfractions ou, ce qui revient au même, à la netteté des images. Du reste, une autre influence, bien autrement énergique encore que les défauts d'homogénéité, ne tarda pas à se faire sentir dans les lunettes.

50. **Irisation des images.** — La lumière blanche est formée, nous en avons déjà fait la remarque, de sept couleurs élémentaires qui se séparent, pour produire des teintes irisées, en traversant les facettes d'un cristal. Or la dispersion des couleurs tend à se produire aussi dans les lentilles, et à se produire avec une intensité d'autant plus considérable que les lentilles sont plus réfringentes ou plus bombées, c'est-à-dire à plus court foyer. La raison en est facile à saisir. Il suffit de remarquer, en effet, que les sept couleurs ne sont pas également réfrangibles, et qu'à incidences égales, elles se dévient plus ou moins lorsqu'elles changent de milieu. Voilà pourquoi, confondues dans chacun des rayons blancs qui tombent sur l'objectif d'une lunette, arrivant par conséquent, dans chacun de ces rayons, avec des directions identiques, elles sortent nécessairement séparées, et forment sept images distinctes, placées l'une devant l'autre, vers le foyer de l'objectif.

J'emploie à dessein l'expression un peu vague *vers* le foyer, parce que chaque image correspondant à un foyer particulier, déterminé par la réfrangibilité de la couleur qui la forme, il y a dans le cas actuel *sept* foyers distincts, et non pas seulement le foyer unique auquel, en faisant abstraction de la nature complexe et de certaines propriétés de la lumière blanche, nous avions d'abord restreint notre étude: Mais les diverses images devant toutes se trouver comprises dans l'angle aCb (*fig.* 46) formé par le prolongement des axes secon-

Fig. 46.



daires AC, BC qui partent des extrémités A, B, de l'objet, il est évident que celle due à la couleur la moins réfrangible (le rouge) viendra se former en ab, le plus loin de l'objectif et le plus près de l'oculaire; tandis que la couleur la plus réfrangible (le violet) formera la sienne au contraire en $a'b'$, le plus loin de l'oculaire et le plus près de l'objectif.

Quant aux cinq autres couleurs, les images qui en résulteront seront placées entre les images extrêmes, en allant du rouge au violet, d'après leurs réfrangibilités croissantes, dans l'ordre suivant : orangé, jaune, vert, bleu, indigo. Dès lors on comprendra sans peine que si ab est l'image située, par rapport à l'oculaire, de manière à être *virtuellement* transportée par cette lentille à la distance de la vue distincte, il ne saurait en être ainsi de $a'b'$ et des autres images qui, étant plus loin de l'oculaire, auront, par cela même, leurs images virtuelles plus éloignées. De là une cause de confusion qui, d'ailleurs, ne sera pas la seule.

L'image rouge étant transportée en mn, l'image violette en $m'n'$ et les autres images dans des positions comprises entre les premières, on voit en effet que les faisceaux violets émanant des extrémités m', n', de l'image $m'n'$, se confondront, dans l'œil, avec ceux émanant des points k et h de l'image rouge et avec des faisceaux correspondant à des points intermédiaires entre k et m, ainsi qu'entre h et n, pour les autres couleurs. Il suit de là que chaque point de la rétine, sera impressionné par un assemblage de sensations superposées et dues à des couleurs émanées de différents points de l'objet : d'où l'impossibilité presque complète de distinguer *nettement* les très-petits détails de cet objet ; d'où encore la formation d'une série d'auréoles irisées, provenant des sept images colorées qui se débordent l'une l'autre ; d'où enfin une fatigue de l'œil tellement grande, que Galilée et Dominique Cassini qui avaient fait trop longtemps usage de lunettes entachées des imperfections dont je viens d'esquisser rapidement l'analyse, finirent l'un et l'autre par perdre la vue.

51.— Afin de corriger le défaut et de donner en même temps aux images beaucoup de clarté, l'un des plus habiles opticiens du XVII^{e} siècle, l'Italien Campani construisit, pour son compatriote Cassini, alors chargé de la direction de l'Observatoire de Paris, des objectifs de *grand diamètre*, très-aplatis, par conséquent très-peu réfringents, par conséquent encore très-peu dispersifs c'est-à-dire très-peu susceptibles de séparer les couleurs, et dont les distances focales allaient jusqu'à 200 ou 220 pieds. Des tubes de cette longueur devaient être, on le sent, peu faciles à construire. Aussi Cassini se bornait-il à manœuvrer, à l'aide de cordes, l'objectif placé sur le haut d'un mât, et à chercher, avec l'oculaire, la situation la plus convenable pour voir l'image. Mais une pareille disposition, fatigante par les tâtonnements continuels qu'elle exigeait, ne fit qu'ajouter au mal résultant de la séparation des couleurs ; et les choses allèrent ainsi jusqu'en 1672, époque où Newton réalisa, le premier, une idée qu'avaient déjà émise, sans y donner suite, le P. Mersenne, en 1639, et Grégory en 1666.

52. **Télescopes.** — Cette idée consistait dans le remplacement de l'objectif par un miroir courbe ou, en d'autres termes, dans la substitution d'une image réfléchie à l'image réfractée. Les sept couleurs qui se réfractent inégalement, se réfléchissant toutes de la même manière, la nouvelle image devait, en effet, se montrer fort nette ; et la vision ne pouvait plus désormais être troublée que par les couleurs nées dans l'oculaire. Or, de telles couleurs sont généralement inappré-

ciables, parce qu'elles se trouvent à peine espacées, quand elles arrivent sur l'œil, à cause de la faible distance qui sépare l'oculaire du cristallin.

Je ne m'attacherai pas à décrire le *télescope* (1), c'est ainsi qu'on nomme l'appareil de Newton. Il suffit, pour mon objet, d'avoir étudié l'une des variétés de ces instruments à l'aide desquels on peut augmenter considérablement la puissance de la vue. Je dirai seulement que les télescopes, à leur tour, présentèrent bientôt des inconvénients qui firent sentir le besoin de corriger, s'il était possible, les lunettes à objectif réfringent. Les miroirs formés d'un alliage métallique se ternissaient, en effet, et s'oxydaient assez rapidement sous l'influence de l'humidité des nuits. Ils étaient loin, en outre, à cause des pertes occasionnées par la réflexion, de fournir, à égalité d'ouverture, autant de lumière que les verres diaphanes; d'où résultait la nécessité de dimensions considérables, qui rendaient les instruments très-lourds et très-difficiles à manier.

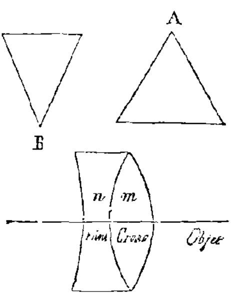
Malgré ces inconvénients, les télescopes ont rendu néanmoins des services réels à l'Astronomie. L'on peut citer, entre autres, de brillantes découvertes, faites, vers la fin du siècle dernier, par Herschell, avec le célèbre télescope de 12 mètres de longueur sur 1 mètre 47 d'ouverture, que cet astronome avait construit lui-même ; et, de nos jours encore, bien que les lunettes astronomiques aient reçu d'immenses perfectionnements, la science doit conserver, dans ses annales, avec reconnaissance, le souvenir du magnifique instrument de 10 mèt. 76 c. (pesant environ 10,500 kilog., plus de 200 quintaux), dont lord Ross a exécuté le miroir par des procédés qui lui ont permis d'obtenir jusqu'à 1 mètre 83 c. d'ouverture. La science doit surtout enregistrer les succès obtenus plus récemment, par M. Foucault qui, en substituant à l'alliage métallique des anciens miroirs, le verre argenté par les procédés galvanoplastiques, a déjà construit quelques télescopes fort légers, peu coûteux, pouvant mar

(1) *Telé* loin, *scopein* regarder.

cher de pair néanmoins, sous des dimensions assez restreintes, avec les meilleures lunettes et, selon toute apparence, en voie de dépasser prochainement les appareils à *lentille objective perfectionnée*, dont il me reste à dire quelques mots pour compléter l'histoire des instruments d'optique employés en Astronomie.

53. **Expérience de Dollond.**—Nous avons vu que le principal inconvénient des lunettes, résultait de la décomposition de la lumière dans l'objectif. Lorsque Newton construisit son télescope, il avait été conduit à substituer cet appareil à ceux de Galilée et de Képler, par la conviction qu'on ne pouvait pas obtenir des lunettes *achromatiques* (1), (c'est le nom adopté pour les instruments capables de fournir des images sans coloration vers leurs bords); et sa conviction était basée sur une expérience de laquelle il avait conclu, trop précipitamment, que la déviation à travers des verres, nécessaire pour la formation des images au foyer de l'objectif, entraînait avec elle, inévitablement, la décomposition de la lumière et, par conséquent, la production des couleurs. En 1755, Klingstierna, professeur à Upsal, fit remettre, à l'habile opticien anglais, Dollond, petit-fils d'un réfugié français qui avait dû s'expatrier à la suite de la révocation de l'édit de Nantes, un écrit contre l'expérience de Newton, déjà combattue, du reste, par Euler, mais soutenue encore par Clairaut. Vivement impressionné par cet écrit, Dollond s'empressa de tenter une contre-épreuve; et présentant (*fig.* 47) au prisme A de verre, un second prisme creux dont il pouvait, après l'avoir rempli d'eau, faire varier à volonté l'ouverture B, il parvint à *dévier* un rayon sans le *décomposer*. Dès ce

Fig 47.



Coupe d'un objectif achromatique.

(1) *a* privatif, *chroma* couleur; *sans couleur*.

moment l'*achromatisme* des lunettes cessa de paraître impossible. Aussi la juxtaposition de deux lentilles, l'une biconvexe *m* en verre ordinaire ou verre à vitre (Crow glass, des Anglais), l'autre biconcave *n*, en cristal (verre à base de plomb, flint glass), fournit-elle bientôt à Dollond, des images d'une blancheur parfaite.

54. **Lunettes achromatiques - diaphragmes.** — L'étude mathématique du phénomène montre que, pour achromatiser les sept couleurs, sept verres différents seraient, à la rigueur, nécessaires. Mais, dans la pratique, deux verres convenablement taillés, suffisent toujours. Seulement, il faut que ces verres soient bien homogènes; et c'est la difficulté de les obtenir ainsi, qui, jusqu'à la fin du siècle dernier, empêcha de faire des objectifs achromatiques d'un diamètre supérieur à quatre pouces (110 millimètres). Dollond, dont les lunettes sont de vrais chefs-d'œuvre d'achromatisme, n'a jamais, que je sache, dépassé 3 1/2 pouces (95 millimètres). Les premiers objectifs achromatiques de quatre pouces furent faits vers l'année 1800; puis on parvint successivement à obtenir des dimensions de 6, de 7, de 8, de 9, enfin de 14 et même, a-t-on dit dernièrement, de 16 et de 18 pouces, ou de 50 centimètres. Mais à cause de l'irrégularité de réfraction qui a lieu, généralement, sur les bords de l'objectif, les artistes placent d'habitude dans le tuyau de la lunette, un *diaphragme* circulaire destiné à arrêter les rayons extrêmes; ce qui diminue d'autant le pouvoir de la lentille achromatique. Là-dessus l'usage est invariable, et le diamètre *effectif* est constamment inférieur au diamètre *apparent*. Il est bon toutefois, quand on achète une lunette achromatique, de voir si le diaphragme n'en réduit pas l'objectif à des proportions trop restreintes.

55. **Fils placés au foyer des lunettes, pour la mesure des angles.** — Telles que nous venons de les étudier, les lunettes ne seraient applicables qu'à l'étude de la constitution physique des corps célestes, et plus d'un demi-siècle dut s'écouler, en effet, avant qu'elles pussent servir à la mesure des angles. C'est seulement vers 1666 que, pour les employer à cette mesure, Auzout eut l'idée de disposer, en croix, des fils très-

fins au foyer de l'objectif, et de déterminer ainsi, du centre optique de l'objectif à la croisée des fils, une ligne divisée presque mathématique. Il paraît cependant que déjà, dès 1640, un jeune Anglais nommé Gascoygne, mort à vingt-trois ans, victime des guerres civiles, avait eu la même idée; mais sans l'appliquer, comme le fit plus tard Auzout, auquel on doit, également, d'avoir imaginé l'usage des fils mobiles qui permettent de renfermer les images entre deux fils et de mesurer, en s'aidant de graduations préliminaires, les petits angles soutendus par les objets compris dans le champ de la lunette.

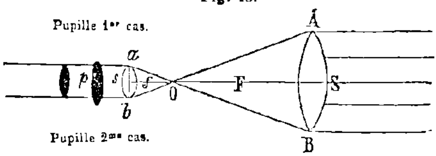
J'attribuerais à tort, néanmoins, tout le mérite de l'invention à Auzout. Cet astronome n'a droit exclusivement qu'à l'idée des fils mobiles; et Picard partage avec lui celle des fils fixes qu'il employa, le premier, dans ses opérations géodésiques de 1667, pour la mesure de la Terre. Quant à l'application des lunettes sur les cercles gradués, elle avait été faite, dès 1639, par Morin qui suivait ainsi les étoiles après le lever du soleil, et dont l'heureuse idée, rapprochée de l'invention d'Auzout, est devenue l'origine des diverses combinaisons de cercles et de lunettes, c'est-à-dire des appareils à l'aide desquels on obtient aujourd'hui, dans les observations astronomiques, une précision inespérée. Quoi qu'il en soit, je dois dire que le mérite de nos instruments actuels ne consiste pas seulement dans celui des pièces optiques, et que la graduation des cercles, l'exécution des parties mécaniques, etc., ont acquis un degré de perfection dont les artistes modernes peuvent, à bon droit, s'enorgueillir.

56. **Visibilité des étoiles pendant le jour, à l'aide des lunettes.** — Les lunettes permettent de voir les étoiles en plein jour. Cette curieuse particularité tient à plusieurs causes assez délicates. Je me bornerai, pour m'arrêter aux plus importantes, à dire, d'après les curieuses observations de M. Arago, que l'œil possède la propriété singulière de devenir sensible, par l'effet d'un mouvement suffisamment rapide, à certaines différences de lumière qui lui échapperaient dans un mouvement plus lent, ou dans l'état de repos. Quand

la lumière d'une étoile est trop peu intense pour trancher, à l'œil nu, sur le rideau lumineux que forme l'atmosphère interposée entre cette étoile et nous, l'amplification de vitesse, opérée par la lunette, rendra donc l'étoile visible, si la différence à saisir ne se trouve pas au-dessous de certaines limites. Il est bon d'ajouter, d'ailleurs, que les lunettes donnent aussi plus de netteté, généralement, aux images des étoiles, en faisant disparaître l'irradiation qui, d'habitude, gêne la vision simple. Cependant l'on doit remarquer aussi que les grossissements considérables obscurcissent, d'ordinaire, et l'étoile et le champ de l'instrument (1); que par conséquent,

(1) Le grossissement angulaire (nº 49) est à très-peu près égal au rapport $\frac{F}{f}$ des distances focales principales SO, sO, ou bien encore sensible-

Fig. 48.



ment (*fig.* 48), à celui $\frac{AB}{ab}$ des diamètres de l'objectif et de l'oculaire. Le grossissement, en surface, peut donc lui-même être exprimé par le rapport $\frac{S}{s}$ des surfaces des deux lentilles.

Premier cas. Supposez la pupille p, plus ouverte que le faisceau lumineux sortant de l'oculaire en rayons parallèles. (Le point O est supposé le foyer principal des deux lentilles). Le rapport $\frac{S}{p}$ représentera la condensation de la lumière dans l'œil qui, grâces à la lunette, reçoit de chaque point lumineux le faisceau S et qui, sans instrument, aurait seulement reçu le faisceau p. Or $\frac{S}{p}$ étant plus petit que $\frac{S}{s}$, le grossissement, ou ce qui revient au même, l'expansion des images sur la rétine l'emporte sur l'augmentation de lumière, et par suite, l'étoile ainsi que le champ doivent être obscurcis, c'est-à-dire paraître moins brillants qu'à l'œil nu.

Deuxième cas. Soit maintenant $p = s$, il est évident que, dans ce cas, tout en conservant le rapport, ils diminuent la différence des deux lumières, et que l'effet, dès lors, se trouve sans doute affaibli. Car l'aptitude de l'œil à discerner des nuances d'éclat, ne dépend pas moins (je crois avoir le droit de l'affirmer d'après ma propre expérience, et quoi qu'on puisse en penser depuis Bouguer), de l'intensité que du rapport des lumières comparées; un soixante-quatrième de différence étant saisissable sur de vives lumières, un quart, un tiers, un demi même ne l'étant pas, lorsqu'on observe, au contraire, des lumières de très-faible intensité. Mais ce dernier effet du grossissement ne suffit point, habituellement, à neutraliser les conditions favorables de visibilité, fournies par les appareils optiques. Il n'est donc pas étonnant que les étoiles jouissant d'un certain éclat, tranchent, pendant le jour, au foyer des lunettes, sur le fond lumineux qu'elles traversent.

Je borne là, momentanément, l'étude des appareils qu'emploient les Astronomes; et j'entre enfin dans l'étude plus spéciale du Ciel.

le champ et l'étoile ne s'éclairent ni ne s'obscurcissent; car le grossissement égale précisément l'augmentation de lumière dans l'œil.

Troisième cas. Soit enfin $p < s$, alors, derrière l'oculaire qui a condensé le faisceau S dans l'étendue s, la pupille reçoit une section p du faisceau condensé, au lieu de recevoir la même section p du faisceau non condensé. L'augmentation de la lumière au fond de l'œil est donc égale au rapport $\frac{S}{s}$ des densités des deux faisceaux ou du grossissement; et dans ce cas encore, le champ ne s'éclaire ni ne s'obscurcit. Un résultat analogue se produit évidemment pour l'étoile.

CINQUIÈME LEÇON.

Astronomie stellaire. (1)

Notions préliminaires. — Angles et triangles. — Mesure des angles. — Somme des trois angles d'un triangle. — Aperçu général sur la distance des Étoiles à la Terre. — Déterminations plus précises. — Méthodes diverses pour obtenir les distances cherchées. — Parallaxes absolues. — Parallaxes relatives. — Résultats numériques. — Déductions photométriques. — Premiers aperçus relatifs au nombre des Étoiles; à la constitution, au nombre et à la distance des *Nébuleuses*. — Le Soleil n'est lui-même qu'une Étoile.

• 57. **Notions préliminaires.** — Parmi les corps célestes qui peuplent le firmament sous le nom général d'*Étoiles*, il en est quelques-uns que les Astronomes appellent *Planètes* ou Astres errants, et qui possèdent certains caractères spéciaux sur lesquels nous aurons à nous appesantir par la suite. Ces Astres errants sont très-peu nombreux eu égard aux Étoiles proprement dites; à celles qu'on nomme *fixes* afin d'exprimer que, dans le mouvement d'ensemble qui, chaque jour, transporte la voûte céleste d'Orient en Occident, elles ne cessent de conserver, les unes par rapport aux autres, des positions sensiblement invariables. Les résultats auxquels nous arriverons aujourd'hui ne se rapportent qu'aux dernières.

De tout temps, les Astronomes se sont attachés à la recherche des distances qui nous séparent des Étoiles. Mais c'est seulement depuis un demi-siècle environ, qu'ils ont pu obtenir à cet égard quelques résultats suffisamment probables pour être acceptés. L'univers possède, en effet,

(1) *Stella*, étoile; *stello*, j'orne.

des dimensions tellement considérables, qu'une longueur de 76 millions de lieues (1) (304 millions de kilomètres) est presque tout à fait insensible relativement à la distance de l'Étoile la plus voisine de nous. Aussi, pour rendre infructueux les efforts les plus persévérants, avait-il suffi de quelques erreurs très-légères et, jusqu'à présent, presque inévitables, dans la mesure des angles que forment les rayons visuels menés, à une même Étoile, des deux extrémités de la base (beaucoup trop restreinte malgré sa longueur de 76 millions de lieues) dont les Astronomes peuvent disposer.

Enfin, grâces à d'heureux perfectionnements apportés soit dans la construction des instruments, soit dans les méthodes d'observation et de calcul, on est parvenu à mesurer assez approximativement les distances des quelques Étoiles que l'on a lieu de croire les moins éloignées parmi les 20 ou 25 *millions* d'Étoiles visibles à l'aide des lunettes. Afin de vous faire une idée des résultats obtenus, imaginez des mobiles animés, chacun, d'une vitesse 600 mille fois plus grande que celle du boulet de canon, d'une vitesse de 77 mille lieues (308 mille kilom.) par seconde. Ces mobiles emploieront 4 ans, 10 ans, 31 ans, 72 ans, etc., pour parcourir les chemins qui nous séparent des rares Étoiles dont on est parvenu à déterminer les distances, et, selon toutes les grandes probabilités que je ne tarderai pas à discuter, ils mettront des milliers, des millions même d'années à nous arriver des dernières Étoiles visibles dans nos instruments.

Mais n'anticipons pas; et cherchons d'abord à nous rendre compte des procédés à l'aide desquels on peut déterminer la distance des Étoiles.

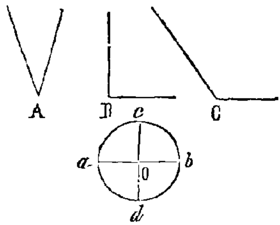
58. **Angles et triangles.** — Personne n'ignore aujourd'hui ce que l'on entend par les mots *angle* et *triangle*. L'angle c'est *l'inclinaison*, c'est la *pente* plus ou moins grande, comprise entre deux lignes droites qui se rencon-

(1) Quand, pour me conformer à des habitudes invétérées, il m'arrivera d'employer la lieue comme unité, ce sera toujours la lieue de 4,000 mètres.

trent ; le *triangle* c'est une figure formée par trois angles et par trois lignes droites qu'on appelle *côtés*.

Mesure des angles. — On désigne l'angle par une lettre A, B, C, etc. (*fig*. 49) placée à son sommet, c'est-à-dire, à l'intersection des deux lignes qui le forment et dont la longueur peut varier sans qu'il change lui-même. On le mesure à l'aide d'un cercle dont on met le centre O au sommet de l'angle, et dont le contour (*circonférence*) est divisé en un certain nombre de parties égales ; d'abord en quartiers (*quadrans*) déterminés par deux lignes *ab cd* passant au centre (*diamètres*) et perpendiculaires l'une à l'autre ; puis chaque *quadrant* en 90 parties qu'on nomme degrés ; chaque degré en 60 parties qu'on appelle minutes (*minuta*, diminution) ; enfin, chaque minute en 60 parties appelées *diminutions secondes*, ou, plus simplement, *secondes*. Dans le calcul des observations on divise encore chaque seconde en 60 tierces ; chaque tierce en 60 quartes, etc. (1) ; mais, dans la pratique, les artistes sont obligés de se restreindre. Seulement, tandis qu'il y a trois siècles, on parvenait *tout au plus* à diviser les plus grands cercles à la minute, on arrive aujourd'hui à obtenir, avec des cercles assez petits, par des artifices particuliers, jusqu'à la seconde, et même quelquefois jusqu'au dixième ou au centième de seconde.

Fig. 49.



Lorsqu'on place sur un angle l'instrument ainsi divisé, le nombre de degrés, de minutes, de secondes, etc., compris entre les deux côtés de l'angle en donne la mesure ; ce qui permet de comparer aisément les angles entre eux, et ce qui

(1) Cette division est dite *sexagésimale*. On a tenté de la remplacer par la division centésimale contenant 100 degrés au quadrant, 100 minutes au degré, 100 secondes à la minute, etc. Mais, malgré la facilité des calculs dans le système décimal, l'usage de la division sexagésimale a, jusqu'ici, généralement prévalu.

fait voir encore que leur grandeur est tout à fait indépendante de la longueur des côtés. Si un angle A (*fig.* 49) contient moins de 90 degrés ou d'un quadrant, on lui donne le nom d'*angle aigu*; on appelle *angle droit* celui B qui est égal à un quadrant; enfin l'angle C supérieur à 90 degrés, porte le nom d'*angle obtus* (1).

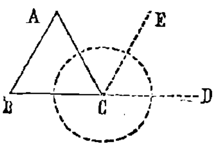
59. **Somme des trois angles d'un triangle.** — Appliquons maintenant aux trois angles d'un triangle le procédé de mesure que je viens d'indiquer; nous arriverons à un résultat remarquable. Quel que soit le triangle; que cette figure ait ou n'ait pas d'angle droit, par exemple; qu'elle ait ou n'ait pas d'angle obtus; toujours, si nos opérations ont été bien faites, nous trouverons que la somme des trois angles est rigoureusement égale à deux droits ou à deux quadrans. Jamais une seconde, jamais la plus minime fraction de seconde ni en plus ni en moins. D'où il résulte qu'un triangle ne peut avoir deux angles droits en même temps, ou deux angles équivalant à deux angles droits, puisque alors le troisième angle serait nul et que par conséquent le triangle cesserait d'exister. D'où il résulte, à plus forte raison, que le triangle ne peut avoir simultanément deux angles obtus. D'où il résulte enfin que la détermination de deux angles d'un triangle, suffit pour faire connaître le troisième qui sera égal à deux droits ou à 180 degrés, moins la somme des deux angles déterminés.

J'ai cru devoir, pour plus de simplicité, emprunter à l'expérience la démonstration du principe précédent que nous allons appliquer à la détermination de la distance des Étoiles. Mais par une figure qui, je l'espère, ne laissera pas de prise au plus léger doute, on peut, sinon en prouver rigoureusement l'exactitude, du moins en reconnaître aisément la généralité.

(1) Les degrés, les minutes, les secondes, les tierces, etc., sont désignés par les signes °, ′, ″, ‴, etc., placés au-dessus et à droite des chiffres qui marquent chaque espèce de division. 12°, 15′, 25″, 14‴, etc., se lit douze *degrés*, quinze *minutes*, vingt-cinq *secondes*, quatorze *tierces*, etc.

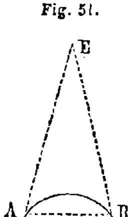
Soit en effet (*fig.* 50) un triangle ABC construit au hasard. Prolongeons l'un quelconque de ses côtés, BC par exemple, d'une longueur indéterminée; et menons, par le point C, une ligne CE parallèle au côté opposé BA. Si l'on plaçait au point C le centre du cercle gradué qui est destiné à mesurer les angles, l'un des diamètres du cercle se confondrait en direction avec la ligne BCD; et les trois angles BCA, ACE, ECD réunis vaudraient évidemment 180 degrés (la moitié de la circonférence) ou deux quadrans. Or, il est facile de voir que ces trois angles sont respectivement égaux aux trois angles du triangle, qui, par conséquent, donneront eux-mêmes une somme égale à 180 degrés. D'abord, l'un d'entre eux, BCA, appartient au triangle. L'angle ECD pourrait, à son tour, évidemment, en glissant le long de la ligne DCB, venir s'emboîter dans l'angle ABC; car on ne voit pas de raison qui pût rendre l'un de ces deux angles plus grand ou plus petit que l'autre, ce qui suffit pour permettre d'affirmer qu'ils sont égaux. Enfin, le troisième angle ACE, par un effet de symétrie relativement aux deux parallèles BA CE, et à la ligne AC qui coupe ces parallèles, ne peut qu'être égal lui-même à l'angle CAB. D'où il suit que chacun des trois angles formés autour du point C, a son équivalent dans les trois angles du triangle, qui valent, par conséquent, en somme, 180 degrés comme les trois premiers.

Fig. 50.



La construction précédente, et les développements qui l'accompagnent, peuvent s'appliquer à tous les triangles possibles. Le principe énoncé plus haut est donc général.

Fig. 51.



60. **Aperçu général sur la distance des Étoiles à la Terre.** — Revenons maintenant à la question qui nous préoccupe, à la recherche de la distance des Étoiles.

Pour cela, supposez deux Astronomes placés (*fig.* 51) aux points A et B de la surface terrestre, que nous verrons plus tard être à peu près ronde, mais dont la forme ici nous importe peu ; et imaginez qu'à un moment donné, ces Astronomes, munis chacun d'un cercle gradué sur lequel peut glisser une lunette, visent simultanément : d'abord vers l'Étoile E ; puis, l'Astronome placé en A, vers le centre du cercle placé en B ; et l'Astronome B, vers le centre du cercle A ; qu'ils mesurent, en un mot, les deux angles EAB, EBA.

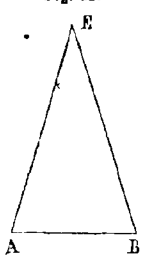
Au premier abord, il semble difficile d'admettre que de pareilles mesures puissent être obtenues, puisque la courbure de la Terre, les divers accidents de sa surface, etc., empêchent les points A et B d'être visibles l'un pour l'autre ; et je me hâte de dire, afin de dissiper toute espèce de préoccupation à cet égard, qu'en effet, les procédés employés sont un peu plus complexes. Mais je dois ajouter que, par une combinaison convenable de mesures et de calculs dont je ne saurais, sans m'éloigner de mon but, consigner ici les détails, il est toujours possible de ramener les choses à l'espèce d'abstraction dans laquelle, pour plus de simplicité, j'ai cru devoir me placer.

Lors donc que les angles EAB, EBA, auront été bien exactement mesurés, si vous faites leur somme, vous trouverez qu'elle est toujours rigoureusement égale à 180 degrés ou à deux angles droits. Le troisième angle E du triangle CAB est donc constamment nul ; ce qui veut dire que les deux lignes AE BE menées de deux points de la Terre à une Étoile, ne se rencontrent pas, ou, en d'autres termes, qu'elles sont parallèles, et que, par conséquent, une longueur quelconque AB prise à la surface de la Terre est *tout à fait insensible* par rapport aux distances AE, BE, à mesurer.

L'on peut obtenir la somme des deux angles A et B, avec une précision presque mathématique. Admettons néanmoins qu'on ait commis, dans la mesure de ces angles, l'erreur d'une seconde. Si l'on trace, en petit, sur le papier, une figure semblable à celle qui existe, en grand, dans l'espace, mais avec cette restriction que la somme des angles A et B, au lieu de valoir 180 degrés ne vaille que 180 degrés moins une seconde ; et si l'on porte ensuite, à l'aide d'un compas, le côté AB sur AE ou sur BE, autant de fois qu'on le pourra ; ou plutôt si l'on se sert, afin d'obtenir plus d'exactitude, des tables qui permettent aux astronomes de calculer le rapport de AE ou de BE à AB pour tous les cas de triangles possibles ; on trouvera, dans l'hypothèse actuelle de l'angle E égal à une seconde, et des deux angles A, E, sensiblement égaux entre eux, que chacune des longueurs AE, BE contient deux cent six mille fois la longueur AB. Et comme l'erreur supposée, d'une seconde, dépasse de beaucoup les erreurs à craindre aujourd'hui ; comme d'ailleurs AB peut valoir jusqu'à 3,200 lieues (12,800 kilomètres), il est permis de conclure que 3,200 lieues sont comprises au moins 206 mille fois dans la distance cherchée qui, dès lors, est supérieure à 659 millions 200 mille lieues (2 milliards 636 millions 800 mille kilomètres) produit de 3,200 lieues par 206 mille.

61. **Déterminations plus précises.** — Il y a plus ; au lieu d'opérer sur une base de 3,200 lieues, on peut employer, nous le démontrerons plus tard, une base de 76 millions de lieues, diamètre de la courbe presque circulaire dans laquelle la Terre se meut autour du Soleil. Admettez qu'il en soit ainsi ; et répétez identiquement, sur cette base de 76 millions de lieues, ce que vous avez fait avec la base mesurée à la surface de la Terre, c'est-à-dire, quand vous êtes en A (*fig.* 52), visez à l'Étoile E et au point B où vous devrez vous trouver six mois plus tard ; lorsque vous êtes en B, visez au point A où vous étiez il y a six mois et à l'Étoile E. Vous trouverez, comme dans le cas précédent, la somme des angles A et B égale généralement à 180 degrés ; et vous conclurez, par conséquent, que l'angle E est nul, que les lignes AE BE menées à l'Étoile sont parallèles, enfin que la longueur AB de 76 millions de lieues est elle-même insensible par rapport à la distance des Étoiles. Si, d'ailleurs, vous supposez encore une seconde d'erreur sur la mesure des angles A et B, vous arriverez à ce résultat que 76 millions

Fig. 52.



de lieues sont contenues, au moins 206 mille fois, dans la distance des Étoiles, qui, dès lors, se trouve supérieure ou tout au moins égale à 15 trillions 656 billions de lieues (62 trillions 624 billions de kilomètres).

62. — On ne peut guère se représenter bien nettement une pareille distance. Aussi les Astronomes ont-ils pris pour unité de mesure, non la lieue qui est beaucoup trop petite, mais le chemin, 77000 lieues, parcouru par la lumière dans chaque seconde (1). Or, 15 trillions 656 billions contenant 77000 un peu plus de 103 millions de fois, il en résulte que la lumière, malgré sa vitesse de 77 mille lieues par seconde, emploierait au moins 203 millions de secondes ou 2350 jours, c'est-à-dire, six ans et demi environ pour parcourir la distance qui nous sépare des Étoiles.

D'après les données précédentes, on trouverait aisément que le boulet de canon animé d'une vitesse de 500 mètres par seconde, mettrait un peu plus de *quatre millions d'années* à franchir le même espace, et que les trains express des chemins de fer, à raison de 50 kilomètres par heure, emploieraient 144 millions d'années environ.

S'il était possible qu'elle fût aperçue de ces régions lointaines bien plus voisines encore de nous toutefois (nous ne tarderons pas, j'espère, à nous en convaincre), que des derniers confins du Ciel Étoilé, notre Terre avec ses dimensions de 3200 lieues en diamètre, présenterait l'apparence d'un grain de sable (un millimètre de diamètre) examiné à la distance de 1235 lieues.

63. **Méthode des parallaxes absolues.** — Voilà où en était la science vers le commencement du XIX^e^ siècle. Malgré les efforts tentés par les Astronomes les plus habiles, on ne connaissait guère que la limite inférieure des distances cherchées. Les mécomptes éprouvés jusqu'alors tenaient, au reste, on doit le reconnaître, bien moins au défaut d'habileté qu'à la difficulté presque insurmontable de déterminer, par des procédés et avec des instruments encore incomplets, l'an-

(1) Nous verrons plus tard comment on a trouvé cette vitesse

gle (parallaxe) (1) d'une si excessive petitesse compris, à l'Étoile, entre les rayons visuels menés des deux stations de l'observateur. Plongés, en effet, comme nous le sommes, dans l'atmosphère qui, déviant toujours, et quelquefois très-irrégulièrement, la lumière, nous fait voir les Astres où ils ne sont pas; obligés de connaître d'ailleurs *très-exactement*, pour effectuer les corrections nécessaires, non-seulement l'influence de l'atmosphère, mais encore jusqu'aux plus petits détails d'une foule de mouvements qui se produisent dans le Ciel, nous nous trouvons exposés, même aujourd'hui, à commettre des erreurs comparables et souvent supérieures à la valeur de la parallaxe, quand nous essayons, comme on l'avait généralement pratiqué avant la fin du siècle dernier, de trouver cette parallaxe par la méthode précédente, qui porte le nom de méthode des *parallaxes absolues* parce qu'elle a pour but, abstraction faite des erreurs, de donner les parallaxes tout entières.

64. — Déjà cependant, depuis près de 200 ans, Galilée avait, dans ses *Dialogues*, jeté les fondements d'une seconde méthode, que Grégory décrivit plus tard avec détail, et que le docteur Long appliqua pour la première fois, mais sans succès, bien qu'elle fût susceptible, sinon de donner une exactitude plus mathématique, du moins d'éliminer la plupart des causes d'erreur qui tendent à faire échouer la méthode des parallaxes absolues. Cette méthode est connue sous le nom de méthode des *parallaxes relatives*, parce qu'elle ne donne que la différence des parallaxes de deux Étoiles, inégalement éloignées de la Terre, mais, en apparence, sous un effet de perspective, très-voisines l'une de l'autre. Les influences provenant soit de notre atmosphère, soit des divers mouvements célestes (influences qui altèrent si souvent d'une manière des plus défavorables les parallaxes absolues), se

(1) *Parallattô*, je *transporte*, parce que la parallaxe déplace les astres en apparence et fait que ces astres, vus des deux stations, ne se projettent pas au même point du ciel. La parallaxe est appelée *parallaxe annuelle* lorsqu'au lieu de s'appliquer au diamètre tout entier de l'orbite terrestre, elle ne s'applique qu'à la moitié de ce diamètre ou au rayon.

trouvant, dans le cas actuel, tout à fait identiques pour deux Étoiles presque en contact, disparaissent par conséquent dans la différence des parallaxes. Malheureusement, cette différence ne peut donner la distance de l'une des deux Étoiles qu'autant qu'on suppose nulle ou négligeable la parallaxe de l'autre, c'est-à-dire sa distance infiniment plus grande que celle de la première; ce qui est assez admissible quand les deux Étoiles comparées diffèrent beaucoup d'éclat.

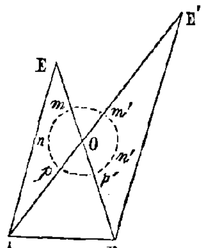
Le mot *éclat* que je viens de prononcer, me ramène tout naturellement à l'insuccès du docteur Long, qui provint principalement de ce qu'au lieu de comparer deux étoiles très-dissemblables, Long avait choisi précisément des Étoiles presque identiques. Depuis lors, Herschell, à son tour, essaya de la méthode des parallaxes relatives, et, cette fois encore, sans succès au point de vue du résultat cherché, bien que les Étoiles comparées fussent très-dissemblables. Mais s'il n'obtint pas ce qu'il espérait pour la parallaxe, Herschell du moins sut faire sortir de ses recherches une des plus brillantes découvertes de l'Astronomie moderne, la connaissance des Étoiles doubles et multiples dont je ne tarderai pas à esquisser l'histoire.

Bien qu'infructueuse d'abord, la méthode des parallaxes relatives a fini par donner de précieux résultats, entre les mains des Astronomes modernes. Elle a fourni plusieurs distances qui confirment, de la manière la plus heureuse, les conséquences déduites de la méthode des parallaxes absolues et les nombres obtenus aussi, depuis trente ou quarante ans, par cette dernière méthode. Malgré l'incertitude résultant de l'hypothèse que la parallaxe d'une des deux Étoiles comparées est nulle, elle paraît donc appelée à rendre des services très-réels. Elle est d'ailleurs d'une application des plus simples; et, à ces divers titres, elle mérite d'être étudiée. La voici décrite aussi sommairement que possible.

65. **Méthode des parallaxes relatives.** — Soient deux Étoiles E, E′ (*fig.* 53), qui, vues du point A, forment entre elles un angle extrêmement petit EAE′. Soit EBE′ l'angle, également très-petit, soutendu par les deux Étoiles, lorsque la

Terre et l'observateur sont venus en B. Pour la netteté de la figure, je prends ici ces angles avec des valeurs assez considérables ; mais mon raisonnement est tout à fait indépendant de leur grandeur. La somme des trois angles d'un triangle ayant constamment pour mesure 180 degrés; et les deux angles symétriques EOA, E'OB formés par le croisement des deux lignes droites EB E'A (qui lorsqu'on prend, comme il est toujours permis de le faire, la station B dans le plan EAE', se coupent au point O), étant évidemment égaux entre eux (1), les deux angles restants E et A du triangle EOA doivent nécessairement être équivalents aux deux angles E' et B du triangle E'OB. Ce qu'on peut écrire ainsi :

Fig. 53.



E plus A *égale* E' plus B ; ou, en employant les signes algébriques généralement connus, $E + A = E' + B$; et ce qui, par la simple soustraction de E' et de A dans chacune des deux quantités égales, donne pour résultat :

E plus A moins E' moins A, *c'est-à-dire* E moins E' (puisque plus A et *moins* A se détruisent) *égale* E' plus B moins E' moins A, *c'est-à-dire* égale B moins A (puisque E' et *moins* E' se détruisent aussi) ; ou, algébriquement

$$E - E' = B - A.$$

La différence des deux angles E, E', formés par les lignes AE, BE, AE', BE', menées aux Étoiles E, E', de deux points A, B, de l'orbite terrestre, successivement occupés par l'obser-

(1) Il n'y a pas de raison pour que la pente de EO sur OA, mesurée par l'arc de cercle *mnp*, soit plus grande ou plus petite que la pente du prolongement OB de EO sur le prolongement OE' de OA, mesurée par l'arc *m'n'p'* symétrique et par conséquent égal au premier. D'ailleurs la somme des deux angles EOE', E'OB, mesurée par la demi-circonférence *mm'n'p'* valant 180 degrés, exactement comme la somme des deux angles EOE', EOA, mesurée elle-même par le contour du demi-cercle *m'mnp* ; lorsque de chacune de ces deux sommes égales on retranchera l'angle EOB' qui en fait partie, les deux angles restants E'OB, EOA, ne pourront qu'être égaux.

vateur; en d'autres termes, la différence E moins E′ des parallaxes de E et de E′, si au lieu d'appliquer le mot *parallaxe* au rayon on l'appliquait à une corde quelconque AB de l'orbite terrestre, cette différence est égale à la différence B moins A des angles B et A compris entre les deux Étoiles, et mesurés des deux stations successives de l'observateur. Supposez maintenant une des parallaxes E′ nulle ; et la relation précédente vous donnera :

E égale B moins A ; c'est-à-dire la parallaxe de l'Étoile E égale la différence des angles observés B et A.

Ici, comme nous l'avons déjà remarqué, plus de cause d'incertitude de la part des fluctuations de l'atmosphère et des autres influences perturbatrices dont la loi ne serait pas assez rigoureusement connue pour permettre de pousser les corrections jusqu'aux dernières limites d'exactitude. Car les erreurs commises sur A et sur B, peuvent être considérées comme identiques et comme disparaissant, par conséquent, dans la différence des deux angles mesurés. Quant aux doutes que soulèverait la supposition de nullité ou, du moins, de petitesse extrême de l'une des parallaxes, il n'est pas un Astronome, aujourd'hui, qui songe sérieusement à s'en préoccuper, surtout lorsqu'à la différence d'éclat entre les deux Astres, comparés, viennent s'ajouter certaines différences entre les petits déplacements qu'éprouvent ces Astres, et que nous ne tarderons pas à étudier sous le titre de *mouvements propres des Étoiles.*

66. **Résultats numériques.** — Les deux méthodes dont nous venons d'examiner les principaux caractères ont, presque simultanément, je l'ai déjà dit, fait connaître enfin quelques-unes des distances depuis si longtemps cherchées. La plus faible de ces distances, celle de l'Étoile nommée α (alpha) du *Centaure*, correspond, d'après MM. Henderson et Mac-Léar, à une parallaxe de 91 centièmes de seconde, est égale à 226 mille fois 38 millions de lieues, et demande à la lumière près de quatre ans pour être parcourue; puis vient l'Étoile 61me du *Cygne*, dont la parallaxe n'est plus, d'après Bessel et M. Péters, que de 33 centièmes de seconde, et dont

la distance, égale à 618 mille fois 38 millions de lieues, ne peut être franchie par la lumière qu'en *neuf* ans et *demi*; puis nous trouvons encore α (alpha) de la *Lyre*, *Sirius*, le *Bouvier* ou *Arcturus*, la *Polaire*, etc., enfin la *Chèvre* dont les parallaxes (1) de 26 centièmes, de 15 centièmes, de 127 millièmes, de 106 millièmes et de 46 millièmes de seconde, correspondent à des distances de 785 mille fois, 1373 mille fois, 1624 mille fois, 1946 mille fois, et 4484 fois 38 millions de lieues, qui sont parcourues par la lumière en 12 ans et demi, en 22 ans, en 26 ans, en 31 ans et en 72 ans.

67. — Tels sont les principaux résultats mathématiquement obtenus. Mais si nous admettons, en Astronomie, ces déductions par analogie que l'on admet si souvent dans les sciences naturelles, nous arriverons à des résultats bien autrement surprenants. Il n'est personne qui ne connaisse la grande zone blanchâtre appelée communément *voie lactée* ou *chemin de Saint-Jacques*. Lorsqu'on l'examine avec des lunettes assez grossissantes, cette zone se résout en un nombre presqu'infini d'Étoiles de différents éclats, ou de différentes *grandeurs*, comme disent les Astronomes qui ont établi, d'après l'*éclat apparent* seulement, et sans rien préjuger pour cela sur la grosseur réelle, 10-12... même 15 ou 16 classes d'Étoiles de grandeurs diverses. Or les Étoiles étant d'autant plus nombreuses qu'elles sont moins brillantes, on peut admettre que les plus faibles sont aussi, généralement, les plus éloignées. Distribuées, selon toute apparence, d'une manière à peu près uniforme dans les espaces célestes, elles doivent, en effet, sur chacune des surfaces sphériques qui correspondent aux diverses distances, croître en nombre à mesure que les surfaces croissent en grandeur, ou que les rayons des sphères, c'est-à-dire les distances à la Terre, deviennent plus considérables.

(1) Ces parallaxes sont dues à MM. Struwe, Henderson, Mac-Lear et Peters. J'aurai sans doute occasion d'en citer quelques autres. Quant aux noms des Étoiles, on peut provisoirement les accepter, sans s'inquiéter pour le moment des positions qu'occupent les Astres dont nous ne tarderons pas à étudier la nomenclature et que nous pourrons plus tard reconnaître aisément.

Déductions photométriques. — En partant de cette idée et en la rapprochant de la propriété qu'a la lumière de paraître quatre fois plus faible quand on a doublé la distance de l'observateur au point éclairant, neuf fois plus faible pour une distance triple, de diminuer, en un mot, d'intensité, proportionnellement au *carré* de la distance, Herschell détermina les rapports d'éclat des divers ordres d'Étoiles, et obtint ainsi les rapports entre les distances inconnues. D'après les mesures de l'illustre Astronome, les Étoiles de deuxième grandeur seraient, *en moyenne*, quatre fois moins brillantes, par conséquent *deux fois* plus éloignées que celles de première. Les Étoiles de quatrième grandeur seraient, à leur tour, *deux fois* plus loin, *généralement*, que celles de seconde. La distance des Étoiles du cinquième ordre égalerait *huit fois;* et celle des Étoiles du sixième ordre vaudrait *douze fois* la distance qui nous sépare des Étoiles les plus brillantes. Les Étoiles les plus faibles que pouvait distinguer Herschell dans son télescope de 10 pieds, se trouveraient 344 fois plus loin que ces dernières ; enfin celles que montrait le télescope de vingt pieds, le seraient 900 fois. D'où il résulte que si la lumière emploie environ vingt ans (1) pour nous venir des Étoiles de première grandeur, elle devra employer *dix-huit mille* ans pour venir des dernières Étoiles visibles dans le télescope de 20 pieds dont se servait Herschell.

Et comme la Terre est entourée d'Étoiles du même ordre de petitesse, il faut doubler ce temps pour exprimer celui que la lumière emploierait à parcourir non plus le rayon, mais le diamètre de la sphère étoilée dont nous occuperions le centre.

Trente-six mille ans! voilà le chiffre auquel nous arrivons par des déductions presque aussi certaines que celles qui nous ont fourni, géométriquement, les parallaxes de quelques Étoiles. Disons toutefois que par des considérations empruntées, d'après M. Struwe, à la distribution des Étoiles dans les

(1) Les cinq Étoiles de première grandeur *α Centaure*, *α Lyre*, *Sirius*, le *Bouvier* et la *Chèvre* donneraient une valeur moyenne de 28 ans ; les quatre dernières donneraient 37 ans. Le chiffre 20 est donc loin de se trouver exagéré.

diverses régions du Ciel, par la discussion d'observations faites de 1818 à 1821 à Dorpat, enfin par celle des résultats précédemment cités et dont plusieurs lui appartiennent, M. Péters croit pouvoir réduire à 7082 le nombre 36 mille, en plaçant les Étoiles de première grandeur à une distance moyenne représentée par 15 ans 5 dixièmes (1). Mais remarquons aussi que le télescope de vingt pieds était bien loin de pénétrer jusqu'aux dernières limites du Ciel étoilé, puisqu'un télescope de quarante pieds, qui ne paraît pas cependant avoir servi aux comparaisons d'intensité, augmentait beaucoup, d'après Herschell, le nombre d'Étoiles visibles.

Premiers aperçus relatifs au nombre des Étoiles, à la constitution, au nombre et à la distance des Nébuleuses.— Remarquons également que les espaces célestes ne jouissent pas, selon toute probabilité, d'une transparence infinie, et qu'un grand nombre d'Astres trop faibles doivent, par conséquent, échapper aux plus puissants instruments. Les 7082 ans adoptés par MM. Péters et Struwe, comme les 36 mille ans signalés plus haut, sont donc loin de correspondre, il paraît

(1) Voici, basée sur trente-cinq parallaxes qu'il suppose assez bien déterminées par des mesures directes, la table à laquelle s'est arrêté M. Peters.

Grandeurs des Étoiles.	Parallaxes.	Distances.	Temps employé par la lumière pour en arriver.
1	0″209	986000	15 ans 5
1,5	0, 166	1246000	19, 6
2	0, 116	1778000	28, 0
2,5	0, 098	2111000	33, 3
3	0, 076	2725000	43, 0
3,5	0, 065	3151000	49, 7
4	0, 054	3850000	60, 7
4,5	0, 047	4375000	69, 0
5	0, 037	5378000	84, 8
5,5	0, 034	6121800	96, 5
6	0, 027	7616000	120, 1
6,5	0, 024	8746000	137, 9
7,5	0, 014	14220000	224, 5
8.5	0, 008	24490000	386, 3
9,5	0, 006	37200000	586, 7
10 Herschell.	0, 00092	224500000	3541, dont le double égale 7082.

difficile d'en douter, aux extrémités du firmament. Tout fait présumer, au contraire, que ces nombres représentent des distances presque microscopiques, par rapport aux dimensions réelles des régions célestes. Dans ses longues études d'Astronomie stellaire, Herschell fut conduit à conclure que les innombrables Étoiles qui composent la voie lactée, constituent une sorte d'assemblage de forme à peu près lenticulaire, une tranche de sphère, une roue si l'on veut, vers le centre de laquelle se trouverait la Terre, et dont l'épaisseur serait environ six fois plus petite (1) que le diamètre. Or un pareil assemblage où les Étoiles confondues par des effets de projection dans le sens des dimensions les plus grandes, semblent former la bande laiteuse que chacun connaît, ne devrait-il pas, bien mieux encore, vu des profondeurs de l'espace, à des distances infiniment supérieures, présenter l'apparence d'une tache de même aspect blanchâtre, tranchant sur le fond du Ciel ?

Eh bien, cette apparence on la retrouve dans une multitude de petites nébulosités que les fortes lunettes montrent éparpillées au firmament et qui, pour les habitants de la Terre, soutendent des angles à peine sensibles. Supposez quelques-unes de ces taches, quelques-unes des cinq mille *Nébuleuses* (c'est le nom qu'on leur donne) ajoutées par Herschell (2500), et par divers autres Astronomes (à peu près aussi

(1) Comptez les Étoiles que présente le champ de votre lunette quand vous dirigez celle-ci dans le sens de la profondeur, c'est-à-dire vers la voie lactée, et dans le sens perpendiculaire. Si, comme c'est assez probable, les Étoiles sont à peu près uniformément distribuées autour de nous, les nombres trouvés dans les deux cas, seront proportionnels aux volumes des cônes que vous découperiez dans l'assemblage d'Étoiles, et dont l'angle au sommet égalerait le champ (angulaire) de la lunette. Or les volumes de deux cônes semblables, étant comme les cubes des hauteurs, les hauteurs à leur tour ou les dimensions longitudinale et transversale de la voie lactée seront proportionnelles aux racines cubiques des volumes, ou des nombres d'Étoiles fournies par votre double observation. Un certain nombre de comparaisons est d'ailleurs nécessaire, je n'ai sans doute pas besoin d'en faire la remarque, pour donner des valeurs moyennes acceptables.

2500), au catalogue des 95 ou 100 Nébuleuses que l'on connaissait vers la fin du siècle dernier; supposez-les (ce qui est plus que probable pour plusieurs d'entre elles, sur un si grand nombre) égales en dimensions à la nébuleuse dont nous faisons partie; et admettez une valeur de 2 minutes pour l'angle sous lequel nous les voyons; vous arriverez à conclure par les tables (des triangles) qui nous ont donné les distances, ou, si vous le préférez, par une construction géométrique et des mesures prises au compas, que les dimensions transversales AB (*fig.* 54) des Nébuleuses ainsi aperçues, sont contenues 1719 fois dans chacune des distances AC et BC qui nous en séparent.

Fig 54.

A B

C

Dix-sept cent dix-neuf fois sept mille quatre-vingt-deux ans, c'est-à-dire un peu plus de *douze millions d'années*, tel serait le temps que la lumière mettrait à nous arriver de ces Nébuleuses, même dans le cas de l'évaluation la plus modérée (celle de 7082 ans) pour leurs dimensions transversales! Plus de *soixante* millions d'années dans l'hypothèse, également très-modérée, de *trente-six mille ans* pour les mêmes dimensions! *Sept mille quatre cent milliards d'années* dans le premier cas, *trente-sept mille milliards d'années* dans le second, pour le temps qu'emploierait le boulet de canon à franchir un pareil espace! Le *double* pour le temps correspondant aux distances qui séparent les Nébuleuses situées des deux côtés opposés de la Terre! Et rien cependant, si ce n'est l'insuffisance de nos télescopes, rien qui doive nous faire présumer que l'Univers créé s'arrête là! mille motifs des plus puissants, au contraire, pour donner à penser que, transportés dans ces régions lointaines, nous verrions les bornes du firmament se reculer encore; que des Astres inconnus nous apparaîtraient vers un nouvel infini; que l'Univers en un mot, « *est*, comme on l'a si bien dit, *un cercle dont le centre se trouve partout et la circonférence nulle part.* »

68. **Le Soleil n'est lui-même qu'une Étoile.** — La distance de quelques Étoiles une fois obtenue, on a pu déterminer le rang que notre Soleil doit occuper dans la création ; et l'on a reconnu que cet astre dont les dimensions sont pourtant si considérables, que cet Astre dont le volume égale treize cent mille fois environ le volume de la terre, ne brillerait plus pour nous, s'il était transporté dans la région moyenne des Étoiles de première grandeur, à un million de fois par exemple sa distance actuelle, que comme un point lumineux à peine visible, comme une toute petite Étoile de cinquième à sixième grandeur. Les Étoiles elles-mêmes sont donc aussi des Soleils, et des Soleils en général plus considérables que celui qui nous éclaire. Voilà, par conséquent, dans la seule voie lactée, d'après les calculs de M. Struwe sur les déterminations, sur les *jauges* dues à Herschell, 20 millions *au moins* de Soleils visibles, indépendamment de ceux, bien plus nombreux sans doute, que les effets de projection, d'affaiblissement ou de distance, nous empêchent d'apercevoir ! Et la voie lactée n'occupe cependant, selon toute apparence, qu'un petit coin de l'Univers, puisque, dans cet Univers, les Astronomes ont déjà classé plus de cinq mille nébuleuses dont plusieurs, cela paraît certain, ne sont ni moins étendues, ni moins peuplées de Soleils que ne l'est la voie lactée !

L'esprit reste véritablement confondu sous l'impression de cette grandiose munificence qui a semé, dans tous sens, les Soleils à pleines mains. Comment, en effet, quand l'aspect de certaines créations dues à l'industrie cause des émotions si vives, comment ne pas se sentir écrasé par la réflexion, devant la puissance bien autrement imposante qui, après avoir imprimé aux globes énormes du firmament des vitesses de 10, de 20, de 30 lieues par seconde, et même, très-probablement, des vitesses de beaucoup supérieures, n'interrompt pas un seul instant son action, afin de renouveler constamment les forces destinées à empêcher tous ces corps de se réduire en poussière, de se décomposer, de s'anéantir ? Eternelle immuabilité qui n'a pas borné son œuvre à faire naître ou à façonner la matière, mais qui l'anime, qui l'organise à chaque heure ; qui multiplie partout le mouvement et la vie ; qui se manifeste plus admirable encore peut-être dans la végétation du brin d'herbe, dans la création incessante des milliers d'animalcules vivant au sein de la goutte d'eau, que dans la direction et le maintien des globes imposants répandus au Ciel ; qui sait tirer enfin du néant des intelligences appelées à comprendre son œuvre, et des cœurs dignes d'en aimer les beautés !

SIXIÈME LEÇON.

Suite de l'Astronomie stellaire.

Mouvements propres des Étoiles. — Vitesses de quelques-uns de ces Astres. — *Mouvement propre du Soleil,* considéré lui-même comme une Étoile. — Historique de la découverte. — *Étoiles doubles et multiples.* — Caractères principaux des Étoiles multiples. — Coloration. — Changements d'aspect. — Nombre des Étoiles doubles. — Nature des orbites. — Application à l'essai des lunettes. — Application à la détermination des parallaxes. — *Principes de mécanique sur lesquels repose la détermination des masses d'Étoiles doubles.* — Parallélogramme des forces. — Gravitation ou attraction mutuelle des corps célestes. — *Masses des Étoiles doubles.* — Applications numériques. — Nombre des Étoiles multiples. — Particularités remarquables présentées par Sirius et par Procyon.

69. — Nous avons déjà vu que les Étoiles conservent, les unes par rapport aux autres, des positions regardées autrefois comme rigoureusement invariables, et que de là venait la dénomination de *fixes* qui leur avait été donnée. Dans les idées des anciens Astronomes, ces Astres étaient donc des points lumineux, cloués à la voûte céleste, et, tous les jours, emportés avec elle, d'un mouvement commun, de l'Orient vers l'Occident. Halley crut néanmoins reconnaître, en 1718, que les plus brillants d'entre eux, que Sirius, Aldébaran, Arcturus, etc., n'occupaient plus dans le ciel les places indiquées jadis par les Astronomes de l'École d'Alexandrie. Mais les observations de cette École ne présentaient pas un assez grand degré d'exactitude, pour que leur comparaison avec les observations modernes pût mettre hors de doute un fait en complet désaccord avec les idées jusqu'alors admises.

70. **Mouvements propres des Étoiles.** — Ce fut en 1738 seulement, que Jacques Cassini, et plus tard, en 1756, que

Tobie Mayer, rapprochant de leurs propres observations celles de Richer, à Cayenne, en 1672, et de Roëmer, à Copenhague, vers le commencement du XVIIIe siècle, prouvèrent, le premier pour Arcturus et pour α (alpha) de l'Aigle, le second pour 80 Étoiles, le déplacement de ces corps célestes. Depuis lors les recherches se sont multipliées de telle sorte, que ce qui semblait un paradoxe, il y a cent ans, est devenu aujourd'hui un fait à peu près général. Le nombre connu des Étoiles qui se déplacent augmente, en effet, sans cesse. Divers catalogues ont déjà paru, dans lesquels on trouve des indications précieuses; et l'*Association britannique pour l'avancement de la science*, entre autres, a donné, en 1845, une liste de plus de huit mille Étoiles, dont les trois quarts environ présentent des *mouvements propres* calculés.

Ces mouvements propres sont, ordinairement, très-faibles. Les plus considérables atteignent à peine, chaque année, des angles de quelques secondes. Tel est, par exemple, celui de l'Étoile 61e du Cygne qui égale 5 secondes trois dixièmes (5″,3), et dont la grandeur conduisit MM. Mathieu et Arago d'abord, puis Bessel et M. Peters, à penser que l'Étoile douée pour nous d'un pareil mouvement apparent, devait être une des plus voisines de la Terre ; présomption justifiée, en effet, bientôt après, par le résultat obtenu pour la parallaxe. Tels sont encore les *mouvements propres* de l'Étoile α (alpha) du *Centaure*, trois secondes six dixièmes (3″,6) ; de l'Étoile δ (delta) *Eridan*, quatre secondes un dixième (4″,1) ; d'*Arcturus*, deux secondes et quart (2″,25) ; de *Sirius*, une seconde et quart (1″,23) ; tels sont enfin, les plus grands de tous, celui de la 2151me Étoile de la *poupe du Navire*, qui égale sept secondes neuf dixièmes (7″,9) ; celui de ε (epsilon) de l'*Indien*, qui égale sept secondes trois quarts (7″,75) ; et celui de la 1830me Étoile du *Catalogue de Groombridge*, qui égale sept secondes (7″,0).

Les belles Étoiles α (alpha) de la *Lyre*, la *Chèvre*, *Aldébaran*, n'ont que des mouvements assez faibles et, tous les trois, inférieurs à une demi-seconde ; ce qui peut paraître assez singulier pour des Étoiles de première grandeur, regardées généralement comme faisant partie de celles qui sont les plus voisines de nous. Mais les déplacements AB que nous observons de la Terre O (*fig.* 55), ne sont d'ordinaire que la projection ou, si l'on préfère, que la perspective des déplacements réels AC, obliques au rayon visuel OA. Les valeurs apparentes AB des chemins parcourus par les diverses Étoiles, peuvent donc différer énormément des valeurs réelles AC, que l'immense distance de ces astres empêche de déterminer; et les nombres auxquels nous allons arriver pour AB, n'exprimant dès lors que la limite inférieure des vitesses de chaque Étoile, il n'y aura rien d'étonnant à ce que les Éoiles les plus voisines paraissent douées d'un mouvement moins rapide que celles qui sont plus loin.

Fig. 55.

71. **Vitesses de quelques Étoiles.** — Nous avons trouvé précédemment les distances de quelques Étoiles. Avec ces distances et les tables dont j'ai déjà parlé dans l'étude des parallaxes, ou bien à l'aide d'un simple compas, il nous sera facile de savoir combien de fois le coté AB exprimant le mouvement propre apparent d'une Étoile, est contenu dans la distance OA de l'Étoile à nous, pour les divers angles AOB correspondant aux mouvements propres observés. Il nous sera donc facile de savoir aussi combien les longueurs AB auront de lieues. Tout calcul fait, voici les nombres que nous donneraient les Étoiles dont j'ai cité plus haut les parallaxes et les mouvements propres.

ÉTOILES.	Valeurs minima AB des chemins inconnus AC, parcourus en un an.
61e du Cygne	608 millions de lieues (2432 millions de kilomètres).
α (alpha) Centaure	150 millions de lieues (600 millions de kilomètres).
α (alpha) Bouvier, ou Arcturus.	673 millions de lieues (2022 millions de kilomètres).
Sirius	312 millions de lieues (1248 millions de kilomètres).

avec des mouvements propres de 4 dixièmes de seconde, de 46 centièmes de seconde et de 35 millièmes de seconde, la Lyre, la Chèvre et la Polaire, donneraient des vitesses annuelles minima de 58 millions, de 380 millions et de 13 millions de lieues, (232 millions, 1520 millions et 52 millions de kilomètres). Quant aux autres Étoiles à grands mouvements propres, également citées, leurs parallaxes étant inconnues, on ne peut déterminer aujourd'hui, même approximativement, les chemins qu'elles parcourent. Il en est une cependant, la 1830e de Groombridge, à laquelle les recherches de M. Faye, entreprises avec le petit équatorial de l'Observatoire de Paris, avaient d'abord paru devoir assigner une seconde environ de parallaxe, et dont les recherches postérieures de M. O. Struwe, faites à l'aide de l'immense lunette de Pulkowa, fixeraient, au contraire, la parallaxe entre *un* et *deux centièmes* de seconde. Quel que soit celui des nombres précédents que l'on adopte, la vitesse de cette Étoile serait encore très-considérable. Seulement, tandis que le premier donnerait une valeur d'au moins 226 millions de lieues (904 millions de kilomètres), les autres fourniraient, soit trois milliards huit cents millions, soit un milliard neuf cents millions de lieues (15 milliards 200 millions et 7 milliards 600 millions de kilomètres) suivant celle des deux limites (*un centième* ou *deux centièmes* de seconde), qui servirait de base au calcul.

Voilà certes d'imposants résultats pour des corps que l'on regardait, il y a cent ans à peine, comme immobiles dans le Ciel. Et cependant, nous l'avons déjà remarqué, ce ne sont là que les valeurs les plus faibles, que les valeurs des projections de vitesses, mais nullement les vitesses elles-mêmes qui peuvent être, suivant leur obliquité par rapport au rayon visuel, dix fois, cent fois, etc., plus considérables. Des millions de globes immenses comme notre Soleil, chacun *douze* ou *quinze cent mille fois* plus volumineux que la Terre, courant dans l'immensité sans se rencontrer, lancés en tout sens avec une rapidité que le boulet de canon est bien loin d'atteindre, et paraissant néanmoins presque sans mouvement, ou, plutôt, exigeant, pour permettre d'apprécier leur déplacement, le secours des instruments les plus parfaits, tant leur prodigieux éloignement rapetisse à nos yeux les chemins énormes qu'ils parcourent, etc.; quel inépuisable sujet d'admiration et d'enthousiasme! Comment, en effet, ne pas être ébloui par ces richesses, quand on songe surtout que la volonté qui les enfante, prodiguant partout les merveilles et s'enveloppant dans sa majestueuse puissance, n'avait même pas laissé soupçonner par l'homme, des grandeurs que les plus persévérantes études, accumulées de siècle en siècle, devaient seules nous révéler?

72. — Nous avons déjà pu le reconnaître; vu d'assez loin, le Soleil ressemblerait à une Étoile. Il était donc tout naturel de penser qu'indépendamment du mouvement diurne que nous étudierons bientôt et qui l'emporte chaque jour d'Orient en Occident avec la voûte céleste tout entière; qu'indépendamment du mouvement annuel que nous étudierons bientôt aussi, et qui le fait circuler périodiquement, chaque année, dans les mêmes points du ciel, cet Astre possédait un *mouvement propre* auquel participeraient également la Terre et tous les globes assujettis à le suivre.

Mouvement propre du Soleil considéré comme une Étoile. — Historique de la découverte. — Après la découverte du déplacement d'Arcturus et de α (alpha) de l'Aigle, Fontenelle d'abord, et, plus tard, lorsque cette découverte tendit à se généraliser par la constatation du déplacement d'autres étoiles, Bradley, Mayer, Lambert, etc., émirent, en effet, l'opinion que le Soleil devait, à son tour, se mouvoir dans l'espace, entraînant avec lui la Terre et les autres corps célestes qui gravitent sous son influence. Mais, semblables aux voyageurs emportés par un même navire, ces corps ne pouvaient se servir mutuellement de repère dans la recherche de leur déplacement commun; et les mouvements qu'on venait de reconnaître aux Étoiles, en montrant qu'il n'était plus permis de compter désormais sur la fixité des objets de comparaison, ne paraissaient-ils pas devoir être, par cela même, un obstacle insurmontable à la démonstration des présomptions qu'ils avaient fait naître?

William Herschell sut triompher, avec une rare sagacité, des difficultés de la question. Il compara les mouvements propres d'un certain nombre d'Étoiles disséminées à peu près régulièrement tout autour de nous; et dans l'ensemble des déplacements ingénieusement choisis, qu'il rapprocha les uns des autres, il parvint à démêler, à travers les irrégularités elles-mêmes sur lesquelles devaient nécessairement reposer ses recherches, certains excès de mouvements propres d'un côté, certains affaiblissements du côté opposé, des compensations partout ailleurs, la preuve manifeste, en un mot, que le Soleil s'avançait, avec nous, vers les Étoiles dont les écartements mutuels paraissaient augmenter, et fuyait au contraire celles qui semblaient se rapprocher les unes des autres.

73. — Depuis 1783, époque à laquelle remontent les recherches d'Herschell, sur le mouvement propre du Soleil, de nombreux travaux sont venus apporter une éclatante confirmation aux résultats obtenus, et montrer, en même temps, combien l'illustre Astronome s'était habilement servi du nombre restreint de mouvements propres, dont il lui avait été possible de disposer. Car, profitant des progrès astronomiques du XIXe siècle, MM. Argelander et Struwe (Otto), le premier par 390, le second par 392 Étoiles, ont trouvé sensiblement la même direction qu'Herschel, pour le mouvement propre du Soleil. Ajoutons d'ailleurs que, dès 1785, Prévot avait déjà pu vérifier également cette brillante découverte dont les conséquences s'accordent, en outre, avec les recherches postérieures de MM. Bravais, Luhndal, Galloway, etc. Ajoutons enfin que les déterminations de MM. Struwe et Péters assigneraient au Soleil, par conséquent aussi à la Terre, une marche annuelle de 111 millions de lieues (304 mille lieues ou 1216 mille kilomètres par jour) vers les Étoiles *c* et *d* du groupe auquel on a donné le nom de constellation d'*Hercule*.

74. **Étoiles doubles et multiples.** — Les mouvements propres étudiés jusqu'à présent, paraissent s'effectuer en ligne droite et d'une manière uniforme. Ils doivent donc être considérés comme résultant d'impulsions primitives dont les

effets ne seraient masqués par aucune intervention de forces obliques aux directions observées. Lorsque l'on voit cependant les corps qui tombent d'une certaine hauteur, augmenter graduellement de vitesse, on se trouve conduit à admettre que la Terre doit exercer sur eux une attraction analogue à celle de l'aimant sur le fer, et produire, par l'accumulation successive de cette influence, l'accélération de leur mouvement. Les phénomènes que nous aurons à étudier par la suite, nous montreront, avec la dernière évidence, que le Soleil et tous les corps qui circulent autour de lui, exercent à leur tour des attractions analogues à celle exercée par la Terre; enfin nous allons retrouver encore des preuves non équivoques des mêmes propriétés attractives dans le mouvement de certaines Étoiles qu'on appelle *Étoiles doubles*. Tout semble donc nous permettre de généraliser et de conclure que les étoiles simples, les Étoiles jusqu'ici les plus nombreuses, jouissent, comme les autres Astres, du pouvoir d'attirer les corps extérieurs. L'on peut dès lors se demander pourquoi leurs attractions mutuelles, en se combinant avec les impulsions primitivement imprimées, ne produisent pas des vitesses variables et des mouvements curvilignes. Mais si l'on se rappelle combien les Étoiles sont éloignées les unes des autres; et si l'on remarque, en outre, que l'attraction de l'aimant sur le fer diminue très-rapidement avec la distance, l'on conclura sans peine qu'un décroissement analogue doit avoir lieu dans le firmament, et l'on comprendra que, malgré leur nombre, par suite aussi peut-être des efforts symétriquement opposés qui se détruisent l'un l'autre, l'ensemble de toutes les Étoiles ne doit exercer sur chacune d'elles que des effets à peu près insensibles, qui disparaissent dans le grand mouvement provenant de l'impulsion.

Il n'en serait pas ainsi toutefois si deux ou plusieurs Étoiles se trouvaient, non par un effet de projection, mais en réalité, très-voisines entre elles. Dans ce cas, leurs attractions réciproques se combinant avec les chocs qui leur auraient été primitivement imprimés, pourraient les assujettir les unes aux autres, et les condamner à décrire perpétuellement des courbes dont la forme dépendrait des lois suivant lesquelles s'exercerait l'attraction. C'est précisément ce qui a dû avoir lieu pour un assez grand nombre de groupes binaires dans lesquels Herschell, le premier, reconnut la dépendance mutuelle des deux Étoiles, et qu'il caractérisa par le nom d'*Étoiles doubles* ; c'est aussi ce qui s'est produit sans doute dans des assemblages moins nombreux que les premiers, formés chacun de *trois*, de *quatre* ou même d'un plus grand nombre d'Étoiles et, par suite, appelés *Étoiles multiples*.

75. **Caractères principaux des Étoiles multiples. — Coloration.** — Dans les systèmes binaires, les Étoiles présentent, en général, des éclats très-dissemblables, souvent même des couleurs différentes. La plus belle étant blanche, la plus faible est fréquemment rouge ou bleue; quelquefois jaune ou verdâtre; quelquefois aussi, blanche comme la première. Certains groupes offrent néanmoins deux Étoiles à peu près également brillantes, toutes deux blanches ou bleues; mais, le plus habituellement, les deux Étoiles sont inégales et inégalement colorées, ainsi que je viens de le dire, la plus forte étant rouge, jaune, bleue, etc., quand la plus faible est verte, bleue ou rouge, etc.

Si, comme ici-bas tout doit nous le faire supposer, des corps obscurs et habités, semblables à notre Terre, circulent autour de ces Soleils de couleurs différentes, les phénomènes d'illumination diurne doivent offrir de singulières variations, en passant de l'influence d'un Soleil blanc ou rouge à celle d'un Soleil vert, jaune ou bleu, etc., etc.; en subissant, tantôt l'action simultanée des deux Astres lumineux, tantôt, au contraire, l'obscurité qui suit la disposition de l'un et de l'autre. Les saisons, à leur tour; les variations de chaleur et de lumière, de froid et d'obscurité, présentent sans doute des bizarreries de plus d'une espèce, dans les systèmes, surtout, composés d'Étoiles multiples et, mieux encore peut-être, dans ceux dont l'éclat ou la couleur éprouvent des changements.

76. **Changements d'aspect.** — A juger d'après les dissemblances existant, sous ce rapport, entre quelques-unes des

qualifications attribuées à certaines Étoiles, par Herschell, et les qualifications données cinquante ans plus tard, par M. Struwe, aux mêmes Étoiles, il paraîtrait effectivement que plusieurs Étoiles doubles auraient, dans ce court intervalle, éprouvé de notables modifications. Cela voudrait-il dire que les unes, les rouges par exemple, sont des Étoiles en voie de formation, dont la lumière n'aurait pas encore atteint son intensité complète, tandis que les vertes ou les bleues tendraient à s'affaiblir et à s'éteindre? Questions intéressantes que nous retrouverons en étudiant l'éclat des Étoiles simples, et dont la solution nous permettrait d'établir quelques présomptions sur la destinée future de notre Soleil, mais qu'il est prudent, faute de données suffisantes, de réserver encore aux investigations de l'avenir!

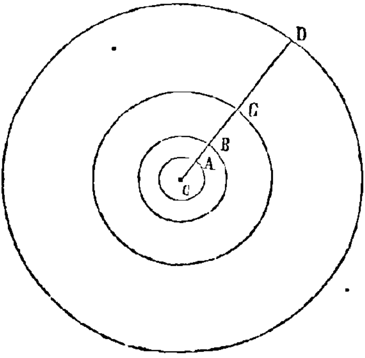
77. **Nombre des Étoiles doubles.** — C'est, je l'ai déjà dit (nº 65), en cherchant les parallaxes relatives sur des couples d'Étoiles très-voisines et différant beaucoup, d'éclat, qu'Herschell fut conduit, par l'égalité des parallaxes, à considérer, comme étant dans une dépendance mutuelle, des Étoiles presque confondues et dont les distances à la Terre se trouvaient sensiblement les mêmes. Bientôt, en effet, cette présomption fut confirmée, dans plusieurs couples, par les déplacements des deux Étoiles, ou mieux, par le mouvement de la petite Étoile autour de la grande; et quoique la lenteur excessive de la plupart des mouvements n'eût pas permis, dans l'intervalle de quelques années, d'en reconnaître l'existence avec certitude, Herschell n'hésita pas à publier un catalogue de plus de cinq cents Étoiles qu'il regardait comme étant réellement doubles, soit parce que les deux Étoiles *composantes* ne formaient entre elles que des angles extrêmement petits (inférieurs ou, tout au plus, égaux à 32 secondes), soit parce qu'elles étaient animées de mouvements propres identiques, soit enfin parce qu'elles avaient la même parallaxe. Plus tard, M. Struwe a étendu jusqu'à 3057 le nombre des Étoiles doubles cataloguées; et les Astronomes, le P. Secchi, de Rome, entre autres, augmentent encore, journellement, ce nombre qui donne moyennement *une* Étoile dou-

ble sur *six* Étoiles comprises entre la 1^{re} et la 6^{e} grandeur, et sur *quatre* Étoiles à mouvement propre dépassant *une demi-seconde*, mais qui ne fournit plus qu'*une* double sur *vingt-cinq* Étoiles variant de la première grandeur à la septième, sur *quarante* Étoiles comprises entre la 1^{re} grandeur et la 9^{e}, et sur 45 ou 50 Étoiles ayant des mouvements propres inférieurs à un dixième de seconde (0″,1). Résultats remarquables à plus d'un titre, et surtout parce qu'ils viennent merveilleusement confirmer d'autres présomptions; car s'il est vrai, comme nous l'avons supposé, que les petites Étoiles et les Étoiles à mouvements propres très-faibles soient généralement les plus éloignées de la Terre, ces Étoiles doivent aussi par cela même, et précisément ainsi que l'indique l'observation, être plus difficiles à dédoubler.

78. — Du reste, à défaut des mouvements de circulation, encore trop peu étudiés chez la plupart des systèmes binaires qui ont été provisoirement classés comme formant des Étoiles doubles, la théorie des probabilités est venue fournir de précieuses vérifications. Sur les 3057 Étoiles doubles de M. Struwe, 987 *ont, en effet, leurs Étoiles composantes séparées* entre elles par des angles plus petits que 4 secondes (1^{re} classe d'Herschell); 675 par des angles compris entre 4 et 8 secondes (2^{e} classe); 659 par des angles variant de 8 à 16 secondes (3^{e} classe); enfin 736 par des angles plus grands que 16 secondes et plus petits que 32 (4^{e} classe). Or, à l'aide d'un calcul très-simple dans les détails duquel il n'est pas nécessaire d'entrer ici, mais que la connaissance des premiers éléments de la géométrie permettrait à chacun d'effectuer aisément, l'on peut reconnaître sans peine que, si l'on prend sur la voûte étoilée quatre longueurs OA, OB, OC, OD (*fig.* 56), égales respectivement à 4, à 8, à 16 et à 32 secondes, le petit cercle de rayon OA sera équivalent en surface au *tiers* seulement de l'espace annulaire AB compris entre les deux cercles OB, OA; au *douzième* de la surface de l'anneau BC; enfin au *quarante-huitième* de l'anneau CD; en d'autres termes, que les surfaces du cercle OA, et des trois anneaux AB, BC, CD, peuvent être représentées par

les nombres 1—3—12—et 48 (1). D'où il suit que l'une des deux composantes de l'Étoile double étant prise pour le centre O des cercles précédents; et la seconde composante étant jetée au hasard sur le ciel, dans le voisinage du point O, de manière à paraître tout près de O par un effet de perpective, mais sans avoir avec cette première Étoile aucune liaison intime, les chances de chute soit dans l'intérieur du cercle OA ou à une distance de l'étoile O moindre que 4 secondes, soit dans l'intérieur des anneaux AB, BC, CD, c'est-à-dire à des distances de l'étoile O comprises entre 4 et 8, entre 8 et 16, enfin, entre 16 et 32 secondes, sont égales évidemment aux grandeurs des surfaces, ou aux nombres trouvés plus haut (1—3—12—48) pour en exprimer l'étendue. D'où il suit aussi, par conséquent, que pour *une* Étoile double, de la première classe, vous devrez avoir *trois* Étoiles doubles de la seconde, *douze* de la troisième et *quarante-huit* de la quatrième, si la duplicité n'est qu'apparente au lieu d'être réelle; si cette duplicité tient, en un mot, à un arrangement, à une disposition de hasard, et nullement à des influences mutuelles. Voyez les nombres fournis par l'observation. 987 (soit pour plus de simplicité, 1000) Étoiles de la 1re classe; 675—659—736 Étoiles pour les trois classes suivantes. Quelle disproportion énorme avec les nombres *trois mille*, *douze mille* et *quarante-huit mille*

Fig. 56.



(1) Les rayons OA, OB, OC, OD, étant comme les nombres 1—2—4 et 8, les surfaces des cercles correspondants seront dans les rapports des carrés 1—4—16—64. Or, si vous retranchez 1 de 4, 4 de 16 et 16 de 64, les différences 3—12—48 représenteront les anneaux AB, BC, CD.

qu'on devrait trouver! Si quelques Étoiles paraissent doubles par un effet de perspective, le plus grand nombre doit donc constituer une duplicité physique réelle ; et l'étude des mouvements de circulation ne fera, cela paraît indubitable, que confirmer les présomptions dans lesquelles, pour la plupart des Étoiles enregistrées, on a été jusqu'à présent obligé de se renfermer.

79. **Nature des orbites.** — Quant aux mouvements, encore peu nombreux, qui ont été déjà étudiés, bien que la plupart d'entre eux n'aient pas accompli une période complète depuis l'époque de la découverte d'Herschell, l'on a pu constater néanmoins que la petite Étoile, que l'Étoile *satellite* décrit autour de l'Étoile *principale*, une courbe presque circulaire, une sorte *d'ovale* ou de cercle allongé auquel on a donné le nom *d'ellipse*, dont l'Étoile principale n'occupe pas le centre et dont nous aurons occasion, avant peu, d'examiner quelques propriétés. Les durées des révolutions, et les éléments des orbites parcourues, ont été déterminés par Savary d'abord, Astronome français, dans *la Connaissance des temps* de 1830; puis par MM. Enke, Mädler, Herschell fils, Hind, Smyth, Villarceau, etc. Voici quelques-uns des résultats obtenus, qui donneront l'idée des principales particularités du mouvement relatif des Étoiles doubles.

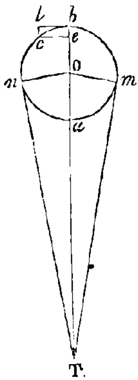
	Durée de la révolution de l'Étoile satellite autour de l'Étoile principale.		Valeur moyenne de l'arc de cercle compris entre les deux étoiles, mesuré, de la Terre, perpendiculairement au rayon visuel.	
ζ (zéta) Hercule	36ans	36	1″2	(une seconde, deux dixièmes).
η (êta) Courone	42	50	1	1
α (alpha) Centaure	77	00	15	5
ω (oméga) Lion	82	52	0	9
ξ (xi) Bouvier	117	14	12	6
γ (gamma) Vierge	182	12	3	6
Castor	252	66	8	1
σ (sigma) Couronne	287	00	3	7
61me du Cygne	500	00	15	4
μ (mu) Bouvier	650	00	3	2
γ (gamma) Lion	1200	00		

80. **Application à l'essai des Lunettes.** — Les distances angulaires moyennes 0″9 — 1″1 — 1″2, etc., qui séparent les composantes de quelques-unes des Étoiles doubles du tableau précédent, sont des quantités tellement petites, qu'elles exigent des lunettes d'une grande perfection et d'un pouvoir optique très-considérable, pour être appreciées. Aussi, l'examen attentif des Étoiles doubles dont les composantes sont *très-voisines*, est-il devenu *un moyen excellent* pour juger de la bonté des instruments d'optique qui doivent nettement séparer les Étoiles les plus rapprochées, telles, par exemple, que γ (gamma) Couronne, ε (epsilon) Bélier, η (êta) Hercule, etc., quand ils sont susceptibles de fournir des images exemptes de confusion. Remarquons, d'ailleurs, que les valeurs angulaires moyennes, données plus haut, sont celles qu'on trouverait si les orbites décrites par les Étoiles satellites étaient perpendiculaires aux rayons visuels menés de la Terre; et comme ces orbites, au contraire, se présentent généralement à nous dans des sens obliques, les deux Étoiles sont souvent encore beaucoup plus rapprochées, en apparence, que ne l'indiquent les valeurs moyennes. Elles peuvent même s'occulter l'une l'autre, se confondre, par conséquent, en une seule Étoile, comme il arriva de 1802 à 1803, puis encore de 1829 à 1830 pour ζ (zêta) Hercule, en 1850 pour τ (tau) Serpentaire, etc.

