

Zeitschrift:	Archives des sciences physiques et naturelles
Herausgeber:	Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band:	45 (1918)
Artikel:	Les phénomènes crépusculaires d'après les observations anciennes et récentes faites en Suisse
Autor:	Gruner, P.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-742979

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 07.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

1918

Vol. 45

Janvier

LES

PHÉNOMÈNES CRÉPUSCULAIRES

D'APRÈS LES

Observations anciennes et récentes faites en Suisse

PAR

P. GRUNER

Prof. de physique théorique à l'Université de Berne

(Avec 7 fig.)

I. — INTRODUCTION.

Nous donnons ici le résumé d'une partie d'un grand travail, fait en commun par MM. H. Meyer, Fr. Schmid et P. Gruner ces dernières années et qui a obtenu en septembre 1917 le prix Schläfli de la Société helvétique des Sciences naturelles.

L'auteur de ce résumé a, depuis de longues années, porté son attention sur les phénomènes crépusculaires, s'attachant surtout à la recherche des problèmes d'optique théorique que posent ces phénomènes. Ayant constaté que la base empirique, nécessaire à de pareilles recherches était encore très incomplète et encouragé par l'apparition des fortes lueurs crépusculaires de 1902, causées par l'éruption du Mont Pelée, il a commencé, dès la fin de 1902, ses observations crépusculaires qu'il a continuées plus ou moins régulièrement jusqu'à ce jour. Ces observations ont été publiées de 1903 à 1913 dans les *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern*, et il en a été rendu compte de temps en temps dans les *Archives*. Elles comprennent déjà

un matériel très étendu et permettent spécialement de se rendre compte du développement normal des lueurs crépusculaires et pas seulement de ses anomalies, causées par des troubles volcaniques, qui ont presque uniquement attiré l'attention des autres observateurs.

Voyant la nécessité d'élargir son champ d'observation, l'auteur a cherché des collaborateurs et a pu s'adjointre M. le Dr Fr. Schmid d'Oberhelfenswil et M. H. Meyer, professeur à Glarisegg. M. Schmid est bien connu par ses observations si remarquables concernant la lumière zodiacale, qui l'ont conduit successivement à l'étude du crépuscule nocturne et plus tard aussi à celle du crépuscule astronomique et civil, et des cercles solaires pendant la journée. C'est grâce à sa collaboration que notre travail donne un aperçu très complet de ces phénomènes du crépuscule nocturne, encore si peu connu et pourtant si important. Vu le caractère tout spécial de ces travaux, nous n'en parlerons pas ici, laissant à M. Schmid le soin de publier à l'occasion ces résultats. M. Meyer aussi se vouait depuis de longues années aux études astronomiques et atmosphériques et a entrepris avec un zèle et un dévouement extrêmes des observations très suivies à Glarisegg, au Piz Languard, à Brione et à Arosa ; il a aussi puissamment collaboré au dépouillement de toutes les observations suisses que nous avons rassemblées.

C'est ainsi que ces trois observateurs, travaillant d'abord chacun indépendamment l'un de l'autre, se sont unis ces dernières années dans le travail commun que nous résumons maintenant.

Nous ne pouvons donner que quelques points essentiels de ce travail volumineux. La première partie contient une *revue historique et chronologique* de toutes les observations en rapport avec les phénomènes crépusculaires, faites en Suisse depuis le onzième siècle jusqu'à nos jours. Cette revue est aussi complète que possible, très détaillée et ne se borne pas à une simple compilation, mais en fait une étude critique soignée. Nous laissons de côté cette partie et commencerons tout de suite par la discussion du phénomène crépusculaire essentiel, la lumière pourprée, après avoir donné quelques indications sur les observations récentes, faites en Suisse.

II. — L'ORGANISATION DES OBSERVATIONS RÉCENTES
EN SUISSE.

Sur l'initiative de l'auteur, un certain nombre de personnes se sont engagées volontairement à faire pendant une certaine période des observations crépusculaires, parallèles à celles de Berne, et de les mettre à notre disposition. Il n'était pas très facile d'obtenir dès l'abord de ces observateurs, presque tous novices et ne disposant pas toujours librement de leur temps, des résultats satisfaisants, aptes à des comparaisons utiles; aussi a-t-il fallu toutes sortes d'essais et d'instructions, avant d'arriver à un résultat convenable. Pour faciliter et unifier la notation, des formulaires spéciaux ont été imprimés et distribués, et c'est pour cette raison que l'auteur publia en 1915 sa « *Schematische Darstellung des Verlaufes der Dämmerungsfarben* ¹ », traduite en raccourci en français sous le titre: « *Nouvelles remarques concernant les lueurs crépusculaires du ciel* ². » Remarquons tout de suite que toutes les désignations et définitions que nous employons dorénavant se trouvent expliquées dans cette publication, à laquelle nous renvoyons le lecteur.

Voici la liste des observateurs qui ont fourni le matériel nécessaire à notre travail :

P. Gruner observe dès décembre 1902 à Berne (450-480 m d'altitude), parfois, en été, à l'embouchure de la Reuse dans le lac de Neuchâtel (435 m).

