

SUR DEUX ÉTATS D'ADAPTATION RÉTINIENNE  
A LA LUMIÈRE

PAR

ALFR. LEHMANN

Dans un mémoire intitulé: Contribution to the study of flicker (Contribution à l'étude du papillotement résultant d'excitations intermittentes de la rétine)<sup>1</sup> M. PORTER a exposé les résultats de ses recherches concernant l'influence de l'intensité de la lumière excitatrice sur la „fréquence de fusion“ des excitations lumineuses intermittentes. A peu près en même temps je publiais<sup>2</sup> de mon côté une série d'essais relatifs à ce phénomène. Comme nos études ont abouti à des résultats assez différents il peut y avoir intérêt à les considérer de plus près.

Le tableau 1 contient les résultats obtenus par les recherches de M. Porter. Sous la rubrique *I* on trouvera les valeurs des intensités lumineuses pour lesquelles les fréquences de fusion ont été déterminées; l'unité de mesure était de  $\frac{1}{16}$  de mètre-bougie. — Dans mes expériences j'ai trouvé plus commode d'employer une unité plus petite afin d'éviter, autant que possible, les fractions. J'ai choisi pour unité  $\frac{1}{450}$  de mètre-bougie soit  $\frac{1}{375}$  de l'unité Heffner. L'unité Porter est donc  $\frac{450}{16} = 28,13$  fois supérieure à la mienne. Pour faci-

<sup>1</sup> Proceedings of the Royal Society of London, 1902, t. LXX.

<sup>2</sup> Über die Helligkeitsvariationen der Farben. Wundts Phil. Stud., 1902, t. XX.

liter les comparaisons les valeurs données par M. Porter sont réduites ici à cette dernière unité; elles sont inscrites sous la rubrique  $R$ .

Tableau 1.

$I$	$R$	$f$	$\tau$
1,0	28,1	17,75	28,1
1,77	49,2	18,08	27,7
4,0	112,5	18,50	27,0
16,0	450,0	25,08	19,9
25,0	703,3	28,0	17,8
44,4	1250,0	32,0	15,6
64,0	1800,0	33,5	14,9
100,0	2813,0	35,5	14,1
400,0	11252,0	42,66	11,8
1600,0	45008,0	50,5	9,9
2844,0	80100,0	55,08	9,1
6400,0	180032,0	56,42	8,9
25600,0	720128,0	65,00	7,7
51200,0	1440256,0	71,00	7,0

La fréquence de fusion est indiquée dans la colonne  $f$ . Ces chiffres nous apprennent combien de fois les excitations doivent être répétées par seconde pour provoquer une sensation uniforme, les intervalles entre les excitations étant de même durée que les excitations elles-mêmes. Le *temps de fusion*  $\tau$  c'est-à-dire la durée maximum des excitations fusionnées en une seule sensation est donc  $= \frac{1}{2f}$ . Les valeurs  $\tau$  calculées de la sorte et exprimées en millièmes de seconde sont également indiquées dans le tableau 1.

La dépendance des valeurs  $\tau$  par rapport à l'intensité lumineuse  $R$  est représentée graphiquement par la courbe I de la fig. 1 où les logarithmes de  $R$  ont été pris pour abscisses, les valeurs  $\tau$  pour ordonnées.

Ce rapport de dépendance entre  $\tau$  et  $R$  diffère assez de celui que j'ai obtenu par mes mesures. Je reproduis ci-contre, dans la deuxième colonne du tableau 2, les valeurs  $\tau$  qui correspondraient, d'après mes déterminations, aux valeurs

