

ACADEMIE ROYALE
des sciences, des lettres & des beaux-arts
DE BELGIQUE



Cette œuvre littéraire est soumise à la législation belge en matière de droit d'auteur.
Elle a été publiée et numérisée par l'Académie royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique.

Utilisation

L'Académie royale de Belgique met gratuitement à la disposition du public les copies numérisées d'œuvres littéraires appartenant au domaine public : aucune rémunération ne peut être réclamée par des tiers ni pour leur consultation ni au prétexte du droit d'auteur.

Pour les œuvres ne faisant pas encore partie du domaine public, l'Académie royale de Belgique aura pris soin de conclure un accord avec les ayants droit afin de permettre leur numérisation et mise à disposition.

Les documents numérisés peuvent être utilisés à des fins de recherche, d'enseignement ou à usage privé.

Quiconque souhaitant utiliser les documents à d'autres fins et/ou les distribuer contre rémunération est tenu d'en demander l'autorisation à l'Académie royale de Belgique (Palais des Académies, rue Ducale, 1 - B-1000 Bruxelles), en joignant à sa requête, l'auteur, le titre et l'éditeur du ou des documents concernés.

Pour toutes les utilisations autorisées, l'usager s'engage à citer, dans son travail, les documents utilisés par la mention « Académie royale de Belgique » accompagnée des précisions indispensables à l'identification des documents.

Par ailleurs, quiconque publie un travail – dans les limites des utilisations autorisées – basé sur une partie substantielle d'un ou plusieurs document(s) numérisé(s) s'engage à remettre ou à envoyer gratuitement à l'Académie royale de Belgique, un exemplaire ou à défaut, un extrait justificatif de cette publication.

Responsabilité

Malgré les efforts consentis pour garantir les meilleures conditions d'accessibilité et de qualité des documents numérisés, des défectuosités peuvent y subsister. L'Académie royale de Belgique décline toute responsabilité concernant les coûts, dommages et dépenses entraînés par l'accès et l'utilisation des documents numérisés. Elle ne pourra en outre être mise en cause dans l'exploitation subséquente des documents numérisés et la dénomination « Académie royale de Belgique » ne pourra être ni utilisée, ni ternie au prétexte d'utiliser des documents numérisés mis à disposition par elle.

Les liens profonds, donnant directement accès à une copie numérique particulière, sont autorisés si :

1. les sites pointant vers ces documents informent clairement leurs utilisateurs qu'ils y ont accès via le site web de l'Académie royale de Belgique ;
2. l'utilisateur, cliquant sur un de ces liens profonds, devra voir le document s'ouvrir dans une nouvelle fenêtre. Cette action pourra être accompagnée de l'avertissement « Vous accédez à un document du site web de l'Académie royale de Belgique ».

Reproduction

Sous format électronique

Pour toutes les utilisations autorisées mentionnées dans ce règlement, le téléchargement, la copie et le stockage des données numériques sont permis ; à l'exception du dépôt dans une autre base de données, qui est interdit.

Sous format papier

Pour toutes les utilisations autorisées mentionnées dans le présent texte, les fac-similés exacts, les impressions et les photocopies, ainsi que le copié/collé sont permis.

Références

Quel que soit le support de reproduction, la suppression des références à l'Académie royale de Belgique dans les copies numériques est interdite.

MÉMOIRE SUR L'IRRADIATION,

PAR J. PLATEAU,

MEMBRE DE L'ACADEMIE, PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ DE GAND.

(Lu à la séance du 3 novembre 1838.)





MÉMOIRE

SUR

L'IRRADIATION.



CONSIDÉRATIONS PRÉLIMINAIRES.

1. Le but que je me suis proposé dans ce Mémoire est de faire disparaître les incertitudes qui règnent encore aujourd'hui parmi les astronomes et les physiciens sur l'existence même de l'irradiation, et de substituer, aux notions vagues que l'on possède maintenant, des idées plus précises sur la cause du phénomène, sur l'influence qu'il peut exercer dans les observations astronomiques, et sur les lois qui le régissent.

2. *L'irradiation* est le phénomène en vertu duquel un objet lumineux environné d'un espace obscur, paraît plus ou moins amplifié. On en cite ordinairement comme exemple, l'apparence que manifeste la lune lorsqu'elle se montre sous la forme d'un croissant et laisse dis-

MÉMOIRE

tinguer en même temps le reste de son disque, faiblement éclairé par la lumière cendrée : le contour extérieur de la portion lumineuse semble présenter alors une forte saillie sur celui de la portion obscure ; en d'autres termes, le croissant paraît faire partie d'un disque très-sensiblement plus grand que celui auquel appartient le reste de l'astre.

Cet empiétement apparent du bord d'un objet lumineux sur l'espace obscur qui l'entoure, entraîne une illusion opposée pour un objet obscur projeté sur un champ lumineux. Les dimensions de cet objet paraissent diminuées ; car alors l'irradiation produite le long de son contour par le champ lumineux environnant, s'étend en dedans de ce contour.

3. Il est inutile d'insister sur l'importance de l'irradiation en astronomie. Une illusion qui tend à accroître les dimensions apparentes des objets lumineux projetés sur un fond obscur, et à diminuer celles des objets obscurs projetés sur un champ lumineux, paraît devoir exercer une influence plus ou moins prononcée sur toutes les observations qui ont pour objet la mesure des diamètres apparens des corps célestes, les éclipses, les passages des planètes devant le soleil, etc. Aussi le phénomène a-t-il exercé particulièrement la sagacité des astronomes ; mais ce qu'il y a de remarquable, c'est que les observations présentent à cet égard la plus grande divergence. Les unes semblent indiquer une influence notable de l'irradiation, les autres paraissent complètement exemptes des erreurs qu'elle entraîne. De là aussi une divergence d'opinion parmi les astronomes relativement à l'existence même de l'irradiation, les uns admettant cette existence, les autres la révoquant en doute. Il est donc important de chercher la vérité au milieu de ces incertitudes, et de déterminer les causes qui ont dû les faire naître. Je mettrai, j'espère, hors de doute que l'irradiation existe réellement, que c'est l'un des phénomènes de vision les plus faciles à constater, qu'elle peut même être mesurée avec précision, et que si, dans les observations faites à travers les instrumens astronomiques, elle a quelquefois cessé de manifester son influence, cela tient à des circonstances dont on peut aisément se rendre compte.



SUR L'IRRADIATION.

5

4. D'un autre côté, plusieurs théories ont été successivement proposées pour expliquer la cause de l'irradiation. L'une d'entre elles, quoique très-ancienne, est encore adoptée en général aujourd'hui. Elle consiste à admettre que l'impression produite au fond de l'œil par un objet lumineux, se propage sur la rétine jusqu'à une petite distance tout autour de l'espace directement excité par la lumière, de sorte que la sensation totale correspond alors à une image un peu plus grande que la véritable. Cette hypothèse si simple a cependant trouvé des adversaires, et récemment même une explication différente a été mise en avant. J'aurai donc à examiner les diverses théories proposées, et je tâcherai d'appuyer de nouvelles preuves celle dont je viens de rappeler le principe.

5. Enfin le phénomène est régi par des lois remarquables et qui peuvent conduire à des procédés propres à garantir de son influence les observations astronomiques. Parmi ces lois, les unes étaient déjà connues quoique d'une manière assez vague, les autres m'ont été indiquées par l'expérience. Je donnerai des procédés simples pour les constater toutes, et je tâcherai d'arriver à la mesure de celles qui ont le plus d'importance.

Afin d'aborder ces différens sujets avec connaissance de cause, il convient de tracer en premier lieu l'exposé historique des recherches et des opinions des savans sur le phénomène qui nous occupe. Le lecteur sera ainsi à même d'apprécier nettement l'état actuel de la question.

PRÉCIS HISTORIQUE.

6. Le phénomène de l'irradiation a été observé très-anciennement. Épicure¹ parle de la différence de grandeur que paraît présenter une

¹ Lettre à Pythocèles. Voir *Diogène de Laerce*.

MÉMOIRE

flamme lorsqu'on la regarde de loin pendant le jour et pendant la nuit, et cela pour montrer que l'œil peut commettre de petites erreurs dans l'estimation de la grandeur des corps célestes. Ce philosophe soupçonnait donc déjà l'influence de l'irradiation en astronomie.

C'est probablement aussi à l'irradiation que Perse fait allusion dans les deux premiers vers de la satire III :

..... *Jam clarum mane fenestras
Intrat et angustas extendit lumine rimas.*

7. Parmi les premiers qui essayèrent d'expliquer le phénomène, les uns, comme nous l'apprend un ami de Galilée¹, disaient que les corps lumineux, tels que les astres ou les lumières artificielles, *enflammaient* l'air environnant, de sorte que l'œil placé à une distance suffisante confondait l'objet avec son auréole, et le jugeait ainsi plus grand. Les autres, suivant Gassendi², attribuaient l'accroissement apparent d'une flamme observée de loin, à ce que l'air environnant était vivement illuminé par des particules subtiles émanant continuellement de la flamme³.

8. En 1604, une explication plus rationnelle, et qui plaçait la cause du phénomène dans l'œil même de l'observateur, fut présentée par Kepler⁴. Selon lui, quand un point lumineux est placé au delà d'une

¹ *Discorso delle comete di Mario Guiducci*, écrit en 1619 (*OPERE DI GALILEO GALILEI*. Florence, 1718 , tom. II , page 236).

² *Epistola III^a de proportione quā gravia accidentia accelerantur*, écrite en 1642 (*PETRI GASSENDI OPERA OMNIA*. Florence , 1727 , tom. III , pag. 583).

³ Ces singulières idées ont eu des partisans parmi les modernes. Ainsi on les retrouve peu modifiées dans un ouvrage qui parut en 1738 , intitulé : *Manuel physique , ou manière courte et facile d'expliquer les phénomènes de la nature*, par Dufieu (pag. 376 , question XLII). L'auteur attribue le phénomène à ce que l'air environnant est éclairé par la lumière de la flamme. Il est juste d'ajouter qu'il n'étend pas cette théorie à l'irradiation des astres , et qu'il explique par une extension de l'impression sur la rétine , la saillie apparente du croissant lumineux de la lune (pag. 373 , quest. XI.I).

⁴ *Ad Vitellionem paralipomena quibus astronomiae pars optica traditur*. Francfort , 1604 , pag. 217 et suiv. Voyez aussi, pour les propositions préalables sur lesquelles s'appuie la théorie, pag. 199 , prop. XXVI , et pag. 200 , prop. XXVII.

SUR L'IRRADIATION.

7

certaine distance qui est déterminée pour chaque individu, les rayons reçus dans l'œil se réunissent avant d'avoir atteint la rétine, de sorte qu'éprouvant ensuite une nouvelle séparation, ils vont peindre sur cette membrane, non un point, mais une petite surface. De là l'explication de l'accroissement apparent que présentent de loin les objets éclatans et environnés d'objets obscurs : car cette dilatation des pinceaux lumineux doit évidemment étendre sur la rétine les limites des images, et les objets qui ont beaucoup d'éclat doivent paraître alors empiéter sur les autres. *Si æqualis omnia claritatis fuissent,* dit Kepler, *visio confusa esset ; jam vero, quia lucida præpollent, quantitate vitiantur.* Il admet, d'un autre côté, que la production de cette illusion exige une certaine irritabilité de la rétine, qui la rende capable d'être affectée non-seulement dans le point qui correspondrait à une vision distincte, mais aussi tout autour de ce point, par l'ensemble des rayons qui forment le pinceau lumineux dilaté ; ainsi Kepler ne considère pas le phénomène comme se produisant chez tous les individus. Cette théorie est, comme on le voit, très-spécieuse : aussi a-t-elle été plus d'une fois reproduite depuis¹. Cependant on admet en général aujourd'hui, qu'il n'existe pas de limite d'éloignement au delà de laquelle un œil de conformation normale ne puisse amener sur la rétine le foyer des pinceaux lumineux. D'ailleurs, comme je le montrerai plus loin (§ 71), l'irradiation se manifeste également à la distance même à laquelle chaque personne place les objets pour les voir nettement dans l'état naturel de l'œil, à celle, par exemple, où l'on tient un livre. Je n'ai pas besoin de faire remarquer ici que le phénomène de l'irradiation n'est pas particulier à certains yeux comme le pensait Kepler : c'est une opinion que personne n'a reproduite, et qui est contredite par les faits ; seulement, comme je m'en suis assuré, l'intensité du phénomène est plus ou moins grande dans les différens yeux, et varie aussi chez la même personne (§§ 53, 77, 79, 87-89).

¹ Voy. *Histoire de l'Académie des sciences de Paris pour 1699*, pag. 79 (vol. imprimé en 1732). — *Essai sur la vision distincte et confuse*, par Jurin, § 53 et suiv., publié en 1738, à la suite du Traité d'optique de Smith (Traduction de Pezenas, tom. I). — etc.



MÉMOIRE

Kepler rapporte, comme exemples de l'accroissement apparent des objets lumineux, plusieurs faits parmi lesquels je choisis les suivans (il ne faut pas oublier que tous résultent d'observations faites sans l'emploi d'instrumens grossissans; les lunettes astronomiques n'ayant été connues que quelques années plus tard) : Le contour extérieur du croissant lumineux de la lune paraît faire partie d'un cercle beaucoup plus grand que celui qui termine le reste du disque éclairé par la terre ; pendant une éclipse de lune, en 1603 , plusieurs personnes qui pouvaient distinguer le bord extérieur de la partie éclipsée , observèrent un effet analogue. Dans les éclipses de soleil, les personnes mêmes qui jouissent d'une bonne vue sont quelque temps avant d'apercevoir le commencement du phénomène , puis une échancrure d'une certaine étendue semble se produire tout à coup ; les cornes que présente ensuite la portion visible du soleil paraissent notablement émoussées ; enfin l'étendue de la partie éclipsée se montre toujours trop petite , la partie lumineuse empiétant sur le bord de la lune.

A l'époque où Kepler écrivait l'ouvrage cité en note , on n'enseignait sur les fonctions des différentes parties de l'œil et sur la marche des rayons dans cet organe , que les erreurs les plus grossières. C'est dans le même ouvrage que ce grand homme , renversant d'un seul coup toutes ces absurdités , posa les vrais principes de la théorie de la vision. S'il se trompa à l'égard de l'irradiation , c'est qu'il ne connut pas nettement la propriété que possède un œil bien conformé de s'accommoder aux différentes distances des objets : on le conçoit aisément , car sa propre vue était mauvaise , et les objets éloignés lui paraissaient multiples. Bien qu'inadmissible aujourd'hui , l'explication qu'il donne du phénomène dont nous nous occupons peut être regardée comme un trait de plus de son génie.

9. Les lunettes astronomiques , en détruisant un grand nombre de fausses apparences dont l'irradiation oculaire était la source , donnèrent à ce phénomène un nouveau degré d'évidence. Aussi Galilée en a fait une étude particulière , et il y revient plusieurs fois dans le cours de ses ouvrages. D'après lui , l'irradiation provient soit d'une réfrac-



SUR L'IRRADIATION.

9

tion dans l'humeur que les paupières maintiennent sur la partie antérieure de l'œil¹, soit d'une réflexion sur les bords humides des paupières², et elle est de la même nature que ces longues traînées lumineuses que l'on voit s'échapper des parties supérieure et inférieure d'un objet brillant, quand on ferme en partie les yeux. Il est inutile de faire observer qu'un pareil rapprochement serait aujourd'hui tout-à-fait insoutenable, et Galilée lui-même paraît avoir conçu, à la fin, des doutes sur sa propre théorie, comme on le voit par un passage de ses dialogues sur le système du monde, dernier ouvrage où il parle de l'irradiation³. Qu'il me soit permis de donner ici un exposé rapide des observations de ce grand homme sur la matière qui nous occupe, et de faire voir ainsi que si les causes qu'il assigne au phénomène ne peuvent être admises, il avait du moins porté la connaissance des lois qui régissent celui-ci, à peu près au point où elle en est encore aujourd'hui.

Je commencerai par rapporter une partie des faits qu'il cite pour constater la production du phénomène. Ainsi, peu de temps après le coucher du soleil, lorsqu'on commence à distinguer quelques étoiles, elles paraissent d'une excessive petitesse, et semblent grandir ensuite en devenant plus rayonnantes, à mesure que le crépuscule s'efface. Il en est de même des planètes, et Vénus, lorsqu'on l'aperçoit en plein jour, est à peine comparable à une étoile de la dernière grandeur. Ce n'est pas seulement la lumière du jour qui peut dépourrir les astres de leur auréole factice : un léger nuage interposé produit le même effet, et on l'obtient également en plaçant devant l'œil un verre coloré

¹ *Discorso delle comete* (ŒUVRES DE GALILÉE déjà citées, tom. II, pag. 237). Ce discours est écrit par Mario Guiducci, mais il reproduit les idées de Galilée.

² *Il Saggiatore*, publié en 1623 (*ibid.*, tom. II, pag. 393).

³ *Affirmo, objecta resplendentia, seu quia lumen illorum in humiditate, quæ suprà pupillas est, refringitur, seu quia reflectitur in crepidinibus palpebrarum, spargendo radios suos reflexos super easdem pupillas, seu denique propter aliam causam, ingeri oculo nostro circumdata novis radiis, et proindè majorem habentia speciem, quam eorum corpora tali irradiatione nudata representarent.* (GALILEI SYSTEMA COSMICUM. Lyon, 1641, dial. III, pag. 248.) Cet ouvrage de Galilée a été publié d'abord en italien, en 1632.

ou un voile noir. Enfin les lunettes astronomiques possèdent aussi le pouvoir d'atténuer les effets de l'irradiation, et c'est pour cela que ces instrumens, qui grossissent considérablement tous les autres objets, changent à peine les dimensions des étoiles fixes, et font disparaître les différences de grandeur que ces astres ainsi que les planètes manifestent à l'œil nu suivant que le ciel est plus ou moins obscur. Par la même raison encore, les lunettes nous découvrent dans les planètes une figure déterminée, et nous en montrent les contours nettement dessinés : on distingue ainsi parfaitement la forme ronde de Jupiter, les phases de Vénus, etc., tandis qu'à l'œil nu, tout se confond sous une même apparence rayonnante. Cette propriété des lunettes s'explique d'ailleurs aisément, car les objets ne pouvant être grossis par elles, que lorsqu'ils sont situés au delà de l'instrument, la chevelure lumineuse de l'irradiation, qui a son siège dans l'œil de l'observateur, ne doit point participer à cette amplification¹.

10. Quant aux lois du phénomène, Galilée a été conduit, dans le cours de ses recherches, aux principes suivans :

1° L'irradiation est d'autant plus grande, que l'objet est plus éclatant.

En effet, on s'assure aisément, par exemple, que Mars et surtout Mercure, qui sont plus rapprochés du soleil et par conséquent plus lumineux que Jupiter et Saturne, ont aussi une irradiation plus forte : car il est plus difficile de la leur enlever à l'aide de la lunette, et de distinguer ainsi leur véritable figure².

2° L'irradiation est aussi d'autant plus grande, que le champ sur lequel se détache l'objet est plus sombre.

Il suffit pour s'en convaincre, de comparer les dimensions apparentes des étoiles observées à l'œil nu, d'abord au crépuscule, puis pendant la nuit³.

¹ *Lettera di Galileo Galilei al padre Cristoforo Grienberger*, écrite en 1611 (OEUVRES DE GALILÉE, tom. II, pag. 467 et 469). — *Sydereus Nuncius*, 1610 (*ibid.*, pag. 18). — *Discorso delle comete* (*ibid.*, pag. 253-257). — *Il Saggiatore* (*ibid.*, pag. 396).

² *Lettera al P. Grienb.* (OEUVRES DE GALILÉE, tom. II, pag. 467 et 468.)

³ *Ibid.*, pag. 468.

SUR L'IRRADIATION.

11

3^o L'irradiation, qui amplifie un objet lumineux sur un champ obscur, diminue au contraire les dimensions apparentes d'un objet sombre sur un champ lumineux.

C'est alors l'irradiation du fond qui empiète sur l'objet¹. Ainsi Vénus passant sur le disque du soleil, devrait paraître beaucoup plus petite que lorsqu'elle se montre brillante sur un ciel obscur, puisqu'elle est amplifiée dans ce dernier cas, et qu'elle serait diminuée dans le premier².

4^o Enfin, l'irradiation est d'autant plus grande par rapport à l'objet, et a d'autant plus d'influence pour en masquer la figure réelle, que cet objet est plus petit.

En effet, une chevelure lumineuse d'une certaine longueur entourant un objet de petites dimensions, doit apporter bien plus d'altération à la forme apparente de celui-ci, qu'une chevelure de même longueur entourant un objet de dimensions considérables. Aussi, tandis qu'à l'œil nu il est impossible, par exemple, de distinguer la figure de Jupiter, celle de la lune se montre nettement dessinée. D'un autre côté, l'irradiation, trop petite relativement aux dimensions de la lune pour masquer la figure générale de cet astre, suffit encore pour nous dérober, même dans la lunette, les petites inégalités qui doivent denteler sa circonférence extérieure. L'expérience suivante appuie cette assertion: On pratique, dans une lame mince de fer, deux fentes de semblables dimensions, l'une à bords unis, l'autre à bords dentelés (*fig. 1*), puis on place cet appareil devant une large flamme dans un lieu obscur, de manière que les deux fentes paraissent très-lumineuses. Alors, si on les regarde de près, on voit parfaitement les dentelures de la seconde; mais si l'on s'éloigne de cent ou cent cinquante pas, l'irradiation devient telle, que les dentelures disparaissent com-

¹ La dernière des observations de Kepler rapportées plus haut (§ 8), montre qu'il avait déjà entrevu cette conséquence : car, dans l'observation dont il s'agit, la partie éclipsée qui paraît trop petite, appartient au corps obscur de la lune projeté sur le champ lumineux formé par le disque solaire.

² *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari*, etc., année 1612 (ŒUVRES DE GALILEE, tom. II, pag. 153).

plétement, et que les deux fentes offrent le même aspect. Si ensuite, en conservant cette dernière distance, on emploie une lunette, on distingue de nouveau la différence des deux objets; et enfin si l'on se place suffisamment loin, la lunette même cesse de rendre cette différence appréciable¹.

En terminant l'exposé des recherches de Galilée sur l'irradiation, je ne puis m'empêcher de dire quelques mots d'un procédé ingénieux imaginé par lui pour mesurer le diamètre angulaire des étoiles en les dépouillant de leur auréole. Ce procédé, dont il est facile, du reste, de concevoir aujourd'hui l'insuffisance, et que Galilée lui-même ne regardait pas comme susceptible d'une très-grande exactitude, consistait à placer, entre l'œil et l'étoile, un cordon tendu perpendiculairement au rayon visuel, et à chercher une position telle que l'astre parût exactement caché par le cordon. Connaissant alors l'épaisseur de celui-ci, et sa distance à l'œil, il était aisé de calculer l'angle visuel soutenu. Galilée trouva ainsi qu'une étoile de première grandeur, dont on estimait alors le diamètre à deux ou trois minutes, devait se réduire à un diamètre de cinq secondes au plus. Ce procédé reposait sur cette considération simple, que dès qu'un écran opaque placé devant un objet brillant atteint une largeur angulaire suffisante pour que cet objet ne puisse plus envoyer de rayons dans l'œil, l'auréole lumineuse de l'irradiation cesse de pouvoir se produire, de sorte que la mesure angulaire ainsi déterminée ne comprend pas cette auréole².

11. Après Galilée, l'irradiation a été aussi étudiée d'une manière spéciale par Gassendi. Ce philosophe attribue le phénomène à la dilatation de la pupille dans l'obscurité. Si une flamme, par exemple, observée de loin, paraît beaucoup plus grande la nuit que le jour, c'est que la pupille étant plus ouverte dans le premier cas, il en ré-

¹ *Lettera al P. Grienb.* (OEUVRES DE GALILÉE, tom. II, pag. 470 et 471). — *Systema cosmicum*, dial. III, pag. 248 et 249. La fig. 1 donne les dimensions des fentes telles qu'elles se trouvent représentées dans l'ouvrage de Galilée.

² *Systema cosmicum*, dial. III, pag. 267-269.

sulte sur la rétine une image plus grande¹. Nous savons aujourd'hui que les dimensions de l'image formée sur la rétine ne dépendent pas de celles de la pupille. Je ne suivrai pas Gassendi dans le développement de son explication, car il l'appuie sur les notions les plus erronées relativement à la vision.

Outre des faits analogues à ceux que rapporte Galilée, Gassendi en cite quelques autres qui ne sont pas sans intérêt. Ainsi, frappé de la faiblesse de la lumière que nous envoie l'ensemble des étoiles qui brillent à la fois sur l'horizon, il se demande quelle grandeur aurait un disque unique formé par la réunion de toutes ces étoiles, en attribuant à chacune d'elles le diamètre sous lequel elle se montre à l'œil nu, savoir $3'$ à celles de première grandeur, $2\frac{1}{2}'$ à celles de seconde, etc., et il trouve que ce disque surpasserait celui du soleil. Or, si l'on songe à l'énorme différence entre la lumière du soleil et celle que nous recevons de l'ensemble des étoiles dans la plus belle nuit, on sera conduit nécessairement à cette conséquence, que les diamètres angulaires réels de ces dernières sont d'une extrême petitesse relativement à ce qu'ils nous paraissent².

Gassendi remarque encore que si l'on observe à la vue simple une étoile qui s'avance vers la lune, et si, à l'instant où elle a paru se cacher derrière le disque lumineux de cet astre, on regarde à travers une lunette, on verra de nouveau l'étoile séparée de la lune, et l'on distinguera entre les deux astres un intervalle d'un ou deux doigts, de sorte que l'occultation n'aura lieu que quelques minutes après³.

¹ *Epistolæ quatuor de apparente magnitudine solis humilis et sublimis.* Voir les trois premières, écrites de 1636 à 1641 (ŒUVRES DE GASSENDI déjà citées, tom. III, pag. 383 et suiv.). — *Epist. tres de prop. quā graria decid. accelerantur.* Voir la troisième, écrite en 1642 (*ibid.*, pag. 367 et suiv.). — *Physicæ, sect. II, lib. II, cap. V, de varietate, positu et magnitudine siderum* (*ibid.*, tom. I, pag. 499-508).

² *Epist. de prop. quā gravia decid. accel.*, 3^{me} lettre (ŒUVRE DE GASSENDI, tom. III, pag. 383 et 384). Si nos moyens photométriques deviennent un jour assez précis pour nous permettre de comparer, sans trop d'inexactitude, l'éclairement dû aux étoiles avec celui que produit le soleil, n'est-il pas possible que l'on tire parti de cette ingénieuse idée de Gassendi pour obtenir quelques données sur les dimensions angulaires des étoiles fixes?

³ *Physicæ, sect. II, lib. II, cap. V* (*ibid.*, tom. I, pag. 501).

C'est là, comme on le voit, une preuve frappante de l'irradiation de la lune observée à l'œil nu; mais Gassendi va plus loin, et dans le but d'appuyer sa théorie, il rapporte l'expérience suivante, par laquelle il a mesuré cette irradiation. Il détermina, à l'aide du *radius astronomicus* ou arbalestrille, des valeurs successives du diamètre angulaire de la lune, depuis le milieu de la nuit jusqu'en plein jour, et il trouva de cette manière : la nuit, $38'$; à l'arrivée de l'aurore, $36' \frac{2}{5}$; lorsque le jour était déjà clair, $34' \frac{2}{5}$; après le lever du soleil, mais tandis que cet astre était encore plongé dans les vapeurs de l'horizon, de nouveau $34' \frac{2}{5}$; et enfin, lorsque le soleil brillait de tout son éclat, seulement $33' ^1$. Ainsi, en admettant l'exactitude de ces mesures, et en regardant l'irradiation de la lune en plein jour comme sensiblement nulle, on arrive à ce résultat, que, dans l'observation dont il s'agit, l'irradiation avait augmenté, pour Gassendi, le demi-diamètre apparent de l'astre, de $2' \frac{1}{2} ^2$.

Ces curieuses observations de Gassendi fournissent en outre une confirmation remarquable de l'influence qu'exerce sur l'irradiation le plus ou moins de clarté du champ qui environne l'objet lumineux.

On voit par le résumé précédent des recherches de Galilée et de Gassendi, que dès les premiers temps où l'on s'est occupé du phénomène d'une manière suivie, son existence a été bien constatée, ainsi que plusieurs des lois auxquelles il est soumis.

12. Gassendi avait observé en 1631 le passage de Mercure sur le soleil, en recevant sur un tableau, dans une chambre obscure, l'image des deux astres produite par l'objectif d'une lunette, et il avait été frappé du plus grand étonnement en voyant l'extrême petitesse de la planète³. Schickard lui adressa à ce sujet une dissertation⁴ dans

¹ *Epist. de app. magn. solis humil. et sublim.*, 2^{me} lettre (*ibid.*, tom. III, pag. 393).

² Cette valeur pourra paraître fort exagérée aux astronomes, qui ne considèrent l'erreur due à l'irradiation, que comme s'élevant, au plus, à quelques secondes. Mais il ne faut pas oublier qu'il s'agit ici de l'irradiation observée à l'œil nu, car le *radius astronomicus* n'était pas un instrument grossissant : l'on n'y regardait qu'à travers des pinules.

³ *Mercurius in sole visus* (ŒUVRES DE GASSENDI, tom. IV, pag. 537 et suiv.).

⁴ *Pars responsi ad epistolam P. Gassendi insignis philosophi Galli de Mercurio sub sole viso*, etc. Tubingæ, 1632.

laquelle il prétend que Mercure a dû paraître trop petit, et il assigne à cette diminution apparente plusieurs causes parmi lesquelles il ne fait pas entrer l'irradiation oculaire, et dont voici la principale, que je cite ici parce qu'elle se rapporte au phénomène général de la diminution apparente d'un corps opaque vu sur un fond lumineux. Selon Schickard, la lumière ayant la propriété de se répandre et de se dilater dans tous les sens, les corps opaques qu'elle touche doivent nécessairement paraître un peu entamés¹. Il rapporte à l'appui de son opinion une expérience assez curieuse, qui consiste à regarder de loin un bâton placé transversalement devant la flamme d'une chandelle : le bâton semble alors fortement échancré au-dessus et au-dessous par la flamme.