H. Meyer, professeur à Glarisegg, près Steckborn (Thurgovie), à 420 m, observe dès la fin de 1912.

D^r Fr. Schmid, à Oberhelfenswil (St-Gall), à environ 900 m, observe les phénomènes crépusculaires proprement dits dès 1914.

F. Moser, maître d'école à Oberbalm (Berne), à environ 850 m, observe dès le 25 avril 1915.

¹ GRUNER, P. *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern*, 1915, p. 264.

² GRUNER, P. *Arch. 1916*, vol. 42, p. 32. — Une publication antérieure: « *Quelques remarques concernant les lueurs crépusculaires du ciel* » (*Arch. 1914*, vol. 37, p. 226), donne une description générale du développement des phénomènes crépusculaires et un aperçu des résultats obtenus jusqu'en 1913.

H. Bay, pasteur à St-Béatenberg (Berne), à 1150 m, observe uniquement l'Alpenglühnen, dès le 25 avril 1915 jusqu'à la fin de 1916.

J. Vallier, à l'observatoire de Genève, 407 m, observe, avec interruptions, du 15 mai 1915 jusqu'à la fin de 1916.

Des observations moins suivies et moins complètes nous ont été remises par M. le Dr A. Fisch, professeur à Wettingen (Argovie), à 390 m, du 3 novembre 1915 à fin 1916; par M. A. Michel, pasteur à Märstetten (Thurgovie), à 460 m, seulement du 6 juin 1915 à la fin d'octobre 1915; par M^{me} J. Schreiber, sur le Righi, à 1790 m, du 8 octobre au 30 novembre 1915; par M. O. Berger, à Berne, à 450 m, pour différentes périodes; de même par M. le Dr A. de Quervain, professeur, et M. le Dr R. Billwiler, à Zurich, à 490 m, et par M. A. Rigggenbach, professeur à Bâle, à 275 m. Enfin M. le Dr J. Maurer, directeur de l'institut météorologique, a bien voulu nous faire parvenir un certain nombre d'observations notées à différentes stations météorologiques suisses. Rappelons aussi les belles observations de M. le Dr C. Dorno à Davos, à 1600 m, qu'il a publiées indépendamment de notre organisation mais qu'il a aimablement mises à notre disposition le printemps dernier. A cette occasion nous exprimons notre reconnaissance profonde à tous ces collaborateurs, spécialement à MM. Moser et Bay pour leur travail zélé et persévérand.

Enfin, grâce aux subsides financiers du Comité central du Club Alpin Suisse ainsi que de la section de Berne de ce même Club et aussi de la Société d'Histoire naturelle de Berne, sociétés auxquelles nous exprimons notre gratitude sincère, il a été possible d'organiser deux expéditions alpines, permettant d'étudier les phénomènes crépusculaires à de grandes altitudes. Pour raison de force majeure, il n'a pas été possible d'organiser ces deux expéditions simultanément, comme cela aurait été désirable; en outre la situation météorologique a été peu favorable à la première de ces deux expéditions, qui a néanmoins donné, comme la seconde, des résultats précieux. C'est M. H. Meyer qui avec un grand dévouement a fait la série d'observations du 14 juillet au 10 août 1916 sur le *Piz Languard*, à 3268 m, et c'est M. F. Moser qui a observé sur le *Faulhorn*, à 2683 m, du 11 août au

3 septembre 1916, les phénomènes crépusculaires dans leur développement complet. Nous n'entrons pas dans les détails de ces expériences si intéressantes, vu qu'un rapport en sera donné dans l'annuaire du Club Alpin Suisse de 1918.

Grâce à ces diverses collaborations, auxquelles se joignirent encore quelques observations isolées que nous ne pouvons toutes citer, nous possédons un matériel extrêmement riche et varié concernant les phénomènes crépusculaires, probablement la collection la plus complète sur ce sujet. Le temps nous a manqué jusqu'ici pour analyser et discuter à fond ces innombrables observations et c'est à grand regret que nous avons dû nous borner, pour le moment, à n'en utiliser que certaines parties, nous réservant de reprendre plus tard ce qui manque encore, et spécialement l'étude du rapport des phénomènes météorologiques proprement dits avec les phénomènes crépusculaires.

Pour utiliser toutes ces observations il faut un long travail préparatoire. Non seulement il faut classer les phénomènes divers, mais il s'agit surtout de calculer, pour tous les instants de toutes les observations, la position du soleil sous l'horizon, sa dépression et son azimut. Ce travail considérable a été exécuté patiemment par M. H. Meyer et forme la base de toute discussion ultérieure. Puis il a fallu rassembler, sous forme de très nombreux tableaux, les résultats des observations diverses et former enfin des moyennes selon les points de vue les plus variés ; cette formation des valeurs moyennes par périodes, par années, par saisons, par mois, fut compliquée par le fait que les observations, même d'un seul observateur, sont souvent de valeur très différente et qu'il faut s'efforcer de donner à chaque observation le poids qui lui revient.