81. **Application à la détermination des parallaxes.** — Mais ce n'est pas sous le rapport des instruments optiques seulement, que les Étoiles doubles présentent d'utiles applications; elles paraissent destinées à fournir un jour de curieux procédés pour la détermination de leurs propres parallaxes, et même pour celle, naguère inespérée, des quantités de matière qu'elles renferment. Voulez-vous savoir comment des résultats aussi surprenants pourront être obtenus? Supposez, pour plus de facilité, que l'orbite *ambn* (*fig.* 57), décrite par l'Étoile satellite autour de l'Étoile principale O soit circulaire, parcourue d'un mouvement uniforme et située dans un point passant par le point T de la Terre qu'occupe l'Observateur. Il en serait autrement; l'on voudrait employer, au

lieu du cercle, l'ellipse réellement décrite ; on désirait faire varier la vitesse, incliner, d'une manière quelconque, le plan de l'orbite sur le rayon visuel, etc. qu'à l'aide de certains calculs astronomiques dont les détails deviendraient fatigants ici, l'on pourrait, sans trop de peine, ramener les choses à l'état de simplicité dans lequel nous nous nous sommes d'abord placés. Supposez donc le mouvement réduit aux conditions énoncées plus haut; et, pour mieux saisir l'esprit des méthodes en les spécialisant sur quelques nombres, admettez, par exemple, que la durée de la révolution soit égale à 40 ans; que la lumière emploie 30 ans à venir du point *a*, et 30 ans un mois à venir du point *b* à la Terre; enfin que l'Étoile satellite se soit réellement trouvée en *a*, le 1er Janvier 1800. Vous pourrez écrire le petit tableau suivant :

Fig. 57.



Passages réels de l'Étoile satellite	Durées réelles des demi-révolutions.
au point *a*..le 1er janvier 1800	
	....ascendante, de *a* en *b*...20 ans.
au point *b*..le 1er janvier 1820	
	...descendante, de *b* en *a*...20 ans.
au point *a*..le 1er janvier 1840	

Passages apparents de l'Étoile satellite, donnés par l'arrivée, à la Terre, des rayons lumineux partis successivement de *a* et de *b*.	Durées apparentes des demi-révolutions.
au point *a*..le 1er janvier 1830, 30 ans après le passage réel	
	....ascendante, de *a* en *b*..20 ans 1 m.
au point *b*..le 1er février 1850, 30 ans 1 m. après le p. réel	
	..descendante, de *b* en *a*..19 ans 11 m.
au point *a*..le 1er janvier 1870, 30 ans après le passage réel	

La différence (deux mois dans l'exemple actuel) entre les durées des demi-révolutions observées, vous donnera donc le double du temps employé par la lumière pour traverser l'orbite, en d'autres termes, pour parcourir la longueur ba, ou son égale mOn, formée de la somme des deux rayons mO et nO, respectivement perpendiculaires aux tangentes mT, nT; et comme vous savez combien la lumière parcourt de lieues dans une seconde, vous déterminerez immédiatement, aussi en lieues, la longueur mOn (1). Après quoi, la distance OT de l'étoile principale à la Terre, découlera de l'observation de l'angle mTO soutendu par la ligne qui joint les deux composantes stellaires au moment de leur plus grand éloignement apparent, et des tables dont j'ai déjà parlé plusieurs fois, en étudiant les parallaxes, ou de simples constructions à l'échelle, qui vous diront combien de fois la distance cherchée, OT, contient la longueur Om.

Voilà donc, pour la détermination des parallaxes, dans le cas des Étoiles doubles, un procédé qui viendra, sans doute, à l'avenir, apporter de précieux contingents aux résultats fournis, par les autres méthodes, sur les Étoiles simples. Quant à la détermination de la masse des Étoiles doubles, établissons, avant tout, quelques préliminaires qui nous permettront de l'obtenir.

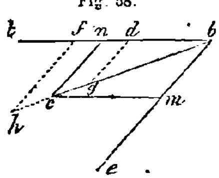
82. **Principes de mécanique sur lesquels repose la détermination des masses d'Étoiles doubles.** — Et d'abord, remarquez qu'en chacun des points de sa marche curviligne, sous l'impulsion de la vitesse qu'elle possède, et semblable à la pierre que la fronde abandonne, l'Étoile satellite s'échapperait, comme on dit vulgairement, suivant la tangente ou le prolongement bl de l'élément de courbe qu'elle vient de parcourir, si l'attraction mutuelle des deux Étoiles, agissant elle-même d'une manière analogue aux cordes parallèles de la fronde, pendant la rotation, n'empêchait l'effet de se produire et n'obligeait le satellite à courber sans cesse son mou-

(1) Si au lieu du cercle on considérait l'ellipse; en calculant, ce qui est possible et souvent facile, de combien ab est supérieur ou inférieur à mOn, on obtiendrait le temps de mOn, et par suite, la longueur de mOn, à l'aide du temps ou de la longueur de ab.

vement. Or, le diamètre de l'orbite étant déjà connu par les inégalités apparentes des demi-révolutions ascendante et descendante, rien n'est plus simple que de calculer la longueur du contour entier de cette orbite, puisque la circonférence d'un cercle égale, d'après les principes les plus élémentaires de la géométrie (personne aujourd'hui ne l'ignore), *trois* fois et *un septième* de fois le diamètre. Dès lors on pourra savoir également, d'après la durée connue de la révolution entière, quelle est la longueur du chemin parcouru par l'Étoile satellite dans un temps quelconque, dans une heure, dans une minute, dans une seconde, si l'on veut.

Parallélogramme des forces. — Ceci bien compris, lorsqu'un mobile poussé dans deux directions différentes *bt*, *be* (*fig.* 58), par des forces qui le sollicitent simultanément, aura parcouru le chemin *bc*, vous trouverez, sans difficulté, quel est le chemin que chacune des forces agissantes ferait parcourir isolément. Pour cela, par l'extrémité *c* du chemin parcouru *bc*, menez deux parallèles *cm*, *cn*, aux directions *bt*, *be*, des forces agissantes, vous aurez ainsi une figure appelée *parallélogramme*, dont les côtés *bn*, *bm*, seront précisément les quantités cherchées. Car si vous supposez qu'au lieu d'agir simultanément, les deux forces agissent l'une après l'autre, vous serez obligé d'admettre que l'action de la force *bt* se trouve épuisée quand le mobile est arrivé en *n*, parce que c'est le seul point de la direction *bt* où la force *be*, transportée parallèlement à elle-même, puisse être appliquée de manière à amener le mobile au point *c*. Faire cesser l'action de la force *bt* avant le point *n*, au point *d* par exemple, ou la prolonger au delà de *n* jusqu'en *f*, ce serait ensuite, sous l'action de la force *be*, faire marcher le mobile suivant *dg* ou suivent *fh* parallèlement à *be*, et l'amener par conséquent aux points *g* ou *h*, mais non au point *c*. Un raisonnement identique, sur les forces *be*, *bt*, s'appliquerait au cas où l'on supposerait que le

Fig. 58.



mobile marche d'abord dans le sens *bm* et puis dans le sens *mc* (1).

La diagonale *bc* du parallélogramme a donc pour *composantes* les deux côtés *bn*, *bm*; ou, plus simplement, une force représentée par *bc* peut être considérée comme résultant de deux forces représentées par *bm* et *bn*. Nous aurons d'autres occasions d'appliquer ce principe, auquel, en mécanique, on a donné le nom de *principe du parallélogramme des forces*.

83. **Gravitation ou attraction mutuelle des corps célestes.** — Revenons maintenant à la question qui nous occupe, et cherchons à découvrir suivant quelle loi varie l'attraction mutuelle qui s'exerce entre les Astres. Pour cela, considérons le mouvement de l'Étoile satellite, non plus dans le cercle hypothétique auquel nous nous étions arrêtés pour simplifier nos explications, mais dans l'ellipse réellement décrite; et concevons qu'en divers points de l'orbite allongée, que, par conséquent, pour des distances différentes les unes des autres entre les deux composantes de l'Étoile double, nous ayons, à l'aide du *parallélogramme des forces*, calculé les diverses valeurs de la force centrale. Si nous comparons les valeurs obtenues ainsi, nous pourrons immédiatement reconnaître qu'elles varient exactement dans le rapport inverse du carré des distances; c'est-à-dire que, le *carré* de la distance qui sépare les deux Étoiles composantes se trouvant doublé, triplé, quadruplé, etc., l'attraction mutuelle sera la moitié seulement, le tiers, le quart, etc., de ce qu'elle était d'abord.

L'opération que nous venons de faire sur une Étoile double, faisons-la maintenant soit sur le Soleil et sur l'un des corps que nous verrons plus tard décrire également des ellipses autour de cet Astre, soit sur la Terre et sur la Lune, notre satellite, qui se meut aussi dans une ellipse autour de

(1) Je m'attache surtout à faire comprendre ici, en quoi consiste le principe du parallélogramme des forces, sans m'assujettir aux formes habituelles du langage mathématique.

nous, soit enfin sur des masses célestes quelconques, décrivant, l'une autour de l'autre, des courbes différentes du cercle; et nous trouverons constamment, comme pour les Étoiles doubles, des valeurs variant en sens inverse du carré des distances, dans toutes les influences mutuelles qui s'exercent parmi les Astres du firmament. Connaissant donc, par l'observation d'un mouvement curviligne et par l'application du parallélogramme des forces à l'analyse des composantes de ce mouvement, l'attraction existant entre deux Astres que sépare une distance donnée, entre la Terre et la Lune, entre le Soleil et l'un des corps qui tournent autour de lui, etc., l'on pourra calculer sans peine la valeur que prendrait cette attraction, si la distance devenait double, triple,... centuple, etc., égale enfin à celle des deux composantes de l'Étoile double dont on veut déterminer la masse; puisque l'on n'aurait tout simplement qu'à rendre la valeur primitive, quatre, neuf... dix mille fois (c'est-à-dire le carré de deux, de trois,... de cent, etc., etc.), plus petite.

Masses des Étoiles doubles. — Cette réduction effectuée, les attractions se trouveront identifiées maintenant par le calcul, sous le rapport des distances, dans deux systèmes binaires quelconques de l'Univers. A quoi tiendront les différences, s'il en existe encore? Evidemment à ce que la somme des masses ou des quantités de matière qui s'attirent mutuellement dans l'un des systèmes, n'est pas égale à la somme des masses qui constituent l'autre système. Et dès lors, ne suffit-il pas de comparer les deux effets qui expriment les attractions ramenées aux mêmes distances, pour connaître immédiatement le rapport entre les quantités de matière que renferment, d'un côté les deux composantes de l'Étoile double, d'un autre côté la Terre et la Lune réunies, ou bien encore le Soleil et celui des Astres qui l'accompagnent, dont on a observé le mouvement (1).

(1) Dire, le *Soleil et l'un des Astres qui l'accompagnent*, c'est dire, à peu près, le *Soleil tout seul*, à cause de la masse énorme de cet Astre, par rapport à la masse de chacun des Astres circulant sous son influence.

Nous verrons plus tard comment on a pu déterminer en *kilogrammes* les masses de la Terre, de la Lune et du Soleil, comment aussi, par conséquent, on pourrait avoir en *kilogrammes* les masses des Étoiles doubles, comparées à l'un quelconque de ces corps. Pour le moment, afin de montrer combien est facile à résoudre la question si compliquée, en apparence, de la détermination des quantités de matière que contiennent des Étoiles à peine visibles dans les meilleurs instruments, nous nous bornerons à calculer, comme application, les nombres relatifs à la comparaison du Soleil avec les deux Étoiles doubles α (alpha) du Centaure et 61ᵉ du *Cygne*, dont les parallaxes sont connues.

84. **Applications numériques.** — A la distance moyenne de 14 millions 706 mille lieues (58 millions 824 mille kilomètres) qui sépare le Soleil et Mercure, ce second Astre parcourt 48628 mètres, par seconde, autour du premier.

D'où l'on déduit, à l'aide du parallélogramme des forces, pour la composante de l'attraction mutuelle des deux astres, représentée par le chemin qu'ils parcourraient l'un vers l'autre dans une seconde, si la force tangentielle n'existait pas, le nombre $0^m,0200996$.

La parallaxe de α (alpha) *Centaure* étant égale à 91 centièmes de seconde, ce qui revient à dire qu'à la distance qui nous sépare de l'Étoile, une longueur de 38 millions de lieues est vue sous un angle de $0'',91$; et la valeur moyenne de l'angle compris entre les deux composantes de cette Étoile étant égale elle-même à $15'',5$; la distance réelle de l'Étoile principale à l'Étoile satellite contiendra 38 millions de lieues autant de fois que $15'',5$ contiennent $0'',91$. Elle sera donc, tout calcul fait, égale à 647 millions de lieues (2588 millions de kilomètres).

L'on en conclura sans peine, avec la durée, 77 ans, de la révolution de l'Étoile satellite, une vitesse moyenne de cette Étoile sur le contour de son ellipse, égale à 6,695 mètres par seconde, et une attraction mutuelle entre les deux Étoiles composantes, exprimée par la quantité $0^m,0000086555$ dont les Étoiles se rapprocheraient l'une de l'autre, dans une seconde, sous l'influence de cette attraction agissant à une distance de 647 millions de lieues.

En cherchant maintenant combien de fois le carré de 647 millions de lieues contient le carré de la distance 14 millions 706 mille lieues, on trouvera le quotient 1935,617 par lequel on devra multiplier l'attraction 0m,0000086555 exercée à la distance de 647 millions de lieues pour ramener cette attraction à la distance de 14 millions 706 mille lieues. Le produit 0m,0167538 comparé au nombre 0m,0200996 trouvé plus haut, donnera pour résultat un quotient égal à 1,1997 (soit 1,2) qui exprimera que la somme des masses du Soleil et de Mercure ou, très-sensiblement, du Soleil tout seul, est supérieure d'environ deux dixièmes à la quantité de matière contenue dans l'ensemble des deux composantes de l'Étoile double *α* (alpha) du Centaure.

Répétés sur la 61e du Cygne, les calculs que je viens d'effectuer sur l'Étoile du Centaure, donneront les résultats suivants :

Parallaxe de la 61e du Cygne.................. 0",35

Écartement moyen des deux Étoiles composantes. 15",4

Quotient de la division de 15",4 par 0",35.... 44

Distance moyenne des deux Étoiles composantes, égale à 44 fois 38 millions de lieues, ou à 1672 millions de lieues.

Contour de l'ellipse presque circulaire, parcourue *en 500 ans*, égal à un peu moins de 6 fois et deux septièmes de fois la distance moyenne 1672 millions de lieues, ou, plus exactement, à 10505 millions 500 mille lieues.

D'où : vitesse, par seconde........... 2663 mètres.

Attraction mutuelle des deux Étoiles à la distance moyenne de 1672 millions de lieues, qui les sépare, représentée par le chemin qu'elles parcouraient l'une vers l'autre en une seconde, égale à..................... 0m,00000053027

Attraction ramenée, par la loi du carré des distances, à la distance moyenne de Mercure au Soleil.................... 0m,00685457

Attraction mutuelle du Soleil et de Mercure......................... 0m,0200996

Rapport des masses du Soleil et de Mercure, ou, sensiblement, du Soleil tout seul d'un côté et des deux composantes de l'Étoile double de l'autre, égal au quotient de la division de 0m,0200996 par 0m,00685457, c'est-à-dire à 2,93; ce qui signifie que la masse du Soleil est près de *trois* fois (2 fois 93 centièmes de fois) la masse des deux composantes qui forment l'Étoile double 61e du Cygne.

J'ajoute, sans autres détails, qu'en 1861, M. Krüger d'Helsigfors a trouvé pour 70 *p. Ophiucus* une parallaxe de 0″,162 (soit, en temps de la lumière, 20ans,1), et pour la somme des deux composantes de cette Étoile, une masse égale à trois fois et un dixième la masse du Soleil.

85. **Nombre des Étoiles multiples.** — Avant d'abandonner l'étude des Étoiles multiples, notons que sur les 3057 Étoiles de M. Struwe, on trouve soixante-quatre triples, *trois* quadruples, enfin *une sextuple.* Celle-ci constitue le fameux trapèze d'Orion, dont la plus grande dimension ne dépasse pas 21 secondes et qui est formé par *quatre* Étoiles de 4e, 5e, 6e et 7e grandeur, placées aux quatre angles du trapèze, deux de ces Étoiles ayant elles-mêmes chacune un satellite de 10e à 11e grandeur. M. Porro et le P. Secchi ont même cru voir, en 1857, une 7e étoile au centre de ce mystérieux trapèze; mais l'impuissance des instruments d'optique rapprochée de certaines particularités signalées par le P. Secchi dans son observation, paraît devoir laisser subsister encore quelques doutes. Quant aux Étoiles triples, on peut citer, comme types des plus curieux, les Étoiles ψ (psi) de *Cassiopée*, et 2872 du Catalogue de M. Struwe, dans lesquelles l'une des Étoiles tournerait autour de l'autre pendant que l'ensemble des deux Étoiles circulerait lui-même autour de l'Étoile principale; formant ainsi des systèmes analogues à celui que nous verrons, plus tard, exister entre la Lune, la Terre et le Soleil. Ajoutons enfin, que souvent on rencontre deux Étoiles multiples, situées dans le voisinage l'une de l'autre, à des distances plus grandes, il est vrai, que la limite (32 secondes) provisoirement adoptée par Herschell, mais assez rapprochées néanmoins pour que, selon toute apparence, ces systèmes se trouvent entre eux dans une dépendance mutuelle.

Telles sont, par exemple, l'Étoile quadruple ε (epsilon) *Lyre*, et l'Étoile double 5e *Lyre*, séparées par un angle de trois minutes trente secondes (3′ 30″) seulement, et douées en outre de mouvements propres identiques, qui ajoutent une nouvelle probabilité à celle résultant du voisinage des deux Étoiles. M. Struwe cite encore cinq systèmes binaires contenus, tous les cinq, dans un cercle de neuf minutes (9′) de rayon; et le Catalogue de cet Astronome renferme, en outre, quarante-un couples, dont l'écartement est inférieur à cinq minutes (5′), tandis qu'il ne devrait y en avoir que quatre, d'après le rapport entre la surface de la sphère et celle d'un petit cercle de cinq minutes (5′) de rayon, rapproché du nombre total des systèmes binaires connus, etc.

Tous ces faits semblent donc permettre de conclure que le Ciel ne renferme pas seulement des Étoiles multiples, assujetties à tourner les unes autour des autres et puisant, dans les mouvements curvilignes, leurs éléments de stabilité; mais qu'il contient encore, très-probablement, des assemblages de systèmes possédant, chacun, une existence dynamique spéciale, et se trouvant assez rapprochés entre eux pour être menacés par suite de leurs attractions mutuelles, de voir un jour les conditions de cette existence profondément modifiées, peut-être même entièrement détruites, sous l'action des chocs ou des combinaisons nouvelles de mouvements, qui résulteront de l'amalgame de systèmes aujourd'hui séparés.

86. **Particularités remarquables présentées par Sirius et par Procyon.** — Bornons ici les détails dans lesquels nous sommes entrés sur les Étoiles doubles; détails justifiés, malgré leur longueur, par l'avenir qui semble réservé à cette branche de l'Astronomie. Citons encore néanmoins un dernier fait sur lequel des doutes ont été jetés par les recherches de M. Struwe et de M. Fuss, mais que le nom de Bessel qui crut, vers 1840, le voir ressortir de ses études sur les *mouvements* propres, ne permet pas de passer entièrement sous silence. D'après l'illustre Astronome de Kœnigsberg, dont les idées se trouvent, au reste, fortement appuyées par des études postérieures de MM. Peters et Laugier, deux Étoiles de pre-

mière grandeur, Procyon et Sirius, auraient des mouvements propres *curvilignes*, tourneraient, par conséquent, autour de centres obscurs; ce qui conduirait à supposer que les Soleils ne sont peut-être pas les corps les plus considérables du Ciel, et qu'il existe des Astres privés de lumière, des Soleils éteints sans doute, assez puissants pour maîtriser la marche des belles Étoiles, auparavant regardées comme les souveraines du Firmament.

Je dois néanmoins ajouter que, le 30 janvier 1862, MM. Clark et Bond, de Cambridge (Etats-Unis d'Amérique), avec une lunette de dix-huit pouces et demi d'ouverture, ont découvert, à dix secondes de Sirius, une toute petite Étoile aperçue également bientôt après par M. Chacornac, dans le télescope Foucault, de $0^m 80$. Je dois ajouter encore que, quelques jours plus tard, à l'aide d'une simple lunette de six pouces, M. Goldschmidt, cachant Sirius par un diaphragme, a vu quatre autres petites Étoiles dans le voisinage de la première.

Que peuvent être ces Astres télescopiques, toujours noyés dans l'éclatante lumière de la brillante Étoile qu'ils avoisinent? Se trouvent-ils là seulement par un effet de projection, ou bien seraient-ils des Soleils satellites réagissant sur Sirius, et produisant les altérations de mouvement, remarquées par Bessel? A cet égard, la science reste, pour le moment, sans réponse, et doit attendre, du temps, la solution cherchée; car des observations postérieures, suffisamment prolongées, pourront seules décider.

Un mot encore, et je termine. Appliquant aux dérangements de *Procyon*, l'idée d'un satellite perturbateur, analogue aux satellites que nous venons de soupçonner autour de Sirius, M. Auwers déduisit, à son tour, en 1862, des observations de Bessel, une parallaxe de douze centièmes ($0'',12$) de seconde pour Procyon (soit 26 ans 8 mois pour le temps employé par la lumière à nous en arriver), et trouva les *quatre dixièmes au moins* de la masse du Soleil, pour la masse du satellite inconnu de cette Étoile.

Ai-je besoin, après d'aussi curieux résultats, d'insister sur l'importance des révélations que l'étude des Étoiles multiples réserve sans doute aux investigations de l'avenir?

SEPTIÈME LEÇON.

Suite de l'Astronomie Stellaire. — Classification des Étoiles d'après Bayer. — Conséquences déduites de cette classification par Herschel, sur les changements d'éclat qu'éprouvent les Étoiles. — Étoiles périodiques. — Étoiles éteintes. — Étoiles nouvelles. — *Diamètres des Étoiles.* — Petitesse des diamètres angulaires, conclue des oscultations par la Lune. — Estimation par le micromètre à lampe d'Herschell. — Estimation par l'éclat comparé à celui du Soleil. — *Étoiles nébuleuses;* leurs dimensions. — *Nébuleuses planétaires.* — Théorie de M. Arago. — Théorie d'Herschell. — *Nébuleuses non résolubles.* — *Nébuleuses résolubles.* — *Voie lactée.* — *Nuées de Magellan.*

87. **Classification des Étoiles d'après Bayer.** — Les prodigieuses distances qui nous séparent des Étoiles, le nombre plus prodigieux encore peut-être de ces corps célestes, l'immensité des chemins parcourus en vertu des mouvements propres, malgré l'apparente fixité des Étoiles dans le firmament, les phénomènes relatifs aux Étoiles multiples, etc., etc., ne sont pas les seules particularités qui puissent donner de l'attrait à l'étude de l'Astronomie stellaire. Plus on pénètre profondément dans cette étude, plus on trouve des motifs de surprise et des éléments de curiosité.

Divisant, pour plus de facilité, la surface du Ciel en un certain nombre de parties ou de *Constellations*, sur lesquelles nous aurons bientôt à revenir, les Astronomes anciens avaient donné des noms particuliers aux principales Étoiles, et désignaient, tout simplement, les Étoiles moins brillantes par leurs positions. Un jurisconsulte d'Augsbourg, nommé Bayer, eut l'idée, en 1603, de remplacer par des lettres les noms propres et les autres indications précédemment adoptées.

Cette modification aux usages établis n'avait pas, par elle-même, une bien grande importance ; et cependant elle fournit à Herschell, vers 1783, l'occasion de constater, dans un trentième environ des Étoiles connues, des changements d'éclat du plus haut intérêt.

On a récemment, il est vrai, soulevé des doutes sur la réalité, jusqu'alors admise, de la relation entre l'ordre alphabétique des lettres grecques ou romaines, et l'éclat des Étoiles que ces lettres désignent dans le Catalogue de Bayer. Car, d'après le célèbre Astronome de Bonn, M. Argelander, la première lettre grecque α (alpha), devrait seule être considérée comme ayant été appliquée par Bayer à la plus belle Étoile de chaque groupe, et les lettres suivantes β (bêta), γ (gamma), etc., ne suivraient que l'ordre de position, mais nullement celui d'éclat.

Conséquences déduites de cette classification, par Herschell, sur les changements d'éclat qu'éprouvent les Étoiles. — Néanmoins, même sous ces restrictions, il est difficile de ne pas reconnaître, avec Herschell, que, depuis Bayer, plusieurs Étoiles ont dû éprouver de notables variations de lumière, puisque à l'époque où Herschell publiait ses tables photométriques, les β (bêta), γ (gamma), δ (delta), de Bayer, devaient, dans plusieurs groupes d'Étoiles, dans ceux par exemple qui forment les constellations d'Hercule, de Cassiopée, de la Baleine, du Dragon, du Sagittaire, etc., remplacer les α (alpha) du jurisconsulte Astronome.

Des annotations, presque insignifiantes, en apparence, nous mettent donc sur la voie d'une des plus curieuses particularités du Firmament.

88. — Déjà, cependant, au mois d'octobre 1596, David Fabricius avait vu disparaître, dans le col de la Baleine, une Étoile que, deux mois auparavant, le 13 août de la même année, cet observateur notait comme étant de 3^{me} grandeur. Le phénomène était certes de nature à frapper vivement l'Astronome qui le constatait. Il semblait devoir surtout ramener souvent l'attention vers le point du Ciel que l'on pouvait désormais regarder comme possédant une Étoile éteinte. Mais,

antérieurement à la remarque de Fabricius, en 1572, Tycho-Brahé avait vu également une Étoile autrement brillante que celle de la Baleine, une Étoile perceptible à l'œil nu, même en plein jour, se montrer tout à coup dans la constellation de Cassiopée, et disparaître entièrement, quinze mois plus tard, après s'être graduellement affaiblie durant ce court intervalle. L'Étoile de 1572 n'avait plus reparu. Fabricius pouvait donc penser qu'il en serait ainsi de l'Étoile de la Baleine; et, préoccupé d'ailleurs, sans doute, par d'autres recherches, il perdit de vue son observation de 1596. Plus tard, Bayer, à son tour, mit une étoile de 4^{me} grandeur, qu'il désigna par la lettre o (omicron), dans l'endroit même où avait eu lieu la disparition constatée par Fabricius; et sa négligence à rapprocher des observations qui pouvaient le mettre sur la voie d'une belle découverte, lui ravit la gloire de reconnaitre que l'Étoile o (omicron) de la Baleine était sujette à des alternatives d'éclat et d'obscurité.

Etoiles périodiques. — Ce fut un professeur de Franecker, le hollandais Jean Olwarda, qui, le premier, en 1638 et 1639, reconnut les apparitions et les disparitions successives de l'Étoile déjà remarquée, sans résultat, par Fabricius et par Bayer. Bientôt d'autres Astronomes, Hévélius, D. Cassini, Bouillaud, etc., étudièrent attentivement cette Étoile, à laquelle Hévélius avait, dès les premiers temps, donné le nom de *Mira ceti* (*remarquable* de la Baleine), qui lui est resté conjointement avec celui de o (omicron) : et l'on ne tarda pas à reconnaître que la durée de la période est de 333 à 334 jours; que celle de l'éclat maximum est de 15 jours environ; que la durée totale de l'apparition varie entre 3 et 4 mois; que l'Étoile emploie souvent pour aller de la 6^{me} grandeur au maximum d'éclat, un temps différent de celui qu'elle met à revenir du maximum d'éclat à la 6^{me} grandeur; que le moment de la variation la plus rapide, est celui où l'Étoile commence à reparaître en arrivant à la 6^{me} grandeur, limite ordinaire de la visibilité à l'œil nu; que l'éclat maximum atteint quelquefois la 2^{me} grandeur, et quelquefois aussi s'arrête à la 3^{me}, etc., etc. Plus tard, W. Herschell et M. Argelander vérifièrent la plupart des faits que je viens de signaler. Seulement, ils réduisirent, l'un et l'autre, la durée de la période qu'ils firent, le premier, de 331 jours; le second, de 331 jours 15 heures 5 minutes. M. Argelander a cru reconnaître, en outre, dans cette durée, de légères variations, qui produiraient, par leur accumulation successive, des différences de 25 jours, tantôt en plus, tantôt en moins, sur une durée totale de 88 périodes. Enfin, Herschell vit, en 1799, l'Étoile atteindre presque la 1re grandeur lors de son maximum, tandis que, l'année suivante, elle ne dépassa pas le 3me ordre; et, de plus, il s'assura que, lors du minimum, la disparition, qui avait lieu dans les faibles lunettes de ses prédécesseurs, était aussi quelquefois tout à fait complète, même avec les plus puissants télescopes.

Depuis la découverte d'Holwarda sur la remarquable Étoile dont nous venons d'étudier l'histoire, bien des faits analogues ont été reconnus dans le Ciel. Ainsi, par exemple, une périodicité, que Kirch aurait constatée, et dont Maraldi aurait trouvé la durée égale à 404 jours, ferait osciller l'Étoile χ (chi) du col du Cygne entre la 5me et la 11me grandeur. Ainsi encore, α (alpha) d'Hercule passerait alternativement, d'après Herschell, de la 3me à la 4me, et de la 4me à la 3me grandeur, dans un intervalle périodique de 60 jours 1/4, et dans un intervalle de 66 jours d'après M. Argelander. La 34me du Cygne oscillerait, à son tour, tous les 18 ans, disent Jansonius et Pigott, entre la 6me grandeur et zéro. δ (delta) Céphée et β (bèta) Lyre, n'offriraient, au contraire, que des périodes fort courtes (5 à 6 jours d'après Goodricke), ou, selon M. Argelander, β (Lyre), 13 jours tout au plus, en présentant pendant cet intervalle deux *maxima* et deux *minima* d'éclat, un peu différents l'un de l'autre, qui auraient trompé Goodricke dans ses déterminations, de manière à faire croire à une durée moitié de la durée réelle, etc., etc. Enfin *Algol*, β (bèta) de Persée, varierait entre la 2me et la 4me grandeur dans 3 heures et demie seulement, et conserverait ensuite un jour environ chacune des grandeurs extrêmes; ayant une période plus courte encore que les précédentes (*deux* jours 20 heures 48 minutes d'après Goodrick), et, ce qui serait bien plus surprenant, une période variable, d'après M. Argelander.

Rapprochons maintenant les détails relatifs aux Étoiles périodiques, des changements d'éclat constatés par Herschell sur les annotations du Catalogue de Bayer. Voyez : des périodes de moins de 3 jours pour *Algol*, de 6 jours pour δ (delta) Céphée, de 13 jours pour β (bêta) Lyre, de 60 ou de 66 jours pour α (alpha) d'Hercule, de 331 jours pour o (omicron) Baleine, de 404 jours pour χ (chi) col du Cygne, etc., etc.; enfin de 18 ans pour la 34me du Cygne! Ces périodes, de plus en plus longues, ne permettent-elles pas de penser que des périodes plus longues encore pourraient être la cause de modifications qu'un premier aperçu tendrait à faire regarder d'abord comme permanentes; alors surtout que les observations se trouvent séparées entre elles par l'intervalle considérable s'étendant de Bayer (1603) à Herschell (1783)? J'avoue que l'analogie me paraît militer puissamment en faveur des présomptions qui rapporteraient, à un même ordre de phénomènes, les disparitions ou les apparitions et les changements périodiques de certaines Étoiles.

89. **Étoiles éteintes.** — Quoi qu'il en soit, au reste, de cette opinion, on ne peut oublier, dans l'étude dont nous nous occupons en ce moment, de mentionner quelques autres faits bien dignes, à tous égards, d'être remarqués. Ainsi, par exemple, à côté des Étoiles dont la périodicité se trouve désormais hors de doute, vous rencontrez dans le Ciel des Étoiles qui paraissent aller en s'affaiblissant; d'autres, au contraire, qui semblent graduellement augmenter depuis un ou deux siècles. Vous en rencontrez aussi dont la couleur changerait en même temps que l'éclat. Telles seraient : Pollux, Aldébaran, α (alpha) d'Orion, etc., que Ptolémée, au commencement de l'ère chrétienne, disait être rougeâtres et qui sont blanches aujourd'hui; les Étoiles doubles γ (gamma) du Lion, γ (gamma) du Dauphin, etc., qu'Herschell trouvait formées l'une et l'autre de deux Étoiles blanches, et que M. Struwe a trouvées, cinquante ans plus tard, formées toutes deux, au contraire, d'une Étoile vert bleuâtre et d'une

Étoile jaune d'or. Telles seraient encore : l'Étoile β (bêta) du Lion, que Bayer faisait de 1re grandeur, et qui est aujourd'hui inférieure aux Étoiles de 2me ordre ; α (alpha) du Dragon, de 2me grandeur d'après Bayer, de 3me grandeur tout au plus d'après les observations modernes ; les deux premières Étoiles de l'Hydre, de 4me grandeur au temps de Flamsteed, de 8me à 9me grandeur seulement à l'époque d'Herschell ; les 9me et 10me Étoiles du Taureau, la 55me Étoile d'Hercule, classées toutes trois par Flamsteed comme des Étoiles visibles à l'œil nu, et vainement cherchées, 80 ans plus tard, par Herschell ; telles seraient enfin la 38me de Persée, la 31me du Dragon, etc., qui, depuis Flamsteed jusqu'à Herschell, seraient montées de la 7me grandeur à la 4me ; telle serait surtout la plus remarquable parmi les Étoiles sujettes à des changements progressifs, l'Étoile η (êta) du Navire, qui ne se trouve ni dans le Catalogue de Ptolémée, ni dans celui de Bayer, qu'en 1680 Halley faisait de 4me grandeur, que Lacaille présentait comme une Étoile de 2me grandeur en 1750, qui de 1811 à 1815 redescendait à la 4me grandeur pour s'accroître graduellement ensuite et devenir, en 1837, ce qu'elle est restée depuis, une des plus belles Étoiles de 1er ordre, mais avec des alternatives d'affaiblissement ou d'augmentation d'éclat, jusqu'à présent tout à fait irrégulières.

90. — J'ai cité, précédemment, l'Étoile nouvelle de 1572, et les particularités les plus saillantes de son apparition. Un Astre remarquable par la vivacité de son éclat comme par la blancheur de sa lumière, s'était montré tout à coup, le 11 novembre, immobile dans la Constellation de Cassiopée. Mais déjà, dès le mois suivant, en décembre 1572, il commençait à s'affaiblir, conservant d'abord sa couleur blanche, puis prenant successivement des teintes jaunes et rouges très-prononcées, redevenant *blanc terne* ensuite, disparaissant enfin complétement au mois de mars 1574, après avoir passé graduellement, avant de s'éteindre, par toutes les phases de grandeurs. Des apparitions analogues, signalées de siècle en siècle, donnent en quelque sorte un caractère de généra-

lité au phénomène dont Tycho-Brahé nous a si bien tracé l'histoire.

Étoiles nouvelles. — Ainsi, 130 ans environ avant le commencement de notre ère, Hipparque apercevait, de l'Observatoire d'Alexandrie, une Étoile nouvelle qui lui inspira, je l'ai déjà dit, l'idée de faire le dénombrement de toutes les Étoiles du Ciel. Ainsi encore, de décembre 173 à juillet 174, une belle Étoile se montrait dans le Centaure. Ainsi, également, vers la fin du IVe siècle, en 389, une autre Étoile fort remarquable brillait, pendant un mois, tout près de λ (lambda) de l'Aigle. Au IXe siècle; l'Astronome arabe, Albumazar, observait, à son tour, une grosse Étoile qui venait d'apparaître dans la constellation du Scorpion. En 945, une Étoile, jusqu'alors ignorée, était signalée au voisinage de Cassiopée. En 1101, une Étoile des plus éclatantes apparaissait dans le Sagittaire. Une Étoile se montrait également, en 1264, vers Cassiopée, comme celles de 945 et de 1572, etc.

Les Astronomes observèrent encore, du 10 octobre 1604 au 8 octobre 1605, dans le Serpentaire, une Étoile non moins brillante, dès son apparition, que celle de 1572, et, comme cette dernière, s'affaiblissant graduellement, mais sans se colorer, jusqu'à l'époque de sa disparition complète, vers la fin de 1605. En 1670, le P. Anthelme aperçut, dans la constellation du Cygne, une Étoile nouvelle de 3me grandeur, qui, par une bizarrerie singulière, s'affaiblit et se ranima plusieurs fois avant de s'éteindre, et qui, depuis, n'a plus reparu. De nos jours enfin, au mois d'avril 1848, M. Hind signala, dans Ophiucus, une Étoile de 5me grandeur, qui ne s'y trouvait pas auparavant, et qui, après s'être affaiblie peu à peu, ne tarda pas à disparaître.

91. — Les trois Étoiles de 945, de 1264 et de 1572, ne seraient-elles pas trois apparitions successives d'un même Astre? Cette opinion, qui permettrait de relier les Étoiles nouvelles aux Étoiles périodiques, acquiert, ce me semble, un grand degré de probabilité, par le simple rapprochement des dates et des points du Ciel où se sont montrés les phénomènes. Tous les trois dans la constellation de Cassiopée, mais sans dési-

gnations plus précises, il est vrai, pour les deux premiers ! 319 ans d'intervalle, de 945 à 1264; 308 ans de 1264 à 1572; une différence de 11 ans seulement entre les deux nombres 308 et 319 ! Sur d'aussi longues durées, cette différence compte à peine, et n'est même pas, proportionnellement, comparable aux différences que présentent les courtes périodes bien constatées. Nous touchons, du reste, pour ainsi dire, au moment où la question devra nettement se résoudre. Avec une durée moyenne de 313 ans, donnée par les deux périodes précédentes, l'Étoile de Cassiopée devrait reparaître vers 1885. Néanmoins, si, comme M. Argelander a cru le reconnaître pour d'autres Étoiles, celle-ci a une période variable et actuellemment décroissante, ainsi que le seraient également aujourd'hui, d'après l'Astronome de Bonn, les périodes de o (omicron) Baleine, d'Algol, de β (bêta) Lyre, etc., et si la différence de 11 années, signalée plus haut, représentait la loi du décroissement, ce n'est pas vers 1885, mais bien en 1869, que la nouvelle apparition devrait se produire (1).

Nous serions donc appelés, avant peu, dans cette hypothèse, à constater l'un des plus curieux phénomènes du firmament, l'inflammation subite d'une Étoile, de beaucoup supérieure en éclat, à toutes celles qui brillent maintenant au ciel; d'où résulteraient les plus sérieux motifs d'assimilation entre les Etoiles nouvelles, les Étoiles disparues et les Étoiles périodiques proprement dites. Seulement, il resterait à expliquer pourquoi certaines sont visibles pendant une partie considérable de la période, pourquoi d'autres, au contraire, ne se montrent en quelque sorte qu'un instant; pourquoi celles-ci s'affaiblissent en conservant leur blancheur, tandis que celles-là changeraient, en même temps, et de couleur et d'éclat, etc.

(1) Elle devrait même se produire plus tôt, si la diminution était, en ce moment, plus rapide, comme les diminutions progressivement croissantes, que M. Argelander serait porté à admettre pour les périodes d'Algol, de β (bêta) Lyre, etc.

On a fait intervenir, à cet égard, des nuages cosmiques, des Astres obscurs s'interposant entre les Étoiles périodiques et nous, etc., enfin, des inflammations ou des extinctions subites, et des changements physiques considérables dans l'état des surfaces lumineuses. Chacune de ces idées répond, sans doute, à des réalités; et celle, entre autres, de modifications dont la surface de notre Soleil nous fournira bientôt elle-même, quoique avec des proportions restreintes, un frappant exemple, satisferait, en effet, assez convenablement à plusieurs détails, tels que les changements de couleur, l'apparition et l'affaiblissement rapides de l'étoile de 1572, etc. Mais il paraît difficile de concevoir le phénomène dans son ensemble et dans sa généralité, si l'on n'admet, avec Képler, que les Étoiles tournent sur elles-mêmes et nous présentent successivement leurs diverses faces. Intuition hardie, presque téméraire, lorsqu'elle fut émise par le grand Astronome, 5 ans avant l'invention des lunettes, à l'occasion de l'Étoile nouvelle qui se montrait en 1604; complétée, en 1651, avec quelques restrictions bizarres sur la nature des rotations, par Riccioli qui, pour expliquer les Étoiles changeantes, supposait des côtés brillants et des côtés obscurs à ces Étoiles; et passée presque à l'état d'irrécusable évidence, par la découverte, soit de la rotation du Soleil, soit des taches variables de forme, de grandeur et de position qui parsèment la surface de l'Astre lumineux (1).

(1) M. Arago a déduit de l'observation des Étoiles périodiques, cette curieuse conséquence que les sept couleurs élémentaires dont est composée la lumière blanche se meuvent toutes, avec la même vitesse, à travers les espaces célestes. Car s'il en était autrement, le faisceau lumineux que lance une Étoile au moment, par exemple, où elle tend à reparaître, ne nous arriverait pas avec sa blancheur primitive à cause des retards qu'éprouveraient les diverses couleurs; et nous verrions la réapparition se produire avec des colorations successives. Il en serait de même, soit pour la disparition, soit pour le maximum d'éclat. Comme cela n'a lieu dans aucun cas, l'égalité de vitesse devient évidente.

L'égale réfrangibilité des rayons envoyés par les Étoiles dont la terre

92. **Diamètres des Étoiles.**— Les mouvements des Étoiles doubles nous ont permis de déterminer les masses de quelques-uns de ces corps. Par l'éclat des Étoiles, nous pourrons nous faire une idée de leur volume. Il serait impossible, en effet, d'apprécier les diamètres réels des très-petites images, d'après les apparences qu'elles présentent dans les lunettes; car les instruments optiques, même les plus parfaits, donnent toujours des dimensions apparentes supérieures aux dimensions réelles, parce que les meilleurs objectifs conservent quelques imperfections de taille ou d'achromatisme, parce que surtout les rayons lumineux qui rasent les bords des diaphragmes, se dévient constamment de la direction rectiligne, par un effet auquel on a donné le nom de *diffraction*, et viennent étaler plus ou moins les images.

Quant aux appréciations faites à l'œil nu, l'irradiation les amplifie bien autrement encore, puisque avant l'invention des lunettes, Képler, Tycho-Brahé, etc., attribuaient à Sirius, à α (alpha) Lyre, etc., des diamètres de plus de *cent* secondes, tandis qu'Hévélius, Cassini, etc., purent réduire à 5 ou 6 secondes, à l'aide des lunettes, les dimensions transversales des belles Étoiles.

Avec les parallaxes que nous connaissons aujourd'hui, de pareils diamètres donneraient aux Étoiles des volumes prodigieux. La Lyre (alpha), par exemple, aurait un diamètre réel, égal à 731 millions de lieues, 2070 fois plus considérable que celui du Soleil. D'où résulterait un volume *neuf milliards* de fois supérieur au volume de ce dernier Astre. Sirius posséderait des dimensions plus grandes encore; Arctu-

s'éloigne et par celles vers lesquelles nous marchons, a conduit également M. Arago à cette autre conclusion remarquable, que les effluves lumineuses contiennent des rayons animés de diverses vitesses, et que ceux de ces rayons qui possèdent une vitesse *relative* déterminée, sont seuls visibles; les autres donneraient naissance aux rayons calorifiques et chimiques. D'où il résulterait que tel rayon visible pour l'observateur marchant dans un certain sens, ne le serait pas pour l'observateur marchant dans un sens contraire ou, plus exactement, dans un sens différent du premier.

rus et la Chèvre également, etc. Malgré ce que nous savons de l'immensité du Firmament, de telles proportions pour des Soleils ne paraissent guère admissibles : et si je les cite ici, c'est d'abord pour avoir l'occasion de signaler l'exagération produite, par les lunettes elles-mêmes, sur les Étoiles ; c'est ensuite parce que nous retrouverons bientôt, mais cette fois sans incertitude possible, dans divers amas de matière sidérale, dans les atmosphères de quelques Étoiles, etc., les dimensions imposantes qui nous semblent peu croyables actuellement.

93. **Petitesse des diamètres angulaires, conclue des occultations par la Lune.** — Il existait, au reste, depuis plus d'un siècle, d'autres motifs que des considérations d'analogie entre les Étoiles et le Soleil, pour faire considérer les mesures de diamètres obtenues à l'aide des lunettes, comme grandement exagérées. Halley avait, en effet, remarqué, dès 1718, qu'en passant devant certaines Étoiles, devant Aldébaran (de 1re grandeur) entre autres, la Lune faisait disparaître ces astres en un clin d'œil. Leurs diamètres devaient donc être bien plus faibles qu'on ne l'avait cru d'abord. Car la Lune parcourt dans le Ciel *une* seconde d'arc, dans *deux* secondes de temps ; et, par conséquent, une étoile de *cinq* secondes de diamètre devrait employer *dix* secondes de temps à disparaître derrière l'Astre mobile qui vient la cacher.

Estimation par le micromètre à lampe, d'Herschell. — Deux ans plus tard, en 1720, Jacques Cassini avait, à son tour, observé l'occultation de deux Étoiles très-voisines, celles dont se compose l'Étoile double γ (gamma) de la Vierge ; et quoique sa lunette lui montrât l'intervalle compris entre les deux Astres comme égal, tout au plus, au diamètre de chaque Étoile, celles-ci s'étaient éclipsées, l'une et l'autre, instantanément, tandis que le bord de la Lune avait employé trente secondes de temps, au contraire, à traverser l'intervalle obscur qui les séparait. Depuis lors, bien des observations analogues étaient venues montrer avec la dernière évidence que les Étoiles, vues dans les lunettes, sont considérablement étalées ; mais on ne savait à peu près rien sur la grandeur réelle de l'illusion produite, lorsque comparant les Étoiles aux points rayonnants qu'il obtenait à l'aide de petits trous d'épingle percés dans des plaques (non diaphanes) placées devant une flamme, lorsque employant, en un mot, l'appareil imaginé par lui, sous le nom de *micromètre à lampe*, William Herschell parvint à préciser des nombres, à réduire le diamètre angulaire de α (alpha) Lyre à 36 centièmes de seconde, celui d'Arcturus à deux dixièmes de seconde, etc.

94. **Estimation par l'éclat comparé à celui du Soleil.** —C'était beaucoup faire, sans doute, eu égard aux évaluations anciennes. Et pourtant, même avec les nombres si restreints que trouvait Herschell, la Lyre conserverait un diamètre réel de 52 millions de lieues, Arcturus un diamètre de 60 millions de lieues, etc. En présence de pareils nombres, on conçoit que de nouvelles vérifications aient été désirables. Les résultats photométriques obtenus d'abord par Wollaston, en 1829, et, quelques années plus tard, par sir John Herschell, sur l'éclat des Étoiles, comparé à celui du Soleil ; ceux que l'on peut déduire également de la Table des intensités relatives de diverses Étoiles, déterminée par M. Laugier à l'aide des procédés si délicats dont M. Arago a enrichi l'Astronomie, ceux enfin qu'a donnés M. Seidel, en 1862, permettent, malgré les divergences nécessairement inhérentes à de pareils sujets, de faire un nouveau pas, et d'affirmer que les évaluations elles-mêmes de William Herschell se trouvent encore, grandement, au-dessus des valeurs véritables.

D'après les mesures de sir John Herschell, en effet, la lumière du Soleil serait 22 milliards de fois plus considérable que celle de l'Étoile α (alpha) du Centaure ; mais si l'on transportait le Soleil à la distance à laquelle se trouve cette Étoile, 226 mille fois plus loin de nous qu'il ne l'est actuellement, son éclat deviendrait le carré de 226 mille ou 51 milliards de fois moins considérable. Il serait donc alors inférieur à l'éclat de α (alpha) Centaure, dans le rapport de 51 à 22. Les surfaces lumineuses des deux Astres auraient aussi, par conséquent, ce même rapport, pourvu toutefois qu'on les suppose, comme il paraît assez naturel de le faire, douées en chacun de leurs points d'un pouvoir éclairant identique. D'après les principes les plus élémentaires de la Géométrie, les diamètres seraient exprimés, à leur tour, par les nombres 5 et 7 égaux sensiblement aux racines carrées des nombres 22 et 51 qui représentent les deux surfaces; en d'autres termes, le diamètre du Soleil nous apparaissant sous un angle de 2000 secondes environ, celui de α (alpha) du Centaure, vu de la même distance, vaudrait 2,800 secondes, c'est-à-dire le premier (2000″), augmenté dans la proportion de 5 à 7. D'où il est facile de conclure que, vu de la distance 226 mille fois plus grande à laquelle se trouve réellement l'Étoile, il paraîtra 226 mille fois plus petit, et ne soutendra qu'un angle de 2800 secondes, divisé par 226 mille, ou de *un quatre-vingt-unième* $\left(\frac{1}{81}\right)$ de seconde environ. Résultat de beaucoup inférieur à celui auquel s'étaient arrêtés les efforts de W. Herschell, et bien mieux en rapport avec la rapidité des occultations produites par la Lune, puisqu'il ne correspondrait, en temps, qu'à la durée de un quarantième de seconde (1).

Sir John Herschell croit Sirius quatre fois plus éclatant que α (alpha) du Centaure, et, par suite, 5 milliards 500 millions de fois moins lumineux que le Soleil. La distance à la Terre étant 1373 mille fois plus considérable que celle de ce dernier Astre, des considérations et des calculs tout à fait iden-

(1) Ce résultat n'a rien d'incompatible avec celui qui donne pour α Centaure une masse légèrement inférieure à celle du Soleil. Il n'indique même pas de dissemblance dans la constitution physique des deux Astres. Nous verrons, en effet, avant peu, que le Soleil brille par la surface extérieure de sa très-haute atmosphère. Augmentez les dimensions de celle-ci, et vous arriverez à former avec une masse relativement assez faible, une Étoile de volume considérable. Le contraire aura lieu si vous diminuez la hauteur de l'atmosphère. Avec des constitutions physiques et des masses à peu près identiques, deux Étoiles pourront donc avoir des volumes très-différents.

tiques aux précédents, donneraient les nombres 55 et 18851 pour le rapport entre l'éclat ou l'étendue des surfaces lumineuses ; par conséquent les racines carrées (7, 4) et (137, 3) de ces nombres ou, plus simplement, *un* et *dix-huit et demi*, pour le rapport entre les diamètres. A la distance qui nous sépare du Soleil, Sirius nous apparaîtrait donc sous un angle de 37 mille secondes (18 fois et demie 2000 secondes) ; ce qui réduit à 37 mille secondes divisées par 1373 mille, ou à *un trente-septième* de seconde en arc, le diamètre angulaire sous lequel nous le voyons en réalité.

Avec un éclat égal, d'après les expériences de M. Laugier, aux six dixièmes de l'éclat de Sirius et une distance 785 mille fois plus grande que celle du Soleil, l'Étoile α (alpha) de la Lyre aurait une surface égale à 67 et un diamètre égal à 8, la surface et le diamètre du Soleil étant successivement représentés par *un*. D'où l'on déduirait sans difficulté *qu'un quarante-neuvième* de seconde est l'angle sous lequel nous apercevons cette Étoile.

Enfin, la 61e du Cygne, deux cents fois environ moins brillante que α (alpha) de la Lyre, et 589 mille fois plus loin de nous que le Soleil, n'aurait pour la somme des deux Étoiles qui la composent, qu'une surface égale au *cinquième* de la surface solaire. Son diamètre serait inférieur à la moitié du diamètre du Soleil; et l'angle sous lequel nous verrions ce diamètre, dépasserait à peine un six centième $\left(\frac{1}{600}\right)$ de seconde.

Les diamètres apparents des Étoiles sont donc, ainsi que je l'avais dit, inférieurs de beaucoup à ceux pourtant déjà bien réduits, qu'obtint W. Herschell. Il est d'ailleurs évident que si l'on attribuait, avec Wollaston, une lumière plus vive, en chacun de leurs points, à certaines Étoiles qu'au Soleil, les nombres précédents devraient être diminués encore pour ces Étoiles, dont les surfaces perdraient alors en étendue ce qu'elles gagneraient en éclat. La détermination directe de nouvelles parallaxes permettra, sans le moindre doute, de généraliser un jour les résultats avec certitude. En attendant, les chiffres cités font, dès à présent, ressortir cette autre conséquence, que notre Soleil peut être considéré comme une Étoile de grandeur moyenne, puisqu'il se trouve inférieur en surface, ou du moins en éclat absolu, à certaines Étoiles, et supérieur à d'autres.

95. **Étoiles nébuleuses. — Leurs dimensions.** — Nous avons déjà trouvé bien des motifs d'assimilation entre les points étincelants qui fourmillent au ciel, et l'Astre brillant dont la vaste surface jette sur la terre tant de lumière et de chaleur. Cependant nous n'avons pas tout dit. Les Astronomes ont, depuis deux siècles, constaté l'existence d'une immense nébulosité, assez aplatie mais fort large (40 millions de lieues environ) qui enveloppe le Soleil, formée, selon toute probabilité, par d'innombrables corpuscules circulant autour de cet Astre et lui donnant, vus de très-loin, en réfléchissant sa lumière, l'apparence d'une Étoile que de hautes couches atmosphériques entouraient. Eh bien ! cette apparence, on la retrouve dans diverses Étoiles observées d'abord par Mairan (1) qui avait, dès 1731, considéré la nébulosité comme une atmosphère, puis par Lacaille ou par d'autres Astronomes, etc., et plus tard, étudiées sous le nom d'*Étoiles nébuleuses* par W. Herschell. On ne connaît pas, jusqu'à présent, de tels Astres qui soient supérieurs à la 6e grandeur, peut-être parce que l'éclat trop vif des belles Étoiles efface la lumière de la nébulosité. Mais, autour de plusieurs petites Étoiles, Herschell a mesuré des nébulosités soutendant jusqu'à des angles de 300 secondes, ayant par conséquent, dans l'hypothèse d'une parallaxe de 2 secondes, des dimensions transversales égales à 150 fois 38 millions de lieues ou à 5 milliards 700 millions de lieues, et des dimensions de plus de *onze milliards* de lieues si l'on réduit leurs parallaxes à la valeur bien plus probable, quoique encore sans doute très-exagérée, d'une seconde.

(1) Né à Béziers; Membre de l'Académie française, et jugé digne de succéder à Fontenelle, comme Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.

Quelques Astronomes ont hésité à accepter de pareilles dimensions pour les nébulosités stellaires, préférant supposer que ces nébulosités, au lieu de faire corps avec les Étoiles, étaient des amas de matière errant dans l'espace, et venant s'interposer momentanément entre les Étoiles et nous. Il est de fait qu'Herschell ne vit plus, en 1811, les nébulosités constatées par lui, en 1774, autour de deux petites Étoiles de la constellation d'Orion ; qu'on ne retrouve pas, aujourd'hui, les nébulosités qui, d'après Lacaille, environnaient 5 petites Étoiles de la constellation d'Argo ; que tout récemment encore, M. Chacornac a vu se montrer et disparaître la nébulosité d'une Étoile de 11ᵉ grandeur, située près de ζ (zéta) du Taureau, etc. Ne pourrait-on pas néanmoins admettre également, que les nébulosités disparues se sont condensées autour des Étoiles centrales ? Cette supposition est d'autant plus acceptable que, généralement, les nébulosités s'affaiblissent graduellement et d'une manière régulière à partir des Étoiles qu'elles environnent, et qu'il paraît peu probable que de tels résultats proviennent d'un effet de projection.

Convenablement étudiés, au reste, les mouvements propres ne tarderont pas, sans doute, à lever toute incertitude, soit en constatant la séparation de certaines Étoiles et de leurs nébulosités, auquel cas les apparences d'abord observées auraient été tout simplement un résultat d'alignement, soit en montrant que les nébulosités et les Étoiles de certains systèmes possèdent le même mouvement, ce qui mettrait hors de doute une connexion intime entre les deux corps. Il est, dès à présent, très-probable que les cas de connexité seront fréquents. Je dois ajouter, néanmoins, que l'étude des Comètes nous révélera plus tard l'existence d'immenses nébulosités non lumineuses par elles-mêmes, et dont le passage devant certaines Étoiles pourrait bien être aussi la cause de quelques-unes des apparences observées.

96. **Nébuleuses planétaires. — Théorie de M. Arago. —** L'étude des Étoiles nébuleuses nous conduit naturellement à celle d'une autre classe d'objets célestes, que W. Herschell appela *Nébuleuses planétaires*, et que M. Arago semble

porté à supposer entièrement identiques avec les premières, dont ils ne différaient pour nous que par de plus grandes distances à la Terre. Ce sont des amas de matière lumineuse, de formes arrondies ou légèrement elliptiques, soutendant des angles de 10, de 30, etc., même de 160 secondes, et présentant un éclat uniforme sur toute leur surface, excepté, quelquefois, vers les bords où l'éclat décroît un peu. Telle serait, par exemple, dans ce dernier cas, la Nébuleuse planétaire que Méchain découvrit tout près de β (bêta) grande Ourse, et à laquelle Sir John Herschell attribue un diamètre de 2 minutes 40 secondes (2',40").

En admettant que de pareilles masses servent d'enveloppes à des Étoiles, M. Arago rend compte de la disparition du centre étincelant, par cette considération très-simple, que l'éclat d'un point lumineux diminuant dans le rapport du carré de la distance, l'Étoile réduite à n'être qu'un point unique, paraîtra d'autant plus faible qu'elle sera plus éloignée; tandis qu'au contraire, bien que la lumière de chacun des points de la nébulosité s'affaiblisse également, comme celle de l'Étoile, par l'augmentation de distance, la surface de cette nébulosité devra cependant paraître toujours aussi éclatante. Les divers points qui la constituent sembleront, en effet, se rapprocher l'un de l'autre à mesure qu'ils s'éloigneront de nous. La lumière de la nébulosité se condensera donc, en quelque sorte, par le rapetissement apparent de la surface lumineuse pendant que les divers points perdront de leur intensité primitive; et l'on peut aisément se convaincre, à l'aide des principes de géométrie les plus élémentaires, que la condensation des points lumineux croît précisément comme le carré de la distance, de manière à compenser exactement l'affaiblissement éprouvé par chacun d'eux.

Théorie d'Herschell. — Herschell n'avait pas ainsi considéré les Nébuleuses planétaires. Ces masses, non moins remarquables par l'étendue et par la régularité de leurs contours que par l'uniformité de leur éclat, étaient pour lui de la matière lumineuse, dont les divers points tendraient à s'agglomérer graduellement et à produire des Étoiles. Elles différeraient donc essentiellement des Étoiles nébuleuses proprement dites, surtout dans l'hypothèse où les nébulosités de ces Étoiles recevraient leur lumière du point central. Quoi qu'il en puisse être, d'ailleurs, de théories sur l'exactitude desquelles une longue suite d'observations permettra seule de prononcer, nous devons, dès à présent, regarder comme un fait avéré, que certains corps du Firmament possédant une constitution et des formes parfaitement régulières, ont des dimensions dont ni la Terre, ni le Soleil lui-même, malgré son volume *quatorze cent mille fois* plus considérable que celui de notre globe ne sauraient nous donner l'idée.

97. **Nébuleuses non résolubles.** — Mais les phénomènes sont bien autrement grandioses encore, lorsqu'au lieu des Étoiles nébuleuses ou des Nébuleuses planétaires, on considère les immenses assemblages de matière lumineuse diffuse, dont Herschel a publié un Catalogue en 1811, et qui forment, dans le Ciel, des espèces de taches blanchâtres, affectant les formes bizarres qu'offrent des nuages tourmentés par les vents. Quelques-unes de ces taches, de ces *Nébuleuses non résolubles* (c'est ainsi qu'on les nomme), ont des dimensions angulaires dépassant 4 degrés, des dimensions de 15 mille secondes. Dans l'hypothèse où leur parallaxe atteindrait *une* seconde, ce qui les placerait aussi près de nous que les Étoiles les plus voisines, elles auraient par conséquent des dimensions réelles d'environ *six cents milliards* de lieues. Et remarquez-le bien, ces dimensions *dix-sept cent mille* fois plus grandes que celles du Soleil, auquel elles assigneraient un volume *cinq milliards de milliards* de fois moins considérable que le volume des nébuleuses, ces dimensions, selon toute apparence, sont plutôt exagérées en petitesse qu'en grandeur; car on ne connaît pas de parallaxes d'une seconde, pour les régions stellaires où les Nébuleuses se trouvent placées.

Le Catalogue d'Herschell contient une liste de 52 de ces corps. On possède aujourd'hui d'excellents dessins, pour plusieurs d'entre eux; et l'on y remarque çà et là, tantôt des espèces de noyaux plus brillants que le reste de la Nébuleuse, mais souvent entourés eux-mêmes d'une sorte d'auréole relativement obscure, ou accompagnés de déchirures formées dans la surface lumineuse, comme s'ils avaient été produits aux dépens de la matière environnante; tantôt quelques Étoiles provenant peut-être, elles-mêmes, d'un état de condensation plus avancé que celui qui constitue les noyaux. Certaines Nébuleuses *non résolubles* affectent cependant une forme circulaire ou elliptique régulière, et renferment alors, souvent, à l'intérieur de leur contour, une ou deux Étoiles doubles. Elles sont, dans ce cas, généralement beaucoup plus petites que les Nébuleuses irrégulières; car au lieu de soutendre des angles de plusieurs degrés, elles ne soutendent plus, d'ordinaire, que des angles de quelques minutes. Seulement, indice presque certain d'une origine commune, de minces filets de matière lumineuse les lient parfois l'une à l'autre; révélant ainsi dans les grandes masses du Firmament, l'action incessante de cette immense puissance qui continue sans doute à faire jaillir les Étoiles du chaos, comme, sur notre Terre, elle fait sortir chaque jour la lumière et la vie, de la combinaison des éléments en apparence les plus inertes (1).

98. **Nébuleuses résolubles.** — W. Herschell remarqua, dans le Ciel, des places entièrement vides d'Étoiles; et, chose singulière, c'est au voisinage de ces places, de ces espaces *ravagés,* comme il les nomma, de ces *trous à charbon,* comme les appellent quelques Astronomes, que se trouvent d'ordinaire les Étoiles les plus nombreuses, mais réunies en

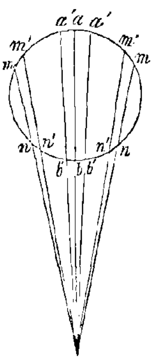
(1) M. d'Arrest a signalé récemment une particularité des plus curieuses, que d'autres Astronomes ont immédiatement vérifiée, en particulier M. Le Verrier et M. Chacornac, sur les manuscrits de ce dernier. Il s'agit de la disparition d'une Nébuleuse découverte, en 1852, par M. Hind, consignée par M. Chacornac dans ses *Observations* de 1854, et tout à fait invisible en 1862. Y aurait-il des Nébuleuses variables comme certaines Étoiles? ou bien, de la matière obscure, se promenant dans l'espace, nous cacherait-elle momentanément la Nébuleuse de M. Hind? Questions intéressantes, mais qu'il n'est pas possible aujourd'hui de résoudre et qui demanderont peut-être, encore, de longues investigations.

amas ou en groupes, et formant de la sorte une classe nouvelle de Nébuleuses, la classe des *Nébuleuses résolubles*. J'ai déjà dit (nº 67), en étudiant la distance des Étoiles, que le contingent ajouté par W. Herschell et par quelques autres Astronomes, Lord Ross, Sir John Herschell, MM. Auwers, d'Arrest, Bond, etc., aux 95 ou 100 Nébuleuses connues antérieurement, s'élevait à 5000 environ (1). Notons aujourd'hui, pour compléter, en peu de mots, l'histoire des particularités les plus saillantes de ces assemblages, que, généralement, les Nébuleuses résolubles présentent une forme arrondie, mais que parfois aussi, l'on trouve chez elles des apparences assez bizarres; qu'elles ressemblent tantôt à de minces filets de lumière plus ou moins allongés, plus ou moins aplatis, tantôt à des spirales, à des aigrettes, à des anneaux, comme la couronne d'Étoiles, entre autres, que découvrit, à Toulouse, dans la Lyre, en 1779, notre compatriote Darquier, et qu'étudia plus tard Herschell, auquel on doit la connaissance du trou noir qui occupe environ la moitié du diamètre, vers le centre de la Nébuleuse. Notons également que quelques-uns de ces groupes, ceux nommés spécialement *Amas*, les *Pléiades*, les *Hyades*, la *Crèche du Cancer*, etc., se résolvent aisément en Étoiles, soit à la vue simple, soit à l'aide de bésicles ou de lunettes peu grossissantes; tandis que d'autres, au contraire, demandent le concours d'instruments optiques plus puissants, et que la plupart cèdent uniquement à des pouvoirs amplifiants extrêmement énergiques. Notons encore que, dans les Nébuleuses globulaires, la variation d'éclat, rapide vers le centre, où cependant les épaisseurs ab, $a'b'$, vues du point O (*fig.* 59), sont peu différentes, lente au contraire vers les bords où les épaisseurs mn, $m'n'$, etc., croissent pourtant assez vite, semblerait indiquer une condensation d'Étoiles, plus considérable autour du premier point qu'au voisinage des seconds, et par suite une tendance de ces corps à s'amalgamer. Notons

(1) Le Catalogue publié, en 1863, par Sir John Herschell, contient 5079 Nébuleuses.

enfin que, malgré l'impossibilité d'un dénombrement dans des groupes ayant l'apparence de taches laiteuses à peine étendues, l'on est parvenu à constater néanmoins, chez quelques-uns d'entre eux, jusqu'au nombre prodigieux de *vingt mille Étoiles*.

Fig. 59.



Il n'existe pas d'ailleurs une tendance tellement absolue à la condensation, qu'on ne puisse trouver dans le Ciel quelques exceptions à la généralité du phénomène. La Constellation du Cygne, par exemple, renferme un amas de 330 mille Étoiles environ, qui paraît en voie de se briser, pour former deux assemblages distincts entraînés dans des directions inverses. Mais de pareilles exceptions semblent devoir être assez rares; car la marche des Étoiles les unes vers les autres, résulte, comme conséquence immédiate, des attractions mutuelles dont l'existence est mise hors de doute par l'analogie avec le Soleil, et par les mouvements des Étoiles doubles. Circonstance de nature à justifier pleinement, saisissons l'occasion de le remarquer, une des plus brillantes conceptions de W. Herschell; je veux dire : la condensation graduelle des Étoiles dans l'intérieur de chaque Nébuleuse, la formation des diverses Nébuleuses par l'agglomération des Étoiles qui peuplaient les espaces aujourd'hui *ravagés*, enfin l'accumulation des Nébuleuses elles-mêmes dans certains points du Ciel où l'illustre Astronome avait constaté, non loin de lieux dépourvus d'Étoiles, des espèces de stratifications de Nébuleuses, une couche entre autres de ces corps, très-large, allant de Cassiopée à la Vierge, et presque perpendiculaire à la Voie lactée.

99. **Voie lactée.** — La Voie lactée! immense agglomération dans l'intérieur de laquelle nous sommes plongés, et qui renferme encore bien des mystères. Car on y trouve également : et de la matière lumineuse non résoluble, du moins

avec nos instruments toujours trop faibles, malgré les perfectionnements qu'ils reçoivent journellement depuis le milieu du siècle dernier; et des amas d'Étoiles, dus peut-être à la dislocation, au brisement de la Nébuleuse; et des Étoiles simples, de toutes grandeurs. W. Herschell en fit minutieusement l'étude. Il la jaugea, dans les divers sens, à l'aide de son puissant télescope; et tandis qu'il trouvait, quelquefois, près de 600 Étoiles dans le champ de l'instrument, il ne voyait plus, d'autres fois, au contraire, dans le même champ, qu'un seul de ces Astres. Certaines parties de la Nébuleuse, traversant l'appareil immobile, y faisaient passer, en un quart d'heure, jusqu'à 116 mille Étoiles; et bientôt, à ces étincelantes richesses succédaient les espaces ravagés. En résumé, des lambeaux de matière lumineuse diffuse et de nombreux millions d'Étoiles, soit isolées, soit réunies par groupes, formant dans leur ensemble, nous avons eu déjà l'occasion de le remarquer, une zone, peut-être même un anneau dépeuplé vers son centre, comme la Nébuleuse de la Lyre, une sorte de roue enfin dont le diamètre serait environ six fois plus considérable que l'épaisseur et dont notre Soleil ferait partie; voilà, suivant l'état actuel de nos connaissances, à peu près ce qui constitue la Voie lactée.

100. **Nuées de Magellan.** — Et ces deux autres Nébulosités, que les navigateurs Portugais appelèrent d'abord *Nuages du Cap*, puis *Nuées de Magellan;* dont l'éclat, l'étendue, l'isolement dans le Ciel, la rotation diurne autour du point qu'on nomme le pôle *sud* de la voûte étoilée, éveillent si vivement la curiosité du voyageur qui parcourt les régions australes du globe, mais que les études de Sir John Herschell ont rendues bien autrement remarquables encore, pour les Astronomes européens privés de pouvoir contempler eux-mêmes de telles merveilles! Ces nébulosités où le digne fils du grand observateur auquel nous devons à peu près tout ce qu'il nous est donné de savoir jusqu'à présent sur la Voie lactée, a reconnu, comme dans la vaste Nébuleuse si bien étudiée par son père, les diverses variétés de créations qui peuvent se rencontrer au Ciel : de la matière nébuleuse plus

ou moins condensée, des Nébuleuses globulaires, des Étoiles isolées, des amas stellaires; combien d'intéressants problèmes ne réservent-elles pas encore aux siècles à venir! Grâce à Sir John Herschell, nous pouvons dire néanmoins dès à présent, que le plus grand des deux nuages Magellaniques, sur une étendue superficielle de 42 degrés carrés environ, laisse apercevoir 565 Étoiles, 47 amas stellaires, 2 Nébuleuses globulaires résolubles et 305 Nébuleuses non résolubles au télescope; et que, dans le plus petit, dont la surface ne dépasse guères 10 degrés carrés, on peut compter 198 Étoiles, 39 Nébuleuses, enfin 7 amas stellaires.

101. — Remarquons, en finissant l'étude des Nébuleuses, que le mouvement propre du Soleil déterminé, comme nous l'avons vu, par rapport aux Étoiles qui font partie de la Voie lactée, n'est évidemment qu'un mouvement relatif, auquel il faudrait ajouter celui de la Voie lactée tout entière pour avoir le mouvement absolu. Mais serait-il possible aujourd'hui de connaître le déplacement de la Voie lactée? A cet égard les observations de Nébuleuses se trouvent, jusqu'à présent, impuissantes. On doit espérer néanmoins qu'il n'en sera pas toujours ainsi. Car M. Laugier poursuit, depuis quelques années, un travail considérable sur les mouvements propres de ces vastes amas qui, pris pour points de repère, permettront, sans doute, un jour, de faire pour les Nébuleuses, ce qu'on a déjà fait pour les Étoiles; de déterminer par conséquent le mouvement de la Voie lactée, à l'aide des mouvements propres de Nébuleuses, comme, à l'aide des mouvements propres d'Étoiles on a déterminé le mouvement propre du Soleil.

102. — Seul, parmi les êtres créés, l'homme sait qu'il doit mourir, et se plaît cependant à recueillir les traditions du passé, à préparer des traditions pour ceux qui devront le suivre. Tandis qu'autour de lui, tout vit au jour le jour en quelque sorte, sans autre préoccupation que celle des joies et des peines du moment, seul il éprouve, au milieu des plus douces jouissances, comme une vague tristesse; comme un pressentiment douloureux qui lui en présagent la fin et lui

font désirer, avant qu'elles soient épuisées, de les voir renaître. Seul, il s'inquiète des souvenirs qui s'attacheront à sa mémoire, et du sort des êtres aimés qui lui survivront. Ces sentiments, ces impressions et les aspirations incessantes qui les accompagnent, ne rendraient-ils pas l'œuvre de la création incomplète, malgré la perfection dont elle jouit, dans *tous* les détails *physiques*, si nos instincs d'avenir, si notre ardeur de connaître, si nos efforts pour le bonheur des affections que nous laisserons ici-bas, devaient aboutir fatalement à l'anéantissement absolu de la tombe? Dieu qui prodigue à l'homme, avec tant de largesse, une partie de ses attributs, n'aura pas voulu sans doute se dérober à jamais aux seules créatures par lesquelles il se soit laissé entrevoir; et de cela même qu'il nous est donné de pouvoir admirer, sans les comprendre entièrement aujourd'hui, quelques-unes des merveilles qui nous environnent, n'est-il pas permis de conclure avec une illustre victime (1) des discordes civiles, *qu'après nos adieux à la Terre, nous aurons les Soleils sous nos pieds?*

(1) « Demain j'aurai les Soleils sous les pieds. » — Paroles du président Saron, membre de l'ancienne Académie des Sciences de Paris, mort sur l'échafaud révolutionnaire.

HUITIÈME LEÇON.

Constellations ou Astérismes. — Constellations anciennes au nombre de 48 ou 50 pour les 1022 Étoiles étudiées par Hipparque. — Etoiles dites informes. — Mouvement diurne de la voûte étoilée; emploi du théodolite. — Plan méridien déterminé par les points les plus hauts et par les points les plus bas des courbes diurnes que décrivent les Étoiles. — Points cardinaux. — Azimuts. — Horizon. — Zénith et Nadir. — Horizons sensible et rationnel. — Antipodes. — Le mouvement diurne du Ciel est circulaire et uniforme. — Instrument équatorial. — Axe du monde. — Pôles du monde. — Jour sidéral. — Cercles horaires ou de déclinaison. — Parallèles. — Equateur. — Hémisphères. — Ascensions droites. — Déclinaisons. — Coordonnées. — Cercles muraux et méridiens. — Lunette méridienne. — Etoiles cataloguées. — Etoiles non cataloguées; leur nombre probable. — Cartes et Atlas célestes. — Créations mythologiques empruntées aux mouvements célestes. — Scintillation des Étoiles; explication donnée par M. Arago. — Conséquences. — Note sur les instruments méridiens, sur le Réticule, le Nonius, le Vernier, etc.

103. — Les premiers observateurs qui voulurent classer et reconnaître les Étoiles, durent être conduits immédiatement à diviser la surface de la voûte céleste en un certain nombre de parties, et à étudier séparément les divers groupes qui se trouvaient dans chacune d'elles. Cette idée est, d'ailleurs, si naturelle, qu'elle s'était également présentée aux peuples de l'Amérique, où les Européens la trouvèrent réalisée chez les habitants du Pérou, du Canada, etc., qui invoquaient même, contre les animaux dangereux, plusieurs de leurs *Astérismes* ou *Constellations*. L'on désigne également par les deux noms, d'après les mots *Astrum*, *Astre* et *Stella*, *Étoile*, les divisions formées dans le Ciel.

Constellations ou Astérismes. — On fait, généralement, remonter à 1400 ans environ avant l'ère vulgaire, l'origine des Constellations, de celles, du moins, que les Astronomes adoptent encore aujourd'hui. Car les Chinois paraissent avoir eu les leurs, plusieurs siècles auparavant. Les noms de ces Constellations furent empruntés par les Chaldéens, par les Prêtres d'Egypte ou par les Grecs, tantôt à des ressemblances vagues avec une couronne, un chariot, une croix, etc., tantôt au désir de perpétuer les mémoires des personnages célèbres ou de placer dans le Ciel divers êtres de la création, tantôt enfin aux rapports, aux influences qu'on croyait reconnaître. Ils nous ont été transmis, au nombre de 48, par Hipparque, auteur lui-même de quelques Constellations, ou plutôt par Ptolémée qui a conservé, dans son *Almageste*, le catalogue des 1022 Étoiles dont Hipparque avait fixé la position. Les voici, classés en trois catégories, et accompagnés de quelques-uns des noms donnés aux Étoiles, soit par les Egyptiens, soit par les Grecs, soit, beaucoup plus tard, et longtemps après Hipparque, par les Arabes.

Constellations anciennes, d'abord au nombre de 48, puis de 50, pour 1022 Étoiles étudiées par Hipparque. — PREMIÈRE CATÉGORIE. — 21 Constellations *boréales*, dans l'hémisphère *Nord* de la sphère céleste, au-dessus d'un plan que nous étudierons sous le nom d'*Écliptique*.

1° La *grande Ourse* ou le *grand Chariot*, ainsi nommée, soit parce que, comme l'ours, cette Constellation ne s'éloigne jamais beaucoup du Nord, soit à cause de sa ressemblance avec un chariot. Les Romains appelaient *teriones* les bœufs employés au labourage ; et ils désignèrent par le mot *Septemteriones*, les sept Étoiles principales du grand Chariot. De là, le nom de *Septentrion* donné au *Nord*.

2° La *petite Ourse* ou le *petit Chariot*. — Mêmes motifs que pour la grande Ourse. — Contient l'Étoile appelée *Polaire*, à laquelle les navigateurs de la Méditerranée donnent aussi le nom de *Tramontane* (*Trans Montes, au delà des Monts*), parce qu'ils la voient derrière les Alpes ou les Pyrénées. Cette

Étoile (α de la Constellation) leur indique la direction du Nord. Avant l'emploi de la boussole, du chronomètre, etc., *perdre la Tramontane*, c'était perdre le moyen de se diriger. De là, l'usage de la même locution appliquée à un homme sans jugement.

3° Le *Dragon*. — A cause de sa forme sans doute.

4° *Céphée*. — Roi d'Ethiopie, 1350 ans avant notre ère.

5° *Cassiopée*.—Femme de Céphée.

6° *Andromède*.— Fille de Céphée et de Cassiopée.

7° *Persée*. — Mari d'Andromède.

On croit que ces *quatre* Constellations ont été créées par le Centaure Chiron, 1350 ans avant notre ère.

8° *Pégase* ou *Cheval ailé*. — Symbole, d'après Lucien, du génie de Bellérophon qui dompta la *Chimère*, c'est-à-dire, parvint à fertiliser une montagne volcanique de Lycie, dont le sommet était habité par des lions, les flancs par des chèvres, la base par des serpents, et dont les poëtes ont fait un monstre vomissant des flammes, ayant la tête d'un lion, le corps d'une chèvre, enfin, la queue d'un dragon.

9° Le *petit Cheval*.

10° Le *Triangle boréal*. — A cause de la forme donnée par les trois Étoiles principales de cette constellation.

11° Le *Cocher*. — Contient une belle Étoile nommée la *Chèvre* (α de la Constellation).

12° Le *Bouvier*.— Cette Constellation possède l'Étoile *Arcturus* (α de la Constellation), de première grandeur.

13° La *Couronne boréale*. — Dont l'Étoile principale se nomme la *Perle* (α de la Constellation).

14° *Ophiucus* ou le *Serpentaire*. — En souvenir d'Esculape, le père de la Médecine. — Le Serpent est le symbole de la sagesse ou de la pénétration d'Ophiucus, que les anciennes Cartes astronomiques représentent soutenant, avec ses mains, le corps du reptile.

15° Le *Serpent*.

16° *Hercule*. — Personnage des temps héroïques.

17° L'*Aigle*. — Contient la belle Étoile *Altaïr* (α de la Constellation).

18° La *Flèche*.

19° La *Lyre*. — Renferme la belle Étoile *Wéga* (α de la Constellation).

20° Le *Cygne*.

21° Le *Dauphin*.

Deuxième Catégorie. — 15 Constellations *australes* ou *méridionales* dans l'hémisphère *Sud*, au-dessous de l'Écliptique.

1° *Orion*. — Personnage mythologique, renferme les trois belles Étoiles appelées les *trois Rois* ou les *trois Bourdons* (ζ, ε, δ de la Constellation), ainsi que celles nommées *Béteigneuse* (α), Rigel (β) et Bellatrix (γ).

2° La *Baleine*.

3° L'*Éridan*. — Où se noya Phaëton fils du Soleil. — Placé, dit-on, par les Egyptiens, parmi les Constellations, en l'honneur du *Nil*.

4° Le *Lièvre*.

5° Le *grand Chien*. — Contient la plus belle Étoile du Ciel, *Sirius* (α de la Constellation), dont le nom paraît venir d'*Osiris*, divinité Egyptienne, ou du Nil qu'on appelait aussi *Siris*, ou bien encore, d'après quelques-uns, du mot grec (*Seirian*) *briller*. — Se montrait le matin, un peu avant le Soleil, à l'époque du débordement. — Il est probable que le nom de *grand Chien* vient de là, parce que cette Constellation avertissait les Egyptiens, comme les chiens avertissent leur maître.

6° Le *petit Chien*. — Contient une belle Étoile appelée *Procyon* (α de la Constellation).

7° L'*Hydre* ou la *Couleuvre*.

8° La *Coupe*.

9° Le *Corbeau*.

10° Le *Centaure*. — Moitié homme, moitié cheval; en l'honneur des pâtres du mont *Ossa* qui enseignèrent à dompter les chevaux, ou peut-être en l'honneur, seulement, de l'un de ces pâtres, le centaure *Chiron*.

11° Le *Loup*.

12° L'*Autel*.

13° Le *Poisson austral*, dont la belle Étoile α, porte le nom de *Fomalhaut*.

14° Le *Navire Argo*, du nom de son constructeur. — Servit à l'expédition des Argonautes ou au passage de la Propontide, aujourd'hui mer de Marmara. — Renferme la belle Étoile *Canopus* (α de la Constellation), hommage à la Divinité Egyptienne *Canope*.

15° La *Couronne australe*.

Troisième Catégorie. — 12 Constellations contenues dans une bande du Ciel parallèle à l'Écliptique qui s'y trouve compris, à laquelle on a donné le nom de *Zodiaque* ou de *Zone d'animaux* (ζωος *animal*), et que le Soleil parcourt dans son mouvement annuel. — On a, de tout temps, affecté des signes particuliers que l'on suppose être, pour la plupart, des hiéroglyphes Egyptiens, aux douze Constellations du Zodiaque.

Constellations du printemps.

1° Le *Bélier*. — Constellation dans laquelle, il y a 3000 ans, lors de la formation du Zodiaque, se trouvait le Soleil au printemps, à l'époque de la naissance des agneaux, entre le 21 mars et le 21 avril; on la représente par le signe ♈ formant, dit-on, les cornes du bélier. Aujourd'hui, à la même époque, le Soleil occupe une autre Constellation par suite du phénomène que nous étudierons, avant peu, sous le non de *précession des Équinoxes*.

2° Le *Taureau*. — Constellation que parcourait le Soleil, dans son mouvement annuel, entre le 21 avril et le 21 mai — Contient la belle Étoile *Aldébaran* (α de la Constellation) qu'on nomme aussi l'*Œil du Taureau*, à cause de sa position, ainsi que les deux amas, appelés *Hyades* et *Pléïades ou Poussinière*. Son signe astronomique est une tête de Taureau ♉.

3° Les *Gémeaux ou Jumeaux*. — Placés dans le Ciel comme symbole de l'amitié, et caractérisés surtout par deux belles Étoiles α et β, nommées *Castor* et *Pollux*. Constellation autrefois traversée par le Soleil, du 21 mai au 21 juin. — Il paraît difficile d'expliquer le signe ♊ par lequel on la représente.

Constellations de l'été.

4° Le *Cancer* ou l'*Écrevisse*. — Caractérisant, dans les idées des anciens, le *recul* du Soleil qui, après être monté vers le *Nord*, commence à redescendre vers le *Sud* à partir du 21 juin. — On croyait que l'*Écrevisse* marche à reculons (1). — Signe astronomique ♋. — Sens de ce signe inconnu.