Ainsi, pour expliquer la diminution apparente d'un objet opaque projeté sur un champ lumineux, Schickard s'appuie sur l'idée vague d'une dilatation qu'éprouverait la lumière dans le voisinage des corps : c'est là, sans doute, pour le dire en passant, que remonte le premier soupçon d'une modification imprimée à la lumière par les corps près desquels elle passe².

13. Il n'est pas sans intérêt de lire la réponse faite aux argumens de Schickard par Horrockes qui observa, en 1639, par le procédé de Gassendi, le passage de Vénus sur le soleil³. Horrockes revendique les droits de l'irradiation oculaire qu'il explique à la manière de Galilée, et remarque que les corps opaques, comme le bâton dans l'expérience de Schickard, ne paraissent entamés que lorsqu'on les regarde directement à l'œil nu; mais que si, au lieu de regarder le bâton de cette manière, on en observe l'ombre sur la muraille, cette ombre ne paraît

¹ *Nosti lucis hanc esse naturam, ut se undiquaque diffundat et amplificet. Dumverò ita se didit, necessario fit ut opaca contigua, nonnihil amputentur et praevidantur* (*ibid.*, pag. 12).

² En 1743, Le Gentil lut à l'Académie des sciences de Paris, un mémoire dans lequel il cherche à prouver, par une série d'expériences, que la diminution des corps opaques projetés sur un fond lumineux est due à l'infexion de la lumière qui rase leurs bords (*Mém. de l'Acad. des sciences de Paris*, 1784, pag. 469).

³ *Venus in sole visa*, cap. XVI. Cette dissertation est imprimée à la suite de celle d'Hevelius. qui a pour titre *Mercurius in sole visus*.

tra pas moins large que le bâton lui-même, sauf la diminution soumise à une loi géométrique, que peut y apporter la grandeur de la flamme. Or c'étaient aussi les ombres de Mercure et de Vénus qui avaient été projetées dans la chambre obscure sur l'image du soleil, image dont l'éclat était assez modéré pour que les yeux pussent le supporter aisément, et que l'on n'eût pas à craindre une extension de lumière qui aurait jeté de l'incertitude sur les résultats.

14. Descartes est, je pense, le premier qui ait expliqué l'irradiation par une propagation de l'impression sur la rétine. Voici de quelle manière il expose cette idée dans sa dioptrique, qui parut en 1637¹: « Et » la raison pourquoi ces cors blanes ou lumineus paroissent plus » grands, ne consiste pas seulement en ce que l'estime qu'on fait de » leur grandeur dépend de celle de leur distance, mais aussy en ce » que leurs images s'impriment plus grandes dans le fonds de l'œil. » Car il faut remarquer que les bounts des filets du nerf optique qui le » courrent, encores que très-petits, ont néantmoins quelque gros- » seur; en sorte que chacun d'eus peut estre touché en l'yne de ses » parties par un obiet, et en d'autres par d'autres; et que n'estant » toutesfois capable d'estre meu que d'yne seule façon à chasqñé » foix, lorsque la moindre de ses parties est touchée par quelqu'obiet » fort esclatant, et les autres par d'autres qui le sont moins, il suit » tout entier le mouuement de celuy qui est le plus esclatant, et en » représente l'image, sans représenter celle des autres. Comme si les » bounts de ces petits filets sont 1 2 3, » (voy. fig. 2), « et que les » rayons qui viennent, par exemple, tracer l'image d'yne estoile sur

¹ *La dioptrique*, Leyde 1637, discours sixième, pages 67 et 68. Déjà Kepler avait avancé, en 1611, l'idée d'une propagation de l'impression, mais sans l'appliquer à l'amplification apparente des objets lumineux observés à l'œil nu. Cherchant à faire voir pourquoi les objets regardés à travers une lunette paraissent plus distincts lorsqu'on diminue l'ouverture de l'objectif, il s'exprime ainsi: *Quæ per magnam portionem convexitatis in oculum radiant, illa..... fortius radiant, quæ fortitudine primùm iridis colores, indè nebulae excitantur. Oculi enim cara et retiformis tunica est spiritu plena, et licet à puncto solùm tangatur, tamen si id punctum ex concurso radiorum multorum sit immoderatè lucidum, spiritus in aliquā latitudine retiformis circā hoc punctum imbuntur contagione passionis penetrantis* (*DiOPTRICE*, § CXXII, pag. 64).

SUR L'IRRADIATION.

17

» le fonds de l'œil, s'y estendent sur celuy qui est marqué 1 , et tant
 » soit peu au delà tout autour sur les extrémités des six autres mar-
 » qués 2 , sur lesquels ie suppose qu'il ne vient point d'autres rayons,
 » que fort foibles , des parties du ciel voisines à cette estoile, son
 » image s'estendra en tout l'espace qu'occupent ces six marqués 2
 » *et mesme peut-estre encores en tout celuy qu'occupent les douze*
 » *marqués 3 , si la force du mouuement est si grande , qu'elle se*
 » *communique aussy à eus.* Et ainsi vous voyés que les estoiles,
 » quoy qu'elles paroissent assés petites, paroissent néantmoins beau-
 » coup plus grandes qu'elles ne deuroient à raison de leur extrême
 » distance. ».

Ainsi, dès 1637, outre un grand nombre de faits qui établissaient nettement l'existence du phénomène, outre la connaissance de plusieurs de ses lois principales, et même de sa mesure approximative dans un cas particulier, on possédait une théorie d'accord avec toutes ces notions, et qui s'est propagée jusqu'à nos jours, du moins dans ce qu'elle a d'essentiel.

15. Cependant les instrumens astronomiques se perfectionnaient, et la science de la lumière faisait d'immenses progrès. L'oculaire concave des premières lunettes avait fait place à un oculaire convergent; on avait reconnu que l'on pouvait accroître le grossissement sans altérer la netteté des images, en augmentant la distance focale de l'objectif; enfin le micromètre à fils était imaginé. D'un autre côté Newton avait découvert l'inégale réfrangibilité des divers rayons colorés, et par suite, l'aberration chromatique; et il avait fait voir comment l'avantage que l'on obtenait en allongeant les lunettes, se rattachait à cette aberration dont l'influence se trouvait par là diminuée. Ces progrès amenèrent, comme nous allons voir, un déplacement dans la question de l'irradiation.

De l'Isle avait reconnu, en 1718, que les diamètres du soleil se trouvaient d'autant plus petits qu'on les mesurait avec des lunettes plus longues; et il n'avait pas tardé à se rendre raison de ces différences en les attribuant à l'aberration de réfrangibilité. Il était évident, en effet,

que cette aberration devait produire autour de l'image d'un astre, une couronne lumineuse dont la largeur s'ajoutait au demi-diamètre de cette image, et l'erreur qui en résultait devait nécessairement être d'autant moindre que la distance focale de l'objectif était plus considérable¹. Le même astronome avait fait connaître en 1743, à propos d'un passage de Mercure sur le soleil, de nouvelles confirmations de ses premiers résultats². Ainsi s'était révélée une cause inhérente aux lunettes, entièrement différente de l'irradiation oculaire, et qui devait cependant, comme cette dernière, amplifier les objets lumineux sur un fond obscur, et diminuer les objets obscurs sur un fond lumineux. Or, pendant l'éclipse annulaire de soleil de l'année 1748, Le Monnier, qui l'observait en Écosse, ayant mesuré soigneusement et à plusieurs reprises le diamètre angulaire de la lune obscure projetée sur le soleil, trouva ce diamètre sensiblement égal à celui de la lune lumineuse déduit, pour le même instant, des tables de Halley³. Alors commença parmi les astronomes une discussion qui n'est pas encore entièrement épuisée aujourd'hui, sur la question de savoir si les diamètres angulaires des corps lumineux vus sur un champ obscur, et *vice versa*, paraissent altérés ou non⁴. Dans cette discussion, l'irradiation oculaire fut pour ainsi dire perdue de vue, et on la confondit souvent avec les aberrations des lunettes. Enfin cette confusion dans les idées en amena une dans

¹ *Observations des diamètres apparents du soleil faites à Paris les années 1718 et 1719 avec des lunettes de différentes longueurs, etc.* (MÉM. DE L'ACADEMIE DES SCIENCES DE PARIS, 1735, pag. 145).

² *Extrait d'une lettre de M. De l'Isle, écrite de Pétersbourg, etc.* (*ibid.*, 1743, pag. 419).

³ *Extrait des observations de la dernière éclipse annulaire de soleil, du 25 juillet 1748, etc.* (MÉM. DE L'ACADEMIE DES SCIENCES DE PARIS, 1748, pag. 200).

⁴ Voyez : *Observation qui prouve que le diamètre apparent de Vénus ne diminue pas sensiblement lors même qu'il est vu sur le disque lumineux du soleil.* Par De Lalande (MÉM. DE L'ACADEMIE DES SCIENCES DE PARIS, 1762, pag. 258). — *Mémoire sur le diamètre du soleil qu'il faut employer dans le calcul des passages de Vénus.* Par le même (*ibid.*, 1770, pag. 403). — *Explication du prolongement obscur du disque de Vénus, qu'on aperçoit dans ses passages sur le soleil.* Par le même (*ibid.*, 1770, pag. 406). — La série des mémoires de Dionis du Séjour sur le calcul des éclipses ; etc., insérés dans les MÉMOIRES DE L'ACADEMIE DES SCIENCES DE PARIS, à partir de 1764. Voyez surtout les volumes de 1770, 1773 et 1780. Voyez aussi le *Traité analytique des mouvements apparents des corps célestes*, par le même (Paris, 1786). — etc.



les termes, et le mot irradiation cessa d'être employé uniquement pour désigner le phénomène oculaire.

Telle fut l'origine des doutes singuliers qui se sont élevés sur l'existence de l'irradiation, et qui dépendent de ce que les astronomes n'avaient pas démêlé nettement le rôle que jouait *l'irradiation oculaire* dans les observations faites à l'aide des lunettes. J'aurai plus tard à revenir sur cette question, et pour le moment je reprends la suite de mon exposé historique.

16. En 1782, William Herschel, en cherchant un nouveau procédé micrométrique pour la mesure des astres dont le diamètre angulaire est très-petit, comme celui de la planète qu'il avait découverte, fit quelques observations intéressantes sur les variations du diamètre apparent des corps lumineux vus à l'œil nu¹. Je vais donner un aperçu de ces observations qui offrent des exemples de la production des phénomènes dans des expériences de précision, et qui contiennent le germe d'une méthode que l'on pourrait employer pour mesurer ces phénomènes. Le procédé micrométrique dont il s'agit, consistait à comparer l'image de la planète, vue de l'œil droit dans un télescope newtonien, avec un disque lumineux artificiel convenablement placé, que l'observateur regardait directement et en même temps, de l'œil gauche. Herschel modifiait la grandeur, l'éclat et la distance du disque artificiel, jusqu'à ce que celui-ci parût identique avec l'image de la planète. Connaissant alors le diamètre du disque et sa distance à l'œil, il en déduisait sa largeur angulaire; et connaissant aussi le pouvoir amplifiant du télescope, il obtenait aisément le diamètre apparent de l'astre. Les disques artificiels étaient formés en découplant, dans des morceaux de carton, des ouvertures circulaires de différens diamètres, et en plaçant, par derrière, des papiers transparents éclairés par une lampe; les diamètres variaient par dixièmes de pouce, depuis deux

¹ *On the Diameter and Magnitude of THE GEORGIAN SIDUS; with a description of the dark and lucid Disk and periphery Micrometers* (PHILOSOPHICAL TRANSACTIONS, 1783, part. I, pag. 4). Voyez aussi, pour l'intelligence de la description du micromètre, le volume de 1782, part. I, pag. 163.

MÉMOIRE

pouces jusqu'à cinq. Or Herschel ayant mis plusieurs de ces disques les uns à côté des autres, et les ayant éclairés à la fois, il constata qu'un très-léger accroissement dans l'éclat de l'un d'entre eux suffisait pour le faire paraître égal en diamètre à un autre qui en différait d'un ou même de deux dixièmes de pouce¹. Il employa aussi, dans ses expériences, au lieu de disques pleins, des anneaux lumineux très-déliés. Après quelques essais pour mesurer par ce procédé le diamètre de sa planète, Herschel demeura persuadé que les valeurs ainsi trouvées devaient être trop petites, parce que la lumière émanée du disque artificiel, *à cause de la vive impression qu'elle produisait dans l'œil*, amplifiait, en apparence, la grandeur de ce disque ; de sorte que, lorsqu'il paraissait soutendre un angle égal à celui de l'astre vu dans le télescope, il soutendait en réalité un angle moindre : or, c'était cet angle réel qui servait ensuite dans le calcul du diamètre de l'astre. Pour obvier à cette cause d'erreur, et même pour la mesurer, Herschel imagina un procédé très-ingénieux. Je vais traduire ici le passage qui s'y rapporte². « Je réfléchis alors que si un cercle lumineux empiétait sur l'espace obscur environnant, un bord lumineux carré autour d'un cercle obscur empiéterait à son tour sur le disque artificiel. Dans mes dernières mesures, lorsque la planète avait été comparée à un anneau lumineux, j'avais parfaitement observé que l'astre qui était exactement égal à la périphérie lumineuse, était considérablement plus large que la surface noire contenue dans l'anneau. Il me parut résulter de là une méthode pour découvrir la quantité de l'illusion causée par l'éclat de l'objet, et, en conséquence, pour nous fournir une correction applicable à de semblables mesures, correction qui serait *en plus*, lorsque la mesure aurait été prise à l'aide d'un disque ou d'un anneau lumineux, et *en moins*, lorsqu'elle aurait été obtenue à l'aide d'un cercle ou d'un anneau obscur. »

¹ Voyez le mémoire cité, pag. 6.

² *Ibid.*, pag. 12.

16^{bis.} Le célèbre Gœthe, dans son ouvrage sur les couleurs, qui parut en 1810, avance une hypothèse particulière pour expliquer l'irradiation; cette hypothèse, émise par un littérateur faisant une excursion dans le domaine de la physique, n'est d'ailleurs donnée que comme une simple conjecture, et je renvoie le lecteur curieux de la connaître, à l'ouvrage lui-même¹.

17. Notre exposé historique atteint maintenant l'époque actuelle, et cependant, pour la plupart des astronomes et des physiciens, la question de l'irradiation demeure encore enveloppée d'incertitudes. Voici comment s'exprimait M. Biot en 1811²: « *Si, comme on l'a cru jusqu'à présent, il se produit autour des objets lumineux une irradiation qui dilate un peu leur image, cette cause doit augmenter aussi le diamètre apparent de la lune, quand nous observons cet astre sur le fond obscur du ciel. A la vérité, on pourrait encore mesurer le diamètre de son disque quand il se projette sur celui du soleil dans les éclipses annulaires ; mais alors l'irradiation dilatant la couronne lumineuse qui entoure la lune, doit faire paraître son diamètre apparent trop petit.* » Et plus loin³, à propos de la question de l'atmosphère lunaire, et de l'inflexion des rayons du soleil dans cette atmosphère : « La question ne pourra être résolue complètement tant qu'on ne saura pas à quoi s'en tenir sur les effets de l'irradiation. » M. Arago s'occupe en ce moment à les déterminer, en mesurant au micromètre de cristal de roche les diamètres apparens de disques lumineux d'une dimension connue, et placés à une distance déterminée trigonométriquement. *Déjà il a trouvé que des disques beaucoup plus lumineux que la pleine lune n'ont aucune irradiation sensible* : car la mesure du diamètre apparent s'accorde exactement avec la valeur assignée par le calcul, d'après la distance. Cette expérience prouve que l'on obtiendra avec exactitude les diamètres apparens des corps célestes, en les mesurant avec le micromètre de

¹ *Zur Farbenlehre*, vol. I, §§ 5-18.

² *Traité élémentaire d'astronomie physique*, 2^{me} édition, tom. II, pag. 534.

³ *Ibid.*, pag. 536.

» cristal de roche. Mais malheureusement la grandeur du diamètre apparent de la lune ne permet pas qu'on le mesure avec cet instrument, qui ne peut embrasser que de petits angles ; il faudra donc effectuer ces mêmes expériences avec le micromètre à fils, et *quand on connaîtra l'irradiation par ce moyen*, les éclipses montreront si l'infexion est sensible. »

18. Malgré les doutes que renferment encore ces passages à l'égard de l'irradiation, nous y trouvons cependant un résultat bien remarquable : M. Arago, avec toute l'habileté qu'on lui connaît, et aidé sans doute d'excellens instrumens, a mesuré les diamètres angulaires de corps très-éclatans, et a trouvé des valeurs qui n'étaient aucunement affectées par l'irradiation¹. De son côté, M. Biot attribue ce résultat à l'espèce de micromètre employé par M. Arago. Or nous verrons plus loin que tel doit être, en réalité, l'effet des micromètres à double image, et que cet effet est un cas particulier d'une loi générale à laquelle l'irradiation est soumise (§§ 36-40).

19. Delambre, dans son *Astronomie théorique et pratique*, publiée en 1814, s'exprime d'une manière plus dubitative encore que M. Biot. « *On a supposé*² que les diamètres des objets lumineux étaient amplifiés par l'impression vive que leur lumière produit sur l'organe de la vue. » Et, dans un autre endroit³ : « L'irradiation, *si elle existe, ce dont on commence à douter, etc.* »

20. « *On a cru observer* » dit le baron De Zach dans sa *Correspondance astronomique* (4^{me} volume, 1820)⁴, « qu'il se produit autour des corps très-rayonnans une irradiation ou un épanchement de lumière qui dilate tant soit peu leurs disques réels, ainsi qu'on le remarque dans les phases de la lune, où le croissant lumineux paraît d'un diamètre beaucoup plus grand que celui du disque obscur et visible par sa lumière cendrée. »

¹ Ce travail de M. Arago n'est pas publié.

² Voyez cet ouvrage, tom. II, chap. 26, § 197.

³ *Ibid.*, tom. III, chap. 29, § 12.

⁴ Voyez cet ouvrage, pag. 171.

21. D'un autre côté, vers les mêmes époques, plusieurs astronomes et physiciens admettaient positivement l'irradiation oculaire. Tels sont Hassenfratz¹, sir J. Herschel², M. Quetelet³, M. Brandès⁴, etc.

22. La découverte de l'achromatisme avait depuis long-temps banni des observatoires les immenses lunettes au moyen desquelles on atténuait l'effet de l'aberration de réfrangibilité et les illusions qui en dépendent. Cependant M. Robinson, dans une lettre adressée en 1829 à M. South⁵, rapporte des observations qui montrent que les lunettes actuelles présentent encore une irradiation⁶ dont la grandeur varie avec les différens instrumens ; et il ajoute : « Quand même une lunette » serait absolument parfaite, il y a des motifs de croire que l'œil qui » l'emploie doit créer une espèce d'irradiation, à cause que les parties » de la rétine voisines de celles qui reçoivent la lumière, éprouvent » une action sympathique. » Puis il remarque, dans une note, que la partie de l'irradiation qui dépend de l'œil, doit augmenter avec la quantité de lumière, et par conséquent décroître avec l'ouverture de l'instrument et la transparence de l'atmosphère.

23. M. Robinson revient sur le même sujet dans un mémoire spécial communiqué à la société astronomique de Londres en 1831⁷. Il rend compte d'une suite d'expériences qui montrent l'influence de l'éclat de l'objet sur la quantité de l'irradiation dans les observations faites à travers les lunettes. Ces expériences consistaient à observer un disque lumineux artificiel dont on pouvait augmenter ou diminuer l'éclat, et dont on mesurait la largeur angulaire dans ces différentes circonstances, au moyen du micromètre. Le disque était formé en

¹ *Cours de physique céleste*, § 33, pag. 23, publ. en 1810.

² *Traité de la lumière*, traduit par MM. Verhulst et Quetelet, tom. I, § 697, pag. 451 et 452.

³ *Positions de physique*, 1^{re} édition, tom. III, pag. 81, publ. en 1829.

⁴ *Gehler's physikalisches Wörterbuch*, vol. V, pag. 796, publ. en 1830.

⁵ *Determination of the longitude of the Armagh observatory, etc.* (MÉM. OF THE ASTRONOM. SOC. OF LONDON, vol. IV, part. II, pag. 293, année 1831).

⁶ Je me sers ici, pour me conformer à l'usage, du mot irradiation pour désigner l'illusion qui se manifeste dans les observations faites à travers les lunettes. Lorsqu'il s'agira de l'œil en particulier, et qu'il pourrait y avoir confusion, je dirai toujours l'irradiation oculaire.

⁷ *On Irradiation* (MÉM. OF THE ROYAL ASTR. SOC. OF LONDON, vol. V, pag. 1).

disposant au foyer d'un objectif, une plaque métallique percée d'un petit trou circulaire derrière lequel brillait la flamme d'une lampe , et que l'observateur regardait à travers une lunette placée de l'autre côté de l'objectif. Ce procédé substituait à l'objet réel une image virtuelle située à une distance infinie , et qui jouait ainsi le rôle d'un astre. M. Robinson considérant les objectifs et les lunettes dont il a fait usage dans ses expériences, comme ne produisant qu'une très-faible aberration, regarde les effets qu'il a constatés, comme dus principalement à l'irradiation oculaire. Il plaçait d'abord entre la lampe et la plaque métallique , un morceau de papier huilé, de manière à affaiblir considérablement l'éclat du disque artificiel; puis il rendait les fils du micromètre tangens à ce disque, dont il déterminait la largeur angulaire. Il enlevait ensuite le papier huilé, et voyait alors le disque dépasser les fils ; enfin il établissait de nouveau le contact, et pouvait ainsi mesurer l'accroissement de diamètre résultant de l'accroissement d'éclat. La moitié de cette quantité représentait l'épaisseur de l'anneau lumineux dû à la différence des irradiations du disque dans ses deux conditions d'éclat.

Plusieurs séries d'expériences, faites avec des instrumens différens et des disques plus ou moins grands, ont donné, pour l'excès du diamètre apparent correspondant à l'éclat *maximum* sur celui qui correspondait à l'éclat *minimum*, des résultats dont les moyennes s'élèvent de 3'', 37 à 5'', 33; d'où l'on déduit, pour l'excès d'irradiation, des valeurs de 1'', 68 à 2'', 66.

Dans l'une de ses expériences, M. Robinson ayant substitué au micromètre à fils un micromètre objectif, il s'aperçut que l'augmentation ou la diminution d'éclat n'altérait pas le contact des deux images; résultat qui s'accorde avec ceux que M. Arago a obtenus à l'aide du micromètre de cristal de roche; M. Robinson s'exprime, à ce sujet, de la manière suivante : « C'était, du reste, une observation faite à la » hâte, et je n'ai pas encore eu le temps de la répéter. Si je n'ai pas » commis d'erreur, cette observation montre que, dans ce cas, la » totalité de l'irradiation était *oculaire*, car il ne peut y avoir d'action



SUR L'IRRADIATION.

23

» sympathique de la part de l'une des deux images sur les parties adjacentes de la rétine qui sont déjà stimulées par l'autre. » Je reviendrai plus loin (§ 92) sur cette idée de M. Robinson.

Dans une autre expérience, M. Robinson ayant éclairé le champ de la lunette, constata qu'il en résultait un effet sensible sur les dimensions apparentes du disque, quand celui-ci avait son moindre éclat: car en supprimant cette lumière latérale, le disque présentait un accroissement évident. Cet effet n'avait pas lieu quand le disque possédait son plus grand éclat, sans doute, comme l'observe M. Robinson, à cause du peu d'intensité de l'éclairement latéral.

L'auteur termine son mémoire en proposant aux astronomes un procédé ingénieux pour rendre insensible l'influence de l'irradiation oculaire, lorsqu'on observe à l'aide d'une lunette le soleil ou la lune. Ce procédé consiste à produire un éclairement latéral considérable en le faisant dériver de l'astre lui-même. Pour cela, M. Robinson place devant l'objectif, un diaphragme demi-transparent à travers l'ouverture duquel passent les rayons qui viennent former l'image, tandis que le reste sert à répandre de la lumière diffuse sur le champ de l'instrument. M. Robinson cite en faveur de ce procédé quelques observations qu'il a faites en employant des diaphragmes de papier huilé et de verre dépoli, dont l'ouverture était d'environ un tiers de la surface de l'objectif.

24. Pour suivre l'ordre chronologique, je devrais parler maintenant d'une nouvelle théorie de l'irradiation oculaire, présentée en 1831 par un savant américain; mais j'y reviendrai plus loin, et afin de terminer ce qui concerne la discussion sur l'existence du phénomène, je mettrai en regard des expériences de M. Robinson, les observations faites en 1832 par M. Bessel, lors du passage de Mercure sur le soleil¹.

Dans les observations de ce genre de phénomène, l'irradiation, soit qu'elle provienne de l'œil, ou de l'instrument, ou de tous les deux à la fois, doit, d'une part, augmenter d'une certaine quantité le diamètre

¹ *Astr. Nachrichten*, n° 228, pag. 187 et suiv., ou *Biblioth. univ. de Genève*, sept. 1832, p. 88.

du soleil, et, de l'autre, diminuer celui de la planète. Cependant, au moment où cette dernière, après avoir traversé le disque du soleil, s'approche de son contour pour en sortir, et où le contact réel entre les bords des deux astres s'établit, les effets de l'irradiation doivent disparaître subitement au point qui correspond à ce contact : car ce point cesse alors d'envoyer de la lumière à l'observateur. Or, en cet instant, les bords *apparens* des deux astres sont encore évidemment distans d'une quantité égale à la somme des épaisseurs des deux anneaux lumineux dont l'un est extérieur au disque réel du soleil, et l'autre intérieur à celui de la planète. Il résulte de là que si l'irradiation se manifeste, dans cette circonstance, d'une manière sensible, la personne qui observe les approches du second contact intérieur devra voir le filet lumineux qui sépare les bords apparens des deux astres, se rompre instantanément lorsqu'il a encore une certaine épaisseur, comme si une protubérance se formait tout à coup sur le bord de la planète, et cachait une petite partie de celui du soleil. Il est évident en outre, que des apparences analogues doivent se montrer, mais dans un ordre inverse, à l'entrée de la planète, lors du premier contact intérieur : c'est-à-dire que la planète doit d'abord présenter derrière elle une petite protubérance qui s'évanouit subitement, immédiatement après le contact réel, pour faire place à un filet lumineux continu d'une épaisseur notable. Ces apparences ont été en effet observées par les astronomes du siècle dernier, dans les passages de Vénus.

Or M. Bessel, observant à l'aide du grand héliomètre de l'observatoire de Königsberg, n'a rien vu de semblable, ni à l'entrée ni à la sortie de Mercure. Le filet lumineux qui séparait les bords des deux astres après l'entrée totale, s'est formé d'une manière tout-à-fait régulière en présentant d'abord une épaisseur à peine visible, et la même régularité s'est montrée à la sortie. Tout s'est donc passé comme s'il y avait eu absence totale d'irradiation.

M. Bessel a soumis le phénomène à une autre épreuve. Puisque les instants de la formation et de la rupture des filets lumineux sont ceux des contacts intérieurs réels quelle que soit la valeur de l'irradiation,



on pourra déterminer l'intervalle de temps qui sépare ces deux contacts réels, et calculer, d'après cette durée, le véritable diamètre angulaire du soleil dépouillé de l'irradiation. Si donc on mesure en outre directement, pendant le passage, et avec la même lunette, le diamètre du soleil au moyen du micromètre, on pourra comparer les deux valeurs obtenues, et en déduire celle de l'irradiation dans les mêmes circonstances. Or c'est ce qu'a fait M. Bessel, et cette comparaison ne lui a pas donné de valeur appréciable pour l'irradiation¹.

« Lorsqu'on compare » dit cet astronome, « les descriptions que les principaux observateurs des passages de Vénus de 1761 et 1769, ont données des apparences que les contacts intérieurs des bords leur ont présentées, on ne peut douter que le soleil ne fût réellement pour eux agrandi par l'irradiation. On doit donc admettre qu'il y a des lunettes qui agrandissent le soleil par un effet d'irradiation, et d'autres qui le font voir dans sa véritable grandeur. L'héliomètre dont je me suis servi, appartient à la dernière espèce. »

25. Il me reste à mentionner maintenant une dernière théorie qui a été proposée pour expliquer l'irradiation oculaire. L'auteur est M. Joslin, professeur à New-York². « Chacun, » dit-il, « a observé l'apparence rayonnante des étoiles et de la flamme d'une lampe ou d'une chandelle éloignée. En examinant ces objets attentivement, je remarquai que trois de ces rayons étaient beaucoup plus apparents que les autres, qu'ils étaient équidistans, et que l'un d'entre eux était dirigé verticalement de bas en haut. » De ces observations et de quelques expériences particulières, M. Joslin conclut la loi suivante : « *Il y a pour chaque individu, des directions déterminées d'irradiation maxima : chez l'homme, pour une vue ordinaire, ces directions sont généralement au nombre de trois, à des*

¹ On sait que les héliomètres donnent la mesure des diamètres angulaires des astres par le moyen d'un objectif divisé qui produit une double image : ainsi, ce dernier résultat de M. Bessel est d'accord avec ceux de MM. Arago et Robinson.

² *Trans. of the American phil. society*, vol. IV new series, part. III, pag. 340.