Pour la discussion générale, il est essentiel de séparer nettement les périodes très différentes que contiennent nos observations de 1903-1916. L'auteur distingue d'après ses recherches les périodes suivantes :

I. — *Périodes non troublées :*

1. Mars 1905 à juin 1912.
2. Mars 1914 à juillet 1916.

II. — *Périodes troublées :*

1. Janvier 1903 à février 1905 (trouble du M^t-Pelée).
2. Juillet 1912 à février 1914 (trouble du Katmaï).
3. Août 1916 à décembre 1916 (troubles récents).

III. — LA LUMIÈRE POURPRÉE.

A. *Le développement initial.* Les premiers moments de l'apparition de la lumière pourprée forment un phénomène bien plus complexe qu'on ne pourrait le croire au premier abord. L'auteur en distingue six catégories diverses :

1^o *Transformation de la lumière pourprée par transformation du « cercle brun ».* De nombreuses observations constatent que la « lueur transparente » qui resplendit au couchant dès le commencement du crépuscule apparaît souvent comme bordée d'un large cercle diffus semi-circulaire reposant sur les couches horizontales colorées et montrant une faible coloration indécise : rouge-brunâtre, violette ou grisâtre. Ce phénomène que nous nommons, d'après Riccò, le « cercle brun » et qui parfois (mais pas du tout régulièrement) n'est que la continuation du cercle de Bishop, représente quelquefois la phase initiale de la lumière pourprée qui n'en est que l'élargissement et le développement complet.

2^o *Formation en demi-cercle.* Dans des cas exceptionnels la lumière pourprée apparaît, indépendamment du cercle brun, dès le premier moment en forme de demi-cercle de couleur rose ou gris-pourpre, entourant la lueur transparente et la couvrant peu à peu de ses teintes de pourpre.

3^o *Formation en lueur indécise.* Nombreux sont les cas où la lumière pourprée se forme d'une manière insensible. C'est la « lueur transparente » qui peu à peu prend une teinte jaunâtre, puis se transforme en coloration rose ou pourpre, d'un caractère indécis, et enfin révèle la nature d'une lumière pourprée normale.

Comparant ces deux dernières catégories, dont la première semble une forme intermédiaire, l'auteur conclut qu'il y a *deux modes distincts pour la formation de la lumière pourprée*. L'un serait un phénomène de diffraction pure qui produit autour du

soleil, caché sous l'horizon, ce cercle rose plus ou moins net; l'autre serait un phénomène de réflexion diffuse de la lumière solaire produisant un éclairement général plus ou moins étendu. Ce sont probablement les mêmes particules, suspendues dans l'atmosphère, qui déterminent les deux phénomènes; mais selon la densité et la dimension de ces particules et selon l'homogénéité des couches invisibles qu'elles forment, c'est l'un ou l'autre des deux phénomènes qui prédominera et qui décidera du développement initial de la lumière pourprée.

4° *Formation en rapport avec l'anti-crépuscule.* Ici il s'agit de l'ancienne conception de L.-A. Necker-de Saussure¹. D'après ses observations les « vapeurs rouges » paraissent d'abord à l'horizon oriental, où elles forment, le soir, le beau ruban violet-pourpre que nous nommons « l'anti-crépuscule ». A mesure que le soleil descend, ces vapeurs rouges s'élèvent, suivies du segment bleu gris de l'« ombre de la terre ». En montant vers le zénith, la coloration des vapeurs devient imperceptible, et ce n'est que lorsqu'elles redescendent, de l'autre côté du zénith, vers le couchant, qu'elles commencent à réapparaître à nos yeux; c'est alors qu'elles forment la lumière pourprée dans tout son éclat. Cette conception qui avait été délaissée presque généralement, est reprise par l'auteur et paraît vraiment correspondre à un très grand nombre de nos observations récentes.

Il arrive assez fréquemment que la lumière pourprée prend la forme d'un éventail, formé de beaux rayons bleuâtres et pourprés; ce phénomène se rencontre aussi à la partie opposée du ciel, dans les colorations de l'anti-crépuscule. Chaque fois que des observations bien faites ont noté l'apparition de pareils rayons des deux côtés, il a été constaté: 1° que les rayons de l'anti-crépuscule apparaissent comme une image, réfléchie par un miroir, des rayons de la lumière pourprée; 2° que ces rayons se montraient d'abord dans l'anti-crépuscule et seulement notablement plus tard dans la lumière pourprée; 3° que parfois ces rayons traversent en vaste demi-cercle toute la voûte céleste, donnant un aspect magnifique du ciel qui resplendit alors

¹ NECKER, L.-A. *Annales de Chimie et de Physique*, 1839, vol. 70, p. 113, 225.

de l'ouest à l'est en de longs fuseaux pourprés, séparés par de larges bandes bleu-verdâtres.

L'auteur démontre que ces faits, dûment prouvés, ne peuvent être expliqués autrement qu'en admettant la belle théorie de Necker ; mais alors il faut nécessairement conclure que dans tous ces cas-là *la lumière pourprée est essentiellement un phénomène de réflexion diffuse (et non de diffraction pure), produite par les particules suspendues dans l'atmosphère*. Cette réflexion diffuse des rayons solaires ayant d'abord lieu au-dessus de l'horizon oriental (où il ne peut s'agir de diffraction) y formerait les colorations de l'anti-crépuscule, puis, dans les régions plus élevées, elle deviendrait insensible à nos yeux et enfin, au couchant, elle reparaîtrait sous forme de lumière pourprée.