5° Le *Lion*. — Symbole de force, représentant, dit-on, les fortes chaleurs de l'été, entre le 21 juillet et le 21 août. — ♌ est le signe qui l'exprime. — Contient la belle Étoile Régulus (α de la Constellation).

6° La *Vierge* ou la *Vendangeuse*. — Constellation correspondant autrefois à l'époque des vendanges, du 21 août au 21 septembre. — Signe inexpliqué ♍. — Contient la belle Étoile α nommée *l'Épi*.

Constellations de l'automne.

7° La *Balance*. — Du 21 septembre au 21 octobre. — Nous verrons plus tard que le 21 septembre, les jours sont égaux aux nuits pour toute la Terre. Cette égalité est caractérisée par le symbole de l'équilibre. — Ptolémée appelle cependant la Balance *Serres du Scorpion ;* mais Virgile lui donne son nom de Balance et la présente comme une allusion à la justice d'Auguste. — Le nom existait-il auparavant ? — Quoi qu'il en soit, la Constellation existait, puisque Ptolémée la désigne. — On l'exprime par le fléau d'une balance ♎.

8° Le *Scorpion*. — Du 21 octobre au 21 novembre. — Insecte venimeux, et symbole de l'introduction du mal dans la nature, à l'époque de la chute des feuilles, des maladies de l'automne, etc. — Signe ♏, caractérisé par le dard. — Contient la belle Étoile *Antarès* (α de la Constellation).

9° Le *Sagittaire*. — Du 21 novembre au 21 décembre. — Époque des grandes chasses. — La flèche ♐ correspond évidemment au nom de la Constellation.

(1) L'*Écrevisse* a donné lieu parfois à de curieuses méprises. M. Arago m'a raconté qu'un jour *Cuvier*, son collègue au bureau de l'Institut, fut consulté par des amis, hommes de lettres fort éminents d'ailleurs,

Constellations de l'hiver.

10° Le *Capricorne* ou la *Chèvre*. — Animal grimpant. Indiquant le retour du Soleil qui cesse de descendre vers le Midi, et qui remonte vers le Nord, à partir du 21 décembre. — ♑ assemblage des deux lettres grecques τ et ρ qui commencent le mot (tragos) *bouc*.

11° Le *Verseau*. — Emblème, à partir du 21 janvier, des pluies qui, en Europe, ont lieu vers cette époque. — Eeprésenté par une rivière ≈ sortant du vase que tient le Verseau.

12° Les *Poissons*. — Symbole, d'après quelques auteurs, du temps humide de l'hiver et, d'après Dupuis, du débordement du Nil, — représenté par deux poissons adossés ♓.

Les vers suivants du poëte Ausone fournissent un procédé mnémotechnique pour retrouver, dans l'ordre qui leur appartient, les 12 Constellations du Zodiaque.

Sunt Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo,
Libraque, Scorpius, Arcitenens, Caper, Amphora, Pisces.

mais peu versés dans les études scientifiques, sur la nature de l'Écrevisse qu'ils définissaient : « *poisson rouge, marchant à reculons.* » — « Mon Dieu, répondit l'illustre naturaliste, à la rigueur cela passerait. Seulement, vous auriez pu dire que l'écrevisse *n'est pas un poisson,* — vous auriez pu dire aussi *qu'il n'est pas rouge,* — vous auriez pu même ajouter *qu'il ne marche pas à reculons.* — A cela près, la définition est irréprochable. »

Ceci me rappelle qu'un de nos plus brillants écrivains disait, en parlant des *homards :* « ces cardinaux de la mer. »

Je lisais, il y a quelque temps, dans les journaux judiciaires, le récit d'un procès pour délit de pêche d'écrevisses en temps prohibé. — Grand débat entre le Ministère public et l'Avocat, l'un soutenant que l'écrevisse est poisson, l'autre, qu'elle ne l'est pas. — Et le Tribunal ne sachant auquel entendre ; « attendu que, d'après le Dictionnaire de Napoléon Landais, l'écrevisse est un *poisson crustacé....* Condamne. »

Puisque l'occasion m'y conduit, on me permettra d'ajouter que d'autres juges acquittaient dernièrement, pour le même délit, en considérant l'écrevisse comme un *simple crustacé*. Ceux auxquels le fait aurait échappé, voudront bien me pardonner de m'être souvenu que l'écrevisse jouissait du droit de cité dans l'Astronomie, et d'avoir, à ce titre, remarqué la décision de la Cour souveraine, devant laquelle est venue l'affaire en dernier ressort. — Interprétant l'intention du législateur, la Cour a déclaré *poisson devant la loi, tout être* (animé ?) *vivant dans l'eau.*

Constellations anciennes, supplémentaires. — Aux 48 Constellations qui précèdent, les anciens en avaient cependant ajouté deux autres : 1° la *Chevelure de Bérénice*, comme souvenir de la Princesse, qui avait fait vœu d'offrir ses cheveux à Vénus, si son mari, Ptolémée Evergète, partant pour aller faire la guerre en Asie, revenait triomphant. — Les cheveux, d'une beauté remarquable, furent, en effet, déposés dans le temple de la Déesse. Mais ils disparurent pendant la nuit; et comme le Roi s'affligeait de cette disparition, le mathématicien *Conon* lui montra dans le ciel un groupe d'Étoiles dont on fit la Constellation nouvelle, que Ptolémée (l'auteur de l'Almageste) laissa néanmoins confondue avec celle du Lion, bien qu'il ait parlé quelquefois des Étoiles de la Chevelure.

2° *Antinoüs.* — Favori de l'empereur Adrien qui lui fit élever des autels comme à un Dieu, l'an 131 de notre ère. Ptolémée parle aussi d'Antinoüs, qu'il dit formé aux dépens de quelques Étoiles de l'Aigle, dont il ne fait pas une Constellation à part.

104. **Étoiles dites informes.— Constellations modernes.** — En résumé, les anciens nous ont donc légué 50 Constellations, représentées par autant de figures tracées sur la voûte céleste. Quant aux Étoiles qui se trouvaient hors de ces figures, on leur donna le nom d'*Étoiles informes.* Mais, à partir des premières années du XVII^e siècle, les Astronomes modernes ont successivement fait des Constellations nouvelles, afin de combler les vides existant entre les anciens Astérismes. Ainsi, dans ses cartes célestes de 1603, Bayer publia, d'après la description très-exacte faite par un habile pilote, *Pierre Théodori*, la liste de *douze* nouvelles Constellations australes dont voici les noms :

12 Constellations australes ajoutées par Bayer, en 1603, d'après les descriptions de Pierre Theodori.

1° L'*Indien.*
2° La *Grue.*
3° Le *Phénix.*
4° L'*Abeille* ou la *Mouche Indienne.*

5° Le *Triangle austral.*
6° L'*Oiseau de Paradis.*
7° Le *Paon.*
8° Le *Toucan* ou l'*Oie d'Amérique.*
9° L'*Hydre mâle* ou le *Serpent austral.*
10° La *Dorade* ou *Xiphias.*
11° Le *Poisson volant.*
12° Le *Caméléon.*

à quoi l'on pourrait ajouter le *grand* et le *petit Nuage,* vastes Nébuleuses que nous avons déjà étudiées mais qu'on ne regarde pas, cependant, en général, comme formant des Constellations proprement dites.

6 Constellations ajoutées également par Bartschius en 1624. — Le planisphère de *Bartschius*, publié en 1624, contient également les six Constellations suivantes, que les modernes ont formées, dit Bartschius, dans la partie du ciel visible en Europe.

1° La *Girafe* ou le *Caméléopard.*

2° Le *Fleuve du Tigre,* devenu plus tard le *Renard et l'Oie*, dans les cartes d'Hévélius.—Composé des Étoiles informes de Pégase, du petit Cheval, du Cygne, et d'Ophiucus.

3° Le *Fleuve Jourdain*, aujourd'hui les *Chiens de chasse* ou *Astérion* et *Chara*, d'après les cartes d'Hévélius. — Étoiles informes de la grande Ourse et du Lion.

4° La *Mouche*, appelée le *Lys* dans les cartes de Royer, faites, en 1679, à l'aide du Catalogue de 1806 Étoiles, dû au P. Anthelme, chartreux de Dijon. — Formée aux dépens du Bélier, du Taureau, de Persée, et du Triangle.

5° La *Colombe de Noé.* — Étoiles informes du Lièvre et du grand Chien.

6° La *Licorne* ou le *Monocéros.* — Entre le grand et le petit Chien.

2 Constellations nouvelles dues à Royer. — Les cartes de Royer contiennent aussi deux nouvelles Constellations :

1° Le *Sceptre* et la *Main de Justice*, remplacés, plus tard, dans l'Atlas d'Hévélius, par le *Lézard.* — Entre Céphée, le Cygne, Pégase, et Andromède.

2° La *Croix du Sud.* — Au-dessous du Centaure.

7 Constellations introduites par Hévélius. — Hévélius, à son tour, ajouta dans ses cartes, aux Constellations précédemment formées, les Constellations suivantes :

1° Le *petit Lion.* — Avec une partie des Étoiles du *Jourdain.*

2° Le *Lynx.* — Avec une partie des Étoiles du *Tigre.*

3° Le *Sextant d'Uranie.* — Entre l'Hydre et le Lion. — Le sextant est un instrument d'Astronomie nautique.

4° Le *Bouclier de Sobieski.* — En l'honneur du roi de Pologne.

— Entre l'Aigle et le Serpentaire.

5° Le *petit Triangle.* — Entre le grand Triangle et le Bélier.

6° *Cerbère.* — Entre Hercule, la Lyre, et l'Aigle.

7° Le *Mont Ménale.*

2 Constellations imaginées par Flamstéed et par Halley. — Flamstéed et Halley introduisirent, de leur côté, dans le Ciel, deux autres Constellations, en l'honneur du roi Charles II d'Angleterre :

1° Le *Cœur de Charles II.* — Formée avec des Étoiles de la grande Ourse et des Chiens de chasse d'Hévélius.

2° Le *Chêne de Charles II*, sous lequel se réfugia le roi, après sa défaite de Worcester, le 3 septembre 1651. — Formée avec des Étoiles du Navire, dans le Ciel austral.

14 Constellations, par Lacaille. — En 1752, Lacaille combla les vides existant, avant lui, dans les Constellations australes, par les *quatorze* Constellations suivantes, dont il n'emprunta les noms qu'aux objets d'art et de science :

1° L'*Atelier du Sculpteur.*

2° Le *Fourneau chimique.*

3° L'*Horloge à pendule et à secondes.*

4° Le *Réticule Rhomboïde.* — Petit appareil d'Astronomie.

5° Le *Burin du Graveur.*

6° Le *Chevalet du Peintre.*

7° La *Boussole* ou le *Compas de mer.*

8° La *Machine pneumatique.* — Instrument de physique.

9° L'*Octant.* — Instrument d'Astronomie nautique, comme le Sextant.

10° Le *Compas*,

11° L'*Équerre* et la *Règle*.

12° Le *Télescope*.

13° Le *Microscope*.

14° La *Montagne de la Table*. — Célèbre au cap de Bonne-Espérance où a été fait le grand travail de Lacaille, sur les Étoiles du Ciel austral, par un nuage blanc qui vient, en forme de nappe, dit Lacaille, couvrir cette montagne, aux approches des grands vents de *Sud-Est*.

2 Constellations par Le Monnier. — Le Monnier, en 1776, après son voyage au Cercle polaire, ajouta deux Constellations :

1° Le *Renne*. — Entre l'Étoile polaire et Cassiopée.

2° Le *Solitaire*, oiseau des Indes, — 22 Étoiles informes du Scorpion, de la Balance et de l'Hydre.

3 Constellations, par Poczobut, par Hell, et par Lalande. — Voici encore trois Constellations formées par Poczobut, Astronome du roi de Pologne, par le P. Hell et par Lalande :

1° Le *Taureau de Poniatowski* (Poczobut). — Avec les Étoiles comprises entre l'Aigle et le Serpentaire.

2° La *Harpe de Georges* (le P. Hell). — Avec les Étoiles informes de l'Eridan.

3° Le *Messier* (Lalande). — Entre le Renne et Cassiopée, — « gardien des moissons, » dit Lalande, « et souvenir, en » même temps, de l'Astronome français, Messier, infatigable » observateur qui semble, depuis plus de 30 ans, préposé » à la garde du Ciel, comme le Messier est préposé à la garde » des moissons ou des trésors de la Terre. »

8 Constellations, par Bode. — Enfin, Bode a ajouté les huit Constellations suivantes qui se trouvent dans l'Atlas de l'Astronome prussien.

1° Les *Honneurs de Frédéric*. — 76 Étoiles entre Cassiopée, Andromède, Pégase et le Cygne. — En souvenir de Frédéric II, roi de Prusse.

2° Le *Sceptre de Brandebourg*. — Entre l'Eridan et le Lièvre.

3° Le *Télescope d'Herschell.* — Entre le Lynx, les Gémeaux et le Cocher.

4° L'*Aérostat.* — Entre le Poisson austral et le Capricorne.

5° Le *Quart de Cercle mural.* — Instrument d'Astronomie. — Entre le Bouvier, le Dragon et la Couronne boréale.

6° Le *Loch.* — Petit appareil employé dans la marine, pour apprécier la vitesse des navires.

7° La *Machine électrique.* — Instrument de physique. — Dans le Ciel austral, au-dessous de la Baleine.

8° L'*Atelier de Typographie.* — Entre le grand Chien, la Licorne et le Navire.

Constellations douteuses. — Ces diverses additions, réunies aux 50 Constellations anciennes, portent à 106 le nombre des Astérismes aujourd'hui généralement adoptés, et à 108 si l'on regarde, d'après quelques Astronomes, le grand et le petit Nuage du Ciel austral comme des Constellations particulières. — A quoi je devrais ajouter peut-être encore : les *Pléiades*, les *Hyades*, la *Massue d'Hercule*, la *tête de Méduse* placée dans la main de Persée, le *Baudrier d'Orion*, l'*Épée d'Orion*; enfin, la *Crèche* ou *Præsepe* de la Constellation du Cancer; en tout *sept Astérismes*, dont certains Astronomes font aussi des Constellations spéciales; ce qui donnerait définitivement 115 Constellations.

Aujourd'hui, du reste, au lieu de figures compliquées qui surchargeaient les Cartes astronomiques, et laissaient, comme *Étoiles informes*, ceux de ces Astres restés en dehors des contours représentant la Lyre, l'Aigle, le Taureau, etc., on trace tout simplement (*fig.* 60,-61) les délimitations, à l'aide de lignes analogues à celles qui marquent les États, les Provinces, les Départements, etc., sur les cartes terrestres. Cette méthode ne laisse plus, par conséquent, d'Étoiles informes, puisque les Constellations, dont les noms sont d'ailleurs conservés, se trouvent séparées par des contours qui leur sont communs.

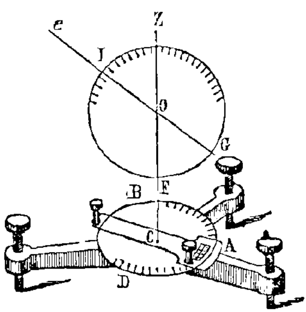
105. **Mouvement diurne de la voûte étoilée.** — Abstraction faite des *mouvements propres*, dont l'excessive petitesse n'est devenue sensible qu'aux observations les plus délicates, les Étoiles, nous l'avons déjà remarqué, semblent fixées

sur une voûte qui les emporte chaque jour, avec elle, d'Orient en Occident, et par un mouvement d'ensemble. Ce mouvement, auquel on a donné le nom de *mouvement diurne*, s'exécute autour d'un axe qu'on appelle *axe du monde*, et suivant des lois fort simples que nous allons maintenant étudier.

Pour cela, supposons, en un point quelconque de la Terre, à Paris, par exemple, un observateur pouvant disposer d'une lunette qui lui permette d'apercevoir les Étoiles aussi bien le jour que la nuit. Si cet observateur regarde vers la région du ciel, qu'on nomme le *Midi* ou le *Sud*, et que tout le monde connaît, il verra les Étoiles se lever à sa gauche, monter graduellement jusqu'à une certaine hauteur qui varie pour chacune d'elles, et disparaître ensuite à sa droite. Mais s'il regarde, au contraire, vers la région opposée, c'est-à-dire, vers le *Nord*, il apercevra des Étoiles qui resteront constamment au-dessus de son *horizon*, dont elles se rapprocheront et s'éloigneront périodiquement, chaque jour.

Emploi du théodolite pour en étudier les lois. — Donnons maintenant à l'observateur l'instrument appelé *théodolite*, appareil formé principalement, si nous le réduisons à ses éléments les plus essentiels, de deux cercles gradués, l'un ABD, horizontal (*fig.* 62), sur lequel peut glisser l'indicateur CA fixé au pied C de l'axe vertical OC; l'autre, FGZL, vertical, et portant la lunette GL mobile, à son tour, sur ce dernier cercle. A l'aide d'un pareil instrument, il sera facile de suivre les Étoiles dans toute leur course, et de noter les degrés marqués successivement par CA sur le cercle horizontal, ainsi que les indications correspondantes de la lunette ou de la *ligne de foi* GL sur le cercle vertical. Ce système si simple d'observations, permettra de reconnaître immédiatement que les courbes

Fig 62.

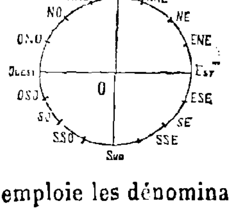


parcourues sont parfaitement symétriques des deux côtés *d'un plan vertical unique*, dans lequel se trouvent également tous les points culminants des Étoiles passant vers le *Sud*, et les points les plus hauts comme les points les plus bas des courbes décrites par les Étoiles situées vers le *Nord*. L'emploi de la pendule, combiné avec celui du théodolite, fera reconnaître aussi que le temps écoulé entre le lever et la *culmination* (*culmen*, *sommet*, point le plus haut) pour les Étoiles du Midi, ou entre le point le plus bas et le point le plus haut de la course pour les Étoiles du Nord, est toujours égal au temps écoulé soit entre la culmination et le coucher pour les premières, soit entre la culmination et le retour au point le plus bas pour les secondes; que les deux portions symétriques de chaque courbe sont parcourues, en un mot, dans des temps égaux.

Plan méridien, déterminé par les points les plus hauts et par les points les plus bas des courbes diurnes que décrivent les Étoiles. — Le plan caractérisé par des propriétés aussi remarquables; le plan qui renferme le point milieu de la courbe diurne de chaque Étoile, a dû recevoir un nom particulier. On l'appelle *plan méridien* (*meridies*, *milieu du jour*, *midi*). Sa direction détermine la ligne *Nord* et *Sud*, et fournit ainsi la véritable définition astronomique applicable à des notions que, dès l'enfance, chacun acquiert, pour ainsi dire, instinctivement.

Points cardinaux. — Puisque l'occasion s'en présente d'une manière si naturelle, ajoutons que la ligne menée sur l'horizon, perpendiculairement à la direction *Nord* et *Sud*, par le point O (*fig.* 63), qu'occupe l'observateur, détermine l'*Est* ou le *levant*, et l'*Ouest* ou le *couchant*. Rappelons aussi que les quatre points, *Nord*, *Sud*, *Est* et *Ouest*, portent collectivement le nom de *points cardinaux*, et que, pour indiquer les directions intermédiaires, on emploie les dénominations *Nord-Est*, *Sud-Est*, *Nord-Ouest*,

Fig. 63.



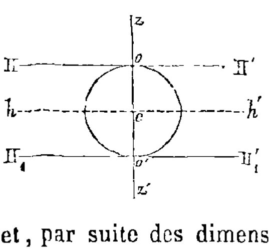
Sud-Ouest, entre lesquelles on place encore d'autres dénominations empruntées, comme les précédentes, à celles qui les comprennent, telles que *Nord-Nord-Ouest*, *Sud-Sud-Ouest*, *Ouest-Nord-Ouest*, etc. Mais, disons également, qu'en Astronomie, pour indiquer les diverses orientations, on emploie de préférence, sous le nom d'*Azimuts*, les angles mesurés par le cercle horizontal du théodolite, à partir de l'un des quatre points cardinaux.

Azimuts. — Horizon. — Ce mot *Azimut* étant peu usité dans le langage ordinaire, j'ai cru devoir le définir. Quant à ceux d'*Horizon*, de *Vertical*, de *Perpendiculaire*, dont nous avons déjà fait, et dont nous aurons souvent à faire encore usage, ils sont tellement connus, ils répondent à des idées si vulgaires, qu'une définition serait loin, selon toute apparence, de répondre à la clarté du sens que chacun leur attribue.

Zénith et Nadir. — Il n'en est peut-être pas tout à fait ainsi de deux autres expressions qui s'offriront, sans doute, plus d'une fois, à nous ; ce sont les mots *Zénith* et *Nadir*. Le premier caractérise le point de la voûte céleste où aboutit la verticale menée par l'observateur ; le second indique le point diamétralement opposé, celui où la verticale, prolongée au-dessous de l'horizon, rencontre la partie invisible du Firmament.

Horizon sensible et rationnel.— Antipodes. — A cause de la rondeur de la Terre, à chaque point o (*fig.* 64) correspond un point symétrique o' dont le zénith z' est précisément le nadir de l'observateur o. Ce dernier voit la portion HzH' du Ciel au-dessus de sa tête ; tandis que l'observateur o' voit, au contraire, la portion $H_1z'H_1'$. Les horizons sensibles HH', H_1H_1', des deux observateurs, sont parallèles; et, par suite des dimensions presque microscopiques de la Terre eu égard aux distances célestes, on peut les considérer

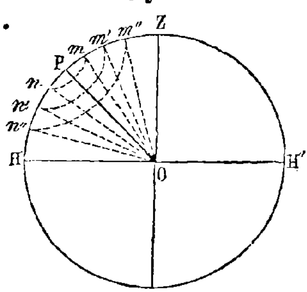
Fig. 64.



comme confondus avec l'horizon *rationnel hh'* qui passe au centre de notre globe. Il en serait ainsi, par exemple, pour les deux faces d'une mince feuille de papier, et pour le plan idéal que l'on menerait entre elles, dans l'enceinte immense dont le diamètre comprendrait quatre ou cinq cents lieues. Les observateurs, placés en o et en o', ayant leurs pieds en regard, sont dits *antipodes* l'un de l'autre.

Imaginez maintenant que nous déterminions, sur le cercle vertical de notre théodolite, les points extrêmes m et n (*fig.* 65),

Fig. 65.



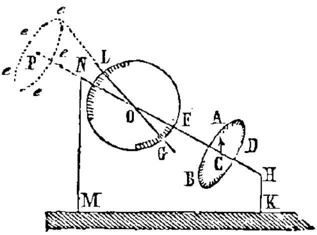
supérieur et inférieur, de la courbe d'une des Étoiles du Nord, qui restent constamment au-dessus de l'horizon HH'; et que nous divisions l'angle mOn en deux parties égales, par la ligne OP. Si nous faisons ensuite la même opération pour les points m' n', m'' n'', donnés par d'autres Étoiles, nous trouverons que c'est la ligne OP qui divise aussi, en deux parties égales, les angles $m'On'$ $m''On''$, etc., et tous les angles analogues, obtenus sur les Étoiles du Nord (1).

106. **Le mouvement diurne du Ciel est circulaire et uniforme. — Instrument équatorial.** — Dans l'hypothèse où, comme semble l'indiquer l'examen du Ciel, fait, à la simple vue, pendant quelques heures, la voûte étoilée tournerait, d'un

(1) Les observations exactes que permettent de faire les instruments modernes, montrent quelques inégalités, sur lesquelles les anciens n'avaient pas cru devoir s'arrêter, et qui sembleraient enlever une partie de leur précision aux conclusions précédentes. Mais la cause des anomalies est aujourd'hui bien connue; ses effets sont parfaitement calculables, et quand on les applique aux observations, on trouve des résultats exactement conformes à ceux que je viens de décrire. Nous pouvons donc, pour plus de simplicité, négliger momentanément la cause perturbatrice qui altère *toutes* les observations hors du zénith, et que nous étudierons plus tard, sous le titre de *réfractions atmosphériques*.

mouvement d'ensemble, d'Orient en Occident, il est donc naturel de penser que ce mouvement s'exécute autour de la ligne OP. Pour nous en convaincre, inclinons et assujettissons, exactement, dans la direction CP, à l'aide des supports HK, MN (*fig.* 66), l'axe vertical CO du théodolite, qui prend alors le nom d'*équatorial*; puis dirigeons la lunette GL vers une Étoile quelconque *e* située dans la région du *Nord*. Nous remarquerons que la rotation de l'appareil autour de l'axe OC permettra de suivre constamment l'Étoile, sans qu'on ait à déplacer, sur le cercle GFL, la ligne de visée. Nous remarquerons, en outre, que, dans des temps égaux, l'aiguille CA parcourra, pendant cette rotation, des angles égaux sur le cercle ABD, demeuré toujours perpendiculaire à l'axe OC de l'instrument. Nous verrons encore que les Étoiles du Midi, celles qui se lèvent et se couchent, restent dans la lunette pendant toute la durée de leur apparition au-dessus de l'horizon, pourvu que l'on suive ces Étoiles en faisant tourner uniformément l'instrument autour de OC, comme nous l'avons fait pour les Étoiles du *Nord*. Nous remarquerons enfin que *toutes* les Étoiles, sans exception, quelle que soit leur position dans le Ciel, emploient *identiquement* le même temps pour accomplir leur révolution diurne (1).

Fig. 66.

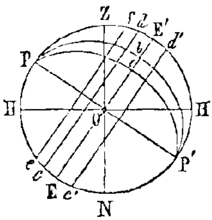


Axe du monde. — D'où nous devons conclure, qu'en effet, ainsi que nous l'avions supposé dans un premier aperçu, la voûte étoilée tourne en masse, et d'un mouvement uniforme, autour de *l'axe du monde* OP (*fig.* 67); qu'en vertu de ce

(1) Les phénomènes que nous étudierons, plus tard, sous les noms de *précession*, de *nutation* et d'*aberration*, font varier très-légèrement les durées apparentes de la révolution diurne. Mais il est inutile, dans un premier aperçu, de se préoccuper de quelques inégalités qu'une longue suite d'observations très-délicates a pu, seule, rendre sensibles.

mouvement toutes les Étoiles décrivent des cercles, et que l'axe idéal PO, prolongé en ligne droite à travers la Terre, irait rencontrer la voûte céleste en un second point P', situé au-dessous de notre horizon HH', toujours, par conséquent, invisible pour nous.

Fig 67.



Pôles du monde. — Jour sidéral. — On appelle *Pôles du monde* les points P, P', où l'axe du monde vient aboutir sur la sphère étoilée; et l'on donne le nom de *Jour sidéral* au temps employé par cette sphère pour faire une révolution entière autour de l'axe du monde. La durée du jour sidéral, que l'on détermine ordinairement par deux passages successifs d'une même Étoile dans le plan méridien, est divisée, d'ailleurs, comme celle du jour solaire dont nous aurons bientôt à nous occuper, en heures, minutes, secondes, etc. Quant aux pôles, on les distingue l'un de l'autre par les désignations de *pôle nord*, de *pôle boréal*, quelquefois aussi de *pôle élevé*, appliquées à celui P, qui est constamment visible pour les habitants de l'Europe, et par celles de *pôle sud*, de *pôle austral* ou de *pôle abaissé* appliquées au pôle P' que nous n'apercevons jamais, de nos contrées. On appelle enfin Étoiles *circompolaires*, celles qui restent constamment au-dessus de l'horizon, celles par conséquent dont on peut observer les deux passages (supérieur et inférieur) au méridien.

107. **Cercles horaires ou de déclinaison. — Parallèles. Équateur. — Hémisphères.** — Pour classer astronomiquement les Étoiles, on suppose la sphère céleste divisée en cercles analogues à ceux que chacun a vus tracés, maintes fois, sur les globes terrestres, en cercles PaP' PbP', etc., qu'on nomme *cercles horaires* ou *de déclinaison*, et en cercles *cd ef*, etc., qu'on nomme *parallèles*. Les premiers de ces cercles sont tous égaux, et viennent se couper suivant l'axe du monde; les seconds sont inégaux et perpendiculaires au même axe. Le plus grand, parmi ceux-ci, est le cercle qui passe au point O,

centre de la sphère étoilée, où se trouve l'observateur. On l'appelle *équateur céleste* pour exprimer qu'il divise la sphère en deux parties égales, auxquelles on donne le nom d'*hémisphères* ou *moitiés de sphère*.

Ascension droite et angles horaires. — Déclinaisons. — Il est évident qu'indiquer le cercle horaire et le parallèle d'un Astre, c'est assigner exactement la position de cet Astre. Le cercle horaire est déterminé, dans les observations, par le temps qui s'écoule entre le passage, au méridien, d'un cercle horaire pris pour origine ou pour point de départ, et le passage du cercle horaire sur lequel se trouve l'Étoile, ou le passage de l'Étoile elle-même, qui arrive au méridien avec son cercle horaire tout entier. Cet intervalle de temps donne évidemment l'angle compris (à raison de 15 degrés par heure), entre les deux cercles horaires, puisque le jour sidéral, composé de 24 heures, correspond à un tour entier ou à une circonférence valant 360 degrés; il porte, en Astronomie, le nom d'*ascension droite*, et s'écrit Æ par l'assemblage des lettres initiales de l'expression latine *Ascensio Recta*. On l'appelle aussi quelquefois *angle horaire*. Le parallèle de l'Étoile qu'on veut désigner, résulte, à son tour, des nombres de *degrés*, *minutes* et *secondes*, comptés sur un cercle horaire quelconque, qui se trouvent compris entre ce parallèle et l'Équateur. La distance angulaire, ainsi mesurée, est appelée *déclinaison*, et prend l'une des deux qualifications, *boréale* ou *australe*, suivant qu'on la compte, à partir de l'Équateur, vers le Nord ou vers le Sud.

Coordonnées. — Cercles muraux et méridiens. — Lunette méridienne. — Afin d'obtenir l'ascension droite et la déclinaison, appelées d'un nom commun, les *cordonnées* d'une Étoile, il suffit d'orienter invariablement, dans le méridien, le cercle vertical du théodolite. Ordinairement, on fixe ce cercle, (qui devient alors un *cercle mural*, un *cercle méridien* ou une *lunette méridienne*, suivant les dispositions particulières adoptées dans sa construction,) soit contre un mur solidement établi, indépendant des planchers, préservé de l'action directe du Soleil dont le rayonnement produirait des dilatations inégales, et garanti, autant que possible, des causes de vibration du sol, telles que le roulage, les chocs, etc., soit entre deux piliers destinés à supporter l'axe horizontal O (*fig.* 62) de rotation, et à maintenir dans le plan méridien, plus sûrement encore qu'un mur unique, la lunette mobile suivant ce plan (1). Un système d'ouvertures pratiquées du nord au sud, dans le toit et dans les murs verticaux de l'Observatoire, permet de saisir aisément les passages et de déterminer les coordonnées. Mais si quelque obstacle vient s'opposer à l'emploi de cette méthode, l'*équatorial* préservé, comme les moulins à vent, des intempéries atmosphériques, par un toit tournant, suppléerait aux instruments méridiens que l'on préfère néanmoins d'ordinaire, parce qu'étant mieux assis, ils donnent aux observations de plus grandes garanties d'exactitude.

108. **Étoiles cataloguées.** — Malgré les travaux nombreux effectués par les méthodes précédentes, nous sommes loin encore de posséder les *coordonnées astronomiques* de toutes les Étoiles du Ciel. C'est à peine si l'on en connaît, par leur position, cent trente à cent cinquante mille, bien qu'Herschell les ait dénombrées par *millions* dans la voie lactée toute seule.

Parmi les divers Catalogues formés à cet égard, l'un des plus précieux est celui de 47390 Étoiles que publia Jérôme Lalande, vers la fin du siècle dernier, sous le titre d'*Histoire céleste française*, d'après les observations faites par *Lefrançais Lalande*, par *Burckhardt* et par *Dagelet*, avec le quart de cercle mural dont l'Observatoire de Toulouse se trouve en possession aujourd'hui. Ce Catalogue a été calculé, depuis sa publication, par M. F. Baily, et suivi de divers Catalogues considérables, tels que ceux, entre autres : 1° de *Bessel* — 75000 observations d'Étoiles. — 2° De *Weisse* — 31895 Étoiles empruntées aux 75 mille observations contenues dans les *zones* de Bessel. — 3° D'*Argelander* — 22000 Étoiles. — 4° De l'*Association britannique* — 8377 Étoiles. — 5° De *Rümker* — 12000 Étoiles. — 6° De *Taylor* — 11015 Étoi-

(1) Voir la Note à la fin de la huitième Leçon.

les. — 7° De *Brisbane et Rümker* — 7385 Etoiles. — 8° De MM. Airy, Maclear, Henderson, Redcliffe, Oeltzen, etc.

Il est bon de remarquer, au reste, que les mêmes Étoiles se trouvent souvent répétées dans les différents Catalogues dont je viens de parler, et que des travaux analogues avaient été, successivement, mais sur une bien moins grande échelle, effectués de siècle en siècle; parmi lesquels : 1° le Catalogue le plus ancien, celui des 1022 Étoiles observées par Hipparque. — 2° Ceux que dressèrent les deux princes arabes, *Albatégnius*, en 879, et le petit-fils de Tamerlan, *Ulug-Beig*, en 1437; — ne contenant guère l'un et l'autre que les Étoiles d'Hipparque. — 3° Celui de Tycho-Brahé — 777 Étoiles. — 4° Celui du *landgrave de Hesse-Cassel*, pour l'année 1593 — 400 Étoiles. — 5° Celui de Bayer, pour 1603 — 1762 Étoiles. — 6° Celui d'*Hévélius*, fils d'un brasseur de Dantzig, pensionné par Louis XIV — 1564 Étoiles pour l'année 1660. — 7° Celui de *Riccioli* pour 1665 — 1468 Étoiles. — 8° Celui de *Flamsteed* pour 1712 — 2884 Étoiles. — 9° Trois Catalogues de *Lacaille*, dont un de 10000 Étoiles observées au Cap de Bonne-Espérance, en 1751 et 1752. — 10° Ceux de *Lemonnier* — 400 Étoiles; de *Tobie Mayer* — 998 Étoiles; de *Maskeline* — 34 Étoiles fondamentales, déterminées avec le plus grand soin et complétées, en 1849, par M. Largeteau qui en a porté le nombre à 100; de *Cagnoli* — 501 Étoiles; du baron de *Zach* — 381 Étoiles, etc. — 11° Celui de *Bradley* — 3222 Étoiles pour 1755. — 12° enfin, ceux de *Pond* — 112 Étoiles; et l'excellent Catalogue de Piazzi, pour 1800, — 6500 Étoiles.

109. **Étoiles non cataloguées. Leur nombre probable.** — Ainsi que je l'ai dit, et comme on peut le voir par les détails qui précèdent, si l'on tient compte des doubles emplois dans les divers Catalogues, le nombre des Étoiles connues ne doit guère dépasser 150 mille. Ces Étoiles sont, du reste, en général, comprises entre la 1re et la 9e ou, tout au plus, la 10e grandeur. En les groupant par catégories, suivant leur éclat, M. Struwe a reconnu que, jusqu'au 6e ordre, le nombre des Étoiles d'une classe quelconque, était à peu près triple de celui des Étoiles de la classe immédiatement supérieure;

mais qu'au delà du 6e ordre, les nombres croissent bien plus rapidement que ne l'exprimerait cette loi. Si nous l'appliquons à la détermination de la richesse du Ciel étoilé jusqu'à la 14e grandeur, nous n'obtiendrons, par conséquent, qu'une limite de beaucoup inférieure, très-probablement, à la réalité. Voici cependant les résultats qu'elle donne, le nombre généralement admis des Étoiles de 1re grandeur étant égal à 17.

	Nombre d'Étoiles.
1re grandeur.	17
2e	51
3e	153
4e	459
5e	1377
6e	4131
7e	12393
8e	37179
9e	111537
10e	334611
11e	1003833
12e	3011499
13e	9034497
14e	27103491
Somme	40655228

Quarante millions d'Étoiles jusqu'à la 14e grandeur qui est loin, sans doute, de correspondre à la limite de l'amas dont nous faisons partie! Plus de 13 millions jusqu'à la 13e grandeur à laquelle paraît s'arrêter la puissance optique du grand instrument de M. Struwe! — *Vingt millions quatre cent mille*, fournis au même Astronome par la discussion des jauges de W. Herschell! Tous ces nombres diffèrent beaucoup entre eux, sans doute; mais la conclusion qu'ils entraînent forcément, c'est que les richesses du Ciel étoilé sont incalculables, et que les Soleils fourmillent dans l'espace, comme les grains de sable dans l'Océan.

110. **Cartes et Atlas célestes.** — Outre les Catalogues dont nous avons vu la nomenclature, on possède un certain nom-

bre de Cartes ou d'Atlas célestes sur lesquels sont placées les Étoiles, et qui permettent de suivre les Constellations dans leurs divers détails. Il ne nous reste cependant, sur la sphère d'Hipparque, d'autres documents que la description tracée par Ptolémée; et le moyen âge ne nous a guère, aussi, légué que des traditions assez incomplètes à cet égard. L'on arrive donc jusque vers le milieu du XVe siècle, avant de trouver des globes destinés à l'étude du Ciel. Mais, à partir du XVIIe, les publications se succèdent et se perfectionnent rapidement. Ainsi, Bayer fait connaître, en 1603, ses 51 Cartes uranométriques, suivies bientôt, en 1673, des Cartes du P. Pardies, des Cartes d'Augustin Royer, en 1679, de celles d'Hévélius, en 1690, etc.; enfin, en 1729, des 28 Cartes formant le bel Atlas, in-folio, de Flamsteed, réduit depuis 1776, au format in-8°, par les soins de Fortin.

Plus tard, vers la fin du XVIIIe et le commencement du XIXe siècle, parurent les deux Atlas de Bode et de Harding, dont les Astronomes font, encore aujourd'hui, un très-grand usage, et qui renferment, l'un 17240, l'autre plus de 50 mille Étoiles. Vers 1840, M. Dien, à son tour, avait commencé la publication d'un Atlas contenant les petites Étoiles zodiacales, jusqu'à la 9e grandeur, lorsque les célèbres *Cartes de Berlin*, dressées, d'après les 75 mille observations de Bessel, par une réunion d'Astronomes étrangers, pourvus de ressources que ne possédait pas M. Dien, durent interrompre le travail de notre zélé compatriote. Je dois dire, néanmoins, que, loin de se laisser décourager par ce douloureux contre-temps, M. Dien s'est remis intrépidement à l'œuvre pour agrandir son travail, et qu'au lieu d'un Atlas simplement zodiacal, il vient de faire paraître, cette année même (1865), à la librairie de M. Gauthier-Villars qui, en facilitant cette publication, a bien mérité de la science, un Atlas général contenant plus de 100 mille Étoiles ou Nébuleuses. Quant à l'Atlas zodiacal, il fut repris, sur une large échelle, en 1850, par M. Chacornac, auquel la science doit la découverte de plusieurs petites Planètes, et des Cartes, pour la zone de l'Ecliptique, jusqu'au 13e ordre de grandeur. Ajoutons, en terminant, que des Cartes analogues à celles de M. Chacornac, ont dû être construites, si je ne me trompe, avant la publication de celles-ci, par quelques Astronomes qui se sont livrés également, avec succès, à la recherche des petites Planètes; mais j'ai lieu de croire qu'elles n'ont pas été publiées, et que les Auteurs se sont bornés à les dresser pour leur propre usage.

111. **Créations mythologiques empruntées aux mouvements célestes.** — La Mythologie paraît avoir été basée, par les poëtes, sur les diverses particularités des mouvements célestes, et, principalement, sur la rotation diurne de la voûte étoilée. Ainsi, par exemple, résulte-t-il des anciennes traditions qu'Orion s'occupa jadis de l'étude des mouvements de la Lune, et découvrit quelques-uns des secrets de ces mouvements? les Grecs diront que l'Astronome a voulu attenter à l'honneur de Diane (la Lune); et comme l'heure de son coucher coïncide avec celle où le Scorpion se lève, Orion mourra de la piqûre de l'insecte suscité par la déesse irritée. Pégase précédant le Verseau, se traduira par le coup de pied du cheval ailé faisant jaillir, du sol, une fontaine. Atlas, ou le Bouvier, dont la tête était autrefois sous le pôle, aura reçu de Jupiter la mission de porter le monde, et sera pétrifié par Persée, parce qu'au lever de ce dernier, il ira se coucher derrière des montagnes. Phaëton, le cocher céleste, s'effrayant à la vue du Scorpion; Persée délivrant Andromède menacée par la Baleine; le Verseau ou Ganymède enlevé par l'Aigle qui l'entraîne vers le haut du Ciel, etc.; la plupart, enfin, des fantastiques récits de la Fable; tout cela n'est qu'une série d'allusions à la voûte étoilée. Le passage du Soleil devant les douze Constellations du Zodiaque, donnera naissance, à son tour, aux douze travaux d'Hercule; et le vif éclat d'une Planète; la couleur rougeâtre d'une autre; la rapidité ou la lenteur des mouvements de celle-ci; les passages de chacune d'elles devant les différentes constellations; leur grosseur apparente, leur éloignement, etc., peupleront le Ciel de brillantes images sur les grâces de Vénus, sur l'ardeur guerrière de Mars, sur la légèreté de Mercure, sur la puissance de Jupiter, sur la vieillesse de Sa-

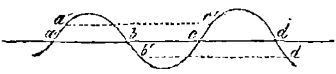
turne, sur les bizarres et nombreuses aventures des Dieux.

112. **Scintillation des Étoiles.**— La riche imagination des Grecs, en demandant au Ciel le secret des beautés qui devaient, d'âge en âge, embellir les chants des poëtes, n'aurait jamais cependant osé soupçonner, malgré ses hardiesses, combien le Firmament renfermait encore de splendeurs cachées. Nous avons étudié l'Univers dans son immensité. Un phénomène particulier aux Étoiles va nous révéler des magnificences d'un autre ordre, et nous montrer la main de Dieu, non moins puissante dans l'infini de la petitesse, qu'elle l'a été dans l'infini de la grandeur.

Chacun peut avoir remarqué ces alternatives d'affaiblissement et d'éclat, ces brusques changements de couleur, qu'éprouvent, pendant certaines nuits, les points étincelants de la voûte céleste, et que l'on a caractérisés par le mot *scintillation*. Depuis Hipparque, les Astronomes avaient cherché vainement l'explication du phénomène. Le génie de Galilée, celui de Képler, celui de Newton lui-même s'étaient trouvés impuissants devant des difficultés dont la solution était réservée à l'une des plus grandes gloires scientifiques de notre siècle, à M. Arago. C'est de la théorie des ondulations lumineuses, déjà si puissamment fécondée par ses propres travaux, que notre illustre compatriote a fait jaillir l'explication infructueusement poursuivie par tant de hautes intelligences. Voulez-vous, en quelques mots, cette explication? Remarquez que deux ondes qui agissent, inversement l'une de l'autre, sur le fluide éthéré dont les vibrations, propagées de proche en proche, apportent à nos yeux la sensation de la lumière, laisseront évidemment le fluide immobile, ne lui imprimeront, du moins, qu'une faible vitesse, égale à la différence des vitesses qu'elles possèdent elles-mêmes; produiront, par conséquent, une obscurité totale ou un affaiblissement partiel, suivant qu'elles se détruiront entièrement ou seulement en partie.

Explication donnée par M. Arago. — Remarquez également que les ondes qui donnent la lumière blanche, doivent être considérées comme résultant de la superposition de sept ondes élémentaires correspondant aux sept couleurs dont la lumière blanche est composée. Remarquez enfin que, dans une série d'ondes qui se suivent, deux molécules fluides quelconques *a* et *c*, *b* et *d*, *a'* et *c'*, etc. (*fig.* 68), séparées par la largeur complète d'une onde, c'est-à-dire semblablement placées sur deux ondes en contact, sont toujours animés de mouvements identiques, de vitesses parallèles et dirigées dans le même sens; que ces molécules tendent, en même temps, soit à s'élever, soit à descendre, etc., tandis que deux molécules *a* et *b*, *b* et *c*, *c* et *d*, *a'* et *b'*, etc., dont la distance projetée parallèlement au sens *abcd*, etc., de propagation des ondes, n'est que la demi-largeur d'ondulation, sont constamment animées de vitesses égales mais inverses, la particule *a'* tendant à monter au moment où la particule *b'* tend évidemment à descendre (1).

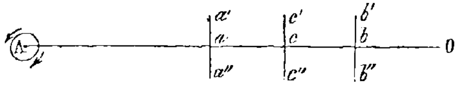
Fig. 68.



Il suffira donc que les ondes entrant par un des côtés de la pupille aient éprouvé, dans leur trajet à travers l'atmosphère, une accélération ou un retard correspondant à la simple lon-

(1) Les molécules d'éther oscillent perpendiculairement à la direction AO de l'effluve lumineuse ou, plus simplement, de ce qu'on nomme le rayon lumineux qui vient transmettre à l'œil situé en O (*fig.* 69) la sensation du point A. Cela résulte d'expériences précises, mais dont le

Fig. 69.



détail est inutile ici. L'on peut d'ailleurs se rendre compte du fait, par des oscillations rotatoires, alternatives et très-rapides, qu'exécuterait sur lui-même le point lumineux dont le frottement mettrait, tout autour, les molécules de l'éther en vibration; produisant ainsi, dans le fluide, comme la chute d'une pierre dans l'eau, des ondes qui doivent s'affaiblir avec la distance, puisque la force émanée du point lumineux s'éparpille sur des surfaces de plus en plus grandes.

Soient donc: *a* une molécule de l'éther qui oscille, suivant *a'a''*, à gueur d'une demi-ondulation, pour qu'elles anéantissent, en venant se croiser avec elles sur un même point de la rétine, les ondes entrant par l'autre côté, qui étaient parties de l'Étoile, un instant avant ou après les premières. Cette destruction pourra être complète ou partielle, et porter tantôt sur une couleur, tantôt sur l'autre, tantôt sur toutes les couleurs en même temps; l'Étoile paraîtra, par conséquent, tantôt rouge, tantôt verte, tantôt bleue, etc., tantôt simplement affaiblie.

Comment l'atmosphère est-elle susceptible de produire un tel résultat ? La réponse est facile. Des changements de densité à peine appréciables, survenus parmi les molécules ga-

droite et à gauche de sa position d'équilibre *a*, et *ab* la distance à laquelle, de proche en proche, se communique le mouvement vibratoire pendant que *a* exécute son oscillation complète (aller et retour compris); la longueur *ab* sera ce qu'on appelle largeur de l'onde, ou plutôt, longueur d'ondulation. Or, évidemment, la molécule *b* commencera sa première oscillation quand *a* commencera la seconde. Ces deux molécules vibreront donc identiquement; montant et descendant ensemble, avec des vitesses toujours égales et parallèles; se trouvant, aux mêmes instants, l'une en *a'* l'autre en *b'*, dans des positions entièrement analogues; n'offrant, en un mot, d'autre différence de mouvement, que l'excès d'une vibration de la molécule *a* sur la molécule *b*.

Mais il n'en serait plus de même si, au lieu de la molécule *b*, l'on considérait la molécule *c*, située sur le milieu de *ab*. Car le mouvement vibratoire arriverait en *c*; et la molécule *c* commencerait à osciller de *c* vers *c'* au moment où la molécule *a* terminant sa demi-oscillation descendante *a'a*, après être montée d'abord de *a* en *a'*, repasserait par le point *a* pour marcher vers *a''*. Les deux points *a* et *c*, séparés par la moitié seulement d'une longueur d'ondulation, se meuvent donc en sens inverse l'une de l'autre; leurs vitesses sont toujours égales, mais de signes contraires, quand le premier arrive en *a''*, à l'extrémité de l'oscillation descendante, la seconde arrive en *c'* extrémité de l'oscillation qui s'effectue vers le haut. Celui-ci va commencer à redescendre quand celui-là commencera à remonter, etc.; et, par conséquent, si deux ondes parallèles ou à très-peu près parallèles se rencontrent quelque part, en retard l'une sur l'autre de la demi-longueur d'ondulation (plus généralement, d'un nombre *impair*, etc., de demi-ondulations), leur croisement donnera, soit une résultante nulle (dans le cas des ondes rigoureusement parallèles), soit une résultante à peine sensible (dans le cas des ondes peu inclinées.)

zeuses qu'aura traversées telle ou telle partie du faisceau lumineux, pénétrant dans la pupille ; des influences météorologiques qui auront ralenti de *deux à trois dix millièmes* de millimètre seulement, la rapidité presque infinie, la vitesse de 77400 lieues par seconde, avec laquelle se propage dans l'éther le mouvement ondulatoire, des réflexions sur une vésicule de vapeur, sur une particule de poussière, etc., qui auront à peine allongé le chemin parcouru par certains rayons, etc., etc., occasionneront précisément le retard nécessaire pour anéantir l'une ou l'autre des sept couleurs de la lumière blanche, et produire la *scintillation*.

Deux à trois dix millièmes de *millimètre !* A cet égard, les découvertes de la physique moderne ne peuvent laisser prise au plus léger doute. Young avait aperçu et présenté, sous le nom de *principe des interférences,* cette curieuse conséquence de la théorie des ondulations : que des ondes ajoutées à des ondes ou, en d'autres termes, que de la *lumière ajoutée à de la lumière,* devaient, dans certains cas, produire de l'obscurité. C'est en parvenant à réaliser le premier, par une admirable expérience, l'ingénieuse conception du physicien anglais, pendant que, de son côté, M. Arago mettait en évidence, à l'aide d'autres expériences non moins remarquables, un ralentissement produit par la simple interposition d'une lame de verre, dans la marche du flux lumineux, que Fresnel obtint les demi-largeurs d'ondulation, correspondant aux diverses couleurs élémentaires dont la lumière blanche est composée ; et qu'il trouva ces demi-largeurs égales, pour le rouge à $0^{mm},0003$, pour le violet à $0^{mm},0002$, pour les autres couleurs à des grandeurs comprises entre celles-ci.

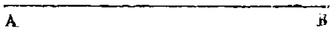
Si l'on songe à la mobilité de l'atmosphère, et aux différences de densité, que peuvent occasionner incessamment, entre deux points même très-voisins, les agitations provenant des vents, les précipitations ou les dissolutions de vapeur, dues aux variations de la température, etc., l'on admettra sans peine que, sur un trajet de 18 à 20 lieues, il doive se produire, à tout instant, des accélérations ou des retards correspondant aux diverses couleurs ; et la seule chose qui soit de nature à surprendre, c'est que des conditions météorologiques puissent quelquefois exister, dans lesquelles la scintillation n'ait pas lieu ou se manifeste à peine.

Est-il nécessaire d'ajouter que, si vous aviez non plus un point lumineux unique, mais un assemblage de points, la scintillation serait à peu près nulle? Car, au moment où les interférences rendraient rouge, par exemple, l'un de ces points, le point voisin devrait être vert, un troisième devrait être jaune, etc.; et l'ensemble des sensations diverses que l'*irradiation* due à la grande sensibilité de la rétine, fait empiéter l'une sur l'autre, se traduirait, en définitive, par du blanc, sans variation notable de teinte ni d'intensité.

L'absence de scintillation sera donc un trait caractéristique pour les Astres possédant, comme la plupart de ceux que nous étudierons sous le nom de Planètes, des dimensions apparentes appréciables. Si les Étoiles n'eussent pas été placées à des distances presque infinies, leurs diamètres auraient conservé des valeurs sensibles; et le phénomène serait, par conséquent, resté caché pour nous. C'est une singulière coïncidence que celle de volumes et de distances énormes, concordant avec un phénomène qui tient à quelques dix millièmes, seulement, de millimètre. Mais ce qui est plus extraordinaire encore, et je ne sais pas résister à l'occasion qui m'est offerte ici de le dire, c'est le nombre de vibrations que fait le fluide éthéré pour produire la sensation de la lumière. Car les expériences qui nous ont fourni la théorie et les lois de la scintillation, ayant également donné la largeur des ondes lumineuses, ont, par cela même, permis de trouver combien de fois cette largeur était comprise dans la distance à laquelle se propage le mouvement vibratoire de l'éther en un temps quelconque, et de déterminer ainsi, *mathématiquement*, les nombres cherchés. Voulez-vous essayer ce calcul si simple, dont les résultats, obtenus de la sorte, vous frapperont mieux sans doute? Divisez 77400 lieues de 4000 mètres ou 309 mille 600 kilomètres, chemin que parcourt la lumière en une seconde, par $0^{mm},0006$ largeur de l'ondulation complète pour le rouge; et vous trouverez un quotient égal à 516 *millions* de *millions*.

Ce qui revient à dire, qu'au moment où un rayon rouge parti du point A (*fig.* 70), arrive au point B, la distance AB étant égale à 77400 lieues, vous avez sur AB, 516 millions de millions d'ondes; et comme chacune de ces ondes correspond à une oscillation complète (aller et retour compris) des molécules de l'éther qui les forment, il est évident que les molécules fluides placées au point A auront effectué 516 millions de millions d'oscillations, quand celles placées au point B commenceront à vibrer. Il est évident, en un mot, que, pour donner la sensation de la lumière rouge, les molécules du fluide éthéré devront effectuer 516 millions de millions de vibrations par seconde, ou 516 millions de vibrations dans *chaque millionième* de seconde, pendant tout le temps que la lumière rouge durera.

Fig. 70.



Au lieu de $0^{mm},0006$ prenez la longueur d'ondulation $0^{mm},0004$ qui correspond à la lumière violette; et vous obtiendrez alors, non plus 516, mais bien 774 millions de millions de vibrations par seconde.

113. **Conséquences.** — On conçoit sans peine que le corps auquel une impulsion est donnée, doive, en vertu de son inertie elle-même, tant qu'il ne rencontrera pas d'obstacle, conserver indéfiniment, et sans dépense nouvelle de force motrice, le mouvement qui lui aura été ainsi imprimé. Mais il n'est plus possible de concevoir des mouvements *alternatifs de va et vient,* comme ceux que prennent les molécules élastiques de l'éther, sans la création incessante des forces nécessaires à la production de ces mouvements.

Supposez un mécanicien assez habile pour faire naître, pendant quelques heures, pendant quelques jours, pendant quelques années si vous voulez, sur un corps quelconque, mille, dix mille, cent mille oscillations par seconde; vous admirerez un pareil prodige, mais, à coup sûr, vous ne le verrez pas se renouveler deux fois.

Que serait-ce donc si, au lieu de cent mille vibrations produites pour un certain temps et par une exception unique, après des efforts inouïs de génie et de persévérance, il s'agissait de millions, ou plutôt de centaines de millions à obtenir, non pas dans chaque seconde, mais dans chaque millionième de seconde; et cela, pendant des millions d'années, des milliards de siècles peut-être, et sur les milliards de milliards de particules du fluide éthéré qui peuple l'espace? Car, remarquez-le bien, nous sommes environnés de corps lumineux. Partout, autour de nous, jusqu'à des profondeurs que la pensée la plus hardie se refuse à sonder, le Ciel regorge d'Étoiles; et, partout, sur l'immense trajet qui nous sépare de cette immensité; partout des particules d'éther, jetées à profusion afin de compenser, par leur nombre, une ténuité si excessive qu'il n'a pas été possible d'apprécier leur masse, et que les physiciens ont dû se condamner à leur donner le nom d'*impondérables;* partout des particules d'éther assujetties, par la volonté puissante qui dirige chacune d'elles, à vibrer constamment, depuis l'origine des siècles, et sous l'impulsion de forces épuisées sans cesse, mais sans cesse aussi créées de nouveau; partout des corpuscules effectuant, par seconde, un nombre d'oscillations compris entre 516 et 774 *millions de millions*, suivant la sensation de couleur qu'ils doivent nous transmettre! En vérité, l'esprit se perd dans ce dédale de vigilance et de grandeur qui gouverne avec autant de précision et de soin le mouvement de chacun des plus impalpables atomes de son œuvre, que la marche et le maintien des Soleils dont ces atomes sont chargés de nous révéler l'existence.

Ne semble-t-il pas permis de conclure devant ces magnificences que les rêves de l'imagination la plus téméraire seront toujours dépassés par les innombrables richesses de la création? Le sauvage irait-il jusqu'à se figurer certains phénomènes, une éclipse, l'apparition d'une Comète, celle d'un globe de feu, le bruit de la foudre, etc., s'il n'en était lui-même témoin? Le savant, à son tour, oserait-il concevoir, s'il n'y était conduit par de longues études, les phénomènes si délicats qui semblaient devoir être, à tout jamais, enveloppés de mystère? Et qu'est-ce encore que la science humaine? Que de choses ne nous restent-elles pas cachées ! Comment, par exemple, en nous bornant à la question de la lumière, Dieu a-t-il organisé notre œil pour que 516 millions de vibrations dans un millionième de seconde nous donnent la sensation du rouge, et 774 millions celle du violet, etc. ?

Euler, auquel les résultats que je viens de raconter n'étaient pourtant pas connus, rencontre un jour, à Berlin, un prédicateur, de ses amis, accablé de tristesse. — Bon Dieu ! qu'avez-vous donc, s'écrie le grand Géomètre ? — Hélas ! mon ami, répond le Ministre, il n'y a plus de foi ! J'avais préparé longuement un prêche sur l'existence de Dieu, prouvée par les phénomènes de la conscience ; et j'ai vu mes auditeurs bâiller ou s'endormir. — Que n'essayez-vous donc de prendre vos preuves dans l'ordre physique, et dans les grandeurs de la création ? Que ne parlez-vous de ces innombrables soleils qui peuplent l'espace, de l'énorme volume de ces corps, etc., etc. ? Peut-être réussiriez-vous mieux. — Je tenterai.

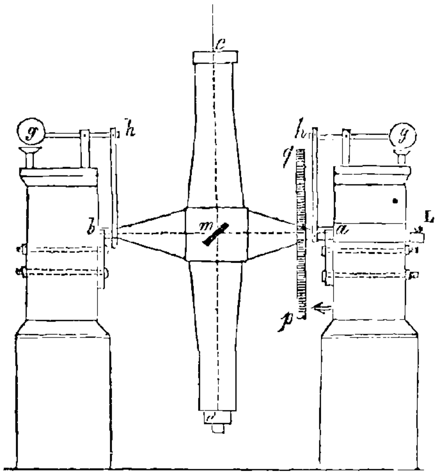
Quelques jours plus tard, nouvelle rencontre et tristesse plus prononcée. — Vous avez donc échoué cette fois encore ? — Hélas ! hélas ! j'avais bien raison de vous le dire ; la foi se perd. Ils n'ont même pas respecté le lieu saint ; le croiriez-vous ? Les malheureux m'ont applaudi !

Il faut l'avouer, en effet. Considérée de la sorte, l'Astronomie est véritablement une science d'artiste. Aussi n'eût-elle pas d'autre but que celui d'élever l'intelligence et les sentiments, qu'elle serait bien digne encore, comme la peinture, la poésie, la musique, etc, d'occuper l'imagination et le cœur. Du reste, les applications aux besoins matériels de la vie auront leur tour, quand nous étudierons les procédés employés dans la navigation; et nous verrons alors que, si nous avons en Europe les utiles produits d'outre-mer, c'est parce que les Astronomes font, sur l'Océan, ce que d'autres Ingénieurs font sur la Terre : ils tracent les chemins aux navigateurs.

NOTE.

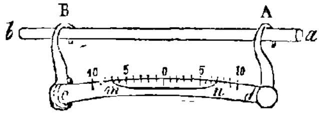
114. **Lunette méridienne.** — La *lunette méridienne*, imaginée vers la fin du 17me siècle par le Danois Roëmer, est l'instrument fondamental des observations. Elle consiste en une lunette armée de deux bras qui se terminent par des tourillons *en acier* a, b (*fig.* 71), parfaitement tournés, et dont l'axe central ab doit être exactement perpendiculaire à *l'axe optique* cd de la lunette. On s'assure de la perpendicularité des deux lignes ab, cd, en retournant la lunette, c'est-à-dire en plaçant le tourillon a sur le collet ou support b, et le tourillon b sur le collet a. Si la perpendicularité n'a pas lieu, les deux positions de l'axe optique cd ne coïncident pas; et le point extérieur que l'on voit sous la *croisée* des fils extrêmement fins, placés au foyer d de l'objectif, change avec le retournement. Une vis de rappel permet de faire marcher, à droite ou à gauche, dans une rainure intérieure, la plaque mobile percée d'une ouverture circulaire au centre de laquelle sont attachés les fils, et de faire varier la position du point d de manière à ramener, à l'aide de quelques retournements successifs, les lignes ab, cd, à être perpendiculaires entre elles.

Fig. 71.



Un niveau à *bulle d'air*, dont la fiole *cd* (*fig.* 72), parfaitement rodée à l'intérieur, et convenablement protégée par une enveloppe métallique, fait partie d'un cercle de 200 à 300 mètres de rayon, dont la courbure est assez peu prononcée, par conséquent, pour que le plus léger exhaussement de l'une des branches, en A ou en B, fasse marcher la bulle d'air *mn*, permet de vérifier, en même temps, et l'horizontalité de l'axe *ab* de rotation de la lunette, et l'égalité ainsi que la *cylindricité* des tourillons. L'*horizontalité* de l'axe résulte, en effet, de la persistance de la bulle à rester entre les mêmes repères, quand on retourne le niveau de manière à placer sur les tourillons *b* et *a*, les branches A et B qui étaient d'abord sur les tourillons *a* et *b*. — *L'égalité* des tourillons résulte, à son tour, d'une opération analogue consistant dans le retournement de la lunette sans retournement du niveau qui doit, étant replacé sur l'axe après le retournement (tourillon *a* sur collet *b*, et tourillon *b* sur collet *a*) de ce dernier, présenter exactement les mêmes indications. Enfin la *cylindricité* des tourillons est accusée par la stabilité de la bulle du niveau pendant que l'axe roule sur les collets qui le supportent, la lunette parcourant le méridien, dans lequel on parvient à la placer exactement à l'aide de quelques observations de passages supérieurs et inférieurs d'Étoiles circompolaires.

Fig. 72.

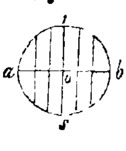


Il est sans doute inutile d'ajouter que des mécanismes particuliers permettent, pour amener la lunette dans le méridien et pour établir l'horizontalité, de faire marcher, horizontalement et verticalement, dans des coulisses assujetties solidement à des piliers de pierre, les collets qui portent l'axe de la lunette.

On a soin, en outre, afin d'éviter les vibrations, d'isoler les piliers des planchers, et de soulager les tourillons, pour en éviter l'usure, par des leviers *gh*, convenablement équilibrés.

Réticule. — Quant aux fils, ils sont ordinairement disposés comme l'indique la *fig.* 73, au nombre de six ou de huit, sur une ouverture circulaire, dans la plaque qui les porte. Ces fils sont des fils de cocon, d'araignée ou de platine. L'un, *ab*, est horizontal, et les autres sont placés à des distances égales, des deux côtés du fil méridien *rs*. La moyenne des heures correspondant aux *cinq* ou aux *sept* passages d'un Astre sous ces divers fils, donne, avec une précision remarquable (quelques centièmes de seconde en temps), l'instant du passage par le fil du milieu ou par le méridien. L'ensemble de la plaque et des fils a reçu le nom de

Fig. 73.

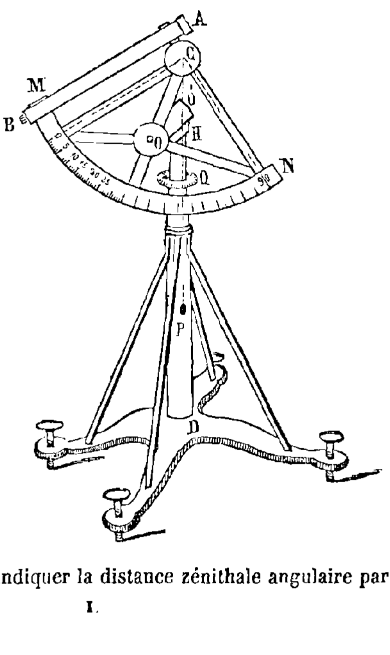


réticule. On l'éclaire légèrement, pendant la nuit, à l'aide d'une lampe L (*fig*. 71), dont la lumière passe dans l'intérieur du pilier et de l'axe, pour aller se réfléchir sur un petit miroir *m*, incliné à 45 degrés. Ce miroir n'intercepte que très-peu de la lumière des Astres. L'éclairage est nécessaire, pour que l'observateur ne soit pas surpris par le passage rapide des Étoiles derrière chacun des fils, et puisse être préparé, quelques secondes d'avance, à l'observation.

Cercle méridien. — Un cercle *pq* (*fig*. 71), d'un à deux mètres de diamètre, fixé solidement à l'axe de la lunette méridienne, change l'instrument en *cercle méridien*, et permet de déterminer en même temps l'*ascension droite* et la *déclinaison*.

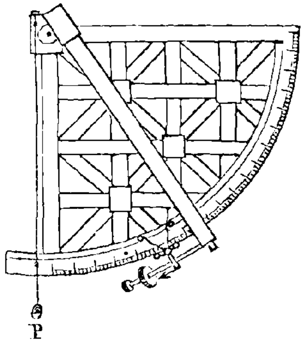
115. **Quarts de cercle.** — Vers la fin du siècle dernier, on n'employait guères, pour les déclinaisons, que des quarts de cercle dont on se servait également, avant l'invention de Roëmer, pour les ascensions droites, mais dont les limbes, formés de divers assemblages, étaient sujets à se voiler et à donner, sur les passages méridiens, des erreurs assez considérables que ne comportent pas des cercles entiers tournés d'une seule pièce. La difficulté des vérifications, plus grande sur un quart de cercle qu'elle ne l'est sur un cercle entier, laissait aussi les déclinaisons assez incertaines. Ces quarts de cercle étaient tantôt (*fig*. 74) mobiles autour d'un axe horizontal OO′ passant au centre de gravité et perpendiculaire au pied HD que l'on rendait vertical à l'aide de quatre vis calantes (trois auraient suffi, et l'on n'en emploie pas effectivement davantage depuis la fin du siècle dernier); auquel cas la lunette AB, invariablement fixée au quart de cercle, tournait avec lui pour venir chercher les Astres, pendant que le limbe glissait sous le fil-à-plomb CP, de manière à indiquer la distance zénithale angulaire par la division où s'arrêtait le

Fig. 74.



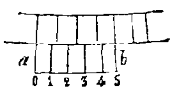
fil (1); tantôt, au contraire, ils (les quarts de cercle) *étaient* cramponnés soit à un mur, soit à un pied ou à une charpente métallique, et la lunette (*fig.* 75) se mouvait alors sur le limbe, entraînant avec elle un *vernier*, quelquefois une *vis micrométrique*, appareils assez généralement connus pour qu'il soit inutile de les décrire ici, et qui étaient destinés à donner avec la plus grande exactitude les angles cherchés.

Fig. 75.



Vernier. — On peut remarquer seulement qu'il ne faut pas confondre, comme on le fait souvent, le *vernier ab* (*fig.* 76), imaginé vers 1631, par Vernier Châtelain de Dornans (aujourd'hui du département de l'Orne), avec le *Nonius*, invention du Portugais ainsi nommé. Personne n'ignore, en effet, que, dans le *Vernier*, un nombre $(n \pm 1)$ de divisions correspond à un nombre n des divisions à fractionner ; de manière que ces deux espèces de divisions ayant, en grandeur, le rapport de $n : (n \pm 1)$, on peut évaluer la fraction $\left(\frac{1}{n \pm 1}\right)$ de chacune des dernières.

Fig. 76.



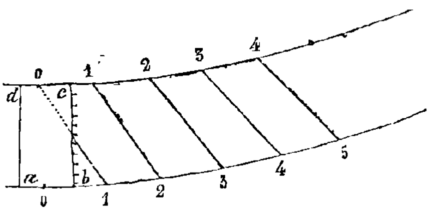
Nonius. — Or il y a loin de ce système si simple à celui de Nonius qui traçait sur le limbe MN (*fig.* 75) du quart de cercle, un certain nombre (44 ordinairement) d'arcs circulaires concentriques, dont le 1er était divisé en 90 parties, le 2me en 89, le 3me en 88, etc., enfin le 44me en 46. On conçoit qu'avec un pareil système, le fil à plomb devait toujours rencontrer, à très-peu près exactement, une des divisions ainsi tracées. Supposez qu'il se trouvât sur la mème division du quart de circonférence qui en comprenait p. l'on n'avait, pour calculer l'angle correspondant, qu'à poser la proportion :

$p : m :: 90^\circ : x = 90^\circ \times \frac{m}{p}$; valeur facilement réductible en degrés et fraction de degrés, ou en degrés, minutes et secondes.

(1) Un appareil particulier permettait d'amener la lunette sur l'Astre par un mouvement lent, et d'arrêter ensuite solidement le limbe dans cette position. On pouvait également imprimer à l'appareil un mouvement azimutal, que l'on mesurait sur le cercle Q. Ce mouvement azimutal donnait le moyen d'établir ou de vérifier la verticalité de HD, qui avait lieu quand le fil-à-plomb correspondait à la même division du quart de cercle dans les divers azimuts.

Méthode des transversales. — Ce procédé, sujet à des erreurs de lecture, par suite du grand nombre d'arcs tracés sur le limbe, mais contre l'abandon duquel Magellan, compatriote de Nonius mort depuis 1560, protestait encore néanmoins, et même avec une certaine aigreur, en 1775, dans son traité des Octans, avait du reste été déjà remplacé, quelque temps avant l'invention du Vernier, par une méthode, dite des *transversales*, et probablement fort ancienne, que Tycho-Brahé déclarait tenir d'un professeur de Leipzig nommé *Homélius*. En voulez-vous, puisque l'occasion se présente, la description succincte? Imaginez, sur le limbe du quart de cercle, deux arcs concentriques (*fig.* 77), divisés, chacun, de 10 en 10 minutes par exemple ; et menez des trans-

Fig. 77.



versales, de la division zéro tracée sur l'un des cercles à la division n° 1 de l'autre, de la division n° 1 du 1er à la division n° 2 du second, etc., puis fixez à la lunette mobile une plaque *abcd* dont l'arête *cb* qui, prolongée, passerait au centre du quart de cercle, sera divisée elle-même en un certain nombre de parties, 10 par exemple. Il est clair que celle des divisions de la plaque mobile qui se trouvera exactement sur la transversale indiquera le nombre de minutes à ajouter à la division (zéro dans la figure actuelle) recouverte par la plaque. Il est évident aussi, d'ailleurs, qu'un plus grand fractionnement du limbe et de la plaque donnerait non plus, seulement, des minutes, mais telle fraction de minute que l'on voudrait.

On doit remarquer toutefois que les deux circonférences tracées sur le limbe étant un peu inégales, les divisions de l'une sont légèrement différentes de celles de l'autre. D'où résulterait une toute petite erreur dont il eût été facile de s'affranchir, mais qui, généralement, pouvait être considérée comme nulle.

NEUVIÈME LEÇON.

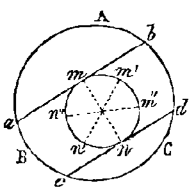
Etude du Soleil. — Position du centre, déduite de celle des bords. — Jour solaire. — *Mouvement annuel dans le plan de l'Écliptique.* — Points équinoxiaux; leur détermination. — Origine des ascensions droites. — Solstices, Colures et Tropiques. — *Obliquité de l'Écliptique;* sa variation. — *Précession des Équinoxes.* — Longitudes et latitudes astronomiques; leurs transformations en ascensions droites et déclinaisons, et réciproquement. — *Inégalités de la précession.* — Nutation. — Explication de la précession et de la nutation. — Positions *moyennes* et *apparentes*. — Différence entre les *signes* et les *Constellations* du Zodiaque. — Mouvements directs et rétrogrades. — *Applications de la précession* à la chronologie. — Age probable du Zodiaque; alphabet hiéroglyphique de Champollion. — *Inégalité des jours et des nuits* suivant les saisons et suivant les climats. — Antipodes. — Sphère parallèle, perpendiculaire et oblique. — Zones *torride*, *glaciales* et *tempérées*. — Climats d'heures et de mois. — Phénomènes cosmiques, acroniques et héliaques. — *Modifications dues aux réfractions atmosphériques.* — Effets produits sur les diamètres, sur les heures des levers et des couchers. — Crépuscules. — Hauteur de l'atmosphère, qui en découle. — Applications. — *Notes :* 1° sur les *micromètres* et les *héliomètres*. — 2° Sur le balancement de l'Écliptique et sur la précession des équinoxes. — 3° Sur les lois de la réfraction atmosphérique. — 4° Sur la construction des tables de réfraction, — Sur les modifications imprimées par la réfraction aux diamètres apparents des Astres.

116. **Étude du Soleil.** — Le Soleil, dont voici le symbole astronomique ☉, paraît, au premier abord, avoir un mouvement diurne entièrement comparable à celui des Étoiles. Il se lève, comme elles, à l'Orient; il se couche à l'Occident; il arrive, dans le méridien, au point le plus élevé de sa course; il semble enfin suivre des lois tout à fait identiques. Cepen-

dant, même à l'œil nu, l'on peut remarquer certaines différences. Tandis que les points de l'horizon, par exemple, dans la direction desquels se lèvent et se couchent les Étoiles, restent invariables, ces points varient, au contraire, pour lui, d'une manière sensible, en très-peu de jours

La position du Soleil n'est donc pas fixe sur la Sphère céleste, comme celle des Étoiles. Mais à l'aide des instruments méridiens (107 — 114 — 115), il est facile d'étudier les déplacements de cet Astre. Et d'abord vous vous convaincrez sans peine que tous ses diamètres mn, $m'n'$, $m''n''$, etc. (*fig.* 78), sont parfaitement égaux. Il suffira, pour cela, de placer au foyer et dans le champ ABC d'une lunette, deux fils ab, cd, mobiles parallèlement l'un à l'autre (1), et d'éloigner les fils jusqu'à ce que l'un quelconque mn des diamètres du Soleil, soit exactement compris entre eux. Si vous faites tourner ensuite la lunette autour de son axe, dans le sens de A vers C, par exemple, vous verrez que les diamètres $m'n'$, $m''n''$, etc., viendront à leur tour occuper le même intervalle qu'avait primitivement occupé le diamètre mn, pourvu toutefois, il est bon de le dire, que vous fassiez cette opération quand la hauteur est la plus grande possible au-dessus de l'horizon, afin d'annihiler sensiblement l'effet produit par les réfractions atmosphériques sur les diamètres des Astres.

Fig. 78.



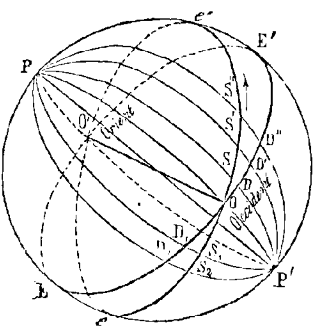
Position du centre, déduite de celle de l'un des bords. — A défaut du centre du Soleil, que rien ne caractérise et auquel se rapportent néanmoins les résultats dont nous allons nous occuper, il suffira, par conséquent, d'assigner la position de l'une des extrémités du diamètre vertical ou du diamètre horizontal, puisque l'addition ou la soustraction du demi-diamètre ramènera les résultats aux valeurs qu'on aurait obtenues en observant le centre lui-même.

117. **Jour solaire.** — Cela posé, déterminez chaque jour

(1) Voir la Note 1re à la fin de la neuvième Leçon.

l'ascension droite et la déclinaison du Soleil. Vous reconnaîtrez immédiatement qu'entre deux passages successifs de cet Astre, au Méridien, ou, pendant la durée du *jour solaire*, il s'écoule 24 heures et 4 minutes environ, de temps sidéral (106); et qu'en outre, la déclinaison varie. Rien n'est plus facile, d'ailleurs, que de construire, par points, sur la sphère céleste, la courbe parcourue; puisqu'il suffira de noter, chaque jour, relativement à une Étoile quelconque prise pour origine des ascensions droites, la position des plans horaires PS, PS', etc. (*fig.* 79), dans lesquels se trouve le Soleil, ainsi que les distances angulaires SD, S'D', etc., à l'Équateur EOE'O', dont la position est connue par celle du Pôle, déduite elle-même des deux passages supérieur et inférieur d'une Étoile circompolaire.

Fig. 79.



118. **Mouvement annuel du Soleil dans un plan appelé plan de l'Écliptique. — Points équinoxiaux.** — Supposez maintenant que la courbe ainsi déterminée *e*SS'S" etc., soit un canal creusé à la surface du Ciel. La marche du Soleil résultera de la combinaison de deux mouvements : du mouvement diurne qui lui fait accomplir, chaque jour, une révolution d'*Orient* en *Occident*, avec la Sphère céleste tout entière, et d'un second mouvement beaucoup plus lent, qui le transporte, au contraire, du jour au lendemain, de S en S' etc., dans le sens de l'*Occident* vers l'*Orient*; occasionnant ainsi le retard de 4 minutes, que nous avons remarqué plus haut. Quant à la courbe *e*SS'S" etc., vous vous apercevrez aisément que ses divers éléments SS', S'S", sont, tous, compris dans un même plan auquel on a donné le nom de plan de l'*Écliptique*, parce qu'aux époques des éclipses, la Lune se

trouve dans son voisinage. Les points O, O', où le contour du grand cercle $eOe'O'$ coupe l'équateur, sont appelés, à leur tour, *points équinoxiaux;* et la ligne OO' qui les joint, porte le nom de ligne des équinoxes.

119. **Origine des ascensions droites, à l'un des points équinoxiaux. — Détermination de ces points.** — C'est de l'un des points équinoxiaux, de celui rencontré le 21 mars par le Soleil, quand cet Astre passe de l'hémisphère austral à l'hémisphère boréal, que sont comptées, d'habitude, les ascensions droites. Si l'on a mesuré avec soin, pendant quelques jours, à des moments bien déterminés, les déclinaisons australes S_2D_2, S_1D_1, et les déclinaisons boréales SD, S'D', etc., ainsi que la position des cercles horaires PS_2P', PS_1P', PSP' PS'P', etc., relativement au cercle horaire d'une Étoile quelconque, l'on s'apercevra que ces diverses quantités varient d'une manière sensiblement uniforme au voisinage de l'Équinoxe : et l'on pourra trouver, par conséquent, sans la moindre difficulté, à l'aide de simples proportions, soit la position du cercle horaire POP' dans lequel est l'Équinoxe, soit l'instant précis où le Soleil a percé l'Équateur. L'on pourra donc transformer aussi, très-aisément, en ascensions droites rapportées au point équinoxial, les ascensions droites rapportées à une Étoile, puisqu'il suffira d'ajouter ou de retrancher, suivant la position relative de l'Étoile et de l'équinoxe, l'angle (différence d'ascension droite) compris entre les cercles horaires de ces deux points.

120. **Solstices, Colures et Tropiques.** — Les points ee' situés à 90 degrés (en ascension droite) des points équinoxiaux portent le nom de *Solstices*, parce qu'à chacun de ces points, le Soleil, momentanément stationnaire en déclinaison, décrit un petit arc parallèle à l'Équateur dont il s'éloignait auparavant, et dont il va commencer à se rapprocher. On appelle *Colures* (1) les cercles horaires PeP', $Pe'P'$, POP', P'O'P', qui passent aux Solstices et aux Équinoxes; enfin l'on nomme *Tropiques* (d'un mot grec qui signifie retour) les deux *parallèles* qui passent par les solstices.

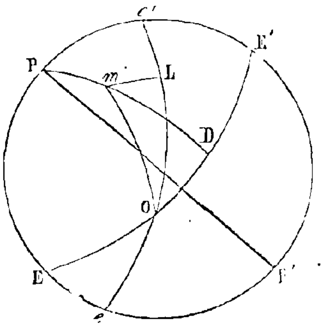
(1) *Kolouo*, je coupe.

121. **Obliquité de l'Écliptique. — Sa variation.** — Il est évident que l'on peut prendre les déclinaisons maxima *e*E, *e'*E', du Soleil, aux deux Solstices, pour mesure de l'angle compris entre l'Écliptique et l'Équateur, ou, comme on dit vulgairement, pour mesure de l'*obliquité de l'Écliptique*. Cet angle est actuellement (1er janvier 1866) égal à 23°.27'.24'',21. Il varie peu d'une année à l'autre; mais à la longue, il finit par éprouver des changements sensibles, que l'on sait, néanmoins, devoir être toujours compris entre certaines limites assez restreintes. D'après les recherches d'Euler, de Lagrange, de Laplace, etc., les changements observés sont dus à l'attraction exercée, sur la Terre, par les diverses Planètes qui tournent autour du Soleil; et leur somme, accumulée, ne dépassera pas 2°.42'. Il serait, dans l'état actuel de nos connaissances, difficile de préciser exactement le commencement et la fin de la période. L'on peut affirmer seulement que sa durée doit être fort considérable (plusieurs centaines de siècles), et que l'obliquité de l'Écliptique, après avoir annuellement diminué pendant des millions d'années de 48 à 50 centièmes de seconde environ, cessera graduellement de décroître, pour augmenter de nouveau, avec une excessive lenteur, jusqu'à la limite 2°.42' assignée plus haut; oscillant ainsi, perpétuellement, entre des valeurs assujetties à avoir cette limite pour différence.

Parmi les Astronomes dont les observations ont contribué à faire apercevoir le décroissement de l'obliquité, j'aime à citer un Marseillais, Pythéas, qui, 350 ans avant notre ère, mesura, le premier en Europe, la déclinaison solsticiale du Soleil. Cent ans plus tard, Eratostènes, s'occupant à Alexandrie de la même détermination, dut, comme l'avaient déjà fait, avant lui, Tymocharis et Aristille, comparer les positions du Soleil à celles des Étoiles, et mettre ainsi l'un de ses plus illustres successeurs, en possession d'utiles éléments de contrôle pour la découverte, bien autrement importante, du phénomène auquel on a donné le nom de *précession des Équinoxes*.

122. **Précession des Équinoxes. — Longitudes et latitudes astronomiques. — Leurs transformations en ascensions droites et déclinaisons, et réciproquement.** — Pour bien comprendre en quoi consiste la brillante découverte de la Précession, et comment Hipparque a pu la faire, imaginez que, par une Étoile quelconque m (*fig.* 80), vous meniez le cercle horaire PmD, et en même temps un arc mL de grand cercle, dont le plan serait perpendiculaire à l'Écliptique ee'. La position de l'Étoile m, caractérisée par ses deux *coordonnées* (n° 107), mD (déclinaison) et DO (ascension droite), rapportées à l'Équateur E E', pourrait aussi, évidemment, être caractérisée par de nouvelles coordonnées mL et LO rapportées à l'Écliptique. Seulement, les instruments orientés sur les cercles horaires, ne donneraient pas ces dernières coordonnées. Mais on concevra, sans peine, qu'à l'aide de certaines tables dont disposent les Astronomes, il soit facile de déduire les secondes coordonnées, des premières. C'est, en effet, ce qui a lieu ; et rien n'est plus aisé que de passer, pour chaque Etoile, des *ascensions droites* et des *déclinaisons* aux *longitudes* et aux *latitudes astronomiques* (1). On appelle ainsi les arcs de cercle O L et mL qu'il ne faut pas confondre, je me

Fig. 80.