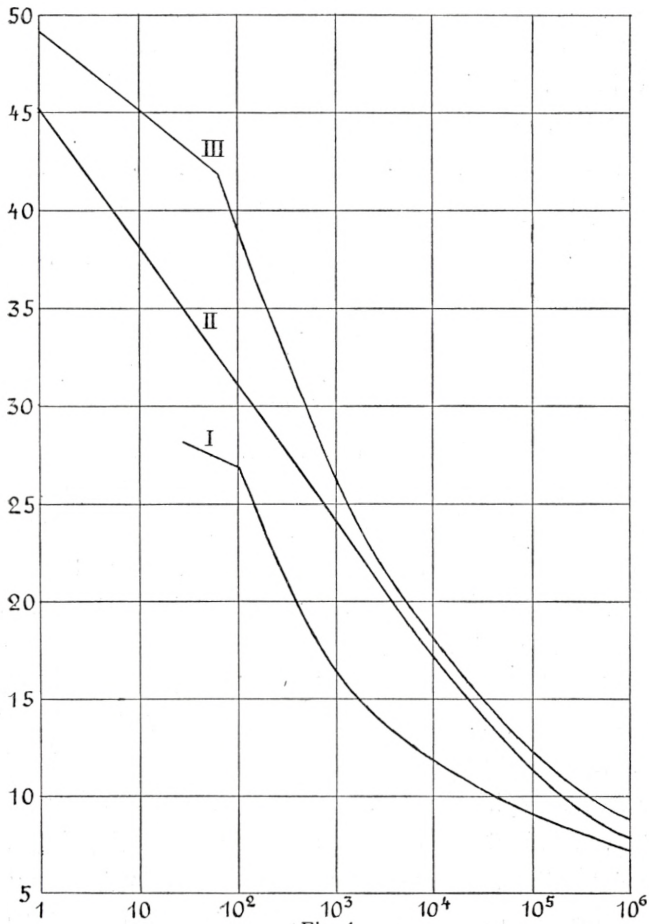


Fig. 1.

Tableau 2.

<i>R</i>	Adaptation à l'obscurité		Adaptation à la lumière	Adapt. extrême
	$\tau$	$\tau$ calc.		
1	45,9	45,2	49,3	—
4	40,5	41,0	46,5	—
16	36,2	36,7	44,2	—
64	32,6	32,5	42,0	—
256	28,6	28,3	33,7	22,4
1024	24,1	24,0	26,1	18,4
4096	19,6	19,9	21,1	—
16384	15,9	15,9	16,5	—
65536	11,8	12,4	13,3	—
262144	9,9	9,5	10,6	—
1048576	8,5	7,9	9,1	—

données de  $R^1$ . La troisième colonne renferme les valeurs de „ $\tau$  calculé“, la relation entre  $\tau$  et  $R$  pouvant être exprimée par l'équation empirique suivante:

$$\tau = 45,2 - 7,038 \cdot \log R + 0,0001782 \cdot \log^7 R.$$

Les valeurs  $\tau$  qu'on en peut tirer concordent très bien avec celles qui avaient été obtenues par la mesure, voir le tableau 2. La courbe II de la fig. 1 est la représentation graphique de la fonction considérée; elle fait bien voir les divergences entre les résultats de M. Porter et les miens.

On sait que dans les sciences biologiques les cas ne sont pas rares où les résultats des divers observateurs diffèrent sensiblement, et trop souvent les auteurs qualifient alors d'erronées les indications des autres. Je suis d'avis qu'ils ont tort de se prononcer avec cette assurance. Les observations fautives ne sont pas communes dans les laboratoires. J'ose presque affirmer qu'elles ne se rencontrent en nombre quelque peu considérable que lorsqu'il s'agit d'observer dans de mauvaises conditions, externes ou internes, des événements inattendus. Les scènes mouvementées de la vie de tous les jours, les séances de spiritisme et, en général, tous les cas où l'on regarde vaguement sans savoir au juste sur quel point il faut diriger l'attention, peuvent fournir des observations fautives au sens propre du mot; on en trouve peu dans les expériences scientifiques effectuées dans des laboratoires où tout a été préparé d'avance pour obtenir les conditions les plus favorables à l'étude d'un phénomène déterminé, et où les fautes qui se seraient glissées quand même dans les déterminations, échappent difficilement à l'épreuve des observations

