

rition de la raie D, raie jaune très visible; c'est l'instant où elle apparaît que M. Hénoque désigne sous le nom de *moment du virage*. Le temps qui s'écoule depuis l'instant où on serre la ligature jusqu'au moment du virage est d'autant plus court que la réduction est plus rapide et donne une idée de l'activité de ce phénomène. Dans les conditions normales, sur un individu vigoureux et sain, la durée de la réduction est de 60 secondes. Cette durée varie (de 25 à 110 secondes) sous l'influence des agents médicamenteux et sous celle des états pathologiques. On comprend qu'il y ait là une donnée qui peut être utilisée avantageusement en clinique, mais nous n'avons pas à nous arrêter à ce côté de la question.

541. **Photométrie.** — Les mesures relatives aux pouvoirs éclairants des sources lumineuses sont utiles au point de vue économique, en ce que comparées aux dépenses exigées par les sources lumineuses, elles renseignent sur le prix auquel revient un éclairage déterminé. Mais ce n'est pas la question la plus importante au point de vue qui doit nous occuper : on a démontré par des recherches variées que les progrès de la myopie chez les enfants et les jeunes gens devaient être attribués, pour une part au moins, à l'insuffisance d'éclairage pendant le travail. Il conviendrait donc, pour éviter cet inconvénient grave, de fixer un minimum d'éclairage à réaliser dans les salles d'études et de classes : la mesure de l'éclairage est donc nécessaire et prend, on le conçoit, au point de vue de l'hygiène de la vue, une importance capitale; aussi cette question dont on ne s'occupait pas autrefois est celle sur laquelle nous insisterons le plus.

Précisons d'abord les unités qui ont été adoptées, en nous en tenant à l'état actuel de la question et sans nous arrêter à son historique.

L'unité de *pouvoir éclairant* a été définie par une Commission internationale nommée à la suite du *Congrès international des Electriciens* de 1881 qui a adopté la proposition de M. Violle et qui a choisi pour étalon une surface de 1 centimètre carré de platine à la température de fusion, les effets étant observés dans la direction de la normale à la surface. Il est très difficile de réaliser ces conditions et on ne saurait, dans la pratique, utiliser un semblable étalon; aussi a-t-on adopté des étalons secondaires d'un emploi commode et dont la comparaison à l'étalon principal, unité-Violle, a été faite avec soin une fois pour toutes.

C'est ainsi que l'on fait usage de la *carcel*, lampe à huile végétale, à mouvement d'horlogerie; on a déterminé toutes les dimensions et conditions de la lampe type qui doit consommer 42^{gr} d'huile à l'heure. On a pu comparer, par les procédés que nous allons indiquer, le pouvoir éclairant de la *carcel* et de l'unité-Violle : l'unité-Violle vaut 2,08 carcels et la *carcel* vaut 0,481 unités-Violle.

On fait usage également comme étalons secondaires de bougies dont le

pouvoir éclairant est $\frac{1}{20}$ de celui de l'étalon Violle, c'est-à-dire très sensiblement de $\frac{1}{10}$ de la *carcel*; on désigne le pouvoir éclairant de ces bougies sous le nom de *bougie-décimale*.

542. — Au point de vue des effets produits, des conditions qu'il convient de chercher à réaliser, c'est l'éclairage en un point donné qu'il s'agit de mesurer; pour cela on le compare à celui que produirait une source de lumière de pouvoir éclairant connu placée à une distance déterminée de la surface qu'elle éclaire normalement. L'unité d'éclairage doit donc être définie par deux éléments : un pouvoir éclairant et une distance; on a choisi la bougie décimale et le mètre. Il serait commode d'avoir un nom spécial pour cette unité, et on en a proposé plusieurs; aucun n'a été adopté et on désigne cette unité sous le nom de *bougie décimale-mètre*.

Au lieu de considérer une source lumineuse au point de vue de l'éclairage, on peut l'étudier en recherchant quelle est la quantité de matière consommée, quelle est la dépense par conséquent, quelle est la quantité de chaleur dégagée, quelle est la quantité de vapeur d'eau ou d'acide carbonique produite, etc. Ces divers éléments dépendent à la fois du pouvoir éclairant et du temps, de telle sorte que la considération simultanée de ces deux éléments correspond à une grandeur d'un nouveau genre pour laquelle il faut une unité. Cette unité à laquelle on n'a pas donné de nom spécial correspond au pouvoir éclairant de 1 *carcel* et à la durée de 1 heure; on la désigne simplement par l'expression *carcel-heure*.

