

NOTE RELATIVE A UN ÉPISCOTISTÈRE A MIROIRS

PAR

ALFR. LEHMANN

Dans beaucoup de recherches d'optique physiologique il importe de pouvoir varier entre des limites très éloignées l'intensité de la lumière employée. Or si nous considérons qu'en prenant pour unité l'intensité lumineuse la plus faible que l'œil puisse percevoir, l'intensité 10^8 fois plus forte est encore de celles qui peuvent être employées pour les expériences optiques, tandis que les intensités supérieures doivent être évitées dans les expériences prolongées même si les yeux en supportent très bien des impressions de courte durée, — et que d'autre part il n'est guère possible d'effectuer des mesures exactes par les éclairages très faibles, nous obtenons des intensités limites qui seront entre elles dans le rapport $1 : 10^6$. Ajoutons que malgré cette restriction l'échelle des excitations normalement supportables est beaucoup plus étendue dans la vision que dans aucun autre domaine sensoriel.

Les méthodes employées pour varier l'intensité lumineuse dans les limites données, et pour la mesurer, sont multiples. Cependant le grand nombre des procédés successivement adoptés nous prouve, malgré les avantages qui peuvent en résulter, que jusqu'ici on n'a pas inventé de méthode tout à fait satisfaisante. Signalons, parmi les inconvénients que tous ces procédés ont en commun, celui de ne pas permettre des variations très considérables de l'intensité lumineuse. Les

faibles modifications sont faciles à effectuer et peuvent être mesurées exactement; mais aussitôt qu'il s'agit de ramener à $\frac{1}{10000}$ de son intensité l'éclairement produit sur une surface donnée par une source lumineuse donnée, on rencontre déjà des difficultés sérieuses; encore est-ce souvent, comme nous venons de le dire, à des millièmes qu'il faudrait atteindre. Un aperçu rapide des méthodes jusqu'ici utilisées fera voir le bien fondé de ces remarques et nous indiquera la voie à suivre pour porter remède au plus sensible de leurs inconvénients.

1. Différences de distance. — Les changements introduits dans la distance qui sépare la source lumineuse de la surface éclairée constituent une méthode sûre et souvent employée. Elle a l'avantage de n'offrir aux mesures que des distances susceptibles d'être exactement appréciées, mais elle ne permet pas les grandes variations de l'intensité lumineuse. Les cas sont rares et tout à fait exceptionnels où la source lumineuse se laisse rapprocher à moins de 10^{cm} de la surface éclairée, et comme pour produire un éclairement qui ne fût que le millième de l'éclairement primitif il faudrait éloigner la source jusqu'à 1000 fois la distance première, on aurait peut-être quelque difficulté à obtenir un laboratoire présentant les dimensions requises (100^m). Aussi a-t-on souvent recours à une combinaison de cette méthode avec la méthode n° 2.

2. En se servant de différentes sources lumineuses on peut varier l'intensité depuis la limite d'une seule bougie normale jusqu'à celle des lampes à arc de plusieurs milliers de bougies; mais on se heurte alors à une autre difficulté provenant des différentes proportions relatives des radiations contenues dans les lumières employées; ce procédé ne doit être utilisé que dans les cas où la composition de la lumière n'a qu'une importance secondaire. Ajoutez à cela qu'il faudra opérer des comparaisons photométriques entre les diverses

sources lumineuses et que ces mesures sont difficiles à effectuer pour des lumières de couleurs différentes.

3. Différentes surfaces éclairées réfléchissant des quantités de lumière différentes. — On fait souvent usage de papiers blancs, gris et noirs; mais la variation ainsi obtenue est assez faible, les colorants les plus noirs ne réfléchissant guère moins de $\frac{1}{60}$ de la quantité de lumière que réfléchirait dans les mêmes conditions une surface d'un blanc absolument pur. Ici encore on est obligé de faire des comparaisons photométriques entre les divers tons du papier. La manière la plus pratique d'obtenir les changements de ton voulus dans la surface éclairée c'est d'employer comme surface un disque tournant composé de secteurs noirs et blancs dont les aires relatives peuvent être variées à volonté. La détermination de l'intensité lumineuse se trouve ainsi réduite à la mesure de grandeurs angulaires, opération qui peut se faire avec beaucoup de précision.