» distances angulaires égales et conséquemment de cent vingt degrés ou un tiers de la circonference du cercle ; l'une d'elles, pour la position droite de la tête, s'élève directement dans un plan visuel vertical qui passe par le centre de l'objet lumineux, et les deux autres descendent obliquement dans des plans visuels qui font respectivement, avec le premier et entre eux, des angles de cent vingt degrés. Les décroissemens de dilatation dans d'autres directions, sont à peu près symétriques et égaux relativement à ces trois directions, et la forme apparente de l'objet approche plus ou moins de celle d'un triangle équilatéral, suivant l'éclat, la distance et la grandeur de cet objet. »

L'expérience principale de M. Joslin consiste à placer devant la flamme d'une chandelle, une plaque métallique percée de plusieurs ouvertures circulaires de différens diamètres, dont on peut amener l'une ou l'autre à volonté vis-à-vis de la flamme ; puis à regarder, d'une certaine distance, l'objet lumineux circulaire ainsi produit. La plaque est, en outre, éclairée par devant à l'aide d'une seconde chandelle, afin de rendre la rétine insensible aux petites radiations irrégulières. « A une distance de cinq à quinze pieds, » dit l'auteur, « l'objet lumineux, en réalité circulaire, présentait l'apparence d'un triangle équilatéral dont les contours étaient très-bien définis..... Un accroissement dans la grandeur de l'objet augmente la distance nécessaire pour produire l'apparence triangulaire distincte. Avec un objet d'un dixième de pouce en diamètre, elle est la plus nette à six ou huit pieds de distance ; pour un objet d'un cinquième de pouce, à douze ou quinze pieds. »

L'auteur a placé aussi un objet circulaire opaque devant la flamme, de manière que celle-ci le dépassait supérieurement et inférieurement, et il a observé des effets qui s'accordent avec la loi générale énoncée précédemment. Toutes les apparences suivaient d'ailleurs les changemens dans la position de la tête de l'observateur.

« Après avoir fait la plupart des expériences précédentes, » dit M. Joslin, « je fus frappé d'abord de la coïncidence entre cette dilata-



» tion des corps lumineux suivant trois directions équidistantes, et
 » les trois faisceaux de fibres équidistans ainsi que les trois lignes
 » radiées également équidistantes, que l'on remarque sur la face anté-
 » rieure du cristallin du bœuf, comme l'a fait voir le Dr Thomas Young
 » dans ses *Observations sur la Vision.* » M. Joslin rappelle ici les
 détails que donne Young sur la structure du cristallin du bœuf, puis il continue ainsi : « Young ajoute : *Je n'ai pas encore eu l'occa-
 sion d'examiner le cristallin humain; mais de sa facile division
 en trois parties nous pouvons insérer qu'il est semblable à celui
 du bœuf.* Il me parut alors que j'avais trouvé le fil qui devait me
 conduire à la cause du phénomène, dans une structure qui semblait
 calculée pour produire une action symétrique par rapport à trois
 rayons équidistans du cristallin, structure qui ne paraît avoir d'ana-
 logie dans aucune autre partie de l'organe de la vision. »

Ainsi, d'après M. Joslin, l'irradiation n'est pas un phénomène de sensation, mais un effet de réfraction dû à l'action exercée par le cristallin sur les rayons lumineux qui le traversent. L'auteur n'entre, du reste, dans aucun détail sur la manière dont il envisage cette action; mais il annonce un second travail dans lequel il rapportera des expériences qui l'ont conduit à de nouveaux principes, tels que les suivants : *L'irradiation est produite directement et principalement par le cristallin, mais elle est modifiée par l'iris. Les parties centrale et latérales du cristallin conspirent à des degrés différens pour produire l'irradiation, l'effet croissant avec la distance absolue du rayon incident à l'axe du cristallin, et par conséquent, avec la grandeur de la pupille, etc.*

26. J'ai essayé l'expérience fondamentale de M. Joslin, mais je n'ai rien vu qui ressemblât à un triangle, à quelque distance que je me sois placé. M. Joslin dit avoir fait répéter ses expériences par d'autres personnes qui ont vérifié, dans presque tous les cas, les faits qu'il annonce. De mon côté j'ai tenté la même épreuve sur sept personnes différentes jouissant d'une bonne vue, et dont aucune n'a aperçu d'apparence de triangle. Le fait d'une forme triangulaire bien définie que prendrait



un petit objet lumineux circulaire vu d'une certaine distance, est d'ailleurs tellement remarquable, que l'on ne concevrait pas comment il aurait échappé à tous les observateurs qui se sont occupés de l'irradiation oculaire. Je ne puis donc admettre une théorie basée sur des faits qui ne se sont réalisés ni pour moi ni pour les autres personnes que j'ai soumises à l'expérience, théorie que l'auteur n'a pas développée, et qui s'accorderait d'ailleurs difficilement avec les lois principales du phénomène qui nous occupe.

27. Du reste, je ne suis pas éloigné de croire avec M. Joslin, qu'il existe, pour chaque individu, des directions suivant lesquelles l'irradiation se développe davantage; mais il m'est impossible d'admettre que cet effet présente rien de régulier et d'uniforme. Les personnes qui ont répété pour moi l'expérience de M. Joslin, ont vu presque toutes le petit disque lumineux plus ou moins déformé; mais, pour les unes, il paraissait simplement allongé dans un sens, pour d'autres dans un autre sens; l'une d'entre elles lui a trouvé une forme qui approchait de celle d'un carré, etc., et il est probable qu'il se rencontrerait aussi des yeux qui apercevraient une figure plus ou moins triangulaire; mais, on le voit, il n'y a là rien de constant. Moi-même j'ai fait connaître, en 1834¹, des faits qui semblent indiquer que, dans la vision en général, il y a quelque chose de non-symétrique autour de l'axe optique; mais ces effets, qui varient aussi avec les différens individus, n'indiquent nullement les trois directions équidistantes dont parle M. Joslin.

RECHERCHE DES CAUSES QUI ONT FAIT NAITRE DES DOUTES SUR L'EXISTENCE
DE L'IRRADIATION OCULAIRE.

28. Il est temps maintenant d'aborder la question de l'existence

¹ *Bulletins de l'Académie de Bruxelles*, tom. I, pag. 193 et suiv.

même de l'irradiation oculaire, et de faire voir à quoi tiennent les incertitudes qui se sont élevées relativement à cette existence.

Commençons par les observations à l'œil nu. Dans ce cas, il est impossible d'admettre le moindre doute : pour constater le phénomène, il suffit, en effet, de jeter les yeux sur le croissant lumineux de la lune (§ 2), et les observateurs ont rapporté, comme on l'a vu dans l'historique précédent, une foule d'autres faits aussi concluans. Si l'on veut une expérience de nature à être répétée en tout temps, on peut s'y prendre de la manière suivante. Sur un carton blanc rectangulaire d'environ 20 centimètres de hauteur et 15 de largeur (*fig. 3*), on trace deux lignes droites parallèles *ab*, *cd*, distantes entre elles d'un demi-centimètre, et on les coupe à angle droit, au milieu de leur longueur, par une troisième ligne *fg*; puis, laissant en blanc la bande *hhbd* et les grands rectangles *mckf* et *angh*, on peint d'un noir très-foncé la bande *ahkc* et le reste du carton, comme l'indique la figure. On a ainsi deux bandes de largeurs égales, mais l'une blanche sur un fond noir, et l'autre noire sur un fond blanc. Pour se servir de cet appareil, on le place verticalement près d'une fenêtre, de manière qu'il soit bien éclairé, et l'on s'en éloigne de quatre à cinq mètres. Alors la bande blanche *hhbd* paraît notablement plus large que la bande noire supérieure, et cette différence apparente augmente avec la distance¹. On conçoit que l'appareil est construit de manière à accroître l'effet résultant de l'irradiation : car si, d'une part, la bande blanche augmente, en apparence, de largeur, la bande noire diminue au contraire, par les irradiations des deux espaces blancs latéraux. On peut rendre l'effet encore plus prononcé, en découplant à jour les espaces qui, dans l'appareil ci-dessus, sont laissés en blanc, c'est-à-dire la bande *hhbd*, et les rectangles *mckf* et *angh*, puis en plaçant l'appareil contre l'un des

¹ Je suppose, pour cette expérience, comme pour celle du croissant, que l'observateur voie distinctement les objets éloignés : c'est-à-dire qu'il ait une vue normale, ou qu'il soit presbyte. Quant aux personnes myopes, il est clair que l'objet serait placé hors de la limite où leur vision reste distincte, et que, pour elles, l'effet serait alors composé. Ces personnes devront, pour ces expériences, se servir de besicles à verres concaves.

carreaux supérieurs d'une fenêtre, de manière qu'on puisse voir le ciel au travers. Par ce moyen, les parties éclairées ont beaucoup plus d'éclat, et les parties obscures sont beaucoup plus noires, ce qui doit accroître l'intensité du phénomène. Il faut, dans ce cas, se servir d'un carton mince et peint d'un noir bien opaque : le carton Bristol, par exemple, convient parfaitement pour cet objet, ainsi que pour la construction de l'appareil précédent.

L'irradiation à l'œil nu peut donc être considérée comme l'un des faits de vision les mieux établis et les plus faciles à constater. Seulement, son intensité n'est pas la même dans les différens yeux, et varie aussi chez le même individu ; mais je n'ai rencontré jusqu'ici personne qui ne pût l'observer d'une manière plus ou moins prononcée : aussi les incertitudes qui sont venues embarrasser la question ont-elles pris leur source dans les observations faites à travers les lunettes astronomiques, et c'est sous ce point de vue que nous allons nous en occuper.

29. Dans ces circonstances, comme l'a fort bien vu M. Robinson (§§ 22, 23), l'irradiation se compose de deux parties essentiellement distinctes : celle qui est due aux aberrations de l'instrument, et celle qui a son origine dans l'œil même de l'observateur. Faisons d'abord abstraction de la première, ou, en d'autres termes, supposons une lunette complètement exempte de toute espèce d'aberrations, de sorte que les illusions ne puissent provenir que de l'irradiation oculaire seule. Nous verrons plus loin (§ 103) que cette dernière paraît devoir être notablement modifiée par l'oculaire de l'instrument ; mais, dans le but de simplifier les circonstances de la question, je ferai encore abstraction de cette influence, et je regarderai, pour le moment, l'irradiation oculaire comme entièrement indépendante de la lunette. Enfin, dans le même but, j'imaginerai, pour un instant, que l'éclat de l'image vue dans la lunette demeure constant, quelque grossissement que l'on emploie.

Je dis que, dans ces conditions réunies, l'erreur que l'irradiation apportera dans l'observation sera en raison inverse du grossissement. En



effet, il est évident que les seules variations du diamètre angulaire de l'image vue dans la lunette, ne pourront faire varier l'épaisseur de la petite bande lumineuse que l'irradiation oculaire ajoute au contour extérieur de cette image. Ainsi, toujours dans les conditions purement hypothétiques où nous nous sommes placés, tandis que le diamètre angulaire de l'image vue dans la lunette variera, l'épaisseur angulaire de l'anneau d'irradiation restera la même. Soit donc G le grossissement, D le demi-diamètre angulaire de l'image vue dans la lunette sans y comprendre l'épaisseur angulaire de l'anneau d'irradiation, et i cette épaisseur. Le demi-diamètre angulaire réel de l'astre sera évidemment $\frac{D}{G}$, et celui que l'on déduira de la mesure prise à l'aide du micromètre à fils, $\frac{D+i}{G}$. L'erreur sera donc $\frac{D+i}{G} - \frac{D}{G} = \frac{i}{G}$. Or i étant constant, on voit que l'erreur sera, comme je l'ai avancé, en raison inverse du grossissement.

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse de la lune, et que, dans l'œil de l'observateur, cet astre produise une irradiation égale à celle qu'il développait chez Gassendi lors des observations que nous avons rapportées § 11. Alors, en ne tenant compte ni de l'action de l'oculaire de la lunette, ni des différences entre l'éclat de l'image et celui de l'astre vu à l'œil nu, i serait égal à $2',5$. Par conséquent l'erreur due à l'irradiation serait, pour un grossissement de 50, égale à $\frac{2',5}{50} = 3''$; pour un grossissement de 100, elle ne serait plus que de $1'',5$, et pour un grossissement de 300, elle se réduirait à $0'',5$.

30. L'une des suppositions que nous avons faites pour arriver à la loi précédente, peut se trouver sensiblement réalisée : il existe aujourd'hui des lunettes assez parfaites pour que les aberrations y soient négligeables.

Quant à l'action que l'oculaire de l'instrument exerce sur l'irradiation, elle paraît être telle, comme nous le verrons (§ 97-104), que, dans tous les cas, elle diminue considérablement cette irradiation, et cela d'autant plus que l'oculaire est plus puissant. Cette action est donc toute à l'avantage de l'observation.

Enfin on sait que l'éclat de l'image est nécessairement variable. Pour une même lunette, il diminue quand on accroît le grossissement, et, pour un même grossissement, il varie avec les différentes lunettes. Or l'épaisseur i de l'anneau d'irradiation dépend essentiellement de cet éclat (§§ 10, 16, 23); la valeur de i variera donc, en vertu de cette cause, et avec le grossissement et avec les lunettes employées. Du reste, pour de forts grossissements, l'éclat de l'image sera généralement de beaucoup inférieur à celui que présenterait l'astre si on l'observait à l'œil nu, de sorte que, par cela seul, la valeur de i deviendra aussi moindre que dans cette dernière circonstance.

31. Il résulte de tout ceci, que la loi précédemment trouvée est loin d'être exacte. Je ne l'ai donnée que pour aider à se former une première idée de la manière dont les lunettes atténuent l'erreur que l'irradiation oculaire tend à introduire dans les observations des astres. En réalité, comme on vient de le voir, ces instrumens agissent de trois manières : 1^o par leur grossissement en lui-même, en accroissant le demi-diamètre angulaire de l'image sans accroître l'épaisseur angulaire de la petite bande d'irradiation ; 2^o par l'affaiblissement de la lumière, d'où résulte une diminution dans l'épaisseur de cette petite bande ; 3^o par un effet particulier de l'oculaire, qui fait éprouver une autre diminution à cette même épaisseur, diminution qui paraît devoir être aussi d'autant plus considérable, pour une même lunette, que le grossissement est plus fort.

Ainsi les évaluations auxquelles nous avons été conduits dans le paragraphe 29, en supposant une irradiation égale à celle qui s'est montrée à Gassendi, sont beaucoup trop élevées. Car, quand même la lunette serait telle que, pour de faibles grossissements, elle donnerait à l'image un éclat supérieur à celui que présente l'astre à l'œil nu, l'action de l'oculaire ferait plus que compenser le petit accroissement qui résulterait, dans la valeur de i , de cette augmentation d'éclat (§§ 97, 109); mais c'est surtout pour les forts grossissements, qu'il faut rabattre des évaluations en question : car alors les deux causes qui influent sur la valeur de i , marchent dans le même sens, et contribuent toutes



SUR L'IRRADIATION.

35

deux à diminuer cette valeur et, par suite, l'erreur due à l'irradiation oculaire.

Enfin l'étendue de cette irradiation oculaire variant avec les individus et la disposition des yeux (§§ 53, 77, 79, 87-89), et l'évaluation résultante des observations de Gassendi se rapportant, comme on le verra plus loin (§ 89), à une irradiation très-prononcée, le phénomène sera, dans la plupart des cas, beaucoup moins développé, de sorte que l'erreur en deviendra beaucoup plus petite encore.

Ainsi, dans les circonstances les plus avantageuses, c'est-à-dire avec un grossissement considérable et qui ne laisse pas trop d'éclat à l'image, et un œil peu sensible à l'irradiation, l'on conçoit que l'erreur due à cette dernière peut devenir tout-à-fait inappréhensible.

32. Passons maintenant au second élément de l'erreur totale : c'est-à-dire à celui qui naît des imperfections de la lunette même. Nous négligerons ici, comme trop peu sensibles, les aberrations produites par l'oculaire. Quant à celles qui proviennent de l'objectif, l'angle sous lequel sera vue la petite bande qu'elles ajoutent au contour extérieur de l'image, peut être considéré, pour une même lunette, comme proportionnel au grossissement. En effet, dans ce cas, les changemens de grossissement ne provenant que des changemens d'oculaire, ils doivent porter également sur tout ce qui compose l'image formée au foyer de l'objectif, et, par conséquent, sur la petite bande d'aberration comme sur le reste. Si l'on double, par exemple, le grossissement, l'angle sous lequel l'observateur verra l'épaisseur de cette petite bande, sera doublé comme celui sous lequel il verra le reste de l'image. Nous pourrons donc représenter par aG l'épaisseur angulaire de la petite bande en question, vue à travers l'oculaire, G désignant toujours le grossissement, et a étant un coefficient constant pour une même lunette, mais variant d'un instrument à l'autre¹. Or, faisons pour un moment

¹ A la vérité, lorsque, par un grossissement considérable, on a beaucoup augmenté l'épaisseur angulaire apparente de l'anneau d'aberration, et qu'en même temps l'intensité de la lumière se trouve notablement diminuée, il est possible que la limite extérieure de cet anneau, qui, dans une lunette médiocre, peut ne pas paraître nettement tranchée, soit d'un éclat trop faible

abstraction de l'irradiation oculaire , et désignons encore par D le demi-diamètre angulaire de l'image vue dans la lunette , mais sans y comprendre l'épaisseur angulaire de l'anneau d'aberration ; le demi-diamètre angulaire réel de l'astre sera encore $\frac{D}{G}$, et celui que l'on déduira de la mesure micrométrique, $\frac{D + aG}{G}$. L'erreur due à l'aberration sera donc $\frac{D + aG}{G} - \frac{D}{G} = a$. Cette erreur sera donc constante pour une même lunette , et indépendante du grossissement.

L'erreur totale , c'est-à-dire celle qui dépend à la fois de l'irradiation oculaire et des aberrations de la lunette, se composera donc de deux élémens bien distincts , l'un d'entre eux variant avec le grossissement, l'éclat de l'image , la nature et la disposition de l'œil, l'autre indépendant de ces circonstances , et ne variant qu'avec la perfection de l'instrument.

33. Rien de plus aisé maintenant que de se rendre raison des divergences entre les résultats des observations des astronomes , et que d'expliquer d'où proviennent les doutes que ces divergences ont fait naître. L'erreur totale dépendant à la fois et du grossissement en lui-même , et de l'éclat de l'image , et de la nature ainsi que de la disposition de l'œil, et de la perfection de l'instrument , quantités essentiellement variables, on voit que, dans certaines circonstances , cette erreur totale pourra être insensible , et que, dans d'autres , elle pourra acquérir une valeur considérable. Les conditions les plus favorables seront une lunette excellente , telle qu'on en construit maintenant , un fort grossissement , un éclat modéré de l'image , enfin un œil peu sensible à l'irradiation. Les conditions les plus défavorables seront , au contraire , une lunette médiocre , un faible grossissement , beaucoup d'éclat , et un œil chez lequel l'irradiation tende à présenter un grand développement.

34. Dans les observations du soleil , la valeur de a , ou de la partie de l'erreur due aux aberrations de la lunette , sera nécessairement

pour être encore aperçue. Je pense cependant que la différence doit être petite , et je continuerai à regarder la quantité a comme constante. D'ailleurs si , dans certains cas , il n'en est pas tout-à-fait ainsi , la différence ne pourra être qu'à l'avantage de l'observation.



diminuée par l'interposition du verre rouge qui, ne laissant passer qu'une lumière plus ou moins rapprochée de l'homogénéité, contribuera à détruire les effets de l'aberration chromatique.

Il n'est pas douteux que, dans une excellente lunette actuelle, la valeur de α ne puisse être tellement petite qu'elle devienne négligeable, et cela aura lieu, à plus forte raison, dans les instrumens destinés à observer le soleil. A l'aide de ces considérations, nous nous rendrons facilement raison des résultats obtenus par M. Bessel (§ 24). L'héliomètre dont cet astronome a fait usage, est un instrument d'une grande perfection¹, et comme d'ailleurs il s'agissait du soleil, nous pouvons admettre que la partie de l'illusion dépendante des aberrations était tout-à-fait insensible. De plus, l'image rouge ne pouvait avoir un éclat considérable, car un objet de cette couleur et d'un éclat égal à celui que peut présenter l'image de la lune, blesserait certainement la vue, et l'on donne aux verres rouges destinés à observer le soleil un degré de foncé suffisant pour éviter cet inconvénient. Enfin, M. Bessel a fait usage, dans ces observations, d'un fort grossissement, savoir de 290; il suffit donc de supposer en outre que dans les yeux de cet astronome l'irradiation n'ait eu que peu de développement, pour que toutes les conditions les plus favorables se trouvent réunies. On conçoit donc aisément que les apparences singulières que font naître dans ce genre d'observations les causes d'erreur dont nous nous sommes occupés, ne se soient pas montrées à M. Bessel. Si cet astronome avait fait usage d'un faible grossissement, ces apparences se seraient peut-être manifestées d'une manière plus ou moins prononcée, et c'est, en effet, ce qui est arrivé à M. Argelander qui observait en même temps à l'aide d'une petite lunette de Frauenhofer munie d'un grossissement de 90.

Quant au résultat plus précis encore de la comparaison faite par M. Bessel, entre la valeur du diamètre solaire mesuré directement et la valeur déduite de la durée du passage, une autre cause est inter-

¹ Voy. la *Biblioth. universelle*, tom. XLVII, sect. des sciences, pag. 1 et suiv.

venue pour le soustraire complétement à l'influence de l'irradiation. C'est ce dont nous allons nous occuper.

35. On a pu voir (§§ 17, 23 et 24) que toutes les fois que, pour essayer de mesurer l'irradiation, l'on a employé des micromètres à double image, on n'a pu lui trouver de valeur sensible, et que même dans une circonstance où le micromètre à fils décelait une irradiation notable, un micromètre à double image l'a fait disparaître. Des expériences que je vais décrire nous aideront à rendre raison de ce fait singulier, ou du moins à le faire dépendre d'une loi générale à laquelle est soumise l'irradiation oculaire.

Mais auparavant, il me paraît nécessaire de présenter ici quelques réflexions sur les causes qui pourraient affaiblir le degré de certitude des résultats de l'expérience, lorsqu'il s'agit de phénomènes aussi délicats que ceux qui font l'objet de ce mémoire, et je crois devoir rendre compte des précautions que j'ai constamment prises pour éviter ces causes d'erreurs. Les effets de l'irradiation étant de simples apparences engendrées dans l'œil même, et qui ont toujours peu d'étendue, on pourrait craindre, en premier lieu, que l'observateur ne se soit laissé influencer dans son jugement par quelque idée préconçue. D'un autre côté, il serait possible que l'effet qui se montre à lui, tînt à la constitution particulière de ses yeux, et ne pût être considéré comme un fait général. Pour se mettre à l'abri de ces incertitudes, le moyen qui se présente est de soumettre d'autres individus aux mêmes épreuves, et l'on sent qu'il faudra, autant que possible, faire choix de personnes instruites et habituées à l'observation des phénomènes naturels. J'ai eu égard à ces conditions pour les différentes expériences rapportées dans ce mémoire. Les personnes qui ont bien voulu m'aider, et qui ont répété soit la totalité, soit une partie de ces expériences, sont : MM. Quetelet, directeur de l'observatoire de Bruxelles; Burggraeve, professeur d'anatomie à l'université de Gand; Bommart, professeur de sciences appliquées aux constructions, *ibid.*; Cantraine, professeur de zoologie, *ibid.*; Mareska, professeur de chimie, *ibid.*; Manderlier, professeur de mathématiques, *ibid.*; Dupré, professeur de physique



à l'école industrielle de Gand; Le François, professeur de mécanique, *ibid.*; Jaequemyns, professeur de physique à l'athénée de la même ville; et Moke, docteur en médecine¹. Je dois ajouter que la plupart de mes appareils étant destinés à être observés de loin, j'ai dû m'imposer, pour les expériences qui s'y rapportent, une condition de plus dans le choix des personnes: c'est de n'avoir recours qu'à celles dont la vue était bonne, ou du moins non myope. Les yeux myopes peuvent, il est vrai, voir distinctement les objets éloignés, en employant des besicles à verres concaves; mais alors les phénomènes cessent d'être observés à l'œil nu, et nous verrons plus loin (§§ 97-104) que les lentilles placées devant l'œil, exercent sur l'irradiation une action particulière. Enfin, pour donner à mes résultats toutes les garanties possibles, je me suis toujours gardé de prévenir les personnes de l'effet que j'allais soumettre à leur observation, et lorsque je les interrogeais ensuite sur cet effet, j'avais grand soin de ne rien dire qui pût faire pencher leur jugement dans un sens plutôt que dans l'autre. Telle est la marche que j'ai suivie dans toutes mes expériences, et sur laquelle je ne reviendrai plus dans la suite de ce mémoire; mais je présenterai ici une dernière remarque. L'effet essentiel de l'irradiation à l'œil nu, savoir l'accroissement apparent d'un objet brillant projeté sur un fond obscur, peut être rendu évident chez tous les individus; jusqu'ici, du moins, comme je l'ai déjà dit, je n'en ai point trouvé qui ne pût le voir d'une manière plus ou moins prononcée. Mais l'intensité du phénomène variant beaucoup d'un individu à un autre, et se montrant fort petite pour certaines personnes, ces dernières pourront ne pas apercevoir quelques-unes des modifications de ce phénomène qui en constituent les diverses lois, ou porter sur ces modifications un jugement plus ou moins incertain: car pour ces personnes, l'effet principal étant lui-même fort peu développé, les changemens qu'il manifeste dans les différentes circonstances seront nécessairement aussi très-petits, et, par conséquent, difficiles à bien apprécier. Les

¹ Je saisirai cette occasion pour remercier ici ces personnes de l'extrême obligeance avec laquelle elles se sont prêtées à ces expériences, dont quelques-unes sont longues et fatigantes.

exceptions que pourront parfois présenter les résultats des expériences comparées, auront donc une moindre valeur si elles se rencontrent chez des personnes dont les yeux sont constitués de façon à ne voir l'effet principal que d'une manière peu prononcée. J'aurai soin, en rapportant les résultats de mes expériences, d'avertir s'il s'est offert quelque exception, et de mentionner dans quelle catégorie doivent se ranger les yeux pour lesquels elle s'est présentée.

36. Je passe maintenant aux expériences annoncées plus haut. Sur un carton blanc de mêmes dimensions que ceux dont il a été question précédemment (§ 28), on trace au tireligne, de *a* en *b* (*fig. 4*), une grosse ligne noire d'environ $\frac{1}{2}$ millimètre d'épaisseur; puis on achève de noircir le rectangle *cbgd*; de cette manière, le côté *bc* de ce rectangle noir forme une droite continue avec la limite de gauche de la petite bande noire *cafh*. Maintenant si l'on place le carton près d'une fenêtre, et qu'on s'en éloigne de quelques mètres, cette continuité paraît ne plus avoir lieu: le côté *cb* du rectangle noir semble reculé d'une quantité très-sensible vers *dg*, de manière que la petite bande noire fait saillie sur lui, comme le représente la figure 5¹. Il résulte donc de là que l'espace blanc *qcbn* (*fig. 4*) empiète davantage par son irradiation sur le rectangle noir, que l'espace blanc *macq* n'empiète sur la petite bande noire. Or cette différence doit nécessairement être attribuée à la présence de l'espace blanc *fhd़p* qui existe de l'autre côté de cette petite bande: car si l'on noircissait également ce dernier espace, tout serait semblable au-dessus et au-dessous de *qd*, et les empiétemens devraient être les mêmes; ou, en d'autres termes, la ligne qui paraîtrait terminer du côté droit l'espace blanc total *mabn*, serait une droite continue. Ainsi l'irradiation de *macq* le long de *ac*, est contrariée par la présence de l'espace blanc voisin *p/hd* dont l'irradiation tend à se développer en sens contraire; et comme ces deux espaces blancs sont situés, l'un à l'égard de l'autre, d'une manière semblable, nous en conclurons que chacun d'entre eux exerce sur l'ir-

¹ Six personnes ont répété cette expérience, et avec le même résultat, à l'intensité près.



SUR L'IRRADIATION.

41

radiation de l'autre, une action qui la diminue. Si l'on donne à la bande noire une épaisseur plus grande, l'effet de saillie apparente devient moindre. Nous sommes donc conduits ainsi au principe général suivant :

Deux irradiations en regard et suffisamment rapprochées, éprouvent l'une et l'autre une diminution. Cette diminution est d'autant plus considérable que les bords des espaces lumineux d'où émanent les deux irradiations, sont plus voisins.

37. On peut, de la manière suivante, rendre plus curieuse l'expérience que je viens de rapporter. Au lieu de l'appareil de carton de la figure 4, on se sert d'un appareil construit en bois, et qui est représenté *fig. 6.* *abcd* est une planche de 20 centimètres de hauteur, et 17 de largeur. Sur la partie *fbcg* on a enlevé la moitié de l'épaisseur du bois, de sorte que la partie *afgd* demeure en saillie. *lmno* est une planchette de même largeur que le rectangle *afgd*, mais d'une hauteur moitié moindre, et dont la surface antérieure est dans le même plan que celle de ce rectangle. Cette planchette peut glisser le long d'une coulisse *cg*, de manière que le bord *on* s'approche ou s'éloigne de *vg*; ce mouvement est réglé par une vis en bois engagée derrière l'appareil et dont la tête *r* est munie d'une petite manivelle *s*. La moitié *fbcg* de la grande planche est noircie, tandis que l'autre moitié *afgd* et la planchette *lmno* sont peintes en blanc. Enfin le tout est porté sur un pied *t*. Maintenant, la planchette ayant été reculée, au moyen de la manivelle, jusqu'à ce que le bord *on* soit écarté de *vg* de trois ou quatre centimètres, on place l'appareil dans un lieu bien éclairé et où l'on puisse s'en éloigner de douze ou quinze mètres. Dans cet état de choses, le bord *fg* du grand rectangle blanc se trouvant très-distant du bord *on* de la planchette, l'irradiation peut s'exercer en liberté sur toute sa longueur, et l'observateur placé à douze ou quinze mètres de l'appareil, voit la ligne *fg* comme une droite continue. Mais si, tandis qu'il tient les yeux fixés sur cette ligne, une autre personne fait mouvoir la manivelle de manière à rapprocher graduelle-

ment la planchette du grand rectangle blanc, la moitié *vg* de la ligne en question cesse bientôt de se montrer exactement dans le prolongement de *vf*: elle semble se mettre en mouvement, et reculer de plus en plus vers *ad*, à mesure que le bord *on* s'approche, ou que la bande noire *vong* devient plus étroite. On sent que ce déplacement apparent sera d'autant plus prononcé que les yeux de l'observateur seront plus sensibles à l'irradiation.