<sup>1</sup> Les chiffres en question diffèrent un peu de ceux qui ont été publiés dans le mémoire ci-dessus cité. Les divergences proviennent surtout de deux circonstances: 1° on a employé pour les plus récentes déterminations une méthode beaucoup plus exacte en se servant d'un épiscotistère à miroirs; 2° on a maintenu dans ces dernières expériences une durée d'observation constante de 5 secondes, circonstance qui a dû influencer sur les fréquences de fusion.



répétées. Il est vrai que dans les mesures très subtiles quelque défaut caché d'un instrument employé peut faire croire à un état de choses qui n'existe pas dans la réalité, le défaut de l'instrument suggérant l'idée d'une particularité imaginaire, dans l'objet examiné. Mais, comme nous venons de le dire, les cas de ce genre sont peu fréquents.

Les divergences qui peuvent exister entre les résultats obtenus par différents observateurs s'expliquent le plus souvent par les différentes conditions dans lesquelles ont eu lieu les observations, de sorte que les auteurs ont raison chacun de leur côté. Les phénomènes biologiques sont trop complexes pour qu'on puisse toujours distinguer entre les conditions qui sont essentielles pour leur réalisation et celles qui ne le sont pas. Supposons qu'un auteur rende compte des conditions d'observations employées par lui et n'en omette qu'une seule qui lui paraît absolument insignifiante; supposons qu'un autre biologiste, en répétant l'expérience dans des conditions qu'il croit identiques aux premières, néglige justement celle que l'auteur avait passée sous silence et — obtienne des résultats tout à fait différents. Il est clair que les résultats de son prédécesseur n'en restent pas moins exacts; il s'agit seulement de découvrir les circonstances auxquelles les divergences doivent être attribuées.

C'est ce que nous allons faire au sujet des résultats obtenus par M. Porter d'un côté et par l'auteur de la présente étude, de l'autre. Comme il ressort de la fig. 1 il y a deux divergences surtout qui demandent une explication: 1° les temps de fusion trouvés par M. Porter pour les impressions fusionnées sont sensiblement inférieurs à ceux que j'avais obtenus de mon côté et 2° la courbe de M. Porter fait, à  $R = 112$ , un coude dont la mienne n'offre pas la moindre trace. La première de ces deux divergences s'explique facilement par les différences de conditions extérieures: M. Porter regardait immédiatement, sans l'intervention d'aucun appareil,

un disque rotatif à secteurs noirs et blancs, à une distance égale à la portée de la vue distincte. Malheureusement la grandeur du disque n'a pas été indiquée; mais même en le prenant très petit, de 10<sup>cm</sup> de diamètre, par exemple, et en le considérant à une distance de 35<sup>cm</sup>, on aura déjà un angle visuel de 16° 16'; en faisant le disque plus grand, mettons 20<sup>cm</sup>, — ce qui est probablement plus près de la réalité, — on obtient pour la même distance un angle visuel de 31° 54'. Dans mes expériences, au contraire, l'éclairement intermittent d'un champ visuel de 12° 30' s'observait à travers une pupille artificielle de 2<sup>mm</sup> de diamètre<sup>1</sup>. Ces circonstances nous expliquent les chiffres peu élevés obtenus par M. Porter. Car la pupille naturelle se dilatant à mesure que diminue l'éclairement, la quantité de lumière admise dans l'œil augmente, et l'éclairement de la rétine est plus grande en réalité que ne l'indiquent les intensités lumineuses mesurées; par conséquent nous aurons un temps de fusion plus petit, cette valeur diminuant avec l'augmentation de l'éclairement. L'influence exercée par cette circonstance est ultérieurement renforcée par cet autre fait que sans doute le champ visuel de M. Porter était plus grand que le mien. En effet, le papillotement du disque est encore perceptible à la périphérie rétinienne quand les excitations successives du centre se confondent déjà entièrement, et plus sera étendu le champ visuel plus deviendra visible le papillotement et, par suite, plus seront petits les temps de fusion. La plus grande divergence entre nos valeurs est de 7<sup>σ</sup>,8 (*R* compris entre 1000 et 1250), j'ai déjà constaté<sup>2</sup> qu'entre les résultats donnés par l'ouverture pupillaire constante et ceux de l'ouverture variable il peut y avoir une différence de 6<sup>σ</sup>; la diver-

<sup>1</sup> Pour la disposition des expériences, voir: „Die körperlichen Äusserungen psychischer Zustände“, t. III, p. 156 et suiv. Je ferai toutefois remarquer que dans les expériences en question l'appareil rotatif n'était pas mù à la main mais par un moteur de force considérable.