(1) Soient : Æ et D l'ascension droite OD et la déclinaison mD de l'Étoile m (*fig.* 81) ; l et L la longitude OL et la latitude mL de la même Étoile. Menez l'arc de grand cercle, Om ; le triangle rectangle mOD vous donnera d'abord

$$\cos Om = \cos OD . \cos mD = \cos Æ . \cos D ,$$

$$\text{tang } mOD = \frac{\text{tang } mD}{\sin OD} = \frac{\text{tang } D}{\sin Æ};$$

d'où vous tirerez les valeurs de OM et de mOD $= m$OL $+$ LOD $= m$OL $+ \omega$;

hâte de le dire, avec les désignations de *longitudes* et de *latitudes géographiques*, appliquées précisément, sur la surface terrestre, à des coordonnées identiques aux ascensions droites et aux déclinaisons.

123. Cela posé, déterminez, plusieurs années de suite, les longitudes et les latitudes astronomiques de diverses Étoiles, vous ne tarderez pas à reconnaître qu'abstraction faite des déplacements, à peine sensibles et qu'Hipparque ne soupçonnait d'ailleurs même pas, dus soit aux *mouvements propres* (70-71) dont nous nous sommes déjà longuement occupés, soit à la *diminution d'obliquité* de l'Écliptique (121), les *latitudes* des Étoiles restent *invariables*, mais que leurs *longitudes augmentent, sans exception*, d'un angle d'environ 50″,24 par an.

124. On ne peut guère supposer que *toutes* les Étoiles se déplacent avec une pareille régularité, parallèlement au plan ee' de l'Écliptique, et dans le sens de l'Occident vers l'Orient; car il faudrait admettre que celles m et M (*fig.* 81), inégalement éloignées de l'Écliptique, décrivent des lignes mm', MM′, ayant exactement le rapport voulu pour correspondre, l'une et l'autre, précisément au même arc LL′ de 50″,24 en longitude. La seule explication plausible du phénomène consiste

ω étant l'obliquité *connue* de l'Écliptique. En retranchant ω de mOD vous aurez la valeur de mOL.

Après quoi, le triangle rectangle mOL, dans lequel vous connaîtrez l'hypoténuse Om, l'angle mOL et l'angle droit mLO, fournira les valeurs de la longitude OL et de la latitude mL de l'Étoile, par les formules

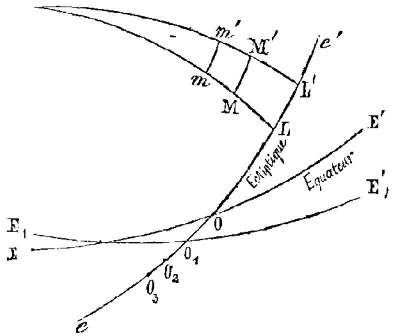
$$(\tan OL = \tan l) = \tan mO.\ \cos mOL\,;$$
$$(\sin mL = \sin L) = \sin mO.\ \sin mOL.$$

Si, au lieu de passer des ascensions droites et des déclinaisons aux longitudes et aux latitudes, on voulait passer au contraire de ces dernières coordonnées aux premières, la résolution du triangle rectangle mOL dans lequel on connaîtrait OL et mL donnerait d'abord mO et l'angle mOL dont l'addition avec LOD $= \omega$ fournirait la valeur de l'angle mOD. Puis, du triangle rectangle mDO, l'on tirerait

$$(\tan OD = \tan Æ) = \tan mO.\ \cos mOD$$
$$(\sin mD = \sin D) = \sin mO.\ \sin mOD.$$

donc, dès lors, à regarder les Étoiles comme fixes, et l'Équinoxe comme marchant sur l'Écliptique, de o en o_1, en o_2,

Fig. 81.



en o_3, etc., dans le sens du mouvement diurne, d'Orient en Occident, l'Équateur EE' prenant, à son tour, les positions successives E_1E_1', etc.

Une Étoile quelconque M, verra de la sorte sa longitude oL s'accroître, chaque année, des quantités oo_1, o_1o_2, etc., égales à 50″,24; et les diverses particularités du phénomène se trouvent ainsi ramenées à un mouvement unique, au simple mouvement de l'Équateur, bien plus facile à concevoir que les milliers de mouvements proportionnels dont on devrait douer les diverses Étoiles.

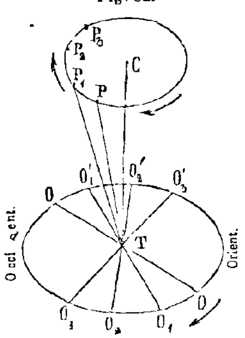
125. Cette fois, au reste, comme dans le cas du balancement de l'Écliptique, la théorie est venue en aide à l'observation pour justifier l'explication précédente du phénomène, et pour faire connaître la cause qui le produit. Complétant, par une brillante analyse, des essais déjà tentés par Newton, d'Alembert, vers le milieu du siècle dernier, déduisit du mouvement de rotation de la Terre, combiné avec les attractions du Soleil et de la Lune sur le renflement que présente le contour de notre Globe dans les régions équatoriales, toutes les particularités de la précession. Il montra même que la marche des points équinoxiaux sur l'Écliptique, n'est pas ri-

goureusement uniforme, comme avait dû le croire Hipparque, et qu'elle éprouve des accélérations ou des retards périodiques dont il fournit le moyen de déterminer les lois.

126. **Inégalités de la précession. — Nutation.** — Déjà, cependant, avant la publication du Mémoire de d'Alembert, Bradley, par l'observation toute seule, avait trouvé la principale inégalité de la précession. Car cet habile Astronome s'était aperçu que la position des points équinoxiaux, calculée dans l'hypothèse d'un mouvement uniforme, est sujette à des erreurs, *en plus* et *en moins*, qui repassent périodiquement par les mêmes valeurs tous les dix-huit ans, et dont l'accumulation finit par donner des différences de 8 à 9 secondes.

127. **Explication de la précession et de la nutation.** — Nous pourrons nous convaincre, avant peu, que le mouvement de la voûte étoilée n'est qu'apparent, et, qu'en réalité, c'est la Terre qui tourne, d'*Occident* en *Orient*, autour d'un axe dont le prolongement déterminerait, dans le Ciel, les Pôles du Monde. Dès lors, le phénomène de la précession, considéré d'abord comme s'effectuant d'un mouvement uniforme, s'explique très-simplement (*fig.* 82) par le déplacement de l'axe de rotation TP de la Terre, qui tournerait lentement autour d'une perpendiculaire TC (1) au plan de l'Écliptique, entraînant avec lui l'Équateur, auquel il reste toujours lié, et dont l'intersection avec l'Écliptique prendrait successivement les positions OO′, O_1O_1', O_2O_2', etc... pendant que l'axe TP se transporterait en TP_1, TP_2, TP_3, etc. (2).

Fig. 82.

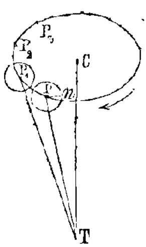


(1) Le point C, situé à 90° de latitude, porte le nom de *Pôle de l'Écliptique*.

(2) Voir la Note 2 à la fin de la neuvième Leçon.

128. **Positions moyennes et positions apparentes.** — Quant aux inégalités de la précession, elles résulteraient de petites oscillations, effectuées par l'axe de la Terre autour de chacune des positions TP, TP_1, TP_2, etc., que l'on appelle, en Astronomie, les *positions moyennes*, tandis que les positions réelles ont reçu la dénomination de *positions apparentes*. La plus importante de ces inégalités, celle que découvrit Bradley, porte le nom particulier de *Nutation* (balancement). Elle peut être représentée géométriquement (*fig.* 83) à l'aide d'un cercle, de rayon P*n* égal à 9″, ou, plus exactement encore, à l'aide d'une petite ellipse ayant son grand et son petit diamètre égaux respectivement à 9″,6 et à 7″,3 environ, et dont le contour serait parcouru en dix-huit ans par l'extrémité de l'axe du monde (l'axe *réel*, celui que j'ai dit plus haut être nommé l'axe apparent), pendant que le centre P, correspondant à l'axe moyen, décrirait un arc annuel de 50″,24 le long de la circonférence $PP_1P_2P_3$, etc., tracée sur la Sphère céleste avec le rayon CP, qui, vu de la Terre T, soutendrait un angle égal à l'obliquité de l'Écliptique.

Fig. 83.



129. **Différence entre les Signes et les Constellations du Zodiaque. — Mouvements directs et mouvements rétrogrades.** — L'arc 50″,24 est contenu 25796 fois dans 360 degrés, comprenant 1296000 secondes : d'où il résulte que la ligne des Équinoxes emploiera 25796 ans pour faire le tour entier de l'Écliptique. Vers l'époque d'Hipparque, l'Équinoxe de printemps, celui que le Soleil rencontre le 21 mars, se trouvait dans la Constellation du Bélier ; et l'Équinoxe d'automne ou du 21 septembre était dans la Constellation de la Balance. On dut donc, tout naturellement, leur appliquer les signes des deux Constellations zodiacales ♈ ♎, auxquelles ils appartenaient. Aujourd'hui les choses ne sont plus les mêmes, car la précession a fait *rétrograder* ces deux points et les a transportés, le premier dans la Constellation des Poissons,

le second dans celle de la Vierge. Il aurait fallu, par conséquent, changer aussi les *signes* qui les représentent. Mais cela n'a pas été fait; et les *signes* du Zodiaque sont devenus tout à fait distincts des *Constellations* qu'ils sont censés indiquer. Ces signes passeront d'ailleurs d'une Constellation à l'autre, à mesure que les Équinoxes se déplaceront. Et comme leur mouvement s'effectue en sens inverse de la marche annuelle du Soleil dans le plan de l'Écliptique, on est convenu de caractériser ce mouvement par le mot *rétrograde*, que l'on applique également à tous les mouvements dirigés de l'*Orient* vers l'*Occident*, pour conserver le nom de *mouvements directs* à ceux qui s'effectuent, au contraire, de l'*Occident* vers l'*Orient*.

130. **Application de la précession à la chronologie.** — Le phénomène de la précession m'amène, tout naturellement, à rappeler ici les vives controverses, concernant l'ancienneté des civilisations humaines et de quelques monuments égyptiens, auxquelles, vers la fin du siècle dernier, donnèrent lieu certaines théories sur l'origine des signes du Zodiaque, sur les positions que ces signes devaient avoir occupées autrefois par rapport à l'Équinoxe, et sur l'interprétation des hiéroglyphes qui les représentaient. Ainsi considérée, la précession pourrait offrir à l'histoire de curieuses et intéressantes applications. Car s'il était vrai, comme le pensent quelques auteurs, Dupuis entre autres, que diverses allégories, empruntées soit à la Sphère céleste, soit au débordement du Nil, dussent faire remonter l'invention du Zodiaque à 15 mille ans environ, et conduire à en attribuer la première idée aux Égyptiens, les positions successives de l'Équinoxe seraient de nature à nous éclairer sur l'âge des fictions mythologiques, ou de constructions et de ruines antérieures aux traditions.

Age probable du Zodiaque. — Mais, jusqu'à présent, on doit le reconnaître, aucun monument authentique n'est venu donner à des présomptions de très-haute antiquité, le cachet d'une irrécusable évidence. L'Équinoxe que Dupuis a *cru* voir en certains points du Zodiaque, pourrait être l'Équinoxe d'automne, tout aussi bien que l'Équinoxe de printemps; et, dès lors, au lieu de remonter à 15 mille ans, c'est à deux ou trois mille ans seulement que remonterait l'origine des 12 Constellations, traversées annuellement par le Soleil.

131. Quant aux édifices égyptiens de Dendérah, de Karnac, de Philœ, d'Esné, etc., qui conservent encore des dessins hiéroglyphiques relatifs à la voûte céleste, et au Zodiaque en particulier, ils ne paraissent plus guère pouvoir être appelés à venir en aide aux idées de Dupuis, dès l'instant où, grâce principalement à la célèbre pierre de Rosette (1), Champollion a su lire, sur le premier de ces monuments, les noms des empereurs romains Auguste, Tibère, Claude, Néron, Domitien; celui d'Alexandre sur les temples de Karnac; celui de Cléopâtre sur l'obélisque de Philœ, etc.

Alphabet hiéroglyphique de Champollion. — L'on sait, en effet, que la pierre découverte lors des fouilles effectuées à Rosette, portait le texte grec d'une inscription hiéroglyphique, tracée, disait le texte, dans deux écritures (sacrée et vulgaire) des Égyptiens. On sait également avec quel succès, complétant, à l'aide de cette pierre et de quelques autres monuments, les ébauches de ses prédécesseurs (Young, Sylvestre de Sacy, de Quatremère, de Guignes, etc.), Champollion parvint à construire un alphabet fondé sur le principe : qu'à l'inverse des hiéroglyphes chinois, et, sauf quelques symboles particuliers, tels que la *fourmi* destinée à indiquer le *savoir*, le *nœud coulant* désignant *l'amour*, etc., qui nous ont été transmis par Horapollon, les hiéroglyphes égyptiens exprimaient généralement, non *des idées*, mais *des sons*; que ces sons étaient ceux de la lettre par laquelle, dans la langue copte, commençait le nom de l'objet représenté; que, par conséquent, les objets dont les noms commençaient par la même lettre, comme le seraient, dans notre langue, les mots *lion*, *léopard*, *lance*, *levier*, etc., étaient

(1) Cette pierre, donnée d'abord à l'Institut du Caire par l'officier du génie (M. Boussard) qui dirigeait les fouilles en 1799, fut enlevée par les Anglais et transportée au Musée de Londres, après que les Français eurent quitté l'Égypte; mais nous en avons des dessins et de nombreux moulages.

homophones, c'est-à-dire, exprimaient le même son, celui de leur lettre initiale; que les signes enfermés dans des encadrements elliptiques appartenaient à des noms propres, etc. De telle sorte, par exemple, que, pour écrire en français le mot *arbre* à l'aide du système hiéroglyphique égyptien, il suffirait de dessiner un *aigle*, une *roue*, un *bateau*, un *renard* et une *étoile*, ou bien un *arrosoir*, un *râteau*, un *berceau*, un *rossignol*, un *éléphant*, etc.; et que pour écrire le nom propre *César*, on enfermerait, dans des contours elliptiques, un *cheval*, une *écrevisse*, un *serpent*, un *agneau*, un *renard*, ou tout autre assemblage d'objets dont les noms commenceraient respectivement par les lettres *c..*, *e..*, *s...*, *a..*, *r*.

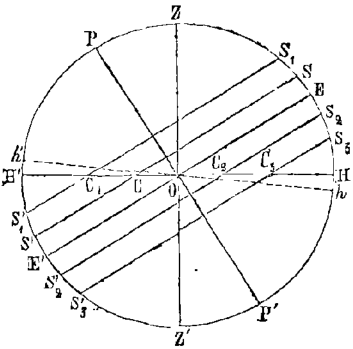
Telle est l'ingénieuse méthode, par laquelle s'est trouvée réduite à des proportions plus modestes, cette prodigieuse ancienneté qu'on avait cru pouvoir attribuer d'abord à quelques monuments égyptiens, d'après leur relation supposée avec certains détails de la grande période astronomique dont nous venons d'étudier les lois. On a dit, il est vrai, en s'appuyant sur d'autres indices, que la flatterie n'avait pas été, sans doute, étrangère aux inscriptions découvertes à Philœ, à Karnac, à Denderah, etc., et que ces inscriptions étaient venues, *après coup*, usurper des places primitivement destinées à d'autres symboles. Mais, quelque bien disposé que l'on soit à faire une large part aux interprétations, il ne semble pas possible d'attribuer, d'après la marche des Équinoxes, plus de 4 ou 5 mille ans d'existence aux antiquités de l'Égypte; et le phénomène de la précession, loin de servir aujourd'hui à leur assigner une date excessivement reculée, semblerait tendre, au contraire, jusqu'à présent, à confirmer les traditions relatives à l'origine récente de l'homme (1). Seule-

(1) La mâchoire humaine, trouvée récemment (1863) par M. Boucher de Perthes dans le Diluvium d'Abbeville, et quelques autres découvertes analogues, sont venues de nouveau soulever la question d'antiquité. Chacun ayant pu suivre dans les publications périodiques les détails de la discussion, je n'insiste pas sur le développement des motifs du pour et du contre, mis en avant par les partisans des deux opinions.

ment, si l'on rapproche entre eux les Zodiaques de diver temples égyptiens, on peut conclure qu'en réalité, la précession des Équinoxes a dû être remarquée plusieurs siècles avant Hipparque. Mais, sur les bords du Nil, les prêtres s'entouraient de tant de mystères, que leurs connaissances astronomiques sont restées à peu près stériles; et, par conséquent, il est permis d'attribuer, sans injustice, la découverte à celui qui, le premier, l'a retirée, par des méthodes véritablement scientifiques, du vague ténébreux dans lequel jusqu'alors elle était demeurée enfouie.

132. **Inégalité des jours et des nuits, en un même lieu, suivant les saisons.** — Le mouvement annuel qui fait changer périodiquement les déclinaisons du Soleil, est aussi la cause des variations qu'éprouvent les durées des jours et des nuits. Pour étudier ce phénomène, supposez l'observateur placé à un certain point O (*fig.* 84) de la surface terrestre; et soient PZP'Z' le plan méridien du lieu, OZ la verticale, PP' la ligne des Pôles, enfin HH', EE', les traces de l'horizon et de l'Équateur, sur le Méridien.

Fig. 84.



Du jour au lendemain, le Soleil s'éloigne ou se rapproche très-peu du Pôle. Nous pourrons, par conséquent, sans erreur sensible, supposer que, dans son mouvement diurne, il décrit, pendant la durée d'un jour solaire, des parallèles SS', S_1S_1', etc., à l'Équateur. Or, quand ses déclinaisons vers le Pôle P vont en augmentant, les portions de parallèles, projetées en SC, S_1C_1, etc., qui correspondent au jour, augmentent également; tandis que celles CS', C_1S_1', etc., parcourues pendant la nuit, diminuent au contraire. Le jour sera donc à son maximum, lorsque le

Soleil se trouvera le plus loin possible de l'Équateur, dans le sens du Pôle visible au-dessus de l'horizon, c'est-à-dire à l'un des *Solstices*, etc.

Si les déclinaisons du Soleil sont comptées vers le Pôle invisible P', si elles sont australes, par exemple, les portions de parallèles C_2S_2, C_3S_3 seront plus petites, pour les habitants de l'Europe, que celles projetées en C_2S_2', C_3S_3'; et les jours se trouveront plus courts que les nuits. Celles-ci atteindront leur maximum lorsque la déclinaison australe ES_3 du Soleil, aura acquis elle-même sa valeur la plus considérable, ou quand le Soleil arrivera au second Solstice.

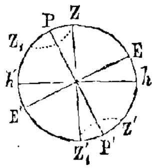
133. **Antipodes.** — Il est d'ailleurs évident que, pour les habitants de la Terre, *Antipodes* du point O, c'est-à-dire pour ceux qui voient la portion HZ'H' du Ciel, les phénomènes sont inverses; que les plus longs jours des uns correspondent aux plus longues nuits des autres, et les jours les plus courts aux plus courtes nuits; que les saisons, en un mot, sont renversées, le printemps et l'été des premiers ayant lieu en même temps que l'automne et l'hiver des seconds.

134. **Jours des Equinoxes.** — Aux époques des Équinoxes, le Soleil est dans l'Equateur, qui se trouve coupé en deux parties égales par l'horizon HH', comme il le serait d'ailleurs par tout autre horizon *hh'* faisant un angle quelconque avec HH'. Donc alors les jours sont égaux aux nuits, et le sont non-seulement pour l'observateur O, mais pour un observateur quelconque placé à la surface de la Terre.

135. **Inégalités des jours et des nuits dans chaque saison, aux différents points de la surface terrestre. — Jours polaires.** — Il y a cependant une double exception à la généralité de cette règle. Nous avons eu déjà l'occasion de remarquer, et nous nous convaincrons, en effet, plus tard, que la Terre est à peu près ronde, que ses dimensions sont, en outre, inappréciables relativement aux distances célestes, et que, par conséquent, les horizons *sensibles* des divers lieux peuvent être confondus avec les horizons rationnels (nº 105). Supposez donc que PEP'E' (*fig.* 85) représente le contour du Globe terrestre dans le sens d'un cercle horaire

quelconque. Il est évident que l'Équateur EE' sera l'horizon *rationnel* des deux Pôles P et P' ; d'où il résulte que, quand le Soleil, dans son mouvement diurne, décrira l'Équateur, les habitants (s'il en existe), de chacun des Pôles, auront la moitié du disque lumineux au-dessus de leur horizon, et seront éclairés directement, non pendant 12 heures, comme les autres habitants de la Terre, mais pendant le jour tout entier. Seulement, dès que la déclinaison du Soleil sera devenue assez australe ou assez boréale pour que les contours extrêmes de l'Astre aient eux-mêmes dépassé l'Équateur, le Pôle de nom contraire à la déclinaison cessera de voir le Soleil, tandis que celui de même nom le verra tourner autour de la verticale, et s'élever graduellement, par une sorte de spirale, jusqu'au moment du Solstice, puis redescendre pour disparaître lors de l'Equinoxe, et se montrer sur l'horizon du Pôle opposé.

Fig. 85.

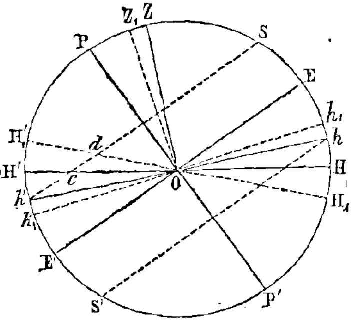


Chacun des Pôles aura donc, alternativement, des jours et des nuits durant d'un Équinoxe à l'autre, c'est-à-dire environ six mois; et les plus grandes hauteurs du Soleil, aux époques des Solstices, ne dépasseront pas l'obliquité de l'Ecliptique, mesurée, nous l'avons vu, par les déclinaisons *maxima* (ES_1, ES_3) (*fig.* 84), sensiblement égales à 23°.27',5.

136. **Sphère parallèle, perpendiculaire, et oblique.** — Entre l'Équateur et les Pôles, les horizons sont plus ou moins inclinés sur l'axe du Monde. Aussi, tandis que le mouvement diurne s'effectue parallèlement à l'horizon des Pôles, et perpendiculairement à l'horizon pour les habitants de l'Équateur, le même mouvement s'effectuera-t-il d'une manière oblique à tous les autres horizons. On a caractérisé cette triple catégorie en disant que vous avez la sphère *parallèle*, la sphère *perpendiculaire* ou la sphère *oblique*, suivant la région de la Terre où vous vous trouvez.

Cercles polaires. — Leurs jours. — Dans le cas le plus habituel, celui de la sphère oblique, une certaine position mérite spécialement d'être remarquée ; c'est la position dont l'horizon hh' (*fig*. 86) fait avec l'Équateur un angle égal à l'obliquité de l'Écliptique, et dont la verticale OZ fait évidemment le même angle avec l'axe du Monde. Pour les habitants de la Terre ainsi placés, pour tous ceux, par conséquent, qui vivent sur le contour des cercles ZZ_1, $Z'Z_1'$, de la *fig*. 85, situés à 23°.27',5 des Pôles, et qu'on appelle *cercles polaires*, les parallèles Sh', $S'h$ (*fig*. 86) décrits aux époques des Solstices, se trouvent, en entier, soit au-dessus, soit au-dessous de hh'. Il y aura donc, alternativement, un jour et une nuit de 24 heures.

Fig. 86.



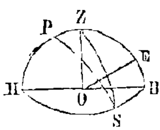
137. **Jours des lieux situés entre les Pôles et les cercles polaires.** — Du cercle polaire au Pôle, le zénith Z_1 se rapprochant de P, l'horizon h_1h_1' s'écarte, dans sa partie inférieure h_1', du point le plus bas h' de la course diurne du Soleil. Tant que la déclinaison $E'h'$ n'aura pas diminué de la quantité $h'h_1'$, le Soleil, par conséquent, ne se couchera pas pour l'horizon h_1h_1'; et le jour durera plus ou moins longtemps, depuis 24 heures jusqu'à 6 mois, suivant la position du zénith Z_1, entre Z et P, ou celle de l'horizon h_1h_1' entre les horizons hh', EE', du cercle polaire et du Pôle.

138. **Jours des lieux situés entre les cercles polaires et l'Équateur.** — Depuis les cercles polaires jusqu'à l'Équateur, les horizons HH', H_1H_1', etc., coupent toujours les parallèles diurnes du Soleil. Il y a donc, constamment, pour les contrées ainsi placées, des alternatives journalières de lumière et d'obscurité. Mais on doit remarquer encore qu'à mesure que l'horizon se rapproche de PP', ou que le zénith se

rapproché de l'Équateur, les portions Sc et ch', Sd et dh', etc., d'un parallèle quelconque, tendent de plus en plus à devenir égales. Donc, aux mêmes époques de l'année, suivant le sens de la déclinaison du Soleil, les durées des jours et des nuits iront en augmentant ou en diminuant d'une manière progressive, à partir de l'Équateur, où ces durées sont constamment égales puisque l'horizon PP' partage identiquement tous les parallèles, jusqu'aux cercles polaires où, d'un Solstice à l'autre, abstraction faite du diamètre solaire, le jour et la nuit diffèrent de 24 heures. Ainsi, pour nous, habitants de l'Europe, tant que la déclinaison du Soleil est boréale, c'est-à-dire du 21 mars au 21 septembre environ, les jours sont plus longs et les nuits sont plus courtes dans les climats du Nord que dans ceux du Midi ; tandis que le contraire a lieu du 21 septembre au 21 mars, quand le Soleil a des déclinaisons australes. Il est d'ailleurs évident que sur l'hémisphère *sud* de la Terre, les mêmes phénomènes doivent avoir lieu, mais dans un ordre inverse : le printemps de cet hémisphère correspondant à notre automne, et notre hiver à son été (1).

(1) L'on peut calculer aisément la durée du jour pour un lieu quelconque et à une époque quelconque de l'année, de la manière suivante.

Fig 87.



Soient (*fig.* 87) Z le zénith d'un observateur, P le Pôle, HPZH' le Méridien, S le Soleil à l'horizon HSH'. Désignez par D la déclinaison de cet Astre, donnée pour chaque jour de l'année dans ce qu'on nomme les Éphémérides astronomiques (Connaissance des temps, nautical Almanach, Éphémérides de Berlin, etc.), par L la *latitude* du lieu, c'est-à-dire l'angle compris entre la verticale OZ et l'Équateur OE, le triangle sphérique PZS donnera

$$(\cos ZS = \cos 90^\circ = 0) = \cos PZ \cos PS + \sin PZ \sin PS \cos ZPS.$$

D'où l'on tire

$$\cos ZPS = -\operatorname{cotang} PZ \operatorname{cotang} PS = -\operatorname{tang} L.\ \operatorname{tang} D,$$

puisque PZ et PS sont les compléments de la latitude et de la déclinaison.

Cette formule qui s'appliquerait, d'ailleurs, identiquement, à un Astre quelconque de déclinaison D, donne l'*angle horaire* ZPS compris entre le Méridien et le Cercle horaire PS, passant par le Soleil à l'horizon.

139. **Zones torride, glaciales et tempérées.** — Le Soleil passe alternativement d'un tropique à l'autre (n° 120). Tous les lieux de la Terre dont les verticales feront avec l'Équateur des angles compris entre zéro et les déclinaisons solsticiales (22°27′,5), verront donc chacun, deux fois par an, le Soleil à leur zénith. Ces lieux sont compris entre deux plans menés à 23°27′,5 nord et sud de l'Équateur terrestre, et forment à la surface du Globe une zone de 46°55′ de largeur, appelée *zone torride*. Par opposition, on a dû nommer *zones glaciales* celles qui s'étendent de chacun des cercles polaires aux Pôles; et dès lors, les zones intermédiaires ont pris tout naturellement, à leur tour, pour les géographes, la qualification de *zones tempérées*.

140. **Climats d'heures.** — Voilà, par conséquent, *cinq* divisions qui correspondent à des particularités astronomiques nettement déterminées. Mais on ne se borne pas, généralement, dans les études de physique terrestre à ces divisions trop peu nombreuses; et l'on partage, d'habitude, chacun des deux intervalles qui s'étendent de l'Équateur aux cercles polaires, en 24 tranches ou *climats* dont les largeurs sont déterminées par cette condition que, du premier au second bord d'un climat quelconque, la durée du jour le plus long varie de demi-heure. Ce qui, pour les 24 climats, donne, en effet, la différence de 12 heures, signalée plus haut, entre la durée du jour solsticial à l'Équateur et aux cercles polaires.

141. **Climats du mois.** — On divise aussi quelquefois, chacune des zones glaciales en six parties, que l'on appelle *climats du mois*, pour les distinguer des vingt-quatre climats

Réduit en temps, à raison de 15° par heure de temps sidéral pour les Étoiles et de temps solaire pour le Soleil, l'angle ZPS qu'on appelle *semi-diurne* fournit la durée du demi-jour, c'est-à-dire l'intervalle qui sépare l'instant du passage au Méridien de ceux du lever et du coucher. — Nous verrons plus tard comment, dans le calcul précédent, on pourrait tenir compte des effets produits par l'atmosphère qui altère un peu les résultats.

précédents auxquels on donne le nom de *climats d'heures*. Les largeurs de ces nouveaux climats sont déterminées par une condition analogue à celle qui détermine les largeurs des premiers ; par la condition que, d'un bord du climat à l'autre, le plus long jour diffère, non d'une demi-heure, mais d'un mois, les six différences réunies formant la différence totale de six mois entre la durée du jour au Pôle et la durée de 24 heures seulement qu'a le jour maximum au cercle polaire. Je n'ai pas besoin de faire remarquer, sans doute, que la variation périodique de l'obliquité du plan de l'Écliptique déplace lentement les tropiques et les cercles polaires à la surface du Globe, et produit, à *la longue*, quelques légers changements dans les phénomènes que nous venons d'analyser (1).

142. **Phénomènes cosmiques, acroniques et héliaques.** — En parlant des jours solaires, n'oublions pas de définir quelques expressions, *cosmique, acronique*, et *héliaque*, assez souvent employées. La première s'applique aux phénomènes qui se produisent au moment même où le Soleil se lève ; la seconde à ceux qui coïncident avec l'instant précis du coucher de cet Astre ; la troisième enfin aux phénomènes, et, en particulier, aux levers et aux couchers des corps célestes qui ont lieu une heure environ soit *avant* le lever, soit *après* le coucher du Soleil. On fit autrefois, en Egypte, un fréquent usage des levers *héliaques*, de celui de *Sirius* entre autres, qui avait lieu vers le 12 juillet, à l'époque où les vents d'été soufflant

(1) Pour calculer la largeur des climats d'heures (abstraction faite de l'influence de l'atmosphère, que nous étudierons plus tard), vous n'avez qu'à reprendre la formule déjà employée (note du n° 138, *fig.* 87), $\cos ZPS = -\tang L \tang D$, d'où vous tirez $\tang L = -\frac{\cos ZPS}{\tang D}$.

Faites successivement, dans cette formule, ZPS $= 90°$ ou 6 heures ; $93°.45'$ ou $6^h\,1/4$; $97°.30'$ ou $6^h\,1/2$; $101°.15'$ ou $6^h\,3/4$; $105°$ ou 7^h ;..... $180°$ ou 12^h ; vous trouverez (avec la déclinaison solsticiale $D = 23°.27'.30''$) les valeurs successives de L correspondant aux 24 climats d'heures, depuis $L = 0$ jusqu'à $L = 66°.32'.30''$. Voici ces valeurs, ou plutôt les latitudes extrêmes qui terminent chacun des climats ; le premier partant de la latitude zéro qui correspond à ZPS $= 90°$ et finissant du Nord sur l'Éthiopie, entassent les nuages aux sources du Nil et causent les pluies abondantes auxquelles est dû le débordement du fleuve. Généralement, c'est lorsque le Soleil

à la latitude fournie par ZPS $= 6^h \, 1/4$, auquel cas le jour entier égal à deux fois ZPS sera de $12^h \, 1/2$, etc.

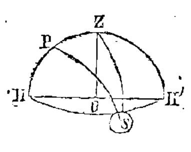
Climats de jour.	Latitudes extrêmes.	Climats de jour.	Latitudes extrêmes.
1.........	8°34′15″	13.........	60°00′20″
2.........	16.44.30.	14.........	61.19.20.
3.........	24.12.15.	15.........	62.26.20.
4.........	30.48.45.	16.........	63.23.10.
5.........	36.31.40.	17.........	64.10.50.
6.........	41.24.30.	18.........	64.50.25.
7.........	45.32.40.	19.........	65.22.30.
8.........	49.02.45.	20.........	65.48.30.
9.........	52.00.25.	21.........	66.08.00.
10.........	54.31.00.	22.........	66.21.40.
11.........	56.38.55.	23.........	66.29.50.
12.........	58.27.45.	24.........	66.32.30.

Quant aux climats de mois, ils s'obtiendront tout simplement par l'inspection des déclinaisons du Soleil, de mois en mois, dans les éphémérides astronomiques. La diminution $h'h_1'$ (*fig.* 86), de déclinaison du Soleil en 15 jours à partir du Solstice, donnera l'augmentation ZZ^1 de latitude, à partir du Cercle polaire, qui produira sur la durée du plus long jour un mois de différence, (soit $1/2$ mois pendant les déclinaisons croissantes ou avant le Solstice, et $1/2$ mois après le Solstice, pendant les déclinaisons décroissantes). On trouvera de la sorte :

Climats de mois.	Latitudes extrêmes.	Climats de mois.	Latitudes extrêmes.
1............	67°22′	4............	77°43′
2............	69.40.	5............	83.13.
3............	73.05.	6............	90.00.

Les résultats précédents se rapportent au centre du Soleil. Or le diamètre de cet Astre étant d'environ 32′ ; quand son bord supérieur est à l'horizon, c'est-à-dire, quand le jour *géométrique* commence ou finit, son centre auquel se rapporte la déclinaison solsticiale est abaissé de 16′. L'équation à employer serait donc, à la rigueur (*fig.* 88),

Fig. 88.

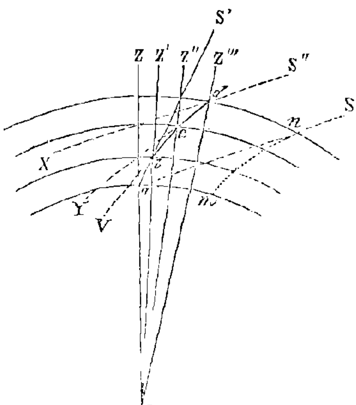


$$[\cos ZS = \cos(90°.16') = -\sin 16']$$
$$= \cos ZP . \cos PS + \sin ZP . \sin PS . \cos ZPS$$
$$= \sin L . \sin D + \cos L . \cos D . \cos ZPS,$$

dans laquelle on pourrait faire croître les latitudes de 10′ en 10′ et est à 10 ou 12 degrés au-dessous de l'horizon, que les belles Étoiles commencent à paraître. Aussi, quand le coucher héliaque de Sirius avait eu lieu, c'est-à-dire quand l'Étoile plongée dans les rayons solaires cessait d'être distinguée le soir, les Égyptiens surveillaient-ils avec soin, pour quitter les plaines et se réfugier sur les hauteurs, l'époque où par suite du mouvement qui emporte le Soleil vers l'Orient, elle se dégageait le matin de l'auréole de lumière dont l'éclat, chaque année, la fait momentanément disparaître.

143. **Modifications apportées dans les résultats par les réfractions atmosphériques** — Je n'insiste pas plus longuement sur ces détails. Je dois ajouter néanmoins que les résultats géométriques dont nous venons d'étudier les particularités les plus saillantes, sont notablement modifiés par l'atmosphère, qui nous entoure en décroissant graduellement de densité jusqu'à une hauteur de 15 à 16 lieues environ. Ainsi, par exemple, quand du point a de la surface terrestre

Fig 89.



(*fig*. 89), nous voyons le Soleil ou tout autre Astre en S', à la distance zénithale angulaire ZaS', c'est au point S, à la distance zénithale ZaS, que l'Astre se trouve réellement. L'atmosphère

calculer les valeurs correspondantes des angles ZPS. On prendrait alors, pour largeur des climats, les zones comprises entre les deux latitudes qui donnent des variations d'un quart d'heure dans les angles semi-diurnes ZPS. Une méthode analogue s'appliquerait aux climats de mois. Nous allons voir, dans un instant, qu'elle s'appliquerait aussi aux effets de l'atmosphère.

rapproche donc les corps célestes, du zénith, puisqu'elle diminue leur distance zénithale vraie ZaS de l'angle SaS' que l'on nomme l'angle de réfraction atmosphérique, ou plus simplement, la *réfraction*, et qui varie, suivant certaines lois aujourd'hui bien connues, avec la distance zénithale *apparente* ZaS'.

144. — Pour comprendre comment a lieu ce phénomène, imaginez un rayon ou plutôt un faisceau lumineux $S''d$, tombant au point d, sur la dernière couche de l'atmosphère. Ce faisceau, passant du vide dans un *milieu*, se rapprochera (nº 28) de la normale OZ''' et, quittant la direction $S''dX$ qu'il suivait primitivement, prendra la direction dc. Arrivé au point c pour pénétrer dans la seconde couche plus dense que la première, il se rapprochera, cette fois encore, de la normale OZ'', abandonnera la direction dcY, dans laquelle il marchait en venant de d vers c, et se réfractera suivant cb. Bientôt, rencontrant une nouvelle couche dont la densité surpasse celle des couches précédentes, il changera sa marche cbV, pour arriver enfin au point a, dans la direction ba. C'est donc sur le prolongement aS' du choc lumineux ba, par lequel la sensation est transmise à l'œil, que l'observateur a croira l'Astre situé. Il l'eût vu dans la direction aS, par l'intermédiaire du faisceau Sn parallèle à $S''d$, si l'atmosphère eût permis à ce faisceau de parcourir na, continuation rectiligne de Sn, au lieu de le faire aboutir en un certain point m, où sa lumière est perdue pour l'observateur a.

Bien que fondé sur la considération de trois couches seulement, le raisonnement qui précède s'appliquerait aisément, on peut le reconnaître sans peine, à un nombre quelconque de couches (1). On peut reconnaître aussi, qu'il s'appliquerait même au cas où, par suite des agitations continuelles de l'atmosphère, quelques-unes de ces couches auraient des irrégularités de forme ou de densité. La courbe décrite par la lumière présenterait alors, à son tour, des sinuosités qui

(1) Voir à la fin de la 9e leçon, la note 3e, sur les lois de la réfraction atmosphérique.

modifieraient sa convexité primitive, et pourraient aussi produire de légères déviations par rapport au plan vertical dans lequel s'opère généralement la réfraction. Mais le résultat définitif serait toujours une diminution de la distance zénithale *vraie*; diminution produite par l'excès de densité moyenne de l'atmosphère sur le vide des espaces célestes, et, malgré les sinuosités accidentelles dues aux mouvements de l'air, calculable (la diminution) avec une précision presque mathématique, à l'aide des tables de réfraction que les Astronomes sont, aujourd'hui, parvenus à construire (1).

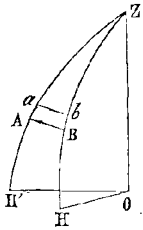
145. **Effets produits sur le mouvement diurne, et sur les diamètres.** — En consultant ces tables, pour voir comment varient les effets de la réfraction, l'on trouvera qu'au zénith la déviation produite est nulle; qu'à l'horizon elle est un peu incertaine et, moyennement, égale à 33'.30"; qu'elle augmente graduellement, mais non proportionnellement, entre ces deux points; enfin qu'elle varie légèrement avec la température et la pression barométrique de l'atmosphère, diminuant quand la température s'élève, et grandissant au contraire quand la hauteur du baromètre vient à augmenter. D'où il est facile de conclure que les Astres doivent paraître ne pas décrire exactement des parallèles dans leur mouvement diurne, puisque les positions qu'ils occupent réellement sont plus ou moins altérées, suivant que les distances zénithales sont, elles-mêmes, plus ou moins considérables. D'où l'on peut conclure également que les Astres dont le diamètre est appréciable, que le Soleil et la Lune principalement, doivent nous paraître ovales; car les bords inférieurs, moins près du zénith, subissent des réfractions plus fortes et se trouvent, par conséquent, rapprochés des bords supérieurs, de quantités égales aux différences des deux effets produits.

Ces différences représentent l'accourcissement des dimensions verticales. Elles sont d'autant plus grandes que les Astres se trouvent plus bas. Pour le Soleil et pour la Lune

(1) Voir la note 4e sur la construction des Tables de réfraction atmosphérique, à la fin de la 9e Leçon.

à l'horizon, elles dépassent même quatre minutes, c'est-à-dire la huitième partie du diamètre, dans les sections voisines du centre. Quant au diamètre horizontal AB (*fig.* 90), quoique devenant *ab* pour l'observateur O, par suite de la réfraction qui l'élève de A*a* ou de B*b* entre les deux arcs verticaux ZH, ZH', il n'éprouve qu'une diminution insensible et toujours à très-peu près la même (demi-seconde environ), soit à l'horizon, soit au zénith, soit dans les positions intermédiaires. L'identité de résultats correspondant à des conditions de distance zénithale aussi variées, peut, au premier abord, paraître bizarre; mais on se l'explique aisément, quand on remarque la rapidité, de plus en plus grande, avec laquelle se rapprochent les arcs HZ, H'Z, à mesure qu'ils montent vers le zénith, c'est-à-dire à mesure que la réfraction diminue. Il n'est pas étonnant que des actions inverses l'une de l'autre, et s'exerçant sur des quantités d'ailleurs très-petites, produisent une compensation presque absolue (1).

Fig. 90.



146. **Effets produits, par la réfraction, sur les heures des levers et des couchers des Astres.** — La réfraction nous fait voir les Astres à l'horizon quand ils sont, en réalité, à 33'.30" au-dessous de ce plan. Elle accélère donc leur lever et retarde leur coucher de quantités qui varient, au reste, avec les climats et, pour le Soleil, d'une saison à l'autre. On conçoit, en effet, que suivant l'obliquité de la sphère céleste, suivant aussi la grandeur du parallèle décrit, un Astre emploiera plus ou moins de temps à se déplacer de 33'.30", dans le sens vertical. Aux Pôles, par exemple, où la sphère est *parallèle* et où le Soleil ne monte et ne descend qu'en changeant de déclinaison, la durée du jour est augmentée de 7 heures 11 minutes environ, parce que, le 21 mars et le 24 septembre, la déclinaison du Soleil pour varier en arc de 33'.30", exige 3^h35^m5 de temps. A l'Équateur, au contraire, le mouve-

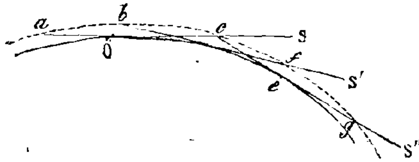
(1) Voir la note 5e, à la fin de la 9e Leçon.

ment diurne étant *perpendiculaire* sur l'horizon, le Soleil s'élève et s'abaisse rapidement. Aussi les deux effets réunis du matin et du soir atteignent-ils à peine 4 minutes $^1/_2$ à l'époque des Équinoxes, et 5 minutes à celle des Solstices. Vers les cercles polaires, c'est près de deux heures (1^h46^m) au Solstice d'hiver; c'est 13 à 14 minutes seulement, lors des Équinoxes, que la présence de l'atmosphère ajoute au temps pendant lequel on voit le Soleil. Enfin, dans les climats intermédiaires, à Toulouse, à Paris, etc., nous n'obtenons plus, de la réfraction horizontale, qu'un supplément d'illumination *directe* de 6 à 8 minutes, suivant les saisons.

147. **Crépuscules.** — Toutefois, en disparaissant à l'horizon, le Soleil ne cesse pas brusquement d'éclairer l'observateur. Et de même aussi, lors de son lever, l'Astre radieux se trouve, assez longtemps d'avance, annoncé par de la lumière. C'est, il est vrai, d'une manière détournée que celle-ci nous arrive, comme la lumière qu'on reçoit à l'ombre pendant le jour. Mais, quoique secondaires, les phénomènes produits sont très-remarquables, et la cause qui les occasionne mérite grandement d'être étudiée ; car, par elle, nous voyons l'éclat des divers objets qui nous environnent croître peu à peu le matin, ou s'affaiblir graduellement, le soir, avant de s'éteindre.

Lorsque le Soleil est un peu au-dessous de OS (*fig.* 91),

Fig. 91.



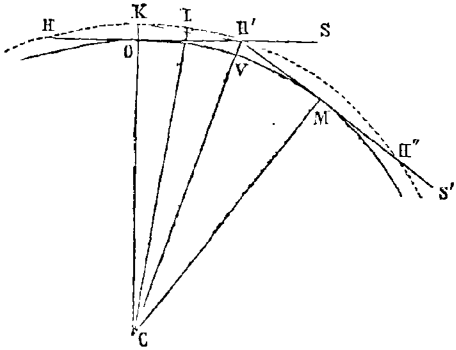
les rayons qu'il envoie vers le point O, sont interceptés par le contour de la Terre. Au contraire, la calotte atmosphérique *abc* reçoit encore une quantité considérable de lumière ; et chacune des particules d'air qui la constituent, devient lumineuse à son tour. L'ensemble de ces particules rayonnant dans tous les sens, doit donc éclairer assez vivement le point O. Tels sont les phénomènes auxquels on a donné le nom général de phénomènes *crépusculaires*. On les désigne cependant aussi, quelquefois, par les mots d'*aurore* et de *brune*, suivant qu'il s'agit du crépuscule du matin ou de celui du soir.

A mesure que le Soleil, après son coucher, s'éloigne de l'horizon, la portion de calotte crépusculaire qui éclaire le point O, va, elle-même, en diminuant. Elle se réduit à *bc*, par exemple, quand le Soleil arrive en S'; et quand cet Astre est descendu en S'', la zone illuminée *cfg* se trouve tout entière au-dessous de l'horizon *ac* du point O. On dit alors que, pour l'observateur O, la nuit est *close* et que le crépuscule est terminé. La calotte crépusculaire *cfg*, qui a succédé à la première, envoie néanmoins encore un peu de lumière vers celle-ci, et donne naissance à un nouveau crépuscule extrêmement affaibli, dont la vague clarté laisse toujours planer un peu de doute sur le moment précis où finit le premier. La densité de l'air, si fortement influencée par l'humidité, par les vents, par les saisons, par les différences elles-mêmes entre la température du matin et celle du soir, etc., doit d'ailleurs contribuer puissamment à rendre les observations incertaines. Aussi les Astronomes qui ont voulu étudier la durée des crépuscules ont-ils beaucoup différé dans leurs appréciations. Pour Tycho-Brahé, par exemple, le Soleil est à 24 degrés au-dessous de l'horizon, lorsque le crépuscule commence ou cesse; pour Nonius, l'abaissement n'est que de 18 degrés; pour Cassini, 15 degrés, etc. (1). Entre ces évaluations si diverses, dues à des Astronomes d'une grande valeur, il paraît difficile de faire un choix. On admet cependant, assez habituellement, aujourd'hui, celle de 18 degrés;

(1) On conclura sans difficulté l'abaissement crépusculaire HS (*fig.* 92) du Soleil, par la formule [$\cos ZS = \cos(90^o + HS) = -\sin HS$] $= \cos PZ \cos PS + \sin PZ \sin PS \cos ZPS = \sin L \sin D + \cos L \cos D \cos P$, P étant l'angle horaire ZPS compris entre le Méridien et le Cercle horaire du Soleil, au commencement ou à la fin du crépuscule. Si l'on

et l'on en déduit de la manière suivante la hauteur de l'atmosphère :

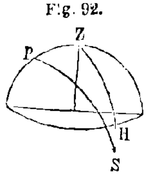
Fig. 93.



148. Hauteur de l'atmosphère, déduite des phénomènes crépusculaires. — Soient C (*fig.* 93) le centre de la Terre, HH' l'horizon de l'observateur placé au point O, SH'S' l'angle

détermine cet angle par observation, c'est-à-dire, si l'on détermine l'heure du commencement ou de la fin du crépuscule, celle où le Soleil passe au Méridien (midi vrai) étant connue, ainsi que la déclinaison D de cet Astre, la formule donnera la valeur de SH.

Fig. 92.



La même formule donnerait les effets produits par la réfraction sur la durée du jour. Car en substituant à SH la valeur 33′ 30″ de la réfraction horizontale, on aurait l'angle horaire P′ correspondant à l'instant réel du lever ou du coucher du Soleil, par l'équation

$$-\sin(33'.30'') = \sin L.\sin D + \cos L.\cos D.\cos P'$$

d'où
$$\cos P' = -\frac{\sin(33'\,30'')}{\cos L.\cos D} - \operatorname{tang} L.\operatorname{tang} D.$$

On calculerait ensuite l'angle P″ correspondant au cas où la réfraction horizontale serait nulle, c'est-à-dire, où l'atmosphère n'existerait pas, par l'équation déjà employée,

$$(\cos 90^\circ = 0) = \sin L.\sin D + \cos L.\cos D.\cos P'',$$

qui donne $\cos P'' = -\operatorname{tang} L.\operatorname{tang} D$. La différence $P' - P''$ serait l'effet de la réfraction sur l'angle semi diurne.

de 18 degrés dont le Soleil est abaissé, au moment où finit le crépuscule. Il est évident que les deux horizons HH', H'H'', comprenant entre eux un angle de 18 degrés, les verticales OC, MC, qui leur correspondent, doivent aussi comprendre, entre elles, ce même angle ; car si, par un mouvement graduel, l'on amenait H'H'' à se confondre avec HH', la verticale CM viendrait se confondre incontestablement, à son tour, avec la verticale CO. L'angle OCH', moitié de l'angle OCM, vaut donc 9 degrés ; et dès lors, puisque l'angle COH' est un angle de 90 degrés, puisque d'ailleurs les trois angles d'un triangle valent exactement 180 degrés, le troisième angle OH'C du triangle H'CO sera lui-même égal à 81 degrés.

D'un autre côté, la ligne OC est égale au rayon de la Terre, que l'on connaît parfaitement aujourd'hui. Voilà donc plus de données qu'il n'est nécessaire d'en avoir, soit pour construire *à l'échelle*, sur le papier, un triangle parfaitement semblable au triangle H'CO, et pour déterminer, avec le compas, la longueur de CH' comparée à celle de CO, par conséquent aussi l'excès VH' de la première ligne sur la seconde ; soit pour calculer cet excès, à l'aide des tables dont j'ai déjà souvent parlé. En opérant par l'une ou par l'autre des deux méthodes précédentes, on trouverait la hauteur VH' de l'atmosphère égale à 81 kilomètres environ (1).

Par suite de quelles circonstances M. Liais a-t-il obtenu, dans ces derniers temps, vers l'Équateur, une hauteur de 400 kilomètres? Serait-ce la grande transparence de l'atmosphère des régions tropicales qui ne permettrait pas de distinguer le crépuscule réel du crépuscule secondaire, ou qui permettrait, au contraire, d'apercevoir de la lumière envoyée par

(1) Menez (*fig.* 93), H'K, OK et la perpendiculaire CI à H'K, vous aurez évidemment l'angle OH'K = OCI = 4°.30' ; et

$$OK = OH' \text{ tang}(4°.30').$$

Mais OH' = OC tang 9° = R tang 9°, R étant le rayon de la Terre. D'où la hauteur OK de l'atmosphère est donnée par :

$$OK = R \text{ tang } 9°. \text{ tang } (4°.30')$$

et, plus généralement, $OK = R \text{ tang } a. \text{ tang } \frac{1}{2} a$, a étant l'abaissement crépusculaire du Soleil.

des couches gazeuses tellement peu denses, que, sous notre ciel plus brumeux, il nous serait tout à fait impossible de la distinguer, et que nous croirions les crépuscules beaucoup plus courts qu'ils ne le sont en réalité? Malgré l'habileté reconnue de M. Liais, il me semble prudent, devant les autorités nombreuses qui jusqu'à présent ont adopté l'angle de 18 degrés, de conserver encore cette limite, jusqu'à ce que de nouvelles observations aient irrévocablement décidé la question.

149. — On conçoit, au reste, qu'il doive en être des crépuscules, comme des augmentations produites par l'atmosphère sur la longueur des jours, et que, suivant les saisons ou les climats, la durée de ces phénomènes soit très-différente. Pour le Pôle boréal, par exemple, où le jour commence le 21 mars et dure jusqu'au 21 septembre, l'aurore apparaît dès le 28 janvier, et le crépuscule du soir se termine seulement le 13 novembre. Pour le Pôle austral, c'est le 31 juillet que commence l'aurore, et le 11 mai que finit le crépuscule du soir. A l'Équateur, les crépuscules les plus longs, ceux des Solstices, ne dépassent pas une heure 17 minutes; et les plus courts, ceux des Équinoxes, ne sont inférieurs que de 7 minutes aux précédents. Vers les cercles polaires, les crépuscules durent, au Solstice d'hiver, $4^h. \frac{1}{2}$ et 3 heures seulement aux Équinoxes. A Paris, ils varient depuis le minimum d'une heure 47 minutes, correspondant aux nuits du 5 mars et du 8 octobre, jusqu'à un maximum de 4 heures (8 heures pour les deux réunis du matin et du soir) au Solstice d'été, époque où, sous ce climat, il n'y a pas de nuit close (1), puisque le jour y dure 16 heures 6 minutes. A Toulouse, les plus courts crépuscules, ceux du 5 mars et du 8 octobre, ne dépassent pas une heure 36 minutes; ceux du Solstice d'hiver n'atteignent qu'une durée de 106 minutes; enfin, ceux d'été durent jusqu'à 2 heures et demie, etc.

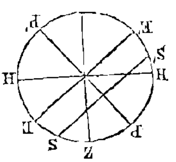
150. **Applications du calcul des crépuscules.** — D'après

(1) Quand, à minuit, le Soleil S' (*fig.* 94) n'est pas abaissé de 18 degrés, le crépuscule du matin commence avant que celui du

les quelques nombres que je viens de citer, il est facile de reconnaître que, dans une foule de questions, l'étude des crépuscules peut fournir des indications utiles. Au lieu d'être fixées, par exemple, d'une manière souvent ridicule, comme elles l'étaient, naguère encore, à Toulouse, où le trésor municipal prodiguait quelquefois, inutilement, la lumière, tandis qu'à d'autres moments il laissait les habitants entièrement plongés dans l'obscurité, n'est-ce pas sur la quantité plus ou moins considérable d'illumination atmosphérique, en l'absence du soleil, que devraient se trouver réglées les heures du commencement et de la fin de l'éclairage public ? Entre les assertions contradictoires d'un accusé qui défend son honneur ou sa vie, et celles de témoins qui prétendent avoir reconnu le malfaiteur, malgré les ténèbres, c'est souvent sur la longueur du crépuscule que le juge asseoit sa conviction. C'est sur cette même longueur que s'appuient également l'ingénieur, l'architecte, l'entrepreneur, désireux de régler, dans les grands ateliers, la durée du travail, par celle du jour. Le Rituel ecclésiastique, à son tour, emprunte à l'aurore quelques-unes de ses déterminations, etc. Aussi, invité, d'un côté, par l'Administration municipale de Toulouse, à fournir les éléments nécessaires pour la régularisation de l'éclairage public, questionné d'ailleurs fréquemment par des présidents de cours d'assises, par des membres du clergé, par des mai-

soir se termine. Or l'abaissement HS' ou $(ZS' - 90^\circ)$, ou $(ZP + PS' - 90^\circ)$ est égal à $[(90^\circ - L) + (90^\circ - D) - 90^\circ] = 90^\circ - (L + D)$; d'où si $90^\circ - (L + D)$ est plus petit que 18°, ou si $(90^\circ - 18 = 72)$ est plus petit que $L + D$, l'on n'a pas de nuit close. C'est précisément ce qui arrive à Paris lors du solstice d'été, d'après les valeurs

Fig. 94.



$$\begin{array}{l} L = 48^\circ.50' \\ D = 23^\circ.27' \\ \hline L + D = 72^\circ\,17' \text{ plus grand que } 72^\circ. \end{array}$$

A Toulouse, on aurait

$$\begin{array}{l} L = 43^\circ.37' \\ D = 23^\circ.27' \\ \hline L + D = 67^\circ.\ 4', \end{array}$$

quantité trop petite pour que les deux crépuscules se succèdent sans intermittence.

res, par des ingénieurs, etc., ai-je cru pouvoir consacrer, sans trop de regret, un temps assez considérable, à la construction d'une Table s'appliquant à tous les climats habités du Globe, et que j'ai publiée, avec quelques autres Tables relatives aux phénomènes dont nous venons de nous occuper, dans le tome Ier des *Annales de l'Observatoire de Toulouse.*

151. — Par l'intérêt qu'ils présentent à d'autres points de vue, les crépuscules justifiaient, au reste, d'avance, les détails que je viens de leur consacrer. Comme les autres apparences de la voûte étoilée, n'ont-ils pas, en effet, été la source des plus gracieuses créations, des plus poétiques images? Ne leur devons-nous pas, entre autres, et « cette Déessè aux doigts de rose » qui ouvre les portes de l'Orient, et ce char étincelant de rubis sur lequel s'avance l'Aurore, et ce trône d'or que la céleste Messagère prépare au Soleil, etc., etc. ? Et puis encore, ne font-ils pas rêver à ces confins de la vie où, redoublant de prévoyance, la nature semble prendre plus spécialement à tâche de graduer nos sensations, afin de les proportionner à notre faiblesse? Emblême à son début d'une faible espérance, le jour nous paraît d'abord poindre à peine. Nous le voyons grandir lentement ensuite, comme nos forces, et diminuer aussi, comme elles, après quelques heures d'éclat, pour s'éteindre, enfin, d'une manière insensible, comme s'éteignent ici-bas les plaisirs et les peines, comme s'éteint la vie.

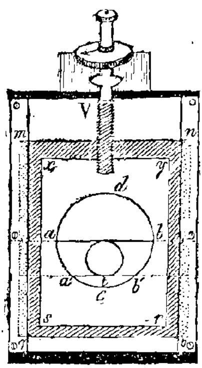
NOTES.

NOTE PREMIÈRE. — SUR LES MICROMÈTRES

152. — Les appareils appliqués, sous le nom de *micromètres* (*micros* petite, *métros* mesure), à la mesure des diamètres angulaires du Soleil et des autres corps célestes, furent imaginés d'abord, en 1659, par Huyghens qui plaçait, successivement, au foyer de sa lunette percée latéralement, des lames de différentes largeurs, pour arriver à cacher exactement l'astre (Soleil, Lune ou Planète), dont il voulait obtenir le diamètre angulaire. En comparant, à l'aide d'un compas très-fin, la largeur de la plaque employée, au diamètre de l'ouverture circulaire qui circonscrivait le champ de sa lunette et qu'il avait préalablement mesurée par le temps qu'une Étoile connue employait à la traverser, Huyghens obtenait le diamètre cherché.

Micromètre filaire d'Auzout. — Quelques années plus tard, en 1666, avant d'adapter au quart de cercle, de concert avec Picart, la lunette armée de son réticule à fils fixes, Auzout imagina le *micromètre à fils*, c'est-à-dire le micromètre ayant un fil fixe *ab* (*fig.* 95), et un autre fil *a'b'* porté par la plaque *mnpq rsxy* que la vis V à tête graduée fait glisser entre les rainures *np*, *mq*, de manière à éloigner ou à rapprocher le fil mobile *a'b'*, du fil fixe *ab*. La graduation de la vis permet évidemment de traduire en angles, les distances entre les fils (1).

Fig. 95.



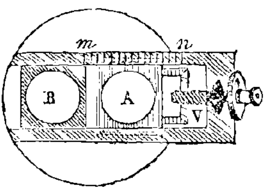
Ce micromètre offre de précieux avantages; mais, en permettant à l'observateur de ne pas perdre de vue, comme avec les plaques d'Huyghens, l'objet à mesurer, il a l'inconvénient, pour les objets un peu étendus, de n'amener la tangence en *t*, du fil mobile et de l'objet que vers le bord du champ *aa'cb'bd*, où les défauts de netteté se font plus particulièrement sentir. On est, en outre, exposé, bien qu'il soit facile de mesurer l'épaisseur angulaire des fils, à commettre des erreurs provenant de cette épaisseur, lorsque surtout on s'occupe d'objets

(1) Les deux fils *ab*, *a'b'*, sont noyés dans de petites entailles faites aux plaques qui les portent, de manière à affleurer exactement à chaque surface, et à pouvoir passer l'un sur l'autre en se touchant, mais sans s'accrocher.

célestes qu'il faut constamment ramener entre les fils, d'où le mouvement diurne les fait sans cesse sortir. C'est pour remédier à ces inconvénients que Bouguer, en 1748, et Rochon, en 1783, imaginèrent, l'un son *héliomètre* (*Hélios* Soleil, *mètros* mesure), l'autre son *micromètre à double image* ou *micromètre Rhomboïdal* (du Rhomboïde cristallin qui en fait partie).

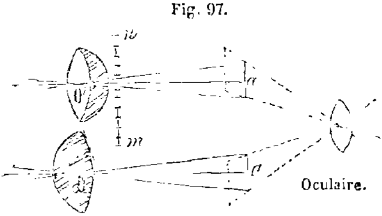
153. **Héliomètre de Bouguer.** — Le premier de ces appareils consistait, dans l'origine, en deux objectifs A, B (*fig.* 96), aussi identiques que possible, et placés sur un même tuyau de lunette; de telle sorte qu'on put les rapprocher ou les éloigner, l'un de l'autre, au moyen d'une vis latérale V. Il est évident que l'assemblage de ces deux objectifs équivaut à deux lunettes parallèles, au foyer de chacune desquelles doit se former une image de l'objet. Et comme, en faisant varier la distance des deux objectifs on fait varier aussi la distance des deux images que l'on voit simultanément, dans le champ de l'appareil, à l'aide d'un seul oculaire, on conçoit qu'il doit être facile d'amener les images à être tangentes et de graduer l'alidade mn le long de laquelle glisse l'objectif A, de manière à savoir quels sont les angles soutendus par les divers objets dont on fait toucher les deux images.

Fig. 96.



Plus tard, au lieu de deux objectifs, on a pris un seul objectif que l'on divise en deux parties égales par une section parallèle à mn. Chacune des deux moitiés donne une image moitié moins brillante, mais tout aussi nette que si l'objectif était entier. Seulement, on peut alors ramener les deux demi-objectifs à ne faire qu'un objectif unique, c'est-à-dire superposer complétement les deux images et par conséquent, *à fortiori*, les rapprocher toujours jusqu'au contact quelque petit que soit l'angle soutendu; avantage que ne procurent pas deux objectifs entiers dont les centres restent forcément à une certaine distance l'un de l'autre. A cause du parallélisme des axes principaux Oa, O'a' (*fig.* 97), la distance aa' des centres des deux images est égale, en effet, à la distance OO' des centres des objectifs.

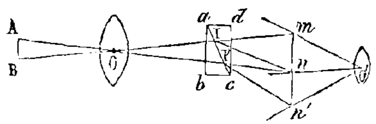
Fig. 97.



Avec ce système que Dollond et Schort appliquèrent, vers 1774, aux télescopes dont il raccourcissait le foyer en rendant convergents sur le miroir les divers faisceaux de rayons parallèles, on évite les inconvénients des micromètres à fils. Car l'observation du contact peut toujours se faire au milieu du champ de la lunette; et de plus, quand le contact a été obtenu, le mouvement diurne du Ciel ne sépare plus les deux images qu'il est permis, en outre, de grossir beaucoup sans inconvénient, puisque la vue du contact suffit sans qu'il soit nécessaire que les images se trouvent en entier dans le champ. Du reste, comme celle du micromètre d'Auzout, l'invention de l'héliomètre fut contestée. Schort et Dollond prétendirent qu'on en trouvait les détails dans un manuscrit de Savéry, déposé, dès 1743, à la Société royale de Londres. Toutefois, l'héliomètre est resté définitivement attaché au nom de Bouguer.

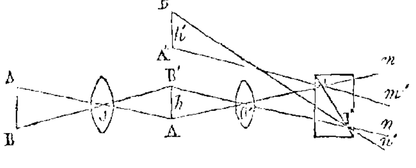
154. **Micromètre Rhomboïdal de Rochon.** — Quant au micromètre de Rochon, c'est tout simplement un prisme rectangulaire *abcd* (*fig.* 98), formé de deux prismes triangulaires *abc*, *acd*, convenablement taillés (perpendiculairement et parallèlement à ce qu'on nomme l'axe de double réfraction) dans un cristal bi-réfringent, et que l'on approche ou que l'on éloigne de l'objectif O jusqu'au moment où l'image *ordinaire mn* de l'objet AB, comprise entre les faisceaux extrêmes AOn, BOm, devienne tangente à l'image extraordinaire nn', comprise entre les faisceaux extraordinaires In, I$'n'$, provenant de la bifurcation qui s'opère dans chaque rayon lumineux à la face *ac* d'entrée sur le prisme *acd* (dont les arêtes sont parallèles à l'axe de double réfraction). Une échelle tracée sur le tuyau de la lunette, fendu latéralement pour laisser glisser le Vernier attaché au prisme, donne, dans chacune des positions de ce dernier, les valeurs des angles AOB$=m$On soutendus, au foyer, par l'image vue du centre optique de l'objectif.

Fig. 98.



Modification de l'appareil, par M. Arago. — Afin d'éviter la coloration des bords, M. Arago plaçait le prisme entre l'œil et l'oculaire O', parce que, tout près du prisme, la diffusion est trop faible pour être aperçue. Il changeait, dans ce cas, d'oculaire jusqu'à ce qu'il obtenait un grossissement tel que les deux images fussent en contact. Le faisceau A'O'I (*fig.* 99) se bifurque suivant Im et Im' en

Fig. 99.



sortant du prisme pour entrer dans l'œil, et donne, par conséquent, les deux images A', A'' du point A. Le faisceau B'I' se bifurquant, à son tour, suivant I'n et I'n', donne les deux images B' et B'' du point B. Lorsque d'ailleurs les images h, h' sont tangentes, l'angle de bifurcation $m\mathrm{I}m' = n\mathrm{I}'n'$ du prisme, est égal sensiblement à l'angle grossi, c'est-à-dire à l'angle soutendu par h ou par h' vus du centre O' de l'oculaire, que l'on peut supposer confondu avec le centre du prisme, bien que, pour la clarté de la figure, ces deux centres soient ici très-séparés. δ étant l'angle $\mathrm{AOB} = \mathrm{A'OB'}$ vu du centre de l'objectif, b l'angle de bifurcation $m\mathrm{I}m' = n\mathrm{I}'n'$ du prisme, et G le grossissement de l'oculaire, on a donc

$$b = \mathrm{G}\delta, \quad \text{d'où} \quad \delta = \frac{b}{\mathrm{G}}.$$

Supposez b mesuré à la précision de 10'' et G = 500; l'erreur sera $\frac{10''}{500} = \frac{1''}{50}$. Vous obtiendrez, par conséquent, une grande exactitude à l'aide de ce procédé qui peut, du reste, servir à mesurer les distances d'un homme, d'un corps d'armée, etc.; puisqu'il suffira, si l'homme soutend l'angle d'une seconde, par exemple, de prendre, pour sa distance, 206 mille fois sa hauteur, à peu près moyennant connue.

M. Arago employait d'abord un oculaire à deux verres qu'il pouvait éloigner ou rapprocher l'un de l'autre, de manière à faire varier le grossissement et à obtenir la tangence des deux images. Mais, plus tard, il substitua à ce système un chapelet de prismes dont les angles de bifurcation variaient de 30'' en 30'', le grossissement de l'oculaire restant constant. A 30'' près, *au maximum*, il obtenait donc le contact des deux images dans l'angle grossi; et, avec le grossissement de 500, il avait, par conséquent, les angles cherchés, à la précision de $\frac{30''}{500} = \frac{3''}{50}$. Quant à l'angle de bifurcation de ses prismes, il le déterminait aisément, en visant à des objets de grandeur connue, et en mesurant directement la distance de ces objets, afin d'en déduire l'angle soutendu quand il avait obtenu la tangence des deux images. Rien n'empêchait d'ailleurs d'adapter une lunette derrière le prisme, afin de mieux voir l'objet dédoublé; car la tangence des images n'était pas altérée par cette lunette qui ne faisait que grossir chacune d'elles, sans les séparer.

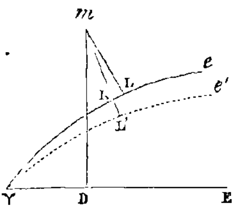
On a encore employé, pour mesurer les petits angles, divers autres appareils, entre autres le réticule de Bradley, trop délaissé peut-être aujourd'hui. Mais de nouveaux détails dépasseraient les bornes que j'ai dû me prescrire, et ne pourraient trouver convenablement leur place que dans un traité spécial sur les instruments d'Astronomie.

NOTE DEUXIÈME. — SUR LE BALANCEMENT DE L'ÉCLIPTIQUE ET SUR LA PRÉCESSION DES ÉQUINOXES.

155. Calcul des effets du balancement de l'écliptique sur les longitudes et sur les latitudes astronomiques. — On peut déterminer aisément l'influence du balancement de l'écliptique (n° 121), et celle de la précession (nos 122 et suiv.), sur les coordonnées des corps célestes.

Soient, pour le 1er cas ♈E (*fig.* 100) l'équateur supposé immobile; ♈e, ♈e' deux positions successives de l'écliptique, dont le déplacement conclu d'abord par Tycho des variations de latitude qu'éprouvaient les étoiles voisines du solstice, et confirmé plus tard par Lalande, sur les étoiles des Gémeaux, est, en *moyenne*, égal, d'après Delambre, à 0″,48 par an. Soient aussi mD la déclinaison et ♈D l'ascension droite d'une Étoile m. Le déplacement

Fig. 100.



(e♈e' $= d\omega = 0'',48$) de l'écliptique, n'influera pas sur ces coordonnées; mais il changera la latitude ($\lambda = m$L) en mL′, et la longitude ($l =$ ♈L) en ♈L′. On aura donc

$$d\lambda = m\mathrm{L}' - m\mathrm{L} = \text{très-sensiblement } \mathrm{KL}'$$
$$dl = \Upsilon\mathrm{L}' - \Upsilon\mathrm{L} = -\mathrm{KL}.$$

Or, le triangle ♈KL′, rectangle en L′, donne

$$\operatorname{tang} \mathrm{KL}' = \operatorname{tang} \Upsilon\mathrm{KL}' \sin \Upsilon\mathrm{L}'.$$

Et comme KL, K♈L′ sont très-petits, on obtient immédiatement, en remplaçant les tangentes par les arcs,

$$(1) \qquad (\mathrm{KL}' = d\lambda) = d\omega \sin(l + dl) = d\omega . \sin l.$$

Le triangle mKL, rectangle en L, donne à son tour

$$\operatorname{tang} \mathrm{KL} = \operatorname{tang} m\mathrm{K} . \cos \mathrm{K};$$

d'où, à cause de

$$\cos \mathrm{K} = \cos \gamma \mathrm{L}' \sin \mathrm{K} \gamma \mathrm{L}' = \cos(l + dl) \sin d\omega = d\omega \cos l,$$

$$(2) \qquad (\operatorname{tang} \mathrm{KL} = -dl) = d\omega . \cos l . \operatorname{tang} \lambda.$$

Lagrange, traitant cette théorie d'une manière plus rigoureuse, donne, en désignant par dE le mouvement de l'Équinoxe sur l'Écliptique,

$$(3) \quad d\lambda = + d\mathrm{E} . \cos l . \operatorname{tang} \omega + d\omega \sin l.$$

$$(4) \quad dl = - d\mathrm{E}(1 - \operatorname{tang} \omega . \sin l . \operatorname{tang} \lambda) - d\omega \cos l . \operatorname{tang} \lambda,$$

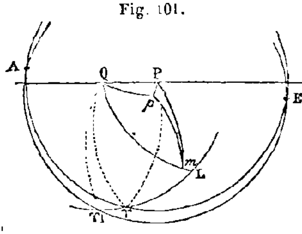
formules dont les derniers termes sont ceux trouvés plus haut, et dans lesquelles $d\varpi$, dE, comprennent autant de fois deux termes qu'il y a de Planètes tremblantes.

Laplace donne, à son tour, une forme plus commode aux formules, en calculant numériquement $d\varpi$, dE, pour deux époques éloignées, et en supposant que, dans l'intervalle, les variations sont proportionnelles au temps. Mais de trop longs détails à cet égard seraient ici sans objet. Il est, d'ailleurs, évident que, dans l'hypothèse du balancement autour de la ligne des Équinoxes, les ascensions droites et les déclinaisons ne sont point altérées.

156. **Calcul des effets de la précession.** — Quant aux effets de la précession, remarquez d'abord qu'à l'inverse des précédents ils seront nuls sur les *latitudes*, et qu'ils seront, en outre, constants sur les longitudes dont ils changeront les valeurs de 50″,24 par an, abstraction faite, bien entendu, des petites *inégalités* du phénomène. Les ascensions droites et les déclinaisons, au contraire, éprouveront des variations, différentes d'un Astre à l'autre, et que l'on peut calculer de la manière suivante :

157. **Variation de distance polaire ou de déclinaison.** — Soient P, Q (*fig.* 101) les Pôles de l'Équateur et de l'Écliptique, AΥE l'Équateur et ΥΥ′ l'Écliptique.

Fig. 101.



Supposez que l'Équateur et son Pôle viennent l'un en AΥ′E, l'autre en p. Si vous représentez par dl le mouvement de précession ΥΥ′ sur l'Écliptique, vous aurez pour une Étoile quelconque m

$$\Upsilon L = l;\ \Upsilon' L = l + dl;\ mL = \lambda;$$
$$Qm = 90^\circ - \lambda.$$

Vous aurez, en outre, $QP = Qp = \varpi$; et si vous nommez γ le complément Qm de la latitude de l'Étoile, δ la distance polaire primitive Pm de cette Étoile, enfin $\delta + d\delta$ la distance polaire pm, modifiée par la précession, le triangle mQp vous donnera

$$(1)\quad [\cos pm = \cos(\delta + d\delta)] = \cos\varpi . \cos\gamma + \sin\varpi . \sin\gamma . \sin(l + dl);$$

car l'angle pQm est évidemment le complément de $LQ\Upsilon' = l + dl$, puisque Υ′, intersection de l'Équateur et de l'Écliptique, se trouve à 90° de chacun des deux Pôles p et Q, et que, par conséquent, l'angle $\Upsilon' Qp = 90^\circ$.

Le triangle PQm vous donnera également

$$(2)\quad (\cos Pm = \cos\delta) = \cos\varpi . \cos\gamma + \sin\varpi . \sin\gamma . \sin l,$$

à cause de $PQm = 90^\circ - l$, l'angle ΥQP étant un angle droit par la même raison que $\Upsilon' Qp$.

Retranchez (1) de (2) et vous obtiendrez

$$\cos\delta - \cos(\delta + d\delta) = \sin\omega . \sin\gamma . [\sin l - \sin(l + dl)]$$

faites $\delta = (a - b)$, $\delta + d\delta = (a + b)$, $l = (a' - b')$, $l + dl = (a' + b')$;

d'où $\quad a = \delta + \frac{1}{2} d\delta, \quad b = \frac{1}{2} d\delta, \quad a' = l + \frac{1}{2} dl, \quad b' = \frac{1}{2} dl.$

Remarquez, d'ailleurs, que

$$\cos(a - b) - \cos(a + b) = 2\sin a . \sin b = 2\sin(\delta + d\delta)\sin\frac{1}{2}\delta d;$$

que

$$\sin(a' - b') - \sin(a' + b') = -2\sin b' \cos a' = -2\sin\frac{1}{2}dl . \cos(l + \frac{1}{2}dl);$$

et votre équation deviendra

$$2\sin(\delta + \frac{1}{2}d\delta) . \sin\frac{1}{2}d\delta = -2\sin\omega . \sin\Upsilon . \sin\frac{1}{2}dl . \cos(l + \frac{1}{2}dl);$$

ou, à cause de $\left\{\begin{array}{l} 2\sin\frac{1}{2}d\delta = \sin d\delta = d\delta, \quad \sin(\delta + \frac{1}{2}d\delta) = \sin\delta, \\ 2\sin\frac{1}{2}dl = \sin dl = dl, \cos(l + \frac{1}{2}dl) = \cos l \end{array}\right.$

$$(A) \qquad d\delta = -\frac{\sin\omega . \sin\gamma . \cos l}{\sin\delta} dl.$$

formule à laquelle on arriverait très-simplement par la différenciation de (2)..$\cos\delta = \cos\omega . \cos\gamma + \sin\omega . \sin\gamma . \sin l$, relativement aux seules variables δ et l qui changent, pour chaque Étoile, par l'effet de la précession.

On peut, au reste, simplifier la valeur de $d\delta$ à l'aide du triangle PQm qui donne

$$\left(\frac{\sin Qm}{\sin Pm} = \frac{\sin\gamma}{\sin\delta}\right) = \frac{\sin QPm}{\sin PQm} = \frac{\sin(90^\circ + \Upsilon Pm)}{\sin(90^\circ - \Upsilon mQ)} = \frac{\sin(90^\circ + Æ)}{\sin(90^\circ - l)} = \frac{\cos Æ}{\cos l},$$

l'angle ΥPm étant l'ascension droite Æ de l'Étoile m;

d'où $\qquad \frac{\sin\gamma . \cos l}{\sin\delta} = \cos Æ$ et, par suite,

$$(A') \qquad d\delta = -\sin\omega . \cos Æ . dl.$$

Cette formule revient à supposer, comme il est permis de le faire, en effet, pour quelques années, que le Pôle P descend vers le point zéro d'ascension droite. Car on aurait, dans l'hypothèse d'un pareil mouvement (*fig.* 102)

$$\cos pm = \cos Pp . \cos Pm + \sin Pp . \sin Pm . \cos pPm;$$

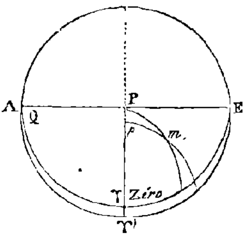
ou, en représentant Pp par α, quantité fort petite quand le temps écoulé n'est pas très-considérable,

$$[\cos pm = \cos(\delta + d\delta) = \cos\delta . \cos d\delta - \sin\delta . \sin d\delta)]$$
$$= \cos\alpha . \cos\delta + \sin\alpha . \sin\delta . \cos AR;$$

et, en remplaçant $\cos d\delta$, ainsi que $\cos\alpha$ par l'unité,

$$(\sin d\delta = d\delta) = -\alpha \cos AR,$$

Fig. 102.



formule identique à (A') lorsqu'on fait α ou Pp ou ΥΥ' égaux à $dl \sin\omega$, c'est-à-dire à la projection de de ΥΥ' de la fig. 103 sur l'arc perpendiculaire à QP.

Pour un temps plus long, il faudrait conserver les termes du second ordre dans la différence $[\cos\delta - \cos(\delta + d\delta)]$ trouvée plus haut. Mais on peut se servir aussi, tout simplement, des valeurs de $\delta + d\delta$ et de δ, que les équations (1) et (2) fourniraient à l'aide des quantités connues ω, γ, l et dl. Je n'ai donc nul besoin d'insister plus longuement à cet égard.

158. **Variation d'ascension droite.** —Voulez-vous avoir maintenant l'effet de la précession sur les ascensions droites ? Le triangle PQm de la figure 101, vous donnera

$$\sin Q . \text{cotang}\, P = \sin PQ . \text{cotang}\, Qm - \cos PQ . \cos Q,$$

c'est-à-dire

$$(3) \qquad -\cos l . \text{tang}\, AR = \sin\omega\, \text{cotang}\, \gamma - \cos\omega \sin l.$$

Mais, par la différenciation, vous obtiendrez,

$$\sin l . dl . \text{tang}\, AR - \cos l . \frac{dAR}{\cos^2 AR} = -\cos\omega . \cos l . dl;$$

d'où

$$(4) \qquad dAR = \cos\omega . \cos^2 AR . dl + \text{tang}\, l . \sin AR \cos AR dl$$
$$= dl \cos\omega + dl . \sin AR (\text{tang}\, l . \cos AR - \cos\omega . \sin AR)$$

et, en vertu de la relation, $\text{tang}\, l . \cos AR - \cos\omega . \sin AR = \sin\omega . \text{cotang}\, \delta$, fournie par le triangle QPm,

$$(B) \qquad dAR = dl . \cos\omega + dl . \sin AR . \sin\omega . \text{cotang}\, \delta.$$

Le premier terme de (B), $dl \cos\omega$ est commun à toutes les Étoiles. Le second dépend de AR et de δ. Il est nul pour les Étoiles de l'Équateur où $\delta = 90°$. Si l'on prend ces Étoiles, on n'aura donc, dans dAR, que $dl \cos\omega$; d'où l'on tirera la valeur de la précession dl, sur l'écliptique, en divisant par $\cos\omega$ les variations observées de dAR.

L'hypothèse du Pôle descendant vers le point zéro d'ascension droite, correspondrait à $\omega = 90°$ ou $\cos\omega = o$. Car ω deviendrait, dans ce cas, l'angle $\gamma\gamma'$E de la *fig.* 102, et la précession en Æ se réduirait alors au second terme $dl.\sin Æ.\operatorname{cotang}\delta$; résultat auquel vous arriveriez également par le triangle Ppm, de la *fig.* 102, qui donne

$$\cos Pp.\cos pPm = \sin Pp.\operatorname{cotang} Pm - \sin pPm.\operatorname{cotang} Ppm$$

ou $$\cos\alpha.\cos Æ = \sin\alpha.\operatorname{cotang}\delta + \sin Æ.\operatorname{cotang}(Æ + dÆ).$$

Faites, en effet, $\cos\alpha = 1$, et divisez par $\sin Æ$, vous obtenez

$$\left[\operatorname{cotang} Æ - \operatorname{cotang}(Æ + dÆ) = \frac{\cos Æ}{\sin Æ} - \frac{\cos(Æ + dÆ)}{\sin(Æ + dÆ)}\right.$$

$$\left.= \frac{\sin(Æ+dÆ)\cos Æ - \sin Æ\cos(Æ+dÆ)}{\sin Æ\sin(Æ+dÆ)} = \frac{\sin dÆ}{\sin Æ\sin(Æ+dÆ)}\right]$$

$$= \frac{\sin\alpha.\operatorname{cotang}\delta}{\sin Æ}$$

d'où $$dÆ = \alpha\operatorname{cotang}\delta.\sin Æ.$$

Une seconde différenciation vous fournirait la variation annuelle de $dÆ$; mais il est plus simple, quand l'intervalle de temps entre les deux époques est considérable, de calculer successivement Æ et Æ + $dÆ$, pour en conclure $dÆ$ par une simple soustraction, à l'aide de l'équation (3) qui donne Æ, et de l'équation

$$(5)\qquad -\cos(l + dl)\operatorname{tang}(Æ + dÆ) = \sin\omega\sin\gamma - \cos\omega\sin(l + dl)$$

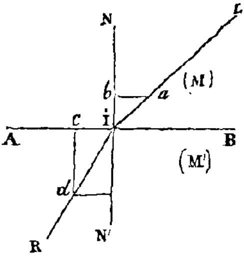
qui donnerait Æ + $dÆ$ puisque la constante dl de la précession, commune à toutes les Étoiles, est connue. Cette équation (5) résulte, à peine ai-je besoin d'en faire la remarque, de l'équation (3) dans laquelle l et Æ seraient augmentées de leurs accroissements pendant l'intervalle de temps écoulé d'une époque à l'autre.