38. Voici une autre expérience qui démontre d'une manière peut-être plus directe que les précédentes, le principe que nous avons établi. Sur un cadre de carton solide *abcd* (*fig. 7*), ayant extérieurement 20 centimètres de largeur et 15 de hauteur, on tend un papier mince dans lequel on découpe ensuite une ouverture rectangulaire *fghk*, large de 15 millimètres, et qui s'étend d'un côté du cadre à l'autre; puis, en travers de cette ouverture, on colle une bande de carton *lmno* de 20 millimètres de largeur, et de *p* en *q* l'on tend un cordon noir d'environ un millimètre de diamètre; enfin l'on noircit le cadre et la bande *lmno*. Tout étant ainsi disposé, on place l'appareil contre l'un des carreaux supérieurs d'une fenêtre, et l'on s'en éloigne de huit à dix mètres, en choisissant une position telle, qu'on voie le ciel à travers les portions libres de l'ouverture *fghk*. De cette manière, les parties moyennes de la large bande noire et du cordon se projettent sur le ciel, tandis que leurs parties supérieures et inférieures se détachent sur un fond beaucoup moins éclatant, formé par le papier translucide. Or, on voit alors la large bande noire fortement entamée en *rs* et *tu* par les irradiations qui se développent en ces deux endroits, tandis que les échancrures que l'on aperçoit en *vx* et *yz* sur le cordon, sont beaucoup moins prononcées: l'on reconnaîtra que les premières égalent en somme beaucoup plus que la largeur du cordon, de sorte que si l'irradiation se produisait avec autant de développement sur celui-ci, elle serait plus que suffisante pour le faire disparaître entièrement. Maintenant, il n'y a d'autre différence entre les circonstances qui peuvent modifier le phénomène sur la bande noire et sur le cordon, que celle qui existe entre les largeurs de



ces deux objets, ou, en d'autres termes, entre les distances qui séparent les deux irradiations en regard. Cette expérience, comme les précédentes, conduit donc au principe que nous avons énoncé¹.

39. S'il était nécessaire d'ajouter encore des expériences à l'appui de ce principe, je pourrais citer les suivantes, dont les résultats sont des conséquences naturelles de son existence.

Un carton de mêmes dimensions que ceux des figures 3, 4, etc., est peint en noir à la réserve d'un espace rectangulaire *abcd* (*fig. 8*), de 5 centimètres de hauteur et 9 millimètres de largeur, sur lequel on trace ensuite deux grosses lignes noires d'un millimètre d'épaisseur, qui partagent ce rectangle en trois petites bandes blanches égales en largeur, comme le représente la figure. Si l'on place cet appareil près d'une fenêtre, et qu'on le regarde d'une distance convenable, la bande blanche du milieu paraîtra notablement moins large que les deux autres. Ici, comme on le voit, les irradiations qui tendent à se développer le long des bords de droite et de gauche de cette bande du milieu, sont contrariées par le voisinage des deux autres bandes; tandis que les irradiations des bords *ad* et *bc* des bandes latérales peuvent s'étendre librement, et accroître ainsi la largeur apparente de ces dernières bandes².

On peint en noir sur un carton blanc, un triangle équilatéral représenté en grandeur *fig. 9*, et on le regarde, comme l'appareil précédent, à quelques mètres de distance, après avoir placé le carton dans un endroit bien éclairé. Alors les côtés du triangle cessent de paraître rectilignes : ils se montrent légèrement concaves vers l'intérieur, comme on le voit *fig. 10*. C'est qu'au milieu de chacun d'entre eux, l'irradiation par laquelle le fond blanc empiète en apparence sur l'intérieur de la figure noire, éprouve peu ou point d'obstacle, à cause de la distance, de la part des parties du fond qui touchent les deux autres côtés ; tandis qu'en s'approchant de chacun des sommets, les irradiations développées le long des deux côtés qui y aboutissent,

¹ Cette expérience a été répétée par quatre personnes, et avec le même résultat.

² *Id.*

deviennent de plus en plus voisines, et éprouvent, par conséquent, une diminution de plus en plus prononcée¹.

Enfin c'est à cette espèce de neutralisation de deux irradiations voisines, que nous sommes redevables de pouvoir distinguer, même à la clarté du soleil, les traits les plus fins de l'écriture la plus déliée, d'apercevoir un cheveu, même un fil de cocon, projeté sur le ciel, etc. : car l'irradiation, même à la distance de la vision distincte, serait beaucoup plus que suffisante, comme nous le verrons plus loin (§ 95), pour effacer complètement ces objets si minces, si les empiétemens qui tendent à se produire des deux côtés n'éprouvaient une diminution considérable.

40. Le principe auquel nous sommes arrivés, explique tout naturellement l'effet des micromètres à double image. Car à mesure que l'on rapproche les deux images circulaires de l'objet lumineux, les irradiations oculaires de chacune d'entre elles éprouvent une diminution de plus en plus grande aux environs des deux points qui doivent arriver en contact, de sorte qu'ensin, lorsque le contact a lieu, on peut croire que les deux irradiations sont totalement détruites en cet endroit. En admettant maintenant que la lunette employée soit très-bonne, de manière que l'effet des aberrations y soit négligeable, la valeur du diamètre angulaire de l'objet obtenue par ce moyen, pourra être considérée comme exacte. Les résultats de MM. Arago, Robinson et Bessel, sont donc des conséquences nécessaires du principe général de la neutralisation de deux irradiations voisines.

41. Il me paraît résulter de là un procédé pour obtenir la valeur de la partie de l'erreur totale due aux aberrations d'une lunette déterminée, pourvu que l'on puisse employer un micromètre à double image. En effet, supposons que l'on répète, à l'aide de cette lunette munie d'un semblable micromètre, l'expérience de M. Arago ; c'est-à-dire que l'on mesure le diamètre angulaire d'un disque lumineux artificiel dont on connaît exactement les dimensions et la distance. Si l'on trouve

¹ Cette expérience a été également répétée par quatre personnes, et avec le même résultat.

une différence sensible entre la valeur déduite de l'observation micrométrique, et la valeur réelle et connue de ce diamètre angulaire, cette différence sera la valeur de α (§ 32), ou de l'erreur due aux aberrations de l'instrument dont on s'est servi : car le micromètre à double image, en annulant l'erreur qui proviendrait de l'irradiation oculaire, doit évidemment laisser subsister celle qui naîtrait des aberrations de la lunette. La valeur de α ainsi déterminée sera alors une correction qu'il faudra faire subir à toutes les observations faites avec le même instrument, qui peuvent être influencées par les aberrations. Si l'on ne trouve pas de valeur sensible pour α , ce sera une preuve que la lunette employée peut être considérée comme exempte d'aberrations.

42. Connaissant ainsi cette partie de l'erreur totale pour la lunette dont il s'agit, on se mettra sensiblement à l'abri de celle qu'entraîne l'irradiation oculaire, soit en employant de forts grossissements, soit, comme le propose M. Robinson (§ 23), en augmentant l'éclairement du champ de la lunette et diminuant en même temps l'éclat de l'image, soit enfin en se servant d'un micromètre objectif, ou d'un micromètre de cristal de roche.

Il me semble donc qu'en suivant les indications précédentes, on parviendra à obtenir des résultats exacts, quand même la lunette serait médiocre, et l'œil de l'observateur très-sensible à l'irradiation.

43. La question de l'irradiation, quant à l'existence du phénomène et à l'influence de celui-ci dans les observations astronomiques, me paraît maintenant éclaircie. On a vu qu'à l'œil nu, le phénomène est des plus évidens et des plus faciles à constater; que, dans les lunettes, il se complique de l'effet des aberrations, et que l'erreur totale dépend, dans ce cas, de la perfection de l'instrument; de l'éclat de l'image; du grossissement, tant par lui-même que par l'action particulière qu'exerce l'oculaire; de la constitution et de la disposition de l'œil; et en outre, de l'espèce de micromètre dont on se sert. Ainsi, il est impossible d'admettre, comme l'avait fait Du Séjour¹, et comme

¹ Dans son grand travail sur le calcul des éclipses, Du Séjour est arrivé à la conclusion, que le diamètre du soleil est agrandi par l'irradiation, dans les lunettes, d'environ $3''\frac{1}{2}$.

un grand nombre d'astronomes l'ont adopté ensuite d'après lui, une valeur constante pour cette erreur, puisqu'elle dépend d'élémens essentiellement variables; et les observateurs qui ont cherché à la déterminer, ont dû nécessairement arriver à des résultats plus ou moins contradictoires.

**DE LA CAUSE DE L'IRRADIATION OCULAIRE, ET DES LOIS AUXQUELLES
LE PHÉNOMÈNE EST SOUMIS.**

44. Après nous être mis au fait de l'état actuel de la question de l'irradiation parmi les physiciens et les astronomes en passant en revue les différentes recherches qui ont été faites jusqu'ici sur cet objet; après avoir essayé de montrer d'où viennent les incertitudes qui ont enveloppé cette même question, comment il faut envisager l'influence de l'irradiation dans les observations astronomiques, quels sont les éléments qui modifient cette influence, et enfin par quels moyens il est possible de s'en garantir, il me reste à examiner le phénomène de l'irradiation oculaire sous le point de vue de sa cause et des lois qui le régissent.

45. Considérons d'abord d'un peu plus près qu'on ne l'a fait jusqu'à présent, la théorie la plus généralement admise aujourd'hui, théorie qui attribue le phénomène à ce que l'impression d'un objet lumineux se propage, sur la rétine, un peu au delà du contour de l'espace qu'affecte directement la lumière émanée de cet objet.

Le principe de continuité sur lequel se fonde cette théorie est si simple, que si l'existence de l'irradiation n'était pas connue, il semble qu'on devrait la prévoir *à priori*. En effet, supposons que l'on regarde fixement un objet lumineux ou éclairé se détachant sur un fond complètement noir. La lumière émanée de cet objet frappera une portion déterminée de la rétine, et le reste de l'organe ne sera



SUR L'IRRADIATION.

47

soumis à aucune excitation directe. Mais est-il présumable que les parties de la rétine qui environnent immédiatement la portion directement excitée soient dans un repos parfait ? On ne peut admettre qu'un état d'excitation énergique, et l'état de repos absolu, soient ainsi, sur le même organe, en contact immédiat. On est donc conduit *à priori* à penser qu'il doit se manifester, autour de l'image de l'objet, quelque apparence qui forme le passage graduel entre l'état d'excitation de la partie de l'organe soumise à l'action directe de la lumière, et l'état de repos des parties plus éloignées. Or, de quelque manière que se fasse ce passage, on doit regarder comme insinulement probable que l'excitation se propage jusqu'à une distance plus ou moins grande sans changer de nature, autour de l'espace frappé par la lumière, et qu'ainsi il doit en résulter la sensation d'une image plus grande.

46. L'irradiation serait donc, relativement à *l'espace*, ce que le phénomène connu de la persistance des impressions de la rétine, est relativement au *temps*. D'un côté, lorsque la rétine *après* avoir été excitée pendant un certain temps par la lumière émanée d'un objet, est subitement soustraite à cette action, l'impression *persiste* encore pendant quelques instans. De l'autre côté, *pendant* que la rétine est soumise à l'action de la lumière émanée d'un objet, l'impression *s'étendrait* jusqu'à une petite distance autour de l'image de cet objet. L'un et l'autre phénomène seraient les résultats d'une simple loi de continuité, en vertu de laquelle lorsqu'une portion de l'organe est écartée de son état normal, l'état dynamique qui en résulte ne peut ni s'anéantir instantanément, ni demeurer immédiatement contigu à un état de repos parfait.

47. Dans cette manière de voir, les passages de l'excitation au repos, soit selon le temps, soit selon l'espace, ne se feraient pas seulement par la persistance des impressions et par l'irradiation : ils seraient complétés par les phénomènes connus sous le nom de *couleurs accidentielles*. J'ai essayé de lier toutes ces apparences dans une théorie générale basée sur les considérations de continuité qui pré-



cèdent, et dont on peut voir un exposé sommaire dans les *Annales de chimie et de physique* de MM. Gay-Lussac et Arago (août 1833, page 386 et suiv.)¹. Revenons à l'irradiation.

48. On vient de voir combien l'explication du phénomène par une propagation latérale de l'impression, paraît simple et naturelle. À ces considérations purement rationnelles, ajoutons maintenant des faits. Il en est qui prouvent avec évidence que, dans certains cas, une impression peut se propager latéralement. On sait que le petit espace qui correspond, sur la rétine, à l'insertion du nerf optique, et que l'on nomme le *punctum cœcum*, paraît insensible à l'action de la lumière directe : ainsi lorsqu'on place sur une surface noire un petit objet blanc ou coloré, et que, fermant l'un des yeux, on dirige l'autre de telle manière que l'image de cet objet tombe sur la portion de la rétine dont il s'agit, l'objet disparaît. Or si, au lieu d'un objet coloré placé sur un fond noir, on emploie au contraire un objet noir sur une surface colorée, l'objet disparaît tout aussi bien, et la couleur de la surface s'étend sur l'endroit qu'il occupe. Il suit évidemment de là, comme l'a remarqué sir D. Brewster², que la partie de la rétine où se fait l'insertion du nerf optique, est alors impressionnée par communication. En d'autres termes, l'impression environnante se propage latéralement sur ce petit espace.

Ainsi d'abord, en expliquant l'irradiation par une propagation latérale de l'impression, l'on ne fait qu'attribuer à la totalité de la rétine une propriété que cet organe possède incontestablement sur une petite portion de son étendue. On pourrait objecter, à la vérité, que le *punctum cœcum* ne peut pas être assimilé au reste de l'organe, puisqu'il ne paraît pas impressionné par la lumière directe ; mais cette objection tombe devant une autre observation de sir D. Brewster³. Ce

¹ J'ai développé la première partie de cette théorie, c'est-à-dire celle qui concerne le passage *selon le temps*, dans un mémoire spécial inséré dans le tome VIII des *Mémoires de l'Académie de Bruxelles*, et dans le n° d'avril 1833 des *Annales de chimie et de physique*. Je m'occupe en ce moment de la seconde partie.

² *Letters on natural magic*, pag. 13.

³ *Ibid.*, pag. 12.

physicien a constaté que lorsque l'objet qui envoie la lumière directe sur le *punctum cœcum* a beaucoup d'éclat, il ne disparaît pas complètement, et que l'on voit à sa place une lumière faible et nébuleuse : c'est ce que l'on peut vérifier, par exemple, avec la flamme d'une bougie. Il suit de là que le *punctum cœcum* n'est pas entièrement dépourvu de la faculté que possède le reste de la rétine : nous devons donc considérer l'espace qu'il embrasse comme étant seulement peu sensible aux impressions directes, mais propageant les impressions latérales très-facilement et à une grande distance, car cet espace a plusieurs degrés de largeur angulaire ; et l'on pourra regarder le reste de l'organe comme très-sensible, au contraire, aux impressions directes, mais ne propageant les impressions latérales qu'à une petite distance.

49. Un fait que j'ai constaté vient encore appuyer la légitimité de ces conclusions. Il peut s'énoncer de la manière suivante :

L'irradiation augmente avec la durée de la contemplation de l'objet.



On peut s'en assurer par l'expérience que voici. Sur un carton blanc de mêmes dimensions que ceux qui nous ont déjà servi, on peint en noir deux espaces *abcdef* et *ghklm* (fig. 11) rectangulaires sauf une petite échancrure à leurs sommets en regard. Cette échancrure fait partie d'un petit carré d'un centimètre de côté, placé au milieu du carton, comme l'indique la figure. Les bords *dc* et *kl* des espaces noirs sont dans le prolongement l'un de l'autre ; mais il n'en est pas de même des bords *ab* et *gh*, qui sont en avant l'un de l'autre de deux millimètres, de telle manière que si l'on tirait, par le milieu du petit carré, une ligne parallèle aux bords *nm* et *fo* du carton, cette ligne moyenne passerait dans l'intérieur des deux espaces noirs, à un millimètre de chacune des lignes *ab* et *gh*.

Si l'on regarde cet appareil de loin, comme les précédens, il est évident que les irradiations des espaces blancs le long des bords *ab* et *gh*, feront reculer, en apparence, ces deux bords, de telle manière que, pour une certaine distance de l'œil, ils paraîtront dans le prolongement l'un de l'autre. Pour une distance plus considérable, les

deux bords reculant davantage passeront de l'autre côté de la ligne moyenne , de sorte que celle-ci tomberait alors dans l'intérieur des deux espaces blancs agrandis par l'irradiation. Maintenant supposons que l'observateur se place à la distance, préalablement déterminée par tâtonnement, où les lignes *ab* et *gh* se montrent à lui dans le prolongement l'une de l'autre. S'il continue à regarder fixement, cette coïncidence cessera d'exister, et les deux lignes lui paraîtront reculer de plus en plus , comme s'il s'éloignait davantage du carton ¹. Ce dernier effet n'a lieu , du reste , que jusqu'à une certaine limite. Lorsqu'on cherche par tâtonnement la distance en question , il faut seulement avoir soin , à chaque essai , de ne pas regarder le carton trop long-temps; autrement la distance trouvée serait celle qui convient à une contemplation prolongée , et alors l'effet n'augmenterait plus sensiblement.

Quant aux petites échancrures laissées en blanc aux deux sommets en regard des rectangles noirs , si elles n'existaient pas , les bords *dc* et *kl* auraient une petite partie commune , et alors les deux sommets en regard des espaces blancs n'étant séparés , en cet endroit , que de deux millimètres , leurs irradiations y éprouveraient une diminution sensible (§ 36) , et il en résulterait , vers ce même point , une incurvation apparente des lignes *ab* et *gh* , ce qui empêcherait de bien juger de l'effet.

50. Maintenant , les physiciens admettent que , par la durée de la contemplation , la rétine se laisse de moins en moins impressionner par la lumière directe , et , dans la première section de mon mémoire sur les apparences visuelles cité plus haut (note du § 47) , j'ai fait voir , par une expérience spéciale ² , qu'il en était effectivement ainsi , quoique j'aie donné du fait une explication différente de celle qui était adoptée généralement. Si nous rapprochons ce fait de celui que nous avons rapporté dans le paragraphe précédent , nous en conclurons qu'à mesure que la lumière directe semble perdre de son pouvoir sur

¹ Sur six personnes soumises à l'expérience , une seule n'a pas observé cet effet ; chez cette personne , d'ailleurs , l'irradiation , quoique sensible , se développe toujours faiblement.

² Voy. ce mémoire , §§ 34 et 58-62.

la rétine, l'impression propagée s'y développe davantage, et l'on voit qu'il en résulte une analogie de plus entre le *punctum cæcum* et le reste de l'organe.

51. Enfin, veut-on des faits qui montrent la propagation latérale de l'impression à des parties de la rétine étrangères au *punctum cæcum*? Nous pourrons encore recourir à des expériences rapportées par sir D. Brewster¹. On place sur un fond coloré une bande étroite de papier blanc, ou bien l'on trace une raie noire sur une surface blanche; puis l'on tient l'œil fixé sur un autre point, distant du petit objet de sept ou huit centimètres, de manière à ne voir ce dernier qu'indirectement. Au bout de quelques instans, si l'œil est bien immobile, l'objet disparaît complètement, et la couleur de la surface environnante paraît s'étendre sur la place qu'il occupe. Ainsi les mêmes effets qui se produisent sur le *punctum cæcum*, se développent aussi sur d'autres parties de la rétine, lorsque, par une contemplation prolongée, on a diminué la disposition de ces parties à recevoir les impressions directes. La propagation latérale des impressions aux parties adjacentes de la rétine, et la relation qui lie ce phénomène au plus ou moins de disposition de l'organe à recevoir les impressions directes, me semblent donc maintenant à peu près démontrées.

52. Ainsi les considérations rationnelles, l'analogie et l'expérience appuient, d'une manière bien remarquable, la théorie qui attribue l'irradiation à une propagation latérale de l'impression. Voyons maintenant si cette même théorie pourra rendre raison des lois diverses auxquelles le phénomène est soumis, et si elle ne tirera pas de quelques-unes d'entre elles, de nouveaux argumens en sa faveur.

53. En premier lieu, j'ai avancé que l'irradiation n'était pas la même chez les différens individus, et qu'elle variait aussi chez une même personne avec la disposition des yeux. Ces faits découlent tout naturellement de la théorie en question : si l'irradiation est un phénomène de sensation, il est impossible qu'elle soit identique dans tous les

¹ *The Edinburgh journal of science*, n° 6, octobre 1823, p. 289.

yeux, et l'on conçoit que, dans le même œil, elle pourra être tantôt plus tantôt moins développée. Je rapporterai d'abord, à ce sujet, quelques résultats d'expérience : ils ne doivent être considérés que comme des approximations très-grossières ; mais ils serviront à donner une première idée d'une méthode dont je parlerai plus loin avec détail, et au moyen de laquelle je suis parvenu à mesurer, avec beaucoup de précision, l'irradiation développée chez différentes personnes, à des époques différentes, et dans des circonstances déterminées. D'ailleurs les observations dont je vais rendre compte, ont été faites à l'aide d'un appareil que chacun peut construire aisément, et dont l'emploi pourrait conduire, en usant des précautions nécessaires, à des résultats exacts. Cet appareil est celui que j'ai décrit au paragraphe 49. Lorsqu'un observateur placé à une distance convenable, voit les deux bords *ab* et *gh* des espaces blancs (*fig. 11*) dans le prolongement l'un de l'autre, cet effet apparent est le résultat combiné des deux irradiations partielles qui ont lieu le long de ces deux lignes. C'est comme si chacune d'elles avait avancé en réalité parallèlement à elle-même vers le prolongement de l'autre, de la moitié de la distance qui les sépare, et qui est, par construction, de deux millimètres. Il résulte de là que l'irradiation qui a lieu le long de *ab*, par exemple, soutend, dans les circonstances dont il s'agit, un angle visuel dont les côtés s'appuieraient, à l'objet, sur une base d'un millimètre. Connaissant donc cette base et la distance de l'objet à l'observateur, on pourra, par ce moyen, obtenir la mesure approchée de l'irradiation chez cette personne, à une certaine époque, et pour le cas particulier d'un objet blanc exposé à la lumière du jour. Mais il y a ici une remarque importante à faire. L'irradiation croissant, comme nous l'avons vu, jusqu'à une certaine limite avec la durée de la contemplation, l'on peut se proposer, quant à la mesure de l'irradiation, deux questions différentes, savoir : la détermination de la valeur qui correspond au premier instant de la contemplation, ou bien celle de la valeur qu'acquierte l'irradiation après une contemplation assez prolongée pour que l'effet n'éprouve plus d'accroissement sensible. Les quantités ci-dessous répondent à la



première de ces deux questions ; mais j'ai reconnu plus tard qu'il valait beaucoup mieux , quant à la précision des résultats, prolonger la contemplation de l'objet jusqu'au *maximum* d'effet , parce qu'il est bien difficile de juger au premier coup d'œil , si les deux lignes remplissent la condition voulue de prolongement , et que le peu d'instans pendant lesquels on regarde l'appareil pour s'assurer de cette coïncidence , peuvent suffire pour modifier l'irradiation. Voici maintenant les résultats : ils ont été obtenus à la même époque , pour trois personnes différentes.

	DISTANCE.	VALEUR ANGULAIRE DE L'IRRADIATION.
	mètres.	
1 ^{re} personne	2,5	1' 22''
2 ^{me} —	3,0	0' 41''
3 ^{me} —	12,0	0' 17''

Ces résultats montrent , comme on voit , de grandes différences , de l'une à l'autre de ces personnes ; mais , outre qu'ils ne sont qu'approximatifs à cause de la difficulté de ce genre d'observations , ils ne peuvent indiquer si ces différences proviennent de ce que l'irradiation est réellement différente chez les différens individus , ou de ce que , variant chez la même personne , l'une de celles dont il s'agit était , pour ainsi dire , dans un accès de facile irradiation , tandis qu'une autre se trouvait dans un accès contraire. Nous renvoyons donc plus loin pour une discussion plus complète sur cette matière.

54. La théorie dont nous nous occupons explique d'une manière aussi simple pourquoi l'irradiation paraît d'autant plus grande que l'objet lumineux est plus éloigné. En effet , remarquons d'abord que la largeur absolue de la petite bande d'impression propagée qui , d'après cette théorie , entoure , sur la rétine , l'image de l'objet , ne peut dépendre de la distance de cet objet , pourvu que celui-ci conserve le même éclat , qu'il se détache toujours sur un fond également sombre , etc. Il suit de là que l'angle visuel soutenu par cette même largeur doit également demeurer constant quelle que soit la distance. Or , comme l'observateur rapporte nécessairement l'apparence résul-



tante à l'objet lui-même, il doit attribuer à la petite bande lumineuse qui lui semble ajoutée au contour de cet objet, une largeur absolue proportionnelle à la distance qui existe ou qu'il suppose exister entre son œil et ce dernier. En effet, si l'on imagine pour un instant que l'apparence soit une réalité, et qu'une petite bande semblable soit effectivement ajoutée au contour de l'objet, on ne pourrait évidemment la voir sous un angle visuel constant et indépendant de la distance, qu'en faisant varier sa largeur absolue proportionnellement à cette même distance. Il en serait de l'irradiation comme des *couleurs accidentelles* : on sait que si, après avoir regardé pendant assez long-temps un objet rouge, par exemple, on porte les yeux sur une surface blanche, on voit bientôt paraître une image verte de même forme que l'objet ; mais cette image, qui dépend d'une modification éprouvée par la rétine dans l'espace qui correspondait préalablement à l'image rouge, doit soutendre le même angle que cette dernière, et par conséquent paraître d'autant plus grande qu'on la projette sur des surfaces plus éloignées. C'est, comme on sait, ce que l'expérience confirme parfaitement.

55. Ainsi l'accroissement que paraît prendre l'irradiation lorsqu'on la rapporte à une distance plus grande, est une conséquence nécessaire de la théorie que nous discutons. Maintenant si l'on pouvait démontrer que cet accroissement apparent correspond réellement à un angle visuel constant pour le même œil et le même objet, cette démonstration constituerait l'un des arguments les plus puissants que l'on pourrait apporter en faveur de la même théorie : car cette constance de l'angle visuel est le caractère principal des phénomènes de vision qui dépendent d'une modification éprouvée par une portion de la rétine d'une étendue constante. Or je crois être parvenu, comme on va le voir, à établir ce fait important. J'ai employé pour cela la méthode de mesure annoncée dans le paragraphe 53.

L'appareil dont j'ai fait usage est représenté *fig. 12.* *abcd* est une plaque rectangulaire de cuivre noircie, d'environ un millimètre et demi d'épaisseur, 10 centimètres de hauteur, et 8 de largeur. Cette



plaqué est percée à jour suivant la ligne $fghiklf$, de manière qu'il n'en reste que la partie terminée par les deux lignes gf et lf , plus une portion de cadre $ghikl$ de 8 millimètres de largeur. $mnop$ est une plaque rectangulaire mobile également noircie, dont la surface antérieure est dans le même plan que celle du reste de l'appareil, et qui se meut le long de deux coulisses pratiquées l'une dans le bord ik du cadre, l'autre dans une petite pièce qr fixée au côté hi de ce même cadre. Les bords gf et lf de la partie fixe sont parallèles l'un aux côtés ad , bc , l'autre aux côtés ab , dc , et ils sont situés à égale distance de ces côtés. Le bord mp de la plaque mobile demeure toujours exactement parallèle à gf , et le bord mn vient toucher le bord lf , lorsqu'on amène la plaque mobile en partie au-dessous de cette dernière ligne ; ces quatre bords gf , lf , mp , mn sont taillés en biseau par derrière afin qu'ils paraissent nettement tranchés et sans épaisseur visible. La position de la plaque mobile est réglée par une vis micrométrique st sur la tête de laquelle est tracé un point de repère placé de telle manière que lorsque les deux bords gf et mp sont exactement dans le prolongement l'un de l'autre, ce point répond à l'index v fixé au côté extérieur du cadre. Enfin le tout est porté sur un pied xy construit de façon que l'on puisse hausser ou baisser l'appareil à volonté.

Supposons maintenant que, le bord mp ayant été amené dans le prolongement de gf , on fasse faire ensuite à la vis un ou plusieurs tours dans le sens qui fait avancer la plaque mobile vers lk , de sorte que la coïncidence entre les lignes en question cesse d'exister, et que les deux bords se trouvent en avant l'un de l'autre d'une certaine quantité, comme le représente la figure. L'appareil étant ainsi disposé, imaginons qu'on le place de manière qu'il se projette sur un champ suffisamment lumineux, sur le ciel, par exemple. Alors les ouvertures $ghrf$ et $lmpk$ paraîtront lumineuses, et l'on aura un système analogue à celui de la figure 11, avec cette différence principale, qu'on pourra modifier à volonté la quantité dont les bords gf et mp des espaces lumineux, sont en avant l'un de l'autre. Si donc on regarde l'appareil ainsi placé, l'irradiation produite le long des



deux bords ci-dessus les fera reculer en apparence l'un vers l'autre, comme dans les expériences des §§ 49 et 53, et l'on pourra de même chercher une distance telle, que ces deux bords paraissent dans le prolongement l'un de l'autre. Alors aussi, comme dans les expériences du § 53, connaissant l'écartement réel des deux bords et la distance de l'appareil à l'œil, on pourra calculer l'angle visuel soutenu par l'irradiation. La détermination de l'écartement des deux bords ne présente aucune difficulté, si l'on a fait en sorte qu'il corresponde à un nombre entier de tours de la vis, ce qui a évidemment lieu lorsque le point de repère est amené sous l'index. En effet, cet écartement est égal au produit du nombre de tours qui le constitue, par la quantité dont un seul tour fait avancer la plaque; or, pour obtenir une fois pour toutes cette dernière quantité avec une précision suffisante, on fera faire à la vis un nombre assez considérable de tours, une dixaine, par exemple, à partir du point où les deux bords sont dans le prolongement l'un de l'autre; puis on prendra directement la mesure de l'écartement résultant, et on la divisera par ce nombre de tours.

56. Veut-on maintenant chercher, à l'aide de cet appareil, si l'angle visuel qui mesure l'irradiation est indépendant de la distance de l'objet à l'œil, ou s'il suit une autre loi? On fera une série de déterminations de cet angle visuel correspondantes, pour un même œil, à des écartemens différens, et par conséquent à des distances différentes; puis il n'y aura plus qu'à comparer entre elles ces valeurs successives. Je parlerai bientôt des précautions à prendre pour donner de la précision aux résultats.