5° *Formation par illumination de cirrus.* Souvent le ciel est couvert au couchant de cirrus très fins qui apparaissent bientôt colorés d'un rose très vif. Parfois cette teinte, au lieu de disparaître, perd ses contours précis, les formes des cirrus disparaissent et toute cette partie du ciel prend une coloration uniforme, se transformant ainsi insensiblement en lumière pourprée. Dans quelques observations l'auteur a même constaté, le matin, la formation de rayons roses, traversant tout le ciel, comme de vrais rayons de lumière pourprée, et puis se révélant, un peu plus tard, comme de longues bandes de cirrus très fins. On peut conclure de semblables observations que la réflexion diffuse, produite par les petits cristaux de glace dont se composent les cirrus, provoque en principe les mêmes phénomènes que la lumière pourprée nous dévoile sur un ciel paraissant absolument pur.

6° *Formation par développement de la « tache pourprée ».* La description classique des lueurs crépusculaires nous apprend que la lumière pourprée commence en général par la formation d'une « tache » de très faible coloration gris-pourpre et de petite dimension, apparaissant à une vingtaine de degrés au-dessus de l'horizon. Cette « tache » formerait en s'accroissant de tous côtés et en augmentant d'intensité la lumière pourprée. Il est intéressant de constater que ce mode d'apparition est en général plutôt rare, de sorte qu'il ne peut plus être considéré comme le type normal de la formation de la lumière pourprée. Néanmoins



il peut être constaté très nettement dans certains cas et il forme un phénomène très beau qui semble difficile à expliquer.

B. *Le développement ultérieur et final.* Nous donnons en premier lieu les résultats numériques qui ressortent en moyenne des observations faites par l'auteur à Berne, pendant une période de quatorze années (1903-1916).

Le moment de la *première apparition* de la lumière pourprée correspond à une dépression du soleil de $2^{\circ},3$ au-dessus de l'horizon (moyenne de 468 observations).

Le moment du *maximum de l'intensité* correspond à une dépression de $3^{\circ},8$ (moyenne de 456 observations).

Le moment de la *disparition* correspond à une dépression de $5^{\circ},2$ (moyenne de 446 observations).

La *durée* moyenne est de *19 minutes* (moyenne de 342 observations).

Comme ces chiffres embrassent l'ensemble de toutes les observations, aussi de celles où la lumière pourprée était très peu développée, il a paru utile de faire un second dénombrement des observations et de faire la statistique des lumières pourprées dont l'intensité dépasse la normale, des « *lumières pourprées supernormales* ».

Le tableau suivant donne le résultat de cette statistique, complétée par les observations des années 1915-1916, faites à Oberbalm, à Steckborn et à Oberhelfenswil :

		Dépression du soleil pour les phases de la lumière pourprée :			Durée de la lumière pourprée
		Commencement	Intensité maximum	Fin	
Moyennes de toutes les observations	Berne	$2,3$	$3,8$	$5,2$	19 min.
Moyenne des lumières pourprées « supernormales ».	Berne	2,3	4,1	5,6	22 min.
	Oberbalm	2,4	4,5	6,5	27 min.
	Steckborn	2,4	4,2	6,2	22 min.
	Oberhelfenswil	2,4	3,9	5,8	21 min.

Il ressort clairement de ce tableau que les *belles lumières pourprées* ne montrent en général pas de retard en ce qui con-

cerne le moment de leur apparition mais que le *maximum de leur intensité ainsi que leur disparition est sensiblement retardée*, de sorte que leur durée dépasse nettement la moyenne.

C. *L'intensité et la couleur de la lumière pourprée.* La discussion détaillée des récentes observations permet les conclusions suivantes :

L'intensité relative visuelle et la coloration de la lumière pourprée sont en relation intime; toutes deux sont à un haut degré influencées par des facteurs purement subjectifs.

Le *développement de l'intensité en fonction de la dépression du soleil semble être symétrique* si l'on fait des observations dans l'air pur d'une station élevée: l'intensité y montre une ascension régulière jusqu'au maximum, puis une diminution correspondante. Mais aux stations situées plus bas, dont l'air est vicié, la diminution d'intensité s'effectue beaucoup plus rapidement. En général les influences locales sont très marquées dans le développement de l'intensité; de même la formation de rayons, ainsi que d'autres causes, pas encore élucidées, peuvent produire de fortes variations d'intensité.

Les impuretés de l'atmosphère (situation basse, environs d'une ville) produisent en général une prédominance de teintes jaunes, au moins au commencement du développement; dans l'air pur, à des altitudes supérieures, les nuances violettes-pourprées se montrent dès le premier instant.

Vers le maximum de l'intensité, la coloration est en général rose-pourpre (fleur de pêche); cette nuance persiste d'ordinaire jusque vers la fin, mais parfois il s'y mêle des teintes violettes ou brun-jaunâtres.