<sup>2</sup> Voir Die körperlichen Äusserungen psych. Zustände, t. II, p. 324.

gence entre les chiffres de M. Porter et les miens n'est donc nullement trop grande pour pouvoir s'expliquer par les deux circonstances ci-dessus mentionnées.

Quant au coude de la courbe II (fig. 1) nous devons en chercher l'explication ailleurs. Il ne peut pas être attribué à la dilatation de la pupille attendu que cette dilatation se produit encore après des excitations beaucoup plus faibles et n'atteint probablement sa limite qu'à l'obscurité complète. Le coude étant situé à peu près au niveau de l'intensité lumineuse qui marque ordinairement le seuil des excitations sensibles à l'œil adapté à la lumière, j'ai été amené à supposer qu'il s'est produit ici une altération de l'état d'adaptation des yeux de l'observateur. Cette supposition me paraît d'autant plus acceptable que M. Porter ne nous dit rien sur leur état d'adaptation. Il est permis de croire qu'en tout cas les yeux n'étaient pas adaptés à l'obscurité; au cas où les mesures auraient été précédées d'une demi-heure de séjour dans l'obscurité, comme c'était le cas pour les miennes, M. Porter n'aurait certainement pas négligé de nous le dire. Selon toute probabilité le coude de la courbe en question est dû à cette circonstance que la détermination des temps de fusion a été faite avec des yeux adaptés à la lumière. Comme les plus faibles des intensités de lumière employées sont situées au-dessous du seuil d'excitation, l'entreprise ne pouvait pas être réalisée. Il a dû se produire une adaptation partielle à l'obscurité, qui a donné des temps de fusion de durée à peu près égale.

Pour vérifier la justesse de cette remarque j'ai entrepris une série d'expériences dans les conditions indiquées. Les yeux étaient d'abord adaptés à la lumière dans une chambre bien éclairée par le jour ambiant. Puis j'entrais dans une chambre obscure où j'effectuais une détermination; j'y mettais ordinairement 1 à 2 minutes. Ensuite, nouvelle adaptation à la lumière par un séjour de quelques minutes dans



le jour diffus de la première chambre, etc. Dans les expériences où  $R \leq 64$  c'est-à-dire dans celles où les intensités lumineuses n'atteignent pas le seuil d'excitation de l'œil adapté à la lumière, il fallait attendre dans la chambre obscure le moment où le papillotement des excitations intermittentes devint enfin perceptible; cela durait, pour  $R = 1$ , près de 10 minutes au bout desquelles l'adaptation à l'obscurité était donc déjà assez avancée.

Les temps de fusion que j'ai trouvés ainsi sont indiqués dans le tableau 2 sous la rubrique: Adaptation à la lumière; on trouvera leur représentation graphique à la fig. 1, courbe III. Comme on pouvait s'y attendre l'allure de cette courbe est tellement conforme à celle de la courbe I de M. Porter qu'il n'y a presque pas de doute que le brusque changement de direction qui les caractérise toutes les deux ne doive être attribuée à une même modification intervenue dans l'état d'adaptation.