543. **Photomètres. Mesure des pouvoirs éclairants.** — Comment compare-t-on les pouvoirs éclairants de deux sources lumineuses? Cette opération se fait à l'aide des photomètres; indiquons-en d'abord le principe.

Soient deux sources lumineuses L et L' dont les pouvoirs éclairants soient E et E'; cherchons à l'aide d'un photomètre à quelle distance *d* et *d'* elles doivent être placées de la surface éclairée pour que les deux éclairages soient égaux; désignons par *e* la valeur de cet éclairage que d'ailleurs on n'a pas besoin de connaître, comme on va le voir. En nous reportant à la définition du pouvoir éclairant (485), on voit que l'on a :

$$E = ed^2 \qquad E' = ed'^2.$$

D'où en divisant membre à membre :

$$\frac{E}{E'} = \frac{d^2}{d'^2}.$$

D'où la loi suivante sur laquelle repose la mesure des pouvoirs éclairants :

Lorsque deux sources lumineuses placées à des distances différentes d'une surface y produisent le même éclairement, leurs pouvoirs éclairants sont proportionnels aux carrés des distances des sources à la surface.

Si on prend E' égal à l'unité, à 1 carcel, par exemple, E donnera la mesure du pouvoir éclairant en carcels.

Voyons maintenant quels sont les photomètres les plus fréquemment employés.

Nous avons déjà décrit le photomètre de Bouguer (457) : on conçoit qu'il permet de réaliser les conditions que nous venons d'indiquer, en déplaçant l'une ou l'autre des sources de lumière L et L' , et arrêtant l'opération lorsque les éclairements des deux plages ab et cd sont bien égaux : on mesure sur une ligne graduée tracée sur le pied de l'appareil les distances de L et de L' à l'écran. Il suffit alors d'appliquer l'équation précédente.

Si la source L' est une carcel dont le pouvoir éclairant E' est 1 et si on la place à une distance de 1 mètre de l'écran, comme on a $d' = 1$, l'équation se simplifie et donne immédiatement :

$$E = d^2,$$

cette valeur étant donnée en carcels.

Le photomètre de Bouguer présente quelques inconvénients : d'abord les plages éclairées sont trop grandes, elles ne peuvent avoir un éclairement uniforme et la comparaison est peu aisée. La difficulté de la comparaison est augmentée par ce que les deux plages éclairées sont séparées par une bande noire produite par la tranche de l'écran transversal.

Foucault a perfectionné cet appareil en diminuant considérablement la surface éclairée qu'il a réduite à un cercle de 4^{cm} de diamètre, et en permettant à l'écran transversal de se déplacer en s'éloignant un peu de la surface éclairée. En tâtonnant, on arrive à faire disparaître la bande noire et à amener les plages éclairées au contact.

Le photomètre de Rumford (fig. 272) est basé sur la comparaison sur un écran des ombres produites par deux sources lumineuses L et L' ; aux divers points de l'écran, en dehors de ces ombres, l'éclairement est produit par l'action simultanée de L et de L' ; mais l'ombre Y' produite par L' est éclairée par L seulement, et, de même, l'ombre X' produite par L est éclairée seulement par L' . On déplace alors l'une des sources lumineuses jusqu'à ce que les ombres soient égales, c'est-à-dire jusqu'à ce que les éclairements produits en Y' par L et en X' par L' soient égaux, et l'on mesure les distances de L à X' et de L' à Y' . Le reste de l'opération se fait naturellement comme dans le cas précédemment étudié.

544. — Le photomètre de Bunsen est constitué par une feuille de papier opaque tendue verticalement et au centre de laquelle on met une

goutte d'huile ou de graisse, de manière à produire une tache qui est beaucoup moins diffuse que le papier dans sa partie opaque.