NOTE TROISIÈME. — SUR LES LOIS DE LA RÉFRACTION ATMOSPHÉRIQUE.

159. **La réfraction à travers des couches parallèles ne dépend que des couches extrêmes.** — La théorie montre que la réfraction à travers des couches parallèles, ne dépend que de la première et de la dernière couche. On ne peut, en effet, dans l'état actuel de nos connaissances, expliquer les phénomènes lumineux que par l'un ou par l'autre des deux systèmes, de l'émission (Newton), et des ondulations (Descartes, Young, etc.).

Dans le premier, Newton suppose la lumière attirée par les milieux, de telle sorte que lorsque la molécule lumineuse s'approche de la surface AB de séparation (*fig.* 103), pour passer du milieu moins dense (M) dans le milieu plus dense (M′), la composante horizontale *ab* ou I*c* de sa vitesse restant constante, la composante verticale *b*I est augmentée et devient *cd*. La vitesse elle-même passe donc de la valeur *a*I que nous représenterons par u, à la valeur I*d* que nous représenterons par v; et si l'on désigne par I et par R les angles d'incidence LIN et de réfraction RIN′, l'on a,

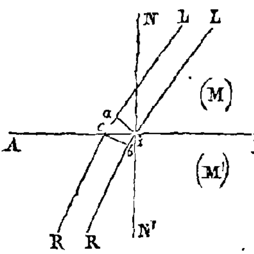
Fig. 103.



$$\sin \mathrm{I} = \frac{ab}{a\mathrm{I}} = \frac{ab}{u}; \quad \sin \mathrm{R} = \frac{\mathrm{I}c}{\mathrm{I}d} = \frac{ab}{\mathrm{I}d} = \frac{ab}{v}; \quad \text{d'où } \frac{\sin \mathrm{I}}{\sin \mathrm{R}} = \frac{v}{u}.$$

Dans le système des ondulations, il faut, pour que la sensation d'un point lumineux L (*fig.* 104) puisse être produite, que le faisceau lumineux qui pénètre dans l'œil, soit composé d'un assemblage d'ondes concordantes. Ce qui exige que le chemin *ac* parcouru dans le premier milieu (M), par l'onde propagée suivant L*c*, soit parcouru dans le même temps que le chemin I*b* parcouru, dans le second milieu (M′), par l'onde propagée suivant LI (les lignes I*a*, *cb*, étant respectivement perpendiculaires au rayon incident et au rayon réfracté); parce qu'alors les systèmes d'ondes concordantes L*a*, LI, du premier milieu, partiront, en même temps, des points *c* et *b*, pour se propager dans le second milieu où, par conséquent, elles se retrouveront concordantes. Si donc on désigne, comme plus haut, les vitesses par u et par v, et par t le temps qu'emploient les ondes lumineuses à parcourir *ac* et *b*I, l'on aura

Fig. 104.

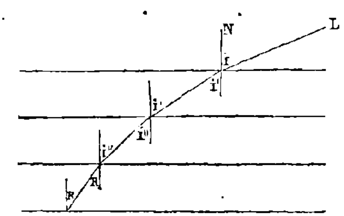


$ca = ut$, $\mathrm{I}b = vt$, d'où $\dfrac{ca}{\mathrm{I}b} = \dfrac{u}{v}$; et, en divisant les deux termes de la première fraction par $c\mathrm{I}$

$$\frac{\dfrac{ca}{c\mathrm{I}} = \sin c\mathrm{I}a = \sin \mathrm{NIL} = \sin \mathrm{I}}{\dfrac{\mathrm{I}b}{c\mathrm{I}} = \sin bc\mathrm{I} = \sin \mathrm{RIN'} = \sin \mathrm{R}} = \frac{u}{v}.$$

Ainsi, suivant celui des deux systèmes que l'on adopte, le rapport $\frac{\sin I}{\sin R}$ est égal à $\frac{v}{u}$ ou à $\frac{u}{v}$. Et comme, lorsqu'ils vont d'un milieu moins dense dans un milieu plus dense, les rayons lumineux se rapprochent de la normale, ce qui veut dire que R est plus petit que I, l'on peut remarquer, en passant, que, dans la théorie de Newton, la vitesse de la lumière augmente avec la densité des milieux; tandis qu'elle diminue, au contraire, dans la théorie des ondulations. On sait que l'expérience a prononcé en faveur du second système. Mais, quoi qu'il en soit, si, pour revenir à notre objet, nous désignons par $u, u', u'', u''', \ldots, u^{(n)}, v$, les vitesses de la lumière dans le vide et dans les milieux successifs, superposés en couches parallèles, par $I, I', I'', I''', \ldots, R$ (*fig.* 105) les angles d'incidence sur ces milieux successifs; et si nous remarquons, en même temps, que l'angle d'incidence I', sur la seconde couche, est l'angle de réfraction dans la première, que l'angle d'incidence I'', sur la troisième, est l'angle de réfraction dans la seconde, et ainsi de suite, nous aurons

Fig. 105.



Système de l'émission. Système des ondulations.

$$\frac{\sin I}{\sin I'} = \frac{u'}{u} \cdots\cdots\cdots = \frac{u}{u'}$$

$$\frac{\sin I'}{\sin I''} = \frac{u''}{u'} \cdots\cdots\cdots = \frac{u'}{u''}$$

$$\frac{\sin I''}{\sin I'''} = \frac{u'''}{u''} \cdots\cdots\cdots = \frac{u''}{u'''}$$

$$\frac{\sin I^{(n)}}{\sin R} = \frac{v}{u^{(n)}} \cdots\cdots\cdots = \frac{u^{(n)}}{v}$$

d'où, multipliant ces diverses proportions et supprimant, aux deux termes de chaque fraction, les facteurs communs

$$\frac{\sin I}{\sin R} = \frac{v}{u} \cdots\cdots\cdots = \frac{u}{v};$$

c'est-à-dire que tout ce qui dépend des couches intermédiaires a disparu, et qu'il reste seulement les quantités I, R, u, v, relatives au vide et à la dernière couche.

Evidemment cela n'aurait pas lieu dans le cas de couches non parallèles et, aussi, dans celui des grandes distances zénithales pour lesquelles la trajectoire longe en quelque sorte les couches horizontales, parce qu'alors les angles I', I'', etc., de réfraction dans une couche, cesseraient d'être les angles d'incidence sur la couche suivante, et ne disparaîtraient plus dans la multiplication des diverses équations. On peut, au reste, se rendre compte, géométriquement, du théorème, en remarquant que chaque couche courbe le rayon lumineux avec une énergie dépendant de la différence de densité des deux couches en contact, et que, par conséquent, lorsqu'il arrive dans la dernière couche, le rayon a subi les effets successifs de la variation de densité, c'est-à-dire un effet total correspondant précisément à l'excès de densité de la dernière couche sur le vide.

160. **L'effet de la réfraction est proportionnel aux puissances impaires de la tangente trigonométrique de la distance zénithale apparente.** — Au lieu de conclure R de I, l'on trouve, généralement, plus commode de calculer, en fonction de R, la différence (I — R), ordinairement fort petite, entre l'angle d'incidence I ou la distance zénithale *vraie* de l'Astre, et l'angle de réfraction R ou sa distance zénithale *apparente;* différence qui n'est autre chose, évidemment, que la valeur, elle-même, de la réfraction. Soit donc $I - R = dR$ ou $I = R + dR$. Substituez cette valeur de I dans l'équation $\frac{\sin I}{\sin R} = n$ $\left(\text{cette lettre } n \text{ représentant le rapport constant } \frac{v}{u} \text{ ou } \frac{u}{v}\right)$; et vous aurez

$$\sin(R + dR) = n \sin R,$$

d'où

$$\sin R \cos dR + \sin dR \cos R = n \sin R;$$

et par suite, en faisant $\cos dR = 1$,

$$(\sin dR = dR) = (n - 1) \operatorname{tang} R.$$

Ce qui montre que la réfraction dR est *proportionnelle* à la *tangente trigonométrique* de la *distance zénithale apparente* R.

161. — Dans le cas où dR devrait être assez grand pour qu'il ne fût plus permis de supposer $\cos dR = 1$, reprenez l'équation

$$\sin R \cos dR + \sin dR \cos R = n \sin R.$$

Vous en tirez

$$n = \cos dR + \sin dR \operatorname{cotang} R$$
$$= \left(\cos^2 \frac{1}{2} dR - \sin^2 \frac{1}{2} dR\right) + 2 \sin \frac{1}{2} dR \cos \frac{1}{2} dR \operatorname{cotang} R;$$

et, remplaçant $\cos \frac{1}{2} dR$, $\sin \frac{1}{2} dR$, par leurs valeurs,

$$\frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tang}^2 \frac{1}{2} dR}}, \quad \frac{\operatorname{tang} \frac{1}{2} dR}{\sqrt{1 + \operatorname{tang}^2 \frac{1}{2} dR}},$$

vous obtenez

$$n = \frac{1 - \operatorname{tang}^2 \frac{1}{2} dR}{1 + \operatorname{tang}^2 \frac{1}{2} dR} + 2 \operatorname{cotang} R \frac{\operatorname{tang} \frac{1}{2} dR}{1 + \operatorname{tang}^2 \frac{1}{2} dR}$$

d'où

$$n\left(1+\operatorname{tang}^2\frac{1}{2}dR\right)=1-\operatorname{tang}^2\frac{1}{2}dR+2\operatorname{cotang}R\operatorname{tang}\frac{1}{2}dR$$

d'où encore

$$(n+1)\operatorname{tang}^2\frac{1}{2}dR-2\operatorname{cotang}R\operatorname{tang}\frac{1}{2}dR=1-n;$$

ce qui donne

$$\begin{aligned}\operatorname{tang}\frac{1}{2}dR&=\frac{\operatorname{cotang}R\pm\sqrt{(1-n)(1+n)+\operatorname{cotang}^2R}}{n+1}\\&=\frac{\operatorname{cotang}R}{n+1}\left\{1\pm\left[1+(1-n^2)\operatorname{tang}^2R\right]^{\frac{1}{2}}\right\}\\&=\frac{\operatorname{cotang}R}{n+1}\left\{1\pm\left[1+\frac{1}{2}(1-n^2)\operatorname{tang}^2R-\frac{1}{8}(1-n^2)^2\operatorname{tang}^4R\right.\right.\\&\qquad\left.\left.+\frac{1}{16}(1-n^2)^3\operatorname{tang}^6R+\text{etc.}\right]\right\}\end{aligned}$$

Pour savoir quel est celui des deux signes qu'on doit adopter, il suffit de remarquer qu'au zénith, dR doit être nul évidemment; car il n'y a pas de raison pour que le rayon lumineux qui tombe perpendiculairement à la surface réfringente, se dévie dans un sens plutôt que dans l'autre. Mais, pour $R=0$, l'on a $\operatorname{cotang}R=\infty$; et si $\operatorname{cotang}R$ ne disparaissait pas de la série, la réfraction dR serait infinie, ce qui est impossible. Or, comme $\operatorname{cotang}R\operatorname{tang}R=1$, l'on voit tout de suite qu'en prenant le signe *moins*, on réduira la série à l'expression suivante :

$$\left(\operatorname{tang}\frac{1}{2}dR=\frac{1}{2}dR\right)$$

$$=\frac{\operatorname{cotang}R}{n+1}\left[\frac{(n^2-1)}{2}\operatorname{tang}^2R+\frac{(n^2-1)^2}{8}\operatorname{tang}^4R+\frac{(n^2-1)^3}{16}\operatorname{tang}^6R+\text{etc.}\right]$$

qui, par la suppression du coefficient $\frac{1}{2}$ et du facteur $\operatorname{cotang}R\operatorname{tang}R$, égal à l'unité, communs à tous les termes, devient

$$\left(2\operatorname{tang}\frac{1}{2}dR=dR\right)$$

$$=\frac{1}{n+1}\left[(n^2-1)\operatorname{tang}R+\frac{1}{4}(n^2-1)^2\operatorname{tang}^3R+\frac{1}{8}(n^2-1)^3\operatorname{tang}^5R+\ldots\right]$$

$$=A\operatorname{tang}R+B\operatorname{tang}^3R+C\operatorname{tang}^5R+\text{etc.},$$

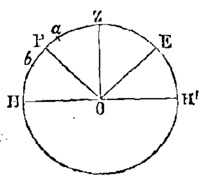
C'est-à-dire la suite des puissances impaires de tang R. Le pouvoir réfringent de l'air n'étant pas très-considérable, le rapport n des vitesses de la lumière ou des sinus d'incidence et de réfraction est peu différent de l'unité. (n^2-1) représentera donc une fraction assez faible; et la série sera convergente, tant que R ne se rapprochera pas trop de 90°, ou que tang R ne sera pas trop près de devenir infinie.

En négligeant les puissances supérieures de tang R, ce qui est permis pour les distances zénithales peu considérables, on retombe sur la valeur trouvée plus haut, $dR = (n-1)\,\tang R$. La détermination expérimentale de n permettrait, d'ailleurs, de calculer immédiatement les divers termes de la série. Mais on préfère déduire directement de l'observation, comme nous le verrons dans la note ci-après, les coefficients eux-mêmes.

NOTE QUATRIÈME. — SUR LA CONSTRUCTION DES TABLES DE RÉFRACTION.

167. — Pour construire, *par expérience*, une table de réfraction astronomique, on a besoin de connaître exactement la hauteur HP (*fig.* 106) du pôle, au-dessus de l'horizon, ou, ce qui revient au même, la latitude ZE du lieu de l'observateur.

Fig. 106.



Si la réfraction n'altérait pas les positions apparentes des Astres, il suffirait évidemment, avec un cercle placé dans le méridien, de prendre les hauteurs Ha, Hb, ou les distances zénithales Za, Zb, d'une Étoile, à ses deux passages (supérieur et inférieur), pour avoir immédiatement la hauteur HP ou la distance zénithale ZP du pôle, et par suite aussi la latitude ZE ou PH complémentaire (à 90°) de ZP. En effet, soit δ la distance polaire d'une étoile, ou le complément de la déclinaison de cette Étoile que nous supposons décrire un cercle autour du pôle, nous devrions avoir

$$\text{Passage supérieur } aZ = PZ - \delta,\quad \text{Passage inférieur } bZ = PZ + \delta$$

d'où
$$aZ + bZ = 2PZ;\quad \text{et}\quad PZ = \frac{1}{2}(aZ + bZ),$$

$$ZE = PH = 90° - \frac{1}{2}(aZ + bZ).$$

163. — Or si nous prenons, à Toulouse, par exemple, les valeurs de aZ et de bZ pour différentes Étoiles, nous trouvons, à quelques légères variations près, qui dépendent des conditions atmosphériques, le jour de l'observation, les valeurs suivantes :

	aZ	bZ	$PZ = \frac{1}{2}(aZ+bZ)$	latitude ZE
Par la Polaire...	44° 52′ 47″..	47° 51′ 41″..	46° 22′ 14″..	43° 37′ 46″
Par β petite Ourse	31 8 50...	61 35 18...	46 22 4...	43 47 56
Par 55 Giraffe...	25 17 7...	67 26 45...	46 21 56...	43 38 4
Par α Cassiopée.	12 5 13..	80 34 53...	46 20 18..	43 39 42
Par α Persée....	5 33 9...	86 57 15...	46 15 12...	43 44 48

La distance zénithale apparente du Pôle diminue donc à mesure que l'Étoile observée passe plus loin de ce point. Et comme on ne peut supposer que chaque Étoile tourne autour d'un Pôle particulier, les irrégularités doivent tenir évidemment aux réfractions atmosphériques.

164. **Déterminations expérimentales de la hauteur du Pôle, pour la construction d'une table de réfractions.** — Comment corriger ces irrégularités pour avoir la hauteur véritable du Pôle ou la latitude exacte, nécessaire, nous l'avons dit, à la construction expérimentale d'une table de réfraction ?

Voici l'ingénieuse méthode que suivit Lacaille :

Il prit différentes Étoiles passant vers K (*fig.* 107) à peu près à la même distance des zéniths Z, Z', de Paris et du Cap de Bonne-Espérance. La somme des distances zénithales ZOK, KOZ' lui donna pour l'angle ZOZ', affecté du double de la réfraction, le nombre 82°.44'.46". La distance zénithale Z'P' du Pôle austral au Cap de Bonne-Espérance fut trouvée égale à 56°.3'.10",9 ; celle ZP du Pôle boréal à Paris parut, à son tour, avoir la valeur 41°.7'.31",5. Somme de ces trois quantités = 179°.55'.29",4 au lieu de 180° ; différence à 180° = 4'.30",6 qui représente les effets de la réfraction correspondant aux 4 distances zénithales apparentes, et que Lacaille partagea, conformément à la théorie développée dans la note précédente, proportionnellement aux tangentes trigonométriques des quatre angles observés ZOK, Z'OK, ZOP, Z'OP', pour les répartir sur ces quatre angles dont il eut, par conséquent, les valeurs exactes. Cela lui donna, pour Paris et pour le Cap de Bonne-Espérance, les distances zénithales ou les hauteurs des deux Pôles, nécessaires à la construction expérimentale d'une table de réfractions.

Fig. 107.

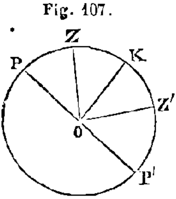
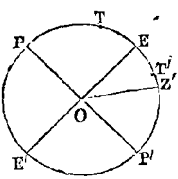


Fig. 108.



165. — Lacaille vérifia, du reste, sa détermination par une autre méthode, sensiblement indépendante de la proportionnalité des *réfractions* aux *tangentes trigonométriques* de la distance zénithale apparente. Les deux tropiques (n° 120) T et T' (*fig.* 108), étant également eloignés de l'Équateur, il trouva, par l'observation du Soleil aux deux solstices

$$\left.\begin{array}{l} Z'P' = 56^\circ.3'.10'',9 \\ \\ Z'T = 57^\circ.22'.0'',5 \end{array}\right\}$$

Avec une petite correction de 4",9 empruntée au théorème de la proportionnalité aux tangentes pour ramener les réfractions exactement à la même distance zénithale Z'P'. Comme cette correction est très-faible, l'erreur qui pourrait provenir des termes négligés dans la série donnant la réfraction, est insensible.

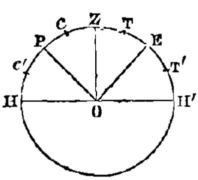
$Z'T' = 10^\circ.26'.53'',3$; la réfraction théorique $10'',1$ entrant dans cette valeur de $Z'T'$ qui est la distance zénithale vraie.

En ajoutant $Z'P'$ à $Z'T'$, il obtint $P'T' = 66^\circ.30'.3'',2$ affecté seulement de la réfraction sur $Z'P'$, puisque celle appartenant à $Z'T'$ avait été corrigée. La somme $Z'P' + Z'T + (P'T' = PT)$ donne $179^\circ.55'.14'',9$ au lieu de 180°. Différence $= 4'.45'',4$ qui dut être partagée, cette fois, en trois parties égales, puisque les trois réfractions avaient été amenées, par des corrections insignifiantes, à porter sur une même distance zénithale apparente $Z'P'$. Lacaille eut donc ainsi la véritable hauteur du Pôle.

166. Cette détermination étant le point fondamental des tables expérimentales, je ferai remarquer qu'on peut l'obtenir encore par une foule d'autres méthodes. Supposez, par exemple, deux observateurs placés aux deux latitudes, australe et boréale, de 45°. L'observation des Étoiles équatoriales et de chacun des Pôles, donnerait la réfraction correspondant à 45° de distance zénithale et, par suite, la véritable position des Pôles. Un seul observateur pourrait même, dans ce cas, et dans la plupart aussi des latitudes moyennes, comme celles de Toulouse, de Bordeaux, etc., avoir assez exactement la hauteur du Pôle en observant les Solstices et une circompolaire située vers $23^\circ.30'$ de distance au Pôle.

Soient, en effet (*fig.* 109), HPZH′ le méridien ; TT′ les deux tropiques placés à $23^\circ.27'$ environ, de l'Équateur OE ; c, c', les deux positions de la circompolaire aux passages supérieur et inférieur ; dR, dR', dR_1, dR'_1, les quatre réfractions correspondant aux distances zénitales ZT, ZT', Zc, Zc', observées, et sensiblement égales deux à deux ; vous aurez, puisque les réfractions élèvent les astres, et doivent par conséquent être ajoutées aux distances zénithales apparentes pour donner les distances zénithales vraies

Fig 109.



$$\text{valeur véritable de } ZE = \frac{1}{2}(ZT + ZT' + dR + dR')$$

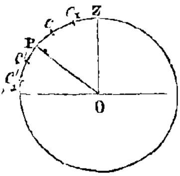
$$\text{valeur véritable de } ZP = \frac{1}{2}(Zc + Zc' + dR_1 + dR'_1).$$

Et comme le Pôle P est à 90° de l'Équateur E, en ajoutant les deux équations précédentes, vous obtiendrez :

$$(ZE + ZP = 90^\circ) = \underbrace{\frac{1}{2}(ZT + ZT' + Zc + Zc')}_{\text{Observations.}} + \underbrace{\frac{1}{2}(dR + dR' + dR_1 + dR'_1)}_{\text{Somme des 4 réfractions.}};$$

D'où vous tirerez la valeur numérique de $(dR + dR' + dR_1 + dR'_1)$, que vous partagerez, conformément à la théorie développée précédemment (note troisième), proportionnellement aux tangentes trigonométriques des angles observés.

Fig. 110.



167. — Voulez-vous encore un procédé qui donne en même temps et la position du Pôle, et la valeur des coefficients A,B,C, etc., de la série $dR = A \tang R + B \tang^3 R + C \tang^5 R + H \ldots$? Prenez, pour la détermination de N coefficients, $(N+1)$ Étoiles circompolaires. En désignant par (c,c'), (c_1,c'_1), (c_2,c'_2), etc. (*fig.* 110), les points où les circompolaires coupent le méridien supérieur et le méridien inférieur, par (dR, dR'), (dR_1, dR'_1), (dR_2, dR'_2), etc., les réfractions correspondant aux distances zénithales apparentes (R,R'), (R_1,R'_1), (R_2,R'_2), etc., égales respectivement à (Zc, Zc'), (Zc_1, Zc'_1), (Zc_2, Zc'_2), etc., vous aurez

$$\text{val. vérit. de } ZP = \frac{1}{2}\Big[(R+dR)+(R'+dR')\Big] = \frac{1}{2}\Big[(R+R')+(dR+dR')\Big]$$
$$= \frac{1}{2}\Big[(R_1+dR_1)+(R'_1+dR'_1)\Big] = \frac{1}{2}\Big[(R_1+R'_1)+(dR_1+dR'_1)\Big]$$
$$= \frac{1}{2}\Big[(R_2+dR_2)+(R'_2+dR'_2)\Big] = \frac{1}{2}\Big[(R_2+R'_2)+(dR_2+dR'_2)\Big]$$

et si, par exemple, vous vous bornez aux deux premiers termes de la série; en substituant dans les équations précédentes (réduites alors à trois) les valeurs de la réfraction

$$\begin{cases} dR = A \tang R + B \tang^3 R \\ dR' = A \tang R' + B \tang^3 R' \end{cases}$$
$$\begin{cases} dR_1 = A \tang R_1 + B \tang^3 R_1 \\ dR_1 = A \tang R'_1 + B \tang^3 R'_1 \end{cases}$$
$$\begin{cases} dR_2 = A \tang R_2 + B \tang^3 R_2 \\ dR'_2 = A \tang R'_2 + B \tang^3 R'_2, \end{cases}$$

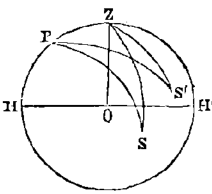
vous n'aurez plus d'inconnues, que les trois quantités ZP,A,B. Les trois équations suffiront donc, largement, pour déterminer ces inconnues puisqu'après la substitution de dR, dR', dR_1, etc., elles donnerant *six* équations de condition au lieu de *trois* seulement, entre les quantités à déterminer; ce qui, soit dit en passant, vous permettra de calculer aussi l'indice n de réfraction du vide dans l'air, puisque vous avez

$$A = \frac{n^2-1}{n+1} = n-1, \quad B = \frac{1}{4}\frac{(n-1)^2}{n+1}, \quad C = \frac{1}{8}\frac{(n^2-1)^3}{n+1}, \text{ etc.}$$

168. **Construction expérimentale de la table des réfractions.** — Quoi qu'il en soit, la véritable hauteur du Pôle étant donnée; pour faire *expérimentalement* une table de réfractions atmosphériques, prenez une Etoile S (*fig.* 111), qui passe au zénith ou, du moins, à une assez faible distance de ce point, afin que sa distance polaire PS,

sensiblement égale alors à PZ, soit exactement connue par la distance polaire méridienne, sur laquelle la réfraction sera sans influence appréciable. Ayez, en outre, une pendule bien réglée; mesurez successivement, avec un cercle gradué, les distances zénithales apparentes ZS, ZS',..., de votre Étoile, à des heures déterminées, de la pendule. L'instant du passage de l'Étoile au méridien, comparé aux différentes heures de votre observation, vous donnera les angles horaires *vrais* ZPS, ZPS', etc.; et les triangles sphériques ZPS, ZPS', etc., dans lesquels vous connaîtrez ces angles ainsi que les deux côtés PZ, PS, PZ, PS', etc., qui les comprennent, fourniront les valeurs *vraies* des distances zénithales ZS, ZS', par la formule des cosinus, déjà employée plusieurs fois,

Fig. 111.



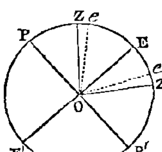
$$\cos ZS = \cos ZP \cos PS + \sin ZP \sin PS \cos ZPS$$
$$= \sin L \sin D + \cos L \cos D \cos P$$

$$\cos ZS' = \cos ZP \cos PS' + \sin ZP \sin PS' \cos ZPS'$$
$$= \sin L \sin D' + \cos L \cos D' \cos P'.$$

L'observation vous ayant déjà donné les distances zénithales *apparentes*, en retranchant celles-ci des distances zénithales vraies, vous aurez, *pour différences*, les valeurs de la réfraction correspondant aux diverses distances zénithales observées.

169. Généralement, si vous répétez vos expériences plusieurs jours de suite, vous trouverez des réfractions un peu différentes, pour la même distance zénithale apparente. Cela provient des changements de densité de l'air. Ainsi, par l'observation de certaines Étoiles qui passaient, les unes, e (*fig.* 112), vers le zénith Z de Paris et vers l'horizon du Cap de Bonne-Espérance, les autres, au contraire, e', vers le zénith Z' du Cap et vers l'horizon de Paris, Lacaille obtint, pour la somme ZOE + EOZ' des deux latitudes de Paris et du Cap, une valeur moyenne plus grande de $\frac{1}{40}$ environ dans un cas (par Z0e + eOZ'), que dans l'autre (par ZOe' + e'CZ'). C'étaient les Étoiles e' observées au zénith du Cap, et à l'horizon de Paris où la réfraction se faisait principalement sentir, qui donnaient la somme la plus faible. D'où il résulte qu'à l'horizon de Paris, la réfraction élevait davantage les Étoiles, que la réfraction à l'horizon du Cap; ce qui revient à dire que cette réfraction était plus considérable, moyennement, sous la latitude de Paris; et ce qui s'expliquerait, assez rationnellement, par

Fig. 112.



une densité de l'air, moins grande au Cap, où la température moyenne est supérieure à celle de Paris.

170. **Influences de la température et de la pression barométrique, sur les réfractions.** — Lacaille crut donc pouvoir admettre que la réfraction est proportionnelle à la densité de l'air. Ayant sa table *expérimentale*, construite sous des pressions et sous des températures, variables d'une observation à l'autre, il construisit par conséquent, sans difficulté, une table *normale*, répondant à une température t et à une pression barométrique P déterminées, à l'aide de laquelle on revient ensuite, aisément, aux réfractions qui correspondent à des températures et à des pressions quelconques.

171. — Désignez, en effet, par dR'' la réfraction *normale* pour la température t et la pression P. Désignez aussi par dR, dR', les réfractions qui correspondraient, la première à la température $(t+dt)$ ou t' et à la pression $P+dP$, la seconde à la pression $P+dP$ et à la température t. Nommez enfin a le coefficient de la dilatation de l'air. Vous aurez évidemment, d'après les principes connus :

$$dR'' : dR' :: P : P+dP$$
$$dR' : dR :: (1+at') : (1+at)$$

d'où

$$\frac{dR''}{dR} = \frac{P(1+at')}{(P+dP)(1+at)};$$

équation qui permet de calculer les valeurs normales dR'' au moyen des valeurs observées dR, et de construire ainsi une table dont tous les nombres se rapportent à la même température t et à la même pression P.

172. — Pour appliquer ensuite cette table aux observations, c'est-à-dire pour revenir des dR'' aux dR, dégagez cette dernière quantité de l'équation précédente. En vous bornant aux termes du premier ordre, en négligeant, par conséquent, les puissances supérieures de a et le produit de a, dP, vous obtenez :

$$dR = dR''\frac{(P+dP)}{P}\frac{(1+at)}{(1+at')} = dR''\left(1+\frac{dP}{P}\right)\left[1+a(t-t')\right]$$
$$= dR'' + dR''\frac{dP}{P} + dR''a(t-t');$$

et vous avez ainsi une somme de trois termes, dont les deux derniers ne sont autre chose que le premier multiplié successivement par les facteurs $\frac{dP}{P}$, $a(t-t')$. Il suffit donc de former séparément, dans la table, les valeurs de dR'' correspondant à toutes les distances zénithales depuis zéro jusqu'à 90°, et celles des facteurs $\frac{dP}{P}$, $a(t-t')$, calculés pour les variations possibles (dP) de pression, et ($t - t'$) de température atmosphériques. Le produit de chacun de ces facteurs par dR'' donne les deux corrections à faire à la réfraction normale (dR'') de la table, pour obtenir la réfraction (dR) applicable à l'observation.

173. **Formules théoriques de Bradley, Cassini, etc. — Formules plus complètes de Laplace; 1° Jusqu'à la distance zénithale de 74°; 2° Depuis 74° jusqu'à 90°.** — Nous avons vu (n° 159 et 160) que lorsqu'on peut, dans chaque couche, regarder les normales à l'incidence et à la sortie comme parallèles, l'on a théoriquement, $dR = A \operatorname{tang} R + B \operatorname{tang}^3 R + C \operatorname{tang}^5 R + \ldots$ Pour éluder la série, Bradley représenta les réfractions par la formule $dR = A \operatorname{tang}(R - 3\,dR) = 57'' \operatorname{tang}(R - 3dR)$; formule plus simple mais demandant une suite d'approximations successives à cause de l'angle ($R - 3dR$) compris sous le signe trigonométrique du second membre. Plusieurs Astronomes, Cassini, Simpson, Newton, Bernouilli, Boscowich, etc., donnèrent des formules analogues, et, souvent même, pour des cas où l'extrême rigueur n'était pas nécessaire, adoptèrent la formule $dR = 57'' \operatorname{tang} R$. Par une analyse plus approfondie des détails du phénomène, Laplace, à son tour, a trouvé l'expression suivante sur laquelle sont construites les tables généralement employées aujourd'hui, et que voici, légèrement modifiées par Delambre, pour la commodité du calcul :

$$dR = \frac{\alpha(1+y)\operatorname{tang} R}{(1+at)(1+bt)} + \frac{\frac{1}{2}\alpha^2(1+y)}{(1+at)(1+bt)} \times \frac{(1+2\cos^2 R)\operatorname{tang} R}{\cos^2 R}$$
$$- \frac{\alpha(1+y)}{(1+at)(1+bt)} \times 0{,}00125254\,\frac{\operatorname{tang} R}{\cos^2 R} - a\alpha t \times 0{,}00125254\,\frac{\operatorname{tang} R}{\cos^2 R};$$

R étant, comme plus haut, la distance zénithale apparente observée; t la température (également observée) en degrés centigrades; ($0^m\,76$) ($1+y$) la hauteur observée du baromètre, a et b les coefficients de dilatation de l'air et du mercure, enfin α une constante à déterminer expérimentalement, que Delambre trouva, par un grand nombre d'observations, égale à $60'',616$ et que les recherches directes de MM. Biot et Arago, sur le pouvoir réfringent de l'air, vinrent, plus tard, confirmer.

174. — Vers 74° de distance zénithale, et de là jusqu'à l'horizon, la formule précédente n'étant plus assez exacte, Laplace donne celle-ci qui paraît préférable, bien qu'alors les réfractions deviennent très-incertaines :

$$dR = 2790'',2\,(0{,}75479 - 0{,}49042\,T^2)\sin R\,\frac{2\psi(T)}{\sqrt{\pi}} + 10021'',4 \sin 2R;$$

formule dans laquelle $\psi(T) = C^{T^2}\int_T^{\infty} C^{-x^2}\,dx$, et où T est égal à

25,961924 cos R. C et π représentent, l'un la base des logarithmes népériens, l'autre le rapport de la circonférence au diamètre; et les secondes appartiennent à la division sexagésimale. Quant à l'intégrale $\int C^{-x^2} dx$, on sait, qu'entre les limites 0 et ∞, elle a pour valeur, d'après Laplace, $\frac{1}{2}\sqrt{\pi}$; il ne reste donc plus, pour l'avoir de T à l'infini, qu'à calculer, par quadratures, de 0 à T, et à retrancher ce dernier résultat de $\frac{1}{2}\sqrt{\pi}$, la différence sera le nombre qui doit faire partie de $\psi(T)$.

175. **Influences de l'azimut et de l'humidité sur les réfractions.** — Le rayon de la Terre entre, comme élément, dans les formules précédentes, à cause du coefficient α qui le contient. D'où il résulte que, les cercles osculateurs n'étant pas les mêmes tout autour de l'horizon, les réfractions doivent changer avec l'azimut. C'est, en effet, ce qui a lieu. Seulement, les différences ne s'élèvent, *au maximum*, qu'à quelques secondes centésimales et sont complétement insensibles, dès que l'Astre est tant soit peu élevé sur l'horizon. L'on peut donc ne tenir aucun compte de cette particularité. Mais il n'en est pas tout à fait de même, à la rigueur, de l'influence exercée par l'humidité de l'atmosphère, dont Laplace a représenté les effets par la table suivante, entre 15° et 40° de température :

Températures centigrades.		Accroissements de la réfraction en secondes sexagésimales.
15°.........		$=\frac{q}{q'}(0''182412)$ tang R
20°.........		$=\frac{q}{q'}(0.241016)$ tang R.
25°.........		$=\frac{q}{q'}(0.316548)$ tang R.
30°.........	A.	$=\frac{q}{q'}(0.412776)$ tang R.
35°.........		$=\frac{q}{q'}(0.534924)$ tang R.
40°.........		$=\frac{q}{q'}(0.687528)$ tang R.

Dans cette table, la fraction $\frac{q}{q'}$ désigne l'état hygrométrique de l'air, ou le rapport entre la quantité de vapeur réelle et la quantité de vapeur à saturation, pour la température à laquelle on observe. Si l'on suppose $\frac{q}{q'}=1$, $R=74°$, et $t=15°$, on trouve $A=0'',636$; et, dans l'hypothèse de $t = 40°$, avec $R = 74°$ et $\frac{q}{q'} = 1$, on a $A = 2'',398$: quantités plus grandes que celles correspondant au changement d'azimut, mais néanmoins, généralement négligeables à côté des valeurs de la réfraction dont la table suivante, calculée dans la *Connaissance des temps*, pour la pression barométrique $0^m,760$ et pour 10° de température centigrade, donnera l'idée.

TABLE DES RÉFRACTIONS.

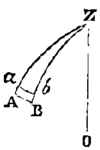
Distances zénithales apparentes R.	Réfractions.	Distances zénithales apparentes R.	Réfractions.
0°	0′ 0″,0	81°	5′ 53″,7
10	0 10 ,3	82	6 34 ,7
20	0 21 ,2	83	7 25 ,6
30	0 33 ,7	84	8 30 ,3
40	0 48 ,9	85	9 54 ,8
50	1 9 ,4	86	11 48 ,8
60	1 40 ,7	87	14 28 ,7
70	2 38 ,9	88	18 23 ,1
75	3 34 ,5	89	24 22 ,3
80	5 20 ,0	90	33 47 ,9

Baromètre.	Facteur $\left(1+\frac{dP}{P}\right)$.	Thermomètre.	Facteur $[1+a(t-t')]$.
$0^m 720$	0,947	— 30°	1,173
0,730	0,961	— 20	1,125
0,740	0,974	— 10	1,080
0,750	0,987	0	1,039
0,760	1,000	+ 10	1,000
0,770	1,013	+ 20	0,964
0,780	1,026	+ 30	0,931
0,790	1,039	+ 40	0,899
		+ 50	0,870

CINQUIÈME NOTE (N° 132). — EFFETS DE LA RÉFRACTION SUR LES DIAMÈTRES DES ASTRES.

176. **Accourcissement du diamètre vertical.** — Soient le diamètre angulaire du Soleil égal à 32′, et la distance zénithale apparente du bord supérieur égale à 89°.31′.30″,6. La distance zénithale du bord inférieur sera, dans ce cas, d'après Delambre, égale moyennement à 89°.59′.13″,4. — Différence = 27′.42″,8 = valeur apparente du diamètre vertical, au lieu de 32′. — Effet de la réfraction = 32′ — (27′.42″,8) = 4′.17″,2 = accourcissement du diamètre vertical.

Fig 113



177. Accourcissement du diamètre horizontal. — Quant au diamètre horizontal AB (*fig.* 113), il est élevé par la réfraction, et porté en *ab*. Pour calculer son accourcissement, vous avez dans le triangle *abZ*, en représentant *ab* par δ,

$$(1) \qquad (\cos ab = \cos \delta) = \cos Za . \cos Zb + \sin Za . \sin Zb . \cos Z$$
$$= \cos^2 R + \sin^2 R \cos Z,$$

à cause de $Za = Zb = R$, puisque *ab* est horizontal comme AB.

Différenciez par rapport à R seule quantité qui varie avec *ab* quand on passe de *ab* à AB, il vient

$$(2) \qquad -\sin \delta . d\delta = -2 \sin R \cos R \, dR + 2 \sin R \cos R \cos Z dR$$
$$= -2 \sin R \cos R dR (1 - \cos Z).$$

Mais l'équation (1) donne $\cos Z = \frac{\cos \delta - \cos^2 R}{\sin^2 R}$.

D'ou, substituant dans (2), vous obtenez :

$$\left[-\sin \delta d\delta = -2 \sin \tfrac{1}{2} \delta . \cos \tfrac{1}{2} \delta . d\delta \right]$$
$$= -2 \sin R \cos R dR \left(1 - \frac{\cos \delta - \cos^2 R}{\sin^2 R} \right)$$
$$= -2 \frac{\sin R \cos R dR}{\sin^2 R} (\sin^2 R - \cos \delta + \cos^2 R)$$
$$= -2 \operatorname{cotang} R (1 - \cos \delta) dR$$
$$= -2 \operatorname{cotang} R dR . 2 \sin^2 \tfrac{1}{2} \delta;$$

et, par suite,

$$d\delta = 2 \operatorname{cotang} R dR . \operatorname{tang} \tfrac{1}{2} \delta = \operatorname{cotang} R \operatorname{tang} \delta dR,$$

$$\text{à cause de } 2 \operatorname{tang} \tfrac{1}{2} \delta = \operatorname{tang} \delta,$$

sensiblement.

Faites $dR = A \operatorname{tang} R$ et vous aurez :

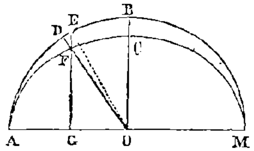
$$d\delta = A . \operatorname{tang} \delta = 57'' \operatorname{tang} \delta = 57'' \operatorname{tang} 32' = 0'',53$$

en adoptant pour A le coefficient (57″) de Bradley, donné plus haut.

D'où il résulte que, dans l'hypothèse $dR = A \operatorname{tang} R$, l'accourcissement du diamètre horizontal est constant pour toutes les distances zénithales R, et égal à une demi-seconde environ ; ce que l'on peut vérifier très-simplement au zénith. Car alors le centre du Soleil étant dans la verticale, chaque bord est à 16′ de distance zénitbale R ; et comme la réfraction est, d'après la table ci-dessus (note quatrième), égale à 1″ environ par degré ou à 1/4 de seconde pour 15′, on aurait une demi-seconde pour les deux bords, c'est-à-dire pour le diamètre.

178. Accourcissement des diamètres inclinés. — Les diamètres inclinés sont accourcis, à leur tour, proportionnellement au sinus carré de leur inclinaison sur l'horizontale. En effet, on peut, sans grande erreur, supposer que le disque apparent est sensiblement elliptique, ou que l'on a (*fig.* 114)

Fig. 114.



$$\left(\frac{EG}{FG}=\frac{Y}{y}\right)=\frac{BO}{CO}=\frac{a}{b};$$

Y, y étant les ordonnées du cercle ADBM et de l'ellipse AFCM, et a, b, les deux axes ($OA=OB$), OC, de cette dernière courbe. Or, les deux triangles DFE, GFO (semblables comme étant rectangles, l'un en D l'autre en G, et comme ayant les angles F opposés par le sommet), donnent

$$DF:EF::FG:FO,$$

d'où l'on tire, pour l'accourcissement DF du diamètre incliné DO,

$$DF=EF.\frac{FG}{FO}=(EG-GF)\sin FOG;$$

et, en posant $FOG=I$

(A) $$DF=(Y-y)\sin I.$$

Mais à cause de
$$\frac{Y}{y}=\frac{a}{b}$$

l'on a
$$\frac{Y-y}{Y}=\frac{a-b}{a},$$

et $$Y-y=\frac{Y}{a}(a-b)=\frac{EG}{EO}(a-b)=(a-b)\sin EOG=(a-b)\sin I$$

très-sensiblement, parce que les angles EOG, FOG, diffèrent peu l'un de l'autre.

Substituez la valeur de $(Y-y)$ dans l'équation (A), vous trouvez enfin

(A′) $$DF=(a-b)\sin^2 I.$$

Si vous voulez faire une table des valeurs de DF, vous n'avez donc qu'à déterminer expérimentalement ou à déduire des tables de réfraction, les valeurs de $(a-b)$ correspondant aux diverses distances zénithales, et à calculer ensuite les nombres $(a-b)\sin^2 I$ pour chacune des valeurs de $(a-b)$ et de I. Une simple proportion, il est à peine utile de le dire, vous donnera les nombres intermédiaires à ceux de la table.

DIXIÈME LEÇON.

Suite de l'étude du Soleil. — Mouvement de cet Astre dans son orbite; sa distance à la Terre est variable. — *Système de Ptolémée*; épicycles; excentrique. — *Sections coniques;* cercles; ellipses; paraboles; hyperboles; lignes asymptotiques. — *Application* des sections coniques, faite par Képler, au système du Monde. — Opinion de Képler sur sa découverte. — Aperçus historiques. — *Distance moyenne* du Soleil à la Terre. — Vitesse moyenne du Soleil. — Distances périgée et apogée. — Ligne des Absides. — Mouvement du grand axe. — Invariabilité de sa longueur. — Variations périodiques de l'excentricité. — *Jours et temps solaires vrais;* variations du jour solaire. — Jour et temps moyen. — Equation du temps. — Tracé graphique d'une méridienne; gnomons. — Jour civil et jour astronomique. — Année sidérale. — Année anomalistique. — Année tropique et équinoxiale. — Saisons; leurs durées. — *Calendrier.* — Calendrier Julien. — Années bissextiles. — Réforme et calendrier Grégorien. — Calendrier des Perses au moyen âge. — Année vague. — Année Turque. — Année républicaine Française. — Calendriers perpétuels. — Lettres dominicales. — Cycle solaire. — Indictions Romaine et Pontificale; Lustres et Olympiades. — Note sur les cadrans solaires. — Cadran équinoxial; cadran horizontal; cadrans verticaux.

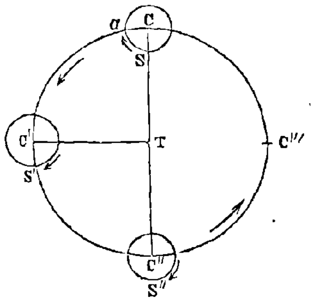
179. **Mouvement du Soleil dans son orbite.** — Les divers phénomènes que nous avons rencontrés, jusqu'à présent, dans l'étude du Soleil, ne dépendent point de la distance de cet Astre à la Terre; ils proviennent de l'obliquité de l'Écliptique, par rapport à l'Équateur. Nous allons aborder, aujourd'hui, des particularités d'un autre ordre, et chercher suivant quelles lois s'effectue le mouvement annuel, dans le plan même que semble parcourir le Soleil.

180. **La distance du Soleil à la Terre est variable.** — En mesurant avec soin, chaque jour, la grandeur apparente du disque lumineux, l'on ne tarde pas à s'apercevoir que cette grandeur est variable, et que les diamètres, dont la valeur angulaire moyenne soutend environ 32 minutes, augmentent ou diminuent graduellement, d'une époque à l'autre. Il ne paraît guère permis, néanmoins, de considérer de pareils changements comme étant réels; car les grandeurs apparentes redeviennent périodiquement les mêmes. L'on se trouve donc conduit, naturellement, à conclure que le Soleil doit se rapprocher et s'éloigner, alternativement, de la Terre, et que les inégalités, observées dans la grandeur du diamètre, correspondent tout simplement à des inégalités de distance.

181. — Les anciens avaient déjà remarqué le phénomène; ou plutôt, à défaut d'instruments assez précis pour leur permettre de le constater directement, ils l'avaient admis, *à priori*, comme une conséquence immédiate des variations que leur présentait le déplacement angulaire du Soleil autour de la Terre; et, dans leurs idées sur l'incorruptibilité des Cieux, sur la *perfection* des cercles, sur celle des mouvements uniformes, etc., ils s'étaient efforcés de représenter les changements de distance, par un assemblage compliqué de circonférences superposées les unes aux autres, qui, sous le nom de *système des épicycles* ou de système de *Ptolémée*, a seul, pendant quinze siècles, régné despotiquement au sein des écoles. C'est à ce bizarre système qu'Alphonse X, roi de Castille, surnommé le *Sage* ou le *Savant* (*Sapiens*), faisait allusion, quand il disait que « *s'il eût été consulté au moment de la création, il aurait pu donner à Dieu de bons conseils.* » Critique spirituelle de l'explication, bien plus que de l'œuvre, et dans laquelle Sanche trouva pourtant un prétexte pour détrôner son père, sous l'accusation d'impiété. Quoi qu'il en soit, voici à peu près comment Ptolémée, dans le système qui porte son nom, et qu'il serait juste peut-être de faire remonter jusqu'à Hipparque, explique les variations de vitesse et de distance.

182. Système de Ptolémée ou des épicycles. — Soient T (*fig.* 115) le centre de la Terre, et CC'C''C''' une circonférence décrite autour de ce point. Soit une seconde circonférence de rayon CS, sur laquelle se mouvrait uniformément le Soleil de S vers *a*, pendant que le centre C de cette circonférence, invariablement lié au point T, parcourrait, à son tour, avec une vitesse constante, la circonférence CC'C''C''' de C vers C'. Il est évident que, par cette combinaison du cercle TC appelé *déférent* (qui porte) et du cercle CS qu'on nomme *épicycle* (sur le cercle), le Soleil se trouvera tantôt plus près, tantôt plus loin de T, en S, en S', en S'', etc.; et qu'en outre sa vitesse *géocentrique* (par rapport au centre de la Terre), composée de la somme de deux vitesses (de la vitesse du Soleil sur l'épicycle, et de celle de l'épicycle sur le déférent) quand le Soleil est en S, à la distance minima de la Terre, ou, comme on dit, au périgée (*peri ghé* près de la Terre), et (composée) de la différence des mêmes vitesses, quand le Soleil est à la distance maxima en S'', à l'apogée (*apo ghé* loin de la terre), prendra successivement toutes les valeurs comprises entre ces limites. Seulement, on dut bientôt reconnaître que la combinaison précédente ne suffisait pas à représenter complétement le mouvement du Soleil; et l'on multiplia les épicycles, en faisant marcher le Soleil sur le contour de l'un d'eux, le centre de celui-ci sur le contour du second, le centre du second sur le contour d'un troisième, etc., enfin le centre du dernier sur le contour du déférent.

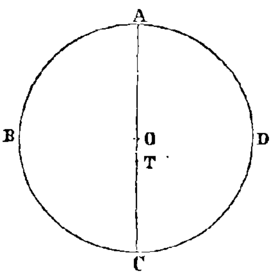
Fig. 115.



C'est au prétendu perfectionnement de pareilles conceptions, que s'appliquait principalement la critique d'Alphonse. L'on comprend qu'en effet, des esprits judicieux dussent difficilement se prêter à les considérer comme exprimant la réalité. Mais elles permettaient de calculer assez bien, par avance, les positions successives que devait occuper le Soleil; il était donc naturel de s'y rattacher, comme le fit Alphonse lui-même dans les Tables qui portent son nom (Tables Alphonsines), à défaut de notions plus exactes sur les lois véritables. Ces lois, Képler et Newton nous les ont enfin révélées; et, chose singulière! les épicycles, renversés d'abord de fond en comble, sont rentrés cependant, en quelque sorte, mais d'une manière indirecte et sous un point de vue bien autrement rationnel que celui de Ptolémée, dans la théorie du Soleil, par le principe des perturbations planétaires que nous aurons, sans doute, occasion d'étudier avant peu.

183. **Système de l'excentrique.** — L'Astronome d'Alexandrie expliquait, au reste, par une seconde méthode, les inégalités de distance et de vitesse apparentes. Il supposait la Terre placée en T (*fig.* 116), à la distance TO du centre du cercle ABCD uniformément parcouru par le Soleil. Ce second système qui n'est autre, au fond, que le premier, a pris le nom de système de l'*Excentrique*; et la distance TO a pris celui d'*excentricité*. Les détails relatifs aux épicycles me dispensent d'insister longuement à son sujet. Je me hâte donc d'arriver aux brillantes découvertes par lesquelles, reconnaissant la nature des divers mouvements célestes, Képler ouvrait la voie qui devait conduire Newton à ne faire dépendre ces divers mouvements que d'une cause permanente unique, et des impulsions primitivement reçues.

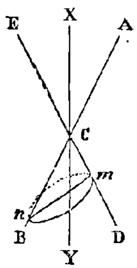
Fig. 116.



Mais auparavant, quelques mots sur certaines courbes dont on a souvent occasion d'entendre parler, et qui sont appelées *sections coniques* parce qu'il est possible de les obtenir en coupant un *cône* par des plans convenablement orientés.

184. **Sections coniques.** — Supposez deux droites infinies AB, XY (*fig.* 117), se coupant au point C, sous un angle quelconque ACX; et faites tourner AB autour de XY, de manière à ce que l'angle compris et le point d'intersection C restent invariables; vous aurez dans toute sa généralité la *surface conique circulaire* formée des deux nappes qui se projettent en ACE et en BCD. Je dis *circulaire*, parce que chacun des points de AB décrira *évidemment* un cercle; ce qui n'aurait pas lieu, si vous admettiez que l'angle ACX pût changer, comme on l'admet quelquefois, en effet, dans certaines combinaisons mathématiques, dont heureusement nous n'avons pas à nous préoccuper ici. La ligne XY est l'*axe* de la surface; le point C en est le sommet; la ligne AB la *génératrice* ou l'*arête*; enfin l'ensemble de la surface et du volume qu'elle comprend, constitue le cône.

Fig. 117.



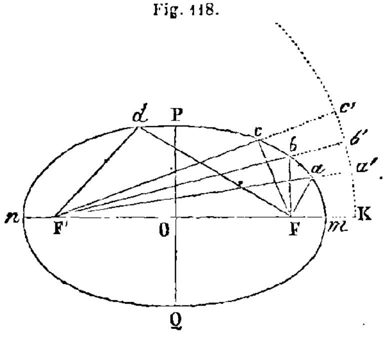
185. **Cercles.** — Coupez maintenant ce cône, par une série de plans parallèles entre eux et perpendiculaires à l'axe XY. Vous obtiendrez des cercles variant de grandeur depuis zéro jusqu'à l'infini, suivant que le plan sécant sera mené lui-même par le point C, ou par des points situés à une distance infinie du sommet. Les sections d'un cône, faites perpendiculairement à l'axe, vous donneront donc tous les cercles imaginables, puisque vous pourrez, en rapprochant de plus en plus les plans sécants successifs, rendre deux cercles voisins aussi peu différents l'un de l'autre que vous le voudrez.

186. **Ellipses.** — Mais si, au lieu de mener le plan sécant *mn*, perpendiculairement à l'axe, vous l'inclinez de manière cependant à ce qu'il coupe les deux arêtes opposées CD, CB, la courbe d'intersection deviendra un ovale, une espèce de cercle allongé que nous avons déjà rencontré dans nos études sur les Étoiles doubles, et qui porte le nom d'*ellipse*. On conçoit d'ailleurs ici, comme dans le cas du cercle, que, suivant la distance du sommet au plan sécant, et l'in-

clinaison de ce plan sur les génératrices, on aura des ellipses plus ou moins allongées, plus ou moins aplaties, toutes celles en un mot qu'il serait possible de construire; car on démontre, en géométrie, cette propriété remarquable des courbes dont nous nous occupons, que, quelles que soient leurs dimensions, elles pourront toujours s'appliquer sur un cône donné. Par conséquent, il n'est pas nécessaire de supposer l'angle BCD variable, pour obtenir autant d'ellipses différentes qu'on voudra; depuis celle qui se réduirait à un simple point (le sommet C) jusqu'aux ellipses qui auraient leur grand axe, *mn*, infini ou *presque infini*, soit parce que le plan sécant serait mené à une distance infinie du sommet, soit parce que, mené à une distance finie C*m*, il serait *presque parallèle* à la génératrice CB.

187. Parmi les propriétés de l'ellipse, il en est une qui permet de construire la courbe très-simplement. Elle consiste en ce que la somme des lignes menées de chacun des points *a*, *b*, *c*, *d*, etc., du contour (*fig.* 118), à deux points particuliers F, F′ du grand axe, auxquels on a donné le nom de *foyers*, forme toujours une longueur constante et égale au *grand axe*, c'est-à-dire à la ligne *mn*, qui divise symétriquement l'ellipse dans le sens de sa longueur. D'après

Fig. 118.



cela, pour tracer la courbe d'un mouvement continu, prenez, après avoir arbitrairement choisi la position des foyers, un fil égal à la longueur *mn* que vous voudrez donner au grand axe; attachez-en les extrémités aux foyers, et tenez-le constamment tendu à l'aide d'un poinçon que vous promènerez sur le plan où vous désirerez avoir l'ellipse. Il est évident que votre poinçon passera, successivement, aux points *a*, *b*, *c*, *d*, etc., et dessinera la courbe. Il est évident aussi que, plus les foyers seront voisins l'un de l'autre, plus la courbe sera bombée; et que l'ellipse deviendrait même tout à fait circulaire, dans le cas où ses deux foyers se réuniraient en un seul point qui serait, alors, le centre du cercle décrit avec le demi-grand axe pour rayon. L'ellipse peut donc être considérée comme une sorte de cercle à *deux centres*, dont la distance FF′ porte le nom *d'excentricité*. L'on appelle *centre* et *petit axe* de la courbe le point O milieu de FF′, et la perpendiculaire PQ au grand axe, menée par ce point. Enfin les lignes F*a*, F*b*, ou F′*a*, F′*b*, allant de l'un quelconque des foyers au contour de l'ellipse, sont appelées à leur tour, des *rayons vecteurs*.

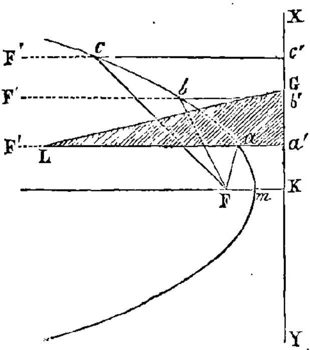
188. **Paraboles.** — Lorsque le plan sécant *mn*, de la fig. 117 est arrivé à la limite des positions qui peuvent donner des ellipses, c'est-à-dire quand il devient parallèle à l'arête CB, la courbe d'intersection, qui prend alors le nom de *parabole*, s'étend, sans se fermer, jusqu'à l'infini, mais conserve, tout naturellement, avec l'ellipse, des analogies correspondantes à celles que l'ellipse avait conservées, elle-même, vis-à-vis du cercle.

189. Le second foyer, par exemple, s'éloignant à l'infini, les rayons vecteurs F′*a*, F′*b*, etc., de la figure 118, deviennent parallèles à l'axe *n*F*m*. Or si, dans l'ellipse, on portait sur les prolongements de chacun des rayons vecteurs F′*a*,F′*b*,F′*c*, etc., les longueurs supplémentaires F*a*,F*b*,F*c*, etc., de manière à obtenir des lignes F′*a*′, F′*b*′, F′*c*′, etc., égales au grand axe *mn*, les extrémités *a*′, *b*′, *c*′, etc., appartiendraient, évidemment, à une circonférence de cercle, décrite, du foyer F′, avec le grand axe pour rayon, et venant couper la ligne *nm*, à une distance *m*K du sommet, égale à *n*F′, ou à F*m*. D'où, dans le passage de l'ellipse à la parabole, les longueurs *aa*′, *bb*′, *cc*′, etc., (*fig.* 119), *parallèles* à l'axe, deviendront égales aux rayons vecteurs F*a*, F*b*, F*c*, etc.; et les rayons F′*a*′, F′*b*′, F′*c*′, etc., étant infinis, la circonférence K*a*′*b*′*c*′..., cessera d'avoir une courbure appréciable. Ce qui veut dire, en d'autres termes, qu'elle se réduira à

ne plus être qu'une ligne droite, menée perpendiculairement au grand axe, à une distance mK égale à mF.

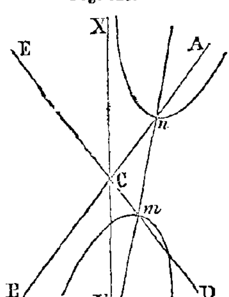
190. La ligne XKY est appelée *directrice* de la parabole, et peut servir au tracé de la courbe par un mouvement continu. Vous n'avez, en effet, qu'à prendre une équerre $La'G$, et un fil égal en longueur, au côté La', à appliquer l'équerre contre la directrice, après avoir fixé les extrémités du fil aux points L et F, et à tendre le fil avec un poinçon glissant sur le côté de l'équerre. Celle-ci marchera le long de la directrice; et le poinçon tracera un arc de parabole, puisque la longueur LaF du fil, étant égale à Laa', la portion Fa sera évidemment, elle-même, égale à la longueur aa'; et le point a déterminé par le poinçon appartiendra, conséquemment, à la courbe.

Fig. 119.



191. **Hyperboles.** — En dépassant le parallélisme à l'arête CB de la *fig.* 117, le plan sécant cessera de rencontrer cette arête du côté de B; mais il ira la couper en un certain point n (*fig.* 120), dans son prolongement CA. Au lieu d'une seule courbe, vous aurez alors deux arcs symétriques et infinis, appartenant, chacun, à l'une des nappes de la surface conique, et dont l'ensemble constitue ce que l'on appelle les deux *branches* d'une *hyperbole*, dernière catégorie des courbes formées par les sections du cône.

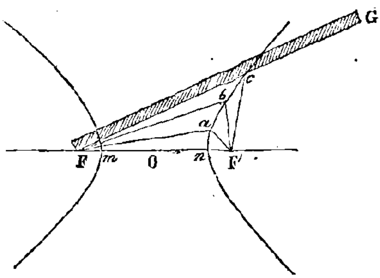
Fig. 120.



192. Il serait facile, encore ici, de trouver certaines cor-

rélations avec les courbes précédentes. Afin d'abréger, notons tout simplement que l'hyperbole a, comme l'ellipse, deux foyers F, F', (*fig.* 121), et un grand axe *mn*, constamment égal, non plus à la somme mais à la *différence* des deux rayons vecteurs (F*a*, F'*a*), (F*b*, F'*b*), (F*c*, F'*c*), etc., menés des foyers aux divers points *a*, *b*, *c*, etc., de la courbe, ce qui fournit, on peut le remarquer en passant, un moyen très-simple de construire l'hyperbole. Car il suffit, pour cela, de fixer l'une des extrémités de la règle FG, au foyer F, et un fil à l'autre foyer F', ainsi qu'au point G de la règle, en prenant la longueur de ce fil, égale à la

Fig. 121.



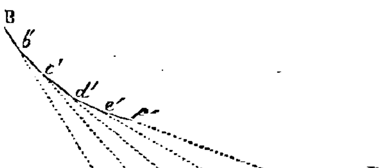
différence entre la longueur de la règle, et la longueur *mn* qu'on veut donner au grand axe. Le poinçon appliquant le fil sur la règle, pendant que celle-ci tournera autour du point F, viendra passer successivement aux divers points *c*, *b*, *a*, etc., caractérisés par la condition que G*c*F moins G*c*F' ou, plus simplement que *c*F moins *c*F', que *b*F moins *b*F', que *a*F moins *a*F', etc., que la différence de deux rayons vecteurs quelconques, en un mot, est égale à la différence entre la longueur de la règle et celle du fil, c'est-à-dire au grand axe lui-même. Propriété par laquelle nous avons précisément défini l'hyperbole, et qui permettrait pareillement de construire la seconde branche, en plaçant l'extrémité de la règle au point F', et celle du fil au point F.

193. Contrairement à ce qui a lieu pour le cercle, pour l'ellipse, et pour la parabole, l'hyperbole ne peut pas toujours s'appliquer sur un cône donné. Cette courbe exige des conditions particulières relatives à la grandeur de l'angle BCD (*fig.* 117), formé au sommet du cône. D'où il suit que, pour

obtenir toutes les hyperboles possibles, on devra faire varier non-seulement l'inclinaison du plan sécant sur la génératrice, et la distance de ce plan au sommet C, mais encore l'ouverture BCD de la surface conique. Sauf cette restriction qui, du reste, importe peu au but que nous nous proposons ici, l'on voit que chaque cône pourra déjà fournir, à lui seul, une grande variété d'hyperboles ; et j'ajouterai, comme une particularité très-curieuse de ce genre de courbes, que, pour l'une quelconque d'entre elles, à quelque cône qu'elle appartienne, il existe toujours un système de deux lignes droites, passant au centre, et jouissant, sous le nom d'*asymptotes*, de la propriété de se rapprocher *sans cesse* de l'hyperbole, sans jamais la rencontrer.

194. **Lignes et nombres asymptotiques.** — Ce résultat, qui n'appartient pas d'ailleurs exclusivement à l'hyperbole, et que beaucoup d'autres courbes fournissent également, peut, au premier abord, sembler paradoxal. Bien qu'il doive rester, pour notre objet, à peu près inutile, remarquons, puisque l'enchaînement des idées nous l'a fait rencontrer, qu'on s'en rend compte aisément par les considérations qui conduisirent un ancien philosophe à le découvrir. Étant au point A (*fig.* 122), sur le bord de la mer, le philosophe aurait, dit-on, appelé son chien placé au point B, et se serait mis à courir dans la direction AX. Les éléments rectilignes Bb', $b'c'$, $c'd'$, $d'e'$, $e'f'$, etc., parcourus par le chien, obligé de changer, à chaque instant, sa direction, pour tendre vers son maître, pendant que celui-ci parcourt, à son tour, successivement, Ab, bc, cd, de, ef, etc., devront laisser, sur le sable, une courbe dont AX serait l'asymptote, si cette courbe et la ligne AX étaient *mathématiquement* tracées, c'est-à-dire, n'avaient pas de largeur. Car lorsque le chien

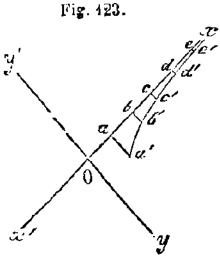
Fig. 122.



arrivera en b', le maître, déjà en b, ne se trouvera plus dans le prolongement de la ligne Bb'. Quand le premier arrivera en c', le second parviendra en c, hors du prolongement de $b'c'$ etc. Il en sera de même pour tous les petits éléments de la courbe, qui se dirigeront constamment vers les points de départ, et jamais vers les points d'arrivée des éléments correspondants de AX (par exemple, Bb' vers A, $b'c'$ vers b, $c'd'$ vers c, $d'e'$ vers d, etc.), et formeront par conséquent une courbe ayant évidemment, ainsi que je viens de le dire, AX pour *asymptote*.

195. Afin de mieux voir, au reste, par des nombres, comment la chose peut avoir lieu, prenez les lignes Ox, Oy (*fig.* 123) pour les deux *asymptotes* que vous voudrez donner à une courbe. Portez sur Ox des divisions égales entre elles, Oa, ab, bc, cd, de, etc.; et par les points a, b, c, d, e, etc., menez successivement, et parallèlement à Oy, les lignes aa' égale à oa, bb' égale à la moitié de aa', cc' égale à la moitié de bb', dd' égale à la moitié de cc', ee' égale à la moitié de dd', etc. N'est-il pas incontestable que la courbe passant par les points a', b', c', d', e', se rapprochera, toujours, de la droite Ox, et que *jamais* ces deux lignes ne pourront se rencontrer. Leur distance, en effet, décroîtra sans cesse, en diminuant de moitié, d'un point à l'autre, sur les divisions a, b, c, d, etc.; mais vous aurez beau rendre, successivement, les moitiés de plus en plus petites, vous ne parviendrez pas à les anéantir complétement, ni, par conséquent, à conduire la courbe jusqu'au contact de la droite. Les mêmes constructions et les mêmes raisonnements s'appliqueraient d'ailleurs identiquement, à peine est-il nécessaire de le remarquer, aux portions de courbe qu'on tracerait dans le sens de Oy, et de son prolongement Oy', ainsi que du prolongement Ox' de Ox, c'est-à-dire, aux quatre lignes qui formeraient les deux branches de la courbe asymptotique.

Fig. 123.

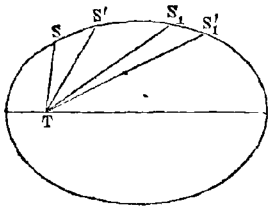


196. Voulez-vous encore un curieux exemple, non plus de lignes, mais de quantités asymptotiques l'une de l'autre? Prenez la série *un*, un *demi*, un *quart*, un *huitième*, un *seizième*, etc., et ajoutez tous les termes de cette série; vous vous rapprocherez constamment du nombre *deux*, mais jamais vous n'obtiendrez exactement ce nombre. Car, pour faire une somme égale à *deux*, il faudrait ajouter, à un certain nombre de termes, le dernier de ces termes lui-même, tandis qu'on n'en ajoute que la moitié. Ainsi au premier nombre *un*, vous devriez ajouter *un*, et vous n'ajoutez que un *demi*; il manque donc un *demi*. Si maintenant, au lieu de un *demi* vous n'ajoutez que la *moitié de* un *demi*, c'est-à-dire, un *quart*, il manquera un *quart*; en ajoutant la *moitié* d'un *quart* seulement, ou un *huitième*, vous laisserez pour déficit un *huitième*, etc., etc. Vous aurez donc une série de nombres dont la somme, constamment croissante, se rapprochera de plus en plus du nombre *deux*, et ne pourra cependant jamais l'égaler.

197. **Application des sections coniques, faites par Képler au système du Monde.** — Mais c'est assez insister sur ce sujet, sorte de récréation mathématique, à laquelle j'ai cru pouvoir m'abandonner, un instant, pour y prendre le type de certaines spéculations abstraites, aimées des anciens, et cause première, sans doute, de leurs longues études sur les sections coniques. Déjà plus de deux cents ans, en effet, avant l'ère vulgaire, Apollonius de Perge écrivait un traité de ces courbes qui, restées à peu près (sauf le cercle cependant) sans applications, pendant plus de vingt siècles, semblaient condamnées à n'être jamais qu'un objet de pure théorie; lorsque, en 1609, discutant, dans sa *physique céleste*, de laborieuses recherches, relatives à l'*Étoile* (Planète) Mars, et mettant à profit, de la manière la plus heureuse, les propriétés reconnues, par les anciens géomètres, aux sections du cône, Képler fut conduit à rejeter les épicycles de ses prédécesseurs, pour déclarer : 1° que le Soleil parcourt autour de la Terre, prise comme *foyer*, une courbe elliptique; 2° que la vitesse de cet Astre est liée au rayon vecteur, de

telle manière que les surfaces TSS',$TS_1S'_1$ (*fig.* 124), décrites par le rayon vecteur, dans l'unité de temps, une seconde, une minute, une heure, un jour, etc., sont constamment égales; que les *aires*, en un mot, ainsi qu'on le dit, *sont proportionnelles au temps*.

Fig. 124.



198. D'où il résulte que l'uniformité, rêvée par les anciens, ne saurait exister dans la vitesse du soleil, comme on s'était plu si longtemps à le croire; puisque le rayon vecteur venant à *augmenter* ou à *diminuer*, la vitesse qui sert de base aux triangles égaux STS', $S_1TS'_1$, etc., doit évidemment, par compensation, *diminuer* ou *augmenter* à son tour. Mais cette idée d'uniformité se réalise néanmoins d'une autre manière. Car s'il n'est plus possible de l'appliquer, directement, à la marche du Soleil, on la retrouve dans les variations réciproques des distances de cet Astre à la Terre et des chemins qu'il parcourt. Illusoires au point de vue qui les avait fait naître, les présomptions théoriques des Astronomes d'Alexandrie sont donc justifiées, en quelque sorte, par la combinaison de deux éléments peu complexes; et, en détrônant la prétendue régularité des mouvements dans les épicycles, la constance des aires que décrit le rayon vecteur, loin d'indiquer un surcroît de complication des lois naturelles, devient, au contraire, une preuve nouvelle de la simplicité de ces lois.

199. — Le principe que nous venons d'appliquer au mouvement du Soleil autour de la Terre, Képler l'appliqua, en réalité, à la marche de la Terre autour du Soleil. Car, en 1609, Copernic avait déjà, depuis plus d'un demi-siècle, mis à peu près hors de doute l'immobilité de ce dernier Astre et le déplacement de la Terre, mais en conservant néanmoins, et même en surchargeant d'un second épicycle, le premier épicycle de Ptolémée. Seulement, comme les apparences célestes sont évidemment identiques dans les deux cas, ainsi que nous aurons, d'ailleurs, occasion de le vérifier par la

suite, je dirai, pour continuer momentanément l'hypothèse de l'immobilité de la Terre, que la découverte de Képler permet de calculer aisément la position du Soleil dans le Ciel. Plus tard, quand nous étudierons les Planètes, nous retrouverons encore cette découverte; et nous devrons en compléter l'énoncé, par celui d'un troisième principe qui forme, avec les deux précédents, ce qu'en Astronomie l'on nomme les *lois de Képler*. Lois fécondes, dont Newton fera jaillir, à son tour, le principe ainsi que les lois de la *gravitation universelle*, et qui conduiront à reconnaître, dans l'harmonie des mouvements célestes, l'action incessante d'une force unique, sujette à des variations toujours calculables; tandis qu'au contraire, pour expliquer comment les divers Astres du Firmament peuvent mutuellement s'attirer, Képler les avait supposés poussés, les uns vers les autres, par une sorte d'*inclination* ou d'*amour !*

200. **Opinion de Képler sur sa découverte. — Aperçus historiques.** — On doit être curieux de savoir comment ce grand homme appréciait ses découvertes. Voulez-vous en juger ? « Il ne les aurait pas, disait-il, échangées contre le grand duché de Saxe. » Et certes, il avait raison. Sa vie, pourtant, était loin d'être heureuse. Car il se plaint, dans un de ses écrits, « des malheurs du temps, qui empêchent les gardes du trésor de lui payer exactement sa pension de mathématicien de l'Empereur. » C'est pour tâcher d'obtenir le payement des arrérages de cette pension, qu'après onze années de privations courageusement supportées, Képler se rendit de Prague à Ratisbonne, dans les premiers jours de novembre 1631. Mais, déjà brisé par les souffrances morales, il ne put résister aux fatigues d'un voyage qu'il venait de faire à cheval, par des froids assez rudes; et le 13 novembre, il expirait loin des siens, à l'âge de soixante ans, avec la douloureuse pensée que le souvenir de son nom serait peut-être inutile aux êtres aimés qui lui survivaient. Tristes et cruels pressentiments que l'avenir devait, hélas, trop complétement réaliser! La gloire et la pauvreté! Voilà donc quel fut le sort de l'homme qu'on appelle, à si juste titre, le *Législateur de*

l'*Astronomie*, et dont les brillantes découvertes ont exercé tant d'influence sur le perfectionnement des Tables astronomiques, par suite aussi sur la navigation, l'une des sources les plus abondantes de la puissance, du commerce et de la richesse des peuples!

201. — Képler fut enseveli sans pompe dans le cimetière de Saint-Pierre à Ratisbonne; et deux siècles ont dû passer sur sa tombe, avant que la reconnaissance publique se soit préoccupée d'un monument pour sa mémoire. Commencé seulement en 1807, par les soins du prince primat Charles d'Alberg, évêque de Constance et souverain de la principauté de Ratisbonne, ce monument fut enfin inauguré, l'année suivante, le 27 décembre 1808, jour anniversaire de la naissance de Képler, dont on peut voir aujourd'hui le buste, en marbre de Carrare, assez ressemblant au portrait des Tables *Rudolphines* (1), au centre d'une vaste rotonde, dans le jardin de botanique de Ratisbonne, à soixante-dix pas du lieu où reposent les cendres de l'illustre Astronome. Un bas-relief représente le génie de ce grand homme, soulevant le voile qui couvrait Uranie; et la déesse lui offre, d'une main, la lunette à deux verres convexes, ou *lunette astronomique*, dont il eut la première idée, tandis que, de l'autre main, elle tient un rouleau, sur lequel est tracée l'*ellipse de Mars*, acheminement immédiat vers l'*ellipse solaire*.

Mais le monument aura cessé d'exister depuis des siècles, que le souvenir de Képler brillera toujours du plus pur éclat. Grâces aux bienfaits de l'art dont un autre génie a doté le monde, les Tablettes de l'histoire sont devenues, en effet, de nos jours, bien autrement durables que le bronze ou le marbre des statues; et les piédestaux n'honorent plus que les peuples qui les élèvent, depuis que la main puissante de l'imprimerie s'est mise à perpétuer l'apothéose des grands hommes, en perpétuant leurs bienfaits.

202. — Toutefois, on doit le reconnaître, placé sur les confins de deux siècles, entre lesquels s'est opérée, dans les

(1) Du nom de l'empereur Rodolphe, bienfaiteur de Képler.

conceptions cosmogoniques de l'esprit humain, la démarcation la plus frappante, Képler, en allumant le flambeau qui réservait à l'avenir de si vives lumières, ne pouvait guère échapper entièrement aux préjugés enfantés par les ténèbres dont il avait été précédé. Doué d'une imagination ardente, possédé d'un esprit inquiet, brûlant du désir de s'illustrer, et se destinant d'abord à l'état ecclésiastique, il brillait déjà, dans la prédication, dès l'âge de vingt-deux ans, quand les exhortations de Mœsklin, son maître, qui lui faisait obtenir une chaire de mathématiques à Gratz, le donnèrent à l'Astronomie.

203. — Dès lors, invariablement entraîné vers la recherche des causes, il ne rencontra pas un fait dont il ne voulût fournir l'explication. Aussi, ses premiers ouvrages renferment-ils plus d'une idée bizarre. Son *Prodrome*, par exemple, imprimé en 1596, avait pour but de prouver qu'en arrangeant l'univers, le Créateur s'était préoccupé des cinq corps réguliers inscriptibles dans la sphère, et que, sur les propriétes de ces corps, se trouvaient réglés les mouvements, l'ordre et les proportions des Cieux.

Heureusement, Tycho-Brahé qui venait de se retirer en Allemagne, après avoir illustré pendant vingt ans (de 1577 à 1597), l'Observatoire fondé pour lui, dans la petite île d'Huéne, par le roi de Danemark, Frédéric II, sut découvrir, dans les erreurs elles-mêmes, le génie du jeune Astronome. Il fit nommer ce dernier mathématicien de l'Empereur, en l'engageant à venir auprès de lui, à Prague, pour s'attacher au calcul des observations. Et grâces à cette circonstance favorable qui, après quelques résistances, finit cependant par le mettre en possession de la masse de précieux matériaux qu'avait amassés son second maître, Képler put enrichir la science d'une des plus belles découvertes de la philosophie naturelle.

204. — Du reste, en déclarant qu'au lieu d'être seulement apparentes par suite de la position de la Terre hors du centre de l'excentrique, ainsi qu'on l'avait cru jusqn'alors, les inégalités du mouvement solaire existaient réellement, Képler

ne se borna pas à constater un fait. Il voulut, comme toujours, remonter à la cause. Et s'il ne fut pas assez heureux pour la trouver entièrement ; si la découverte de cette cause dut attendre Newton ; Képler, du moins, eut la gloire de l'avoir cherchée, et même d'avoir indiqué, sur la gravitation universelle, des aperçus marqués au sceau du génie. Mais ce n'est pas ici le lieu de développer un pareil sujet que nous retrouverons dans une autre circonstance. Pour le moment, avant de continuer l'étude du Soleil, je ne sais pas résister au désir de citer quelques lignes empruntées à Képler lui-même.

« *Depuis huit mois*, dit-il, j'ai vu le premier rayon de » lumière ; depuis trois mois, j'ai vu le jour ; enfin depuis » peu de jours, j'ai vu le Soleil de la plus admirable contem- » plation. Rien ne me retient, je me livre à mon enthou- » siasme. Je veux insulter aux mortels, par l'aveu ingénu que » j'ai dérobé les vases d'or aux Egyptiens (1), pour en former, » à mon Dieu, un tabernacle, loin des confins de l'Egypte. Si » vous me pardonnez, je m'en réjouirai ; si vous m'en faites » un reproche, je le supporterai. Le sort en est jeté ; j'écris » mon livre. Il sera lu par l'âge présent ou par la postérité, » peu m'importe. Il pourra attendre son lecteur. Dieu n'a-t-il » pas attendu six mille ans un contemplateur de ses œu- » vres, etc. »

Et ailleurs :

« Achevons la découverte commencée il y a vingt-deux ans.

« *Sera quidem respexit inertem*,
» *Respexit tamen et longo post tempore venit* (2).

» Si vous voulez connaître l'instant, c'est le 18 mars 1618. » Conçue, mais mal calculée ; rejetée comme fausse ; revenue » le 15 mai avec une nouvelle vivacité, elle a dissipé les ténè- » bres de mon esprit. Elle est si pleinement confirmée par les » observations de Tycho-Brahé, que je croyais rêver et faire » quelque pétition de principe. »

(1) Allusion, sans doute, au système de Ptolémée qu'il renverse.
(2) Elle s'est fait attendre, mais enfin elle est venue.

Après cet élan d'enthousiasme, dont l'emphase, malgré quelque peu d'exagération, est cependant ici loin de déplaire, que dire des passages suivants ? — « Tycho a jeté les fon- » dements de l'Astronomie, par ses observations et surtout » par son Catalogue d'Étoiles, qui est comme le *ciment de* » *l'édifice*. Les Tables du Soleil en sont la *colonne principale ;* » la théorie de la Lune en est le *portique* ou le *premier pa-* » *lais*. Lui, Képler, dans son optique, il se propose d'y ajou- » ter les *fenêtres* et les *escaliers*. Il a déjà fait l'*armoire* ou » l'*arsenal*, dans la théorie de Mars. Il ne tardera pas à » construire la cuisine, la salle à manger, la chambre à cou- » cher et le cabinet sur lesquels il bâtira un *étage supérieur,* » en guise d'Observatoire, d'où l'on découvrira toute la suite » des siècles ; enfin les Tables *Rudolphines* formeront le toit » et le faîte, etc. Le monde *sphérique* est l'image de la » Trinité ; le Père est le centre ; le Fils la surface ; le Saint- » Esprit tout ce qui est entre le centre et la surface; en sorte » que les trois ne font qu'un... » Mais à 250 ans d'intervalle, quand les habitudes et les goûts ont subi tant de modifications, ne serait-il pas téméraire de prétendre apprécier Képler par son style, d'après notre manière actuelle de sentir ? Quittons donc ce grand homme, et reprenons l'histoire du Soleil.

205.—Pour construire entièrement l'ellipse décrite, quand les rapports des divers rayons vecteurs ont été déterminés soit par la loi des aires, soit par les variations apparentes de la grandeur du Soleil, il suffira d'avoir une seule distance. Mais là commencent, *pratiquement*, les difficultés: Ni Képler, ni Tycho n'ont connu la vraie distance du Soleil à la Terre; et c'est en 1769 seulement, à l'aide d'une méthode dont nous aurons occasion de nous occuper plus tard, que cette distance fut convenablement obtenue. La valeur moyenne généralement adoptée jusqu'à présent, correspond à 8″,6 (huit secondes six dixièmes) de parallaxe, angle sous lequel on apercevrait du Soleil, le rayon terrestre ; le rayon solaire se montrant alors aux habitants de la Terre, sous un angle de 16′.2″ (soit 962 secondes). Il suit de là, nous pouvons le remarquer en passant, que les dimensions réelles du Soleil contiennent celles de la Terre, comme 962,0 contient 8,6, c'est-à-dire 112 fois. Ce qui, d'après les principes les plus simples de la géométrie, donnerait le nombre 12544 (carré de 112) pour le rapport entre les surfaces des deux corps, et le nombre 1404928 (cube de 112) pour le rapport des deux volumes.

206. **Distance moyenne du Soleil à la Terre. — Vitesse moyenne du Soleil. — Distances périgée et apogée, ligne des absides. — Mouvement du grand axe, invariabilité de sa longueur. — Variations périodiques de l'excentricité.** — Quant à la distance, les procédés que nous avons employés déjà dans l'étude des Étoiles, ou des procédés analogues, nous la feraient trouver égale à 23984 fois la longueur aperçue sous un angle de 8″, 6. Cette longueur (rayon moyen de la Terre) vaut elle-même 1591 lieues, 55 de 4000 mètres, et donne, en nombre rond, 38172000 lieues (152688000 kilomètres) pour la distance *moyenne* qui nous sépare du Soleil. D'où résulte, pour la vitesse moyenne de cet Astre autour de la Terre, le nombre 655 *mille* lieues parcourues chaque jour. La forme de l'ellipse solaire étant d'ailleurs connue, on peut en déduire, sans difficulté, les distances extrêmes qui sont égales, la plus petite (périgée), à 37 millions 528000, la plus grande (apogée) à 38 millions 815.000 lieues, et dont la somme, formant le grand axe de l'ellipse, est ce qu'on nomme en Astronomie, la *ligne des absides*. Par suite des attractions qu'exercent les diverses Planètes sur la Terre, cette ligne ne conserve pas dans le Ciel une position invariable. On a reconnu qu'elle se déplace chaque année, *vers l'Orient*, d'un angle de 12 secondes environ. Les vitesses *maxima* et *minima* du Soleil correspondent à ses deux extrémités et sont égales, en angles, à 61 minutes au périgée, 57 minutes à l'apogée, ou, en longueurs absolues, à 666 mille et 643 mille lieues. Sa longueur reste d'ailleurs invariable; mais les autres éléments de l'ellipse solaire éprouvent des changements périodiques. En ce moment, par exemple, l'excentricité diminue graduellement, d'année en année; et

l'ellipse se bombe de plus en plus, pour s'aplatir par la suite, quand l'excentricité croîtra de nouveau. La durée de la période est, au reste, extrêmement longue; et les modifications de l'ellipse resteront toujours très-peu étendues.