Que si nous comparons les résultats obtenus dans les conditions d'adaptation à la lumière avec ceux qu'a donnés l'état d'adaptation à l'obscurité, nous sommes amenés à conclure, d'après mes déterminations, que le temps de fusion est relativement long pour l'œil adapté à la lumière (comp. les courbes II et III). Cette conclusion s'accorde mal avec les données obtenues par M. SCHATERNIKOFF d'après lesquelles c'est le contraire qui aurait lieu<sup>1</sup>. Voici le procédé adopté par M. Schaternikoff. Par la contemplation du ciel pendant 10—15 minutes l'œil était bien adapté à la lumière; ensuite on déterminait le temps de fusion, et cette détermination était opérée pour des adaptations progressives à l'obscurité. Les résultats ainsi obtenus montrent avec évidence qu'au progrès des adaptations correspondaient des temps de fusion de plus en plus

<sup>1</sup> Schaternikoff, Ueber den Einfluss der Adaptation auf die Erscheinung des Flimmerns (De l'influence de l'adaptation sur les phénomènes du papillotement); Zeitschr. d. Psych., t. XXIX, p. 241.



prolongés. Le tableau 3 contient un extrait des mesures exécutées par M. Schaternikoff<sup>1</sup>. Dans la première ligne est noté, en minutes, le temps (*T*) écoulé depuis le moment où cessa

Tableau 3.

<i>T</i>	2	5	10	15	25	35	50	70
I	19,6	21,7	24,7	27,6	27,9	27,9	28,6	28,5
II	17,1	18,2	19,2	20,7	22,4	23,6	24,8	25,4

l'adaptation à la lumière. Les lignes I et II renferment les temps de fusion correspondants obtenus avec deux intensités lumineuses différentes; l'intensité de II était trois fois plus forte que celle de I. L'augmentation du temps de fusion est très manifeste. Ces expériences étaient effectuées à l'aide de radiations colorées du spectre (rayons du sodium), mais M. Schaternikoff affirme qu'on obtient exactement les mêmes résultats avec la lumière blanche.

La seule différence essentielle entre le procédé de M. Schaternikoff et le mien c'est que chez lui une adaptation extrême à la lumière s'obtenait par la contemplation prolongée d'un ciel serein tandis que je me contentais de l'adaptation produite par le séjour dans un milieu éclairé par un jour diffus. Il fallait donc examiner si cette circonstance suffisait à expliquer les divergences des résultats. Comme le montre le tableau 3, les temps de fusion étaient, après adaptation à l'obscurité complète, de 28<sup>σ</sup>,5 et de 25<sup>σ</sup>,4 respectivement. Ce sont là à peu près les valeurs que j'avais obtenues pour l'œil adapté à l'obscurité et impressionné par les intensités 256 et 1024 (voir le tableau 2). J'ai donc entrepris avec ces intensités lumineuses des expériences ultérieures dans le but de constater si l'adaptation extrême à la clarté du ciel me donnerait à moi aussi comme à M. Schaternikoff, des valeurs peu

<sup>1</sup> Voir l. c., p. 249. M. Schaternikoff y donne les fréquences de fusion dont j'ai tiré les temps ci-dessus indiqués.

élevées. Les résultats de ces expériences sont consignés dans la dernière colonne du tableau 2. S'ils ne s'accordent pas du tout au tout avec ceux de M. Schaternikoff — l'accord parfait, ce serait peut-être trop exiger — du moins témoignent-ils dans le même sens. Quelque surprenant que cela puisse paraître, l'œil presque aveuglé par l'adaptation à la grande clarté d'un ciel serein perçoit bien plus aisément le papillotement d'une excitation intermittente que ne le fait l'œil adapté à l'obscurité ou l'œil adapté au jour ambiant de la chambre.

Pour être bien sûr de mon fait j'ai entrepris deux autres séries d'expériences destinées, comme celles de M. Schaternikoff, à mettre en lumière les modifications du temps de fusion; dans l'une de ces séries je suis parti du temps obtenu avec l'œil adapté à la lumière ambiante; dans l'autre le point de départ de mes déterminations a été le temps de fusion de l'œil adapté à la grande clarté du ciel. Les résultats sont enregis-

Tableau 4.