Les colorations ne sont pas uniformes sur toute la surface de la lumière pourprée; généralement les parties inférieures montrent des teintes jaunâtres, les supérieures des nuances rouge-violettes. Dans des conditions très favorables on peut distinguer des limbes concentriques de différentes colorations.

D. *L'étendue et la forme de la lumière pourprée.* C'est M. A. Riggenbach de Bâle qui, le premier, a fait des mesures exactes

et détaillées de l'étendue de la lumière pourprée en fonction de la dépression du soleil. Comparées aux observations récentes, les mesures de la *hauteur moyenne de la lumière pourprée*, correspondantes aux dépressions successives du soleil, donnent les chiffres suivants :

Lieu d'observation	Période des observ.	Dépression du soleil sous l'horizon.									
		-2°	-2°,5	-3°,0	-3°,5	-4°,0	-4°,5	-5°,0	-5°,5	-6°,0	-6°,5
Bâle	1884-85	—	25	28	34	33	26	20	16	12	8
Berne	1915-16	21,3	27,0	29,6	29,8	29,4	25,9	18,3	10,5	5,0	—
Zurich	Sept.-Nov. 1916	47,0	45,0	43,3	39,6	36,6	26,7	20,0	12,9	5,0	—
Märstetten	Juil.-Sept. 1915	34,0	33,5	33,8	32,4	28,3	22,6	15,0	—	—	—
Oberbalm	1915-16	40,0	42,2	47,0	36,1	32,3	24,9	19,2	15,2	10,0	5,9
Steckborn	1915-16	50,0	47,0	44,1	43,2	38,5	28,6	17,2	13,4	8,4	5,8

Nous ne pouvons discuter ici ces résultats qui démontrent la grande diversité de ces observations, diversité qui devient énorme quand on ne considère pas seulement les moyennes mais les observations individuelles. D'ailleurs il faut bien se rendre compte que cette diversité provient en grande partie de facteurs tout à fait subjectifs, chaque observateur voyant la limite supérieure à une hauteur différente. Mais en général il ressort clairement que la pureté de l'atmosphère (mauvaise pour Berne et Zurich, bonne pour Oberbalm et Steckborn) influe nettement sur la rapidité de l'abaissement de la lumière pourprée : celle-ci disparaît beaucoup plus vite à travers une atmosphère troublée. Les observations de Bâle sont intéressantes, en ce qu'elles montrent, d'une part, l'influence du peu de pureté de l'atmosphère de Bâle, révélée par le petit chiffre (34°) pour la hauteur maximum, tandis que, d'autre part, le caractère des lueurs particulièrement intenses de la période cracatoësque se fait remarquer dans l'abaissement très lent de la lumière pourprée (à 6°,5 de dépression du soleil elle a encore une hauteur de 8°).

Quant à la *forme* que prend la lumière pourprée après les premiers instants, toutes les observations sont d'accord pour la

désigner comme ayant une *forme ovale à circulaire*, une espèce de limbe à contours plus ou moins indécis, flottant au-dessus des couches horizontales colorées, et semblant peu à peu se plonger derrière celles-ci. En général l'étendue horizontale maximum ne se trouve donc pas tout à fait au bas de la lumière, mais un peu plus haut, de sorte que la surface colorée se rétrécit un peu vers le bas, ce qui lui donne précisément la forme ovale. Si l'impression que donne la lumière pourprée est souvent celle d'une pyramide élevée, à pointes et à base arrondies, il ne s'agit que d'une illusion optique bien connue, qui nous fait apparaître les dimensions verticales de la voûte céleste beaucoup plus grandes que les horizontales.

Le tableau suivant qui contient la *moyenne mensuelle de l'étendue horizontale maximum* de la lumière pourprée nous fait entrevoir immédiatement qu'elle dépasse de beaucoup l'étendue verticale maximum.

MOYENNES POUR L'ÉTENDUE HORIZONTALE MAXIMUM
DE LA LUMIÈRE POURPRÉE.

	Steckborn soir	Oberhelfenswil matin	Oberhelfenswil soir	Faulhorn matin	Faulhorn soir	Piz Languard matin	Piz Languard soir
Janvier	° 76	° 76	° 81	—	—	—	—
Février	60	53	76	—	—	—	—
Mars	—	68	60	—	—	—	—
Avril	58	—	85	—	—	—	—
Mai	—	58	60	—	—	—	—
Juin	—	—	—	—	—	—	—
Juillet	58	68	84	—	—	—	54
Août	—	70	88	92	78	88	63
Septembre	70	75	81	82	87	—	—
Octobre	66	76	89	—	—	—	—
Novembre	—	—	85	—	—	—	—
Décembre	—	65	68	—	—	—	—

Pour Bâle, M. A. Riggenbach donne une moyenne de 45° ; à Berne, l'auteur de ce mémoire trouve, comme moyenne de quelques observations, environ 49° ; il ressort immédiatement de

ces mesures que l'étendue de la lumière pourprée s'accroît avec l'altitude de l'observateur et la pureté de l'atmosphère, ce qui d'ailleurs n'est pas étonnant.