On pourra, de la manière suivante, simplifier beaucoup les calculs. Soit e l'écartement produit par un seul tour de la vis, et δ la distance à laquelle une personne déterminée doit se placer lors des expériences, pour voir cet écartement annulé par l'irradiation. L'angle visuel qui mesure cette irradiation s'appuiera sur une base égale à $\frac{1}{2}e$ (§ 53), et si l'on représente cet angle par α , l'on aura évidemment

$$\tan \alpha = \frac{\frac{1}{2}e}{\delta} \quad [1]$$

SUR L'IRRADIATION.

57

Soit en outre N_e un écartement quelconque déterminé par N tours de la vis, D la distance qui le fait disparaître pour la même personne ou pour une autre, et A la valeur correspondante de l'irradiation ; l'on aura de même

$$\text{tang. } A = \frac{\frac{1}{2}N_e}{D}.$$

Divisant cette équation par la précédente, il viendra

$$\frac{\text{tang. } A}{\text{tang. } \alpha} = \frac{N\delta}{D},$$

et comme les angles A et α sont nécessairement très-petits, les arcs qui les mesurent se confondront avec leurs tangentes, et l'on pourra remplacer $\frac{\text{tang. } A}{\text{tang. } \alpha}$ par $\frac{A}{\alpha}$, d'où l'on déduira

$$A = \frac{N\delta}{D} \alpha. \quad [2]$$



Maintenant, au lieu d'exprimer en fractions de degrés chaque valeur particulière de l'irradiation, nous pouvons rapporter toutes ces valeurs à une unité de leur espèce convenablement choisie. Supposons donc un observateur dont les yeux soient tels, que l'écartement déterminé par un seul tour de la vis disparaisse, pour lui, à la distance d'un mètre, et prenons pour unité d'irradiation celle qui produirait cet effet. Cette unité d'irradiation correspondra, par conséquent, à l'angle visuel qui serait soutenu par une base égale à $\frac{1}{2}e$ placée à un mètre de distance. Cela convenu, si l'on prend aussi le mètre pour unité de distance, on a, dans la formule [2], $\alpha = 1$, $\delta = 1$, et cette formule devient simplement

$$A = \frac{N}{D}. \quad [3]$$

Telle est donc l'expression qui donne, en fonction de l'unité que nous avons adoptée, la valeur particulière de l'irradiation qui correspond à une observation faite par une personne quelconque, et l'on voit

que, pour obtenir cette valeur, il suffit de diviser le nombre de tours de la vis d'où résultait l'écartement des bords, par la distance à laquelle la personne a dû se placer pour voir disparaître cet écartement. On peut arriver immédiatement à la formule [3] en remarquant que l'angle visuel dont il s'agit étant très-petit, sa valeur doit être en raison directe de la base sur laquelle il s'appuie, et en raison inverse de la distance de l'œil; or cette base, qui est la moitié de l'écartement des bords, est proportionnelle au nombre de tours de la vis: on pourra donc prendre pour mesure de l'angle en question, ce nombre de tours divisé par la distance de l'œil, ou $\frac{N}{D}$; et cette quantité sera égale à l'unité quand on aura à la fois $N = 1$, $D = 1$.

Après avoir obtenu de cette manière les valeurs relatives de l'irradiation dans différentes circonstances, si l'on veut les transformer en valeur absolues exprimées en fractions de degrés, il suffira de calculer une fois pour toutes la valeur absolue de l'angle que nous avons pris pour unité, puis de multiplier par cette quantité toutes les valeurs relatives de l'irradiation.

57. Avant de rapporter les résultats des expériences que j'ai tentées pour m'assurer si la valeur angulaire de l'irradiation était indépendante de la distance, je vais rendre compte des précautions que j'ai prises pour en assurer le succès. 1^o La situation des appartemens dans lesquels elles ont été faites ne permettant pas que l'appareil placé à la hauteur de l'œil devant une fenêtre pût se projeter directement sur le ciel, j'ai obvié à cet inconvénient au moyen d'un miroir incliné, disposé de manière que l'on y vit le ciel par réflexion dans la direction convenable. 2^o Dans cette circonstance comme dans toutes les autres, je ne m'en suis pas rapporté à ce qui avait lieu dans mes propres yeux, et j'ai en recours à d'autres personnes. 3^o Ces expériences demandant une certaine habitude, ou plutôt exigeant que la personne qui s'y soumet apprenne, pour ainsi dire, à bien juger de l'effet qui se montre à elle, je commençais par faire faire à cette personne une première série d'observations correspondantes à une suite d'écartemens différens, série dont je ne tenais pas compte; la même personne faisait ensuite



SUR L'IRRADIATION.

59

plusieurs autres séries dont chacune correspondait à six écartemens différens déterminés par un , deux.... six tours de la vis , et pour chaque observation partielle , j'annotais le nombre de tours et la distance de l'œil. Je prenais ensuite la moyenne des distances relatives à chacun des écartemens , et j'obtenais ainsi une série moyenne plus ou moins dégagée des erreurs d'observation. Enfin je calculais , au moyen de la formule [3] du paragraphe précédent , la valeur de l'irradiation correspondante à chacune des distances qui composaient cette série moyenne , et la suite de ces valeurs devait me donner , d'une manière plus ou moins approchée , la loi que suit l'irradiation quand la distance de l'œil varie. 4^o Dans toutes les observations , la durée de la contemplation était suffisamment prolongée pour que l'irradiation atteignît son maximum : la distance de l'œil à l'appareil n'était mesurée que quand la personne avait déclaré que l'effet ne subissait plus d'accroissement. D'un autre côté , comme ces observations exigent d'assez longs tâtonnemens , et que la vue trop fatiguée finirait par se troubler , j'engageais la personne à laisser de temps à autre reposer ses yeux entre les tâtonnemens successifs que nécessitait la fixation de chaque distance. 5^o Les changemens de position de la plaque mobile de l'appareil rendant impossible l'emploi d'un moyen analogue aux petites échancrures des espaces noirs du carton de la figure 11 , il se manifestait nécessairement , vers les points *f* et *m* (fig. 12) , un petit effet d'incurvation des bords *gf* et *pm* , qui augmentait la difficulté de décider quand ces deux bords paraissaient bien dans le prolongement l'un de l'autre (§ 49). Pour parer autant que possible à cet inconvénient , j'avais toujours soin d'en prévenir l'observateur , et de lui recommander de juger non d'après ce point , mais d'après l'ensemble des deux lignes. 6^o Dans chaque observation , il y a toujours certaines limites de distance entre lesquelles la coïncidence apparente des deux lignes ne paraît pas sensiblement altérée : c'est-à-dire que si l'on suppose l'observateur placé exactement à la distance requise , il pourra avancer ou reculer d'une certaine quantité sans que la coïncidence apparente lui semble se détruire : en deçà de la première limite seulement , il com-



mencera à voir les deux bords s'éloigner un peu l'un de l'autre dans un sens, et ce n'est qu'au delà de la seconde, que l'irradiation les lui fera paraître s'éloigner sensiblement en sens contraire. Cela tient à la difficulté de juger si deux lignes sont ou non dans le prolongement l'une de l'autre, quand elles atteignent un certain degré de rapprochement. Il reste donc toujours, dans chaque expérience, quelque incertitude sur la véritable distance où il faut se placer, et c'est de là que résultent nécessairement les erreurs dans ce genre d'observations. Les limites entre lesquelles la coïncidence apparente semble se maintenir sont du reste très-voisines pour de petites distances et une forte irradiation ; mais, dans les circonstances opposées, elles peuvent s'écarteler d'une quantité assez considérable. Pour atténuer cette cause d'erreur, j'engageais l'observateur à tâcher de trouver à peu près la position moyenne entre les deux limites en question, et c'était pour cette position moyenne que la distance était mesurée. 7^o Afin de conserver une indépendance complète entre toutes les observations partielles, j'évitais de suivre, dans chaque série, l'ordre croissant des écartemens : je commençais, par exemple, par quatre tours de la vis, puis je revenais à un seul tour, puis à cinq, etc. De plus, l'œil se fatiguant davantage à mesure que les observations se multiplient, il était à craindre que l'irradiation n'en fût plus ou moins modifiée. Afin de détruire les erreurs qui pouvaient résulter de là, je suivais, dans la seconde série, un ordre inverse de celui de la première ; et, dans la troisième, je prenais encore un ordre différent, que je renversais de nouveau dans la quatrième. De cette manière, les erreurs en question, si elles existaient, devaient se compenser dans la série moyenne.

58. Voici maintenant, dans un premier tableau, tous les résultats partiels obtenus dans ces expériences, et rangés suivant l'ordre croissant des écartemens ; ils sont relatifs à quatre des personnes nommées au § 35¹. Les différentes séries correspondantes à une même personne n'ayant pu être faites toutes le même jour, ni à la même heure, ni tou-

¹ Ces quatre personnes sont : MM. Burggraeve, Bommart, Manderlier et Lefrançois.

SUR L'IRRADIATION.

61

jours dans le même appartement, l'éclat de la lumière réfléchie par le miroir a dû varier avec ces circonstances, et comme on peut croire que ces variations d'éclat ont influé sur l'irradiation, j'ai indiqué, dans une dernière colonne, les conditions qui déterminaient cet éclat dans chaque série, savoir : l'époque de l'année, la partie du ciel que regardait la fenêtre près de laquelle l'appareil était placé, l'heure du jour, et enfin l'état du ciel.

	DISTANCES MESURÉES EN MÈTRES.						CIRCONSTANCES dans lesquelles LES SÉRIES ONT ÉTÉ FAITES.
	Pour un tour de la vis	Pour 2 tours.	Pour 3 tours.	Pour 4 tours.	Pour 5 tours.	Pour 6 tours.	
1 ^{re} PERSONNE .	0,69	1,26	1,67	2,07	3,38	3,87	1 ^{er} jour. Janvier. Nord, 10 h. du matin. Temps serein.
	0,63	1,34	1,72	2,61	2,88	4,07	
	0,63	1,24	2,56	2,54	3,47	4,07	2 ^{me} jour. Id. Id. 2 h. après midi. Temps serein.
	0,75	1,27	2,32	3,05	3,52	4,23	
2 ^{me} PERSONNE .	0,68	1,60	2,53	3,41	4,42	5,33	1 ^{er} jour. Janvier. Orient. 12 h. Temps légèrement nébuleux.
	0,90	1,40	2,61	3,56	4,15	5,42	
	0,91	1,81	2,59	3,80	4,75	5,45	2 ^{me} jour. Id. Id. Id. Temps couvert.
	0,90	1,84	2,72	3,66	4,56	5,37	
3 ^{me} PERSONNE .	1,23	2,72	2,51	3,40	4,50	5,75	1 ^{er} jour. Janvier. Nord. 11 h. du matin. Temps serein.
	1,62	2,04	3,08	3,82	4,80	5,38	2 ^{me} jour. Id. Id. Id. Id.
	0,92	2,27	3,40	4,67	5,52	6,00	3 ^{me} jour. Id. Orient. 10 h. 1/2 du matin. Temps serein.
	0,85	1,45	3,09	4,67	3,89	6,05	4 ^{me} jour. Id. Id. Id. Temps couvert.
	0,65	1,29	1,78	3,14	3,67	5,68	5 ^{me} jour. Février. Orient. 11 h. du matin. Temps couvert.
4 ^{me} PERSONNE .	1,46	3,40	6,20	7,15	8,40	11,00	1 ^{er} jour. Janvier. Orient. 11 h. du matin. Temps serein.
	1,88	3,95	5,00	8,60	10,70	10,10	2 ^{me} jour. Id. Id. 1 h. 1/2 après midi. Temps légèrement nébul.
	1,68	3,84	6,45	6,00	7,20	8,32	3 ^{me} jour. Id. Id. 1d. 1d.
	1,32	3,59	3,95	4,73	6,36	7,40	4 ^{me} jour. Id. Id. Id. Temps serein.
	1,26	2,67	3,67	4,10	5,75	7,42	
	1,20	2,20	3,13	3,90	5,00	6,79	5 ^{me} jour. Février. Orient. 2 h. après midi. Temps légèrement nébuleux.
	1,01	2,03	3,14	4,02	5,72	5,57	



59. Calculons maintenant, pour chaque personne, la série des distances moyennes, et déterminons, par la formule donnée précédemment, la valeur de l'irradiation correspondante à chacune de ces distances. Nous obtiendrons ainsi, pour la première personne, le tableau suivant :

1 ^{re} PERSONNE.	Distances moyennes.. .	0,675	1,277	2,067	2,567	3,312	4,060
	Valeurs correspondantes de l'irradiation .	1,481	1,568	1,451	1,558	1,509	1,477

Les distances indiquées dans ce tableau croissent, comme on voit, et d'une manière assez régulière, depuis 67 centimètres et demi, jusqu'un peu au delà de 4 mètres. Or les valeurs correspondantes de l'irradiation ne s'éloignent guère entre elles, et les différences qu'elles présentent vont tantôt dans un sens, tantôt dans le sens opposé. La moyenne entre ces six valeurs est 1,507, et si l'on cherche les écarts entre chacune d'elles et cette moyenne, on trouve :

$$- 0,026, \quad + 0,059, \quad - 0,056, \quad + 0,051, \quad + 0,002, \quad - 0,030.$$

Ces écarts sont à peu près alternativement en moins et en plus, et leur étendue est peu considérable : le rapport du plus grand d'entre eux avec la moyenne n'est que de 0,039, c'est-à-dire moins de 4 centièmes. En se bornant aux observations de la personne dont il s'agit, on pourrait donc déjà conclure avec une grande probabilité, que la valeur angulaire de l'irradiation est indépendante de la distance. On doit croire que si les séries partielles avaient été plus multipliées, cette loi se serait manifestée plus nettement; mais le temps qu'exigent ces expériences, et la fatigue qu'elles occasionnent, m'ont fait un devoir de les borner, pour chaque observateur, à un petit nombre de séries.

60. Passons maintenant à la seconde personne; voici le tableau de



SUR L'IRRADIATION.

63

ses distances moyennes et des valeurs correspondantes de l'irradiation.

2^{me} PERSONNE.	Distances moyennes. .	0,847	1,662	2,612	3,607	4,470	5,393
	Valeurs correspondantes de l'irradiation .	1,180	1,203	1,148	1,108	1,118	1,112

Ici les distances s'étendent depuis environ 85 centimètres jusqu'au delà de 5 mètres, et croissent encore d'une manière assez régulière. Les valeurs correspondantes de l'irradiation ne présentent, comme pour la première personne, que de petites différences entre elles ; leur moyenne est 1,144, et les écarts d'avec cette moyenne sont les suivants :

$$+ 0,036, \quad + 0,059, \quad + 0,004, \quad - 0,036, \quad - 0,026, \quad - 0,032.$$



La distribution des écarts est autre pour cette personne que pour la première, ce qui ajoute à la probabilité qu'ils proviennent des erreurs d'observation ; d'ailleurs, quoiqu'ils ne soient pas alternativement positifs et négatifs, on voit qu'ils ne suivent aucune progression régulière. Le rapport du plus grand avec la moyenne est 0,051, rapport un peu plus grand que pour la première personne ; mais d'un autre côté, l'écart dont il s'agit est comme isolé, et dépasse notablement tous les autres.

Les résultats de la seconde personne appuient donc la conclusion à laquelle conduisaient ceux de la première, savoir que la valeur angulaire de l'irradiation ne varie pas avec la distance.

61. La troisième personne nous fournira le tableau ci-dessous :

3^{me} PERSONNE.	Distances moyennes. .	1,054	1,954	2,768	3,940	4,476	5,772
	Valeurs correspondantes de l'irradiation .	0,948	1,023	1,083	1,015	1,117	1,039

Pour cette personne, les distances vont d'environ un mètre jusque près de 6 mètres. Les valeurs correspondantes de l'irradiation diffèrent un peu plus entre elles que celles des deux tableaux précédens; mais ces différences sont encore irrégulièrement distribuées. La moyenne des six valeurs est 1,037, et l'on obtient pour les écarts :

$$-0,089, \quad -0,014, \quad +0,046, \quad -0,022, \quad +0,080, \quad +0,002.$$

On voit que l'ordre de leurs signes est encore autre que pour chacune des deux premières personnes; le rapport du plus grand d'entre eux avec la moyenne, est 0,085.

Ainsi les résultats de la troisième personne, malgré leurs divergences un peu plus considérables, ne s'écartent pas assez de la loi indiquée par ceux des deux premières, pour qu'on ne puisse les considérer comme concourant à établir cette même loi.

62. Avant de présenter le tableau relatif à la quatrième personne, je dois faire ici une remarque sur la manière de prendre les moyennes dans les circonstances dont il s'agit. Il est d'abord évident que, pour une même personne, les systèmes de séries exécutés dans les différents jours d'observations, peuvent correspondre chacun à une irradiation différente : car les conditions d'où dépend l'éclat de l'objet peuvent changer d'un jour à l'autre; et d'ailleurs, quand elles demeureraient identiques, il est possible que la disposition des yeux varie, et entraîne, dans l'irradiation, des changemens indépendans de ces circonstances extérieures. D'après cela on voit que, pour obtenir la série moyenne relative à une personne déterminée, il faudra prendre d'abord séparément pour chacun des jours d'observations, la moyenne des séries qui s'y rapportent, puis combiner toutes ces moyennes entre elles. Toutefois, lorsque le nombre de séries correspondant à chacun des jours est le même, ce procédé n'est plus nécessaire, car la moyenne qu'il donne est alors identique avec celle que l'on déduirait directement de l'ensemble de toutes les séries. Ce cas est celui des personnes dont nous avons jusqu'ici discuté les observations : aussi leurs moyennes ont été obtenues directement; mais il n'en est pas de même de la



SUR L'IRRADIATION.

65

quatrième personne; en effet chacun de ses trois premiers jours d'observations n'a donné lieu qu'à une seule série, tandis que le quatrième en a fourni deux, et le cinquième deux autres. J'ai donc pris séparément la moyenne des deux séries du quatrième jour, puis celle des deux séries du cinquième jour, et j'ai combiné ces deux moyennes avec les trois séries des premiers jours pour obtenir la série moyenne définitive contenue dans le tableau suivant; les valeurs de l'irradiation ont été alors calculées, comme pour les autres personnes, d'après les distances composant cette série moyenne.

4 ^{me} PERSONNE.	Distances moyennes..	1,483	3,287	4,919	6,025	7,543	8,602
	Valeurs correspondantes de l'irradiation .	0,674	0,608	0,609	0,663	0,662	0,697



Les distances croissent d'environ un mètre et demi jusqu'au delà de 8 mètres et demi, et les valeurs de l'irradiation indiquent encore la même loi que les précédentes. Leur moyenne est 0,652, et l'on a les écarts suivans :

$$+ 0,022, \quad - 0,044, \quad - 0,043, \quad + 0,011, \quad + 0,010, \quad + 0,043,$$

dont les signes affectent encore une nouvelle distribution. Le rapport du plus grand à la moyenne est 0,069. Ce rapport peut paraître assez considérable si l'on fait attention que l'observateur dont il s'agit a fourni sept séries, tandis que chacun des deux premiers, par exemple, n'en a donné que quatre; mais on peut remarquer que, chez ce même observateur, l'irradiation est beaucoup plus faible que chez les autres; or on conçoit que moins le phénomène est développé, plus les différences que l'effet apparent présente quand la distance varie sont petites, et plus il est difficile, par conséquent, de préciser la distance à laquelle l'écartement des bords disparaît.

63. Afin d'établir une sorte de résultat moyen entre ceux des per-

sonnes dont nous venons de discuter les observations, prenons dans chacun des quatre tableaux ci-dessus, la première valeur de l'irradiation, c'est-à-dire celle qui correspond, pour chaque observateur, à la plus petite distance, et cherchons la moyenne entre ces quatre valeurs; faisons-en de même pour les quatre qui répondent à la seconde distance de chaque observateur, et ainsi de suite. En d'autres termes, formons une série moyenne entre les quatre séries de valeurs de l'irradiation données par nos tableaux; nous obtiendrons ainsi la suivante :

$$1,070, \quad 1,100, \quad 1,072, \quad 1,086, \quad 1,101, \quad 1,081,$$

et l'on voit que les quantités dont elle se compose s'approchent beaucoup de l'égalité. Leur moyenne est 1,085, et les écarts sont seulement :

$$-0,015, \quad +0,015, \quad -0,013, \quad +0,001, \quad +0,016, \quad -0,004.$$

Ils sont à peu près alternativement négatifs et positifs, et le rapport du plus grand à la moyenne n'est que de 0,014. Enfin, si l'on prend la moyenne des trois premiers termes de la série, et de même celle des trois derniers, on trouvera les deux résultats presque identiques 1,080 et 1,088.

64. Une objection se présente contre la méthode que je viens d'employer pour arriver à la loi cherchée; on pourrait dire : cette méthode est exacte, en effet, lorsque toutes les séries relatives à une même personne sont faites dans des conditions identiques tant pour les circonstances extérieures que pour la disposition des yeux : car alors, si l'on prend dans les séries successives de cette personne les distances qui correspondent à un même nombre de tours de la vis, les différences qu'elles présentent ne peuvent provenir que des erreurs d'observation, de sorte que la moyenne entre ces distances donne, avec le moins d'erreur probable, la distance réelle à laquelle cette même personne aurait dû se placer pour voir les deux bords exactement dans le prolongement l'un de l'autre; alors aussi, par conséquent, la formule [3] du § 56 donne l'irradiation correspondante la plus probable. Mais il n'en est plus de même lorsque les conditions ont changé



d'une série à l'autre. En effet, dans ce cas, les différences que manifestent entre elles les distances correspondantes à un même nombre de tours de la vis, ne sont plus uniquement dues aux erreurs d'observation: elles proviennent en partie des variations mêmes de l'irradiation. Or que signifie alors la moyenne entre ces distances? Est-ce la distance à laquelle l'observateur devrait se placer si l'irradiation devenait, chez lui, égale à la moyenne entre celles qui ont présidé à ses différentes séries? S'il en était ainsi, la formule en question serait encore applicable, et elle donnerait cette irradiation moyenne; mais rien ne nous autorise à faire cette supposition. On ne voit donc pas bien ce que représentent, dans chacun des tableaux des §§ 59-62, ni les distances moyennes, ni les nombres inscrits au-dessous.

65. Cette objection est fondée quant à la signification des quantités contenues dans ces tableaux, quoique cependant les nombres déduits des distances moyennes comme valeurs de l'irradiation, doivent différer fort peu des véritables, sauf les erreurs d'observation. Mais la méthode employée est exacte dans tous les cas, lorsqu'on veut simplement constater si la valeur angulaire de l'irradiation est indépendante de la distance. En effet, nous allons démontrer que si cette loi existe, les nombres déduits des distances moyennes successives d'un même observateur doivent être identiques, abstraction faite toujours des erreurs d'observation. Peu importe, par conséquent, que ces nombres s'écartent un peu des véritables comme mesures de l'irradiation, il suffit d'examiner s'ils ne varient pas sensiblement quand la distance augmente.

Admettons comme vraie l'indépendance entre la valeur angulaire de l'irradiation et la distance de l'objet, et supposons qu'une même personne ait fait un nombre n de séries dans des conditions telles, que l'irradiation ait été a' dans la première série, a'' dans la deuxième, a''' dans la troisième, et ainsi de suite. Soient $\delta_1, \delta_2, \delta_3$, etc., les distances composant la première série, et correspondant, par conséquent, à un, deux, trois, etc. tours de la vis; soient de même $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$, etc., les distances de la deuxième série, $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$, etc., celles de la troisième série, et ainsi



MÉMOIRE

de suite. On aura, par la formule du § 56 et en vertu de l'indépendance supposée entre l'irradiation et la distance ,

$$\left. \begin{array}{l} a' = \frac{1}{\delta_1} = \frac{2}{\delta_2} = \frac{3}{\delta_3} = \text{etc.} \\ a'' = \frac{1}{\varepsilon_1} = \frac{2}{\varepsilon_2} = \frac{3}{\varepsilon_3} = \text{etc.} \\ a''' = \frac{1}{\zeta_1} = \frac{2}{\zeta_2} = \frac{3}{\zeta_3} = \text{etc.} \\ \text{etc.} \qquad \qquad \text{etc.} \end{array} \right\} [1]$$

D'où l'on déduit

$$\left. \begin{array}{l} \delta_1 = \frac{1}{a'}, \quad \delta_2 = \frac{2}{a'}, \quad \delta_3 = \frac{3}{a'}, \quad \text{etc.} \\ \varepsilon_1 = \frac{1}{a''}, \quad \varepsilon_2 = \frac{2}{a''}, \quad \varepsilon_3 = \frac{3}{a''}, \quad \text{etc.} \\ \zeta_1 = \frac{1}{a'''}, \quad \zeta_2 = \frac{2}{a'''}, \quad \zeta_3 = \frac{3}{a'''}, \quad \text{etc.} \\ \text{etc.} \end{array} \right\} [2]$$

Soient maintenant D_1 , D_2 , D_3 , etc., les distances moyennes correspondantes à un, deux, trois, etc. tours de la vis, distances qui forment la colonne supérieure dans chacun de nos tableaux, on aura

$$D_1 = \frac{\delta_1 + \varepsilon_1 + \zeta_1 + \text{etc.}}{n}, \quad D_2 = \frac{\delta_2 + \varepsilon_2 + \zeta_2 + \text{etc.}}{n}, \quad D_3 = \frac{\delta_3 + \varepsilon_3 + \zeta_3 + \text{etc.}}{n}, \quad \text{etc.}$$

et si l'on applique à ces distances moyennes, comme nous l'avons fait dans les tableaux, la formule du § 56, il viendra, en désignant les nombres résultants par A_1 , A_2 , A_3 , etc. ,

$$A_1 = \frac{1}{D_1} = \frac{n}{\delta_1 + \varepsilon_1 + \zeta_1 + \text{etc.}}, \quad A_2 = \frac{2}{D_2} = \frac{2n}{\delta_2 + \varepsilon_2 + \zeta_2 + \text{etc.}}, \quad A_3 = \frac{3}{D_3} = \frac{3n}{\delta_3 + \varepsilon_3 + \zeta_3 + \text{etc.}}, \quad \text{etc.}$$

Or si l'on substitue dans ces expressions les valeurs de δ_1 , δ_2 , etc., ε_1 , ε_2 , etc., ζ_1 , ζ_2 , etc., données par les expressions [2], on trouvera

$$A_1 = A_2 = A_3 = \text{etc.},$$

ce qu'il fallait démontrer.

Maintenant, si d'autres personnes ont fait des observations, et si l'on désigne par A'_1 , A'_2 , A'_3 , etc., les nombres déduits des distances

SUR L'IRRADIATION.

69

moyennes de la seconde, par Λ_1'' , Λ_2'' , Λ_3'' , etc., ceux que l'on déduit des distances moyennes de la troisième, et ainsi de suite, on aura aussi, en supposant nulles les erreurs d'observation,

$$\begin{aligned} \Lambda_1' &= \Lambda_2' = \Lambda_3' = \text{etc.} \\ \Lambda_1'' &= \Lambda_2'' = \Lambda_3'' = \text{etc.} \\ &\quad \text{etc.} \end{aligned}$$

Par conséquent, si l'on prend, comme nous l'avons fait dans le § 63, la moyenne entre Λ_1 , Λ_1' , Λ_1'' , etc., puis la moyenne entre Λ_2 , Λ_2' , Λ_2'' , etc., et ainsi de suite, pour former une série moyenne générale entre les résultats des différens observateurs, tous les nombres composant cette série devront également être identiques. Or nous avons vu qu'il en était à très-peu près ainsi, et que la marche et la petitesse des écarts devaient les faire attribuer aux erreurs d'observation.

66. Les formules précédentes montrent aussi qu'en effet les nombres déduits des distances moyennes supposées exemptes d'erreurs ne pourraient représenter exactement l'irradiation moyenne entre celles qui ont présidé aux différentes séries d'un observateur : car la valeur commune des quantités Λ_1 , Λ_2 , Λ_3 , etc., est, comme on le voit en effectuant la substitution indiquée, $\frac{1}{\frac{1}{a'} + \frac{1}{a''} + \frac{1}{a'''} + \text{etc.}}$; tandis que l'irradiation moyenne est évidemment $\frac{a' + a'' + a''' + \text{etc.}}{n}$. Nous donnerons bien-tôt un moyen de déterminer, pour chaque personne, cette irradiation moyenne.

67. Il y aurait une autre méthode plus directe d'arriver à la loi cherchée, méthode à laquelle malheureusement j'ai pensé trop tard. Imaginons que l'on adapte à la vis de l'instrument une tête divisée, de manière à pouvoir apprécier les fractions de tours. Alors, au lieu de faire préalablement marcher cette vis d'un nombre déterminé de tours, comme dans les expériences précédentes, et de chercher ensuite la distance à laquelle les deux bords paraissent dans le prolongement l'un de l'autre, l'observateur se placerait, au contraire, à une distance déterminée, et l'on chercherait le nombre de tours et la fraction de tour



qu'il faudrait faire faire à la vis pour produire le même effet. Chaque série se composerait ainsi d'observations faites à une suite de distances déterminées, qui seraient, par exemple, de 1, 2, 3, 4, 5 et 6 mètres, et ces distances demeureraient les mêmes dans toutes les séries et pour tous les observateurs. On appliquerait ensuite à chacune des observations partielles d'une même personne la formule du § 56, et chacun des résultats représenterait la valeur approchée de l'irradiation chez cette personne à la distance à laquelle il correspond, et dans les conditions qui ont présidé à l'observation; puis on prendrait, pour toutes les distances successives, la moyenne des valeurs ainsi obtenues qui s'y rapportent, et chacune de ces moyennes représenterait alors en réalité, sauf ce qui resterait des erreurs d'observation, l'irradiation moyenne entre celles des différens jours à la distance correspondante; seulement, si les nombres de séries exécutées dans chacun des jours n'était pas le même, il faudrait prendre les moyennes séparément pour chacun de ces jours, et combiner ensuite ces moyennes entre elles. Enfin on formerait, comme nous l'avons fait au § 63, la série moyenne générale entre celles de tous les observateurs, et cette série donnerait la loi cherchée, avec le moins d'erreurs probables; les nombres dont elle se composerait représenteraient alors, pour chacune des distances successives, l'irradiation moyenne entre celles des différens observateurs. La méthode que je viens d'exposer aurait donc l'avantage de n'offrir que des résultats d'une interprétation nette. J'en ai fait usage pour d'autres observations que je rapporterai plus loin.