<i>T</i>	0	2	5	10	15	18	22
Adapt. normale	33,7	—	31,8	30,9	—	30,0	28,9
— extrême	—	22,4	23,7	25,0	27,2	28,7	28,5

trés dans le tableau 4; *T* désigne, comme dans le tableau 3, le temps écoulé depuis la cessation de l'adaptation à la lumière; les valeurs indiquées dans les lignes inférieures sont, respectivement, les temps de fusion de l'œil adapté à la lumière ambiante et ceux de l'œil adapté à la grande clarté. L'intensité, *R*, des excitations était dans ces expériences de 256, et en effet les deux séries de durées convergent vers la valeur  $28^{\sigma},6$  qui avait été trouvée pour l'œil adapté à l'obscurité et impressionné par la même excitation. D'après les chiffres obtenus il ne serait pas juste de dire que pour arriver à l'adaptation à l'obscurité la rétine adaptée à la grande

clarté doit passer par un état „normal“ d'adaptation à la lumière du jour: l'adaptation à la clarté extrême provoque dans la rétine un état particulier qui ne cesse que lorsque l'adaptation à l'obscurité a pu se produire. Aussi nous faut-il distinguer ici deux adaptations différentes à la lumière du jour: l'une se produisant sous l'action de la grande clarté du ciel tandis que l'autre est provoquée par le jour ambiant de la chambre. Entre ces deux états d'adaptation il y a au moins cette différence que dans le premier les temps de fusion sont plus courts que ceux de la rétine adaptée à l'obscurité au lieu que dans le second ils sont plus prolongés. Évidemment il doit exister entre ces deux états extrêmes des stades intermédiaires, des termes de passage, et en effet j'ai constaté souvent des temps de fusion qui ne correspondaient ni à l'un ni à l'autre des deux états considérés qui sont d'ailleurs sans doute les plus faciles à produire et en même temps les plus intéressants.

Jusqu'à présent je n'ai pas réussi à constater entre ces deux états d'adaptation d'autres différences que celles que je viens d'indiquer. L'abaissement qu'éprouve le seuil d'excitation au passage vers l'adaptation à l'obscurité est exactement le même dans les deux cas. Il va sans dire que la valeur initiale du seuil d'excitation est plus élevée dans le cas de l'adaptation extrême que dans celui de l'adaptation normale, mais à part cela l'allure des deux catégories de courbes d'adaptation est tellement conforme que, comme l'a déjà remarqué M. PIPER<sup>1</sup>, on peut presque les faire se couvrir en déplaçant le point de départ. Ayant souvent entrepris des déterminations de courbes d'adaptation correspondant à différents états d'adaptation initiaux je donne ici, dans le tableau 5 un extrait des mesures obtenues. Sous *T* sont indiqués, en minutes, les temps écoulés depuis la cessation de l'adaptation

<sup>1</sup> Piper, Über Dunkeladaptation. Zeitschrift für Psychol., t. XXXI, p. 183—184.

à la lumière. Les colonnes I, II, III contiennent les valeurs des seuils correspondants; l'unité de l'intensité lumineuse est la même que dans les mesures données plus haut. Les valeurs

Tableau 5.

T	I	II	III	IV	
				T	S
0	1,44	63,0	c. 1000,0	0,0	65,4
1	—	30,0	c. 250,0	1,5	29,3
2,5	0,58	15,9	118,0	2,0	21,0
5	0,39	5,2	45,0	5,0	13,5
10	0,35	1,16	7,3	11,0	4,3
15	—	0,522	1,1	17,0	0,32
20	0,127	0,275	0,40	19,0	0,14
25	—	0,213	0,28	22,5	0,066
30	0,081	0,152	0,20	29,0	0,031
35	—	0,119	0,16	37,0	0,023
40	—	0,103	0,15	46,0	0,018
50	—	0,090	0,14	55,0	0,015
60	—	0,075	0,093	83,0	0,014
70	—	0,073	0,081	120,0	0,014