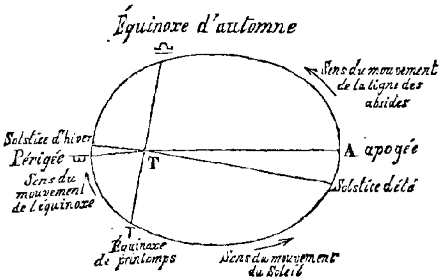
207. — Ajoutons que des recherches récentes de M. Leverrier sembleraient devoir modifier légèrement les résultats précédents, en élevant à 8'',95 la parallaxe du Soleil, quand le rayon de cet Astre soutend, vu de la Terre, un angle de 16' 0'' ou de 960 secondes. Cette valeur assignerait à la distance moyenne, une longueur de 23043 fois le rayon équatorial de la Terre, égal à 1594, 35 lieues. Mais elle suppose la parallaxe de la Lune, exactement connue; ce qui paraît assez admissible, quand on songe à la facilité des déterminations, pour un Astre aussi rapproché de nous que l'est notre Satellite. Quoi qu'il en soit, du reste, à cet égard, les particularités dont nous avons encore à nous occuper dans l'histoire du Soleil, étant sensiblement indépendantes de petites incertitudes sur sa distance, nous pouvons continuer nos études, sans nous arrêter à quelques légers doutes que fera disparaître, en 1874, selon toute probabilité, la reproduction du phénomène de 1769 (le passage de Vénus sur le Soleil) (1).

(1) Une nouvelle discussion des observations de 1769, faite récemment (1864), donnerait 8'',86 pour la parallaxe du Soleil. En septembre 1862, M. Foucault, à son tour, par des expériences très-précises sur la vitesse de la lumière, a trouvé, précisément, le même nombre 8'',86. Vers la même époque, ce qu'on nomme l'*opposition de Mars*, a fourni 8'',95; enfin, M. Hansen, dans la théorie de la Lune, vient d'obtenir 8'',97. L'accord de ces divers nombres donne à penser que la parallaxe de 1769 est, en effet, un peu trop petite. Si l'on adoptait, provisoirement, la valeur 8'',86 et celle de 16'.1'',82 pour le rayon solaire correspondant, l'on trouverait que la distance moyenne du Soleil à la Terre, se réduit à 23280 fois le rayon terrestre (soit 37051000 lieues), et que le diamètre du Soleil n'est plus, au lieu de 112 fois, que 108,56 fois le diamètre de notre Globe; auquel cas la surface et le volume deviendraient respectivement égaux à 11785 et 1279409.

208. **Jour et temps solaires vrais; variations du jour solaire.** — Nous avons déjà vu que les retours successifs du Soleil au Méridien, sont séparés, entre eux, par un intervalle de 24 heures 4 minutes environ de temps sidéral. C'est ce qui constitue la durée du *jour solaire*. Mais les inégalités de la vitesse dans l'ellipse, et l'obliquité du plan d'Ecliptique sur l'Equateur parallèlement auquel s'effectue le mouvement diurne de la sphère étoilée, produisent, d'un jour à l'autre, des différences dont l'accumulation finit par devenir très-sensible. Ainsi le grand axe de l'ellipse solaire, faisant, à l'époque actuelle, avec la ligne des équinoxes, un angle d'environ 100 degrés, nous trouvons qu'en 1865, vers le 10 février, le 14 mai, le 25 juillet et le 2 novembre, le jour solaire a duré $24^h.3^m.56^s$, 555 de temps sidéral; qu'il a duré seulement $24^h.3^m.27^s$, 44 le 27 mars, $24^h.3^m.34^s$, 77 le 15 septembre; tandis qu'au contraire, le 20 juin et le 22 décembre il s'est prolongé pendant $24^h.4^m.9^s$, 03 et $24^h.4^m.26^s$, 09; qu'il varie graduellement, d'une saison à l'autre, et que, par suite, il réclame, dans les régulateurs des horloges destinées à marquer le *temps vrai*, des modifications incessantes, ayant pour objet de faire avancer ou retarder ces horloges.

Le mouvement de précession (nº 124) et le déplacement

Fig. 125.



de l'apogée (nº 206), inverses l'un de l'autre, éloignant d'ailleurs, chaque année, l'apogée A (*fig.* 125) de l'Équinoxe ♈, il est évident que les Solstices et les Équinoxes, auxquels correspondent précisément les commencements des saisons, occuperont, successivement, différentes positions sur l'orbite elliptique; et, dès lors, on conçoit que la vitesse du Soleil ne redevenant pas exactement la même à des dates identiques, les résultats énoncés plus haut devront changer progressivement.

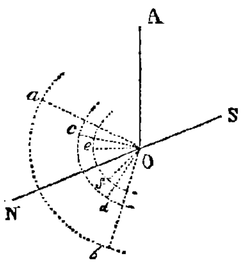
209. **Jour et temps moyens.** — Il y avait donc intérêt, pour les usages de la vie, à éluder les irrégularités du jour solaire; et comme, heureusement, grâces au peu d'ellipticité de l'orbite, ces irrégularités se trouvent comprises dans des limites assez restreintes, on a pu substituer au *jour vrai* une sorte de *jour moyen* déterminé par les retours successifs, au méridien, d'un Soleil *fictif* qui parcourrait *uniformément* l'Équateur, dans le temps que le Soleil *réel* emploie à parcourir l'Écliptique d'un *mouvement varié*. Ou, plutôt, on imagine un premier Soleil *idéal*, partant, avec une vitesse constante, du Périgée ϖ, au même moment que le Soleil véritable; et c'est quand ce premier Soleil arrive à l'Équinoxe, qu'on fait partir le deuxième Soleil fictif qui doit parcourir l'Équateur pour donner, par ses retours successifs au Méridien, la longueur des *jours moyens*. Tout calcul fait, et après avoir effectué les réductions convenables par suite du déplacement de l'Équinoxe ou du Périgée, on trouve, pour le jour moyen, précisément la durée $24^h.\ 3^m.\ 56^s,555$ de temps sidéral, donné plus haut, et correspondant au 10 février, etc.

210. Avant que les horloges publiques eussent acquis le degré de perfection qu'elles possèdent aujourd'hui, il était à peu près indifférent que ces appareils fussent réglés sur le temps *moyen*, ou sur le temps *vrai*; mais, depuis 1816, la ville de Paris, et, d'après son exemple, la plupart des autres villes de France, ont adopté le temps moyen, dont les plus grands écarts sur le temps vrai, un peu variables d'une année à l'autre, ne s'élèvent, *au maximum*, qu'à 16 minutes 20 secondes environ.

211. **Équation du temps.** — On conçoit que ces écarts, auxquels on donne le nom d'*Équation du temps*, puissent être aisément déterminés d'après les marches connues du Soleil moyen et du Soleil vrai. La plupart des *Éphémérides*, *Connaissance des temps*, *Nautical almanach*, etc, et tous les calendriers, fournissent, en effet, pour chaque jour, *le temps moyen* à *midi vrai;* et l'on sait, par conséquent, l'heure exacte que doivent marquer les horloges, lorsque le Soleil passe au méridien.

Tracé graphique d'une méridienne. — Il suffira donc, lorsque l'on voudra régler soi-même sa montre, de tracer sur un plan horizontal, la ligne méridienne NS (*fig.* 126), qui s'obtient aisément à l'aide du style vertical OA, et de quelques arcs de cercle décrits du point O (pied du style) comme centre. Car les points *a*, *b*, ... *c*, *d*, ... *e*, *f*, ... etc., où l'ombre du sommet du style viendra couper les circonférences, aux époques des Solstices (1), se trouvant, deux à deux, symétriquement placés, à droite et à gauche du Méridien, fourniront des angles aOb, cOd, eOf, etc., dont la division, en deux parties égales, indiquera la direction SN, avec d'autant plus d'exactitude, qu'on aura pris plus de cercles pour éliminer, par une moyenne, les erreurs de cette détermination.

Fig. 126.



Gnomons. — La méridienne ainsi obtenue, peut d'ailleurs être facilement transportée sur le parquet d'un appartement, sur l'accoudoir d'une croisée, etc., où l'on marquera la trace

(1) Et, sans erreur notable, dans une opération de cette nature, à toute autre époque, bien que les longueurs des ombres, correspondant à des azimuts égaux, varient du matin au soir, quand les déclinaisons du Soleil changent pendant la journée; ce qui occasionne quelques légères différences de position, entre la méridienne et les bissectrices des angles aOb, cOd, eOf, etc.

rectiligne de l'ombre du montant vertical, dès que l'ombre du style OA viendra se projeter sur la méridienne SN (1). Disons, en passant, à cette occasion, que le style OA sert quelquefois, qu'il fut surtout très-employé jusqu'au siècle dernier, sous le nom de *gnomon* (indice), à déterminer les longueurs des ombres méridiennes, et par suite aussi, les diverses déclinaisons du Soleil. Seulement, pour une application de cette nature, on lui donne des hauteurs considérables, 20, 30, 40, 50 mètres, etc.; on le place au sommet d'une colonne, d'un obélisque, etc. Ou bien, comme le fit l'horloger Sully, en 1727, à l'église Saint-Sulpice de Paris; et comme l'avaient déjà fait également les Arabes du moyen âge à Samarcande; Torcanelli, vers 1467, à la cathédrale de Florence; le dominicain Ignace Danti, en 1575, à l'église Sainte-Petronne de Bologne; Gassendi, en 1636, à l'Oratoire de Marseille; Picart, en 1669, à l'Observatoire de Paris, etc., etc., on pratique tout simplement, vers le haut de l'édifice, une petite ouverture, par laquelle passent les rayons du Soleil qui viennent se peindre sur le sol du bâtiment. Et l'on conçoit, qu'en effet, avec des proportions de cette nature, l'appareil soit susceptible d'une assez grande précision, malgré quelques causes d'incertitude, telles, par exemple, que la difficulté d'apprécier rigoureusement la position du centre de l'image ou de tenir compte des dilatations, souvent irrégulières, qu'avait reconnues Prony par ses expériences à l'Hôtel des Invalides de Paris, et que j'ai pu constater moi-même, maintes fois, à Toulouse, dans d'épaisses murailles, sous l'influence de l'insolation, etc.

212. Quoi qu'il en soit, au reste, du degré d'exactitude qu'on pourrait attendre d'un instrument auquel nous devons, cependant, les plus anciennes déterminations relatives à la marche du Soleil, voici quelques-unes des principales valeurs de l'équation du temps, qui donneront l'idée de la manière dont varient, dans le courant de l'année, les différences entre le temps moyen et le temps vrai.

(1) Voir, à la fin de la 10e leçon, la note sur les cadrans solaires.

Équation du temps en 1865 (légèrement variable d'une année à l'autre, comme la durée des jours solaires (n° 208) :

Nulle	le 15 avril.	*Maxima* — (toutes les autres valeurs étant comprises entre celles-ci)	Le 10 février — égale en *plus* à $14^m.31^s$, c'est-à-dire qu'à midi *vrai*, il est *midi* $14^m.31^s$.	de temps moyen.
	le 14 juin.		Le 14 mai — égale en *moins* à $3^m\,53^s$., c'est-à-dire qu'à midi *vrai*, il est $11^h\,56^m.7^s$.	
	le 31 août.		Le 26 juillet — égale en *plus* à $6^m.13^s$., c'est-à-dire qu'à midi *vrai*, il est *midi* $6^m.13^s$.	
	le 24 déc.		Le 3 novem. — égale en *moins* à $16^m.18^s$., c'est-à-dire qu'à midi *vrai*, il est $11^h.43^m.42^s$.	

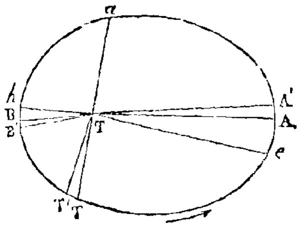
213. **Jour civil et jour astronomique.** — Dans les usages de la vie, on fait commencer le jour à *minuit*; mais les Astronomes préfèrent compter le temps à partir du moment où le Soleil passe au méridien. De là, une différence de 12 heures entre le jour *civil* et le jour *astronomique* commençant à midi, 12 heures après le premier, et désigné d'ailleurs, suivant les cas, il n'est pas besoin de le dire, par les noms de jour *moyen* ou de jour *vrai*.

214. **Année sidérale.** — Nous possédons, maintenant, toutes les notions nécessaires pour détailler les grandes divisions du temps, employées soit en Astronomie, soit dans la vie civile, et correspondant aux révolutions périodiques du Soleil autour de la Terre. Voulez-vous, d'abord, considérer le circuit entier de cet Astre? Prenez les deux époques précises où il se trouve en conjonction avec une certaine Étoile, c'est-à-dire où il passe, en même temps qu'elle, au Méridien; et vous aurez alors l'*anneau sidéral* des Astronomes, l'*année sidérale*, comme on dit le plus communément, dont la durée, en *jours moyens*, est très-sensiblement égale à $365^j,25637$.

215. **Année anomalistique.** — Voulez-vous considérer, au contraire, l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux retours successifs du Soleil à l'une des extrémités *du grand axe*, au Périgée ou à l'Apogée? Remarquez que le mouvement annuel de 12 secondes, effectué dans le sens du mouvement solaire lui-même, aura transporté la ligne des absides, de la position AB (*fig.* 127) à la position A'B', quand le Soleil parti de A ou de B, se retrouvera à son point de départ

après avoir fait un tour entier du Ciel. Il faudra donc que cet Astre parcoure encore les arcs AA′, ou BB′, pour rejoindre le sommet de l'ellipse, et compléter l'année *anomalistique;* ainsi nommée, parce que, décrits d'un mouvement *inégal*, les angles du rayon vecteur et du grand axe portent le nom d'*anomalies* (1). Et comme, d'ailleurs, les arcs AA′ et BB′ diffèrent légèrement l'un de l'autre, l'année anomalistique augmentera ou diminuera d'une petite fraction (23 cent millièmes de jour environ, ou 20 secondes), suivant qu'on la fera partir de l'apogée ou du périgée. Dans le cas de l'apogée pris comme origine, vous trouverez, pour sa valeur, $365^{j.\,moy.},2597$.

Fig. 127.



216. **Année tropique ou équinoxiale. — Saisons. — Leur durée.** — Voulez-vous, enfin, obtenir la durée de l'année qu'on appelle *tropique* ou *équinoxiale*, et qui correspond à l'intervalle du temps écoulé entre deux passages successifs du Soleil au même équinoxe (autrefois au même tropique)? Songez que, la précession faisant rétrograder le point équinoxial ϒ, vers le point B′, le Soleil parti de ϒ pour se diriger vers A, retrouvera l'Équinoxe en ϒ′, avant qu'une révolution entière soit accomplie. Aussi cette troisième espèce d'année, la seule employée pour les besoins ordinaires de la vie, parce qu'elle ramène périodiquement les mêmes phénomènes à des époques identiques, est-elle plus courte que les deux autres, et égale seulement à $365^j,242264$ ou à $365^j\,5^h\,48^m\,51^s$ avec de légères variations en plus et en moins, provenant, soit

(1) Le mot *anomalie* a été étendu, par corruption, sous le nom d'*anomalie moyenne*, aux angles que décrit le *Soleil moyen*, auquel on applique également les dénominations ascension droite, déclinaison, longitude, etc., *moyennes*, pour distinguer ces coordonnées de l'ascension droite, de la déclinaison, de la longitude *vraies*, qui concernent les positions réelles du Soleil.

du déplacement progressif de l'Équinoxe relativement au périgée, soit de quelques autres perturbations éprouvées par le Soleil. On la divise, ainsi que chacun sait, en quatre saisons, un peu inégales à cause des variations de vitesse dans les divers points de l'ellipse, et correspondant aux passages du Soleil par les Équinoxes ou par les Solstices. La longueur de ces saisons varie elle-même de quelques minutes, comme l'année, d'une époque à l'autre; mais leur durée moyenne diffère peu des valeurs suivantes correspondant à l'année 1865.

Printemps Υe du 20 ou du 21 mars au 21 ou 22 juin......	$92^j\,20^h39^m$
Été ea du 21 ou du 22 juin au 21, 22 et quelquefois 23 sept..	93.14.15.
Automne ah du 21 ou 22 septembre au 21 décembre.......	89.17.49.
Hiver $h\Upsilon$ du 21 décembre au 21 mars..................	89. 1. 6.
Somme......	365. 5.49.

217. En comparant l'arc d'ellipse ea, qui comprend l'apogée où la vitesse est *minima*, avec l'arc plus court $h\Upsilon$ qui renferme le périgée où a lieu le maximum de vitesse, on comprendra sans peine pourquoi l'été se trouve, en ce moment, la plus longue des saisons et l'hiver la plus courte. Il en sera tout autrement dans 9800 ans environ, quand le mouvement relatif (62″) de l'Équinoxe et de l'apogée, aura conduit ce dernier, précisément à notre Solstice d'hiver h.

218. **Calendrier.** — Les anciens ne connaissaient pas à beaucoup près, aussi exactement que nous, la longueur de l'année tropique. Romulus, par exemple, lui donnait, dit-on, 304 jours seulement, divisés en dix mois (*méné* lunaison), et la faisait commencer au mois de mars, en l'honneur du dieu dont il prétendait descendre. Nos mois de juillet et d'août portaient les noms de *Quintile* et de *Sextile*, parce qu'ils étaient, en effet, le cinquième et le sixième mois de l'année. C'est le même motif qui avait fait donner aux mois suivants les noms, aujourd'hui si peu convenables, de *septembre*, *octobre*, *novembre* et *décembre*. Quant aux noms des trois autres (*avril*, *mai*, *juin*), il sont regardés assez généralement, comme dérivant d'*Aphrodite* l'un des surnoms de Vénus, de *Maia* et de *Junon*.

219. On sent combien une année si inexacte, devait entraîner de confusion dans l'ordre des saisons. Aussi le successeur de Romulus ajouta-t-il deux nouveaux mois à ceux qui étaient déjà établis. Ce furent les mois de janvier (*Janus*) et de février (*Februus*, dieu des lustrations et des sacrifices en l'honneur des Mânes), qu'il plaça, l'un au commencement, l'autre à la fin de l'année. Il est bon de remarquer cependant que, d'après Plutarque, l'année de Romulus aurait eu aussi douze mois, que janvier et février auraient terminé cette année, et que Numa aurait tout simplement déplacé le mois de janvier.

220. Quoi qu'il en soit, l'année ordinaire de Numa fut de 355 jours, ou de 12 lunaisons. Mais, de deux en deux ans, afin de corriger la différence entre cette durée de 355 jours, et la véritable durée de l'année solaire, que déjà l'on savait être de 365 à 366 jours, on ajoutait entre le 23 et le 24 février, c'est-à-dire le lendemain des dernières fêtes de l'année (les Terminales), célébrées le 23 février en l'honueur du dieu *Terme*, un nouveau mois de 22 jours, appelé *mercédonien*, du nom sans doute de *Mercedona* la déesse des marchandises et des payements.

221. Une superstition attachée aux nombres impairs que l'on regardait comme heureux, porta le législateur à donner aux mois un nombre impair de jours, excepté néanmoins à celui de *février* qui fut consacré, comme un mois néfaste, aux sacrifices expiatoires, et que les décemvirs déplacèrent 450 ans avant Jésus-Christ, pendant le mois de janvier, en le mettant après ce dernier, afin de prolonger leur magistrature dont la durée devait expirer au commencement de mars. Voici l'ordre et la durée des mois de Numa :

Janvier.	29 jours.	Sextile.	29 jours.
Mars.	31	Septembre. . .	29
Avril.	29	Octobre.	31
Mai.	31	Novembre. . . .	29
Juin.	29	Décembre. . . .	29
Quintile.	31	Février.	28

En tout 355 jours.

222. Le premier jour de chaque mois, se nommait le jour des calendes (*caleo*, grec, j'appelle), d'où dérive le mot *calendrier*. Le cinquième était le jour des *nones* et le treizième celui des *ides* dans les mois de 29 jours; mais en *mars*, *mai*, *quintile* et *octobre* qui avaient 31 jours, les nones correspondaient au 7, et les ides au 15. Quant aux autres jours, ils tiraient leurs noms des rangs qu'ils occupaient en rétrogradant. Ainsi l'on disait la veille ou le deuxième, l'avant-veille ou le troizième, puis le quatrième, le cinquième, etc., jours des calendes d'avril, pour désigner le 31, le 30, le 29, le 28 mars, etc. Le mot *calendes* n'était pas employé chez les Grecs; c'est ce qui a donné naissance au dicton vulgaire, *renvoyer aux calendes grecques*, la réalisation d'un projet qu'on n'a pas l'intention d'effectuer.

223. Choisis dans les familles patriciennes les plus puissantes, les pontifes romains étaient chargés de veiller à la conservation du calendrier, et de faire l'intercalation du mois *Mercédonien*. Mais souvent, par superstition ou par abus de pouvoir, afin de favoriser leurs créatures, ils allongèrent ou accourcirent arbitrairement l'année, sans aucune règle uniforme. Aussi les mois ne tardèrent-ils pas à changer de saison; et les fêtes furent bientôt célébrées à des époques différentes de celles pour lesquelles on les avait instituées. Les fêtes de Cérès, par exemple, avaient fini par arriver au printemps, les fêtes de Bacchus en été, etc.

224. **Calendrier Julien. — Année bissextile.** — Jules César, dictateur et pontife, résolut de donner de la régularité au calendrier. De son temps, la longueur de l'année était à très-peu près connue; on la croyait de 365 jours et un quart. D'après les conseils de *Sosigène*, Astronome d'Alexandrie, César donna donc 365 jours à l'année ordinaire, et pour tenir compte du quart de jour négligé, il fit, tous les quatre ans, une année de 366 jours. Afin de s'éloigner, d'ailleurs, aussi peu que possible, des habitudes prises, c'est à la place même où Numa intercalait son mois mercédonien, entre le 23 et le 24 février, que César mit le jour supplémentaire. Or, comme le 24 février était le *sixième* jour des ca-

lendes de mars, le jour ajouté fut le *bi-sixième*, afin que le 23 février restât toujours le septième; d'où vient le nom d'année *bissextile*. Quant à celui de calendrier *Julien*, on voit immédiatement le rapport qui le rattache au nom de *Jules* César.

225. La réforme eut lieu 47 ans avant Jésus-Christ, et le commencement de la première année fut fixé au jour de la nouvelle Lune qui suivrait le Solstice d'hiver. Telle est l'origine de notre 1er janvier actuel, qui ne concorde plus aujourd'hui qu'accidentellement avec le retour d'une lunaison et qui, du reste, n'a pas toujours eu le privilége d'ouvrir l'année; car, après Jules César, la plupart des peuples de l'Europe firent commencer leur année, tantôt le jour de Noël, tantôt le jour de Pâques, tantôt le 1er janvier, tantôt le 1er mars, tantôt enfin le 25 mars, jour de l'Annonciation. L'usage du 1er janvier ne s'est rétabli en Allemagne que vers le commencement du XVIe siècle. C'est par suite d'un édit du roi Charles IX, que les Français le substituèrent, en 1564, au 25 mars qui, lui-même, avait remplacé chez nous le jour de Pâques. Les Anglais l'ont repris en 1752 seulement, etc.

226. Du reste, les pontifes romains auxquels fut confié le soin de l'intercalation julienne, avaient eux-mêmes assez mal compris la réforme, puisque, pendant 37 ans, ils comptèrent chaque année *bissextile* pour la quatrième de la période qui finissait, et pour la première de la période qui allait s'ouvrir; ce qui revenant, en définitive, à intercaler le jour supplémentaire, non plus de quatre ans en quatre ans, mais de trois en trois, ne devait pas tarder à introduire un premier janvier *nominal* de plus en plus distinct du premier janvier *réel*. On ramena les choses, sous Auguste, à l'état où les avait placées Jules César. Et, trois siècles après, quand l'édit de Constantin eut, en 312, donné la paix à l'Église; quand, en 325, le Concile de Nicée eut condamné la doctrine d'Arius; quand l'ère chrétienne enfin put librement s'établir, il devint facile à chacun de faire les intercalations lui-même, par cette règle très-simple, que les années *bissextiles* se-

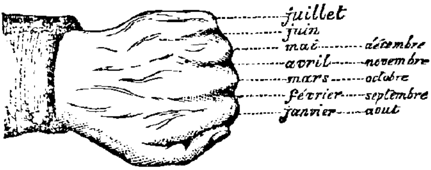
raient celles dont le millième contiendrait *quatre* un nombre exact de fois.

227. — Pour avoir une année de 365 jours, César fut obligé de donner 30 et 31 jours aux mois ; mais il n'ajouta rien au mois de février, par respect pour les morts auxquels ce mois était consacré (1). Antoine, son collègue, fit décréter, plus tard, que *Quintile*, mois de la naissance de César, prendrait le nom de *Julius* (juillet) ; et *Sextile* prit, en vertu d'un sénatus-consulte, celui d'*Augustus* (août), après la bataille d'Actium, parce que, dit Macrobe, dans ce mois, Auguste était parvenu au Consulat, avait triomphé trois fois, avait conquis l'Egypte, avait enfin terminé la guerre civile. Quant à la longueur de l'année, on commença vers le xi^{e} ou le xii^{e} siècle à s'apercevoir que l'intercalation Julienne était loin de répondre exactement à la marche du Soleil.

228. — La différence ($11^{m}\,8^{s},4$) entre la durée adoptée par Jules César 365 jours 6 heures), et la durée véritable ($365^{j}\,5^{h}\,48^{m}\,51^{s},6$), produit, en effet, tous les cent ans, une erreur de 1100 minutes 840 secondes ou 1114 minutes, c'est-à-dire d'un peu plus de trois quarts de jour. Dans huit siècles, par conséquent, depuis l'époque du Concile de Nicée qui avait fixé le jour de l'équinoxe au 21 mars, et qui avait

(1) Il y a plusieurs manières de distinguer les mois de 30 et de 31 jours appelés mois *caves* et mois *pleins*. L'une des plus commodes consiste à fermer la main (*fig.* 128), et à appliquer au mois de *janvier* la partie saillante formée par la racine de *l'index* ; au mois de *février*, le *creux* qui suit ; la saillie du doigt du *milieu* au mois de *mars*, etc., et ainsi de suite, en recommençant, pour le mois d'*août*, à la saillie de l'indicateur, après avoir parcouru les saillies et les creux des quatre doigts. Ces saillies correspondront aux mois de 31 jours, et les creux aux autres mois.

Fig. 128.



subordonné la célébration de la Pâque à la pleine Lune arrivant immédiatement après l'équinoxe, jusqu'au XII^e siècle, la période donnée par le Calendrier Julien, avait été faite trop longue de six jours, et l'équinoxe, au lieu d'arriver le 21 mars, comme on continuait à le supposer, arrivait en réalité le 15.

Réforme et Calendrier Grégorien. — Il devenait donc de plus en plus nécessaire d'opérer de nouvelles corrections. Cependant quelques siècles s'écoulèrent encore, sans rien produire. Mais, en 1414, l'évêque de Cambrai, Pierre d'Ailly, chancelier de l'Université de Paris, devint, par un projet de réforme soumis au Concile de Constance et au pape Jean XXIII, le promoteur de tentatives incessantes. On peut citer entre autres celle du pape Sixte IV, faisant venir à Rome, en 1475, l'astronome Régiomontan, dont la mort prématurée (1476) paralysait, cette fois encore, les desseins du Souverain Pontife. L'on peut citer également et celle du Concile de Trente qui, en 1563, confiait au Pape le soin d'effectuer la réforme, et celle de Lilius, habile médecin de Vérone, dont les études, qu'il n'avait pas la satisfaction de voir triompher de son vivant, étaient, après sa mort, présentées au chef de l'Église, par une assemblée spéciale (1), comme répondant pleinement aux exigences de la question, etc. Tant d'efforts intelligents devaient nécessairement aboutir. Aussi, le 24 février 1281, époque où l'erreur annuelle de $11^m\ 8^s,4$ accumulée pendant 1356 ans, depuis le Concile de Nicée, avait produit dix jours de différence, un bref de Grégoire XIII décrétait-il que le lendemain du 4 octobre 1582, serait compté 15, et qu'à l'avenir les années séculaires (1700, 1800, 1900, par exemple, bissextiles dans le Calendrier Julien), dont les nombres centenaires (17, 18, 19) ne contiendraient pas 4 exactement, cesseraient d'être bissextiles.

(1) Le Frère de Lilius, ainsi que le Jésuite Clavius, auxquels on doit de nombreux détails sur le calendrier, faisaient partie de cette assemblée.

229. — Telle est l'origine du Calendrier *Grégorien*, et de la divergence (de dix jours d'abord, aujourd'hui de douze à cause des bissextiles séculaires 1700 et 1800 supprimées), qui existe entre ce Calendrier et le Calendrier Julien. Les pays schismatiques préférant, comme on l'a dit spirituellement, « rester en désaccord avec le Soleil que se trouver d'accord avec la cour de Rome, » refusèrent, au début, d'accepter le nouveau Calendrier. Mais, à l'exception des Russes, qui datent actuellement leurs lettres dans les deux styles (10-22), (11-23), etc., les peuples de l'Europe ont, successivement, adopté la réforme; l'Allemagne, la Suisse, le Danemark, etc., de 1582 à 1600, et l'Angleterre, le (3-14) septembre 1752. Il ne reste donc plus désormais d'autres opposants que les Russes, trop éclairés, cependant, pour ne pas accepter tôt ou tard celui des deux systèmes qui répond le mieux à la marche réelle du Soleil.

230. — Malgré le haut degré de précision qu'elle a pu atteindre, la réforme grégorienne laisse encore néanmoins subsister une légère erreur. Car les trois jours des bissextiles qu'on supprime tous les 400 ans représentent trois fois 1440 ou 4320 minutes seulement, tandis qu'en réalité, il faudrait supprimer quatre fois 1114 ou 4456 minutes. La différence (136 minutes) pour 400 ans, finira donc par donner un jour entier (1440 minutes) dans 4236 ans. Mais on n'a pas jugé nécessaire d'établir des règles spéciales pour la suppression de ce jour, puisqu'il sera si facile de tenir compte, à l'avenir, *de 4 en 4 mille ans*, d'une erreur très-minime et dès longtemps connue.

231. **Calendrier des Perses au moyen âge.** — Les Perses, vers le XI^e siècle, avaient un système d'intercalation plus exact encore. Ce système consistait à faire *sept fois de suite* les années bissextiles de 4 en 4 ans, et, la *huitième fois*, à ne prendre que la 5^e année pour bissextile. On augmentait ainsi de huit jours, en définitive, chaque période de trente-trois ans, et, par conséquent, chaque année de *huit trente-troisièmes* de jour, ou de $5^h\,49^m\,5^s,45$. L'augmentation ne devant être que de $5^h\,48^m\,51^s,6$, il restait en plus

une erreur de 13ˢ 85, qui devait produire 86400 secondes (un jour) en 6238 ans. Quoique plus précis, le Calendrier persan ne pourrait guères, cependant, être substitué avec avantage au Calendrier grégorien, dont les intercalations sont infiniment moins sujettes à de fausses interprétations.

232. **Année vague.** — On a donné à l'année de 365 jours, qu'employaient les Egyptiens, le nom d'année *vague*, parce que le quart de jour négligé produisait, tous les quatre ans, un jour entier d'erreur, et par conséquent 365 jours (une année entière) dans 365 fois quatre ou 1460 ans. Cette période de 1460 ans, durant laquelle chaque saison venait correspondre successivement au commencement de l'année, était appelée période *Sothiaque* ou *Caniculaire*, par allusion aux levers héliaques de Sirius (*Sothis, grand chien*), qui parcouraient, dans le même intervalle, tous les jours de l'année civile. Puisqu'ils avaient remarqué de pareilles variations, les Egyptiens savaient donc, évidemment, que leur année de 365 jours était inexacte. Ils n'essayèrent pas néanmoins de la corriger. A quoi pouvait tenir une pareille incurie ? Géminus, contemporain de Cicéron, l'explique en disant que les Egyptiens avaient voulu faire passer graduellement leurs fêtes par les diverses époques, afin de sanctifier ces dernières.

233. **Année turque. — Année républicaine française.** — Des considérations de même nature peut-être donnèrent, sans doute, naissance à l'année de 12 lunaisons (354 à 355 jours), qu'employèrent d'abord les Hébreux, les Grecs, et que les Turcs emploient encore aujourd'hui. Quant à l'année républicaine française, avec ses 12 mois de *trente jours*, divisés chacun en *trois décades*, dont les 10 jours avaient été désignés, comme on sait, par les noms de *primidi*, *duodi*, *tridi*, *quartidi*, etc., il est évident qu'elle n'aurait duré que 360 jours, si l'on n'avait eu soin d'ajouter, suivant les cas, les *cinq* ou *six* jours supplémentaires, appelés, d'après leur étymologie grecque, *Epagomènes* et quelquefois aussi *Sans-culottides*. Bien que les mots *vendémiaire*, *brumaire*, *frimaire*, *nivôse*, *pluviôse*, *ventôse*, *germinal*, *floréal*, *prairial*, *messidor*, *thermidor*, *fructidor*, se trouvassent en

rapport avec des particularités agricoles ou météorologiques remarquables, un Calendrier trop exclusivement applicable au climat de la France ne pouvait guère, du reste, être généralement adopté. Aussi fut-il abandonné dès 1806. Son ère datait du jour de l'Équinoxe d'automne, 22 septembre 1792 (1er vendémiaire an Ier), peu éloigné de celui où la République avait été proclamée. De plus grands détails à cet égard deviendraient ici sans objet.

234. **Calendriers perpétuels. — Lettres dominicales. —** On peut en dire autant de quelques dénominations, usitées encore dans certains Calendriers, quoiqu'elles n'aient guère plus aujourd'hui leur raison d'être. Telles sont, par exemple, celles d'Indiction romaine et d'Indiction pontificale, de Lettres dominicales, de Cycle solaire, etc. Je me bornerai donc à rappeler brièvement que, dans la primitive Église, pour former un *Calendrier perpétuel*, c'est-à-dire, où les mêmes dates fussent, chaque année, représentées par des signes identiques, on désigna les sept jours de la semaine par les sept premières lettres de l'alphabet, en appliquant toujours la lettre A au premier jour de l'année, et en donnant le nom de lettre dominicale à celle qui correspond au Dimanche, avec cette restriction que, dans les années bissextiles, la même lettre marquerait le 28 et le 29 février.

235. Il est facile de voir, d'après cela, que donner la lettre dominicale d'une année quelconque, c'est dire par quel jour de la semaine cette année a commencé. Car si la lettre dominicale est G, par exemple, auquel cas le samedi se trouve représenté par F, le vendredi par E, etc., l'on reconnaîtra sans peine, en remontant jusqu'à la lettre A, que celle-ci correspond au *lundi;* l'on obtiendrait, pour le 1er janvier, un *mardi* avec la lettre dominicale F, un *mercredi* avec la dominicale E, etc. l'année ordinaire étant d'ailleurs composée de 52 semaines, plus un jour, le 1er janvier correspondrait successivement au lundi, au mardi, au mercredi, etc.; les dominicales rétrograderaient, par conséquent, d'un rang chaque année, et deviendraient G, F, E, etc, si les années bissextiles n'interrompaient, de 4 en 4 ans, la régularité de cet ordre. Les

bissextiles prennent, en effet, une certaine dominicale pour janvier et février, et pour les dix autres mois une seconde dominicale, moins avancée d'un rang que la première, parce que l'affectation de la même lettre aux 28 et 29 février équivaut évidemment à la suppression d'un jour dans la semaine qui contient les deux dates, ou à la désignation du dimanche par la lettre qui correspondait précisément au samedi.

236. **Cycle solaire** — Après avoir atteint chacune des sept lettres, c'est-à-dire, après *sept* fois *quatre* ou *vingt-huit* ans (dans le Calendrier Julien) l'irrégularité aura parcouru toute sa période; et les lettres dominicales se reproduiront dans le même ordre que précédemment. Pour rappeler cette périodicité, l'on donna (fort improprement, du reste, au point de vue astronomique) le nom de *cycle* (cercle) *solaire*, à la durée de 28 ans, qui lui correspond, et qui, dans le Calendrier Grégorien, où le cycle des années bissextiles ne s'accomplit que tous les 400 ans à cause de la suppression de trois bissextiles séculaires sur quatre, devrait être remplacée par une période égale à 7 fois 400 ou à 2800 ans.

237. **Indictions Romaine et Pontificale. — Lustres et Olympiades.** Par des motifs analogues, et tout aussi peu astronomiques, les Romains avaient institué une période de trois *lustres* (15 ans) qu'ils appelèrent cycle d'*indiction*, ou, plus simplement, *indiction*, et qui, après la conquête de la Grèce, remplaça les *Olympiades* établies, comme on sait, par Hercule, près la ville d'Olympe en Arcadie, pour ramener, tous les *quatre* ans, les jeux olympiques. Cette *indiction* n'est pas la même qu'une autre durée de 15 ans employée dans les bulles de la Cour de Rome, sous le nom d'*indiction pontificale*, en souvenir des 15 années écoulées depuis la paix jusqu'au triomphe de l'Église, c'est-à-dire, depuis l'édit de Constantin (en 312), qui permettait aux chrétiens de professer ouvertement leur foi, jusqu'à la terminaison (en 328) des travaux du Concile de Nicée, par la condamnation d'Arius.

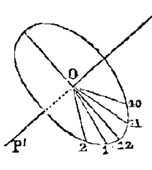
Le *Cycle* d'indiction pontificale commence au 1^er^ janvier 313, bien que l'édit de Constantin en eût fixé l'origine au mois de septembre 312. Ramené au début de l'ère chrétienne, ce cycle devrait donc remonter à la 3e année avant celle qui sert de point de départ à notre ère, et qui, d'après les calculs de Lalande sur une éclipse de Lune, arrivée dans la nuit du 12 au 13 mars, où mourut Hérode, serait précisément postérieure elle-même de deux ans à la naissance de Jésus-Christ.

Je bornerai là, pour le moment, les détails relatifs à la manière de diviser le temps. Plus tard, en nous occupant de la Lune, nous aurons à revenir sur cet objet; et nous compléterons alors l'étude du Calendrier *Luni-Solaire*, dont le long usage n'aura pas peu contribué à perpétuer le souvenir de Jules César et de Grégoire XIII.

NOTE.

238. **Note sur les cadrans solaires.**—Bien que la méridienne soit, généralement, très-suffisante pour donner l'heure, voici, comme complément aux détails ci-dessus, quelques développements relatifs à la construction des cadrans solaires.

Fig. 129.

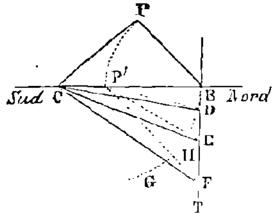


239. **Cadran équinoxial.**—Et d'abord, si l'on place *parallèlement*, à l'Équateur, un cadran armé du style POP' (*fig.* 129), perpendiculaire au cadran, et parallèle, par conséquent, à l'axe du monde, il est évident que l'ombre de ce style parcourra sur le cadran des arcs proportionnels au temps. Le cadran, ainsi construit, s'appelle cadran *équinoxial*, et doit être gradué sur ses deux faces qui serviront alternativement : l'une pour les déclinaisons boréales du Soleil, de l'équinoxe de printemps à l'équinoxe d'automne; l'autre, pour les déclinaisons australes, de l'équinoxe d'automne à l'équinoxe de printemps.

240. **Cadran horizontal.** — Pour avoir un cadran horizontal, tracez la méridienne horizontale CB (*fig.* 130). En un point quelconque C de cette méridienne, placez le style CP parallèle à l'axe du monde; menez par le point P, perpendiculairement au style, un plan qui sera

parallèle à l'Équateur et qui coupera l'horizon suivant BT, puis du point P, comme centre, avec PB pour rayon, décrivez dans ce plan un cadran équinoxial ; et prolongez les lignes horaires jusqu'à leur rencontre avec la tangente en D, E, F, etc., les points ainsi déterminés ne changeront pas ; soit, lorsque, pour les obtenir, vous rabattrez le centre P en P′ sur l'horizon, et que, du point P′, vous décrivez le cercle BHG dont les divisions horaires, à partir de P′, prolongées suffisamment, vous donneront les points D, E, F, etc., de la tangente ; soit lorsqu'après avoir obtenu ces points par le rabattement précédent, vous relèverez P′ en P. Vous aurez donc ainsi un point sur chacune des lignes horaires. Vous aurez un second point, commun à toutes, dans le centre C du cadran, où passe le style CP. Les diverses lignes horaires seront donc CD, CE, CF, etc., avec leurs symétriques de l'autre côté de la méridienne.

Fig. 130.



Rien de plus facile, d'ailleurs, que de calculer les angles BCD, BCE, etc., par l'équation

$$\text{tang BCE} = \frac{BE}{BC} = \frac{BP'.\text{tang}BP'E}{\left(\dfrac{BP}{\cos CBP}\right)} = \frac{BP.\text{tang}BP'E}{\dfrac{\sin PCB)}{BP}} = \text{tang } n(15^\circ) \sin L;$$

L étant la latitude du lieu ou la hauteur DCB du Pôle au-dessus de l'horizon, et BP′E un angle horaire quelconque, égal à *n* fois 15 degrés, comptés dans le plan même de l'Equateur.

Soit, pour Toulouse, L $= 43^\circ 36' 45''$; vous aurez les angles horaires ci-après, à droite et à gauche du Méridien.

Heures.	*Angles horaires.*	*Heures.*	*Angles horaires.*
1/2.....	5° 11′ 20″	4 1/2.....	59° 0′ 55″
1	10 28 20	5	68 46 15
1 1/2.....	15 56 45	5 1/2.....	79 11 40
2	21 11 10	6	90 0 0
2 1/2.....	27 53 30	6 1/2.....	100 48 20
3	34 35 50	7	111 13 45
3 1/2.....	41 57 10	7 1/2.....	120 59 5
4	50 49 52	8	129 0 8

241. Cadran vertical non déclinant. — En répétant la construction précédente sur un mur vertical *non déclinant*, c'est-à-dire orienté exactement de l'*Est* à l'*Ouest*, vous arriverez à des résultats analogues, avec cette seule différence que *sin* L sera remplacé par *cos* L ; car le cadran vertical, sous la latitude L, deviendrait un cadran horizontal dans le lieu dont la latitude serait le complément ($90^\circ - L$) de la latitude du lieu pour lequel vous voulez construire. Vous auriez, en effet (*fig.* 131)

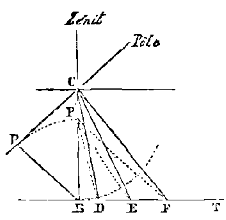
$$\operatorname{tang} BCE = \frac{BE}{BC} = \frac{P'B \operatorname{tang} EP'B}{\left(\frac{P'B}{\cos CBP}\right)} = \operatorname{tang} n\,(15^\circ) \cos L\,;$$

et vous tirerez, pour les angles horaires, avec la même latitude $L = 43^\circ\ 36'\ 45''$ que plus haut :

Heures.	Angles horaires.	Heures.	Angles horaires.
1/2.....	5° 26′ 40″	4 1/2.....	60° 13′ 35″
1	10 58 45	5	69 41 30
1 1/2.....	16 41 40	5 1/2.....	79 41 40
2	22 8 21	6	90 0 0
2 1/2.....	23 3 30	6 1/2.....	100 18 20
3	35 54 20	7	110 18 30
3 1/2.....	43 20 10	7 1/2.....	119 46 25
4	52 11 1	8	127 48 59

242. **Cadran vertical déclinant.** — Quant au cadran vertical déclinant, vous n'avez, pour le construire, qu'à placer le style dans l'axe du Monde, à l'aide d'un triangle rectangle dont ce style serait l'hypoténuse (les angles aigus étant L et $90^\circ - L$). Le style se trouvera convenablement orienté, lorsqu'à *midi vrai* (donné par une méridienne ou une montre bien réglée), son ombre sur le mur sera verticale. Cette ombre n'est, en effet, alors, autre chose que l'intersection de deux plans verticaux, le mur et le Méridien. Tracez donc une verticale passant au point d'attache ou au pied du style ; et, perpendiculairement à celui-ci, construisez un cadran équinoxial dont les lignes horaires, prolongées jusqu'au mur vertical, vous donneront les points qu'il faudra joindre au pied du style pour avoir des lignes horaires sur le mur même.

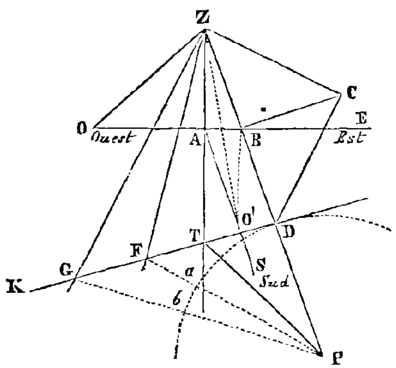
Fig 131.



Construction. — Soient : ZA (*fig.* 132) la méridienne verticale ; OAE une ligne horizontale ou ligne de terre, tracée sur le mur ; Z le centre du cadran, point d'attache du style ; ZOA la hauteur du Pôle au-dessus de l'horizon ; AS la direction du Méridien sur l'horizon ; enfin SAE l'azimut du mur, cet azimut étant donné par une boussole ou par un plan vertical qui, à *midi vrai*, ne projette pas d'ombre hors de ZA.

Prenez AO′ = AO, et abaissez la perpendiculaire O′B sur la ligne de terre; vous déterminerez la projection verticale ZB du style, ou la *sous-stylaire*. Rabattez sur le plan vertical, en ZBC, le triangle ZBO′ formé, dans l'espace, par le style ZO′, par la projection verticale BZ de ce style, et par la ligne O′B. Au point C du style, élevez une perpendiculaire CD jusqu'à la rencontre de la soustylaire en D. Si vous prenez CD pour rayon du cadran équinoxial dont C serait le centre, le point D de ce cadran se trouvera sur le mur vertical; et la tangente en D sera

Fig. 137.



l'intersection du plan du cadran avec le mur. Rabattez donc DC en DP sur le prolongement de la sous-stylaire. Du point P, comme centre, avec PD pour rayon, décrivez une circonférence. Menez la tangente DK, et joignez le point T où la tangente rencontre la méridienne verticale, au centre P du cadran équinoxial rabattu. Vous aurez, sur ce cadran, la direction de la méridienne à droite et à gauche de laquelle vous diviserez la circonférence en *a*, *b*, etc., par les lignes horaires P*a*, P*b*, etc., que vous prolongerez jusqu'à la tangente en F, G, etc.; et les points F, G, etc., joints par des droites au point Z, vous donneront les lignes horaires du cadran vertical.

En terminant le style par une petite boule, ou par une petite ouverture à travers laquelle passeront les rayons solaires, on peut avoir, sur le cadran, le midi moyen à l'aide d'une courbe construite de telle sorte qu'il soit midi moyen quand l'ombre de la boule ou l'image lumineuse de l'ouverture rencontrent cette courbe. Mais les détails d'une pareille construction nous conduiraient trop loin et seraient, d'ailleurs, à peu près sans utilité, puisque l'on trouve aujourd'hui, dans toutes les éphémérides, le *temps moyen* à *midi vrai*.

ONZIÈME LEÇON.

Principaux phénomènes occasionnés par l'action calorifique du Soleil.

PREMIÈRE SECTION.

Variations de la chaleur terrestre.

Causes principales de ces variations, dues : 1° à l'inégalité des jours et des nuits ; 2° à l'extinction plus ou moins grande des rayons solaires par l'atmosphère, suivant l'obliquité de ces rayons ; 3° à la réflexion de la chaleur sur le sol ; 4° aux distances inégales du Soleil à la Terre. — *Époques des maxima et des minima annuels ou diurnes.*—Détermination des températures moyennes. — Variations accidentelles. — *Températures des lieux profonds.* — Inversion des saisons à une certaine profondeur. — Accroissement des températures à partir de la couche de température invariable. — *Décroissement de la température dans l'atmosphère.* — Température probable des espaces célestes. — *Lignes isothermes.* — Influence du voisinage de la mer. — A l'inverse des animaux inférieurs l'homme supporte, sans que la température de ses organes varie, de très-grandes variations de chaleur. -- *Constance des saisons depuis les temps historiques.* — Présomptions empruntées à l'agriculture ; preuves Astronomiques. — *Températures probables de la Terre antérieurement aux temps historiques.* — *Anomalies occasionnées par des essaims d'Astéroïdes qui circulent autour du Soleil.* — Étoiles filantes produites par ces Astéroïdes ; application que semble permettre d'espérer leur étude.

243. **Variation de la chaleur terrestre.** — Les déclinaisons variables du Soleil, qui modifient la durée des jours et des nuits, suivant les saisons ; et les distances inégales de cet Astre à la Terre, qui font varier sa vitesse apparente, produisent aussi dans les températures ou, plus générale-

ment, dans les phénomènes météorologiques, des changements dont l'étude vient se placer tout naturellement ici.

244. **Inégalités des jours et des nuits. — 1re Cause de variation.** — Et d'abord, parmi les causes principales qui influent le plus puissamment sur les phénomènes calorifiques à la surface du globe, on doit placer, en premier lieu, l'inégalité des jours et des nuits. Tant que le Soleil, en effet, se trouve au-dessus de l'horizon, il envoie de la chaleur rayonnante (1) que les corps terrestres absorbent et renvoient ensuite vers les espaces célestes dont la température est, selon toute apparence, excessivement basse, (70, 80 peut-être même 100 degrés, ou plus encore, au-dessous de zéro); du *moins*, *d'après* le rapide affaiblissement de la chaleur à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère, ou d'après le froid *excessif* qu'éprouvent, sans *intermittence*, pendant leurs longs hivers, les zones glaciales de la Terre, et qui ne deviendrait possible que très-accidentellement, au lieu d'être continu, si l'espace dans lequel nous sommes plongés n'était lui-même extrêmement froid. Or, lorsque les jours sont suffisamment longs pour que l'échauffement produit par le Soleil (2) l'emporte sur le refroidissement nocturne, la température de la Terre doit évidemment aller en s'élevant. C'est précisément, à quelques anomalies près, dont nous étudierons plus tard la cause, ce qui arrive dans nos climats depuis les premiers jours de janvier jusque vers la fin de juin. A partir de cette dernière époque, la Terre, très-échauffée, rayonne avec une intensité en rapport avec la haute température qu'elle possède; et quoiqu'elle reçoive beaucoup encore, pendant les longues journées de juillet, d'août ou de

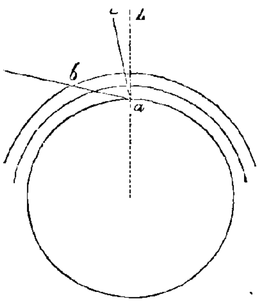
(1) La chaleur rayonnante traverse l'atmosphère sans l'échauffer sensiblement. Celle-ci ne s'échauffe que par le contact immédiat du sol et par la propagation de la chaleur, d'une couche échauffée à la couche suivante. Voilà, *principalement*, pourquoi les *régions* supérieures de l'atmosphère sont plus froides que celles du bas.

(2) Cet échauffement diurne résulte lui-même d'une différence; de l'excès de la chaleur venue du Soleil et absorbée par les corps terrestres, sur la chaleur rayonnée par ceux-ci vers le Ciel pendant le jour.

septembre, *l'expérience* montre que la perte est néanmoins supérieure au gain, puisque la température commence à s'abaisser graduellement dès les premiers jours de juillet.

245. **Extinction plus ou moins grande des rayons solaires, par l'air atmosphérique, suivant leur obliquité. — 2e Cause de variation.** — Une seconde cause de variation pour la chaleur solaire à la surface du Globe, résulte des diverses positions du Soleil dans le Ciel. Il suffit de regarder cet Astre vers l'heure de son lever, et quand il se trouve, à midi, au point le plus haut de sa course, pour se convaincre, à la simple vue, que l'atmosphère influe notablement sur son éclat. Car lorsque les rayons lumineux nous arrivent le matin ou le soir, dans la direction *ba* (*fig.* 133), après avoir traversé très-obliquement, et, par conséquent, dans le sens de la plus grande largeur, les couches d'air qui nous environnent, ils sont bien moins intenses, nul ne l'ignore, que lorsqu'ils nous viennent, vers midi, dans la direction *ca*, plus rapprochée de la verticale, et correspondant à de moindres largeurs des couches d'air. En admettant donc que la chaleur rayonnante suive la même loi; qu'elle soit, comme la lumière, plus ou moins éteinte par l'atmosphère, selon qu'elle est obligée de s'y mouvoir plus ou moins longtemps, l'on reconnaitra sans peine que les déclinaisons du Soleil venant à changer, l'obliquité des rayons solaires sur l'horizon change également; qu'au solstice d'hiver, par exemple, ces rayons nous arrivent, toute la journée, dans des directions très-obliques, tandis qu'au contraire, vers le solstice d'été, ils se rapprochent beaucoup de la verticale. D'où résultent une absorption considérable de chaleur dans le premier cas, une absorption beaucoup plus faible dans le second, et par suite, toutes autres choses supposées égales

Fig. 133.



d'ailleurs, une variation de température provenant de la seule obliquité du Soleil.

Une partie de la chaleur absorbée doit, il est vrai, tendre à se propager, par contact, de couche en couche, jusqu'aux corps terrestres. Mais l'échauffement ainsi produit ne saurait être comparable aux effets de l'absorption, soit à cause de la lenteur avec laquelle cette chaleur passe d'une couche à l'autre, soit parce qu'une portion non moins considérable de la chaleur absorbée se propage à son tour, sans avantage pour nous, vers les parties supérieures de l'atmosphère, soit enfin parce que les dilatations occasionnées dans l'air font naître des courants qui mélangent les couches et masquent ou neutralisent les résultats.

246. **Réflexion plus ou moins grande de la chaleur solaire, suivant l'obliquité des rayons. — 3e Cause de variation.** — La réflexion de la chaleur, plus ou moins considérable, comme celle de la lumière, suivant l'obliquité de la surface qui la reçoit, contribue à son tour aux variations des températures terrestres. Car lorsque les rayons tombent presque d'aplomb sur la Terre, ils la pénètrent sans rebondir sensiblement à sa surface, et sont, par conséquent, à peu près entièrement employés à l'échauffer; ils se réfléchissent, au contraire, en grande partie, pour aller se perdre dans l'espace, quand ils nous arrivent très-obliquement : on voit immédiatement, sans difficulté, que cette troisième cause concourt, avec les deux autres, pour produire les froids de l'hiver et les fortes chaleurs de l'été.

247. **Distances inégales du Soleil à la Terre.— 4e Cause de variation.** — Toutefois, il est une quatrième cause qui, dans l'hémisphère boréal de la Terre, agit en sens inverse des précédentes. C'est l'éloignement du Soleil, un peu plus grand pendant notre été (n° 217), plus faible pendant notre hiver, dans le rapport de 31 à 32 environ. Et comme l'intensité de la chaleur diminue proportionnellement aux *carrés* des distances qui séparent les points échauffés de la source calorifique; les carrés de 31 et de 32 étant respectivement égaux à 961 et à 1024, ces derniers nombres, dont la différence 63

représente sensiblement la quinzième partie de l'un, la seizième partie de l'autre, pourront être pris pour l'expression de la chaleur directement reçue à chaque instant par la Terre, dans les cas des distances extrêmes.

248. A ce point de vue, l'été de nos climats doit donc être un peu moins chaud que celui de nos *antipodes*, ou, plus généralement, que celui de l'*hémisphère sud* de la Terre, dont l'été correspond à notre hiver (n° 133), c'est-à-dire, aux moindres distances du Soleil. Mais par la suite, les mouvements relatifs de l'Équinoxe et de l'Apogée solaire (n° 208) modifieront le sens du phénomène; et, dans dix mille ans à peu près, la différence (un seizième), au lieu de se manifester *en moins*, comme aujourd'hui, pour notre hémisphère, changera de signe pour se manifester *en plus*. Seulement, à l'inverse de ce qui se passe actuellement, le printemps et l'été seront alors les saisons les plus courtes; et la durée du temps favorable à l'échauffement de notre hémisphère venant à diminuer, une sorte de compensation devra, comme aujourd'hui, tendre à se produire entre des effets opposés. Ces derniers sont, au reste, l'un et l'autre, peu considérables. La réflexion de la chaleur et l'absorption par l'atmosphère, n'influent elles-mêmes qu'assez médiocrement, pour les habitants des zones tempérées, sur les températures terrestres; et l'inégalité des jours et des nuits reste toujours par conséquent, en général, la cause prépondérante des grandes variations de la chaleur.

249. **Époques des maxima et des minima annuels ou diurnes.** — Ce n'est pas, nous l'avons déjà remarqué, lorsque les déclinaisons sont à leur maximum, le 21 juin et le 21 décembre, qu'ont lieu les chaleurs les plus fortes et les froids les plus vifs. Ce n'est pas non plus à midi, au moment où les rayons solaires nous arrivent avec leur intensité la plus considérable, ni pendant la nuit, quand le rayonnement vers l'espace n'est pas en partie compensé par la chaleur directe du Soleil, que la Terre et les couches d'air qui nous environnent atteignent leurs températures extrêmes. Une explication identique, la différence entre la chaleur absorbée et la

chaleur rayonnée vers l'espace, s'applique à ce double phénomène. Seulement, tandis que le second peut être immédiatement constaté par le thermomètre, dont la marche ascendante jusque vers *deux*, *trois* ou *quatre* heures de l'après-midi, et descendante ensuite jusqu'au matin, nous montre que le maximum diurne de la température se produit ordinairement de deux à quatre heures du soir, et le minimum quelques instants après le lever du Soleil; le premier, au contraire, exige la détermination et le calcul des températures moyennes qui peuvent être prises chaque jour, pour l'expression de la chaleur totale en vingt-quatre heures.

250. **Détermination des températures moyennes.** — On détermine ces températures moyennes, soit en observant le thermomètre un très-grand nombre de fois à des intervalles de temps égaux, de demi-heure en demi-heure, par exemple, ou de quart d'heure en quart d'heure, en ajoutant tous les degrés observés et en divisant la somme ainsi obtenue par le nombre d'observations; soit, plus simplement, en prenant le milieu entre le minimum du matin et le maximum du soir; soit, plus simplement encore, en observant une seule fois le thermomètre vers huit heures et demie du matin. Car l'expérience a montré que les trois méthodes s'accordent habituellement, dans nos climats du moins, à donner des résultats sensiblement identiques. La somme des trente températures moyennes d'un mois, divisée par 30, donne, à son tour, la température moyenne du mois; enfin le quotient, par 12, des douze températures mensuelles, ou mieux, à cause de l'inégale durée des mois, le résultat de la division par 365, des trois cent soixante-cinq températures moyennes diurnes, fournissent la température *moyenne* de l'année.

251. **Variations accidentelles. — Températnre des lieux profonds.** — Généralement, dans chaque climat, les températures moyennes mensuelles varient peu d'une année à l'autre. La température moyenne de l'année doit donc aussi, par conséquent, rester à peu près constante. Elle est à Paris $10^d,8$; à Toulouse $12^d,6$; à l'Équateur de $27^d,5$ à 28^d. Quant aux températures diurnes, elles sont sujettes à une foule de per-

turbations accidentelles, produites par les vents, par les nuages, par les pluies, par les brouillards, par les orages, par l'évaporation, etc., par tous les phénomènes, en un mot, dont l'ensemble constitue la science particulière qui porte le nom de *Météorologie*. Nous aurons à revenir sur ces phénomènes; pour le moment, afin d'épuiser l'étude des particularités relatives aux températures, je dirai qu'à 25 ou 30 mètres de profondeur, la température de la Terre ne varie plus avec les saisons, et qu'à 8 mètres environ (un peu plus, un peu moins, suivant la nature des terrains), les différences de l'hiver à l'été dépassent à peine *un degré cinq dixièmes*.

252. **Inversion des saisons à une certaine profondeur. — Accroissement des températures à partir de la couche de température invariable.** — A cette dernière profondeur, par suite de la lenteur avec laquelle la chaleur se propage dans le sol, les saisons sont interverties; la plus haute température arrivant en décembre, la plus basse en juin ou en juillet. Au-dessous, les différences vont en s'affaiblissant jusqu'à la couche où la température devient invariable, et à partir de laquelle, à mesure qu'on s'enfonce, on trouve des températures de plus en plus élevées. Les observations qu'on a pu faire à cet égard, dans les mines ou dans les forages de puits artésiens, donnent un degré d'accroissement par 30^m ou 40^m, soit en moyenne, par 35 mètres. D'où il résulte, si, comme c'est assez probable, la loi se maintient aux profondeurs où nous ne pouvons pas atteindre, qu'à 35 kilomètres de la surface terrestre, la chaleur doit s'élever à 1000 ou 1200 degrés, température très-suffisante pour maintenir à l'état d'incandescence et de fusion l'intérieur du Globe; ce qui, soit dit en passant, permet d'expliquer de la manière la plus satisfaisante, les tremblements de terre, les éruptions volcaniques, les eaux thermales, etc., et même les grands cataclysmes dont s'occupe la Géologie.

Ajoutons, puisque l'occasion se présente si naturellement de le dire, que la chaleur centrale peut être considérée comme indépendante de l'action solaire, et comme une conséquence de l'état primitif d'incandescence du Globe terrestre dont le refroidissement, inverse du *cube* (1) de ses dimensions, ne peut s'opérer qu'avec une lenteur excessive. A cause de la grande quantité de chaleur que contiennent les matières terreuses et de leur faible rayonnement, il faut, en effet, des années entières pour qu'une coulée de lave de quelques mètres d'épaisseur, perde son excès de température. Décuplez l'épaisseur, et le temps du refroidissement deviendra *mille* fois (cube de 10) plus considérable. Que sera-ce si au lieu de compter par mètres, vous comptez par myriamètres, ou même par centaines de mille mètres, les dimensions du corps qui se refroidit? Ce n'est plus alors par milliers, mais par millions et par millions de millions d'années qu'il faudra compter le temps nécessaire au refroidissement. Dans l'hypothèse, aujourd'hui généralement adoptée, de la *fluidité* primitive de notre Globe, l'accroissement intérieur de la température nous conduit donc à penser que la croûte consolidée n'est qu'une sorte de pellicule, superposée à un océan de feu.

253. **Décroissement de la température dans l'atmosphère.** — Mais revenons à notre objet. Si au lieu de s'enfoncer dans le sol, on s'élève dans l'atmosphère, l'on éprouve, je l'ai déjà dit (243), un froid de plus en plus vif à mesure que l'on monte (2). C'est ce que remarquèrent entre autres, MM. Biot et Gay-Lussac dans leur célèbre ascension du 16 septembre 1804; MM. Barral et Bixio, dans celle qu'ils firent jusqu'à 7049 mètres de hauteur, le 27 juillet 1850. C'est ce

(1) Le cube d'un nombre est le produit de ce nombre par son carré. En d'autres termes, c'est un produit où le nombre entre trois fois comme facteur. Ainsi 8 est le cube de 2; 27 le cube de 3; 64 le cube de 4, etc.

(2) Pendant la nuit, jusqu'à une certaine hauteur, la température va d'ordinaire en s'élevant : mais cet effet, dû au rayonnement du sol qui se refroidit plus que l'air et communique ensuite, de proche en proche, sa basse température aux couches atmosphériques, ne paraît pas se propager au delà de 40 ou 50 mètres. On peut donc en faire abstraction, et le négliger comme un accident tout spécial dans le phénomène plus général que nous avons en vue.

que peuvent remarquer également les touristes qui gravissent les montagnes, etc. La loi du décroissement paraît correspondre à des diminutions successives d'un degré, pour chaque différence de hauteur égale à 160 ou 200 mètres environ. Il en résulte que, dans un climat où la température moyenne serait, comme à Toulouse, égale à 13 degrés, par exemple, on devrait avoir une température moyenne égale à zéro, vers 2000 ou 2600 mètres d'élévation au-dessus du sol.

En compensant les oscillations thermométriques extrêmes de l'hiver à l'été, si l'on prenait pour indice de cette température moyenne, ainsi qu'il paraît, du reste, assez naturel de le faire, la persistance des neiges pendant toute l'année, il suffirait de jeter un coup d'œil sur les Pyrénées qui nous avoisinent, pour se convaincre qu'en effet la limite des neiges perpétuelles ne doit guère s'éloigner des hauteurs ci-dessus indiquées. A l'Équateur, où la température moyenne atteint $27^d,5$, on devrait donc s'élever de 5 à 6000 mètres pour obtenir la même limite; tandis qu'au contraire, en allant vers les pôles, on se rapprocherait de plus en plus du sol. C'est précisément ce que montre l'observation. Car dans les Andes de Quito, par exemple, de 1° à 1° 30′ de latitude *Sud*, la limite est à 4812 mètres. Elle est à 4688 mètres sur le volcan de Puracé, à 2°18′ de latitude *Nord*, et seulement à 908 mètres, en Islande, à la latitude de 65°. D'un autre côté, par une concordance des plus satisfaisantes, la température moyenne de la métairie d'Autisana (zéro degré quatorze minutes de latitude Sud), n'est plus, au lieu de $27^d,5$ que de $3^d,4$ à une hauteur de 4072 mètres ; ce qui, pour la différence de $24^d,1$ donne une diminution de 1^d par 169 mètres. La température moyenne et la limite des neiges perpétuelles à Oosterjoekull (Islande), ne sont, à leur tour, pour 65 degrés de latitude, que $4^d,5$ et 900 mètres, d'où résulte le quotient $\left(\frac{900}{4,5}\right)$, soit 200 mètres par degré de diminution, etc.

Température probable des espaces célestes, d'après les résultats observés sur divers points du Globe terrestre. — Ces divers résultats s'accordent, on le voit, avec la loi de décroissement signalée plus haut, et fourniraient, dans l'hypothèse où la loi se maintiendrait jusqu'aux limites de l'atmosphère, une température de 50 à 60 degrés *au-dessous* de zéro, dans les espaces célestes, à 100 mille mètres de hauteur.

254. — Pour se convaincre qu'un pareil chiffre n'a rien d'exagéré, il suffit de savoir que, même à la surface du Globe, où l'atmosphère s'oppose cependant à la déperdition de la chaleur, on a souvent observé de tels froids ; témoins celui de $50^{d},8$, trouvé par le capitaine Ross au port Elisabeth, dont la latitude *nord* est 69 degrés 59 minutes; celui de $49^{d},7$, observé par le capitaine Franklin à la latitude 64 degrés 30 minutes; celui de $56^{d},7$, que trouva Back au fort Reliance, à la latitude 62 degrés 46 minutes, etc.; enfin celui de 71 degrés Réaumur, ou de 89 degrés centigrades, qui, d'après Gmelin, de l'Académie de Saint-Pétersbourg, se fit sentir à Tornea, sous la latitude 61 degrés 51 minutes, le 5 janvier 1760.

255. **Lignes isothermes.** — Dans chaque climat, l'élévation des lieux au-dessus du niveau moyen de la surface terrestre doit donc influer sur les températures. La direction habituelle des vents, selon que ces derniers arrivent d'un pays plus chaud ou de localités plus froides, selon qu'ils ont traversé de vastes étendues de mers ou de grands continents ; leur degré d'humidité, l'évaporation plus ou moins considérable qu'ils déterminent, etc., etc., contribuent aussi à faire varier ces températures. M. de Humboldt, le premier, imagina de représenter *graphiquement* la loi des variations, en traçant sur des cartes les lignes *isothermes* (1), c'est-à-dire les lignes dont tous les points possèdent des températures moyennes identiques. Si l'on consulte les tableaux dressés à cet égard soit par M. de Humboldt, soit par d'autres observateurs, on trouve qu'en effet les isothermes sont loin de marcher parallèlement à l'Équateur terrestre ; car, par exemple, l'isotherme de 10 degrés qui passe dans le voisinage de Dublin, de Londres, de Paris, entre les latitudes 49 et

(1) *Isos* égale ; *termos* chaleur.

51 degrés, descend vers la Mer-Noire, entre les latitudes 44 degrés 35 minutes de Sébastopol, et 46 degrés 58 minutes de Nicolaïeff, pour arriver à New-York, jusqu'à la latitude 41 degrés 55 minutes.

256. **Températures extrêmes dans les différents climats.** — Les autres isothermes présentent des variations analogues. Quant aux températures extrêmes, leurs amplitudes sont également influencées par les causes qui font varier les températures moyennes. Ainsi, tandis qu'à Philœ, par 24 degrés de latitude, le commandant Cotelle observait à l'ombre, lors de l'expédition française en Egypte, un maximum de 43d,1, Burckhard obtenait à Esné, sous une latitude de 25 degrés 15 minutes, plus élevée par conséquent que la première, un maximum de 47d,4. A Pondichéry, dont la latitude n'est que de 11 degrés, le maximum, d'après Legentil, ne dépasserait guère 44d,7, pendant qu'à Bassora, dans la Mésopotamie, à la latitude de 30 degrés 45 minutes, il atteindrait, selon Beauchamp, 45d,3. Il peut s'élever à Paris jusqu'à 38d,4, et s'arrête à Milan, plus près que Paris de l'Équateur, à 34d,4. A Toulouse, nous avons des maxima variant, suivant les années, de 36 à 38 degrés. A Moscou, la valeur moyenne de ces maxima, sous la latitude 55 degrés 45 minutes, est égale à 32 degrés; tandis qu'à Pétersbourg, par 52 degrés 56 minutes de latitude, elle serait égale à 33d,4, etc., etc.

Il en est d'ailleurs des minima comme des maxima; car on observe, dans les plus basses températures, des divergences non moins anormales, en apparence, que celles fournies par les températures les plus élevées. C'est ainsi qu'à Charlestown, sous la latitude 32 degrés 40 minutes, on a pu voir le thermomètre descendre jusqu'à 17d,8 au-dessous de zéro, et qu'à Paris, le même instrument s'est abaissé quelquefois jusqu'à un froid de 23d,1, quand, sous des latitudes comprises entre celles de Paris et de Charles-town, on ne paraît avoir jamais obtenu plus de 17d,8 de froid à Turin, et de 15 degrés à Milan, qui se trouve pourtant au nord de Turin.

257. **Influence du voisinage de la mer sur les températures.** — La température de la mer est beaucoup moins varia-

ble que celle du sol, soit parce que, pour s'échauffer ou pour se refroidir d'un même nombre de degrés, l'eau doit, à masses égales, absorber ou perdre quatre fois environ plus de chaleur que les substances terreuses, soit parce que la transparence de l'eau laisse pénétrer profondément la chaleur rayonnante qui, s'éparpillant sur une plus grande masse, doit par conséquent moins échauffer la surface, soit enfin parce que, refroidies par le rayonnement nocturne, les couches supérieures de l'eau se condensent et s'enfoncent (ce que ne peuvent faire des couches terreuses solides), pour être remplacées par les couches plus légères de l'intérieur, que le refroidissement n'aura pas atteintes. Aussi, grâces au voisinage de l'Océan, les grands froids de Londres ont-ils généralement pour limite 11 ou 12 degrés, à peu près comme ceux de Toulouse, dont la latitude est cependant plus faible de 8 degrés. Près du golfe de Finlande, à Saint-Pétersbourg, sous une latitude de 60 degrés, les plus basses températures n'atteignent guère que 34 degrés, quand dans les terres, à Moscou, dont la latitude est seulement de 55 degrés 45 minutes, le thermomètre s'abaisse à $38^d,8$, etc., etc.

258. **A l'inverse des animaux inférieurs, l'homme supporte de très-grandes variations de chaleur, sans que la température de ses organes intérieurs varie.** — La position géographique des lieux n'est donc pas le seul élément qui influe sur les températures terrestres. Une autre conséquence non moins remarquable des nombres précédents, c'est que l'homme peut résister à des variations très-considérables de température, puisqu'il supporte en même temps, vers l'Équateur, la chaleur de $47^d,4$, observée par Burkhard, et, vers les Pôles, le froid de 89 degrés, cité par Gmelin, ou du moins celui de $56^d,7$, enduré plus récemment par le capitaine Back. J'ai lu quelque part, sans trop me souvenir en quel endroit, qu'une jeune fille affrontait, dans un four, pendant plusieurs minutes, une chaleur de 130 degrés. Et cependant, chose singulière ! sous les températures les plus extrêmes, d'après de nombreuses expériences, la température intérieure de nos organes reste invariablement égale à 32 de-

grés. Un imprudent physicien, voulant modifier cette température, eut l'idée de se couvrir de vernis pour empêcher la transpiration d'enlever l'excès de chaleur dont il allait s'imprégner. Mais, fort heureusement pour lui, ses cheveux, qu'il avait oublié d'enduire, firent l'office d'exutoires, et la haute température du milieu dans lequel il s'était plongé fut neutralisée par la vapeur que jetèrent ces pompes improvisées.

Au contraire, les animaux inférieurs participent très-souvent à la température du milieu qui les environne. Les poissons, prennent, sans périr, celle de l'eau, depuis zéro jusqu'à 40 degrés; les mollusques celle de l'air saturé d'humidité, ou même des températures un peu inférieures quand l'air est assez sec pour provoquer l'évaporation. Les *reptiles ont également des températures variables* avec l'état hygrométrique (humidité) de l'atmosphère, etc., etc.

Voilà donc une nouvelle différence moins saisissable d'abord quoique aussi remarquable, ajoutée à celles que l'œil ou l'esprit saisissent du premier coup, aux différences de *forme* ou d'intelligence. Caché mais éloquent témoignage, parmi tant d'autres dont la découverte fut également réservée comme récompense aux efforts du travail, et qui deux fois révélateurs, proclament, en même temps, les prévoyantes mesures de la Providence et les riches harmonies de la création! En refusant, à certains êtres, les chaudes fourrures ou le moelleux duvet qu'elle prodiguait à d'autres, et l'intelligence, dont l'homme devait faire usage pour se préserver, par sa propre industrie, de l'intempérie des saisons, la sublime Puissance qui enfantait l'Univers ne devait-elle point, en effet, afin de maintenir ici-bas les diverses variétés de la vie qu'elle faisait naître, donner, aux moins favorisés, un organisme propre à suppléer, pour eux, aux abris extérieurs dont ils allaient être dépourvus?

259. **Les saisons n'ont pas changé sensiblement depuis les temps historiques.** — J'entends dire souvent, autour de moi, que les saisons se sont considérablement modifiées depuis un certain nombre d'années; que les hivers sont plus longs et plus froids; qu'autrefois, dans nos climats, on adop-

tait aux fêtes de Pâques des vêtements d'été, etc., etc. Mais n'est-il pas évident, après l'analyse détaillée des phénomènes, que ces prétendues variations doivent reposer sur des souvenirs inexacts, résultant soit des impressions plus vives de la jeunesse ou de l'enfance, soit de quelques années exceptionnelles dont on aurait involontairement généralisé les effets? Et quant aux vêtements légers des anciennes fêtes de Pâques, nous verrons avant peu, que l'époque de ces fêtes peut varier du 22 mars au 25 avril; ce qui suffit à rendre compte des différences remarquées.

A la vérité, nous avons reconnu que le mouvement relatif de l'Apogée et de l'Equinoxe tendait à modifier légèrement, d'année en année, les températures terrestres des divers climats, dans l'hypothèse toutefois où les effets de la diminution des distances entre la Terre et le Soleil, pendant nos étés, ne seraient pas exactement compensés par la moindre durée qui doit en être la conséquence. Seulement, on admettra sans peine qu'un *quinzième* de variation dans la chaleur solaire, progressivement réparti sur un intervalle de neuf à dix mille ans, ne puisse pas devenir sensible pendant la durée de la vie d'un homme. Et, en effet, Messier trouvait, il y a 80 ans, dans les caves de l'Observatoire de Paris, une température de $11^d,8$; la même, exactement, qu'on y trouve encore aujourd'hui.

260. **Présomptions basées sur certaines particularités agricoles.** — S'il est donc vrai, comme certaines particularités semblent en offrir la preuve, que le climat de quelques localités ait éprouvé des modifications appréciables; qu'en France, par exemple, celui du département de l'Oise se soit assez refroidi pour ne plus permettre à la vigne, autrefois cultivée par ses habitants, d'y mûrir aujourd'hui; l'on doit être à peu près certain que de pareils changements sont tout à fait locaux, qu'ils proviennent, en général, de travaux effectués par la main de l'homme, du défrichement des forêts, du desséchement des marécages, etc., etc, et que l'ensemble des températures terrestres est, selon toute apparence, demeuré sensiblement invariable depuis bien des siècles.

On pourrait, d'ailleurs, à l'appui de cette opinion, opposer aux changements de culture, signalés comme étant devenus nécessaires pour divers pays, des permanences autrement nombreuses et caractéristiques. Parmi ces dernières, l'une des plus curieuses est celle que, le premier je crois, signala M. Arago pour la vigne et pour la datte, qui mûrissaient au temps des Juifs, et qui mûrissent encore en Palestine. Or, la datte exigeant, *au moins*, 21 degrés et demi de température moyenne, et la vigne, *au plus*, 22 degrés (puisqu'aux Canaries, à cette température moyenne de 22 degrés, elle cesse de donner du vin), le climat de la Palestine devait, il y a 3000 ans, et doit, aujourd'hui encore, avoir sa température comprise entre ces deux limites si rapprochées, résultat parfaitement d'accord, au reste, avec la température moyenne de 22 degrés, déterminée, lors de la campagne d'Egypte, pour le Caire dont la position est précisément plus avancée de deux degrés, vers le Sud, que Jérusalem.

A l'exemple de M. Arago, M. Dureau de la Malle citait, à son tour, il y a quelques années, une variété de citronnier extrêmement sensible aux oscillations thermométriques, qui se trouvait, pendant le moyen âge, exactement comme à l'époque actuelle, sur la limite de sa végétation en pleine terre, aux environs de Cadix. Mais on rencontre une preuve bien plus concluante encore, dans les phénomènes astronomiques eux-mêmes.

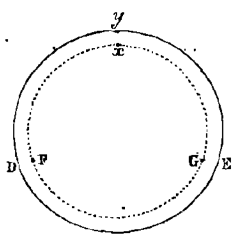
261. **Preuve déduite des phénomènes astronomiques.** — Bien que leurs moyens d'observation fussent loin d'être comparables, pour la précision, aux ressources que nous possédons aujourd'hui, les Astronomes d'Alexandrie purent cependant, on le conçoit sans peine, déterminer avec assez d'exactitude, à quelques minutes, à quelques heures près si l'on veut, le nombre de jours sidéraux employés par la Lune pour accomplir un certain nombre de révolutions (mille ou quinze cents par exemple) autour de la Terre. En divisant le nombre de jours par le nombre de révolutions effectuées (ce qui divisait par le même nombre, 1000 ou 1500, l'erreur commise) ils obtinrent donc avec une approximation mille

ou quinze cents fois plus grande, la durée moyenne de chaque révolution; d'où aussi, avec une approximation bien plus grande encore (27 fois à peu près), l'arc parcouru par la Lune dans un jour sidéral qui ne correspond, en effet, qu'à la 27me partie environ de la durée d'une révolution lunaire. Prise, à son tour, pour mesure de la durée du jour sidéral il y a deux mille ans, et corrigée de certaines causes *connues* de variation, pour servir aussi de mesure à la durée du jour sidéral actuel, la longueur de l'arc parcouru permettra, par conséquent, de connaître si, dans un intervalle de 20 siècles, cette durée s'est modifiée. Tout calcul fait, on peut affirmer qu'il n'en est rien, ou que, du moins, les modifications n'atteignent pas un *centième* de seconde.

Maintenant admettons (nous avons employé déjà cette hypothèse dont nous constaterons plus tard l'exactitude), admettons que le jour sidéral correspond, non à la rotation de la voûte étoilée, mais à la rotation de la Terre autour d'un axe central; et nous verrons sans difficulté qu'un changement de température dans l'ensemble de notre Globe, entraînant une condensation ou une dilatation qui font changer son volume, la vitesse de rotation, par conséquent aussi la durée du jour, se trouveront nécessairement altérées.

Qu'à la suite d'une condensation, et sans perdre de sa vitesse, la particule quelconque y (*fig.* 134), vienne, en effet, au point x, plus près du centre; n'est-il pas évident qu'elle parcourra la circonférence FGx en moins de temps qu'elle n'en employait à parcourir la circonférence plus grande DEy? La diminution de volume ne saurait donc avoir lieu, sans occasionner également une diminution dans la durée du jour sidéral; et par contre, il est à peine nécessaire d'en faire la remarque, l'élévation de température qui porterait en y la molécule primitivement située en x, astreignant

Fig. 134.



cette molécule à parcourir désormais, sans augmentation de vitesse, la circonférence DEy au lieu de la circonférence plus petite FGx, ferait augmenter, par cela même, la durée de la rotation. Or, les procédés et les formules de la mécanique permettent de calculer aisément quel effet produirait une variation donnée de température sur des substances terreuses dont la dilatation linéaire moyenne serait, comme celle du verre, par exemple, ou de certaines pierres, égale pour chaque degré thermométrique, à un cent millième environ de leur longueur.

Avec ces conditions de dilatabilité, l'on trouve qu'un *centième* de seconde *en moins*, sur la durée du jour sidéral, correspond seulement à un *cent soixante-treizième* de degré sur la température (1). Depuis les observations d'Hipparque, faites il y a deux mille ans, l'état thermométrique du Globe n'a donc pas varié, dans son ensemble, d'un cent soixante-treizième de degré. Les variations locales sont donc elles-mêmes

(1) La vitesse uniforme ω de rotation que possède la Terre, a, pour expression analytique, une fraction de la forme $\frac{\text{constante } K}{R^2}$, R étant le rayon de l'Équateur terrestre. Si, par l'effet d'un abaissement t de température, R diminue de $R\alpha t$ $\left(\alpha \text{ valant } \frac{1}{100000}\right)$, la vitesse ω' que prendra le Globe deviendra

$$\frac{K}{(R-R\alpha t)^2}=\frac{K}{R^2}\frac{1}{(1-\alpha t)^2}=\frac{K}{R^2}(1+2\alpha t)$$

à cause de la petitesse de αt dont les puissances supérieures sont négligeables.

D'où $\left(\frac{\omega'-\omega}{\omega}\right)=\frac{\frac{K}{R^2}(1+2\alpha t)-\frac{K}{R^2}}{\frac{K}{R^2}}=2\alpha t$, et $\omega'-\omega=2\alpha t.\omega$

Soient $\omega=\frac{2\pi}{86400}$ secondes; $\omega'=\frac{2\pi}{x}$, il vient $\frac{\omega'-\omega}{\omega}=\frac{86400-x}{x}=2\alpha t$,

et par conséquent $x=\frac{86400^s}{1+2\alpha t}=86400\,(1-2\alpha t)$.