4. On pourra encore varier l'éclairement d'une surface donnée en changeant les dimensions de la surface éclairante. Cette méthode a été utilisée dans deux appareils: le diaphragme Foerster-Aubert et l'obturateur iris, dont on fait depuis quelque temps des applications nombreuses. Le diaphragme Foerster-Aubert est un volet percé d'une ouverture carrée dont on peut varier l'aire en en couvrant des parties plus ou moins considérables par un autre écran de bois dans lequel on a pratiqué une ouverture correspondante. L'intensité de la lumière se détermine ici par une mesure linéaire, celle du côté du carré lumineux. Mais le jour diffus de l'atmosphère est une source lumineuse trop inconstante pour qu'on puisse en obtenir des mesures exactes, et on la remplace souvent par des lumières artificielles plus constantes. En disposant une source lumineuse artificielle au foyer d'une lentille munie d'un diaphragme iris, la quantité de lumière admise par le diaphragme et, par suite, l'éclairement reçu

par une surface donnée seront proportionnels à l'aire de l'ouverture diaphragmatique. Ce dispositif permet donc également de déterminer l'intensité de la lumière moyennant une seule mesure linéaire, celle du diamètre intérieur du diaphragme; mais des raisons pratiques s'opposent à ce que ce diamètre soit de moins de 1^{mm}, et comme d'autres difficultés l'empêchent, je crois, de dépasser 60^{mm}, l'intensité lumineuse ne saurait être variée que dans les limites de 1 à 3600.

5. Enfin on a basé sur le principe d'une interception partielle de la lumière émise par une même source toute une série de méthodes variées. Dans l'une de ces méthodes on se sert des prismes de Nichol: en faisant pivoter l'un des prismes on peut déterminer exactement la quantité de lumière transmise et la lumière peut être affaiblie jusqu'à ce qu'elle devienne nulle. Mais le rayon „ordinaire“ étant toujours réfléchi, la quantité de lumière transmise ne dépassera jamais la moitié de la lumière incidente; d'ailleurs ces appareils coûteux ne sont guère utilisables pour l'éclaircissement de surfaces quelque peu étendues. Dans l'épiscotistère d'Aubert la lumière est affaiblie par la rotation rapide d'un disque opaque, à secteurs ajourés, dans un plan perpendiculaire aux rayons lumineux. La quantité de lumière transmise se mesurant sur les grandeurs angulaires des secteurs découpés, il est facile de la déterminer exactement, mais comme il n'est pas possible de construire ces appareils d'une manière très solide on ne peut pas donner aux secteurs des ouvertures de moins d'un demi-degré; on ne pourra donc pas mesurer exactement des quantités de lumière inférieures à $\frac{1}{720}$ de la quantité incidente. A ce groupe de méthodes se rattache une troisième, fondée sur l'emploi de verres foncés. J'ai montré ailleurs¹ que par la voie photographique on peut en obtenir de tous les tons possibles; il est vrai que le noircissement uniforme d'une

¹ Ueber die Helligkeitsvariationen der Farben. Wundts Phil. Stud., t. 20, p. 83.

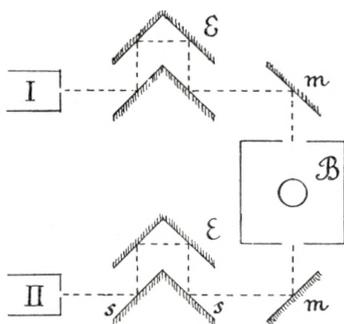
surface un peu étendue suppose chez l'opérateur une adresse peu commune. Ajoutons qu'on n'a pas pu jusqu'ici obtenir par ce procédé des verres foncés absolument incolores. Il n'y a que les verres de nuance plus claire qui donnent des résultats tout à fait satisfaisants: les verres qui produisent un affaiblissement de plus de $\frac{1}{100}$ de l'éclairement primitif, — et ce sont là justement les plus utilisés, — communiquent tous à la lumière une teinte légèrement jaunâtre. Les verres préparés avec soin sont très durables. Je possède des verres préparés il y a huit ans dont le coefficient de transmission est aujourd'hui le même qu'à leur première détermination. L'inconvénient c'est qu'on doit déterminer le coefficient de transmission pour chaque verre employé et que ces mesures photométriques ne sont jamais absolument exactes.

Il résulte de l'aperçu que je viens de donner des méthodes généralement employées, que la grande difficulté est d'obtenir une échelle d'intensités lumineuses assez étendue. Si on avait seulement une méthode pour affaiblir la lumière, par des transitions brusques mais sans en modifier la composition, jusqu'aux moindres intensités pratiquement utiles, on s'arrangerait bien pour obtenir par d'autres procédés des changements moins violents. Or un affaiblissement, saccadé mais très considérable, peut se réaliser en réfléchissant la lumière à l'aide de miroirs de verre noir. Un miroir de verre noir ne réfléchit qu'un dixième de la lumière incidente; après réfléchissement par 6 miroirs la lumière se trouvera donc affaiblie jusqu'à moins d'un millionième de son intensité première, et probablement le nombre de miroirs qu'on peut employer est bien supérieur à 6.