Comme pour l'étendue en hauteur, l'étendue en largeur augmente d'abord avec la dépression du soleil, atteint son maximum à des dépressions de $3^{\circ},5$ à $4^{\circ},5$ et puis se rétrécit lentement¹.

M. Dr Fr. Schmid à Oberhelfenswil a fait des observations très importantes, démontrant que la forme de la lumière pourprée est très souvent *asymétrique*. Ses observations, extrêmement délicates et précises, donnent le résultat suivant : *Le soir, la lumière pourprée prend parfois une inclinaison plus ou moins apparente vers le sud, provenant du fait que l'intensité maximum se déplace relativement au centre de la lumière pourprée vers la gauche*; le matin, ce déplacement s'effectue vers la droite, et il en résulte de nouveau une inclinaison vers le sud.

Les études faites par l'auteur sur ce phénomène semblent démontrer qu'il s'agit ici d'un effet purement local, produit par la position de nos observateurs suisses qui ont tous devant eux l'imposante muraille de la chaîne des Alpes, s'étendant du SW jusqu'à l'E. Les rayons du soleil étant arrêtés à la partie inférieure par ces montagnes, ne peuvent former la lumière pourprée d'une manière complète ; elles en masquent une partie, de sorte que le phénomène ci-dessus indiqué doit justement se produire. Ce n'est que par des observations répétées et faites à des endroits différents qu'il sera possible de dire si cette hypothèse est juste ou non.

En second lieu, M. Schmid a constaté par des mesures répétées de l'azimut des bords extrêmes de la lumière pourprée le fait suivant, contrôlé après lui par différents autres observateurs :

Le centre de la lumière pourprée ne se trouve en général pas exactement au-dessus du soleil, caché sous l'horizon, mais est plus

¹ Indiquons ici une observation intéressante, faite par M. Meyer au Piz Languard, le 9 août 1916, le matin : la lumière pourprée avait atteint une étendue horizontale maximum de 110° , puis se rétrécit peu à peu en forme de « tache » de 60° , correspondant à une dépression du soleil de $2^{\circ},7$; bientôt après cette « tache » se transforme en « cercle brun », dont le diamètre horizontal atteint jusqu'à 150° ; la dépression du soleil étant $0^{\circ},5$.

ou moins dévié par rapport à celui-ci. Le soir, cette déviation s'effectue presque toujours vers la gauche, donc à l'inverse de la marche du soleil. Les observations, plus rares, du matin sont moins concordantes, mais elles paraissent plutôt indiquer une déviation vers la droite, donc dans le sens de la marche du soleil. Il est intéressant de constater qu'une déviation semblable vers la gauche (le soir) se révèle aussi dans les mesures de la position des « points neutres » de la polarisation céleste, faites par M. Süring¹ à Potsdam et par M. Dorno² à Davos.

L'auteur du présent mémoire, développant sa théorie de la lumière pourprée (voir la VI^e partie), conclut que ces phénomènes de déviation s'expliquent tout naturellement en admettant que *les couches élevées de l'atmosphère qui produisent la lumière pourprée ne restent pas exactement parallèles à la surface terrestre, mais s'élèvent (dans nos latitudes) insensiblement vers le sud*, formant probablement, au lieu d'une sphère concentrique, un *ellipsoïde de rotation aplati*. Cette hypothèse a d'ailleurs été exprimée déjà antérieurement par M. Schmid qui l'avait déduite des déviations bien plus fortes observées sur la lumière zodiacale.

E. *La période annuelle de la lumière pourprée.* Pour se rendre compte des phénomènes de périodicité annuelle de la lumière pourprée, qui a d'ailleurs déjà été relevée par la majorité des observateurs, il s'agit en premier lieu d'éliminer autant que possible les périodes anormales de troubles atmosphériques. Pour cette raison nous ne considérerons ici que *la période de mars 1905 à juin 1912* qui, en général, a été exempte de troubles très marquants.

Les observations de cette période, faites à Berne, sont classées par moyennes mensuelles dans le tableau suivant ; ces moyennes sont réunies par saisons : hiver (décembre-février), printemps (mars-mai), été (juin-août), automne (septembre-novembre).

Outre les chiffres déjà souvent mentionnés, ce tableau con-

¹ SÜRING, R. *Veröffentlichungen des k. pr. meteorologischen Institutes*, N° 240, p. 12, 1910, et N° 279, p. VIII, 1914.

² DORNO, C. Communication par lettre.

tient dans la septième colonne le résultat du dénombrement des lumières pourprées supernormales, en indiquant le pour cent de ces lumières relativement au nombre total des lumières pourprées observées chaque mois. La huitième colonne enfin donne le nombre total des lumières secondaires (2^{me} Purpurlicht) pour chaque mois.

VALEURS MOYENNES DES OBSERVATIONS DE BERNE
DE MARS 1905 A JUIN 1912.