Faites $x=86400^s-\frac{1^s}{100}$, $\alpha=\frac{1}{100000}$; vous trouverez $t=\frac{1^\circ}{173}$.

par conséquent, selon toute probabilité, des accidents particuliers qui n'altèrent en rien la *généralité* du phénomène; et quoi qu'on en puisse dire, ni le rhinocéros, ni l'éléphant, trouvés enfouis, vers la fin du siècle dernier, dans un état parfait de conservation, sous les glaces de la Sibérie, ne sauraient prouver, à l'encontre des résultats mathématiques précédents, que depuis la mort de ces animaux, la terre a changé de température. Mieux appréciée, saisissons l'occasion de le remarquer, cette curieuse découverte ne prouve même pas que les régions polaires soient passées d'une température très-élevée, au froid intense qu'on y ressent aujourd'hui. Les grands mammifères ensevelis sous les glaces, étaient, en effet, recouverts d'une sorte de fourrure qui leur aurait peut-être permis de vivre loin des pays chauds, où vivent d'habitude leurs analogues. Ils peuvent d'ailleurs avoir été surpris, pendant une de leurs pérégrinations d'été vers le Nord, par quelque cataclysme qui les aurait enfouis sur place, ou transportés violemment jusqu'aux régions polaires; préservés de la putréfaction, durant le trajet, dans les torrents provenant du cataclysme, par les amas de neige ou de glace descendus des montagnes bouleversées.

262. **Températures probables de la Terre, antérieurement aux temps historiques.** — On ne doit pas se hâter néanmoins de conclure que la chaleur terrestre fut toujours ce qu'elle est aujourd'hui. La *forme à peu près sphérique* de notre Globe, qui doit évidemment provenir d'un état primitif de fusion; les immenses fougères qu'on trouve enfouies dans les terrains houillers des contrées septentrionales; et bien d'autres phénomènes encore, qui sont plus spécialement, comme ces derniers, du ressort de la Géologie, tout semble prouver, au contraire, qu'à des époques excessivement anciennes, les températures étaient bien plus hautes. Ajoutons seulement qu'un illustre géomètre de nos jours, M. Poisson, admettait dans les espaces célestes, des régions très-froides et d'autres régions très-chaudes, où le Soleil, ainsi que les Planètes qui l'accompagnent, séjourneraient alternativement pendant des siècles, de manière à en prendre les

températures. Ce serait à son séjour prolongé dans une de ces régions brûlantes, que la croûte terrestre devrait son état thermométrique actuel. Mais rien ne démontre la vérité d'une telle conception; et pour ne pas outrepasser les limites d'une théorie plus immédiatement basée sur l'observation, je me borne à dire, en terminant, que d'après les recherches de Fourier, même dans le cas où l'accroissement progressif de température, constaté sur les couches supérieures du sol, se continuerait vers le centre de la Terre pour produire l'incandescence à 30 ou 40 mille mètres de profondeur, l'influence de cette énorme chaleur se bornerait à augmenter d'un *trentième* de degré les températures moyennes produites, à la surface terrestre, par l'action directe du Soleil.

L'intérieur du Globe peut donc se refroidir entièrement, comme s'est refroidie la croûte qui l'enveloppe, sans que les habitants de la terre aient à craindre cette congélation dont Buffon, entre autres, s'est préoccupé, pour l'avenir de notre Planète, en faisant varier, avec Mairan et Bailly, de 30 à 400 suivant les saisons (été ou hiver), pour la France du moins, les quantités de chaleur qui traversent la croûte terrestre, venant de l'intérieur du Globe; l'unité représentant celle que le Soleil nous envoie. *Un trentième de degré en moins sur les températures actuelles!* Voilà, suivant la savante analyse de Fourier, à quoi se bornera la catastrophe redoutée, faute, en son temps, de connaissances physico-mathématiques suffisantes, par l'éloquent historien des *Époques de la nature*.

263. **Anomalies occasionnées par des essaims d'astéroïdes qui circulent autour du Soleil.** — Avant d'abandonner la question des températures terrestres, un mot sur les anomalies mentionnées au début de cette étude. Les observations faites en différents lieux, celles de Paris, de Berlin, de Toulouse entre autres, indiquent des refroidissements sensibles dans les premières quinzaines de février et de mai, des élévations thermométriques vers les commencements d'août et de novembre. D'un autre côté, l'on aperçoit généralement pendant quelques jours, vers le 10 août et vers le 15 novembre, beaucoup de ces météores lumineux qui sont connus

sous le nom d'*Étoiles filantes* et qui se trouvent parfois si multipliés que, le 12 novembre 1833, un Astronome de Boston put en compter jusqu'à 650 dans un quart d'heure. On en voit aussi quelques-uns, mais bien moins nombreux, six mois après chacune des deux apparitions précédentes, aux mois de février et de mai. L'on constate enfin souvent, à ces quatre époques, des chutes de poussières et de pierres qui ne paraissent pouvoir venir que du Ciel.

264. Discutés avec soin, ces phénomènes conduisent à penser que le Soleil est entouré, mais un peu excentriquement, de deux vastes anneaux inclinés à l'Écliptique et formés, chacun, par des myriades de corpuscules, derrière lesquels la Terre se trouverait en février et en mai, tandis qu'elle passerait, au contraire, dans leur intérieur aux mois d'août et de novembre. L'affaiblissement des rayons calorifiques du Soleil par l'interposition de l'anneau, et peut-être aussi, *pour le mois de mai*, l'absorption d'une portion notable de la chaleur atmosphérique employée à la fonte des neiges, produiraient les refroidissements observés. La réflexion de la chaleur sur les corpuscules de l'anneau, quand, par suite de l'excentricité de leurs orbites, la Terre passerait, aux mois d'août et de novembre, entre eux et le Soleil, occasionnerait, à son tour, l'élévation de la température; élévation peu remarquée généralement pendant les fortes chaleurs du mois d'août, mais signalée, de tout temps, comme contraste aux premiers froids de l'automne, pour le mois de novembre, sous le nom d'*été de Saint-Martin*.

265. **Étoiles filantes occasionnées par les corpuscules qui produisent les anomalies calorifiques.** — Quant aux apparitions extraordinaires d'Étoiles filantes, dont l'une avait assez vivement impressionné le moyen âge pour que, par allusion au martyre de saint Laurent, grillé tout vif, il en fît des *larmes brûlantes* du saint, fêté précisément le 10 août; elles seraient dues, à peine est-il besoin de le dire, à l'inflammation des corpuscules, par le frottement de notre atmosphère, pendant le rapide passage de ces corps qui possèdent des vitesses souvent énormes, des vitesses de 30 à 40 mille mètres par seconde, et qui tomberaient parfois sur le sol.

Les révolutions des météores n'ayant pas d'ailleurs la même durée que la révolution de la Terre, et les corpuscules météoriques se trouvant inégalement condensés dans les diverses parties de l'anneau, les phénomènes doivent évidemment différer d'une année à l'autre. Mais après un certain nombre de révolutions correspondant à un nombre exact d'années, ces phénomènes tendent à se reproduire dans le même ordre que précédemment.

118. **Applications que semble permettre d'espérer pour l'avenir, l'étude des Étoiles filantes.** — Si jamais, par conséquent, l'on parvenait à déterminer la longueur et les principales particularités de la période, on aurait une nouvelle source d'utiles applications. Qui ne voit, en effet, qu'indiquer, par exemple, chaque année, au mois de mai, les chances de froids plus ou moins prolongés, plus ou moins intenses, résultant de l'épaisseur, de la condensation et de la largeur des différentes parties de l'anneau, ce serait fournir aux agriculteurs les probabilités du mauvais temps dont le froid est accompagné d'habitude? Ce serait donc aussi leur offrir des moyens de présomption sur l'intervalle le plus favorable à saisir pour la récolte de certains fourrages, entre le moment où la Terre échappe à l'influence des astéroïdes du mois de mai, et celui où elle doit retomber sous l'influence d'un nouvel anneau qu'elle paraît rencontrer dans le mois de juin.

Car, si l'on juge encore par quelques apparitions remarquables d'Étoiles filantes ou de globes de feu signalés pour cette époque, et par un arrêt analogue à celui du mois de mai, dans la marche ascendante des températures, l'on est conduit, pour le mois de juin, à la conclusion précédente que justifient, au reste, d'autres apparitions de météores lumineux, ainsi qu'une légère exaltation de température dans le mois de décembre, précisément quand la Terre passe par les points diamétralement opposés à ceux où nous nous trouvions six mois auparavant. Et puisque nous sommes en voie d'épuiser la question des températures terrestres, notons, pour ne plus avoir à nous entretenir à ce sujet, que les mois de janvier et de juillet, d'avril et d'octobre, etc., présentent à leur tour, d'une manière moins tranchée toutefois, des particularités analogues à celles dont nous venons de nous occuper : c'est dire par là, qu'ainsi enveloppé dans des essaims d'astéroïdes, et vu des profondeurs de l'espace, le Soleil a sans doute l'aspect d'une étoile nébuleuse, autour de laquelle doivent se produire des variations de température en rapport avec les positions successives des corpuscules qui les occasionnent. Mais je ne veux pas insister plus longuement sur d'aussi mystérieux phénomènes; trop de doutes les enveloppent encore. Espérons, néanmoins, que l'avenir saura les féconder, et que leurs lois principales, à peine soupçonnées aujourd'hui, finiront par se révéler un jour aux Astronomes assez persévérants pour en poursuivre l'étude, malgré ses décourageantes difficultés.

DEUXIÈME SECTION.

Phénomènes météorologiques.

Chaleurs latentes des vapeurs et des liquides. — Écarts excessifs des températures, empêchés par le jeu des chaleurs latentes. — Aperçu relatif à la quantité de chaleur qui est mise en jeu dans l'atmosphère. — *Hygrométrie.* — Froids artificiels. — Effets du rayonnement sous un ciel serein. — Rosée et gelée blanche. — Brouillards, nuages et pluie. — Neige et grêle. — Pluie par un ciel serein. — Pluviomètres et quantités d'eaux pluviales dans les divers climats. — Quantités d'eau fournies par les fortes averses, dans le Midi de l'Europe. — *Étude de la Foudre.* — Électricités naturelle ou neutre, positive ou vitrée, négative ou résineuse. — Corps isolants et corps conducteurs. — Électricité des nuages. — Éclairs et tonnerre. — Étendue et distance des nuages orageux. — Durée des éclairs. — Choc en retour. — Paratonnerres. — *Causes principales des vents.* — Vents alizés ou réguliers. — Vents irréguliers. — Les vents d'aspiration se propagent en sens inverse de la direction dans laquelle ils soufflent; il en est autrement des vents, plus rares, d'impulsion. — Vitesses des vents. — Brises de mer et de terre, ou de jour et de nuit. — Moussons ou vents des saisons. — *Mirage.*

267. **Chaleurs latentes des vapeurs et des liquides.** — En faisant varier les températures terrestres, l'action calo-

rifique du Soleil produit une foule d'autres phénomènes dont l'étude est pleine d'intérêt. Il n'est personne qui ne sache, par exemple, que, pour se former, la vapeur d'eau, ou, plus généralement, une vapeur quelconque exige de la chaleur en quantité très-considérable, et que cette chaleur se loge, sans produire aucun effet sensible sur le thermomètre, entre les particules du liquide vaporisé. C'est même là, pour le dire en passant, tout le secret du chauffage des bains, des appartements, etc., à la vapeur, puisque la chaleur *latente* de la vapeur d'eau est *cinq fois et demi environ* (5,35) plus considérable que sa chaleur sensible; en d'autres termes, puisque la quantité de chaleur contenue dans un kilogramme de vapeur d'eau, à la température de 100 degrés, peut, dans le passage de la vapeur à l'état liquide, et sans que le kilogramme de liquide produit ait rien perdu de la température que possédait la vapeur, élever à 100 degrés, faire bouillir par conséquent cinq kilogrammes et demi (plus exactement, 5 kil. 35) d'eau primitivement à zéro.

Des phénomènes analogues correspondent à la liquéfaction des corps solides. Ainsi, la glace, pour se fondre, absorbe une quantité de chaleur représentée par 79 degrés du thermomètre; ce qui veut dire qu'en mélangeant un kilogramme de glace à la température zéro, avec un kilogramme d'eau à la température 79 degrés, ou avec 79 kilogrammes d'eau à la température de 1 degré, vous aurez, dans l'un comme dans l'autre cas, après la fusion de la glace, un mélange liquide à la température *zéro*, que possédait la glace avant sa fusion. D'où il résulte évidemment que, pour passer de l'état liquide à l'état solide, l'eau doit perdre, à son tour, indépendamment, bien entendu, de sa température sensible au-dessus de zéro, les 79 degrés de chaleur latente. Les chaleurs varient d'ailleurs, on pouvait aisément le pressentir, suivant la nature des corps qui se fondent ou se vaporisent.

Ces préliminaires posés, poursuivons l'analyse des phénomènes occasionnés par la chaleur solaire.

268. **Écarts excessifs des températures empêchés par l'excès des chaleurs latentes.** Il est évident qu'en tombant sur la mer, sur les lacs, sur les rivières, une portion notable de cette chaleur, employée à vaporiser les eaux, deviendra latente et contribuera, de la sorte, à modérer les écarts des températures terrestres. Car, lorsque, à son tour, le rayonnement nocturne ou toute autre cause de refroidissement tendraient à produire un abaissement trop considérable du thermomètre, la terre et l'air emprunteront leur chaleur latente aux vapeurs de l'atmosphère, qui repasseront alors à l'état liquide et retomberont en rosée, en pluie, etc. A la vérité, le phénomène se complique souvent, pour nous, de l'effet des basses températures apportées, par la pluie, des régions supérieures de l'air. Mais le principe général n'est pas moins vrai, malgré cela, dans son ensemble; et le refroidissement que nous observons d'habitude après les pluies, pendant l'été surtout, ne constitue qu'un détail tout particulier de la qnestion.

269. **Aperçu relatif à la quantité de chaleur qui est mise en jeu dans l'atmosphère.** — On se fait rarement, au reste, une idée de l'énorme quantité de chaleur qui se trouve ainsi mise en jeu dans l'atmosphère, tantôt emmagasinée pour ainsi dire à l'état de réserve, et tantôt, au contraire, prodiguée en quelque sorte pour réchauffer les couches supérieures trop fortement refroidies. Voulez-vous à cet égard un rapide, mais assez exact aperçu? Admettez, ce qui n'est pas loin, ou plutôt, ce qui reste, sans doute, au-dessous de la vérité, que l'ensemble des pluies annuelles, sur toute la surface de la Terre, formerait, autour du Globe, une couche de 50 centimètres d'épaisseur, si les infiltrations d'un côté, si l'évaporation de l'autre, ne desséchaient le sol, à leur tour, après chaque pluie. Vous trouverez aisément pour le volume de cette couche, avec le rayon moyen du Globe égal à 6 366 200 mètres, le nombre 63 687 546 691 423 mètres cubes d'eau; soit, par jour, 175 milliards de mètres cubes que l'évaporation doit rendre à l'at-

mosphère, d'où, en divisant le nombre précédent par 86400, (durée du jour en secondes) vous aurez pour la quantité moyenne d'eau réduite en vapeur, *dans chaque seconde*, par l'action calorifique du Soleil, *deux millions vingt-cinq mille* mètres cubes, c'est-à-dire un peu plus de *deux milliards* de litres d'eau.

Avons-nous rien sur la Terre, qui puisse, non pas produire, mais seulement figurer de pareils résultats? Et cependant le foyer qui les engendre se trouve à 38 millions de lieues. Quelle effrayante fournaise il doit être au contact même!

270. **Hygrométrie.** — Ce serait dépasser notre objet, que d'entrer ici dans de longs détails sur l'humidité de l'atmosphère. Je me bornerai donc à rappeler que la présence de cette humidité peut être constatée par divers moyens, par les corps déliquescents qui l'absorbent, par les cheveux lessivés qui s'allongent sous son influence et s'accourcissent quand l'air est sec, etc., etc., par tous les instruments enfin auxquels on a donné les noms d'hygromètres, de psychromètres (1), etc. J'ajouterai que l'évaporation se produit à toutes les températures, et que la vapeur emprunte une partie de sa chaleur latente, au liquide même duquel elle émane. D'où résulte, comme conséquence immédiate, le refroidissement de ce liquide, par suite aussi celui des corps en contact avec lui.

271. **Production des froids artificiels.** — L'on conçoit aisément, d'après cela, qu'il soit possible de rafraîchir l'eau, d'avoir même de la glace malgré la tiédeur de l'air, en combinant l'évaporation dans des vases peu profonds mais à larges surfaces, avec le rayonnement nocturne *sous un ciel serein*. L'on comprend aussi, comment l'arrosage et l'évaporation qui l'accompagne, comment l'usage de branches mouillées, etc., peuvent donner de la fraîcheur à l'atmosphère et modérer la chaleur. Ces divers phénomènes se

(1) *Hugros* humide. *Psuchros* froid, *métron* mesure.

lient intimément aux propriétés de la vapeur, énoncées plus haut. Je n'ai donc nullement besoin d'insister sur l'explication des particularités qu'ils présentent.

272. **Effets du rayonnement sous un ciel serein.** — Il est une circonstance néanmoins qui mérite d'arrêter notre attention. J'ai parlé du rayonnement *sous un ciel serein*. Pourquoi cette restriction? Est-ce que les effets frigorifiques du rayonnement ne seraient pas les mêmes sous un ciel chargé de nuages? — L'expérience va nous répondre. Mais, chose singulière! à cet égard comme pour bien d'autres phénomènes, au reste, la pratique avait, dès longtemps, devancé la science. Placez deux thermomètres dans l'air pendant la nuit, et laissez l'un de ces thermomètres rayonner librement vers le Ciel, pendant que l'autre, abrité par un écran supérieur, ne rayonnera que dans les directions horizontales. Vous verrez le premier s'abaisser de 5, de 6 et même de 7 à 8 degrés au-dessous du second, si le Ciel est pur; vous les verrez tous deux, au contraire, si le Ciel est couvert, conserver sensiblement la même température. Dans ce dernier cas, les nuages font donc office d'écran, et renvoient au thermomètre non abrité la chaleur qu'ils en ont reçue.

273. **Rosée et gelée blanche.** — Voilà pourquoi, sans se rendre compte du phénomène, et longtemps avant que le docteur Wels en eût donné la clé par l'expérience précédente, les jardiniers plaçaient un léger clayonnage au-dessus des jeunes plantes; pour les préserver, croyaient-ils, *de la Lune rousse* (1), mais, en réalité, pour empêcher leur congélation, vers le début du printemps, quand la végétation se ranime, et durant les nuits sereines, dont la température n'est encore que peu élevée. Voilà pourquoi aussi, la rosée

(1) Allusion à la couleur *rousse* que prennent les plantes dont les cellules ont été brisées par la congélation des liquides intérieurs, qui augmentent de volume, comme on sait, en cristallisant. L'effet ne se produisant, du moins avec quelque intensité, que lorsque le ciel est serein, c'est-à-dire quand on peut voir la Lune, les agriculteurs devaient tout naturellement l'attribuer à l'action malfaisante de cet astre.

se dépose sur les corps qui se sont refroidis par le rayonnement. Voilà pourquoi, enfin, la gelée que l'on nomme *blanche*, et qui provient de la congélation partielle ou totale de la rosée, peut se produire même dans une atmosphère où le thermomètre marquerait plusieurs degrés au-dessus de zéro.

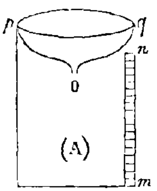
274. **Brouillards, nuages et pluie.** — Les brouillards, les nuages et la pluie ne sont, à leur tour, qu'un effet du refroidissement de l'air, contenant en dissolution de la vapeur d'eau. Si ce refroidissement est peu considérable, la vapeur prend une sorte d'état intermédiaire entre celui de vapeur invisible et celui d'eau liquide, l'état qu'on nomme *vésiculaire*, et qui consiste dans la formation de petites sphères creuses emprisonnant de l'air. Si le refroidissement est, au contraire, assez intense, l'état vésiculaire cesse, et la pluie se produit. Le froid des régions supérieures de l'air devient-il plus vif encore, la pluie pourra se congeler en tombant, et vous aurez alors de la neige. Vous aurez même de la grêle, si les petits cristaux de neige ont tourbillonné dans des trombes atmosphériques, de manière à grossir soit en s'agglomérant soit en congelant, successivement, autour d'eux un certain nombre de couches liquides.

275. **Pluie par un Ciel serein.** — La rencontre de masses d'air très-humides, et poussées par des vents opposés, forme des mélanges dont la température est intermédiaire entre les températures de chacune des masses mélangées. De là résulte, presque toujours, la précipitation d'une certaine quantité de vapeur à l'état liquide. On conçoit, d'après cela, qu'il puisse pleuvoir quelquefois sous un ciel serein et sans le passage préalable de la vapeur par l'état vésiculaire. C'est, en effet, ce que montre l'expérience ; mais le phénomène est peu fréquent (on l'observe tout au plus deux ou trois fois par an dans nos climats) ; et d'habitude, les nuages précèdent la pluie.

276. **Pluviomètres et quantités d'eau pluviale dans les divers climats.** — En général, les quantités d'eau pluviale augmentent à mesure qu'on se rapproche de l'Équateur.

A Paris, elles atteignent annuellement un demi-mètre (en hauteur). Nous en avons à peu près 60 centimètres à Toulouse. Sous les Tropiques, où le nombre de jours pluvieux est peu considérable, mais où les pluies d'orage sont diluviennes, il n'est pas rare que les quantités d'eau tombées du ciel dépassent deux mètres dans une année, etc. On mesure, du reste, aisément ces quantités à l'aide d'un appareil cylindrique (A) (*fig.* 135), portant l'échelle divisée *mn*, et dans lequel arrive la pluie par l'orifice *o* de l'entonnoir *poq*.

Fig. 135.



277. **Quantités d'eau fournies par les fortes averses, dans le Midi de l'Europe.** — Répartis sur un nombre moyen de 100 jours pluvieux qui correspondent au climat de Toulouse, les 60 centimètres d'eau annuelle donneraient une moyenne de 6 millimètres par jour de pluie. Mais cette moyenne est bien loin de représenter les oscillations extrêmes ; car j'ai vu tomber, pendant un orage, à Toulouse, le 19 septembre 1844, 35 millimètres d'eau en une demi-heure, soit un millimètre environ par minute. C'est la plus forte pluie que je connaisse pour nos climats. Cependant, on en cite quelques autres qui, sans être relativement aussi abondantes, ont fourni des résultats d'ensemble très-remarquables : celle, par exemple, qui répandit, *en 24 heures*, sur la ville de Joyeuse, 250 millimètres d'eau ; celles qui, dans le même intervalle de temps (24 heures), jetèrent 810 millimètres d'eau sur la ville de Gênes, 160 millimètres sur Genève, 115 millimètres sur Bruxelles, etc. Je puis citer également, pour Toulouse, les pluies du 23 avril 1841, et du 25 mars 1844, qui fournirent, en trois heures, l'une 38, l'autre 40 millimètres d'eau ; celles du 8 juin 1848, qui donna 49 millimètres en 5 heures ; du 6 septembre 1848, 19 millimètres en 30 minutes ; du 10 août 1854, 21 millimètres en trois quarts d'heure ; du 10 août 1859, 52 millimètres en deux orages successifs de 40 minutes chacun environ, etc.

En songeant à l'impression de terreur que fait éprouver la vue d'un précipice, l'on peut se demander comment nous ne sommes pas effrayés de sentir suspendues sur nos têtes de si énormes quantités d'eau ; des quantités capables de fournir, sur la surface d'un hectare, comme la pluie de Toulouse en 1844, *trois mille* hectolitres d'eau dans 30 minutes, ou comme celle de Gênes, *quatre vingt-un mille* hectolitres en 24 heures.

278. **Étude de la Foudre.** — Les effets produits par l'évaporation ne sont pas, du reste, limités aux résultats que nous venons d'étudier ; car, en se formant aux dépens des eaux salines (et toutes les eaux des mers, des lacs, des rivières, sont dans ce cas), la vapeur se charge d'électricité, qui devient la source de ces orages dont les dégâts sont souvent si désastreux. Par quel enchaînement de phénomènes l'humidité de l'air donne-t-elle naissance à la foudre ? Quelques mots vont suffire à nous l'expliquer.

279. **Électricités, naturelle ou neutre, positive ou vitrée, négative ou résineuse. — Corps isolants et corps conducteurs.** — Il n'est personne qui ne sache que l'électricité *naturelle* ou *neutre* peut être considérée comme résultant de la réunion de deux électricités accumulées, en quantités indéfinies, dans les diverses substances où elles se neutralisent en se combinant. Chacun sait aussi que l'une de ces électricités est appelée *positive* ou *vitrée*, l'autre *négative* ou *résineuse* ; les dénominations *résineuse* et *vitrée* provenant de ce que les premières manifestations électriques ont été produites, par le frottement, sur la résine et sur le verre. Chacun sait, enfin, que les électricités de même nom se repoussent ; que les électricités de noms opposés s'attirent ; que l'ensemble des divers corps forme deux grandes classes : celle des corps *isolants*, tels que le verre, la résine, l'ambre, etc., qui conservent le fluide électrique dont on les charge, et celle des corps *conducteurs*, tels que les métaux, les liquides, etc., etc., qui laissent écouler, au contraire, dans la terre (1) considérée comme le

(1) A moins qu'ils ne soient separés du sol par un corps isolant.

réservoir commun de toutes les électricités, le fluide qu'on leur communique ?

280. **Électricité des nuages.** — Remarquez maintenant que l'électricité dont se charge la vapeur est de l'électricité positive, tandis que l'eau, d'où la vapeur émane, conserve et transmet au réservoir commun l'électricité négative provenant, comme celle qu'emporte la vapeur, de l'électricité naturelle décomposée. Or, les vésicules aqueuses donnant à l'air humide un pouvoir conducteur que l'air sec est loin de posséder, toute l'électricité appartenant à la vapeur qui forme un nuage viendra se porter à la surface extérieure de ce nuage; et comme, par un temps serein, la quantité d'électricité positive de l'atmosphère augmente avec la hauteur, les nuages supérieurs se trouveront, au moment de leur formation, plus électrisés *positivement* que ne le sont les nuages inférieurs. Mais bientôt, les premiers, décomposant, par l'influence du fluide qu'ils ont en excès, l'électricité naturelle des seconds, attireront vers le haut de ceux ci l'électricité négative, et repousseront vers le bas l'électricité positive, qui se dissipera peu à peu dans l'air.

Éclairs et tonnerre. — Voilà donc en présence deux nuages chargés d'électricités de noms contraires. La plus légère cause suffira pour que cet état d'équilibre instable soit rompu; auquel cas la réunion des deux électricités aura lieu, généralement, avec production de lumière et de bruit, c'est-à-dire avec éclair et tonnerre.

281. **Étendue et distance des nuages orageux. — Durée des éclairs.** —Le son parcourant, dans l'air, environ 337 mètres par seconde, tandis que la lumière se meut avec une vitesse pour ainsi dire infinie, on pourra se rendre compte de la distance de l'orage par le nombre de secondes (correspondant à autant de fois 337 mètres), qui s'écouleront entre l'apparition de l'éclair et le bruit de la foudre. Il faut remarquer seulement que les différents points d'un éclair sont loin de se trouver également distants de l'observateur; car les éclairs, et par

suite aussi les nuages orageux, ont souvent plusieurs lieues de longueur. J'en ai mesuré maintes fois, par exemple, à Toulonse, de 12 à 13 kilomètres. Quant à leur durée, M. Weatstone, à l'aide de plateaux tournants convenablement divisés en secteurs, a prouvé qu'elle était généralement inférieure à un *millième* de seconde.

282. Tant qu'un nuage orageux possède encore de l'électricité à sa surface inférieure, il décompose l'électricité naturelle des corps placés au-dessous de lui, attire vers le haut de ces corps l'électricité de nom contraire à la sienne, et repousse vers le bas celle de même nom. Mais s'il vient à se décharger sur un autre nuage ou sur le sol, aussitôt les deux électricités qu'il avait séparées dans les corps soumis à son influence tendront à se réunir, et leur passage rapide pourra foudroyer ceux de ces corps, dont la conductibilité ne sera pas suffisante pour permettre un écoulement facile aux fluides électriques.

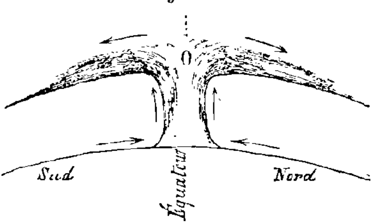
283. **Choc en retour. — Paratonnerres.** — Le phénomène, qui prend alors le nom de *choc en retour*, se produit souvent à de très-grandes distances du point où l'explosion a eu lieu. Toutefois, c'est aux décharges échangées entre les nuages orageux et les objets terrestres que correspondent, généralement, les plus redoutables effets de la foudre. On sait combien ces effets sont souvent désastreux. Heureusement, depuis la brillante découverte qui a popularisé le nom de Franklin, il est devenu facile de les conjurer, d'en préserver du moins les édifices, les navires, etc., à l'aide du *paratonnerre*, longue tige métallique partant du sol humide ou d'une nappe d'eau, et venant se terminer, en pointe très-aiguë, à quelques mètres au-dessus des constructions que l'on veut défendre.

284. — Rien de plus ingénieux, de mieux conçu que cet admirable appareil, puisant sans cesse, par son *conducteur*, dans l'électricité naturelle du réservoir commun, l'électricité de nom contraire à celle des nuages, pour la déverser par sa *pointe* sur cette dernière, afin d'en neutraliser les effets, et

doué d'un pouvoir protecteur qui s'étend horizontalement tout autour de la tige, à des distances doubles environ de la hauteur dont la pointe domine l'édifice. Aussi a-t-on quelque peine à comprendre que son usage soit encore si restreint; alors surtout qu'on sait communément aujourd'hui que, semblable à la pompe qui lance en jets rapides des torrents d'eau contre un incendie, le paratonnerre, *loin d'attirer* la foudre, projette sur elle, au contraire, le fluide chargé de l'éteindre.

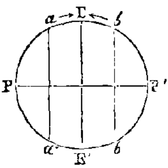
285. **Causes principales des vents. — Vents alizés ou réguliers.** — Je ne veux pas abandonner l'étude des influences calorifiques du Soleil, sans signaler encore quelques phénomènes qui méritent, à plus d'un titre, d'arrêter l'attention. Sous les Tropiques, où le sol est plus fortement échauffé que dans les autres points du Globe, l'atmosphère se trouve aussi, nécessairement, plus chaude et par conséquent plus dilatée. Elle doit donc former sur le haut une intumescence O (*fig.* 136), qui tend à se déverser des deux côtés, vers le Nord et vers le Sud, en produisant un double courant supérieur, constamment entretenu par l'ascension des couches dilatées au contact du sol. Ces couches, à leur tour, seront évidemment remplacées par des masses d'air venant du *Sud* et du *Nord* sous la pression du courant supérieur qui les surcharge; d'où résulte un mouvement permanent, une sorte de circulation continue, dont l'effet se traduit par des vents réguliers auxquels, en empruntant un vieux mot français qui existe encore dans notre patois toulousain et qui signifie uniforme (alizat), on a donné le nom de vents *alizés*.

Fig. 136.



Si la Terre était immobile, c'est, comme je viens de le dire, de l'Équateur vers le Sud et vers le Nord, dans les régions supérieures de l'atmosphère ; du Nord et du Sud, au contraire, dans les basses régions, que souffleraient les alizés. Mais le mouvement de rotation dont nous devons plus tard constater la réalité, complique le phénomène. Les couches d'air partant des latitudes élevées ou des parallèles aa' bb' (*fig.* 137) pour venir vers l'Équateur EE', ne possèdent en effet, quand elles commencent à se mouvoir dans le sens des Méridiens, qu'une vitesse (d'Occident en Orient) égale à celle des divers points de aa' et de bb', inférieure par conséquent à la vitesse des points situés sur les parallèles successifs, et de plus en plus grands, qu'elles traversent. Elles n'acquièrent donc que peu à peu, par leur frottement contre le sol qui tend à les entraîner dans son mouvement de rotation, la vitesse définitive dont elles doivent être douées en arrivant à l'Équateur ; et par suite, les habitants de la Terre, situés sur leur trajet, entre aa' et bb', les choquent, dans le sens de l'*Occident* vers l'*Orient*, avec un excès de vitesse qui, pour ces habitants, équivaut évidemment à un choc dirigé de l'Orient à l'Occident, ou à un vent soufflant de l'*Est*.

Fig. 137.



Combinez maintenant le vent d'*Est* avec les directions des courants d'air qui marchent du Nord et du Sud, vers l'Équateur, et vous aurez en définitive un vent de *Nord-Est* pour l'hémisphère boréal de la Terre, un vent de *Sud-Est* pour l'hémisphère austral. Seulement, vous devez remarquer, pour compléter l'analyse du phénomène, que le courant supérieur, qui se répand de l'Équateur vers les Pôles, produit nécessairement des effets inverses. Car ici l'excès de vitesse appartient à l'air parti de l'Équateur ; et lorsque cet air, se mêlant peu à peu aux couches atmosphériques, arrive enfin à la surface du sol, il en choque les habitants, d'un côté dans le sens de l'Occident à l'Orient, d'un autre côté dans les directions qui vont de l'Équateur vers le Nord ou vers le Sud. D'où résultent, à partir de certaines latitudes, pour l'hémisphère boréal les vents de *Sud-Ouest* qu'on y remarque, et les vents de *Nord-Est* qu'on observe également dans l'hémisphère austral.

286. — Il faut un certain temps pour que le courant supérieur soit descendu jusqu'à la surface de la Terre. Aussi les points élevés en éprouvent-ils les effets avant les lieux bas, situés sur le même parallèle que les premiers. C'est ce qui arrive, par exemple, pour le sommet et pour les hauteurs moyennes du pic de Ténériffe, où le vent du *Sud-Ouest* règne d'habitude, tandis que le même vent ne souffle qu'accidentellement au pied du pic. Mais plus loin, à Toulouse, à Paris, etc., le courant est tout à fait parvenu jusqu'au sol; et de là ces vents de *Sud-Ouest*, d'*Ouest* et de *Nord-Ouest* (1), qui s'y font si souvent sentir, mais qu'on y ressentirait bien plus souvent encore ou, plutôt, qui s'y manifesteraient sans interruption, si des causes accidentelles ne venaient fréquemment en troubler la régularité.

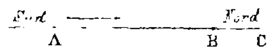
287. **Vents irréguliers.** — Que le sol d'une certaine étendue de pays vienne, en effet, à s'échauffer subitement, soit parce que les nuages qui le couvraient se seront dissipés, soit par toute autre cause, l'air en contact avec lui s'échauffe à son tour, se dilate, et s'élève pour être remplacé par des masses d'air affluant des deux côtés. De là des vents de directions différentes dans les lieux situés autour du centre d'aspiration. Pour les uns, le courant viendra du Nord; pour les

(1) Quand les contre-courants supérieurs arrivent sur le sol, ils tendent à se mélanger avec les courants inférieurs; mais ils conservent encore sur ceux-ci, généralement, selon toute apparence, un excès de vitesse d'Occident en Orient, parce que les frottements des premiers contre l'atmosphère, doivent être moins énergiques pour faire perdre l'excès de vitesse équatoriale, que ne le sont les frottements des seconds contre le sol pour augmenter les vitesses polaires. De là sans doute, ces tendances presque constantes aux vents d'*Ouest* dans les latitudes où l'action des courants équatoriaux peut se faire sentir. Seulement, la direction *Ouest* se combinant avec celles opposées, que possèdent dans le sens des Méridiens, les courants équatoriaux et les courants polaires, donnera des vents de *Sud-Ouest* ou de *Nord-Ouest*, suivant le courant dont l'influence dominera dans le mélange.

autres, il arrivera du Sud, de l'Est, de l'Ouest, etc. Ces mouvemens se combineront, en outre, avec le mouvement de rotation du Globe terrestre, et produiront de la sorte des effets assez compliqués auxquels on donne, généralement, le nom de vents irréguliers.

288. **Les vents d'aspiration se propagent en sens inverse de la direction dans laquelle ils soufflent.** — Remarquez d'ailleurs, bien qu'au premier abord un tel résultat semble paradoxal, que les vents occasionnés ainsi par aspiration, se propagent en sens inverse de la direction dans laquelle ils soufflent; je veux dire qu'un vent de Sud, par exemple, un vent qui paraît aller de A vers B (*fig.* 138), se fait sentir au Nord du point A plutôt qu'au point A lui-même. Avec un peu de réflexion vous concevrez sans peine qu'il ne saurait en être autrement, puisque le centre C d'aspiration étant alors évidemment au Nord du point A, les premières masses d'air mises en mouvement pour venir combler le vide occasionné par l'ascension de la colonne atmosphérique C dilatée, sont celles qui avoisinaient ce vide. Après quoi d'autres vides se produisent et se comblent de proche en proche, de C vers A, l'atmosphère étant encore calme au point A, quand, déjà depuis longtemps, l'agitation s'est produite en B.

Fig. 138.



Il en est autrement des vents plus rares, d'impulsion. — Les habitants de B auront donc senti le vent BC de *Sud*, avant ceux de A. Mais il en serait tout autrement avec un vent d'impulsion produit par des surcharges dans les couches atmosphériques supérieures. Seulement ce cas est sans doute plus rare; et, d'habitude, les vents un peu forts doivent être des vents d'aspiration.

289. **Vitesses des divers vents.** — Quoi qu'il en soit, la vitesse des divers vents est très-variable. On commence à percevoir un léger souffle, lorsque cette vitesse égale demi-mètre environ par seconde; 5 mètres donnent un vent assez fort; 20 mètres un vent très-fort; 25 mètres une tem-

pête; 40 à 45 mètres un ouragan qui déracine les arbres, renverse les constructions, etc.

290. **Brises de mer et de terre, ou de jour et de nuit.** — On doit remarquer d'ailleurs que les chaînes de montagnes, les forêts, les grands accidents de terrains, etc., tendent à modifier la direction et l'intensité des vents. Le voisinage des mers, par exemple, occasionne, du jour à la nuit, des effets entièrement opposés. Car, en s'échauffant, dès le matin, sous l'action solaire, plus fortement que les nappes liquides avoisinantes, le sol dilate la colonne atmosphérique dont il est recouvert, et de là ces brises *de mer* ou *du matin* qui rafraîchissent l'atmosphère pendant la journée; tandis qu'au contraire, vers le soir, quand le rayonnement a fait baisser la température des côtes, au-dessous de celle de la mer, le mouvement s'effectue en sens inverse et produit la brise de *terre*, qui succède à la première après quelques heures de calme, et qui peut, du reste, comme elle, être masquée par un vent plus fort.

291. **Moussons ou vents de saisons** — Généralisez maintenant le phénomène. Au lieu du jour et de la nuit, considérez l'hiver et l'été des deux hémisphères, c'est-à-dire, une sorte d'équivalent, pour l'ensemble du Globe, de ce que le jour et la nuit représentent pour un lieu déterminé. Vous aurez alors des vents de saisons, des *moussons* (d'après le mot arabe *saison*), soufflant pendant six mois dans un sens et pendant six mois dans le sens inverse, allant toujours de l'hémisphère qui se refroidit vers l'hémisphère qui s'échauffe, et manifestant leur action jusqu'à des distances bien autrement grandes que celles où s'étendent les brises diurnes dont l'effet est ordinairement fort restreint. L'une de ces moussons, celle de *printemps*, pour nous habitants de l'Europe, commence en avril; l'autre, la mousson d'*automne*, commence en octobre. Et, trop souvent, hélas! d'effroyables tempêtes, dues à la lutte des vents opposés, ou des calmes désespérants pour les bâtiments à voiles, rendent le changement de mousson redoutable aux navigateurs.

292. **Mirage.** — Quelquefois, au lieu de produire des vents, l'échauffement du sol fait naître un phénomène qui, pendant l'expédition française en Egypte, causa bien souvent à notre armée de cruelles déceptions, et dont l'explication fut donnée par Monge. Ce phénomène, que le Coran désigne par le mot *serab*, *mirage*, apparaît quelquefois dans nos climats, où il est pourtant beaucoup moins commun que dans les vastes plaines de l'Asie et de l'Afrique. On le remarque, par les temps calmes, quand deux couches d'air, de densités, suffisamment inégales, se trouvent en contact. Les objets sont alors réfléchis par la couche la moins dense, comme ils le seraient par un vaste miroir. Cette dernière couche, ainsi qu'il arrive fréquemment en Egypte, repose-t-elle immédiatement sur le sol fortement échauffé ? vous croirez voir les villages, les oasis, les sommets des arbres se refléter dans l'eau (*fig.* 139). La couche d'air la plus légère est-elle, au contraire, et cela se produit souvent en mer, superposée à la couche la plus dense (*fig.* 140)? votre

Fig. 139.

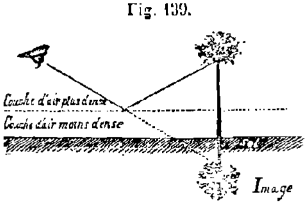
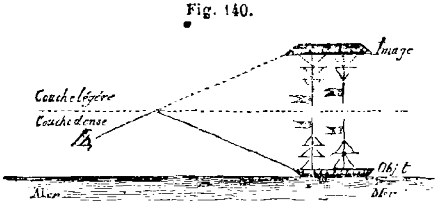


Fig. 140.

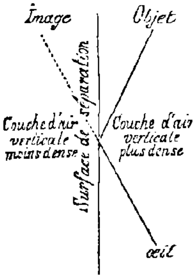


œil, placé dans celle-ci, apercevra les images renversées au-dessus des objets eux-mêmes ; enfin la surface de séparation des deux couches (*fig.* 141) est-elle verticale ? vous verrez les images droites par la réflexion qui s'opère de côté.

293. — Il est encore quelques phénomènes, tels que

les aurores boréales, les variations du magnétisme terrestre, les oscillations diurnes et mensuelles du baromètre, etc. qui paraissent avoir des relations avec la chaleur solaire. Il en est d'autres aussi, l'arc-en-ciel, les halos, les parhélies ou soleils multiples, etc., qui, bien qu'étant plus spécialement des effets lumineux, se lient néanmoins, comme les premiers, à la présence du Soleil, et qui pourraient, à ce titre, être analysés ici ; mais de trop longs développements m'entraîneraient au delà des bornes que j'ai dû me prescrire. Ils s'appliqueraient d'ailleurs à des phénomènes qui sont principalement du ressort de la météorologie. C'est donc à la science des météores que je dois laisser le soin de faire connaître des particularités dont il ne m'est pas loisible d'entreprendre l'étude ; me hâtant d'arriver enfin à dire ce que nous savons de la constitution physique du Soleil.

Fig. 141.



DOUZIÈME LEÇON.

Constitution physique du Soleil. — *Notions préliminaires.* — Double réfraction. — Lumière naturelle et lumière polarisée. — Plan de polarisation. — Polarisation colorée. — Mélanges de lumière polarisée et de lumière naturelle. — Polariscope et polarimètre. — *Surface du Soleil.* — Lucules, facules et taches solaires. — La marche toujours identique des taches prouve qu'elles adhèrent à la surface lumineuse. — Durée de la rotation du Soleil. — Dimensions des taches ; apparences qu'elles présentent. — *Théorie d'Herschell.* — *Expériences confirmatives de M. Arago.* — Propriétés caractéristiques de la lumière émise par les substances incandescentes à l'état solide, liquide ou gazeux. — Historique de la découverte des taches solaires. — Explication des lucules et des facules, par M. Arago. — *Atmosphère superposée à la surface lumineuse.* — Expériences du P. Secchi sur les effets calorifiques des divers points de la photosphère. — *Lumière zodiacale.* — *Le Soleil est-il habitable?* — Expériences de M. Boutigny sur les corps caléfiés. — Note sur *la théorie des parallaxes.* — Parallaxes de hauteur, d'angle horaire, de longitude et de latitude. — Déterminations expérimentales ; par les parallaxes de hauteur, par celles d'ascension droite et de distance polaire. — Parallaxes du Soleil et des Planètes déduites de celles de Mars ou de Vénus. — Parallaxe de la Lune. — *Parallaxes annuelles ;* formules qui représentent leurs effets en *ascension droite*, en *déclinaison*, en *longitude* et en *latitude.* — Application de ces formules au choix de la marche à suivre dans l'observation.

294. **Notions préliminaires.** — On pensait encore, généralement, vers le commencement du XIX[e] siècle (1), que le Soleil est une masse solide ou liquide incandescente, lorsque M. Arago eut l'idée d'appliquer les phénomènes de la *polari-*

(1) Herschell et quelques autres Astronomes avaient déjà cependant émis, à cette époque, les vues auxquelles on se rallie assez unanimement aujourd'hui.

sation colorée qu'il venait de découvrir, à l'étude de la constitution physique des corps célestes. Après avoir examiné les propriétés de la lumière envoyée par des sources de diverses natures, l'éminent Physicien reconnut, à l'aide de son polariscope, que les solides et les liquides incandescents émettent, sous les incidences obliques, des rayons *polarisés*, tandis que les flammes gazeuses, au contraire, n'émettent jamais que de la lumière *naturelle;* et comme le Soleil, considéré soit vers son centre, soit vers ses bords, donne toujours de la lumière *ordinaire*, il semble permis de conclure, en généralisant les résultats fournis par un certain nombre de solides, de liquides et de gaz, que la lumière du Soleil provient de la combustion d'un gaz et nullement de l'incandescence d'un solide ou d'un liquide.

Voilà, dans toute sa simplicité, le résumé succinct de nos connaissances actuelles sur le sujet qui nous occupe. Diverses particularités méritent, néanmoins, d'arrêter notre attention. Mais avant, pour bien comprendre l'expérience capitale citée plus haut, établissons quelques-uns des caractères qui différencient la lumière *ordinaire* ou *naturelle* de la lumière *polarisée*.

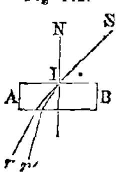
295. **Double réfraction.** — L'on savait depuis longtemps qu'en passant, *sous des incidences obliques*, d'un milieu dans un autre (les deux milieux étant homogènes), la lumière se réfracte; qu'elle éprouve ces déviations dont nous nous sommes déjà si longuement occupés quand nous avons étudié les lunettes, et dont la loi mathématique (1), cherchée vainement pendant plusieurs siècles, fut enfin découverte une première fois, vers 1620, par le hollandais Snellius, puis une seconde fois, par Descartes qui la fit connaître après l'avoir reçue peut-être de Snellius, et lui donna son nom. Mais là se bornait à peu près toute la *dioptrique*, lorsque en 1670, trente ans environ après la publication du Traité de Descartes, où la loi de réfraction était exposée, Erasme

(1) Cette loi consiste dans le rapport constant du sinus d'incidence au sinus de réfraction.

Bartholin, professeur de mathématiques et de médecine à Copenhague, annonçait que si, au lieu de tomber sur du verre ou sur toute autre substance transparente non cristallisée, la lumière tombe sur un cristal naturel de *spath d'Islande*, le rayon réfracté *n'est* plus simple, et que ce rayon se partage en *deux faisceaux également intenses*.

296. Bientôt, obtenant, à son tour, la loi de la *double réfraction* dans le spath d'Islande, Huyghens découvrait que chacun des deux rayons *également intenses* qui sortent d'un premier cristal, donne, en traversant un second cristal, deux nouveaux rayons; mais, cette fois, des rayons d'intensités *généralement très-dissemblables*. Je dis *généralement*, parce qu'il existe quelques positions particulières du second cristal, auxquelles correspond un partage égal, tout comme si ce cristal était le premier qu'eût rencontré la lumière. L'égalité des deux faisceaux réfractés n'est ici, toutefois, qu'une exception, tandis qu'elle a toujours lieu dans le cas d'un cristal unique. Et, chose plus singulière encore! les intensités des deux rayons inégaux varient en sens inverse l'une de l'autre, leur somme restant constante, à mesure que l'observateur change l'orientation du cristal sans changer son inclinaison sur le rayon incident; de telle sorte qu'en imprimant au cristal AB (*fig.* 142) des mouvements azimutaux convenables autour de la normale IN à la face d'incidence, c'est-à-dire en coupant par ses différents côtés le rayon incident SI (l'un des deux rayons égaux sortis du premier cristal), on peut parvenir, non-seulement à égaliser, dans certaines positions du second cristal AB, les deux faisceaux émergents Ir Ir' ainsi que nous l'avons déjà vu, mais encore, dans d'autres positions, à faire disparaître entièrement l'un des deux faisceaux.

Fig. 142.

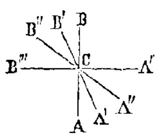


297. **Lumière naturelle et lumière polarisée.** — Quoi de plus curieux que ces bizarres phénomènes qui décèlent des côtés de nature différents sur le contour des rayons lumineux réfractés dans un premier cristal de spath d'Islande,

et pour lesquels, 150 ans plus tard, Malus qui parvint à les faire naître également en remplaçant le passage dans le premier cristal, par la simple *réflexion* sous des incidences convenables, imagina l'expression, si pittoresquement exacte, de *polarisation* de la lumière? Dire qu'un rayon est *polarisé*, c'est donc dire tout simplement que ce rayon est l'un des deux rayons *égaux* qui sortent d'un premier cristal de spath d'Islande, ou bien encore, un rayon qui, réfléchi par le verre sous l'incidence 35 degrés 25 minutes; par l'obsidienne sous celle de 33 degrés 57 minutes, etc., a pris, comme chacun de ceux fournis par le cristal, la propriété de se diviser en deux *rayons inégaux* dans le passage à travers un nouveau cristal de spath. La lumière *naturelle* est celle, au contraire, qui donne toujours deux faisceaux d'égale intensité.

298. **Plan de polarisation.** — Ce n'est pas là, du reste, le seul caractère distinctif entre la lumière *naturelle* et la lumière *polarisée*. Tandis que la première, par exemple, se réfléchit toujours en même proportion, vers le haut, vers le bas, vers l'horizon, etc., tant qu'elle conserve son inclinaison sur la surface réfléchissante, la fraction réfléchie de la seconde varie, l'inclinaison restant invariable, avec le sens ou l'azimut dans lequel on la dirige. Mais de trop longs détails seraient, ici, tout à fait superflus. Ceux qui précèdent paraissent très-suffisants pour faire apprécier la différence des deux espèces de lumière. J'ajouterai seulement qu'on appelle *plan de polarisation* le plan suivant lequel doit être orientée une certaine section AB (*fig.* 143) faite dans le cristal et nommée *section principale*, pour que le rayon polarisé, tombant en C, traverse normalement le cristal sans se bifurquer. Quand, à partir de AB, la section principale viendra prendre successivement les azimuts A'B', A''B' etc., l'on verra le rayon s'affaiblir graduellement, et, de la lumière perdue, naître un second rayon qui, d'abord très-pâle, grandira peu à peu jusqu'au moment où la section principale aura pris la position A'''B''' perpendiculaire à la première position AB.

Fig. 143.

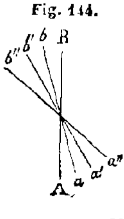


Alors le rayon primitif aura complétement disparu pour céder tout son éclat au rayon *extraordinaire*. Mais bientôt celui-ci, s'affaiblissant à son tour, laissera le premier reparaître, puis grandir et reprendre entièrement sa vivacité, lorsqu'en continuant son mouvement azimutal, la section principale se sera placée de nouveau dans le plan BA. Les phénomènes se reproduiront d'ailleurs symétriquement, chacun l'a, sans doute, pressenti d'avance, pendant que la section principale parcourra les deux autres cadrans BCB‴, B‴CA pour venir reprendre enfin la position qu'elle avait au départ.

299. — Ceci bien compris, recevez le rayon polarisé sur une lame, convenablemen taillée, de quartz ou de cristal de roche. Par une singulière propriété qu'on a retrouvée plus tard dans plusieurs liquides, dans les dissolutions sucrées, dans la térébenthine, etc., le cristal va modifier profondément la constitution intime du faisceau lumineux. Il lui fera subir une sorte de torsion sans altérer sa blancheur ; et désormais, les sept couleurs élémentaires, toujours confondues, se trouveront néanmoins polarisées dans des plans différents auxquels le rayon émergent servira d'intersection commune.

Si vous coupez maintenant ce rayon blanc ainsi préparé par un nouveau cristal de spath d'Islande, chacune des sept couleurs polarisées vous donnera deux rayons d'intensités différentes ; et vous aurez, d'un côté, sept rayons *ordinaires* qui se confondront dans une direction unique, sept autres rayons qui se confondront d'un autre côté pour former le rayon

Fig. 144.



extraordinaire. Mais ici, la section principale AB (*fig.* 144) du cristal, ne fera plus un même angle azimutal avec les divers plans *ab* *a′b′* *a″b″*, etc., dans lesquels sont polarisées les couleurs élémentaires. D'après un des principes déjà cités (298), les quantités de lumière qui formeront le rayon ordinaire et le rayon extraordinaire présenteront donc, pour ces diverses couleurs, des rapports différents ; et, dans chacun des rayons émergents du cristal de spath d'Islande, les sept couleurs élémentaires, confondues toujours en direction, ne se trouveront plus en proportions convenables pour donner du blanc.

Polarisation colorée. — Tantôt le rouge, l'orangé, le jaune, seront en excès dans l'un des rayons; le vert, le bleu, l'indigo, le violet dans l'autre. L'ensemble des premières teintes donnera définitivement un rayon rouge, et l'ensemble des secondes un rayon vert. Tantôt c'est l'orangé, le jaune et le vert qui domineront dans celui-ci, tandis que celui-là contiendra des excès de bleu, d'indigo, de violet et de rouge; les deux rayons émergents seront alors, l'un jaune, l'autre violet. Une nouvelle orientation de la section principale du spath d'Islande fournira bientôt, pour chacune des deux émergences, de nouveaux partages, encore inégaux entre eux, et différents aussi des partages qui viennent d'avoir lieu comme des partages qui vont suivre; et pour chacune également des positions du cristal, vous verrez successivement apparaître deux couleurs des plus dissemblables. Mais il ne se sera rien perdu dans la somme totale de lumière tombée sur le spath d'Islande; car les deux couleurs émergentes pourraient toujours se compléter l'une l'autre, et former du *blanc* par leur réunion.

300. **Mélanges de lumière polarisée et de lumière naturelle.** — Huyghens et Malus, pour reconnaître les mélanges de lumière polarisée et de lumière naturelle, n'avaient d'autres indices que les différences d'intensité, souvent très-faibles, qui se manifestent après le passage dans le cristal analyseur de spath d'Islande. Nous pouvons aujourd'hui, presque avec certitude, grâces à la polarisation colorée, découvrir, dans un faisceau lumineux, les plus légères traces de lumière polarisée. Car il suffit de recevoir ce faisceau sur une simple lame de quartz, et de lui présenter ensuite un cristal de spath d'Islande, pour voir naître immédiatement, avec des teintes complémentaires plus ou moins intenses, suivant les proportions de chacune des deux lumières (naturelle et polarisée) du mélange, des phénomènes de coloration, généralement bien mieux reconnaissables que des différences d'intensité entre deux rayons de même couleur.

Polariscope et polarimètre. — La brillante découverte qu'il venait de faire, conduisit donc M. Arago, d'une manière toute naturelle, à l'invention du *polariscope*. C'est ainsi qu'il nomma l'instrument formé d'une lame de quartz et d'un cristal de spath d'Islande. Et, puisque l'occasion m'en est offerte, je suis heureux de pouvoir ajouter que, par d'ingénieuses combinaisons de surfaces réfléchissantes, M. Arago ne tarda pas à transformer son *polariscope* en *polarimètre*, c'est-à-dire en instrument propre, non-seulement à signaler, dans un faisceau lumineux, des traces de lumière polarisée, mais encore à *mesurer* toutes les proportions de cette lumière qui peuvent faire partie du mélange.

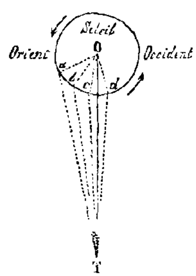
301. — **Lucules et facules, taches de la surface solaire.** — Revenons maintenant au Soleil. Quand on examine la surface de cet Astre avec des lunettes suffisamment grossissantes, on la voit souvent parsemée de rides brillantes, auxquelles on a donné le nom de *lucules* (*lucere*, briller), et dont on peut avoir l'idée par la surface rugueuse d'une peau d'orange. L'on voit aussi quelquefois certains espaces assez étendus qui se distinguent des parties avoisinantes par la vivacité de leur éclat. Ces espèces de taches *lumineuses* sont, à leur tour, appelées *facules* (*facula*, flambeau). L'on applique, enfin, la dénomination de taches proprement dites à des portions obscures qui forment, en effet, des souillures véritables sur le disque lumineux.

302. **La marche toujours identique des taches sur le Soleil prouve qu'elles adhèrent à la surface de cet astre.** — Suivez, jour par jour, le mouvement d'une tache. Vous la verrez d'abord se montrer au bord oriental du Soleil, s'avancer vers le centre avec une vitesse graduellement croissante, ralentir ensuite son mouvement, et s'en aller disparaître, après 14 jours environ, sur le bord occidental. Toutes les taches donnent un résultat sensiblement identique. Il paraît donc impossible de supposer, comme on l'a fait quelquefois, qu'elles soient produites par des corps non lumineux qui circuleraient dans le Ciel, et qui viendraient, à certaines époques, s'interposer entre le Soleil et nous. Car,

quelque irrégulier que pût être le mouvement de ce corps, évidemment sur un espace aussi restreint que le disque solaire, les inégalités ne pourraient produire, symétriquement et sans la moindre exception, des mouvements toujours accélérés du premier bord vers le centre, et toujours retardés du centre vers le second bord.

Si d'ailleurs, en supposant le Soleil sphérique et les taches adhérentes à sa surface, vous rapportez au centre O du Soleil (*fig.* 145), la marche de l'une quelconque d'entre elles, c'est-à-dire, si vous transformez les déplacements angulaires diurnes aTb, bTc, cTd, etc., vus de la Terre T, en déplacements aOb, bOc, cOd, etc, qui seraient vus du point O, vous trouvez que des longueurs ab, bc, cd, etc., rigoureusement égales, doivent apparaître aux habitants de la Terre, précisément sous les angles, petits vers les bords, grands vers le centre, que donne l'observation, parce que, dans le premier cas, l'arc ab se présente très-oblique aux rayons visuels aT, bT, tandis que, dans le second cas, au contraire, les rayons visuels cT, dT, sont à peu près perpendiculaires à l'arc dc.

Fig. 145.

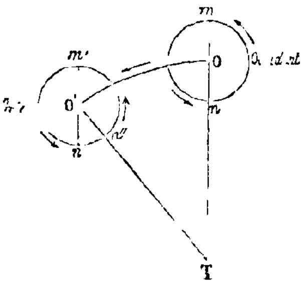


Je pourrais multiplier les preuves, mais j'en ai dit assez, ce me semble, pour avoir le droit de conclure que les taches adhèrent au Soleil et tournent avec lui; que leur mouvement est uniforme, puisque les arcs ab, bc, cd, etc., parcourus chaque jour, sont égaux; enfin qu'à la marche d'*Orient* en *Occident* pour l'hémisphère antérieur, correspond une marche inverse (d'Occident en Orient) pour l'hémisphère qui *nous* est caché.

303. **Durée de la rotation du Soleil.** — Partie du centre, la tache n (*fig.* 146) repasse au centre, en n'' après un intervalle de vingt-sept jours et demi environ. Mais cet intervalle de temps est évidemment supérieur à la durée d'une révolution entière du Soleil. Car la révolution sera terminée lorsque le diamètre mn aura pris, après avoir tourné autour

du point o, la position $m'n'$ parallèle à mn; tandis que pour se retrouver au centre, en n'', la tache devra parcourir une circonférence augmentée de l'arc $n'n''$ qui peut servir de mesure à l'angle $n'O'n''$ égal lui-même par symétrie (les deux lignes mnT, $m'n'$ étant parallèles), au déplacement angulaire OTO' du Soleil en vingt-sept jours et demi, ou à 27 degrés environ. Une simple règle de proportion (1) suffira donc pour donner la durée de la rotation, que l'on trouve, tout calcul fait, être sensiblement égale à vingt-cinq jours et demi.

Fig. 116.



M. Laugier, un des Astronomes qui se sont occupés le plus récemment de la rotation du Soleil, a donné 25^j,34 comme résultat moyen de ses observations, avec des divergences comprises entre 24^j,28 et 26^j,23. Il a obtenu également 7 degrés 9 minutes 12 secondes pour l'inclinaison de l'Équateur solaire sur le plan de l'Écliptique, ou, si l'on aime mieux, pour l'angle formé par la perpendiculaire à ce dernier plan avec l'axe de rotation du Soleil. Il a trouvé encore 75 degrés 8 minutes pour l'angle compris entre la ligne des Équinoxes et l'intersection de l'Équateur solaire avec l'Écliptique. Il a été conduit, enfin, à penser que les taches ont des mouvements propres sur la surface lumineuse, et que, généralement, dans chacun des hémisphères *Nord* et *Sud*, elles semblent toutes obéir, simultanément, à des impulsions communes, mais indépendantes, et même quelquefois opposées d'un hémisphère à l'autre.

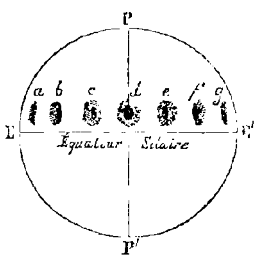
304. **Dimensions des taches solaires.** — J'ajoute que

(1) $360^o + n'n'' = 387^o : 360 :: 27$ j., 5 correspondent à 387^o : x correspondant à 360 degrés ou à la rotation du Soleil; d'où l'on tire $x = \frac{360 \times 27,5}{387.} = 25$ jours, 58.

certaines taches ont des dimensions transversales de plusieurs (vingt-cinq à trente) millions de lieues; que d'autres sont, au contraire, à peine appréciables; que souvent elles se forment sous l'œil de l'observateur, et que, souvent aussi, envahies de tous côtés par la lumière qui les environne, elles se déchirent, se fractionnent et s'effacent en quelques instants, comme feraient des prairies desséchées où se propageraient rapidement les flammes d'un vaste incendie. J'ajoute encore que, d'ordinaire, à l'inverse des facules et des lucules qui se montrent partout (1), les taches restent situées dans les régions équatoriales du Soleil, et ne dépassent guère les déclinaisons australes ou boréales de 30 degrés; qu'on en a vu néanmoins, mais très-exceptionnellement, jusqu'à 40 degrés de déclinaison boréale; qu'elles persistent souvent pendant un ou deux mois; que divers Astronomes ont constaté la formation de quelques-unes d'entre elles aux mêmes points de la surface lumineuse où d'autres taches avaient, précédemment, été signalées; qu'on a cru reconnaître enfin une certaine périodicité, bien problématique il est vrai, jusqu'à présent, je dois le dire, dans leurs apparitions successives.

305. **Apparences que présentent les taches.** — En général, lorsqu'elles se montrent vers le bord oriental du disque, elles présentent une teinte grisâtre indiquée par *a* (*fig.* 147). Mais bientôt, quand elles se sont suffisamment avancées, quand elles arrivent en *b*, par exemple, on voit naître dans l'intérieur de cette espèce de pénombre, ou plutôt, d'après la remarque faite par Wiston, le premier, en 1769, tout près de la portion du contour de la tache, qui regarde le centre du Soleil, une teinte beaucoup plus foncée, presque

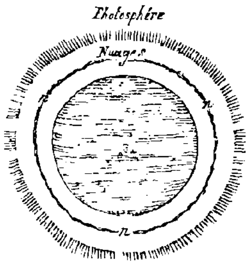
Fig. 147.



(1) Surtout près du contour, au voisinage des bords, où les lucules sont habituellement beaucoup plus intenses.

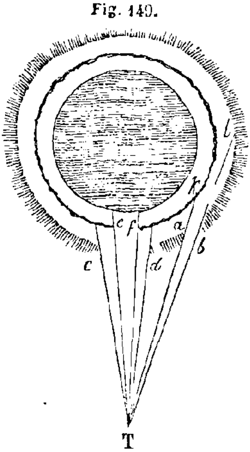
noire, qui grandit peu à peu, jusqu'au moment où la tache devient centrale, et diminue ensuite pour aller disparaître après avoir *symétriquement* présenté de d en g les mêmes apparences e, f, etc., qu'elle avait successivement prises en grandissant.

Fig. 148.



306. **Théorie d'Herschell.** — Afin de nous expliquer ces phénomènes, concevons avec W. Herschell, auquel nous devons d'avoir complété de la manière la plus heureuse, les aperçus un peu vagues de Wilson, de Bode, de Michell, de Schrœter, etc., que le Soleil soit un corps obscur O (*fig.* 148), entouré d'une haute atmosphère dans laquelle flotteraient d'épais nuages n, n, n, et qui serait enflammée seulement à sa partie supérieure appelée *Photosphère* (*photos* lumière, sphère lumineuse) (1). Supposons encore que, par une cause quelconque, par une éruption volcanique, si l'on veut, la photosphère vienne à s'éteindre en quelque point, et la couche intérieure de nuages à se déchirer, nous pourrons, à travers la trouée qui se sera ainsi produite, apercevoir l'intérieur de la photosphère. Or, quand la trouée sera près du bord, en ab (*fig.* 149), c'est sur la couche k de nuages ou sur la surface l de la photosphère que se projettera notre vue. De là, cette teinte grise qui forme d'abord la tache; car la lumière,

Fig. 149.



(1) De nombreuses observations faites à Toulouse, en 1864, donneraient environ 1700 lieues de hauteur à cette atmosphère.

partie de *l* sera grandement affaiblie par la portion *lb* de l'atmosphère ; mais dès que l'ouverture aura commencé à mordre sur le corps opaque du Soleil, nous verrons celui-ci trancher, en noir, dans la pénombre, et donner successivement aux taches les apparences signalées plus haut ; la pénombre pouvant d'ailleurs persister ou disparaître, suivant que l'ouverture *cd* de la photosphère sera plus grande ou plus petite que l'ouverture *ef* de la couche nuageuse, c'est-à-dire suivant qu'on pourra voir cette couche border en gris la tache noire due au noyau, ou qu'on ne verra que la surface du noyau toute seule.

307. **Expériences confirmatives de M. Arago. — Propriétés caractéristiques de la lumière émise par les substances incandescentes à l'état solide, liquide ou gazeux.** — Notre hypothèse satisfait donc à l'explication des phénomènes que présentent les taches. Grâces à sa brillante découverte de la polarisation colorée, M. Arago put, il y a plus de trente ans, donner, je l'ai déjà dit, (n° 294), à cette hypothèse, un cachet presque absolu d'évidence. Dès qu'il eut, en effet, imaginé son polariscope, s'empressant d'étudier, avec cet instrument, les diverses lumières produites artificiellement dans l'industrie, il reconnut que les corps solides, les corps liquides et les corps gazeux incandescents n'émettent pas de lumière polarisée perpendiculairement à leurs surfaces, puisque, examinés, perpendiculairement, à travers l'assemblage de cristal de roche et de spath d'Islande, ils donnent toujours deux images blanches. Mais des phénomènes très-marqués de coloration montrèrent que les solides et les liquides projettent, dans *le sens oblique*, des proportions de lumière polarisée, de plus en plus considérables à mesure que l'angle d'émergence augmente ; tandis que les gaz, au contraire, n'émettent jamais, quelle que soit l'inclinaison sous laquelle on les considère, que de la lumière naturelle.

Est-il besoin d'insister longuement sur les conséquences d'un pareil résultat ? On devine aisément que, dirigé successivement vers le centre du Soleil, ou *perpendiculairement* à la surface lumineuse, et vers le bord, c'est-à-dire, *obli-*

quement à la même surface, le polariscope donnera toujours deux images blanches; caractère distinctif des flammes gazeuses (de toutes celles du moins qu'il a été possible d'étudier ici-bas), et que nous avons le droit de généraliser, ce me semble, avec M. Arago, jusqu'à preuve contraire (1).

(1) Deux éminents physiciens, professeurs à Heidelberg, MM. Kirchhoff et Bunsen ont, depuis quelques années, effectué de curieuses recherches qui conduisent M. Kirchhoff à d'autres conclusions. D'après ce dernier, le noyau du soleil serait lui-même incandescent et plus brillant que son atmosphère, parce que le spectre ou l'image irisée, formée par le passage des rayons solaires à travers des prismes, présente les raies noires aperçues en 1802 par Wollaston, et étudiées plus tard par Fraunhofer, aux endroits où devraient être des raies brillantes déterminées par les métaux vaporisés dans la flamme. Les raies noires s'expliqueraient alors par le pouvoir *absorbant* de ces métaux qui jouissent, M. Kirchhoff l'a démontré, de la propriété d'arrêter sur la lumière d'une source plus intense que celle où ils brûlent, précisément les variétés de rayons qu'ils émettent eux-mêmes quand ils sont incandescents; qui font naître, par conséquent, dans le spectre de la source plus lumineuse, des raies obscures aux points où ils auraient produit, sur le spectre de flamme moins brillante, des redoublements d'intensité; qui donnent, en un mot, par le rapprochement des deux flammes, un spectre *inverse* ou *renversé*, comme disent les physiciens.

Malgré mon admiration sincère pour les découvertes qui ouvrent à l'analyse chimique, entre autres, un champ inespéré, j'avoue que j'ai quelque peine à me ranger à l'opinion du savant physicien d'Heidelberg, dont la théorie ne se préoccupe pas suffisamment, ce me semble, des taches, des pénombres, des facules et des lucules, enfin, de l'absence de polarisation. Les éclipses totales de Soleil laissent voir, autour de la photosphère, une seconde enveloppe aériforme, lumineuse aussi, mais à un moindre degré, que révèlent d'ailleurs également les expériences photométriques sur l'éclat du centre et des bords du Soleil. En plaçant, avec M. Kirchhoff, précisément dans cette seconde atmosphère, les vapeurs métalliques dont l'action donnerait naissance au spectre inverse de la photosphère, pourquoi, dès lors, ne pas admettre que celle-ci jouisse soit de propriétés électriques, soit d'une température dont rien sur la terre ne peut donner l'idée, ou contienne en suspension certaines poussières, de manière à se trouver au même temps exempte de polarisation, et à produire, quoique gazeuse, un spectre continu; et si l'on se refusait à cette concession, pourtant bien naturelle, pourquoi, plutôt que de rejeter une théorie dans laquelle tous les détails de l'observation trouvent des explications satis-

308. Du reste, analysée de la même manière, la lumière des Étoiles vint bientôt présenter, à notre illustre compatriote, une frappante analogie avec la lumière du Soleil, et fournir, par l'absence complète de polarisation, de nouvelles probabilités, je devrais dire de nouvelles preuves en faveur de cette ressemblance du Soleil et des Étoiles, que la détermination de quelques parallaxes stellaires nous a déjà permis de regarder comme démontrée (1).

Voilà certes d'ingénieuses révélations sur le firmament, dues à des méthodes d'investigation plus ingénieuses encore. Pourrait-on s'étonner après cela que, par un de ces justes hasards dans lesquels se révèle parfois avec tant d'éclat l'invisible main de la Providence, la polarisation colorée soit venue, pendant les phases successives de l'inexorable mal (2) qui devait ravir M. Arago à la science, fournir à la Médecine impuissante les principales indications sur lesquelles un traitement et des soulagements momentanés dussent être assis?

309. **Historique de la découverte des taches solaires. — Jean et David Fabricius — Le P. Scheiner. — Galilée. —** Il paraît que, même à l'œil nu, les anciens avaient quelque-

faisantes, ne pas supposer, avec divers physiciens, que, comme certains gaz colorés, l'atmosphère terrestre, légèrement colorée elle-même, éteindrait ceux des rayons dont l'absence produit les raies noires du spectre?

Quant à la prétendue complication de la théorie d'Herschell, la réalité de cette théorie ne serait-elle pas plutôt une manifestation nouvelle de simplicité dans la constitution de l'Univers? Au lieu d'un corps incandescent destiné fatalement à se refroidir et à s'éteindre, on pourrait, en effet, concevoir alors une révivification incessante des produits de la combustion par des êtres organisés qui résideraient à la surface du noyau solaire, et maintiendraient l'équilibre, ainsi que le font ici-bas, pour notre atmosphère, les plantes et les animaux.

(1) Il existe cependant quelques dissemblances entre la lumière du Soleil et celle de certaines Étoiles. Les raies noires des spectres occupent des places différentes, suivant que les spectres proviennent du Soleil ou de Sirius, de Pollux, etc. Cela peut tenir aux substances diverses qui seraient vaporisées dans les atmosphères extérieures.

(2) *Le diabete.*

fois aperçu les taches du Soleil ; mais l'existence de ces taches ne fut constatée avec certitude que vers la fin de 1610 ou le commencement de 1611. — A en juger par les publications imprimées, un certain Jean Fabricius, de Wittemberg, les aurait vues le premier, dès cette époque, avec des lunettes, pendant que les vapeurs de l'horizon affaiblissaient l'éclat du soleil levant ; car alors on n'avait pas encore eu l'idée d'appliquer les verres colorés aux instruments d'optique. Il les fit remarquer à son père David Fabricius ; et tous deux, après trois jours de mauvais temps passés dans la plus fiévreuse impatience, imaginèrent de recevoir, à travers une petite ouverture, l'image du Soleil sur un carton blanc, où les taches se montrèrent déplacées vers l'Occident. C'est ainsi qu'ils reconnurent, du même coup, et la réalité des taches solaires, et le mouvement de rotation du Soleil, soupçonné déjà par Képler, mais annoncé comme certain, quelques années auparavant, par le Napolitain Jordan Bruno.

Le P. Scheiner, professeur de Mathématiques à Ingolstadt, revendiqua, de son côté, la découverte des taches solaires, qu'il regardait comme produites par des corps errant dans l'espace. Il écrivit sur cet objet, en prenant le pseudonyme d'Apelle, dans les mois d'octobre, de novembre et de décembre 1611, à Velser, magistrat d'Augsbourg ; et celui-ci publia, le 5 janvier 1612, les trois lettres qui devaient rendre publique la découverte de Scheiner. Mais quand parurent les lettres d'Apelle à Velser, Galilée, à son tour, avait déjà, depuis le mois d'avril 1611, aperçu les taches solaires. De là des incertitudes et de vives discussions sur le véritable auteur de la découverte, qui fut loin, au reste, d'être généralement admise dès l'abord, et contre laquelle un auteur contemporain entre autres s'élevait, par cette raison assez singulière, mais très-sérieusement donnée, « *que l'œil de la nature ne pouvait pas évidemment avoir des ophthalmies.* »

310. **Explication des lucules et des facules, par M. Arago.** — Quoi qu'il en soit, la première publication sur les taches solaires ayant été faite, par Fabricius, dans le mois de juin 1611, c'est évidemment à ce dernier que la découverte doit

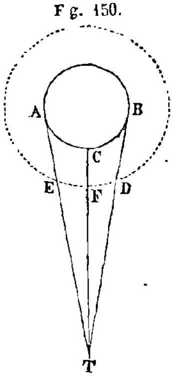
être attribuée. Quant aux facules et aux lucules, il est certain qu'elles furent remarquées, les premières par Galilée, les secondes par Scheiner. Plus tard, M. Arago donna l'explication des unes et des autres, après avoir reconnu qu'à l'inverse des solides et des liquides incandescents, une large flamme, éclairant de face ou de côté, jette, dans l'un comme dans l'autre cas, la même quantité de lumière. Cette propriété résulte du peu de densité des gaz en ignition, et, par suite aussi, de la transparence des flammes pour les rayons émanés de leur intérieur. Elle entraîne, comme conséquence immédiate, l'augmentation d'éclat en chaque point d'une flamme, à mesure que le nombre de points paraît diminuer, c'est-à-dire, à mesure que la surface lumineuse est vue plus obliquement; car alors chaque rayon lumineux est formé par un assemblage de rayons émanés des diverses molécules situées en ligne droite dans la profondeur de la flamme. Elle permet donc aussi de conclure que des ondulations ou des rides, produites dans le gaz enflammé de la photosphère du Soleil, comme il s'en produit sans cesse sous l'action des vents dans l'atmosphère terrestre, nous offriront les diverses apparences dont les facules et les lucules sont accompagnées (1).

311. **Atmosphère superposée à la surface lumineuse du Soleil.** — Seulement, les considérations qui rendent compte de ces derniers phénomènes, montrent en même temps que la surface du Soleil, vue sous des incidences de plus en plus obliques, devrait aussi paraître de plus en plus lumineuse à mesure qu'on l'examine plus près du bord. Il n'en est rien cependant. Des expériences nombreuses entreprises d'abord par Bouguer et continuées ensuite par divers Astronomes, par William et par sir Jonh Herschell, par M. Arago, par M. Chacornac, etc., ne laissent pas le moindre doute à cet égard. Toutes s'accordent à donner un excès de pouvoir

(1) On conçoit aisément, d'après cette théorie, que les lucules et les facules soient généralement plus intenses vers les bords du Soleil où les obliquités des ondes atmosphériques sont évidemment plus marquées.

éclairant au centre, depuis celles de Bouguer qui portent l'excès à *plus d'un tiers*, jusqu'à celles de M. Arago qui le trouvent à peine appréciable, mais lui attribuent néanmoins la valeur *d'un quarantième*. A quoi peut donc tenir un résultat en apparence aussi anormal ? — Pour l'expliquer, Bouguer admit, autour du disque lumineux, l'existence d'une atmosphère qui, traversée par les rayons émanés des bords A, B, de la photosphère (*fig.* 150), sous des épaisseurs AE, BD, plus grandes que l'épaisseur CF correspondant aux rayons partis du centre, affaiblirait aussi, plus fortement, les premiers ; et je me hâte de dire que les Eclipses totales du Soleil dont les Astronomes ont pu, depuis vingt ans, admirer plusieurs fois l'imposant spectacle, sont venues donner à l'hypothèse de Bouguer un puissant cachet de probabilité.

Fig. 150.



Pendant l'obscurité complète occasionnée par ces Éclipses, l'on voit, en effet, autour du disque lunaire, une auréole lumineuse qui commence à se montrer plusieurs minutes (10 ou 15 au moins) avant la disparition entière du Soleil, et dans laquelle apparaissent, entièrement séparés quelquefois de la Lune, des pics ou plutôt des espèces de flammes d'un rose vif, que de très-habiles Astronomes ont regardées comme des jeux de lumière, que d'autres, au contraire (et j'avoue qu'après avoir vu deux Éclipses totales, je me suis rangé parmi ces derniers), ont cru devoir considérer comme d'immenses nuages appartenant à l'atmosphère extérieure, dont l'auréole semble accuser l'existence. Nous discuterons plus tard les diverses particularités du phénomène. Mais, dès à présent, il nous est permis d'admettre, si je ne me trompe, d'après l'ensemble des considérations précédentes, que la photosphère est entourée d'une enveloppe gazeuze, dont la hauteur ne saurait être d'ailleurs inférieure à 80 mille lieues, et s'étendrait même jusqu'à deux millions de kilomètres environ, si l'on attribuait à l'atmosphère toute l'étendue de l'auréole qui paraît, généralement, divisée en plusieurs couches assez distinctes.

312. **Expériences du P. Secchi sur les effets calorifiques des divers points de la photosphère.** — Les expériences du P. Secchi sur les températures des divers points du disque solaire, sont venues à leur tour, confirmer les vues précédentes. Car l'habile Directeur de l'Observatoire du Collége romain a reconnu que les parties les moins brillantes du disque sont celles aussi, précisément, dont nous recevons le moins de chaleur; que la température des bords, par exemple, est inférieure à celle du centre, la température des taches à celle des autres parties du Soleil; enfin, par une relation encore mystérieuse, mais néanmoins fort probable, entre l'atmosphère extérieure et la vitesse de rotation, que la température des régions équatoriales de l'Astre radieux est supérieure à celle des régions polaires du même Astre.

313. **Phénomènes attribués aux taches solaires.** — On a cru remarquer des rapports entre les phénomènes du magnétisme terrestre et les taches du Soleil. On a pensé que la vive lumière de cet Astre était, comme celle de nos aurores boréales, produite par l'électricité. L'on a cru trouver également, dans les taches solaires, la cause des années d'abondance et de stérilité, l'explication des Étoiles périodiques, etc. Mais ces dernières questions nous entraîneraient beaucoup trop loin, sans grande utilité.

Lumière zodiacale. — J'arrive donc à l'étude d'une dernière particularité; je veux parler de ce long fuseau de lumière, analogue par la nature de son éclat, sinon par sa forme, à la queue d'une Comète, que chacun a pu remarquer en l'absence de la Lune et du crépuscule, vers l'Équinoxe de printemps, le soir, deux heures environ après le coucher du Soleil, ou le matin avant l'aurore vers l'Équinoxe d'automne, et qui, par allusion à la zone céleste dans laquelle il reste toujours compris, porte le nom de *lumière zodiacale*. Découvert par Cassini dans le mois de mars 1683, d'autres disent par Childrey, en 1659, ou même connu de toute antiquité, mais étudié seulement depuis deux siècles, il fut d'abord regardé comme l'atmosphère du Soleil, très-étendue (40 ou 50 millions de lieues) dans le sens de l'Équateur solaire sous l'action de la force centrifuge provenant de la rotation, et très-aplatie dans le sens perpendiculaire à l'Équateur.

Plus tard, quand Laplace eut trouvé que, pour une durée de rotation égale à celle du Soleil (25j, 5 environ), la force centrifuge des couches situées à 40 millions de lieues, et même à des distances infiniment moindres, l'emporterait de beaucoup sur l'attraction centrale, que par conséquent les couches supérieures devraient se dissiper dans l'espace, la théorie précédente fut abandonnée. Et dès lors, on attribua généralement le phénomène à la lumière réfléchie par des myriades de corpuscules circulant autour du Soleil, dans une sorte d'anneau très-mince mais fort large, que la Terre traverserait aux mois de juin et de décembre (1), et dont quelques fragments, enflammés par leur frottement rapide contre notre atmosphère, produiraient ces météores lumineux et ces chutes d'aréolithes, qu'on a si souvent signalés précisément aux deux époques où nous rencontrons l'anneau.

314. — Quant à la cause qui rend la lumière zodiacale beaucoup mieux visible vers le temps des Équinoxes, il suffit, pour la comprendre, de tracer quelques-unes des positions de l'Écliptique ou du Zodiaque (plus exactement, de l'Équateur solaire peu éloigné de l'Écliptique et parallèle au plan de la lumière zodiacale) sur la sphère céleste. PP′ étant la ligne des pôles, EE′ l'Équateur céleste, et *ee′* le plan de l'Équateur solaire, la *fig.* 151 représente, ainsi qu'il est facile de s'en convaincre à l'aide d'une sphère, la position de la lumière zodiacale par rapport à l'horizon HH′ des contrées

(1) C'est à ces deux époques, en effet, vers 75° et 175° de longitude (303), que correspond l'intersection du plan de l'Écliptique dans lequel se meut la Terre, avec le plan de l'Équateur solaire, suivant lequel est dirigée la lumière zodiacale inclinée sur l'Écliptique, comme l'Équateur solaire, d'environ 7°.

septentrionales, au moment du coucher du Soleil vers l'Équinoxe de printemps, et de son lever à l'Équinoxe d'automne. La *fig.* 153, au contraire, correspond au moment du coucher en septembre et du lever en mars. Dans cette dernière position la lumière zodiacale est masquée, généralement, par les vapeurs de l'horizon, tandis qu'elle s'élève beaucoup au-dessus de ce plan dans le cas de la *fig.* 151; les *fig.* 152 et 154 correspondent soit au lever, soit au cou-

Fig. 151.

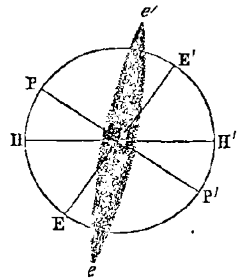
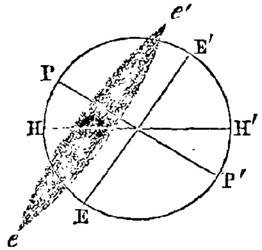


Fig. 152.



cher du Soleil lors des Solstices. Ici les hauteurs angulaires de ee', au-dessus de l'horizon, sont moins favorables qu'aux

Fig. 153.