68. Enfin on peut encore arriver au même but, en partant d'une autre considération qui s'applique à nos expériences telles qu'elles ont été faites. Je dis d'abord que si la valeur angulaire de l'irradiation reste constante quand la distance augmente, les distances successives qui composent une même série partielle doivent être entre elles, sauf les erreurs d'observation, comme les nombres successifs de tours de la vis, nombres qui, dans nos expériences, ont été 1, 2, 3, 4, 5 et 6. C'est en effet ce que montrent les expressions [2] du § 65, et ce qu'il est d'ailleurs facile de concevoir, car l'angle visuel qui mesure



SUR L'IRRADIATION.

71

l'irradiation étant fort petit, si la base sur laquelle il s'appuie, et qui est proportionnelle au nombre de tours, vient à croître, il faudra évidemment, pour que cet angle conserve la même valeur, que la distance croisse dans la même proportion. Ainsi, dans l'hypothèse de l'indépendance entre la valeur angulaire de l'irradiation et la distance, si les observations fournies par nos quatre personnes étaient exemptes d'erreurs, il faudrait que les distances successives qui constituent chaque série partielle fussent entre elles comme 1, 2, 3, 4, 5 et 6, les valeurs absolues de ces distances pouvant d'ailleurs varier d'une série à l'autre de la même personne, et d'une personne à une autre, en vertu des différences d'irradiation. Par conséquent la série des distances moyennes de chaque personne suivrait encore évidemment la même loi. Or cette série forme, dans chacun des quatre tableaux des §§ 59-62, la colonne horizontale supérieure, et ces colonnes manifestent toutes en effet, d'une manière plus ou moins approchée, la loi dont il s'agit. Enfin l'on peut combiner entre elles ces séries des distances moyennes, pour en déduire une série moyenne générale, qui devra encore représenter cette même loi. Effectuons donc cette opération, et nous obtiendrons le résultat ci-dessous :

$$1,014, \quad 2,045, \quad 3,091, \quad 4,034, \quad 4,950, \quad 5,956,$$

dont les termes successifs sont en effet à très-peu près entre eux comme 1, 2, 3, 4, 5 et 6.

69. Il nous est donc permis, je pense, de poser maintenant, comme suffisamment démontré, le principe suivant :

La valeur angulaire de l'irradiation est indépendante de la distance de l'objet à l'œil.

70. De là découle, comme corollaire nécessaire (§ 54), cet autre principe :

La largeur absolue que nous attribuons à l'irradiation, est, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnelle à la distance qui existe ou qui nous paraît exister entre l'objet et nous.

Telle est donc la loi que suit l'effet apparent produit par l'irradiation, quand on s'éloigne de l'objet.

Nous pouvons à présent faire l'application légitime de la remarque du § 55, et considérer les principes ci-dessus posés, comme constituant de puissans arguments en faveur de l'hypothèse d'une propagation de l'impression sur la rétine.

Les principes précédens et les expériences qui nous ont servi à les établir, conduisent à d'autres conséquences importantes que nous allons examiner successivement.

71. L'irradiation n'avait été observée jusqu'ici par les physiciens et les astronomes, que pour des objets éloignés. Or on voit maintenant qu'elle existe pour les petites comme pour les grandes distances ; seulement l'effet apparent diminuant proportionnellement à la distance (§ 70), il nous frappe moins pour des objets rapprochés. La plus petite des distances consignées dans le tableau général du § 58, est de 63 centimètres ; c'est déjà bien peu, mais on doit croire que l'irradiation peut être rendue manifeste à des distances moindres encore, et même à la plus courte distance de la vision distincte ; j'ai, en effet, vérifié la chose par l'expérience. L'appareil qui m'a paru le plus convenable pour cet objet, est analogue, quant à la forme, au carton à jour décrit dans le § 28 ; mais au lieu de carton, il faut alors employer une plaque de cuivre, et lui donner des dimensions plus petites. Cette plaque doit avoir environ un décimètre de largeur et de hauteur, et un millimètre d'épaisseur ; la largeur commune des deux petites bandes pleine et à jour doit être d'un demi-millimètre¹, et la longueur de chacune

¹ Il est essentiel de remarquer que l'artiste qui confectionne cet appareil doit se mettre en garde contre les effets de l'irradiation dans ses propres yeux : car quand même il ne regarderait l'appareil que par réflexion, l'irradiation pourrait, dans ce cas, amplifier quelque peu la bande pleine, et rétrécir la bande à jour, d'où résulterait que, pour établir la coïncidence apparente des bords, il donnerait aux deux bandes des largeurs réelles inégales. Il doit donc employer un procédé qui lui permette de mesurer ces largeurs indépendamment de l'aspect qu'elles présentent ; ou bien encore, il peut faire usage d'une loupe, en disposant les choses de manière qu'il y ait peu de différence d'éclat entre l'objet et le champ sur lequel il se projette. C'est aussi par ce moyen, que la personne qui doit se servir de l'appareil pourra s'assurer s'il est bien fait.

d'elles d'un centimètre; enfin leurs bords doivent être taillés en biseau par derrière. On tient cet appareil le soir devant la flamme d'un quinquet, et on le regarde à la distance de la vision distincte : l'effet de l'irradiation est alors très-prononcé, et ne cesse pas d'être sensible quand on approche l'œil à la limite en deçà de laquelle la vision commencerait à perdre sa netteté¹. On pourrait employer aussi, pour cette expérience, l'appareil à vis qui nous a servi précédemment, en amenant préalablement les deux bords dans le prolongement l'un de l'autre ; mais l'effet se montre mieux avec celui que je viens de décrire. Si nous nous rappelons maintenant le fait bien connu de l'irradiation des astres observés à l'œil nu (§§ 2 et 8-11), nous serons conduits à ce nouveau principe :

L'irradiation se manifeste à toutes les distances, depuis la plus courte distance de la vision distincte jusqu'à un éloignement quelconque.



Ainsi, pour le dire en passant, quand même on nierait avec ceux qui ont adopté la théorie de Kepler (§ 8), qu'un œil de conformation normale puisse se modifier de manière à faire converger sur la rétine les rayons émanés d'un point très-éloigné, il serait encore impossible d'expliquer l'irradiation par ce moyen, puisqu'elle se produit également à la distance de la vision distincte.

72. Comme seconde conséquence du principe du § 69, et du genre d'expérience employé pour le démontrer, se présente la solution d'une question importante, savoir la détermination de la valeur très-approchée de l'irradiation chez une personne, dans certaines circonstances données. En effet, la formule du § 56 appliquée à chacune des observations partielles que l'on peut faire au moyen de notre appareil à vis, donne, avec une première approximation, la valeur de l'irradiation dans les conditions correspondantes; et puisque cette valeur doit demeurer la même aux différentes distances, toutes les observations qui

¹ Trois personnes ont répété cette expérience, et avec le même résultat.

MÉMOIRE

composent une même série ou plutôt le système des séries exécutées par une même personne à la même époque, fourniront autant de valeurs plus ou moins exactes de cette même irradiation. Si donc ces valeurs sont suffisamment nombreuses, leur moyenne donnera avec un grand degré d'exactitude la valeur de l'irradiation chez cette personne, dans les circonstances qui ont présidé aux séries d'où cette moyenne est déduite. Si la même personne a exécuté d'autres systèmes de séries à des époques différentes, on prendra de même la moyenne correspondante à chacun d'entre eux. Faisons l'application de tout ceci aux observations consignées dans le tableau général du § 58.

73. Voici d'abord, en un autre tableau disposé dans le même ordre, tous les résultats que l'on déduit de ceux du premier, au moyen de la formule du § 56.

		VALEURS PARTIELLES DE L'IRRADIATION.					
1 ^{re} PERSONNE.	1 ^{er} jour.	{	1,449 1,587	1,587 1,492	1,796 1,744	1,932 1,532	1,479 1,736
	2 ^{me} jour.	{	1,587 1,333	1,613 1,575	1,172 1,293	1,575 1,311	1,441 1,420
2 ^{me} PERSONNE.	1 ^{er} jour.	{	1,470 1,111	1,250 1,428	1,185 1,149	1,173 1,123	1,131 1,204
	2 ^{me} jour.	{	1,098 1,111	1,104 1,086	1,158 1,102	1,052 1,092	1,052 1,096
3 ^{me} PERSONNE.	1 ^{er} jour.		0,813	0,735	1,195	1,176	1,111
	2 ^{me} jour.		0,617	0,980	0,974	1,047	1,041
	3 ^{me} jour.		1,086	0,881	0,882	0,856	0,905
	4 ^{me} jour.		1,176	1,379	0,970	0,856	1,285
	5 ^{me} jour.		1,538	1,550	1,704	1,273	1,362
4 ^{me} PERSONNE.	1 ^{er} jour.		0,684	0,588	0,483	0,559	0,595
	2 ^{me} jour.		0,531	0,506	0,600	0,465	0,467
	3 ^{me} jour.		0,595	0,520	0,465	0,666	0,694
	4 ^{me} jour.	{	0,757 0,793	0,557 0,749	0,759 0,817	0,845 0,975	0,786 0,869
	5 ^{me} jour.	{	0,833 0,990	0,909 0,985	0,958 0,955	1,025 0,995	1,000 0,874

SUR L'IRRADIATION.

74. Rappelons ici que chacune de ces valeurs est rapportée à l'unité d'irradiation que nous avons adoptée (§ 56), et qui a pour mesure l'angle visuel que soutendrait, à un mètre de distance, une base égale à la moitié de l'écartement produit entre les bords des deux plaques par un seul tour de la vis. Or, dans mon instrument, cet écartement mesuré avec soin d'après le procédé indiqué au § 55, s'est trouvé de 0^{mm},466 ; la base en question est donc de 0^{mm},233, d'où l'on déduit, pour l'angle qui correspond à notre unité d'irradiation, 0' 48''. Ainsi, quand nous aurons pris les moyennes respectives des différens systèmes de valeurs contenus dans le tableau ci-dessus, moyennes qui seront encore rapportées à la même unité, nous pourrons les exprimer en fractions de degrés, en les multipliant par 48''. C'est ce que j'ai fait dans le tableau suivant, dont l'une des colonnes donne ces moyennes en fonction de l'unité du § 56, et dont l'autre les donne en fractions de degrés. J'ai reproduit, dans ce tableau, l'indication des circonstances extérieures, que contenait déjà celui du § 58.



	VALEURS MOYENNES DE L'IRRADIATION		CIRCONSTANCES EXTÉRIEURES.
	En fonction de l'unité adoptée au § 56.	En fractions de degrés.	
1 ^{re} PERSONNE. {	1 ^{er} jour. 1,613	1' 17'',4	Janvier. Nord. 10 h. du matin. Temps serein.
	2 ^{me} jour. 1,434	1' 8'',8	Id. Id. 2 h. après midi. Temps serein.
2 ^{me} PERSONNE. {	1 ^{er} jour. 1,204	0' 57'',7	Janvier. Orient. 12 h. Temps légèrement nébul.
	2 ^{me} jour. 1,097	0' 52'',6	Id. Id. Id. Temps couvert.
3 ^{me} PERSONNE. {	1 ^{er} jour. 1,012	0' 48'',5	Janvier. Nord. 11 h. du matin. Temps serein.
	2 ^{me} jour. 0,962	0' 46'',1	Id. Id. Id. Id.
	3 ^{me} jour. 0,935	0' 44'',8	Id. Orient. 10 h. 1/2 du matin. Temps serein.
	4 ^{me} jour. 1,109	0' 53'',2	Id. Id. Id. Temps couv.
	5 ^{me} jour. 1,413	1' 7'',8	Février. Orient. 11 h. du matin. Temps couvert.
4 ^{me} PERSONNE. {	1 ^{er} jour. 0,575	0' 27'',6	Janvier. Orient. 11 h. du matin. Temps serein.
	2 ^{me} jour. 0,527	0' 25'',2	Id. Id. 1 h. 1/2 après midi. Temps lég. néb.
	3 ^{me} jour. 0,612	0' 29'',3	Id. Id. Id. Id.
	4 ^{me} jour. 0,793	0' 38'',0	Id. Id. Id. Temps serein.
	5 ^{me} jour. 0,957	0' 45'',9	Février. Orient. 2 h. après midi. Temps lég. néb.

75. Avant de voir à quelles conséquences conduisent ces résultats moyens, cherchons à nous former une idée de leur degré de précision. Remarquons en premier lieu, que les uns sont déduits respectivement d'un système de deux séries, et par conséquent d'un ensemble de douze résultats partiels, tandis que chacun des autres ne provient que d'une seule série, ou de six résultats partiels. A la première catégorie appartiennent les résultats des première et seconde personnes, et les deux derniers de la quatrième personne; tous les autres se rangent dans la deuxième catégorie. Examinons d'abord ceux de la première catégorie, qui doivent offrir plus de chances d'exactitude, et commençons par le premier de la première personne. Partageons les douze résultats partiels qui ont concouru à sa formation (§ 73) en deux groupes de six, ou, en d'autres termes, considérons séparément chacune des deux séries qui lui correspondent, et prenons la moyenne de chacun de ces groupes pour la comparer à la moyenne générale: nous trouverons ainsi, après avoir transformé ces deux moyennes partielles en fractions de degrés,

$$\begin{array}{ll} 1^{\text{er}} \text{ groupe.} & \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 1' 18'',3 \\ 2^{\text{me}} \text{ groupe.} & \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 1' 16'',5. \end{array}$$

Chacune de ces moyennes partielles ne diffère donc de la moyenne générale $1' 17'',4$ donnée ci-dessus, que de $0'',9$, quantité bien petite et qui n'est que le centième de cette moyenne générale. Nous pouvons donc regarder l'erreur probable de cette dernière moyenne, comme extrêmement faible.

Les mêmes opérations effectuées relativement au second résultat de la même personne, donneront :

$$\begin{array}{ll} 1^{\text{er}} \text{ groupe.} & \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 1' 10'',8 \\ 2^{\text{me}} \text{ groupe.} & \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad 1' 6'',7. \end{array}$$

Ici les différences avec la moyenne générale $1' 8'',8$, sont de $2''$ ¹,

¹ La première est de $2''$, et la deuxième de $2'',1$; cette petite inégalité entre les deux différences provient des décimales négligées dans le calcul des moyennes.

SUR L'IRRADIATION.

77

quantité un peu plus considérable que pour le premier résultat, mais que l'on peut regarder comme fort petite encore, en égard à la nature des observations : le rapport de cet écart à la moyenne générale, n'est que de trois centièmes.

Passons à la seconde personne; nous obtiendrons, à l'égard du premier de ses deux résultats,

1 ^{er} groupe.	...	0' 58'',6
2 ^{me} groupe.	...	0' 56'',9.

Les différences avec la moyenne générale 57'',7, ne sont que de 0'',9 et 0'',8¹, et leur rapport avec cette moyenne ne s'élève pas à deux centièmes.

Nous trouverons, relativement au second résultat de la même personne,

1 ^{er} groupe.	...	0' 52'',5
2 ^{me} groupe.	...	0' 52'',8.

valeurs qui ne s'écartent de la moyenne générale 52'',6, que de 0'',1 et 0'',2. Le rapport de ces écarts à cette moyenne générale n'est que de quelques millièmes.

Enfin les mêmes calculs effectués à l'égard des deux derniers résultats de la quatrième personne, donneront :

1 ^{er} RÉSULTAT.	1 ^{er} groupe	...	0' 36'',0
	2 ^{me} groupe	...	0' 40'',0
	Déférence avec la moyenne générale	...	2''
	Rapport entre cette différence et la moyenne générale.	...	0,05
2 ^{me} RÉSULTAT.	1 ^{er} groupe	...	0' 44'',8
	2 ^{me} groupe	...	0' 46'',9
	Déférances avec la moyenne générale	...	1'',1 et 1'',0
	Rapport entre ces différences et la moyenne générale.	...	0,02

Et l'on voit que ces résultats sont à peu près du même ordre de précision que ceux des première et seconde personnes.

¹ Même remarque, ainsi que pour deux des résultats suivants.

76. Il suit de cette discussion qu'un résultat moyen déduit d'un ensemble de douze observations partielles faites à l'aide de notre appareil à vis, doit être considéré comme très-approché, et que même un résultat déduit seulement de six observations doit encore être assez exact.

Ainsi nous pourrons dire, en nous écartant très-peu de la vérité, que l'irradiation maxima¹ produite par un objet d'un éclat égal à celui du ciel² par un temps serein, au nord, l'un des jours du mois de janvier à dix heures du matin, s'élevait chez la première personne, à 1' 17'',4; et ainsi de suite pour les autres personnes. La question posée § 72, se trouve par conséquent résolue.

77. Mais la précision de nos résultats moyens entraîne une autre conséquence remarquable, et que j'ai déjà fait pressentir plusieurs fois; savoir que, l'éclat de l'objet demeurant le même, l'irradiation chez le même individu, varie d'un jour à un autre. En effet, si l'on consulte, dans le tableau du § 74; l'indication des circonstances qui ont déterminé l'éclat de l'objet dans les deux jours d'observations de la première personne, on verra que la seule différence est dans l'époque de la journée, qui a été 10 heures du matin dans le premier cas, et 2 heures après-midi dans le second. Or l'éclat du ciel au nord et par un temps serein, peut évidemment être considéré comme sensiblement le même à ces deux époques, si, comme cela a effectivement eu lieu, les deux jours d'observations sont peu distans l'un de l'autre. Cependant l'irradiation qui, dans le premier cas, s'élevait à 1' 17'',4, n'était plus, dans le second, que de 1' 8'',8; la différence 8'',6 est évidemment trop grande pour pouvoir être attribuée aux erreurs d'observation; je donnerai d'ailleurs plus loin (§§ 86 et 89) d'autres résultats de la même personne, qui indiquent des variations plus considérables. Quant à la seconde personne, la petite différence que présentent ses deux résultats

¹ On se rappellera que, dans chaque observation partielle, la contemplation était prolongée jusqu'au maximum d'effet.

² Je néglige ici la petite perte de lumière due à la réflexion sur le miroir (§ 57), comme ne pouvant produire sur l'irradiation, qu'une diminution tout-à-fait insensible (§ 86).

SUR L'IRRADIATION.

79

moyens pourrait être attribuée au moindre éclat du ciel dans son second jour d'observations ; mais passons à la troisième personne, et comparons le troisième et le cinquième de ses résultats moyens, c'est-à-dire le plus petit et le plus grand. L'heure était à peu près la même pour les deux, et quoiqu'il se soit écoulé un assez grand nombre de jours entre les deux époques, dont l'une appartient à janvier et l'autre à février, l'éclat du ciel était certainement moindre à la seconde : car le temps était alors couvert, tandis qu'il était serein à la première. Néanmoins l'irradiation, au lieu de se montrer plus petite, a pris au contraire un accroissement considérable, puisque, de $44'',8$ elle s'est élevée à $1' 7'',8$, ce qui donne une différence de $23''$. Il est vrai que chacun des deux résultats moyens en question n'a été déduit que de six résultats partiels (§ 73); mais l'étendue de la différence $23''$ éloigne toute possibilité de regarder celle-ci comme due aux erreurs d'observation. D'ailleurs nous pouvons faire en sorte de comparer des résultats déduits respectivement d'un système de deux séries. Pour cela, prenons d'abord la moyenne entre les deux premiers des résultats moyens de la personne dont il s'agit : nous trouverons ainsi $47'',3$. Cette quantité, qui dérive par conséquent de douze résultats partiels, représente l'irradiation moyenne entre celles qui s'étaient produites chez la personne dans ses deux premiers jours d'observations. Prenons ensuite la moyenne entre les deux derniers des résultats moyens de la même personne, ce qui nous donnera $1' 0'',5$, quantité également déduite de douze résultats partiels, et représentant de même l'irradiation moyenne entre celles des deux derniers jours. Or dans ces deux derniers jours le temps était couvert, et il était serein dans les deux premiers; cependant, malgré l'influence du moindre éclat de l'objet, on voit que la seconde des deux moyennes ci-dessus excède la première de $13'',2$.

Enfin les résultats moyens de la quatrième personne nous montreront aussi de grandes variations indépendantes des circonstances extérieures. Le second et le troisième de ces résultats sont déduits chacun d'une seule série (§ 73), et répondent à des circonstances extérieures



identiques ; prenons-en la moyenne , qui est 27'',2, et comparons-la au cinquième résultat moyen , qui dérive d'un ensemble de deux séries, et dont la valeur est 45'',9. Cette dernière quantité surpassé la première de 18'',7, et cependant, comme on peut le conclure des indications du tableau , l'éclat de l'objet doit avoir été sensiblement le même à ces différentes époques. Les unes , il est vrai, appartiennent à janvier, et l'autre à février; mais d'un autre côté, cette dernière est retardée d'une demi-heure par rapport aux premières. Nous verrons d'ailleurs plus loin (§ 86) que lorsque l'éclat d'un objet est comparable à celui du ciel , il faut de très-grandes variations dans cet éclat pour modifier l'irradiation d'une manière notable.

De tout ce qui précède , résulte donc cette conclusion :

Chez le même individu et pour un objet d'un même éclat , l'irradiation varie considérablement d'un jour à un autre.

Ce fait , comme je l'ai déjà indiqué , est une conséquence toute naturelle de la théorie qui fait de l'irradiation un phénomène de sensation , et réciproquement il peut être apporté en preuve de cette théorie , car on l'expliquerait difficilement dans toute autre hypothèse.

78. Puisque l'irradiation varie spontanément chez la même personne , une autre question se présente : savoir la recherche de *l'irradiation moyenne* chez une personne déterminée , pour un objet d'un éclat donné. Pour obtenir ce résultat , il faudrait évidemment répéter , à un grand nombre d'époques différentes , et en donnant toujours à l'objet l'éclat en question , la mesure de l'irradiation chez la même personne ; puis prendre la moyenne entre toutes ces mesures. Nous reviendrons plus loin (§§ 87 et 88) sur ce sujet , lorsque nous aurons réuni de nouveaux éléments de solution.

79. C'est ici le lieu de présenter quelques remarques sur une question dont nous nous sommes déjà occupés au § 53 : je veux parler de la comparaison de l'irradiation chez différentes personnes. Cette question peut être envisagée sous deux points de vue. En premier lieu , tous nos résultats concourent à montrer que si l'on mesure , chez une personne , à



une époque déterminée, l'irradiation correspondante à un certain éclat, et si l'on fait la même opération à l'égard d'une autre personne, également à une époque déterminée, et pour le même éclat, les deux valeurs obtenues seront en général différentes, et que cette différence, ou plutôt le rapport des deux irradiations, pourra être considérable. Par exemple, d'après le tableau du § 74, la première des valeurs relatives à la première personne, et la seconde de celles qui appartiennent à la troisième personne, ont été obtenues dans des circonstances extérieures sensiblement identiques, ou du moins la petite différence entre les deux heures, si elle pouvait avoir une influence appréciable, a dû être à l'avantage du second résultat; cependant le premier est de 1' 17'',4, tandis que l'autre n'est que de 46'',1 : ces deux quantités sont entre elles à peu près comme 5 à 3. Si l'on compare de même la cinquième valeur de la troisième personne avec la première de la quatrième personne, on voit que l'éclat a dû être plus grand dans le second cas, puisque le temps était serein, tandis qu'il était couvert dans le premier, et cependant la première valeur est plus du double de la seconde. Considéré sous ce point de vue, auquel répondent aussi les résultats du § 53, le fait du changement dans l'irradiation due à un même éclat, quand on passe d'une personne à une autre, est donc bien établi. Ce fait est d'ailleurs une conséquence nécessaire de celui que nous avons constaté ci-dessus, savoir que l'irradiation correspondante à un éclat déterminé, varie chez la même personne avec les époques. Mais on pourrait se demander si la différence qu'on observe d'une personne à une autre, ne serait pas due uniquement à cette dernière cause; si elle ne proviendrait pas simplement, comme je l'ai déjà fait remarquer, de ce que l'une des personnes est, pour ainsi dire, dans un accès de facile irradiation, tandis que l'autre est dans un accès contraire: si enfin l'*irradiation moyenne* correspondante à un éclat déterminé, n'est pas identique chez tous les individus. A cet égard, je ferai d'abord observer que cette identité doit paraître insinulement peu probable. Comment supposer, en effet, qu'un phénomène si variable chez la même personne, qui dépend par conséquent à un aussi haut

degré de la disposition des yeux, pourrait être identique quant à sa valeur moyenne dans les yeux des différentes personnes, et lorsqu'on sait d'ailleurs combien toutes les autres particularités de la vision varient en passant d'un individu à un autre? Quoiqu'il en soit, nous n'avons pas encore réuni assez de données expérimentales pour examiner la chose de plus près, et nous renverrons à un autre endroit (§§ 87 et 88) la suite de cette discussion.

80. Passons maintenant à un autre point. Il est bien établi (§§ 10, 16, 23) que l'irradiation croît avec l'éclat de l'objet, et l'hypothèse d'une propagation de l'impression sur la rétine rend encore parfaitement raison de ce fait: car on conçoit qu'une excitation plus énergique doit se propager plus loin. Voici d'abord une expérience très-simple au moyen de laquelle on pourra constater cette influence de l'éclat de l'objet. Dans un carton de mêmes dimensions que ceux dont il s'est agi dans les §§ 28, 36, etc., on pratique une ouverture longitudinale *a, b, c, d* (*fig. 13*), de 5 millimètres de largeur, et d'environ 15 centimètres de longueur, et on noircit la totalité du carton. On colle alors, par derrière, une bande de papier mince, de manière qu'elle couvre la moitié de la longueur de l'ouverture; puis, plaçant cet appareil contre une fenêtre, on le regarde à quelques mètres de distance, en choisissant une position telle, qu'on le voie projeté sur le ciel. La bande brillante formée par la totalité de l'ouverture, sera ainsi composée de deux parties très-inégales en éclat, et celle qui est restée libre paraîtra très-sensiblement plus large que l'autre¹.

81. Quelle que soit l'expression exacte de la loi que suit la valeur de l'irradiation quand l'éclat de l'objet augmente, je vais d'abord faire voir que cette valeur ne croît pas proportionnellement à l'éclat: que sa marche est beaucoup moins rapide.

Les diamètres angulaires du soleil et de la lune étant peu différens l'un de l'autre, l'éclat du disque solaire doit être à celui du disque de la lune, à peu près dans le même rapport d'intensité que les lumières

¹ Six personnes ont répété cette expérience, et avec le même résultat.

qui nous arrivent de ces deux astres. Or on sait que plusieurs physiciens ont essayé de déterminer ce dernier rapport, et la plus petite de leurs évaluations, celle de Leslie, s'élève encore à près de cent mille. D'après ce résultat, qui est probablement trop faible vu le procédé employé pour y parvenir¹, l'éclat du disque solaire égalerait donc près de cent mille fois celui du disque de la lune. Il suit de là que si l'irradiation croissait proportionnellement à l'éclat de l'objet, celle que développe le soleil devrait être énorme relativement à celle de la lune, et que le premier de ces astres présenterait à l'œil nu l'aspect d'un globe immense. Partons, en effet, de conditions très-défavorables : supposons l'éclat du soleil seulement égal à dix mille fois celui de la lune, ce qui est certainement au-dessous de la réalité, et prenons un observateur dont les yeux soient tellement disposés, que le dernier de ces deux astres n'y développe qu'une irradiation de $10''$: cette irradiation serait extrêmement faible, car la plus petite des valeurs contenues dans le tableau du § 74, valeurs qui se rapportent à l'éclat du ciel, est encore de $25'',2$, et ce dernier éclat est évidemment inférieur à celui de la lune. Si l'irradiation était proportionnelle à l'éclat, celle due au soleil serait donc pour cet observateur, dans les hypothèses ci-dessus, égale à $100000''$, ou environ 27° . Ainsi le disque solaire serait entouré, pour lui, d'un anneau d'irradiation d'environ 27° d'épaisseur, et le diamètre apparent total de l'astre lui paraîtrait par conséquent occuper dans le ciel plus de 54° . L'excessive différence entre un semblable résultat et l'aspect que nous présente en réalité le disque du soleil, nous oblige donc d'admettre que l'irradiation augmente beaucoup moins rapidement que l'éclat de l'objet qui la produit. Il suit de là que si la loi qui lie ces deux quantités était figurée par une courbe ayant pour abscisses l'éclat, et pour ordonnées l'irradiation correspondante, cette courbe tournerait sa concavité vers l'axe des abscisses. De plus, comme il est évident qu'à un éclat nul doit correspondre une irradiation nulle, la courbe passerait par l'origine des coordonnées. Enfin, si

¹ Bouguer avait trouvé, par une autre méthode, un rapport à peu près triple, et Wollaston, par un troisième procédé, est arrivé au nombre 800000.

l'on considère le peu de différence de grandeur apparente que présentent à l'œil nu le soleil et la lune malgré leur énorme différence d'éclat, on voit que si l'on prenait sur la courbe deux points, dont l'un aurait pour abscisse l'éclat de la lune, et l'autre celui du soleil, l'ordonnée du second point ne serait pas de beaucoup supérieure à celle du premier, quoique la seconde abscisse dût égaler probablement plusieurs centaines de mille fois la première. D'où l'on est conduit à conclure que la courbe en question a une asymptote parallèle à l'axe des abscisses, ou, en d'autres termes, que l'accroissement d'irradiation, d'abord très-notable quand on part d'un éclat faible, finit par devenir insensible, quand l'éclat atteint une certaine limite.