	Dépression du soleil pour les phases :			Durée	Intens.	Lu-mières super-norm. en %	Nombre des lumières second.
	Com-mence-ment	Max. d'inten-sité	Fin				
Janvier	2,8	3,5	5,2	19	1,5	4	7
Février	2,4	3,7	5,1	16	1,4	0	4
Mars	2,5	3,6	5,2	19	0,9	0	0
Avril	2,4	3,6	4,6	15	1,2	5	0
Mai	1,9	3,5	4,7	20	1,7	14	0
Juin	2,3	3,6	4,7	22	1,9	12	0
Juillet	2,0	3,5	4,9	23	2,4	31	0
Août	2,2	4,0	5,2	19	2,4	41	3
Septembre	2,1	3,7	5,2	19	2,5	35	6
Octobre	2,3	3,8	5,0	16	1,7	16	3
Novembre	2,6	4,0	5,4	18	1,5	19	4
Décembre	2,2	3,9	5,1	19	2,1	33	2
<hr/>							
Hiver	2,5	3,7	5,1	18	1,6		
Printemps	2,3	3,5	4,9	18	1,2		
Eté	2,1	3,6	4,9	21	2,3		
Automne	2,4	3,8	5,2	17	1,8		
<hr/>							
Année entière	2,3	3,7	5,0	19	1,8		

La représentation graphique, fig. 1, des intensités mensuelles, ainsi que des % des lumières supernormales¹ permet immédiatement de constater que les périodes d'obscurité sont en rapport avec les périodes d'augmentation des lumières supernormales.

¹ La ligne finement pointillée donne à titre de comparaison le % des lumières supernormales de toutes les observations, de 1903-1916, y compris les périodes troublées.