Examinons cette feuille de papier en nous plaçant du même côté qu'une source lumineuse : la lumière arrivant sur le papier sera diffusée en grande partie et le papier paraîtra éclairé ; mais la lumière qui arrive sur la tache

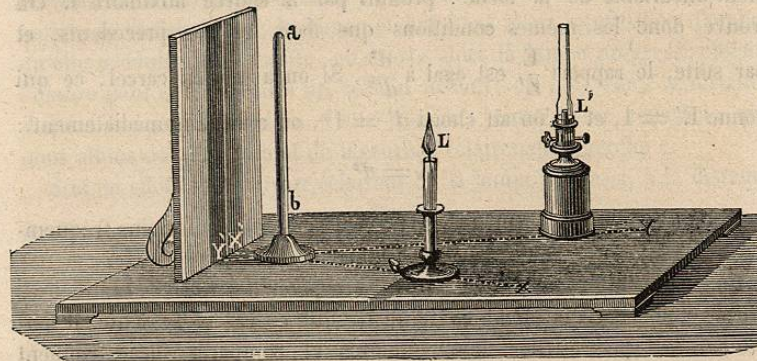


Fig. 272.

la traverse, au moins en partie, et à cause de la faible diffusion, la tache paraît peu éclairée et se détache en sombre sur le papier.

Si, au contraire, la source de lumière est placée derrière le papier, celui-ci paraît sombre sur toute son étendue, puisque, étant opaque, il ne laisse pas passer la lumière ; la tache, translucide, se laisse traverser par une certaine quantité de lumière, elle paraît donc claire sur un fond sombre.

S'il y a deux lumières, une de chaque côté, les deux effets se produisent simultanément et l'observateur voit le papier éclairé par diffusion, et la tache par translucidité ; en général, les deux éclairements ne sont pas égaux, mais en déplaçant l'une ou l'autre des sources lumineuses, on arrive à les amener à l'égalité, ce qu'on reconnaît parce que la tache cesse d'être perceptible.

Mais, pour cette condition, très facile à reconnaître, il n'existe aucune relation entre les pouvoirs éclairants et les distances des sources lumineuses ; aussi pour se servir de cet appareil ne fait-on pas de comparaison directe ; on opère en utilisant une source lumineuse auxiliaire l quelconque, et dont il n'est pas nécessaire de connaître la valeur, mais qui doit être invariable.

Voici la marche de l'opération sous sa forme la plus simple : On place d'un côté la carcel étalon L' à une distance d' quelconque (qui ne doit cependant pas être trop petite) et on donne à la source auxiliaire l , par tâtonnement, une position qui fasse disparaître la tache pour un observateur placé du même côté que L' ; cette position de l doit être maintenue invariable par la suite.

On enlève alors L' et on le remplace par la source L dont on veut déterminer le pouvoir éclairant, et on cherche à quelle distance d il faut la placer pour faire également disparaître la tache. La source L à la distance d et la source L' à la distance d' produisent donc sur le papier le même éclairement, éclairement égal à l'éclairement invariable de la tache, produit par la source auxiliaire l . On trouve donc les mêmes conditions que dans les cas précédents, et par suite, le rapport $\frac{E}{E'}$ est égal à $\frac{d^2}{d'^2}$. Si on a pris la carcel, ce qui donne $E' = 1$, et qu'on ait choisi $d' = 1^m$, on a aussi immédiatement :

$$E = d^2.$$

Il y a d'autres modèles de photomètres, mais qui sont moins fréquemment employés que ceux que nous venons de décrire.

Comme nous l'avons dit, on ne peut comparer des sources lumineuses qui ne sont pas de la même couleur; lorsque ce cas se présente, il faut étudier les spectres des deux lumières et comparer successivement les intensités pour les diverses radiations simples. Il y a des appareils spéciaux pour faire cette comparaison : ce sont les *spectrophotomètres*.

545. **Mesureurs d'éclairement.** — Dans le cas où on a une source lumineuse L , dont le pouvoir éclairant E est connu, éclairant normalement une surface plane située à la distance d , on aurait par définition même (485) pour l'éclairement :

$$e = \frac{E}{d^2}.$$

Mais, en général, les conditions qui produisent l'éclairement en un point sont loin d'être aussi simples; le plus souvent, il y a plusieurs sources de lumière à des distances différentes, les radiations arrivent sur la surface considérée sous des angles différents; il faut tenir compte de l'absorption par l'air ou plutôt par les poussières qui s'y trouvent en suspension; il y a de plus à faire intervenir l'action de la diffusion sur tous les corps voisins. L'éclairement d'une surface, dans la pratique, est une résultante d'actions très variées qu'on ne saurait déterminer par des considérations théoriques, et l'expérience peut seule fournir des renseignements précis. Les appareils destinés à cet usage sont quelquefois désignés sous le nom de photomètres, mais en réalité ce sont des *mesureurs d'éclairement*.