82. J'ai cherché à vérifier ces conclusions par des expériences directes, et à obtenir le tracé de la courbe dont il s'agit. Pour y parvenir, il fallait d'abord remplir une condition essentielle : c'était de pouvoir donner à l'objet une suite d'éclats déterminés et ayant entre eux des rapports connus. J'ai atteint ce premier point d'une manière très-simple, en profitant d'un principe de photométrie que M. Talbot a fait connaître¹, et dont j'ai donné moi-même une démonstration expérimentale plus directe². Ce principe, dans sa plus grande généralité, peut s'énoncer ainsi :

Lorsqu'un objet lumineux agit sur l'œil d'une manière régulièrement intermittente, et que ses apparitions successives sont assez rapprochées pour que l'œil ne puisse plus les distinguer l'une de l'autre, et perçoive une sensation continue, l'éclat apparent de cet objet se trouve diminué dans le rapport de la somme des durées d'une apparition et d'une disparition, à la durée d'une apparition seule.

Par exemple, on découpe, dans un disque de papier noir, un certain nombre d'ouvertures en forme de secteurs, égales entre elles et disposées régulièrement autour du centre; puis, plaçant ce disque devant un champ lumineux, on le fait tourner rapidement dans son plan autour d'un axe central, de manière à produire, comme on sait, l'aspect

¹ *Philos. Magaz.*, nov. 1834, page 327.

² *Bulletin de l'Acad. de Bruxelles*, 1835, page 52.

d'une surface unie et transparente à travers laquelle l'éclat du champ paraît diminué. Alors, en supposant le mouvement du disque uniforme, un point quelconque de cette surface apparente se trouve évidemment, par rapport à l'œil qui le regarde, dans les conditions du principe ci-dessus : car ce point est alternativement occupé par un espace lumineux et par un espace obscur, et envoie par conséquent à l'œil une lumière régulièrement intermittente. Ainsi l'éclat de la surface apparente sera à celui du champ lumineux lui-même, comme la durée du passage d'un secteur à jour en un même point, est à la somme des durées des passages d'un secteur à jour et d'un secteur opaque, ou, ce qui revient au même, comme la largeur angulaire d'un secteur à jour, est à la somme des largeurs angulaires d'un secteur à jour et d'un secteur opaque. Si, par exemple, les ouvertures sont égales en largeur aux intervalles noirs, le rapport en question sera un demi, et l'éclat du champ sera réduit à moitié; si la largeur des ouvertures est moitié de celle des intervalles noirs, le rapport sera un tiers, et l'éclat de la surface apparente sera trois fois moindre que celui du champ; etc. Généralement, b représentant la largeur angulaire d'un secteur à jour, n celle d'un secteur noir, E l'éclat du champ lumineux devant lequel on place l'appareil, et e celui de la surface apparente produite, on a la relation :

$$e = \frac{b}{b+n} E.$$

83. Il suit de là que si l'on pratique dans plusieurs disques un même nombre de secteurs à jour, mais en donnant à ces ouvertures des largeurs angulaires qui diffèrent d'un disque à un autre, lorsqu'on fera tourner successivement tous ces disques devant le même champ lumineux, les éclats des surfaces apparentes produites seront entre eux comme les largeurs des ouvertures. En effet, le nombre de ces ouvertures étant le même sur tous les disques, il est évident que la somme des largeurs d'un secteur à jour et d'un secteur noir sera aussi la même pour tous, et que par conséquent le dénominateur de la fraction, dans l'expression précédente, ne changera pas en passant d'un de ces disques



à un autre; comme d'ailleurs on suppose également que la quantité E ne change pas, les différentes valeurs de e seront donc proportionnelles aux valeurs de b ¹.

84. Cela posé, voici le procédé dont je me suis servi pour déterminer de quelle manière l'irradiation varie avec l'éclat de l'objet qui la fait naître.

D'abord j'ai découpé dans du papier épais, quatre disques de 25 centimètres de diamètre, dans chacun desquels j'ai pratiqué douze ouvertures en forme de secteurs, ou plutôt de portions de secteurs comprises entre deux portions de rayons et deux arcs concentriques : il restait ainsi, au centre et à la circonférence de ces disques, des parties pleines destinées à maintenir le tout. Dans le premier disque, la largeur angulaire des ouvertures était égale à celle des intervalles ; dans les trois autres, les ouvertures avaient respectivement la moitié, le quart, et le huitième de la largeur de celles du premier. Enfin tous étaient peints d'un noir bien opaque (voyez la *fig. 14*, qui représente le premier d'entre eux).

Les largeurs d'ouverture étant ainsi, du premier au quatrième disque, comme les quantités $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}$, il suit du paragraphe précédent, qu'en faisant tourner successivement ces différens disques devant le même champ lumineux, les valeurs respectives de l'éclat résultant devaient former entre elles la même progression. Or, en désignant toujours par E l'éclat du champ lumineux, celui de la surface apparente donnée par le premier disque, était $\frac{1}{2}E$ ($\S 82$) ; les autres étaient, par conséquent, $\frac{1}{4}E, \frac{1}{8}E$, et $\frac{1}{16}E$.

Maintenant on conçoit que si l'on place, devant le champ d'un éclat E , l'appareil à vis ($\S 55$) qui nous a servi précédemment, et si l'on interpose successivement, entre le champ et l'appareil, chacun des

¹ J'ai supposé le mouvement du disque uniforme, mais cette condition n'est pas nécessaire quant à l'effet produit : l'éclat de la surface apparente demeure le même, que la vitesse varie ou non, tant que celle-ci ne diminue pas assez pour que l'on commence à distinguer les ouvertures.

quatre disques en mouvement, on pourra mesurer, chez une personne, l'irradiation correspondante à chacune des valeurs de l'éclat ci-dessus indiquées. Si, de plus, on prend la mesure du phénomène sans interpolation de disque, c'est-à-dire pour l'éclat E lui-même, et enfin que l'on fasse attention que pour un éclat nul l'irradiation est nécessairement nulle, on pourra obtenir les valeurs de l'irradiation correspondantes à la série suivante des valeurs de l'éclat, en commençant par 0 :

$$0, \frac{1}{16}E, \frac{1}{8}E, \frac{1}{4}E, \frac{1}{2}E, E.$$

On aura donc de cette manière six points de la courbe cherchée.

Mais pour pouvoir mettre ce qui précède en pratique, il fallait faire choix d'un champ lumineux dont l'éclat E satisfît à des conditions essentielles : il devait 1^o être bien caractérisé, afin que la courbe trouvée fût susceptible d'une interprétation précise; 2^o demeurer sensiblement le même à des époques différentes, car dans ces expériences comme dans les autres, on ne peut se contenter d'une seule série d'observations, et il est indispensable de prendre des moyennes; 3^o avoir une intensité assez considérable, afin que réduit par l'un des disques au seizième de sa valeur, il laissât voir encore l'objet d'une manière bien distincte, et, d'un autre côté, afin que la courbe pût être prolongée assez loin. J'ai pensé que l'éclat d'un ciel serein remplissait suffisamment ces conditions, pourvu que la lumière vînt toujours du même point du ciel, que l'heure des observations fût toujours la même, et que les différentes époques ne fussent pas trop éloignées l'une de l'autre. Toutes les observations ont donc été faites par un ciel sans nuages, du moins dans la partie d'où arrivait la lumière qui devait traverser l'appareil : cette partie du ciel était située au nord, à environ 60° au-dessus de l'horizon, et les rayons étaient, comme précédemment, réfléchis horizontalement par un miroir incliné; les expériences commençaient à trois heures après-midi, et jamais elles n'ont duré plus d'une demi-heure; enfin toutes ont été exécutées à partir des derniers jours de février jusqu'à la fin de mars. L'éclat normal E est donc



bien caractérisé : c'est celui d'un ciel serein, au nord, à 60° de hauteur, à trois heures après midi, dans le mois de mars, cet éclat étant vu par réflexion dans un miroir avec lequel les rayons forment un angle de 30° . On ne peut pas, à la rigueur, regarder cet éclat comme tout-à-fait constant, car l'atmosphère quoique sereine n'a pas toujours la même pureté, et d'un autre côté, il s'est écoulé au delà d'un mois entre le premier jour d'observations et le dernier; mais on m'accordera, j'espère, que les différences d'éclat qui peuvent résulter de ces deux causes, doivent être assez petites pour qu'on puisse en négliger l'influence dans le cas dont il s'agit.

Quant au mouvement de rotation des disques, il était produit par un mécanisme d'horlogerie à ressort. Ce mécanisme était renfermé entre deux platines verticales circulaires de 9 centimètres de diamètre, et était porté sur un pied d'une hauteur suffisante. Un axe horizontal placé à la partie supérieure de la cage et communiquant par un pignon avec la dernière roue de la machine, présentait en dehors l'une de ses extrémités, sur laquelle on attachait successivement les différents disques au moyen d'un écrou. Lorsqu'un disque était ainsi mis en mouvement devant le miroir incliné, la cage de l'instrument cachait, à la vérité, une petite portion de la surface apparente produite; mais, vu la position élevée de l'axe de rotation, cette portion était tout entière au-dessous du centre du disque, et par conséquent, toute la partie supérieure de la surface apparente restait entièrement libre; c'est sur cette partie que se projetait l'appareil à vis servant à mesurer l'irradiation.

Enfin, j'ai fait subir à ce dernier appareil la modification indiquée au § 67 : c'est-à-dire que la vis a été munie d'une tête divisée permettant d'apprécier les centièmes de tours, et les mesures de l'irradiation ont été prises par le nouveau procédé exposé dans le même paragraphe. Avant chaque observation partielle, la plaque mobile était d'abord amenée de manière que les deux bords fussent en réalité dans le prolongement l'un de l'autre; puis, l'appareil étant posé devant le miroir incliné, avec ou sans l'interposition d'un disque en mouvement, l'observateur se plaçait à la distance de deux mètres, cette distance étant



SUR L'IRRADIATION.

89

comptée de ses yeux à l'appareil. Alors, tandis qu'il regardait, je faisais avancer graduellement la plaque mobile, jusqu'à ce qu'il m'avertît que la coïncidence apparente lui paraissait établie, et que l'irradiation n'augmentait plus. Cette opération exigeait nécessairement quelques tâtonnemens : lorsque le point cherché était à peu près atteint, il fallait tantôt avancer un peu, tantôt reculer la plaque, pour s'assurer si la détermination était bonne, et dans ces tâtonnemens, la personne laissait de temps à autre reposer ses yeux. Enfin, lorsque la position qui paraissait la plus convenable était arrêtée, j'annotais le nombre de tours et la fraction de tour dont la vis se trouvait avancée. La distance étant connue, j'avais ainsi les moyens de calculer la valeur de l'irradiation donnée par cette observation. La personne exécutait de cette manière, sans discontinuer, une série de cinq observations, toujours à la distance constante de deux mètres, observations dont l'une avait lieu sans rien interposer entre le miroir et l'appareil à vis, et les autres en employant successivement les quatre disques. Comme les yeux sont nécessairement plus fatigués à la fin d'une série qu'au commencement, et que cela pourrait avoir quelque influence sur les résultats, j'ai eu soin de changer, dans les différentes séries, la succession des valeurs de l'éclat ; de cette manière, les erreurs possibles provenant de la cause que je viens d'indiquer, devaient se détruire mutuellement dans les résultats moyens.

Malheureusement, le mois de mars a présenté, à Gand, peu de jours suffisamment sereins à trois heures après midi ; il m'a donc été impossible de multiplier beaucoup les séries d'observations, et j'ai dû me borner à soumettre une seule personne à l'expérience. Cette personne, qui est la première des tableaux précédens, a bien voulu exécuter six séries, de sorte que chacune des valeurs différentes de l'éclat, a donné lieu à ce même nombre d'observations partielles. Si donc on prend, pour chacune de ces valeurs de l'éclat, la moyenne entre les six mesures de l'irradiation qui s'y rapportent, la suite de ces mesures moyennes donnera, d'une manière plus ou moins exacte, la marche que suit l'irradiation quand l'éclat augmente. Je n'ai pas besoin d'ajouter que chacun des nombres de cette suite représente, sauf ce qui reste des erreurs

d'observation, l'irradiation moyenne entre celles que l'éclat correspondant développait dans les différens jours d'observations.

85. A la vérité, la loi ainsi trouvée n'est constatée que chez une seule personne; mais il est bien probable que toutes les lois qui régissent l'irradiation, abstraction faite de son intensité absolue, sont les mêmes chez les différens individus, et tous les faits que nous avons rapportés jusqu'ici, tendent à établir cette identité. Nous pourrons donc considérer les résultats qui vont suivre, comme représentant d'une manière générale la loi que nous cherchons : ces résultats doivent d'ailleurs ne présenter que des erreurs assez petites, vu le nombre d'élémens dont chacun d'entre eux est déduit (§ 76), et c'est ce que montre aussi la régularité de la courbe qu'ils donnent.

Toutes les observations ayant été faites à la même distance, les valeurs partielles de l'irradiation sont simplement proportionnelles aux nombres de tours de la vis (§ 56). Il suit de là que pour obtenir les valeurs moyennes, il suffira de prendre les nombres moyens de tours, et de calculer, par la formule du § 56, les valeurs de l'irradiation correspondantes à ces nombres moyens. Ces dernières seront ensuite multipliées par 48'' pour les convertir en fractions de degrés (§ 74).

86. Voici maintenant le tableau des résultats :

VALEURS DE L'ÉCLAT.	$\frac{1}{16}$ E.	$\frac{1}{8}$ E.	$\frac{1}{4}$ E.	$\frac{1}{2}$ E.	E.
Nombres de tours de la vis.	1 ^{er} jour . . .	1,40	1,57	2,44	2,56
	2 ^{me} jour . . .	1,56	2,12	2,01	1,98
	3 ^{me} jour . . .	2,57	2,85	3,03	2,81
	4 ^{me} jour . . .	1,78	1,84	1,86	2,00
	5 ^{me} jour . . .	1,95	1,90	2,55	2,64
	6 ^{me} jour . . .	0,99	1,63	2,01	2,03
Nombres moyens . . .	1,708	1,985	2,325	2,336	2,335
VALEURS MOYENNES DE L'IRRADIATION . . .	40'',9	47'',6	55'',7	56'',0	56'',0

Ces valeurs montrent bien que l'irradiation suit la marche indiquée § 81 : l'éclat passant de 0 à $\frac{1}{16}E$, l'irradiation s'est élevée depuis 0, jusqu'à $40'',9$; ses accroissemens se sont ensuite ralentis, et déjà de $\frac{1}{4}E$ à $\frac{1}{2}E$, elle n'a plus augmenté que de $0'',3$; enfin de $\frac{1}{2}E$ jusqu'à E , c'est-à-dire jusqu'à l'éclat du ciel dans les circonstances énumérées plus haut, elle n'a pas varié sensiblement. La courbe que donnent ces résultats est représentée fig. 15 ; on voit qu'elle offre peu d'irrégularités, et qu'elle indique évidemment l'existence d'une asymptote parallèle à l'axe des abscisses.

Ces mêmes résultats prouvent aussi ce que j'ai avancé § 77, savoir que lorsque l'éclat de l'objet est de l'ordre de celui du ciel, cet éclat peut éprouver de très-grandes variations sans que l'irradiation qu'il développe soit notablement modifiée.

Nous pouvons donc énoncer le principe qui suit :

L'irradiation croît avec l'éclat de l'objet, mais suivant une loi beaucoup moins rapide. Si l'on figure cette loi par une courbe ayant pour abscisses les valeurs successives de l'éclat à partir de 0, et pour ordonnées les valeurs correspondantes de l'irradiation, cette courbe passe par l'origine des coordonnées, tourne sa concavité vers l'axe des abscisses, et présente une asymptote parallèle à cet axe. La courbe est déjà très-voisine de son asymptote pour un éclat de l'ordre de celui du ciel au nord.

87. Reprenons maintenant les questions que nous avons mises en avant dans les §§ 78 et 79 : savoir la recherche de l'irradiation moyenne chez une personne déterminée, pour un objet d'un éclat donné, et la comparaison de ces valeurs moyennes chez différentes personnes. Pour cela retournons d'abord au tableau du § 74. Il résulte de la remarque ci-dessus, que toutes les valeurs contenues dans ce tableau peuvent être considérées comme très-peu influencées par les différences dans l'état du ciel; du moins les erreurs que l'on commettra en les regardant comme obtenues dans des circonstances extérieures identiques, seront très-petites relativement aux variations que l'irradiation



manifeste soit d'une époque à une autre chez la même personne, soit d'une personne à une autre à la même époque. Si donc ce même tableau présentait, pour l'une quelconque des personnes, un nombre considérable de jours d'observations, l'on obtiendrait, d'une manière très-approchée, l'irradiation moyenne développée chez cette personne par un éclat de l'ordre de celui du ciel, en prenant la moyenne entre les valeurs correspondantes à tous ces différens jours.

Or le tableau n'indique, pour la première personne, que deux jours d'observations; mais cette personne est la même qui a fourni les résultats rapportés ci-dessus (§ 86), correspondans à six autres jours. Ceux d'entre ces derniers résultats, qui forment la colonne de droite, sont tous relatifs à l'éclat du ciel lui-même, et peuvent, par conséquent, être combinés avec les deux de l'autre tableau; seulement il faudra auparavant les exprimer en fonction des mêmes unités. Remarquons en outre, qu'on peut prendre aussi les valeurs contenues dans la colonne correspondante à l'éclat $\frac{1}{2}E$, puisque l'irradiation n'a pas varié sensiblement de cette colonne à la suivante: nous aurons ainsi, pour chacun des six jours, deux observations au lieu d'une seule. Prenant donc la moyenne respective de chacun des six couples d'observations donnés par ces deux colonnes, appliquant à toutes ces moyennes la formule du § 56, et multipliant ensuite tous les résultats par $48''$, nous aurons, tout calcul fait,

	EN FONCTION de l'unité du § 56.	EN FRACTIONS de degrés.
—	—	—
1 ^{er} jour.	1,265	1' 0'',7
2 ^{me} jour.	1,045	0' 50'',1
3 ^{me} jour.	1,472	1' 10'',6
4 ^{me} jour.	1,032	0' 49'',5
5 ^{me} jour.	1,272	1' 1'',0
6 ^{me} jour.	0,920	0' 44'',1.

A la vérité, chacune de ces valeurs n'est déduite que de deux résultats partiels; mais d'abord, si l'on examine ceux-ci dans le tableau du § 86, on verra que ceux qui forment chaque couple, sauf le dernier,

SUR L'IRRADIATION.

93

sont assez concordans ; et, d'un autre côté, les erreurs devront se compenser dans la moyenne générale.

Enfin j'ai pris encore postérieurement, chez la même personne, deux autres mesures de l'irradiation due à l'éclat du ciel. Ces mesures, dont la première a été obtenue en avril et la seconde en mai, sont les suivantes :

$$\begin{aligned} 1,225 & \text{ ou } 0' 58'',8 \\ 1,545 & \text{ ou } 1' 14'',1. \end{aligned}$$

Les deux valeurs contenues dans le tableau du § 74, étaient :

$$\begin{aligned} 1,613 & \text{ ou } 1' 17'',4 \\ 1,434 & \text{ ou } 1' 8'',8. \end{aligned}$$

Nous avons donc, pour la personne dont il s'agit, un ensemble de valeurs correspondant à dix jours différens et assez éloignés les uns des autres ; ces éléments paraissent suffisamment nombreux pour que l'on puisse en déduire, avec une certaine approximation, l'irradiation moyenne que développe l'éclat du ciel dans les yeux de cette personne ; prenons donc la moyenne entre ces dix valeurs : nous trouverons

$$1,282 \text{ ou } 1' 1'',5.$$

Pour juger du degré de confiance que nous pouvons accorder à ce résultat, partageons les dix valeurs d'où il est déduit, en deux groupes de cinq, en les rangeant suivant l'ordre de leurs dates, et cherchons séparément la moyenne de chacun de ces groupes : nous aurons ainsi

PREMIER GROUPE.	DEUXIÈME GROUPE.
—	—
1,613	1,032
1,434	1,272
1,265	0,920
1,045	1,225
1,472	1,545
Moyennes. . . 1,365 1,198

Or on voit que ces deux moyennes partielles ne s'éloignent pas considérablement de la moyenne générale 1,282 : l'écart est de 0,084, ce

qui ne forme qu'environ les six centièmes de cette moyenne générale. Nous pouvons donc considérer cette dernière comme assez exacte, et dire avec une grande probabilité, que chez la personne en question, l'éclat du ciel produit une irradiation dont la valeur moyenne est à très-peu près 1,282 ou 1' 1'',5.

88. Passons maintenant aux autres personnes du tableau du § 74. La seconde n'a fourni que deux mesures, et je n'ai pu en prendre d'autres depuis : ainsi on ne peut rien conclure à l'égard de cette personne; mais la troisième et la quatrième ont donné chacune des résultats correspondans à cinq jours différens, et puisque, d'après ce qui précède, il paraîtrait que la moyenne de cinq jours ne s'écarte pas beaucoup de la moyenne relative à un plus grand nombre d'époques, nous pourrons encore attribuer une certaine confiance aux résultats que nous tirerons de ces deux systèmes de valeurs. Prenant donc la moyenne de chacun d'entre eux, nous aurons

3^{me} PERSONNE.4^{me} PERSONNE.—
1,086 ou 0' 52'',1—
0,692 ou 0' 33'',2.

En supposant exacts ces deux résultats ainsi que celui que nous venons de trouver pour la première personne, l'irradiation moyenne due à l'éclat du ciel chez chacune des trois, serait respectivement

1,282, 1,086, 0,692.

Et ces trois quantités, surtout la première et la dernière, s'éloignant beaucoup entre elles, on constaterait ainsi, que l'irradiation moyenne développée par un même éclat, est loin d'être la même chez tous les individus.

Or je ne crois pas que les grandes différences que présentent ces valeurs puissent être attribuées à la petitesse des nombres d'élémens d'où elles sont déduites. En effet, examinons en particulier la première et la dernière, comme s'écartant le plus entre elles. Si l'on compare les dix élémens dont l'ensemble a donné l'une de ces deux valeurs, avec les cinq qui ont concouru à la formation de l'autre, on

verra que chacun des premiers l'emporte plus ou moins notablement sur chacun des seconds, sauf une seule exception. Il y a donc eu constance dans la prédominance de l'irradiation chez la première personne, sur celle qui s'est développée chez la quatrième. D'ailleurs, lorsque ces deux mêmes personnes ont été soumises aux expériences rapportées dans les §§ 28, 36, 49, etc., expériences qui ont eu lieu à des époques très-distantes, j'ai toujours reconnu que, chez la première, les effets étaient beaucoup plus prononcés que chez l'autre : les mesures que nous venons de discuter n'ont fait, ainsi, que confirmer ce que m'avaient appris auparavant des observations d'une nature moins précise. Nous pouvons donc, je pense, poser le principe suivant comme à peu près démontré :

L'irradiation moyenne développée par un même éclat, varie considérablement d'une personne à une autre.

89. Avant d'aborder une question nouvelle, faisons un pas en arrière, et revenons, pour un instant, aux variations que subit l'irradiation chez une même personne, d'une époque à une autre ; nous pouvons maintenant apporter encore des preuves bien évidentes de ces variations. En effet, si l'on examine les résultats contenus dans le tableau du § 86, et que l'on compare la série du second jour avec celle du troisième, on remarquera que chacun des cinq nombres appartenans à la première de ces deux séries, est plus petit que son correspondant dans la seconde : c'est-à-dire que, pour chacune des valeurs de l'éclat, la quantité obtenue comme mesure de l'irradiation, a été constamment moindre le second jour que le troisième. Si l'on compare de même cette série du troisième jour avec celle du quatrième, on trouvera que les nombres de la première sont tous plus grands que les nombres correspondans de la seconde ; passant du quatrième jour au cinquième, on verra tous les nombres augmenter de nouveau de l'un de ces jours à l'autre, et enfin on les verra tous diminuer encore du cinquième jour au sixième ; le passage du premier jour au second, fait seul exception à cet ordre régulier.



MÉMOIRE

Or il est bien évident qu'une concordance aussi soutenue ne peut être due à une distribution fortuite des erreurs d'observation : l'on est donc nécessairement conduit à reconnaître que l'irradiation chez la personne dont il s'agit, a augmenté du second jour au troisième, pour diminuer ensuite du troisième au quatrième, augmenter de nouveau du quatrième au cinquième, et diminuer encore du cinquième au sixième.

Les résultats de ces comparaisons deviendront plus frappants encore, si nous les rendons plus précis, en calculant successivement, à partir du second jour, le rapport entre chacun des nombres d'une série, et son correspondant dans la série suivante. Nous obtiendrons, de cette manière, les quantités ci-dessous :

<i>Rapports entre les nombres du second jour et ceux du troisième.</i>	{	0,61	0,74	0,65	0,70	0,71
<i>Id. du troisième jour et du quatrième.</i>	{	1,44	1,53	1,65	1,40	1,45
<i>Id. du quatrième jour et du cinquième.</i>	{	0,91	0,97	0,73	0,76	0,87
<i>Id. du cinquième jour et du sixième.</i>	{	1,97	1,16	1,27	1,30	1,48.



Et l'on voit que les cinq nombres qui forment chacune de ces séries de rapports, s'accordent entre eux d'une manière bien remarquable, du moins si l'on fait attention à la grande difficulté des observations qui y ont conduit. Ainsi se trouve donc pleinement confirmée la proposition du § 77.

La concordance entre les rapports précédens, nous montre également que nous pouvons attribuer beaucoup de confiance aux observations consignées dans le tableau du § 86, et que, par conséquent, la courbe de la *fig. 15* doit s'éloigner fort peu de celle qui exprimerait exactement la loi cherchée.

J'ai dit au § 31, que l'irradiation développée par la lune dans les yeux de Gassendi lors des observations rapportées § 11, devait être considérée comme très-prononcée. En effet, en admettant comme

SUR L'IRRADIATION.

97

exactes les observations dont il s'agit, cette irradiation a été de $2\frac{1}{2}$, tandis que la plus forte de celles que renferme le tableau du § 74, n'est que de $1' 17'',4$. Il est vrai que l'éclat de la lune est supérieur à celui du ciel en plein jour et au nord; mais nous savons maintenant que cet excès d'éclat ne peut produire qu'une différence légère dans la valeur de l'irradiation. On doit, du reste, regarder comme probable que, dans le jour, lorsque l'œil est soumis à l'excitation continue de la lumière qui lui arrive de tous côtés, il est moins sensible à l'irradiation, qu'au milieu de la nuit et lorsqu'il ne reçoit de lumière que d'un seul objet brillant, tel que la lune isolée sur le fond obscur du ciel.

90. Passons maintenant à une autre loi de l'irradiation : je veux parler de l'influence qu'exerce le plus ou moins d'éclairement du champ qui environne l'objet lumineux (§§ 10, 11, 23). Avant d'examiner cette influence dans ses rapports avec la théorie, j'indiquerai un moyen simple pour la constater. On commence par peindre en noir sur la moitié de sa longueur, un morceau rectangulaire de papier blanc mince, et de mêmes dimensions que les cartons des §§ 28, 36, etc. Ce papier se trouve ainsi divisé en deux rectangles, l'un complètement opaque, l'autre demi-transparent ; il est convenable d'huiler cette dernière moitié, afin d'augmenter sa transparence. On découpe alors dans ce papier, avec la pointe d'un canif, une ouverture longitudinale de 5 millimètres de largeur, dont une moitié traverse l'espace noir, et l'autre l'espace translucide (*fig. 16*). Enfin on tend ce papier sur un cadre, ou, ce qui vaut mieux, on le colle sur une plaque de verre. Lorsque cet appareil est placé contre une fenêtre, de manière qu'il se projette sur le ciel, on voit que l'ouverture longitudinale doit former une bande lumineuse dont une moitié se détache sur un fond noir, et l'autre sur un fond qui possède un certain éclat, quoique beaucoup moindre que celui de la bande. Or, si l'on se place à la distance de quelques mètres, on verra ces deux moitiés inégales en largeur, la première paraissant excéder notablement la seconde¹.

¹ L'expérience a été répétée par six personnes, et avec le même résultat.

91. Voyons comment cette influence de l'éclat du champ qui environne l'objet, se rattache à la propagation de l'impression sur la rétine. D'après les faits et les remarques des §§ 48-51, la disposition de la rétine à recevoir les impressions propagées, marche en sens inverse de la disposition du même organe à recevoir les impressions directes. Il est donc permis de croire que lorsque la lumière agit directement sur une portion de la rétine, cette portion devient, par cela même, moins apte à recevoir une impression propagée. Dès lors on conçoit que si le fond sur lequel se détache l'objet lumineux, envoie lui-même à l'œil une certaine quantité de lumière, l'impression directe qu'il produit contrarie l'irradiation du bord de l'objet, et cela d'autant plus que l'éclat de ce fond est plus considérable.

92. Ceci étant admis, imaginons un objet qui se détache sur un fond non complètement privé de lumière, et supposons que l'on fasse croître graduellement l'éclairage de ce fond. L'irradiation produite le long du contour de l'objet ira alors en diminuant, jusqu'à ce que l'éclat du champ soit devenu égal à celui de cet objet. Passé cette limite, si le premier continue à croître, il est évident qu'alors le champ produira à son tour une irradiation qui empiétera sur l'objet, et qui se développera, par conséquent, en sens inverse de la première par rapport à la ligne qui forme le contour réel de cet objet. L'irradiation passera donc, pour ainsi dire, du positif au négatif. Ce passage, qui est une conséquence directe des faits connus, autorise à admettre qu'à l'instant où l'éclat du champ est devenu égal à celui de l'objet, l'irradiation de ce dernier est réduite à zéro; et comme l'effet doit être réciproque, si au lieu d'un objet et d'un champ environnant, on suppose deux objets d'un éclat égal qui se touchent, les irradiations de ces deux objets seront nulles au point où à la ligne de contact. Nous arrivons donc par une autre voie, à la conclusion que nous avions déjà déduite du fait de la diminution de deux irradiations voisines (§ 40). Si nous appliquons à cette conclusion déduite de l'expérience les considérations théoriques du paragraphe précédent, nous retomberons sur cette idée émise par M. Robinson (§ 23), à propos de deux images



en contact et d'un éclat égal, que dans ce cas, « il ne peut y avoir » d'action sympathique de la part de l'une des deux images sur les parties adjacentes de la rétine qui sont déjà stimulées par l'autre. »

93. Il serait bien facile d'appliquer à la loi suivant laquelle agit l'éclat du champ, des procédés de mesure analogues à ceux que j'ai mis en usage dans les recherches qui précédent. Mais j'avoue que le désir de terminer un travail déjà bien long, m'a empêché d'entreprendre ce sujet, auquel je pourrai d'ailleurs revenir par la suite. Les exemples que j'ai donnés de l'emploi de ce genre de procédés, suffiront pour montrer que, quelque délicat et variable que soit le phénomène de l'irradiation, il est cependant possible d'en obtenir la mesure exacte dans les différentes circonstances, et d'arriver à l'expression précise de chacune des lois qui le régissent.