Ce principe m'a servi de base pour mon épiscotistère à miroirs que je représente ci-contre dans une figure schématique de mon spectro-photomètre¹. *B* est une lanterne sourde avec un bec Auer; la lumière qui sort par les deux fenêtres

¹ Cf. Die körperlichen Äusserungen psychischer Zustände, t. III, p. 136.

est réfléchi par les miroirs de verre argenté mm vers les collimateurs I, II du photomètre. Devant ces derniers sont disposés les épiscotistères à miroirs, EE , qui se composent de quatre miroirs verticaux, parallèles deux par deux et faisant deux par deux des angles droits. Les faces réfléchissantes étant placées en regard, la lumière est réfléchi de la manière indiquée par les lignes ponctuées. Les miroirs sont maintenus dans la position voulue à l'aide d'un ressort qui, appliqué du côté non réfléchissant, les presse contre un cadre métallique plan. Comme les cadres sont fixés au support, on peut remplacer les miroirs par d'autres sans que la position en soit



changée, ce qui entraînerait des divergences de réflexion. L'affaiblissement plus ou moins considérable de l'intensité lumineuse s'obtient par l'emploi combiné de miroirs métalliques (miroirs de verre argenté) et de miroirs de verre noirs¹. Plus sera grand le nombre des miroirs noirs par rapport à celui des miroirs

métalliques, plus sera faible l'intensité de la lumière, et du moment que nous comptons nous servir de cet appareil pour des déterminations quantitatives, il nous faut connaître l'affaiblissement qu'éprouve la lumière réfléchi par un miroir noir.

Dans ce but les deux miroirs ss sont enlevés; la lumière réfléchi par m ira donc directement au collimateur II et en installant immédiatement devant celui-ci un épiscotistère

¹ Comme il n'est pas facile d'obtenir des verres d'un noir pur, on peut se servir à leur défaut de glaces incolores doublées d'une couche épaisse de gomme laque noire. Les rayons qui ne seraient pas réfléchis par la face extérieure de la glace sont entièrement absorbés par la gomme laque, de sorte qu'on ne voit qu'une seule image dans le miroir. Les constantes de réflexion qu'on trouvera indiquées plus loin ont été obtenues avec ce genre de miroirs.

d'Aubert à disques tournants, on pourra affaiblir la lumière jusqu'à ce que les deux moitiés du champ du photomètre aient la même intensité lumineuse. En plaçant devant le collimateur I un miroir noir et trois miroirs métalliques, on verra que par cette combinaison de miroirs la lumière est affaiblie jusqu'à 0,05 de son intensité primitive. Ce résultat est l'effet des quatre miroirs réunis. Pour connaître l'effet d'un seul miroir noir on n'a qu'à placer devant le collimateur II quatre miroirs métalliques et effectuer ensuite une nouvelle détermination; on obtient la fraction 0,065. La lumière réfléchie par un miroir noir n'est donc que 0,065 de celle réfléchie par un miroir métallique, et les quatre miroirs métalliques n'affaiblissent la lumière que jusqu'à $0,05/0,065 = 0,769$. Encore cet affaiblissement est-il dû surtout au chemin parcouru par la lumière réfléchie d'un miroir à l'autre, car pratiquement parlant les miroirs métalliques réfléchissent tous les rayons lumineux incidents et l'affaiblissement obtenu égalera à peu près celui qui résulterait de l'éloignement de la lumière à une distance égale à la somme des distances parcourues par la lumière réfléchie.

Comme contrôle de la détermination opérée on pourra placer devant le collimateur I deux miroirs noirs et deux métalliques, et devant II un miroir noir et trois miroirs métalliques. On s'attendrait à retrouver ici la fraction 0,065, mais l'expérience nous apprend que la lumière est moins affaiblie par le second miroir noir que par le premier: on obtient 0,0944, et cette fraction est constante pour tous les miroirs suivants. En choisissant donc pour unité la lumière incidente primitive on la verra affaiblie par

¹ Soit a la distance des miroirs parallèles; la distance de la source lumineuse à la surface éclairée sera augmentée de $2a\sqrt{2}$ par suite du passage de la lumière par l'épiscotistère à miroirs. Il va sans dire qu'il faut compter avec cette augmentation de distance lorsqu'on se propose par exemple de produire les variations plus subtiles de l'éclairement en changeant la distance qui sépare la source lumineuse de la surface éclairée.

3 miroirs métalliques + 1 miroir noir, jusqu'à 0,05
 2 miroirs métalliques + 2 miroirs noirs 0,05 · 0,0944
 1 miroir métallique + 3 miroirs noirs 0,05 · 0,0944², etc.