Divers modèles ont été proposés, nous en décrivons deux, basés sur des principes absolument différents :

Le *mesureur d'éclairement du professeur Bertin-Sans* repose sur la loi que nous avons indiquée (523), que la différence entre deux éclaire-

ments devient inappréciable pour un observateur lorsque cette différence est une fraction constante de l'éclairement total.

L'appareil consiste essentiellement en une lampe étalon, une carcel par exemple, disposée de manière à pouvoir éclairer une surface; entre la surface et la lampe se trouve une lame opaque qui porte ombre sur la surface. Cette surface est placée à l'endroit où l'on veut faire la détermination de l'éclairement; la lampe étalon étant assez rapprochée, l'ombre qu'elle produit est très nette; on écarte alors la lampe progressivement, l'ombre pâlit et disparaît à un certain instant; on note alors la distance d de la lampe à la surface. Cette donnée, jointe à une constante que nous allons définir, permet de mesurer l'éclairement cherché e .

Soit en effet E le pouvoir éclairant de la lampe; celle-ci, à la distance d , donnera un éclairement (485) $\frac{E}{d^2}$. La surface observée aura donc un éclairement total $e + \frac{E}{d^2}$, tandis que, dans l'ombre où n'arrive pas la lumière émanée de la lampe, l'éclairement sera seulement e , et la différence sera toujours $\frac{E}{d^2}$. Si nous appelons $\frac{1}{k}$ la fraction de l'éclairement total à laquelle doit être égale la différence de deux éclairements pour cesser d'être distincte, on a donc, puisque tel est le cas pour la lampe à la distance d :

$$\frac{\frac{E}{d^2}}{e + \frac{E}{d^2}} = \frac{1}{k},$$

équation d'où l'on déduira e :

$$e = \frac{E}{d^2} (k - 1).$$

La quantité k doit être déterminée directement pour chaque observateur et il est bon d'en vérifier la valeur de temps à autre. C'est même là ce qui constitue l'objection la plus sérieuse à cette méthode; outre que les expériences doivent être faites par un même individu, il n'est pas prouvé et il n'est pas probable que la valeur de k soit réellement invariable.

546. — Le *mesureur d'éclairement de M. Mascart* repose sur un tout autre principe : si on obtient sur un écran, à l'aide d'une lentille convergente, une image réelle d'une surface lumineuse ou éclairée et qu'on recouvre la lentille d'un diaphragme, l'image ne cessera pas d'être nette sur l'écran (425), mais son éclairement variera avec l'étendue de la partie découverte de la lentille et sera proportionnelle à cette étendue.

L'appareil se compose de deux parties cylindriques placées parallèle-

ment et réunies à une de leurs extrémités (fig. 273). A l'extrémité de l'un de ces tubes se trouve une bonnette qui peut tourner autour de l'axe du tube; elle porte en A un écran translucide que l'on place au point dont on veut mesurer l'éclairement en lui donnant précisément l'inclinaison de la surface à étudier. En B se trouve un miroir à 45° qui renvoie

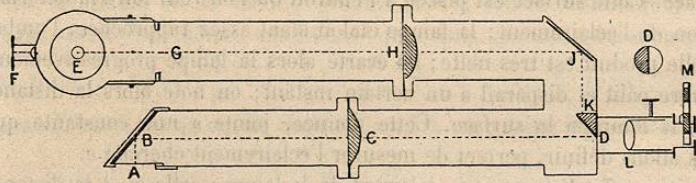


Fig. 273.

parallèlement à l'axe du tube les rayons venant de A. Au milieu du tube, en C est une lentille convergente qui donne de A (ou plutôt de son image sur le miroir B) une image réelle sur un écran en verre dépoli D.