Quelle que soit, du reste, la figure de la courbe qui représenterait la loi dont nous venons de nous occuper, cette loi, telle que nous la connaissons, peut être énoncée ainsi :

Lorsque le champ qui environne l'objet n'est pas complètement noir, l'irradiation développée le long du contour de cet objet est diminuée, et cela d'autant plus que l'éclat du champ approche davantage d'être égal à celui de l'objet. Si cette égalité a lieu, l'irradiation s'évanouit.

Et nous y ajouterons ce corollaire :

Lorsque deux objets d'un éclat égal se touchent, l'irradiation est nulle pour chacun d'entre eux au point ou à la ligne de contact.

94. Le principe de l'influence de l'éclat du champ et celui de la diminution de deux irradiations voisines (§§ 36-40), doivent, d'après ce qui précède, être liés intimement entre eux. En effet, que deux espaces lumineux d'un éclat égal se rapprochent graduellement jusqu'au contact, ou bien que deux espaces d'un éclat inégal soient primitivement en contact et que l'on fasse croître l'éclat le plus faible jusqu'à ce qu'il devienne égal à l'autre, le résultat définitif est le même,



c'est-à-dire que , des deux côtés , on finit par avoir deux espaces égaux en éclat et qui se touchent : l'effet produit à cette limite , savoir la destruction de l'irradiation , doit donc provenir de la même cause dans les deux circonstances , et il devient par conséquent très-probable que la diminution éprouvée par l'irradiation dans l'un et l'autre cas avant d'atteindre cette même limite , est due aussi à des causes du même ordre. Nous allons voir , en effet , que le phénomène de la diminution de deux irradiations voisines , est une conséquence assez naturelle des considérations théoriques qui expliquent le précédent. Si , lorsqu'une portion de la rétine reçoit une impression directe , cette portion devient par cela même moins apte à se laisser affecter par communication , et perd entièrement cette faculté à l'égard d'une autre impression directe égale en intensité à la première , il est raisonnable d'admettre que l'espèce de répulsion exercée par chacune de ces impressions sur l'irradiation de l'autre , peut se faire sentir jusqu'à une certaine distance , et qu'ainsi , lorsque ces mêmes impressions , au lieu d'être en contact , seront séparées par un petit intervalle , chacune d'entre elles devra diminuer l'irradiation de l'autre. Il serait en effet difficile de supposer que l'obstacle apporté aux deux irradiations dans le cas du contact , se trouve brusquement anéanti par cette petite séparation. La loi de continuité conduit donc à cette conclusion vérifiée par l'expérience , que si deux objets égaux en éclat , et primitivement éloignés l'un de l'autre ; viennent à se rapprocher graduellement , leurs irradiations d'abord libres de se développer , finiront par éprouver chacune l'influence de l'objet voisin , et diminueront de plus en plus jusqu'au contact de ces deux objets , où elles seront anéanties.

95. Avant de quitter ce sujet , je rapporterai une dernière expérience relative à la diminution de deux irradiations voisines , expérience qui en donne la mesure dans un cas particulier. L'appareil est un morceau de carton noirci de forme circulaire , percé en son milieu d'une ouverture également circulaire d'environ cinq centimètres de diamètre , en travers de laquelle est tendu un fil de cocon. Cet appareil étant maintenu verticalement devant le miroir incliné qui réfléchit la lumière du



ciel (§ 57), on voit que l'espace lumineux formé par l'ouverture se trouvera coupé en deux parties par la ligne extrêmement mince que dessine le fil. Ces deux parties feront donc ainsi l'office de deux objets lumineux d'un éclat égal, très-rapprochés l'un de l'autre, et placés par conséquent dans des conditions très-favorables à la neutralisation mutuelle de leurs deux irradiations. Cela posé, si une personne partant d'un point éloigné de l'appareil, se rapproche graduellement de celui-ci jusqu'à la distance où elle commence à distinguer le fil, il est évident qu'à cette distance, la somme des angles visuels qui mesurent les restes d'irradiation exercés des deux côtés du fil, doit être un peu moindre que l'angle visuel soutenu à la même distance par l'épaisseur réelle de ce fil; en d'autres termes, comme les deux irradiations sont égales, chacune d'entre elles doit être un peu plus petite que la moitié de ce dernier angle. Il est clair, en effet, que, sans cette condition, le fil serait masqué et ne pourrait être aperçu. Connaissant donc l'épaisseur de ce fil, et mesurant la distance dont il s'agit, on en déduira une limite au-dessous de laquelle doit se trouver la valeur des deux irradiations. Maintenant, si l'on a mesuré chez la même personne, immédiatement avant ou après cette expérience, la valeur de l'irradiation développée librement par l'éclat du ciel, on pourra comparer cette valeur avec la limite ci-dessus, et juger, par conséquent, de l'influence que le voisinage des deux objets a exercée sur leurs irradiations.

J'ai opéré de cette manière à l'égard de la seconde personne du tableau du § 74. Ce tableau montre que l'irradiation due à l'éclat du ciel, était, chez elle, le second jour, de $52''$, 6, et cette valeur est très-approchée de l'exactitude, puisqu'elle est déduite d'un ensemble de douze observations (§§ 75 et 76). Cette personne, soumise, quelques instans après ces observations, à l'expérience du fil de cocon, a commencé à distinguer celui-ci à la distance de trois mètres. Or l'épaisseur d'un fil de cocon est d'environ un centième de millimètre¹, ce qui, à la distance ci-dessus, donne un angle visuel de $0''$, 69. L'irradiation res-

¹ Voy. *Éléments de physique*, de M. Pouillet, 3^e édition, tom. I^{er}, pag. 18.

tante le long de chacun des côtés du fil, devait donc être moindre que la moitié de cette valeur, ou que $0'', 34$. Ainsi le voisinage des deux objets a réduit l'irradiation, dans le cas dont il s'agit, de $52'', 6$ à moins de $0'', 34$, c'est-à-dire à moins de la cent cinquante-quatrième partie de la valeur qu'elle acquérait lorsqu'elle pouvait se développer en liberté.

Dans cette expérience, la personne n'a pu se tromper, et commençait bien réellement à distinguer le fil à trois mètres de distance : car elle ignorait auparavant la direction qu'affectait ce fil par rapport à l'horizon, et, sur ma demande, elle me l'a indiquée, à cette distance, conformément à ce qui avait lieu en réalité.

96. Il résulte de l'ensemble de cette division du mémoire, que l'hypothèse d'une propagation de l'impression aux parties adjacentes de la rétine, non seulement est appuyée sur des considérations à priori, sur l'analogie, et sur des faits à peu près concluans, mais qu'elle explique, en outre, d'une manière satisfaisante, toutes les lois de l'irradiation manifestée à l'œil nu.

97. Malheureusement, lorsque, pour observer les effets de l'irradiation, l'on arme l'œil d'une lentille, il se présente un ordre de faits dont je ne puis saisir la liaison avec l'hypothèse dont il s'agit.

L'appareil dont j'ai fait usage pour les constater, est analogue à celui que j'ai employé précédemment pour les expériences de mesure. *abcd* (*fig. 17*) est une plaque carrée de cuivre de 10 centimètres de côté, percée, au milieu, d'une ouverture également carrée *fghi*, de 2 centimètres de côté. Cette ouverture contient deux petites lames rectangulaires d'acier poli *fklm* et *nopq*, dont les surfaces antérieures sont dans le prolongement de celle de la plaque de cuivre. La première de ces deux lames est fixe ; mais la seconde peut glisser dans son plan le long du côté *hi* de l'ouverture, au moyen d'une vis dont on voit le bouton en *r*. Ces deux lames sont parfaitement travaillées, leurs bords libres sont taillés en biseau par derrière, et lorsqu'on fait glisser la lame mobile de manière à l'amener sous la lame fixe, les bords *no* et *ml* sont en contact, sans cependant exercer l'un contre l'autre un frottement capable de les altérer. Enfin l'appareil est placé sur un support *st*, con-



struit de manière qu'on puisse le hausser ou l'abaisser, et donner à la plaque , soit une position verticale, soit une position plus ou moins inclinée.

Pour faire les expériences, on place l'instrument vis-à-vis d'une fenêtre, en donnant d'abord à la plaque une inclinaison telle , qu'on voie le ciel par réflexion sur les lames polies , et en disposant les choses de manière que les ouvertures se projettent sur un espace bien noir. Alors on regarde ces lames à l'aide d'une forte loupe tenue près de l'œil ¹, et l'on fait mouvoir la vis *r* dans l'un ou l'autre sens, jusqu'à ce que les deux bords *kl* et *np* paraissent exactement dans le prolongement l'un de l'autre. Cette condition étant remplie, on amène la plaque dans une situation verticale , et on la place devant le miroir incliné qui réfléchit la lumière du ciel ; puis , sans toucher à la vis, on regarde de nouveau les lames avec la loupe. Or quoique, dans cette seconde disposition de l'appareil, les circonstances soient devenues inverses, puisque ce sont alors les ouvertures qui paraissent brillantes et les lames obscures , cependant rien ne semble changé dans la situation respective apparente des deux bords *kl* et *np*, qui continuent à se montrer dans le prolongement l'un de l'autre ².

98. Afin de bien comprendre ce que cette expérience offre de remarquable, considérons en premier lieu qu'elle est conduite de manière à rendre plus apparent l'effet de l'irradiation le long des bords *kl* et *np*; Car dans la première partie de l'opération , c'est-à-dire lorsqu'on regarde par réflexion les petites lames qui paraissent alors brillantes, si une irradiation appréciable dans cette circonstance se développait le long des bords *kl* et *np*, il faudrait évidemment, pour les amener en apparence dans le prolongement l'un de l'autre, les écarter en réalité d'une quantité qui , vue à travers la loupe , fût égale à la somme de leurs deux irradiations; et lorsqu'ensuite on regarde l'appareil projeté sur le ciel, les ouvertures paraissant brillantes à leur tour, l'irradiation

¹ Celle dont je me suis servi , avait environ trois centimètres de distance focale.

² Sur cinq personnes qui ont répété cette expérience , une seule a dit qu'il restait peut-être encore une irradiation , mais excessivement petite.

produite par elles le long des mêmes bords semblerait encore reculer ces derniers , et l'effet de cet écartement apparent s'ajouterait évidemment à celui de l'écartement réel que l'on aurait établi entre eux : la somme de ces effets partiels produirait donc un résultat total beaucoup plus manifeste. Or puisqu'en faisant l'expérience comme je l'ai indiqué , on n'aperçoit aucun écartement sensible , il faut bien en conclure que , s'il se développe une irradiation , elle est tellement petite qu'on ne peut la distinguer par ce procédé. En second lieu , on sait que lorsqu'un objet est regardé à travers une loupe , l'image virtuelle qui se substitue à cet objet est toujours située à la distance de la vision distincte ; d'un autre côté , j'ai fait voir (§ 71) qu'à cette même distance , l'irradiation observée à l'œil nu est très-visible , et l'on peut d'ailleurs s'assurer , comme je l'indiquerai ci-dessous , que l'appareil dont il vient d'être question la montre parfaitement. Ainsi , d'après l'expérience dont il s'agit , tandis que l'appareil observé à l'œil nu et à la distance de la vision distincte , manifeste une irradiation très-apparente , l'image virtuelle du même appareil produite par une forte loupe , située à la même distance , et possédant d'ailleurs sensiblement le même éclat , se montre sans irradiation appréciable. On ne peut supposer que cela tient au grossissement de l'image , qui ferait paraître , par contraste , l'irradiation très-petite : car il s'agit ici de juger si deux lignes droites se montrent ou non dans le prolongement l'une de l'autre , et cet effet est évidemment indépendant du plus ou moins de longueur que peuvent présenter ces lignes. Nous sommes donc conduits à cette conséquence singulière , que les loupes paraissent posséder par elles-mêmes le pouvoir de diminuer considérablement l'irradiation oculaire. Je dis seulement diminuer , car nous verrons bientôt (§ 103) qu'on ne peut admettre dans ce cas une destruction totale du phénomène.

J'ai dit que l'appareil à lames d'acier manifestait parfaitement dans l'œil nu l'irradiation à la distance de la vision distincte. Pour le constater , il suffit de répéter les opérations ci-dessus , sans employer de loupe. Les lames étant regardées par réflexion à l'œil nu , on fera glisser la lame mobile , jusqu'à ce que , pour la distance de la vision



distincte, les bords *kl* et *np* paraissent dans le prolongement l'un de l'autre; puis, plaçant l'appareil verticalement devant le miroir incliné, on le regardera de nouveau, toujours à l'œil nu et à la distance de la vision distincte, et l'on verra alors un écartement très-sensible entre les deux bords¹.

99. Les expériences faites avec la loupe exigent quelques précautions qu'il est nécessaire de mentionner ici. D'abord, lorsque l'appareil est disposé pour l'observation par réflexion, la loupe doit être tenue de manière à ne pas être trop oblique aux surfaces des lames, sans quoi une très-petite portion seulement de la longueur des bords *kl* et *np* serait vue distinctement, et la confusion du reste de ces bords rendrait l'observation difficile. Comme, d'un autre côté, les rayons réfléchis par les lames doivent nécessairement tomber sur la loupe parallèlement à son axe, il résulte de ces deux conditions, que ces mêmes rayons réfléchis, et par conséquent aussi les rayons incident émanés du ciel, doivent ne faire qu'un petit angle avec la normale aux surfaces réfléchissantes. Mais alors il devient impossible pour l'observateur, de se placer de manière que sa tête n'intercepte pas ces rayons incident. Pour obvier à cette difficulté, on adapte à l'appareil un petit miroir plan, d'environ 13 millimètres de hauteur et 3 centimètres de largeur, placé comme on le voit en *ab* dans la fig. 18, qui représente tout l'appareil vu sur le côté. De cette manière, en donnant à la plaque de cuivre et au petit miroir des inclinaisons convenables, les rayons tels que *cd* venus obliquement du ciel, sont d'abord réfléchis par ce petit miroir; puis, après avoir frappé les lames d'acier, ils sont renvoyés dans la direction *fg* qui est assez rapprochée de la normale pour l'observation. On ne peut apercevoir de cette manière la totalité des lames brillantes, mais on voit les parties voisines des deux points *l* et *n* (fig. 17), et cela suffit. Le petit miroir est disposé de manière à pouvoir être enlevé lorsqu'on veut regarder l'appareil par transmission. Une autre condition nécessaire à la réussite de l'expérience, c'est que

¹ Sept personnes ont répété cette expérience, et en ont constaté l'effet.

la loupe soit placée sur un support qui permette de l'amener graduellement à la position la plus convenable. Si l'on se bornait à la tenir à la main , il serait difficile de lui donner assez de fixité pour bien juger de l'effet : car cette loupe étant d'un court foyer , un très-petit dérangement suffit pour faire naître des iris le long des bords qu'il s'agit d'observer , ou pour déterminer entre eux l'apparence d'un léger écartement.

100. J'ai cherché à généraliser davantage le fait que nous venons de constater, en répétant les mêmes expériences avec une série d'autres lentilles de différens foyers. J'ai essayé d'abord l'action d'une lentille bi-convexe de $5\frac{1}{2}$ centimètres de distance focale , et l'irradiation ne s'est pas plus montrée qu'avec la première loupe. Une lentille plano-convexe et de même foyer, a donné encore le même résultat¹. J'ai employé ensuite une lentille bi-convexe de 16 centimètres de distance focale. Alors , sur cinq personnes soumises à l'expérience , deux ont vu un très - petit écartement des bords des deux lames , et une troisième a cru en distinguer un extrêmement petit , en continuant à regarder pendant quelque temps. En substituant à cette lentille une autre de même foyer , mais plano-convexe , les résultats ont été les mêmes : c'est-à-dire que les personnes qui , avec la lentille précédente n'avaient pas aperçu d'effet d'irradiation , n'en ont pas vu davantage avec cette dernière , et que celles qui avaient , au contraire , distingué un petit écartement dans le premier cas , l'ont également remarqué dans le second , et lui ont attribué sensiblement la même grandeur.

101. La série des résultats que je viens d'exposer , paraît indiquer que l'action d'une lentille convergente pour diminuer l'irradiation , devient moins prononcée lorsque la distance focale de la lentille s'accroît. D'après cela , comme il était infiniment probable qu'un verre plan n'aurait exercé aucune action , l'on pouvait conjecturer que des lentilles divergentes produiraient un effet inverse de celui des lentilles convergentes : c'est-à-dire qu'elles augmenteraient l'irradiation. Or

¹ La première de ces deux expériences n'a été répétée que par deux personnes , et la seconde par trois.

c'est ce que j'ai effectivement constaté, comme on va le voir. Une difficulté m'avait d'abord arrêté : il était à craindre que, pour des vues non myopes, les lentilles divergentes ne rendissent la vision confuse, et qu'il n'en résultât, par conséquent, une cause d'erreur ; mais je réfléchis ensuite qu'en employant des lentilles très-faibles, les yeux pourraient sans doute, par un léger effort, se modifier de manière à conserver la netteté de la vision, et je me suis assuré, tant sur mes propres yeux que sur ceux des personnes qui ont répété les expériences, qu'il en était effectivement ainsi. Les lentilles dont je me suis servi, avaient 2 mètres 20 centimètres de distance focale. L'appareil à lames d'acier étant toujours placé de manière qu'il se projetât sur un champ lumineux, la personne le regardait d'abord à la simple vue et à la distance de la vision distincte ; puis, lorsqu'elle avait jugé de l'écartement apparent des deux bords, elle plaçait devant ses yeux les lentilles ci-dessus, et elle examinait alors si l'écartement avait subi une modification. Des cinq personnes soumises à l'expérience, quatre ont vu une augmentation dans cet écartement ; la cinquième n'a point vu d'abord de changement, mais en substituant aux premières lentilles deux autres de 1 mètre 90 centimètres de distance focale, l'écartement lui présenta un accroissement, quoique la vision ne cessât point d'être distincte. Ainsi les lentilles divergentes accroissent l'irradiation, et l'expérience faite sur la dernière personne paraît indiquer que cet effet est d'autant plus prononcé que la lentille est plus forte. Quant à l'effet d'un verre plan, je ne l'ai essayé que sur mes propres yeux, et, comme je devais m'y attendre, je n'ai observé aucune modification dans l'irradiation.

102. Les expériences du § 100 paraissent conduire à cette autre conclusion, que l'action des lentilles ne dépend que de leur distance focale, et non de la courbure absolue de leurs surfaces. On a vu, en effet, qu'en substituant à des lentilles bi-convexes, des lentilles plano-convexes de même foyer, les effets ont paru demeurer les mêmes.

103. Les faits rapportés dans les §§ 97 et 100, montrent qu'en employant des lentilles convergentes d'un foyer assez court, l'irradiation



que tend à développer notre appareil à lames d'acier projeté sur le ciel, devient trop petite pour être aperçue. Il est évident d'après cela, que dans les observations astronomiques, l'oculaire de la lunette doit, comme je l'ai avancé (§§ 29-31), exercer une action prononcée sur l'irradiation qui entoure l'image d'un astre ; mais les résultats de ces mêmes observations astronomiques prouvent, d'un autre côté, que les loupes ne détruisent pas complètement cette irradiation oculaire. C'est ce qu'il faut nécessairement conclure des expériences de M. Robinson, citées dans le § 23. D'ailleurs, en regardant comme démontré que l'action des lentilles convergentes sur l'irradiation marche en sens inverse de leur distance focale, les lois de continuité ne permettent pas de supposer que, pour un certain foyer, cette action devienne capable de détruire complètement l'irradiation, à moins d'admettre en même temps, que, pour un foyer plus court, le phénomène commence à reparaître ou change de signe, ce qui est bien peu probable, et s'accorderait difficilement avec les résultats de nos expériences sur les lentilles de trois, et de cinq centimètres et demi de distance focale.

104. Ainsi, en résumé : l'irradiation est modifiée quand on place une lentille devant l'œil, et cette modification paraît être soumise aux lois suivantes : 1^o l'irradiation est diminuée par les lentilles convergentes : cet effet, considérable lorsque la distance focale est courte, s'affaiblit à mesure que cette distance augmente, devient nul quand celle-ci est infinie, et change de signe avec elle, c'est-à-dire que l'irradiation s'accroît, au contraire, sous l'influence des lentilles divergentes. 2^o Nos expériences, quoique trop peu nombreuses pour en tirer à cet égard une conclusion bien certaine, semblent indiquer que l'action des lentilles ne dépend que de leur distance focale, et non des courbures absolues de leurs surfaces.

105. Maintenant, cette action des lentilles peut-elle se rattacher à la théorie de l'irradiation, que nous avons discutée ? Cette relation, je dois l'avouer, me paraît difficile à découvrir. En effet, quand on observe un objet à travers une loupe, les rayons lumineux parviennent à l'œil comme s'ils émanaient d'une image dont l'éclat, à moins que la loupe



ne soit très-petite, est sensiblement égal à celui de l'objet. Ainsi, que les rayons viennent de cette image ou qu'ils arrivent directement de l'objet lui-même, ils doivent, semble-t-il, produire au fond de l'œil la même excitation, et celle-ci devrait, par conséquent, se propager de la même quantité aux parties adjacentes de la rétine. D'un autre côté, comme l'image virtuelle est située à la distance de la vision distincte, il semble que l'observateur devrait attribuer à l'irradiation qu'elle développe, la même largeur qu'à celle de l'objet lui-même lorsque celui-ci est placé également à la distance de la vision distincte.

Si l'on considérait isolément l'action des lentilles sur l'irradiation, en faisant abstraction des lois qui régissent celle-ci lorsqu'on l'observe à l'œil nu, la première idée que cette action paraîtrait devoir suggérer, c'est que le phénomène de l'irradiation dépend de la marche même des rayons lumineux dans les humeurs de l'œil, puisque l'irradiation est modifiée lorsqu'on ajoute une lentille supplémentaire au système de lentilles dont l'œil est composé : on pourrait, d'après cela, être tenté d'attribuer l'irradiation à une aberration de sphéricité de l'organe, aberration qui se trouverait plus ou moins corrigée par l'addition d'une loupe. Mais dans cette hypothèse, on concevrait bien difficilement comment des loupes de courbures très-différentes, telles que celle de trois centimètres, et les deux de $5\frac{1}{2}$ centimètres de distance focale, l'une bi-convexe et l'autre plano-convexe, auraient également opéré la destruction de cette aberration ; pourquoi ensuite les deux lentilles de 16 centimètres de foyer, dont l'une était aussi bi-convexe et l'autre plano-convexe, n'auraient corrigé toutes deux l'aberration que de la même quantité ; pourquoi enfin l'action des lentilles a paru marcher en sens inverse de leur distance focale en changeant de signe avec celle-ci, et n'avoir aucune relation avec les courbures absolues des surfaces. Il semble en effet évident, que pour détruire l'aberration de sphéricité d'un système de lentilles, tel que celui de l'œil, une lentille supplémentaire d'une distance focale donnée doit présenter des courbures déterminées, et que si, la distance focale demeurant la même, les courbures changent, l'aberration ne pourra plus être détruite, ou le



sera moins, ou même quelquefois sera augmentée. D'ailleurs, que d'hypothèses il faudrait accumuler pour expliquer par une aberration de sphéricité de l'organe la plupart des lois de l'irradiation observée à l'œil nu, telles que l'influence de la durée de la contemplation de l'objet, les grandes variations que l'irradiation manifeste d'une époque à une autre chez le même individu, l'indépendance entre l'angle visuel qui la mesure et la distance de l'objet, l'influence de l'éclairement du champ qui environne celui-ci, et la diminution de deux irradiations voisines¹ ?

Enfin, si l'on se rappelle de combien de probabilités est entourée la théorie qui fait de l'irradiation un phénomène de sensation, si l'on réfléchit que cette théorie repose sur des considérations et des faits qui la rendent presque nécessaire, qu'elle explique avec facilité toutes les lois de l'irradiation observée à la simple vue, et enfin que plusieurs de ces lois paraissent exiger que l'on attribue le phénomène à une cause dépendante de la sensibilité propre de la rétine, on devra être porté à croire qu'il existe, entre l'action des lentilles et la propagation de l'impression au fond de l'œil, quelque relation cachée. Tout ce qui concerne nos sensations est encore enveloppé de tant d'obscurité, qu'il serait téméraire de tirer, de la difficulté que fait naître cette action, un argument concluant contre une théorie si fortement appuyée d'ailleurs.

106. Nous terminerons ce mémoire, en présentant, sous forme de résumé, l'ensemble des lois qui régissent l'irradiation, et des conclusions diverses auxquelles nous sommes parvenus.

A. IRRADIATION OCULAIRE.

1^o *L'irradiation est un fait bien établi, facile à constater, très-variable, mais pouvant être mesuré avec précision dans chaque circonstance.*

2^o *Elle se manifeste à toute distance de l'objet qui la produit, depuis la plus courte distance de la vision distincte, jusqu'à un éloignement quelconque.*

¹ Ce dernier phénomène pourrait, au premier coup d'œil, faire soupçonner un effet d'interférence ; mais il est aisément de voir qu'il n'en saurait être ainsi, puisque les rayons qui interféraient, n'émaneraient pas de la même source.

SUR L'IRRADIATION.

111

3^o *L'angle visuel qu'elle soutend et qui la mesure, est indépendant de la distance de l'objet.*

4^o *Il suit de là que la largeur absolue que nous lui attribuons, est, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnelle à la distance qui existe ou qui nous paraît exister entre l'objet et nos yeux.*

5^o *L'irradiation croît avec l'éclat de l'objet, mais suivant une loi beaucoup moins rapide. Si l'on figure cette loi par une courbe ayant pour abscisses les valeurs successives de l'éclat à partir de 0, et pour ordonnées les valeurs correspondantes de l'irradiation, cette courbe passe par l'origine des coordonnées, tourne sa concavité vers l'axe des abscisses, et présente une asymptote parallèle à cet axe. La courbe est déjà très-voisine de son asymptote pour un éclat de l'ordre de celui du ciel au nord.*

6^o *Lorsque le champ qui environne l'objet n'est pas complètement privé de lumière, l'irradiation de cet objet est diminuée, et d'autant plus fortement que l'éclat du champ approche davantage d'être égal à celui de l'objet. Si cette égalité a lieu, l'irradiation s'évanouit.*

7^o *Il suit de là que lorsque deux objets d'un éclat égal se touchent, l'irradiation est nulle pour chacun d'entre eux au point où à la ligne de contact.*

8^o *Deux irradiations en regard et suffisamment rapprochées, éprouvent l'une et l'autre une diminution. Cette diminution est d'autant plus considérable que les bords des espaces lumineux d'où émanent les deux irradiations, sont plus voisins.*

9^o *L'irradiation augmente avec la durée de la contemplation de l'objet.*

10^o *Chez le même individu et pour un objet d'un même éclat, l'irradiation varie considérablement d'un jour à un autre.*

11^o *L'irradiation moyenne développée par un même éclat, est très-différente, d'un individu à un autre.*

12^o *L'irradiation est modifiée quand on place une lentille devant l'œil : elle est diminuée par les lentilles convergentes, et augmentée par les lentilles divergentes.*

13^o *Cette action des lentilles paraît ne dépendre que de leur distance focale, et non des courbures absolues de leurs surfaces. Elle paraît être d'autant plus prononcée que la distance focale est plus courte.*

14^o *La cause la plus probable de l'irradiation, paraît être celle qui est au-*



jourd'hui admise en général : savoir que l'excitation produite par la lumière se propage sur la rétine un peu au delà du contour de l'image. On peut, à l'aide de ce principe qui est d'ailleurs appuyé sur des faits, rendre raison de toutes les lois de l'irradiation observée à l'œil nu ; mais on rencontre des difficultés lorsqu'on envisage l'action exercée par les lentilles.

B. IRRADIATION OBSERVÉE A TRAVERS LES INSTRUMENS ASTRONOMIQUES.

15^o *L'erreur produite dans les observations astronomiques par ce qu'on a nommé dans ce cas l'irradiation, provient de deux causes essentiellement distinctes : l'irradiation oculaire, et les aberrations de la lunette.*

16^o *Dans cette erreur totale, la partie qui est due à l'irradiation oculaire, dépend du grossissement en lui-même, de l'éclat de l'image, et de l'œil de l'observateur. Elle est en outre toujours notablement diminuée par l'action qu'exerce l'oculaire de la lunette comme lentille convergente placée devant l'œil, et cette diminution est probablement d'autant plus grande que l'oculaire est plus puissant. En ce qui concerne l'œil de l'observateur, l'effet doit être différent d'une personne à une autre, et, pour la même personne, il doit varier d'une époque à une autre.*

17^o *Cette même partie de l'erreur totale s'évanouit dans les observations où l'on emploie un micromètre à double image.*

18^o *L'autre partie de l'erreur totale, c'est-à-dire celle qui naît des aberrations de la lunette, varie nécessairement avec les différens instrumens ; mais, pour une même lunette, elle peut être considérée comme constante.*

19^o *L'effet de l'irradiation dans les lunettes, ou l'erreur totale provenant et de l'irradiation oculaire et des aberrations de l'instrument, est nécessairement variable, puisqu'elle dépend d'élémens variables : elle pourra être insensible dans certains cas, et acquérir une valeur notable dans d'autres.*

20^o *Il est possible, même avec une lunette médiocre et un œil très-sensible à l'irradiation, d'obtenir, à l'aide de certains procédés, des résultats que l'on puisse considérer comme dégagés de cette erreur totale.*