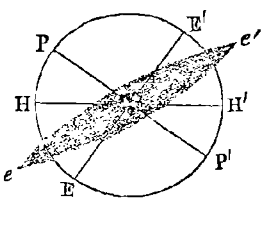
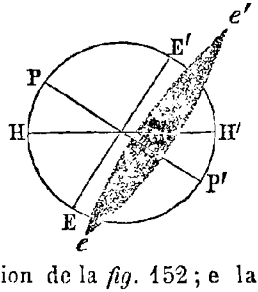


Fig. 154.



époques des Équinoxes dans la position de la *fig.* 152; e la longueur des crépuscules au Solstice d'été, l'état du Ciel, habituellement nuageux au Solstice d'hiver, ajoutent, en outre, à la difficulté de l'observation.

315. **Le Soleil est-il habitable?** — Un dernier mot encore

sur le Soleil. Cet Astre est-il habité, ou plutôt, est-il habitable? De curieuses expériences dues à M. Boutigny, sembleraient permettre de pencher pour l'affirmative. En parcourant, m'a-t-on dit, de vieilles légendes sur certains hommes *incombustibles*, l'ingénieux physicien aurait été conduit à penser qu'il pouvait exister quelque chose de réel au fond des superstitieux récits tombés, par hasard, sous sa main; et, dès ce moment, nouveau Diogène, il se serait mis à chercher *son homme* dans les établissements métallurgiques de Paris. Je n'ai pas besoin d'ajouter, sans doute, qu'il fut pris, maintes fois, pour un visionnaire et traité comme tel par ceux dont il sollicitait le concours. Mais enfin, le succès vint couronner sa persévérance; car, lorsque, découragé par une longue série de tentatives infructueuses, il commençait à désespérer, un de ses amis, Médecin dans le Berry, lui fit savoir que l'homme *incombustible* était trouvé.

Accouru pour constater par lui-même la réalisation de ses idées, M. Boutigny dut être bien vivement impressionné quand il vit, en effet, un des ouvriers du haut fourneau qu'il visitait, marcher *pieds nus* sur des masses de fer incandescentes, ou plonger sa main dans la fonte en fusion. Il ne tarda pas, du reste, à suivre courageusement cet exemple, et ce ne fut probablement pas sans surprise qu'au lieu d'éprouver une chaleur brûlante, il ressentit une assez forte impression de froid sur sa main, *plongée lentement* dans le fer fondu.

316. **Expériences de M Boutigny sur les corps caléfiés.** — L'étude attentive du phénomène le conduisit bientôt à d'autres découvertes non moins frappantes, et qui le mirent sur la voie de l'explication. Chauffez, à son exemple, jusqu'au *rouge blanc* un globe verni de porcelaine, et jetez-y quelques gouttes d'eau, d'acide sulfureux, etc. Ne semble-t-il pas, au premier abord, que des corps aussi volatils vont, sous l'action de l'ardente chaleur qui les environne, se réduire instantanément en vapeur et produire une violente explosion? Il n'en sera rien cependant. Vous les verrez se pelotonner, au contraire, se rouler en boule sur eux-mêmes; et l'ex-

plosion n'aura lieu que si vous laissez le globe *rouge blanc* se refroidir jusqu'à la température du *rouge sombre*. Alors seulement le liquide *sphéroïdal* ou *caléfié* (ce sont les expressions par lesquelles M. Boutigny caractérise le singulier état dont on lui doit la découverte), se vaporisera brusquement et pourra briser son enveloppe ; phénomène, soit dit en passant, dans lequel se trouve peut-être la clé de certaines explosions de chaudières trop fortement chauffées d'abord par d'imprudentes mains qui, loin d'accélérer ainsi la production de la vapeur, l'arrêtent au contraire, et qui se voient bientôt entraînés, pour chercher la cause de leur insuccès, à laisser refroidir, précisément jusqu'à la température où l'explosion doit se produire, les parois sur lesquelles repose de l'eau caléfiée.

Quoi qu'il en soit, si vous plongez un thermomètre dans le liquide sphéroïdal, vous trouverez que la température de ce liquide s'abaisse parfois jusqu'à *onze* degrés au-dessous de glace ; quand l'air qui l'environne, et que contient le globe incandescent de porcelaine possède, au contraire, plus de trente degrés de chaleur. Bien qu'à la rigueur mon but pût être atteint par le simple énoncé des résultats, j'ajouterai, pour ne pas laisser ici trop incomplète l'histoire d'aussi bizarres anomalies, que M. Boutigny suppose aux corps caléfiés, si ma mémoire est fidèle, un pouvoir réfléchissant assez énergique pour empêcher la chaleur de les pénétrer. D'autres ont également supposé qu'un surcroît de transparence, inhérent à l'état sphéroïdal, permettrait aux rayons de traverser les corps caléfiés sans absorption, et par conséquent sans échauffement sensible ; qu'une légère couche de vapeur se formerait autour du liquide pour le préserver du contact avec les parois rougies ; enfin, que le phénomène des chaleurs latentes jouerait à son tour, dans la question, un rôle important. Quant à la possibilité de toucher lentement, sans danger, les métaux fondus, M. Boutigny l'explique par le passage à l'état sphéroïdal, soit de la transpiration, soit des liquides (éther, eau de savon, acide sulfureux, etc.) dont il humecte sa main lorsqu'il craint que la transpiration lui fasse défaut. Les liquides ainsi caléfiés empêcheraient le contact immédiat de la fonte et de la peau, pourvu néanmoins, car tout semble, au premier abord, paradoxal dans ces phénomènes, que la main immergée se meuve avec lenteur dans le métal incandescent, afin qu'un frottement trop rapide n'en détache pas le liquide caléfié qui la préserve.

317. On voit immédiatement quelles sont les conséquences possibles des résultats précédents. Pour M. Boutigny, le globe rouge-blanc de porcelaine représenterait, en effet, la photosphère enflammée du Soleil ; l'air contenu dans le globe, à la température de 30 ou 35 degrés, serait l'atmosphère intérieure de l'Astre lumineux ; et le liquide caléfié, avec ses onze degrés de glace, correspondrait au corps obscur qui constitue le noyau.

Dans ces conditions, serait-il permis d'affirmer que le Soleil n'est pas habité ? — J'avoue, pour ma part, en voyant combien le Créateur a su varier ici-bas les éléments de la vie, que la négative absolue me paraîtrait téméraire. Car il pourrait se faire, par exemple, que d'immenses végétaux fussent chargés, comme sur la terre, de revivifier sans cesse, en les décomposant, les gaz produits par la combustion de la photosphère. Quant à d'autres analogies entre les habitants du Soleil et nous, je ne vois aucun moyen plausible d'en établir. Seulement, il n'est pas probable, malgré l'épaisse couche de nuages et la haute atmosphère dont elles sont environnées, que les femmes de ces contrées brûlantes aient le teint frais et doux des nôtres. Et comme d'ailleurs, à la surface du Soleil, à celle du noyau surtout, les corps sont 30 à 40 fois plus lourds que sur la terre, il est évident, si l'on nous y transportait, que notre propre poids, suffirait pour nous écraser.

Les habitants du Soleil, s'il en existe, doivent donc être bien plus fortement constitués que nous. Leurs proportions sont probablement colossales ; et les conscrits se voient, à coup sûr, réformés par défaut de taille quand ils n'ont pas 18 à 20 pieds de haut.

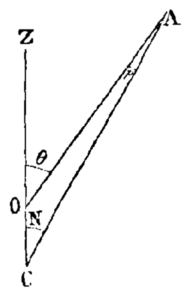
NOTE

SUR LA THÉORIE DES PARALLAXES.

318. — Les définitions, précédemment données, des coordonnées astronomiques, *ascension droite*, *déclinaison*, *longitude*, *latitude*, etc., vont nous permettre de pénétrer plus intimement que nous n'avons pu le faire en étudiant les Étoiles, dans le détail des procédés employés pour la détermination des distances célestes, ou dans la théorie des parallaxes qui lient ces distances, comme nous savons, à la mesure de certains angles.

319. **Définitions.** — Soient (*fig.* 155) Z le zénith d'un observateur placé au point O, C le centre de la Terre, considéré comme le centre des mouvements célestes, et A un Astre quelconque dont ZOA serait la distance zénithale *apparente*, tandis que ZCA est la distance zénithale géocentrique, appelée distance zénithale *vraie*. La différence OAC entre les deux angles précédents porte le nom de *parallaxe de hauteur* de l'Astre ou de *parallaxe horizontale* (*parallaxis*, différence), suivant que la distance zénithale apparente est inférieure ou égale à 90°.

Fig. 155.



320. **Expressions de la parallaxe de hauteur en fonction des distances zénithales apparentes et vraies.** — Désignez par p la parallaxe de hauteur, par r le rayon terrestre OC, par R la distance CA du centre de la Terre à l'Astre, par θ la distance zénithale apparente, par N la distance zénithale vraie, le triangle ACO vous donnera

$$(CA=R) : (CO=r) :: (\sin AOC = \sin AOZ = \sin\theta) : \sin p;$$

d'où vous tirerez

$$\sin p = \frac{r}{R}\sin\theta = \frac{r}{R}\sin(N+p) \quad \text{à cause de} \quad \theta = N+p.$$

Et si vous représentez par ϖ la parallaxe horizontale qui répond à $\theta=90°$, vous aurez

$$\sin\varpi = \frac{r}{R},$$

par conséquent aussi

$$\text{(A)} \qquad \sin p = \sin\varpi \sin(N+p)$$

La parallaxe tend d'ailleurs, évidemment, à faire paraître les Astres plus bas que s'ils étaient vus du centre de la Terre, puisque l'angle θ est supérieur à N ; et comme elle est généralement très-petite, on peut écrire, en remplaçant les sinus par les angles $p = \varpi \sin(N+p)$; formule qui montre, p se trouvant toujours inférieur à ϖ, que la parallaxe horizontale est la plus grande valeur de la parallaxe.

321. — Voulez-vous exprimer p en fonction de la distance zénithale vraie ? développez, dans (A), $\sin(N+p)$.

Vous aurez alors $\sin p = \sin \varpi (\sin N \cos p + \cos N \sin p)$ ce qui donne

$$\sin p\,(1 - \varpi \cos N) = \varpi \sin N . \cos p$$

et

$$\text{(B)} \qquad \operatorname{tang} p = \frac{\varpi \sin N}{1 - \varpi \cos N}.$$

Posez maintenant, avec Delambre, $y = \operatorname{tang} p$; d'où

$$p = \operatorname{arc\,tang} y = f(y) = f(o) + yf'(o) + \frac{1}{2} y^2 f''(o) + \frac{1}{2.3} y^3 f'''(o) + \text{etc.}$$

Vous obtiendrez d'abord, par la différenciation,

$$dy = \frac{dp}{\cos^2 p} = dp\,(1 + \operatorname{tang}^2 p) = dp\,(1 + y^2) ;$$

et vous déduirez de là

$$\left[\frac{dp}{dy} = f'(y)\right] = \frac{1}{1+y^2}, \quad \left[\frac{d^2p}{dy^2} = f''(y)\right] = \frac{-2y}{(1+y^2)^2},$$

$$\left[\frac{d^3p}{dy^3} = f'''(y)\right] = \frac{-2y(1+y^2)^2 + 8(1+y^2)y^2}{(1+y^2)^4}, \text{ etc.} ;$$

puis, faisant $y = o$,

$$f\,(o) = 1 \quad f'\,(o) = 0 \quad f'''(o) = -2, \quad f''''(o) = 0, \text{ etc.}$$

Substituant enfin dans la série, vous aurez

$$p = y - \frac{2}{2.3} y^3 + \text{etc.} = \operatorname{tang} p - \frac{1}{3} \operatorname{tang}^3 p + \text{etc.}$$

$$= \frac{\varpi \sin N}{1 - \varpi \cos N} - \frac{1}{3}\left(\frac{\varpi \sin N}{1 - \varpi \cos N}\right)^3 + \text{etc.}$$

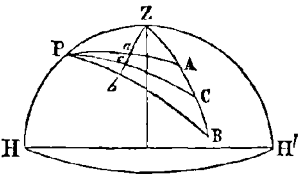
$$\text{Or} \left\{ \begin{aligned} &\frac{\varpi \sin N}{1 - \varpi \cos N} = \varpi \sin N + \omega^2 \sin N \cos N + \varpi^3 \sin N \cos^2 N + \text{etc.} \\ &\left(\frac{\varpi \sin N}{1 - \varpi \cos N}\right)^3 = \varpi^3 \sin^3 N + \text{etc.} \end{aligned} \right.$$

par conséquent

$$\text{(C)} \left\{ \begin{aligned} p &= \varpi \sin N + \varpi^2 \sin N \cos N + \varpi^3 (\sin N \cos^2 N - \frac{1}{3} \sin^3 N) + \text{etc} \\ &= \varpi \sin N + \frac{1}{2} \varpi^2 \sin 2N + \frac{1}{3} \varpi^3 \sin 3N + \text{etc.} \end{aligned} \right.$$

formule très-convergente, donnée par Delambre, dans la Connaissance des temps de 1793, et publiée plus tard par Legendre dans sa Géométrie. Elle peut servir pour le même cas que la formule (B), c'est-à-dire quand on connaît la distance zénithale vraie N.

Fig. 156.



322. **Parallaxe d'angle horaire.** — La parallaxe, en abaissant les Astres, modifie leurs angles horaires, leurs déclinaisons, leurs longitudes et leurs latitudes. Tâchons de déterminer ces effets.

HPZH' (*fig.* 156) étant le méridien de l'observateur O, Z son zénith, P le pôle, la parallaxe abaisse l'Astre de A en B dans le vertical ZA; et vous avez

$$\left\{\begin{array}{l} \text{ZPA} = \text{angle horaire vrai} = \text{P}. \\ \text{PA} = \text{distance polaire vraie} = d. \end{array}\right.$$

$$\left\{\begin{array}{l} \text{ZPB} = \text{angle horaire apparent} = \text{P} + h. \\ \text{PB} = \text{distance polaire apparente} = d + \delta. \end{array}\right.$$

$$\left\{\begin{array}{l} \text{ZPB} - \text{ZPA} = h = \text{parallaxe d'angle horaire} = \text{APB}. \\ \text{PB} - \text{PA} = \delta = \text{parallaxe de distance polaire}. \end{array}\right.$$

Vous avez, en outre, par les triangles ABP, ZPB dans le second desquels ZP n'est autre chose que le complément de la latitude L de l'observateur.

$$\left(\frac{\sin \text{AB} = \sin p}{\sin \text{AP} = \sin d}\right) = \frac{\sin h}{\sin \text{B}} \ldots \text{triangle APB};$$

$$\left(\frac{\sin \text{PZ} = \cos \text{L}}{\sin \text{BZ} = \sin(\text{N} + p)}\right) = \frac{\sin \text{B}}{\sin(\text{P} + h)} \ldots \text{triangle ZPB}.$$

Multipliez ces deux équations, l'une par l'autre, afin d'éliminer l'angle B, vous obtenez

$$\frac{\sin \cdot p}{\sin d} \cdot \frac{\cos \text{L}}{\sin(\text{N} + p)} = \frac{\sin h}{\sin(\text{P} + h)};$$

substituez pour $\sin p$ sa valeur $\varpi \sin(\text{N} + p)$, supprimez le facteur commun $\sin(\text{N} + p)$, et tirez la valeur de $\sin h$, vous trouvez enfin

$$(\text{A}') \qquad \sin h = \frac{\varpi \cos \text{L}}{\sin d} \sin(\text{P} + h)$$

Cette équation est tout-à-fait analogue à l'équation (A). Elle donne la parallaxe h d'angle horaire en fonction de l'angle horaire apparent ou observé $\text{P} + h$; et, développée comme l'a été la formule (A), elle conduit successivement aux deux autres formules qui sont l'équivalent des équations (B) et (C),

$$(B') \qquad \operatorname{Tang} h = \frac{\left(\frac{\varpi \cos L}{\sin d}\right)\sin P}{1+\left(\frac{\varpi \cos L}{\sin d}\right)\cos P}$$

$$(C') \; h = \left(\frac{\varpi \cos L}{\sin d}\right)\sin P + \frac{1}{2}\left(\frac{\varpi \cos L}{\sin d}\right)^2 \sin 2P + \frac{1}{3}\left(\frac{\varpi \cos L}{\sin d}\right)^3 \sin 3P + \text{etc.}$$

323. **Parallaxe de distance Polaire.** — Pour calculer δ, vous avez, par les triangles ZPA, ZPB,

$$[\cos PA = \cos d] = \cos PZ . \cos ZA + \sin PZ \sin ZA \cos PZA$$
$$= \sin L \cos N + \cos L \sin N \cos Z$$

$$[\cos PB = \cos (d+\delta)] = \cos PZ . \cos ZB + \sin PZ . \sin ZB \cos PZB$$
$$= \sin L \cos (N+p) + \cos L \sin (N+p) \cos Z.$$

Eliminez coz Z ; il vient

$$\frac{\cos d - \sin L \cos N}{\sin N} = \frac{\cos (d+\delta) - \sin L \cos (N+p)}{\sin (N+p)}$$

$$\cos (d+\delta) = \frac{\cos d \cdot \sin (N+p) - \sin L \cos N \sin (N+p) + \sin L \cos (N+p) \sin N}{\operatorname{Sin} N}$$

$$= \frac{\cos d}{\sin N} \sin (N+p)$$

$$(\alpha) \begin{cases} -\frac{\sin L}{\sin N}\left[\cos N \sin (N+p) - \sin N \cos (N+p) = \sin p + \varpi \sin (N+p)\right] \\ \qquad = \frac{\sin (N+p)}{\sin N}\left(\cos d - \varpi \sin L\right) \end{cases}$$

Cette formule fait connaître $d+\delta$ et, par suite, δ au moyen de $N+p$, et N. Mais vous pouvez avoir aussi $d+\delta$ en fonction des angles horaires. Car les triangles ZPA, ZPB donnant

$$\left[\frac{\sin ZA}{\sin PA} = \frac{\sin N}{\sin d}\right] = \frac{\sin P}{\sin Z}, \quad \left[\frac{\sin ZB}{\sin PB} = \frac{\sin (N+p)}{\sin (d+\delta)}\right] = \frac{\sin (P+h)}{\sin Z},$$

l'élimination de sin Z conduit à

$$\frac{\sin (N+p)}{\sin N} = \frac{\sin (P+h)}{\sin P} \cdot \frac{\sin (d+\delta)}{\sin d};$$

valeur qui, substituée dans l'équation (α), la change en celle-ci, due à Léxell :

$$(\alpha') \qquad \operatorname{cotang} (d+\delta) = \frac{\sin (P+h)}{\sin P}\left(\operatorname{cotang} d - \frac{\varpi \sin L}{\sin d}\right)$$

324. Voici d'autres formules données par Delambre, d'abord dans le tome III des Mémoires de l'Institut, et plus tard, dans son grand Ouvrage ; elles peuvent être utiles suivant les cas.

De (α') vous tirez

$$\text{cotang}\, d - \frac{\text{cotang}\,(d+\delta)\sin P}{\sin(P+h)} = \frac{\varpi \sin L}{\sin d},$$

d'où

$$\text{cotang}\, d - \text{cotang}\,(d+\delta) = \text{cotang}\,(d+\delta)\left(\frac{\sin P - \sin(P+h)}{\sin(P+h)}\right) + \frac{\varpi \sin L}{\sin d}$$

$$= \text{cotang}\,(d+\delta)\frac{2\cos\left(P+\frac{1}{2}h\right)\sin\frac{1}{2}h}{\sin(P+h)} + \frac{\varpi \sin L}{\sin d},$$

à cause de $\sin(a-b) - \sin(a+b) = 2\sin b\cos a$, et de $b = \frac{1}{2}h$, $a = \left(P+\frac{1}{2}h\right)$ quand on pose $\quad a+b = P+h,\ a-b = P$

ou bien

$$\left[\frac{\cos d}{\sin d} - \frac{\cos(d+\delta)}{\sin(d+\delta)} = \frac{\cos d\sin(d+\delta) - \cos(d+\delta)\sin d}{\sin d.\sin(d+\delta)}\right.$$

$$\left.= \frac{\sin(d+\delta-d)}{\sin d\sin(d+\delta)} = \frac{\sin\delta}{\sin d\sin(d+\delta)}\right]$$

$$= -\frac{\cos(d+\delta)}{\sin(d+\delta)}\cdot\frac{2\cos\left(P+\frac{1}{2}h\right)\sin\frac{1}{2}h}{\sin(P+h)} + \frac{\varpi\sin L}{\sin d};$$

et par suite

$$(B)\left\{\begin{aligned} \sin\delta &= \varpi\sin L\sin(d+\delta) - \frac{2\sin d\cos(d+\delta)\cos\left(P+\frac{1}{2}h\right)\sin\frac{1}{2}h\cos\frac{1}{2}h}{\sin(P+h)\cos\frac{1}{2}h} \\ &= \varpi\sin L\sin(d+\delta) - \frac{\sin d.\cos(d+\delta)\cos\left(P+\frac{1}{2}h\right)\sin h}{\sin(P+h)\cos\frac{1}{2}h} \end{aligned}\right.$$

Or dans les triangles PAB, PZB, vous avez

$$\frac{\sin h}{\sin B} = \frac{\sin p}{\sin d},$$

$$\frac{\sin B}{\sin(P+h)} = \frac{\cos L}{\sin(N+p)};$$

multipliez pour éliminer B, et remplacez $\sin p$ par $\varpi\sin(N+p)$,

vous obtenez $\dfrac{\sin h}{\sin(P+h)} = \dfrac{\varpi\sin(N+p)\cos L}{\sin d.\sin(N+p)} = \dfrac{\varpi\cos L}{\sin d};$

d'où $\sin h \sin d = \varpi \cos L \sin(P+h)$, valeur qui substituée dans celle de $\sin\delta$ donne enfin

$$(B') \qquad \sin\delta = \varpi \sin L \sin(d+\delta) - \frac{\varpi \cos L \cos(d+\delta)\cos\left(P+\frac{1}{2}h\right)}{\cos\frac{1}{2}h}$$

Cette formule fournira δ, quand on connaîtra la distance polaire apparente $(d+\delta)$ au lieu de la distance polaire vraie d qui entre dans l'équation (α').

Soient, pour abréger

$$m = \varpi \sin L, \qquad n = \cos \varpi L \frac{\cos\left(P+\frac{1}{2}h\right)}{\cos\frac{1}{2}h}; \quad \frac{n}{m} = \operatorname{tang} x;$$

(B') devient

$$(A'')\left\{\begin{aligned}\sin\delta &= m\sin(d+\delta) - n\cos(d+\delta) = m\left[\sin(d+\delta) - \operatorname{tang} x \cos(d+\delta)\right]\\ &= \frac{m}{\cos x}\sin(d+\delta-x) = \frac{m}{\cos x}\sin\left[(d-x)+\delta\right]\end{aligned}\right.$$

formule analogue encore à l'équation (A); et de laquelle vous pouvez tirer, par conséquent, ces deux autres, analogues de (B) et de (C) :

$$(B'') \qquad \operatorname{tang}\delta = \frac{\frac{m}{\cos x}\sin(d-x)}{1 - \frac{m}{\cos x}\cos(d-x)}$$

$$(C'')\ \delta = \frac{m}{\cos x}\sin(d-x) + \frac{1}{2}\frac{m^2}{\cos^2 x}\sin.2(d-x) + \frac{1}{3}\frac{m^3}{\cos^3 x}\sin.3(d-x) + \text{etc.}$$

Il est, du reste, facile de voir, géométriquement, la signification de l'angle x. Divisez, en effet, l'angle APB en deux parties égales par l'arc de grand cercle PcC; et menez un arc de grand cercle Zc perpendiculaire à PC. Vous aurez d'abord

$$\operatorname{tang} Pc = \operatorname{tang} PZ.\cos ZPc = \operatorname{cotang} L \cos\left(P+\frac{1}{2}h\right).$$

Les triangles Pac, Pbc rectangles en c, vous donneront ensuite

$$(\operatorname{tang} Pa = \operatorname{tang} Pb) = \frac{\operatorname{tang} Pc}{\cos\frac{1}{2}h}$$

d'où, substituant la valeur de tang Pc, vous obtenez

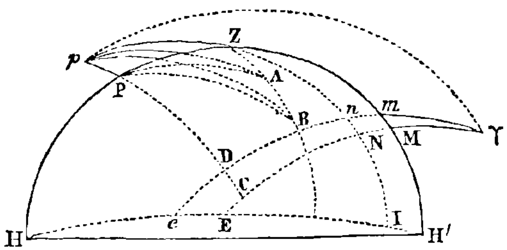
$$(\operatorname{tang} Pa = \operatorname{tang} Pb) = \frac{\operatorname{cotang} L . \cos\left(P + \frac{1}{2}h\right)}{\cos\frac{1}{2}h} = \frac{\varpi \cos L . \cos\left(P + \frac{1}{2}h\right)}{\varpi \sin L \cos\frac{1}{2}h} = \frac{n}{m} = \operatorname{tang} x$$

x est donc égal à $Pa = Pb$.

Les parallaxes de *déclinaison* seront, d'ailleurs, évidemment, les mêmes, au signe près, que les parallaxes de *distance polaire*.

325. **Parallaxes de longitude et de latitude.** — Soient Z et HH' (*fig.* 157) le zénith et l'horizon de l'observateur ; ϒE, ϒ*e* l'Équateur et l'Écliptique; P,*p*, les pôles de ces deux plans; *p*ZI un vertical mené par le zénith Z et par le pôle *p* de l'Écliptique qu'il coupe en *n* ; PZH' un autre vertical (le Méridien) passant en Z et au pôle P de l'Équateur qu'il coupe en M. Ces deux verticaux se trouveront évidemment, le premier par rapport à l'Écliptique, le second par rapport à

Fig. 157.



l'Équateur, dans des conditions tout-à-fait identiques. ME, *ne*, seront donc, l'un et l'autre, des arcs de 90°; et MH' mesurant l'inclinaison de l'Équateur sur l'horizon, *n*I mesurera de même l'inclinaison *ne*I de l'Écliptique. Si, par conséquent, vous joignez le pôle *p* aux points A et B pour déterminer les parallaxes h_1 ou A*p*B de longitude et δ_1 ou (*p*B—*p*A) de distance polaire, partout où vous aviez la latitude L de l'observateur ou le complément de MH', vous rencontrerez le complément L_1 de *n*I ou de la hauteur angulaire du point *n* auquel on a donné le nom de *nonagésime*, pour exprimer qu'il se trouve à 90° du point Orient *e* de l'Écliptique. Quant aux angles horaires ZPA, ZPB comptés du Méridien PZH', ils seront remplacés par des longitudes comptées du vertical *p*ZI, dont la position dépendra de l'heure à laquelle vous voulez obtenir les parallaxes.

Désignez, pour le moment du calcul, par M l'ascension droite connue ϒM du milieu du Ciel, par *n* la longitude ϒ*n* du nonagésime, et par P_1 l'angle de longitude Z*p*A. Désignez également par ω l'obliquité *e*ϒE de l'Écliptique ; les triangles $e\Upsilon E$ ou ZPp vous permettront de déterminer les quantités n, P_1 et L_1, c'est-à-dire d'assigner, à un instant quelconque, la position de l'écliptique et du vertical pZI qui doivent remplacer l'Équateur et le Méridien quand, au lieu des parallaxes relatives à l'Équateur, vous voudrez avoir les parallaxes relatives à l'Écliptique. Vous avez, en effet, dans le triangle $e\Upsilon E$, par exemple : $e\Upsilon E = \omega =$ obliquité connue de l'Écliptique; $E\Upsilon = 90° + M$; $\Upsilon Ee = 180° - \Upsilon EH' = 180° - (90° - L) = 90° + L$; et vous pourrez calculer $\Upsilon e = 90° + n$, $\Upsilon eE = 90° - L_1$, par conséquent n et L_1 ainsi que eE qu'on nomme l'amplitude du point Orient de l'Écliptique, mais dont nous n'avons pas à faire usage ici. La valeur de $(P_1 = ZpA = npA)$, résultera ensuite de la différence entre la longitude connue $l = \Upsilon pA$ de l'Astre A et l'angle Υpn mesuré par l'arc $\Upsilon n = n$ que vous aurez déterminé.

Le triangle ZpP, dans lequel l'arc pP est à 90° du point Υ, vous donnerait aussi les quantités n, L_1, P_1 au moyen des quantités

$$ZP = 90° - L, \quad Pp = \omega,$$
$$pPZ = 180° - ZPC = 180° - (\Upsilon C - \Upsilon M)$$
$$= 180° - (90° - M) = 90° + M,$$

puisqu'il vous fournirait le côté Zp égal à nI ou à $90° - L_1$ et l'angle $PpZ = \Upsilon D - \Upsilon n = 90° - n$. Vous devrez, dans tous les cas, prendre convenablement la grandeur de n qui, pouvant varier de 0° à 360°, aura généralement deux valeurs capables de satisfaire aux équations trigonométriques dont vous aurez déduit cette quantité. Mais une figure suffira toujours pour lever vos doutes ; car le Pôle de l'Écliptique est constamment à l'*est* du Méridien quand le nonagésime est à l'ouest, et réciproquement.

La position de l'Écliptique étant déterminée et la distance $(d_1 = pA)$ de l'Astre au Pôle de l'Écliptique, étant, d'ailleurs, connue par la latitude de cet Astre, vous n'avez plus, pour obtenir les parallaxes de longitude et de latitude, qu'à substituer L_1, h_1, P_1, d_1, δ_1, aux quantités L, h, P, d, δ, dans les formules qui donnent les parallaxes d'*ascension droite* et de *déclinaison*. Vous trouverez ainsi par un simple rapprochement

Parallaxe d'ascension droite.

$$\text{(A}'\text{)} \quad \sin h = \frac{\varpi \cos L}{\sin d} \sin(P + h)$$

$$\text{(B}'\text{)} \quad \operatorname{tang} h = \frac{\dfrac{\varpi \cos L}{\sin d} \sin P}{1 - \dfrac{\varpi \cos L}{\sin d} \cos P}$$

$$\text{(C}'\text{)} \qquad h = \frac{\varpi \cos L}{\sin d} \sin P + \frac{1}{2} \frac{\varpi^2 \cos^2 L}{\sin^2 d} \sin 2P + \frac{1}{3} \frac{\varpi^3 \cos^3 L}{\sin^3 d} \sin 3P + \text{etc}$$

Parallaxe de longitude.

$$(\mathrm{A}'_1)\quad \sin h_1 = \frac{\varpi \cos \mathrm{L}_1}{\sin d_1} \sin(\mathrm{P}_1 + h_1)$$

$$(\mathrm{B}'_1)\quad \operatorname{tang} h_1 = \frac{\dfrac{\varpi \cos \mathrm{L}_1}{\sin d_1} \sin \mathrm{P}_1}{1 - \dfrac{\varpi \cos \mathrm{L}_1}{\sin d_1} \cos \mathrm{P}_1}$$

$$(\mathrm{C}'_1)\quad h_1 = \frac{\varpi \cos \mathrm{L}_1}{\sin d_1} \sin \mathrm{P}_1 + \frac{1}{2} \frac{\varpi^2 \cos^2 \mathrm{L}_1}{\sin^2 d_1} \sin 2\mathrm{P}_1 + \frac{1}{3} \frac{\varpi^3 \cos^3 \mathrm{L}_1}{\sin^3 d_1} \sin 3\mathrm{P}_1 + \text{etc.}$$

Parallaxe de distance au Pôle de l'Équateur.

$$(\alpha)\quad \cos(d+\delta) = \frac{\sin(\mathrm{N}+p)}{\sin \mathrm{N}} (\cos d - \varpi \sin \mathrm{L})$$

$$(\alpha')\quad \operatorname{cotang}(d+\delta) = \frac{\sin(\mathrm{P}+h)}{\sin \mathrm{P}} \left(\operatorname{cotang} d - \frac{\varpi \sin \mathrm{L}}{\sin d}\right)$$

$$(\beta)\quad \sin \delta = \varpi \sin \mathrm{L} \sin(d+\delta) - \frac{\sin d \cos(d+\delta) \cos\left(\mathrm{P} + \frac{1}{2} h\right) \sin h}{\sin(\mathrm{P}+h) \cos \frac{1}{2} h}$$

$$(\beta')\quad \sin \delta = \varpi \sin \mathrm{L} \sin(d+\delta) - \frac{\varpi \cos \mathrm{L} \cos(d+\delta) \cos\left(\mathrm{P} + \frac{1}{2} h\right)}{\cos \frac{1}{2} h}$$

$$m = \varpi \sin \mathrm{L}, \quad n = \varpi \cos \mathrm{L} \frac{\sin\left(\mathrm{P} + \frac{1}{2} h\right)}{\cos \frac{1}{2} h} \quad \operatorname{tang} x = \frac{n}{m}$$

$$(\mathrm{A}'')\quad \sin \delta = \frac{m}{\cos x} \sin[(d-x)+\delta]$$

$$(\mathrm{B}'')\quad \operatorname{tang} \delta = \frac{\dfrac{m}{\cos x} \sin(d-x)}{1 - \dfrac{m}{\cos x} \cos(d-x)}$$

$$(\mathrm{C}'')\quad \delta = \frac{m}{\cos x} \sin(d-x) + \frac{1}{2} \left(\frac{m}{\cos x}\right)^2 \sin 2(d-x) + \frac{1}{3} \left(\frac{m}{\cos x}\right) \sin 3(d-x) + \text{etc.}$$

Parallaxe de distance au Pôle de l'écliptique.

$$(\alpha_1)\quad \cos(d_1+\delta_1)=\frac{\sin(N_1+p_1)}{\sin N_1}(\cos d_1-\varpi_1\sin L_1)$$

$$(\alpha'_1)\quad \operatorname{cotang}(d_1+\delta_1)=\frac{\sin(P_1+h_1)}{\sin P_1}\left(\operatorname{cotang} d_1-\frac{\varpi_1\sin L_1}{\sin d_1}\right)$$

$$(\beta_1)\quad \sin\delta_1=\varpi\sin L_1\sin(d_1+\delta_1)-\frac{\sin d_1\cos(d_1+\delta_1)\cos\left(P_1+\frac{1}{2}h_1\right)\sin h_1}{\sin(P_1+h_1)\cos\frac{1}{2}h_1}$$

$$(\beta'_1)\quad \sin\delta_1=\varpi\sin L_1\sin(d_1+\delta_1)-\frac{\varpi\cos L_1\cos(d_1+\delta_1)\cos\left(P_1+\frac{1}{2}h_1\right)}{\cos\frac{1}{2}h_1}$$

$$m_1=\varpi\sin L_1,\ n_1=\varpi\cos L_1\frac{\sin\left(P_1+\frac{1}{2}h_1\right)}{\cos\frac{1}{2}h_1},\ \operatorname{tang} x_1=\frac{n_1}{m_1}$$

$$(A''_1)\qquad \sin\delta_1=\frac{m_1}{\cos x_1}\sin[(d_1-x_1)+\delta_1]$$

$$(B''_1)\qquad \operatorname{tang}\delta_1=\frac{\frac{m_1}{\cos x_1}\sin(d_1-x_1)}{1-\frac{m_1}{\cos x_1}\cos(d_1-x_1)}$$

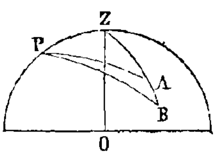
$$(C''_1)\quad \delta_1=\frac{m_1}{\cos x_1}\sin(d_1-x_1)+\frac{1}{2}\left(\frac{m_1}{\cos x_1}\right)^2\sin 2(d_1-x_1)+\frac{1}{3}\left(\frac{m_1}{\cos x_1}\right)^3\sin 3(d_1-\delta_1)+\text{etc.}$$

326. — Telles sont les diverses formules qui permettent de passer des positions *apparentes* aux positions *vraies*, et *réciproquement*. A la rigueur, on pourrait cependant ne faire usage que de la *parallaxe de hauteur*, parce qu'avec les distances zénithales *vraies* ou *apparentes*, il est facile d'obtenir, *vraies* aussi ou *apparentes*, suivant celles des distances zénithales qu'on emploie, les déclinaisons et les ascensions droites à l'aide desquelles on trouverait ensuite les longitudes et les latitudes. Mais les formules ci-dessus ont un autre but, celui de fournir des moyens variés, en rapport avec les diverses ressources des observateurs, pour la détermination des distances célestes, c'est-à-dire de la parallaxe horizontale ϖ ou de la fraction $\frac{r}{R}$ qui donne R en fonction du rayon terrestre r.

327. **Déterminations expérimentales.** — Supposez d'abord un observateur unique, et l'Astre dont vous voulez avoir la distance, venant, dans son passage au Méridien, aboutir au zénith ou tout près de ce point. Là, parallaxe et réfraction seront sensiblement nulles. Vous obtiendrez donc immédiatement la véritable distance polaire de l'Astre. Observez plusieurs jours de suite, vous aurez la variation *diurne* de distance polaire, et vous pourrez calculer cette distance polaire pour un instant donné. Vous aurez également la variation diurne d'ascension droite, de laquelle vous déduirez l'instant précis où l'Astre doit passer au Méridien.

Méthode des parallaxes de hauteur. — Observez ensuite le même Astre à 75° ou 80° de distance zénithale. L'heure de l'observation, rapprochée de l'instant du passage au Méridien, vous fera connaître l'angle horaire ZPA (*fig.* 158). Vous connaissez, en outre, $ZP = 90° - L$, et la distance polaire PA de l'Astre; il vous sera donc facile de déterminer la distance zénithale vraie $ZA = N$. Comparez cette distance zénithale *calculée* avec la distance zénithale *observée* $ZB = (N + p)$, après avoir corrigé celle-ci de la réfraction; vous aurez pour différence la parallaxe de hauteur $AB = p$, et l'équation $p = \varpi \sin (N + p)$ dans laquelle p et $(N + p)$ sont connus, vous donnera ensuite ϖ ou le rapport $\frac{r}{R}$, par conséquent aussi, la distance R.

Fig. 158.



Ce procédé vous montrera qu'aucune des Étoiles qui passent près du zénith n'a de parallaxe. Et comme les observations faites sous diverses latitudes, c'est-à-dire avec des zéniths différents, conduisent aux mêmes résultats, vous pourrez généraliser votre conclusion et l'étendre à toutes les Étoiles. Quant au Soleil, si vous l'observez, dans nos climats, pendant l'été, lorsqu'il arrive, à midi, près du zénith, vous trouverez, généralement, qu'il a une parallaxe de 6 à 12 secondes; limites entre lesquelles ont varié, depuis l'invention des lunettes, les déterminations des divers Astronomes, Cassini, Lahire, etc. D'où la nécessité d'employer une autre méthode que nous étudierons par la suite (*les passages de Vénus sur le Soleil*), pour obtenir des déterminations plus précises. La Lune, au contraire, beaucoup moins éloignée, fournit des résultats satisfaisants, et qui oscillent, suivant les distances, entre 54′ et 61′. Vénus, dans certaines positions, pourrait donner également une bonne parallaxe, d'environ 30″. Mars en donnerait une de 14″ à 15″. Les autres Planètes, trop éloignées, demandent des artifices particuliers.

328. **Méthode des parallaxes d'ascension droite.** — L'équation (A), $\sin h = \frac{\varpi \cos L}{\sin d} \sin (P + h)$, trouvée pour la parallaxe d'ascension droite, donnerait aussi la valeur de $\varpi = \frac{\sin h \sin d}{\cos L \cdot \sin (P + h)}$, car la latitude L du lieu est connue, ainsi que la distance polaire d, observée au Méridien, près du zénith, dans un lieu convenablement choisi (Lacaille s'en alla, dans ce but, au Cap de Bonne-Espérance). Quelques jours d'observation donneront, en outre, la variation d'ascension droite et, par suite, la valeur de l'ascension droite pour un moment déterminé.

Comparez maintenant, 4 ou 5 heures avant ou après le passage au méridien, votre Astre à une Étoile. Vous aurez la différence *apparente* de Æ; et comme l'Étoile n'a pas de parallaxe, la différence trouvée, appliquée avec le signe convenable à l'ascension droite de l'Etoile, vous donnera l'ascension droite *apparente* de l'Astre. Retranchez cette Æ *apparente* de l'Æ *calculée*, vous obtiendrez la valeur de h. L'ascension droite calculée pour le moment de l'observation vous fournira P, et par suite aussi $P + h$ puisque h est déterminé. Tout sera donc connu, excepté ϖ dans l'équation (A).

Parallaxes du Soleil et des diverses Planètes déduites de celle de Mars. — C'est d'après ce procédé des ascensions droites que Cassini et Lacaille déterminèrent la parallaxe de *Mars*. D'où résultèrent celles des autres Planètes en vertu de la loi que nous étudierons plus tard sous le nom de 3^me^ loi de Képler, et qui consiste en ceci : que *les carrés des temps des révolutions des Planètes autour du Soleil sont entre eux comme les cubes des distances moyennes de ces Planètes au même Astre.* Si vous désignez, en effet, par a, a', les distances moyennes de la Terre et de Mars au Soleil et par T, T', les durées de leurs révolutions sidérales; par a'', a''', etc., T'', T''', etc., les distances moyennes et les durées des révolutions sidérales des autres Planètes; enfin par ϖ la parallaxe horizontale de Mars en opposition, alors que la distance de cette Planète à la Terre, n'étant que les six dixièmes environ de la distance moyenne entre la Terre et le Soleil, peut être obtenue par l'observation avec plus d'exactitude; vous avez d'abord, abstraction faite de l'inclinaison très-petite de l'orbite de Mars sur l'écliptique

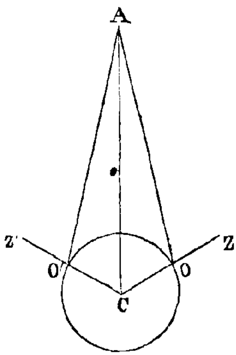
$$\varpi = \frac{r}{a' - a}, \quad \text{et}, \frac{a}{a'} = \sqrt[3]{\frac{T^2}{T'^2}}, \quad \frac{a}{a''} = \sqrt[3]{\frac{T^2}{T''^2}}, \quad \frac{a}{a'''} \sqrt[3]{\frac{T^2}{T'''^2}} \text{etc.},$$

c'est-à-dire, autant d'équations du *premier degré* que de distances moyennes a, a', a'', etc., à déterminer. Vous calculerez donc ces distances moyennes en fonction de la parallaxe ϖ *observée;* vous trouverez aussi, par conséquent, sans difficulté, pour les diverses positions des

Planètes dont les orbites sont connues, les parallaxes ou les distances à la Terre.

329. **Méthode des distances polaires.** — Vous pourriez encore déduire la parallaxe horizontale, des formules de parallaxe en déclinaison. Il suffirait, à des instants déterminés, de comparer la déclinaison de votre Astre à celle d'une Étoile, alternativement près et loin du zénith, toujours assez haut cependant pour que l'incertitude des réfractions, au voisinage de l'horizon, n'occasionnât pas des erreurs trop grandes. Seulement, les formules contenant δ et h sont moins commodes. Mais si, au lieu d'un seul observateur, vous disposez de deux stations assez éloignées et situées sur le même méridien, où l'on puisse prendre *simultanément* les distances zénithales méridiennes AOZ, AO'Z' de l'Astre (*fig.* 159), comme le firent, par exemple, en 1751, pour la Lune, pour Mars et pour Vénus, Lacaille au Cap de Bonne-Espérance et Lalande à Berlin, l'angle OCO', différence ou somme des latitudes, étant connu; les distances zénithales apparentes ($AOZ = N + p$), ($AO'Z' = N' + p'$) étant déterminées par l'observation, et l'angle ($OAO' = p + p'$), résultant de la somme 360° des angles du quadrilatère AOCO' dans lequel $O = 180° - (N + p)$, $O' = 180° - (N' + p')$, vous aurez

Fig. 159.



$$p = CAO = \varpi \sin(N + p), \quad p' = CAO' = \varpi' \sin(N' + p'),$$

d'où

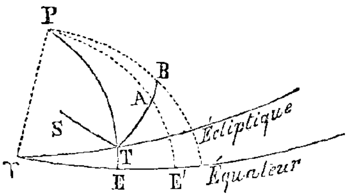
$$(p + p')\, \varpi = [\sin(N + p) + \sin(N' + p')], \text{ et } \varpi = \frac{(p + p')}{\sin(N + p) + \sin(N' + p')}.$$

Cette dernière méthode est très-bonne et n'exige pas d'ailleurs que les observateurs soient rigoureusement sur le même Méridien, comme nous l'avions d'abord supposé, puisqu'il suffit, pour ramener les deux observations à la même heure, de savoir de combien ont pu varier les distances zénithales ou les déclinaisons, dans l'intervalle de temps qui sépare ces observations.

L'aplatissement de la Terre est, généralement, sans influence. Néanmoins, pour la Lune, il peut produire une erreur de 3'' à 4''. Dans les calculs très-précis, il faudrait, par conséquent, tenir compte de cet aplatissement, en calculant, d'après la forme connue de la Terre, les angles compris entre les normales et les rayons menés au centre même du Globe. Mais il est inutile d'insister ici sur des détails peu importants et, du reste, très-faciles à calculer.

330. **Parallaxes annuelles. — 1° Parallaxe annuelle d'ascension droite.** — Pour obtenir maintenant les parallaxes *annuelles*, soient (*fig.* 160) T la Terre, S le Soleil, A l'Étoile. Il est évident que S représentera le centre de la Terre des figures précédentes ; que T représentera l'observateur ; ST la verticale ; AB la parallaxe de hauteur ; enfin que la distance angulaire TE de la Terre à l'Équateur ou la déclinaison $D_{♁}$ (1) de la Terre, équivaudra à la latitude L du lieu, et l'angle horaire P à la différence ($EPE' = \Upsilon PE' - \Upsilon PE = \mathrm{AR}_* - \mathrm{AR}_{♁}$) d'ascension droite entre l'Étoile A et la Terre T. Faites donc ces substitutions dans l'une quelconque des équations (A′), (B′), (C′), dans la première (A′) par exemple, et mettez ($90°$ — déclinaison D_*) de l'Étoile à la place de la distance polaire d. Vous aurez, ϖ représentant maintenant la parallaxe annuelle,

Fig. 160.



$$h = \varpi \frac{\cos D_{♁}}{\cos D_*} \sin(\mathrm{AR}_* - \mathrm{AR}_{♁} + h) = \varpi \frac{\cos D_{♁}}{\cos D_*} \sin(\mathrm{AR}_* - \mathrm{AR}_{♁})$$

en négligeant h à côté de ($\mathrm{AR}_* - \mathrm{AR}_{♁}$) qui devra être un angle très-grand, voisin de $90°$ ou de $270°$, afin que son sinus soit un maximum et que l'effet h de la parallaxe, représenté par le premier membre de l'équation, soit lui-même le plus grand possible.

Développez $\sin(\mathrm{AR}_* - \mathrm{AR}_{♁})$, la valeur de h devient

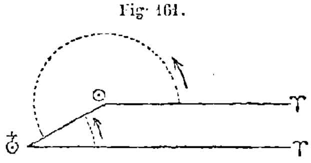
$$h = \frac{\varpi \cos D_{♁}}{\cos D_*} (\sin \mathrm{AR}_* \cos \mathrm{AR}_{♁} - \sin \mathrm{AR}_{♁} \cos \mathrm{AR}_*).$$

Or, le triangle T♈E, rectangle en E, donne

$$[\cos T\Upsilon = \cos \text{ longitude } ♁ = \cos ♁ = \cos(180° + \odot) = -\cos \odot]$$
$$= \cos TE \cos \Upsilon E = \cos D_{♁} \cos \mathrm{AR}_{♁};$$

car on voit aisément, sur la (*fig.* 161), que la longitude ♈☉♁ de la Terre est égale à $180° +$ longitude ♈♁☉ du Soleil, les angles étant comptés à partir et au-dessus de la ligne des équinoxes. Multipliez les deux

Fig. 161.



(1) Les signes ♁ et $_*$ sont les symboles astronomiques de la Terre et des Étoiles.

membres de cette équation par tang $\text{Æ}_{\overset{+}{\odot}}$, vous aurez

$$(-\cos\odot \operatorname{tang} \text{Æ}_{\overset{+}{\odot}}) = \cos D_{\overset{+}{\odot}} \cos \text{Æ}_{\overset{+}{\odot}} \operatorname{tang} \text{Æ}_{\overset{+}{\odot}} = \cos D_{\overset{+}{\odot}} \sin \text{Æ}_{\overset{+}{\odot}}.$$

Substituez les valeurs de $\cos D_{\overset{+}{\odot}} \cos \text{Æ}_{\overset{+}{\odot}}$ et de $\cos D_{\overset{+}{\odot}} \sin \text{Æ}_{\overset{+}{\odot}}$, il viendra,

$$h = \frac{\varpi}{\cos D_*}(-\cos\odot \sin \text{Æ}_* + \cos\odot \operatorname{tang} \text{Æ}_{\overset{+}{\odot}} \cos \text{Æ}_*);$$

et à cause de

$$\operatorname{tang} \Upsilon E = \operatorname{tang} \text{Æ}_{\overset{+}{\odot}} = (\operatorname{tang} \Upsilon T \cos T\Upsilon E = \operatorname{tang} \overset{+}{\odot} \cos \omega = \operatorname{tang} \odot \cos \omega).$$

$$(\text{A}''') \quad h = \frac{\varpi}{\cos D_*}(-\cos\odot \sin \text{Æ}_* + \cos\odot \operatorname{tang}\odot \cos\omega \cos \text{Æ}_*)$$

$$= \frac{\varpi}{\cos D_*}(-\sin \text{Æ}_* \cos\odot + \sin\odot \cos\omega \cos \text{Æ}_*)$$

$$= \frac{\varpi}{\cos D_*}\Big[-\sin(\text{Æ}_* + \odot) - \frac{1}{2}\sin(\text{Æ}_* - \odot)$$
$$+ \frac{1}{2}\cos\omega \sin(\odot + \text{Æ}_*) + \frac{1}{2}\cos\omega \sin(\odot - \text{Æ}_*)\Big]$$

$$= \frac{\varpi}{\cos D_*}\left[\frac{\cos\omega - 1}{2}\sin(\text{Æ}_* + \odot) - \frac{\cos\omega + 1}{2}\sin(\text{Æ}_* - \odot)\right]$$

$$= \frac{\varpi}{\cos D_*}[-0{,}0413 \sin(\text{Æ}_* + \odot) - 0{,}9587 \sin(\text{Æ}_* - \odot)] \text{ (2)}.$$

231. **2° Parallaxe annuelle de distance au pôle de l'Équateur.** — Effectuez maintenant, pour la distance polaire, les substitutions que vous avez faites pour l'ascension droite; et supposez

$$\cos\left(P + \frac{1}{2}h\right) = \cos P, \quad \cos\frac{1}{2}h = 1,$$
$$\sin(d + \delta) = \cos D_*, \quad \cos(d + \delta) = \sin D_*;$$

'équation (β'), entre autres, qui contient explicitement δ et ϖ, vous donnera

$$(\sin\delta = \delta) = \varpi \sin D_{\overset{+}{\odot}} \cos D_* - \varpi \cos D_{\overset{+}{\odot}} \sin D_* \cos(\text{Æ}_* - \text{Æ}_{\overset{+}{\odot}}).$$

Développez $\cos(\text{Æ}_* - \text{Æ}_{\overset{+}{\odot}})$, il vient

$$(\sin\delta = \delta) = \varpi\,[\sin D_{\overset{+}{\odot}} \cos D_* - \cos D_{\overset{+}{\odot}} \sin D_* \cos \text{Æ}_* \cos \text{Æ}_{\overset{+}{\odot}}$$
$$- \cos D_{\overset{+}{\odot}} \sin D_* \sin \text{Æ}_* \sin \text{Æ}_{\overset{+}{\odot}}].$$

Or, dans le triangle rectangle TΥE (*fig.* 161), vous avez

$$(\sin TE = \sin D_{\overset{+}{\odot}}) = \sin \Upsilon T . \sin \Upsilon = \sin \overset{+}{\odot} \sin\omega = -\sin\odot \sin\omega.$$

Vous avez, en outre, d'après ce que nous venons de voir pour la parallaxe d'ascension droite,

(2) Avec $\omega = 23°.27'.25''$ (n° 121).

$$\cos_{\odot} \cos \mathit{AR}_{♁} = \cos ♁ = -\cos \odot;$$

$$\cos D_{♁} \sin \mathit{AR}_{♁} = -\cos \odot \operatorname{tang} \mathit{AR}_{♁}$$
$$= -\cos \odot \operatorname{tang} ♁ \cos \omega = -\cos \odot \operatorname{tang} \odot \cos \omega = -\sin \odot \cos \omega.$$

D'où ($\sin \delta = \delta$)

$$= -\varpi \sin \odot \sin \omega \cos D_* + \varpi \cos \odot \sin D_* \cos \mathit{AR}_* + \varpi \sin \odot \cos \omega \sin D_* \sin \mathit{AR}_*$$

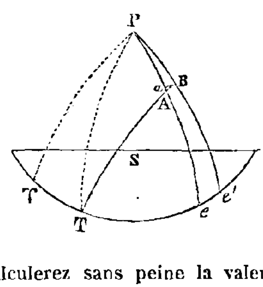
et, changeant les signes, pour avoir la parallaxe de déclinaison,

(B''') parallaxe annuelle en déclinaison

$$= \varpi [\sin \odot \sin \omega \cos D_* - \cos \odot \sin D_* \cos \mathit{AR}_* - \sin \odot \cos \omega \sin D_* \sin \mathit{AR}_*]$$
$$= \varpi \sin \odot \sin \omega \cos D_* - \varpi \sin D_* \Big[\tfrac{1}{2} \cos (\odot + \mathit{AR}_*) + \tfrac{1}{2} \cos (\odot - \mathit{AR}_*)$$
$$+ \tfrac{1}{2} \cos \omega \cos (\odot - \mathit{AR}_*) - \tfrac{1}{2} \cos \omega \cos (\odot + \mathit{AR}_*)\Big]$$
$$= \varpi \sin \odot \sin \omega \cos D_* - \varpi \sin D_* \Big[\cos (\odot + \mathit{AR}_*) \frac{1 - \cos \omega}{2}$$
$$+ \cos (\odot - \mathit{AR}_*) \frac{1 + \cos \omega}{2}\Big]$$
$$= 0{,}3981\, \varpi \sin \odot \cos D_* - \varpi \sin D_* [0{,}0413 \cos (\odot + \mathit{AR}_*) + 0{,}9587 \cos (\odot - \mathit{AR}_*)]$$

332. — Cette équation montre que si vous prenez une Étoile à grande déclinaison, le premier terme en $\cos D_*$ disparaissant, il n'y aura guère de sensible que $0{,}9587\, \varpi \sin D_* \cos (\odot - \mathit{AR}_*)$. Si, au contraire, vous preniez des Étoiles voisines de l'Équateur, c'est le terme $0{,}3981\, \varpi \sin \odot \cos D_*$ qui resterait; et comme la valeur maxima de ce terme ne peut dépasser $0{,}3981\, \varpi$, l'influence de la parallaxe serait alors beaucoup moindre que pour les Étoiles voisines du Pôle. Vous pouvez remarquer, en outre, qu'à six mois d'intervalle $\cos (\odot - \mathit{AR}_*)$ change de signe, parce que $\odot$ augmente de 180°. Les effets de la parallaxe en déclinaison s'ajouteront, par conséquent, l'un à l'autre dans vos observations ainsi espacées. Ils seront, d'ailleurs, les plus grands possibles pour $\odot - \mathit{AR}_* = 0°$ ou $= 180°$; ce qui indique la longitude $\odot$ du Soleil ou l'époque à prendre pour observer quand l'AR de l'Étoile est donnée, et l'AR à choisir pour l'Étoile quand, au contraire, vous avez fixé, d'avance, l'époque de l'observation. La parallaxe en déclinaison, une fois connue, vous calculerez sans peine la valeur de ϖ.

Fig. 162.



333. — Des remarques analogues s'appliqueraient à la détermination

de la parallaxe en ascension droite, dont l'effet principal donné par $\sin(Æ_* - \odot)$ diminue quand celui de la parallaxe en déclinaison, donné par les cosinus du même angle, augmente; particularité de laquelle vous pourriez tirer au besoin, comme je l'ai tenté moi-même dans les recherches encore inédites, un excellent moyen de vérification.

334. **Parallaxes annuelles de longitude et de latitude.** — Si pour compléter votre théorie vous vouliez avoir les parallaxes de longitude et de latitude, vous n'auriez, dans les formules (A′) et (B′), employées pour les ascensions droites et les déclinaisons, qu'à supposer : 1° $L = 0$, puisque l'observateur T serait toujours (*fig.* 162), à 90° du pôle P de l'Écliptique; 2° $P = \Upsilon pe = \Upsilon pe - \Upsilon p T =$ longitude Étoile longitude Terre $= E - \text{♁}$; et 3° $d = 90° -$ latitude de l'Étoile $= 90° - \lambda$;

4° enfin $\qquad \sin\left(P + \frac{1}{2}h\right) = \sin P \quad$ et $\quad \cos\frac{1}{2}h = 1.$

Les formules deviendraient alors

$$h = \frac{\varpi}{\cos\lambda}\sin(E - \text{♁})$$

ou, en série résultant de l'équation (C′)

$$h = \frac{\varpi}{\cos\lambda}\sin(E - \text{♁}) + \frac{1}{2}\frac{\varpi^2}{\cos^2\lambda}\sin 2(E - \text{♁}) + \frac{1}{3}\frac{\varpi^3}{\cos^3\lambda}\sin 3(E - \text{♁}) + \text{etc.}$$

Mais à cause de la petitesse de ϖ, le premier terme suffit.

$$(\sin\delta = \delta) = \text{parallaxe en latitude} = \varpi \sin\lambda\cos(E - \text{♁})$$

formules auxquelles vous arriveriez, du reste, aisément par le petit triangle Aab, dont le côté Aa représente l'effet de la parallaxe en latitude, et le coté Ba ou plulôt la projection $e'e = \frac{Ba}{\cos\lambda}$ de ce côté sur l'écliptique, l'effet de la parallaxe en longitude, car vous auriez

$Ba = BA \sin A = \varpi \sin TB \sin A = \varpi \sin TA \sin A = \varpi \sin Te = \varpi \sin(E - \text{♁})$,

par conséquent $h = \frac{Ba}{\cos\lambda} = \frac{\varpi}{\cos\lambda}\sin(E - \text{♁})$.

Vous auriez de même,

$$\delta = Aa = Ba \operatorname{tang} B = Ba \operatorname{cotang} A = \varpi \sin(E - \text{♁}) \sin Ae \operatorname{cotang} Te$$
$$= \varpi \sin\lambda\cos(E - \text{♁}) \text{ comme plus haut.}$$

Et à cause de $\text{♁} = 180° + \odot$, d'où résultent

$$\sin(E - \text{♁}) = \sin(E - 180° - \odot) = \sin(360° + E - 180° - \odot),$$
$$= \sin(180° + E - \odot) = -\sin(E - \odot),$$
$$\cos(E - \text{♁}) = \cos(180° + E + \odot) = -\cos(E - \odot),$$

vous avez enfin

$$h = -\frac{\varpi}{\cos\lambda}\sin(E - \odot) = \text{parallaxe annuelle de longitude},$$

$$\lambda = -\varpi \sin\lambda\cos(E - \odot) = \text{parallaxe annuelle de latitude.}$$

TABLE DES MATIÈRES.

Première Leçon.

Deuxième Leçon.

Troisième Leçon.

Quatrième Leçon.

Cinquième Leçon.

ASTRONOMIE STELLAIRE.

Sixième Leçon.

Septième Leçon.

Huitième Leçon.

Neuvième Leçon.

Dixième Leçon.

Onzième Leçon.

PRINCIPAUX PHÉNOMÈNES OCCASIONNÉS PAR L'ACTION CALORIFIQUE DU SOLEIL.

Douzième Leçon.

CONSTITUTION PHYSIQUE DU SOLEIL.

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

EXTRAIT DU CATALOGUE GÉNÉRAL

DE

GAUTHIER-VILLARS,

IMPRIMEUR-LIBRAIRE,

SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,

Quai des Augustins, 55, à Paris.

Le Catalogue général est envoyé aux personnes qui en font la demande par lettre affranchie.

En envoyant à M. Gauthier-Villars un mandat sur la Poste, ou des timbres-poste, on reçoit les Ouvrages *franco* dans toute la France.

ANNALES SCIENTIFIQUES DE L'ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE, publiées sous les auspices du *Ministre de l'Instruction publique*, par M. L. *Pasteur*, Membre de l'Institut, Directeur des Études scientifiques de l'École, avec un *Comité de Rédaction composé de MM. les Maîtres de Conférences.*

COMITÉ DE RÉDACTION : M. *Pasteur*, Directeur des Études scientifiques, Président. — **Mathématiques** : MM. *Briot, Hermite, Puiseux.* — **Physique** : M. *Verdet.* — **Chimie** : M. *H. Sainte-Claire Deville.* — **Histoire naturelle** : MM. *Delesse, Des Cloizeaux, Lacaze-Duthiers.*

Ces **ANNALES** paraissent tous les *deux mois*, et forment, chaque année, un volume in-4 d'environ 360 pages, avec figures dans le texte et planches sur cuivre.

Prix de l'abonnement pour un an (**6 NUMÉROS**).

Paris.............................	30 fr.
Départements....................	35 fr.
Étranger..........................	40 fr.

ANNALES DE L'OBSERVATOIRE IMPÉRIAL DE PARIS, publiées par M. *Le Verrier*. **PARTIE THÉORIQUE**, tomes I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII. In-4, avec planches. 216 fr.

Chaque volume se vend séparément. 27 fr.

Le VIII[e] volume est *sous presse*.

ANNALES DE L'OBSERVATOIRE IMPÉRIAL DE PARIS, publiées par M. *U.-J. Le Verrier*, Tomes I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XII, XIII, XIV, XV, XVI, XVII XVIII, XIX, XX des **OBSERVATIONS**. In-4 (en tableaux). 760 fr.

Chaque volume se vend séparément. 40 fr.

Ces volumes et ceux qui les suivront forment une série spéciale, distincte de la partie théorique des *Annales*. Cette série est destinée à la publication des Observations réduites et discutées, et paraît sous le titre : *Annales de l'Observatoire Impérial de Paris.* — **OBSERVATIONS**.

ANNUAIRE PHOTOGRAPHIQUE POUR 1866, 2e Année, par *A. Davanne*. In-18

Prix : Broché.................. 1 fr. 75 c.

Cartonné................ 2 fr. 25 c.

Réunir sous un format commode une foule de renseignements utiles que les Photographes trouvent dispersés dans les Traités spéciaux et dans les journaux; rendre compte des différents travaux de l'année écoulée; faire connaître les Sociétés photographiques françaises et étrangères, ainsi que les Expositions qu'elles organisent; énumérer les livres nouveaux; rappeler les procédés les plus employés dans un formulaire général disposé de telle sorte que chacun puisse le modifier à son gré; condenser ainsi en quelques pages les notions les plus nécessaires : tel est le but de ce livre.

ANNUAIRE POUR 1866, publié par le Bureau des Longitudes (*avec des Notices scientifiques*). In-18. 1 fr. 25 c.

ARAGO (F.), Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences. — **Analyse de la Vie et des Travaux de sir William Herschel**. In-18. 1 fr.

BABINET, membre de l'Institut (Académie des Sciences). — **Études et Lectures sur les Sciences d'observation et leurs applications pratiques.** In-12, sur papier fin.

Chaque volume se vend séparément....... 2 fr. 50 c.

1er volume : *sur les Mouvements extraordinaires de la mer.* — *Les Comètes au* XIX*e siècle.* — *La Télégraphie électri-*

que. — L'astronomie en 1852 *et* 1853. — *Astronomie descriptive. — La Perspective aérienne. — Le Stéréoscope et la vision binoculaire. — Voyage dans le ciel.*

2e volume : *les Tables tournantes et les manifestations prétendues surnaturelles. — L'Électricité ouvrière. — La Sibérie et les climats du Nord. — Influence des courants de la mer sur les climats, — sur les Tremblements de terre et sur la constitution intérieure du globe. — Bulletin de l'Astronomie et des Sciences pour* 1853 *et* 1854. — *De l'Arrosement du globe. — Des Tables tournantes au point de vue de la Mécanique et de la Physiologie. — La Météorologie en* 1854 *et ses progrès futurs.*

3e volume : *du Diamant et des Pierres précieuses. — Des Phares et de la Lumière artificielle. — Physique du globe. — Quillebœuf. — La Méditerranée. — De la Pluralité des mondes.*

4e volume : *la Terre avant les époques géologiques. — De la Constitution intérieure du globe terrestre et des Tremblements de terre. — De la Pluie et des Inondations. — L'Astronomie en* 1855. — *Les Saisons sur la terre et dans les autres planètes. — Sur les Progrès récents de la Galvanoplastie. — De l'Application des Mathématiques transcendantes. — La Vie aux divers âges de la terre. — Des Eaux minérales et de la Chaleur centrale de la terre.*

5e volume : *sur la Sécheresse, les Irrigations et les Reboisements. — (Séance des cinq Académies* 1858). — *XIX Articles sur l'Astronomie et la Météorologie*

6e volume : *de l'Aimant et du Magnétisme terrestre. — L'Océan islandais. — Théorie physique des Vêtements. — XIII Articles sur l'Astronomie et la Météorologie.*

7e volume : *sur les Pierres précieuses, à l'occasion d'un livre intitulé :* Lithiaka. — *De la Télégraphie sous-marine. — De la Télégraphie électrique et des Télégraphes sous-marins. — Théorie physique des vêtements. — Un jour d'observations dans les Pyrénées. — Cosmogonie de Laplace.* — **La grande Comète de 1861 :** *Les Comètes en général. — Newton et sa Théorie du mouvement des Comètes.* — **Astronomie et Météorologie :** XXX Articles.

Le tome VIII est sous presse.

BABINET, de l'Institut, et **HOUSEL,** professeur de Mathématiques. — **Calculs pratiques appliqués aux Sciences d'observation.** In-8, avec 75 figures dans le texte ; 1857. 6 fr.

BALTZER (Dr **Richard**), professeur au Gymnase de Dresde. — **Théorie et applications des Déterminants, avec l'indication des sources originales**, traduit de l'allemand, par *J. Hoüel*, docteur ès Sciences. In-8; 1861. 5 fr.

BARRESWIL et DAVANNE. — **Chimie photographique**, contenant les Éléments de Chimie expliqués par des exemples empruntés à la Photographie; les procédés de Photographie sur glace (collodion humide, sec ou albuminé), sur papiers, sur plaques; la manière de préparer soi-même, d'essayer, d'employer tous les réactifs, d'utiliser les résidus, etc.; 4e édition, revue, augmentée, et ornée de figures dans le texte. In-8; 1864. 8 fr. 50 c.

BASSET (**N.**), Chimiste. — **Précis de Chimie pratique**, ou **Éléments de Chimie vulgarisée**, renfermant les faits les plus incontestables de la Science chimique, les formules et les équivalents, les méthodes les plus rationnelles de préparation et d'analyse des corps les plus usuels, ainsi que les principales applications de la chimie aux arts et à l'industrie. In-18 jésus de 642 pages, avec figures dans le texte; 1861. 5 fr.

BAUDUSSON. — **Le Rapporteur exact, ou Tables des cordes de chaque angle, depuis une minute jusqu'à cent quatre-vingts degrés, pour un rayon de mille parties égales**, augmenté de la nouvelle division du cercle en parties centésimales. In-18, 4e édition; 1861. 2 fr.

BENOIT (**P.-M.-N.**), ingénieur civil, ancien élève de l'École Polytechnique, l'un des cinq fondateurs de l'École centrale des Arts et Manufactures. — **La Règle à Calcul expliquée**, ou **Guide du Calculateur à l'aide de la Règle logarithmique à tiroir**, dans lequel on indique le moyen de construire cet instrument, et l'on enseigne à y opérer toutes sortes de calculs numériques. Fort vol. in-12, avec pl. 5 fr.

La **Règle à Calcul** (*Instrument*) se vend séparément 6 fr.

BENOIT (**P.-M.-N.**). — **Guide du Meunier et du Constructeur de Moulins.** 1re *Partie:* Constructions des moulins. 2e *Partie :* Meunerie. 2 vol. in-8 de 900 pages, avec 22 planches contenant 638 figures; 1863. 16 fr.

BERTHELOT (**Marcellin**), professeur de Chimie organique à l'École de Pharmacie et chargé de cours au Collége de France. — **Leçons sur les Méthodes générales**

de synthèse en Chimie organique (Cours du Collége de France). In-8; 1864. 8 fr.

BERTRAND (**J.**), Membre de l'Institut, Professeur à l'École impériale Polytechnique et au Collége de France. — **Traité de Calcul différentiel et de Calcul intégral.** — (**CALCUL DIFFÉRENTIEL.**) *Beau volume in-4* de 836 pages, avec 106 *figures dans le texte*. Imprimé sur carré fin des Vosges; 1864. 30 fr.

BILLET, professeur de Physique à la Faculté des Sciences de Dijon. — **Traité d'Optique physique.** 2 forts vol. in-8 avec 14 pl. composées de 337 fig.; 1858. 15 fr.

BIOT, membre de l'Académie des Sciences et de l'Académie Française. — **Traité élémentaire d'Astronomie physique,** 3e édition, corrigée et augmentée. 5 volumes in-8 avec 94 planches; 1857. 65 fr.

BIOT. — **Tables barométriques portatives,** donnant les différences de niveau par une simple soustraction. In-8. 1 fr. 50 c.

BOILEAU (**P.**), professeur de Mécanique appliquée à l'École impériale d'application de l'Artillerie et du Génie. — **Traité de la Mesure des Eaux courantes.** In-4, avec 7 planches. 20 fr.

BONNET (**Ossian**), répétiteur à l'École Polytechnique. — **Leçons de Mécanique élémentaire,** à l'usage des Candidats à l'École Polytechnique et à l'École Normale supérieure. *Première partie* avec 135 *figures intercalées dans le texte*. In-8; 1858. 4 fr. 50 c.

BOUCHARLAT (**J.-L.**), professeur de Mathématiques transcendantes aux Écoles militaires. — **Théorie des Courbes et des Surfaces du second ordre, ou Traité complet d'application de l'Algèbre à la Géométrie.** 3e édition, revue, corrigée et augmentée de **Notes** et des **Principes de la Trigonométrie rectiligne.** In-8, avec planches; 1845. 8 fr.

BOUCHARLAT (**J.-L.**). — **Éléments de calcul différentiel et de calcul intégral.** 7e édition, in-8, avec planches; 1858. 8 fr.

BOUCHARLAT (**J.-L.**). — **Éléments de Mécanique.** 4e édition; 1 volume in-8, avec 10 planches; 1861. 8 fr.

BOUCHARLAT. — **Remarques sur la partie élémentaire de l'Algèbre.** In-8. 1 fr.

BOUCHET (Jules), Chef des travaux graphiques à l'École Centrale. — **Exercices de Dessin linéaire et de Lavis** à l'usage des aspirants à l'École centrale des Arts et Manufactures. (*Recueil approuvé par le Conseil des Études.*) In-folio oblong. 6 fr.

BOUR (Edm.), Ingénieur des Mines. — **Cours de Mécanique et Machines**, professé à l'École Polytechnique. **CINÉMATIQUE.** In-8 avec Atlas de 30 planches in-4 gravées sur cuivre; 1865. 10 fr.

BOURDON, ancien Examinateur d'admission à l'École Polytechnique. — **Éléments d'Arithmétique.** 33^e édit., rédigée conformément aux nouveaux Programmes de l'enseignement dans les Lycées. In-8; 1864. (*Adopté par l'Université.*) 4 fr.

BOURDON. — **Application de l'Algèbre à la Géométrie**, comprenant la Géométrie analytique à deux et à trois dimensions. 5^e édit., rédigée conformément aux nouveaux *Programmes* de l'enseignement dans les Lycées. In-8, avec pl.; 1854. (*Adopté par l'Université.*) 7 fr. 50 c.

BOURDON — **Éléments d'Algèbre**, avec Notes signées *Prouhet*. 12^e éd., in-8; 1860. (*Adopté par l'Univ.*) 8 fr.

BOURDON. — **Trigonométrie rectiligne et sphérique.** In-8, avec figures dans le texte; 1854. (*Adopté par l'Université.*) 3 fr.

BOURGEOIS et CABART, anciens élèves de l'École Polytechnique. — **Leçons nouvelles sur les applications pratiques de la Géométrie et de la Trigonométrie.** 2^e édition, revue et corrigée, entièrement conforme aux *Programmes officiels*. In 8 avec pl.; 1857. 3 fr. 50 c.

BOUSSINGAULT, Membre de l'Institut. — **Agronomie, Chimie agricole et Physiologie.** 2^e *édition*. 3 volumes in-8, avec planches sur cuivre et figures dans le texte; 1860-1861-1864. 15 fr.

Chaque volume se vend séparément. 5 fr.

BRAVAIS (A.), Membre de l'Institut. — **Études cristallographiques.** In-4 avec 5 planches; 1866. 20 fr.

BRESSE, Professeur de Mécanique à l'École des Ponts et Chaussées, Répétiteur à l'École Polytechnique. — **Cours de Mécanique appliquée professé à l'École des Ponts et Chaussées.**

Première Partie : *Résistance des Matériaux et Stabilité des Constructions.* In-8, avec fig. dans le texte; 1859. 8 fr.

Deuxième Partie : *Hydraulique*. In-8, avec figures dans le texte et une planche; 1860. 8 fr.

Troisième Partie : *Calcul des Moments de flexion dans une poutre à plusieurs travées solidaires*. In-8, avec planche et atlas in-folio de 24 planches sur cuivre; 1865. 16 fr.

Chaque partie se vend séparément.

BRESSON. — **Traité élémentaire de Mécanique appliquée aux Sciences physiques et aux Arts.** — **Mécanique des corps solides.** In-4, et atlas de 18 planches doubles. 15 fr.

BRIOSCHI (**F**), professeur de Mathématiques à l'Université de Pavie. — **Théorie des Déterminants et leurs principales applications**; traduit de l'italien par M. *E. Combescure*, profes^{r} de Mathémat. In-8; 1856. 5 fr.

BRIOT, professeur de Mathématiques au Lycée Louis-le-Grand, maître de conférences à l'Ecole Normale supérieure, et **BOUQUET,** professeur de Mathématiques spéciales au Lycée Louis-le-Grand, répétiteur à l'Ecole Polytechnique. — **Théorie des fonctions doublement périodiques et en particulier des Fonctions elliptiques.** In 8, avec figures; 1859. 6 fr.

BRIOT (**Charles**), Professeur au lycée Saint-Louis, Maître de Conférences à l'Ecole Normale supérieure. — **Essais sur la Théorie mathématique de la Lumière.** In-8 avec figures dans le texte; 1864. 4 fr.

CABANIÉ, charpentier, professeur du Trait de Charpente, de Mathématiques, etc. — **Charpente générale théorique et pratique.** 2 volumes in folio avec planches. 2^{e} édition; 1864. 60 fr.

On vend séparément le tome I^{er}, **Bois droit**. 30 fr.

Le tome II, **Bois croche**. 30 fr.

CAHOURS (**Auguste**), examinateur de sortie pour la Chimie à l'École impériale Polytechnique. — **Traité de Chimie générale élémentaire**. Leçons professées à l'Ecole centrale des Arts et Manufactures. 2^{e} édition. 3 vol. in-18 avec figures et planches; 1860. (*L'Introduction de cet Ouvrage dans les Écoles publiques est autorisée par décision de S. Exc. M. le Ministre de l'Instruction publique et des Cultes en date du 5 août 1862.*) 12 fr.

CAILLET (**V.**), examinateur de la Marine. — **Tables de réfractions astronomiques**; précédées d'un Rapport fait au Bureau des Longitudes par M. *Largeteau*, membre de l'Institut et du Bureau des Longitudes. In-8. 2 fr.

CATALAN (E.), ancien élève de l'École Polytechnique. — **Manuel des Candidats à l'École Polytechnique.**

Tome Ier : **Algèbre, Trigonométrie, Géométrie analytique à deux dimensions.** In-18, avec 167 figures dans le texte; 1857. 5 fr.

Tome II : **Géométrie analytique à trois dimensions, Mécanique.** In-18, avec 139 figures dans le texte; 1858. 4 fr.

Chaque volume se vend séparément.

CAUCHY (Aug.). — **Résumés analytiques.** 5 num. in-4. Turin; 1833. Ouvrage complet. 6 fr.

CAUCHY (Aug.). — **Nouveaux exercices de Mathématiques.** In-4 de 8 cahiers. Prague; 1835 et 1836. 12 fr.

CHARPENTIER (F.-E.-A.), ancien officier supérieur. — **De la Pesanteur terrestre.** In-8; 1859. 3 fr. 50 c.

CHASLES, membre de l'Institut. — **Les trois livres de Porismes d'Euclide**, rétablis pour la première fois, d'après la Notice et les Lemmes de Pappus, et conformément au sentiment de R. Simson sur la forme des énoncés de ces propositions. In-8, avec 259 figures; 1860. 10 fr.

CHASLES, Membre de l'Institut. — **Traité des Sections coniques**, faisant suite au **Traité de Géométrie supérieure.** *Première partie.* In-8 avec 5 planches gravées sur cuivre, et contenant 133 figures; 1865. 9 fr.

La seconde partie, qui est sous presse, se vendra de même séparément.

CHEVIGNÉ (le Comte Arthur de). — **Tables numériques** destinées à faciliter les opérations topographiques, calculées pour la division sexagésimale de la circonférence. 2e édition, in-16 avec 2 pl.; 1863. 1 fr. 50 c.

CHEVREUL (M.-E.), membre de l'Institut — **De la Baguette divinatoire, du Pendule dit explorateur et des Tables tournantes, au point de vue de l'Histoire, de la Critique et de la Méthode expérimentale.** In-8. 3 fr.

CHOQUET, docteur ès Sciences et ancien répétiteur à l'École d'Artillerie de la Flèche, professeur de Mathématiques. — **Traité d'Algèbre.** In-8; 1856. 7 fr. 50 c.

Cette édition contient le supplément à l'**Algèbre** de MM. **MAYER** et **CHOQUET.** (*L'Introduction de cet*

Ouvrage dans les Ecoles publiques a été autorisée par décision du Minitre de l'Instruction publique et des Cultes.)

COMBEROUSSE (**Charles de**), ingénieur civil, examinateur d'admission à l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures, répétiteur de Mécanique appliquée à la même Ecole, professeur de Mathématiques et de Mécanique au Collége Chaptal. — **Cours de Mathématiques**, à l'usage des Candidats à l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures, *pouvant servir également à tous les Elèves qui se destinent* aux autres Ecoles du Gouvernement. 3 volumes. in-8, avec figures intercalées dans le texte et planches (pris ensemble). 25 fr.

Chaque volume se vend séparément :

Le Tome Ier, Arithmétique et Algèbre élémentaire (avec 21 figures dans le texte). 7 fr. 50 c.

Le Tome II, Géométrie plane, Géométrie dans l'espace, Complément de Géométrie, Trigonométrie, Complément d'Algèbre (avec 466 figures dans le texte). 10 fr.

Le Tome III, Géométrie analytique, Géométrie descriptive (avec Atlas de 53 pl., contenant 274 fig.). 10 fr.

CONNAISSANCE DES TEMPS OU DES MOUVEMENTS CÉLESTES A L'USAGE DES ASTRONOMES ET DES NAVIGATEURS.

Prix de chaque année sans Additions. 3 fr. 50 c.

1866, avec Additions par M. Delaunay et par M le duc de Luynes et M. Vignes. 6 fr. 50 c.

1867, avec Additions. 6 fr. 50 c.

On peut se procurer la Collection complète, ou des années séparées de cet ouvrage, depuis 1760 jusqu'à 1867.

CONSOLIN (**B.**), Maître Voilier entretenu de la Marine impériale et professeur du Cours de Voilerie à Brest. — **Manuel du Voilier**, revu et publié par ordre de S. Exc. M. l'Amiral *Hamelin*, Ministre de la Marine. Ouvrage approuvé pour l'instruction des Elèves de l'Ecole Navale et pour celle des Voiliers des arsenaux. Grand in-8 sur jésus, de 528 pages et 11 planches; 1859. 12 fr.

CONSOLIN (**B.**), Auteur du *Manuel du Voilier*, Professeur du Cours de Voilerie à Brest. — **Méthode pratique de la Coupe des voiles des navires et embarcations**, suivie de Tables graphiques facilitant les diverses opérations de la coupe, avec ou sans calcul; ouvrage offrant aux Capitaines des renseignements utiles à la mer. In-12 avec 3 planches; 1863. 3 fr.

CONSOLIN (B.). — L'Art de voiler les Embarcations, suivi d'un **Aide-mémoire de voilerie.** Ouvrage destiné aux jeunes Marins, ainsi qu'aux Constructeurs et Propriétaires de canots de plaisance et de servitude. In-12, avec une grande planche; 1866. 2 fr.

CRESSON, Professeur. — **Principes de Dessin** pour préparation à tous les genres. **40 grands modèles gradués,** format demi-jésus, lithographiés, avec un texte explicatif; 1865. 8 fr.

DARCY. — Recherches expérimentales relatives au mouvement des eaux dans les tuyaux. In-4 avec 12 grandes planches; 1857. 20 fr

DAVANNE et GIRARD. — Recherches théoriques et pratiques sur la formation des épreuves photographiques positives. In-8; 1864. 4 fr.

DE LA GOURNERIE, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, professeur de Géométrie descriptive à l'Ecole Polytechnique et au Conservatoire des Arts et Métiers. — **Traité de Perspective linéaire,** honoré de la souscription de *S. Exc. M. le Ministre de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux publics.* In-4, avec atlas de 45 planches in-folio dont 8 doubles; 1859. 40 fr.

DE LA GOURNERIE. — Traité de Géométrie descriptive. In-4, publié en trois *Parties* avec Atlas; 1860-1862-1864. 30 fr.

Chaque Partie se vend séparément 10 fr.

La 1re *Partie*, avec Atlas de 52 planches, contient quatre Livres qui sont consacrés : 1° à la ligne droite et au plan; 2° au cône, au cylindre et aux surfaces de révolution; 3° aux projections cotées; 4° aux perspectives axonométrique, monodymétrique, isométrique et cavalière. Les deux premiers Livres contiennent tout ce qui est exigé pour l'admission à l'Ecole Polytechnique.

La 2e *Partie*, avec Atlas de 52 planches, comprend le Ve livre, relatif à la détermination des Ombres, avec figures géométrales, axonométriques et cavalières, et les VIe et VIIe livres consacrés aux surfaces développables et gauches.

La 3e *Partie*, avec Atlas de 46 planches, contient les principales propositions de la théorie de la courbure des surfaces avec leurs applications aux arts graphiques et les constructions relatives aux surfaces hélicoïdales et topographiques.

Paris. — Imprimerie de Gauthier-Villars, rue de Seine-Saint-Germain, 10.

IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS, SUCCESSEUR DE
Paris, rue de Seine-Saint-Germain, 10, pr