D'autre part, à l'extrémité du second tube se trouve une lampe E choisie de manière à avoir un pouvoir éclairant sensiblement constant : à une distance invariable se trouve un verre dépoli G¹. Une lentille convergente H placée à quelque distance reçoit les faisceaux émanés de cette plaque de verre; après leur passage dans la lentille H, ces faisceaux devenus convergents se réfléchissent sur le miroir J incliné à 45° , puis sur le prisme à réflexion totale K et viennent donner une image réelle de G sur le verre dépoli D. Il y a donc sur ce verre deux parties éclairées diversement, l'une par A et l'autre par G; ces deux parties sont observées avec une loupe L. En général, elles ne sont pas également éclairées.

Mais les lentilles G et H présentent des diaphragmes, et on peut faire varier l'étendue de la surface libre qui reste sur ces lentilles. En agissant sur le diaphragme correspondant au côté qui est le plus éclairé, on diminue son éclairement progressivement jusqu'à le rendre égal à l'éclairement de l'autre. Connaissant la réduction qu'il a fallu faire subir à l'un des éclairements pour le rendre égal à l'autre, on peut aisément calculer quel était le rapport primitif des éclairements.

La valeur des résultats obtenus repose nécessairement sur la constance du pouvoir éclairant de la lampe E qui sert d'étalon. Pour être assuré de se rapprocher autant que possible à cet égard des conditions théoriques, il faut que la flamme ait toujours les mêmes dimensions : afin de vérifier ce résultat, une lentille convergente placée derrière la lampe donne sur un écran dépoli F une image réelle de la flamme; sur cette plaque des traits de repère sont tracés, et on agit sur la mèche jusqu'à ce que l'image de la flamme soit exactement comprise entre ces repères.

1. Le trait représentant ce verre manque sur la figure.

Les mesures présentent des difficultés lorsque les lumières n'ont pas la même couleur, car alors la comparaison directe n'est pas possible; nous ne nous arrêtons pas à indiquer les opérations qu'il convient alors d'exécuter pour avoir des renseignements ayant une certaine signification.

De nombreuses mesures d'éclairement ont été prises par M. de Nerville; nous signalerons seulement les résultats suivants qui résument des données nombreuses recueillies dans diverses conditions :

L'éclairement dans une salle de théâtre varie de 5 à 12 bougies décimales-mètre. Il est de 15 à 25 pour une salle de bal brillamment éclairée.

En plein jour, au milieu d'une chambre éclairée par une fenêtre qui ne reçoit pas les rayons du soleil, l'éclairement sur une surface horizontale atteint aisément 100 bougies-mètres.

L'éclairement produit par la lune serait voisin de 0,3 bougie-mètre.

Ajoutons d'autre part que l'éclairement d'une surface doit être de 10 bougies-mètres environ pour que la lecture et l'écriture se fassent sans fatigue.

547. **Photographie.** — Les actions chimiques produites par la lumière sur certains sels, les sels d'argent, ont donné la possibilité d'obtenir directement la reproduction de l'image d'un objet. Nous ne ferons pas l'histoire de la question et nous nous bornerons à rappeler que Niepce de Saint-Victor indiqua en 1826 une solution du problème dans des cas limités; que Daguerre en 1839 arriva à des résultats plus satisfaisants (*daguerreotype*), mais que l'application pratique de cette idée est la conséquence des recherches de Talbot qui, vers la même époque, obtint des images sur papier dans des conditions beaucoup plus favorables : le procédé de Talbot désigné sous le nom de *photographie* a été d'ailleurs très perfectionné. Il est actuellement usité d'une manière générale, et ses applications aux recherches physiologiques ont pris une telle importance qu'il est nécessaire d'indiquer, non le détail des opérations à effectuer, mais au moins le principe de la méthode.

Avant d'indiquer la marche générale des opérations, étudions rapidement les conditions chimiques sur lesquelles repose la photographie.

Considérons une feuille de papier préalablement imbibée d'un sel d'argent, de chlorure, de bromure, ou d'un composé plus complexe, tel que le gélatino-bromure, et exposons-la à l'action de la lumière en masquant une partie à l'aide d'un écran opaque. Sous l'influence des radiations et après un temps variable avec la nature du sel employé, celui-ci est modifié dans sa composition et se colore. Mais indépendamment de cette action directe, la substance sensible a subi des modifications particulières, de nature inconnue en réalité, et qui la rend apte à être réduite par diverses substances, telles que les pyrogallates alcalins et les