enregistrées dans la colonne I ont été trouvées par un jour d'hiver très sombre où la rétine était pour ainsi dire adaptée à l'obscurité avant l'entrée dans la chambre obscure. Les valeurs II ont été obtenues après adaptation au jour diffus ordinaire. Comme l'influence exercée par les variations de la lumière atmosphérique est minime, on peut très bien calculer les moyennes de plusieurs séries d'expériences; chacune des valeurs indiquées est la moyenne de six déterminations effectuées à diverses saisons de l'année. Les valeurs III ont résulté de l'adaptation à la grande clarté. A cause des changements rapides qu'offrait le seuil au début des expériences, les deux premières valeurs n'ont pas été déterminées exactement; on a dû se contenter d'appréciations approximatives. La figure 2 présente le schéma graphique des trois séries, les temps ayant été pris pour abscisses, les logarithmes des valeurs du seuil pour ordonnées; l'allure des courbes



nous montre que la loi qui préside à l'abaissement du seuil est la même dans les conditions d'adaptation extrême que dans les deux autres cas d'adaptation considérés.

Pour mettre en évidence l'accord qu'il y a entre mes mesures et celles obtenues par d'autres auteurs j'emprunte au

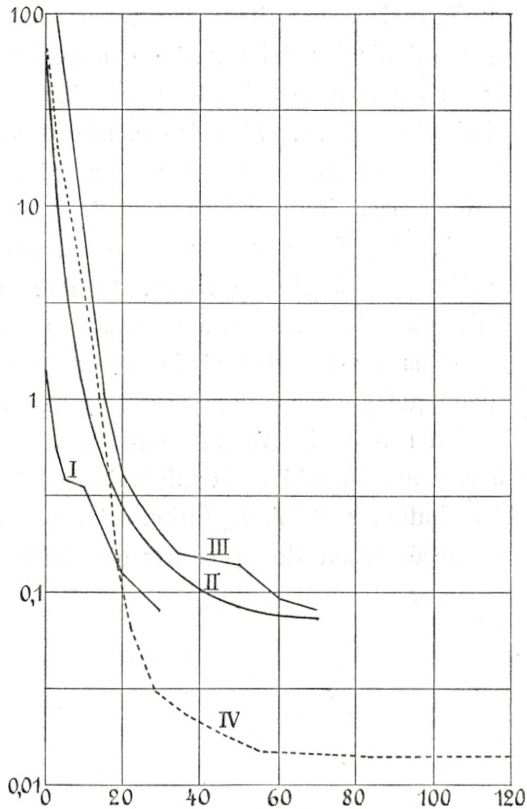


Fig. 2.

travail ci-dessus cité<sup>1</sup> de M. Piper une série d'expériences dont je reproduit les résultats dans les deux dernières colonnes du tableau 5. Il est vrai que ces valeurs du seuil données par M. Piper ne se laissent pas réduire à mon unité, mais la conclusion qu'on en peut tirer est bien la même que celle qui ressort de mes expériences, à savoir que la valeur du

<sup>1</sup> L. c., p. 178, tableau I.

seuil constatée immédiatement après adaptation à la lumière diffuse du jour varie peu avec les personnes et les saisons. D'après mes mesures cette grandeur, exprimée en mon unité à moi, serait égale à 63 (voir le tableau 5); suivant les résultats de M. Piper elle serait de quelque 65000 unités. Alors je n'ai eu qu'à diviser par 1000 les valeurs données par M. Piper pour obtenir les valeurs  $S$  de la dernière colonne du tableau 5; on les verra représentées graphiquement par la courbe ponctuée de la fig. 2. Si cette courbe descend beaucoup plus bas que les miennes il y a deux raisons à cela: d'abord les différences individuelles sont très considérables sous ce rapport, et puis la valeur finale du seuil dépend beaucoup de l'étendue du champ visuel. Or l'aire du champ considéré était six fois plus grande dans les mesures de M. Piper que dans les miennes et je ne doute pas que ce fait ne soit pour quelque chose dans la différence en question.

La diminution rapide des valeurs initiales du seuil après adaptation à la grande clarté et la faible durée des temps de fusion semblent indiquer que l'adaptation extrême à la lumière provoque une accélération du processus d'assimilation de la rétine.