En remplaçant également les miroirs *mm* par des miroirs noirs, on affaiblira la lumière jusqu'à $0,05 \cdot 0,0944^4 = 0,000003971$ de son intensité première; ce résultat est très voisin de la limite qu'il fallait atteindre; on y arrivera aisément par d'autres procédés.

Quant à la différence, ci-dessus signalée, entre la quantité de lumière réfléchie par le premier miroir noir et celles que renvoie chacun des miroirs noirs suivants, elle s'explique probablement par la polarisation sinon complète au moins partielle que subit la lumière à sa première réflexion. On sait qu'en cas de réflexion la lumière polarisée se comporte autrement que la lumière ordinaire. Aussi doit-on avoir soin, en installant l'appareil, qu'aucun des miroirs ne dévie de la position verticale, car si le plan de polarisation ne coïncidait pas avec le plan de réflexion il en résulterait une diminution considérable de l'intensité lumineuse.

Pour constater que la lumière n'est aucunement colorée par les miroirs réflecteurs, il suffit de comparer la lumière diminuée par réflexion avec celle dont la diminution est due à l'épiscotistère d'Aubert (à disques rotatifs) qui ne saurait, d'après sa donnée, déterminer une coloration de la lumière: on peut donner aux deux champs des intensités égales sans découvrir pour cela aucune trace de coloration.

Il va sans dire que les déterminations ci-dessus mentionnées doivent être faites avec une très grande précision car le calcul de l'intensité s'opérant par l'élévation de la fraction à une puissance dont l'exposant est égal au nombre des miroirs, une faute relativement petite pourra avoir un retentissement considérable sur le résultat final. Voici comment on peut s'y prendre pour vérifier la justesse des déterminations: Soient β et β_1 les coefficients de transmission obtenus pour deux

verres foncés, le coefficient des deux verres réunis sera de $\beta\beta_1$. En mesurant donc le coefficient de transmission des deux verres appliqués l'un contre l'autre il faut que la grandeur ainsi trouvée soit égale au produit $\beta\beta_1$. En déterminant les coefficients de plusieurs verres séparément et ceux de diverses combinaisons des mêmes verres, toute faute commise dans la détermination des constantes rendra les produits calculés constamment supérieurs ou inférieurs aux résultats obtenus par mesure. Par contre, si les écarts entre les mesures et les grandeurs calculées sont tantôt positifs tantôt négatifs et que d'ailleurs ils ne dépassent pas la limite permise eu égard à l'exactitude que comportent les mesures, les constantes de réflexion employées devront être considérées comme satisfaisantes.

Le tableau suivant donne les résultats d'une telle épreuve faite avec quatre verres: *A, B, C, D*. Les coefficients de transmission des verres examinés séparément γ sont notés sous la

Glaces	β	Glaces	$\beta \cdot \beta_1$	$\beta \cdot \beta_1$ calc.	Erreur	Erreur ‰
<i>A</i>	0,0622	<i>A + B</i>	0,001233	0,001126	+ 0,000105	9,3
<i>B</i>	0,0181	<i>A + C</i>	0,000077	0,00006875	+ 0,00000825	12,0
<i>C</i>	0,001105	<i>B + C</i>	0,0000161	0,0000199	- 0,0000038	19,1
<i>D</i>	0,000252	<i>A + D</i>	0,00001594	0,00001568	+ 0,00000026	1,66
		<i>B + D</i>	0,00000361	0,00000456	- 0,00000095	20,8

rubrique β . Sous $\beta \cdot \beta_1$, on trouvera indiqués les coefficients mesurés pour une série de combinaisons des verres: *A + B, A + C, etc.*, tandis que les chiffres enregistrés sous „ $\beta \cdot \beta_1$ calc.“ sont les produits obtenus par la voie du calcul; la colonne „erreur“ contient les différences entre les résultats mesurés et les résultats calculés. Ces différences étant tantôt positives et tantôt négatives il n'est pas probable que les constantes de réflexion employées pour le calcul des coefficients de transmission soient entachées d'erreurs graves. La dernière

colonne renferme la proportion pour cent des erreurs. On ne pouvait pas s'attendre à la trouver constante, car le discernement s'affaiblit à mesure que le ton des verres est plus foncé. Pour les verres les plus clairs, elle ne devait pas dépasser 9 pour cent, même dans les cas les moins favorables aux mesures; pour les verres les plus foncés elle pouvait atteindre 25 pour cent; ici la proportion des erreurs est donc très voisine de la limite maximum des proportions admissibles, sauf dans un seul cas où elle a été extrêmement faible. L'essentiel c'est que rien n'indique une erreur constante dans les constantes de réflexion.