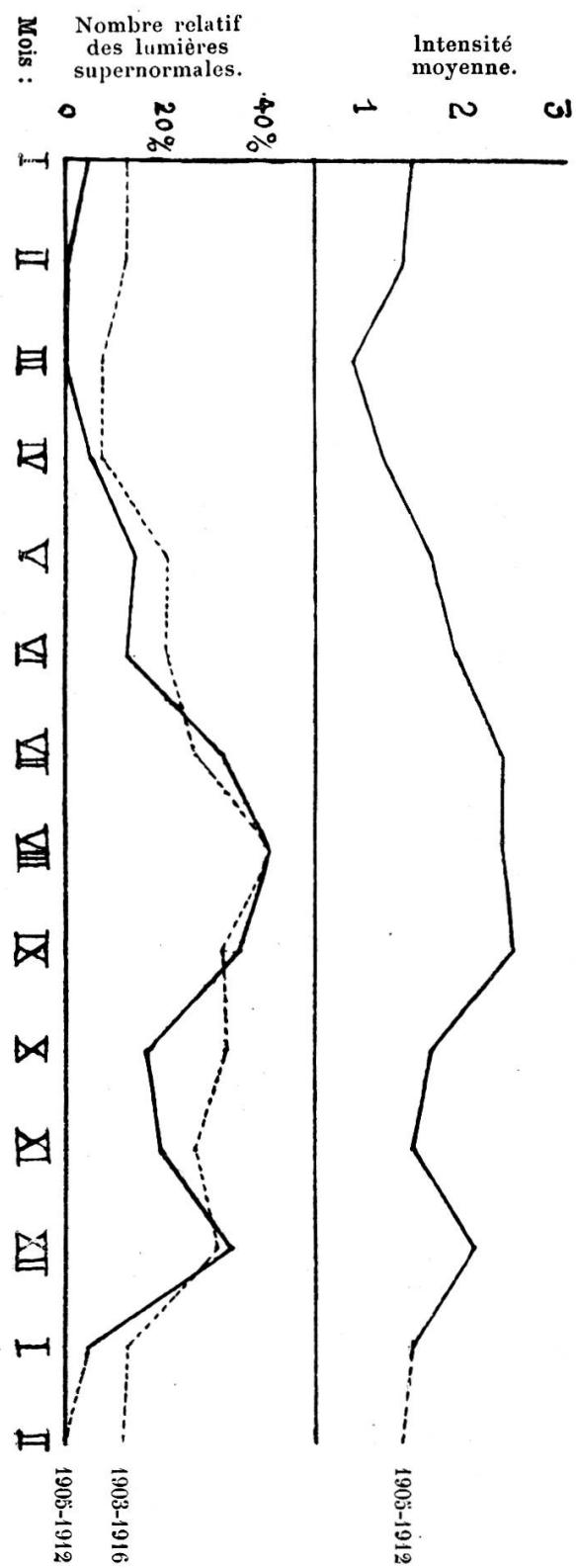


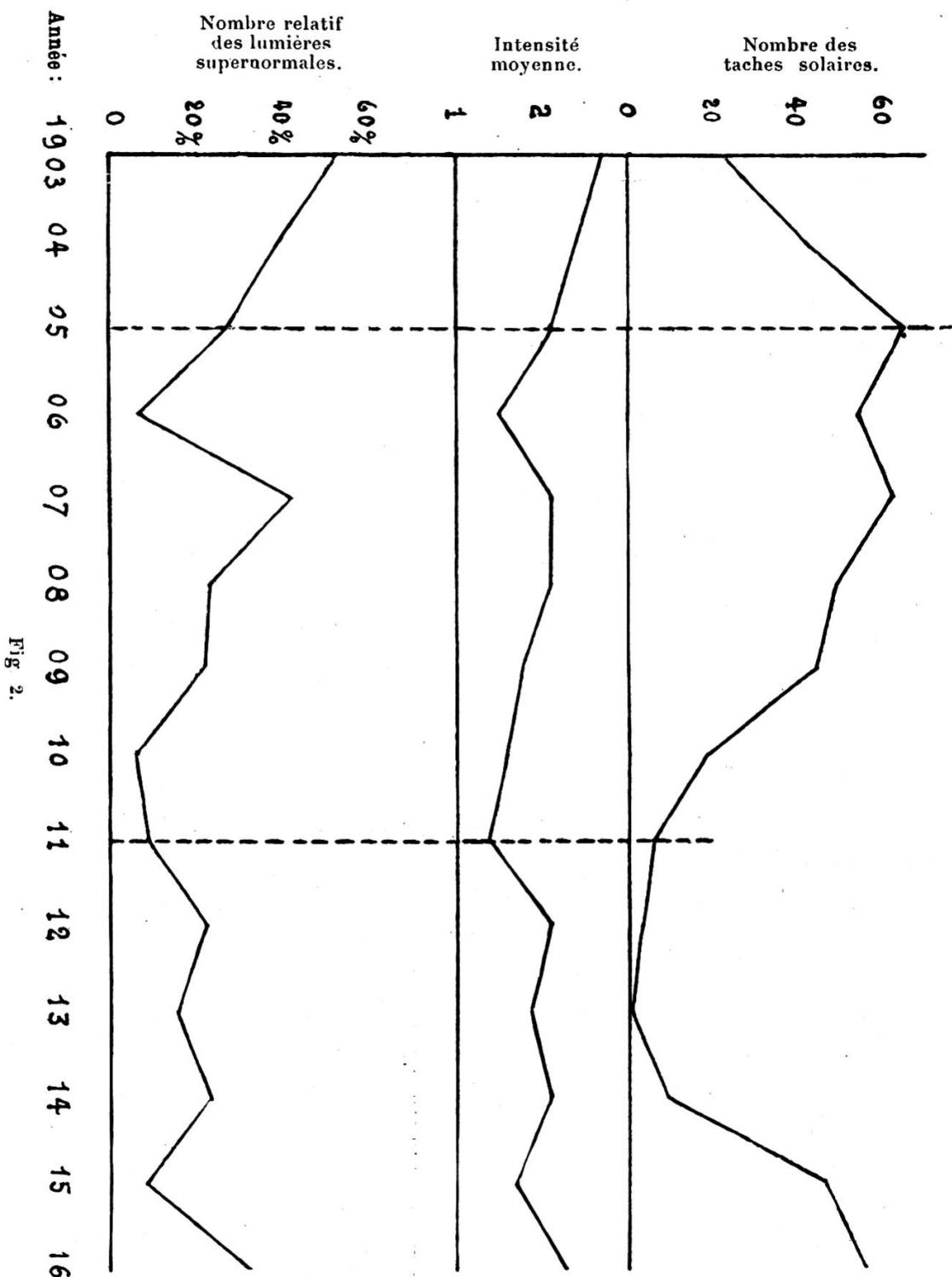
Fig. 4.

tement de reconnaître la *période annuelle de la lumière pourprée* :

Le développement de la lumière pourprée atteint un minimum vers le commencement du printemps et un maximum vers la fin de l'été. Un maximum secondaire se forme en hiver, un minimum secondaire en automne. La même marche annuelle se retrouve aussi par rapport à la dépression solaire au moment de la fin de la lumière pourprée, et aussi, jusqu'à un certain degré, dans sa durée ; cependant il ne faut pas oublier que la durée varie tout naturellement du solstice à l'équinoxe.

Si nos résultats ne concordent pas tout à fait avec ceux d'observateurs plus anciens, par exemple avec ceux de M. Rigganbach, cela ne doit pas étonner. Ceux-ci n'ont en général pas fait des études réparties également sur tous les mois de l'année, de sorte que certaines périodes de l'année prédominent nécessairement dans leurs calculs des moyennes mensuelles. Ce ne sont que des périodes d'observations de très longue durée et très suivies qui peuvent donner un résultat approximativement juste, et nous nous rendons très bien compte que notre période de 7 années est encore trop courte pour pouvoir permettre des conclusions définitives.

F. *La période séculaire de la lumière pourprée.* Ce que nous venons de dire s'applique à bien plus forte raison aux conclusions qui suivent. Il serait téméraire de vouloir déduire une périodicité des phénomènes crépusculaires d'une série d'observations ne s'étendant que sur 14 années. Néanmoins nous nous permettons de donner ici les résultats auxquels nos observations nous ont conduits, ne serait-ce que pour indiquer la voie sur laquelle des recherches futures devraient s'engager. Dans le tableau suivant, nous avons réuni les mêmes données que dans le tableau précédent, mais cette fois pour les moyennes annuelles des années 1903-1916. Nous avons omis l'indication de la durée qui ne présente pas d'intérêt particulier dans sa moyenne annuelle, par contre la huitième colonne contient le nombre moyen annuel des *taches solaires*, d'après les observations précieuses de M. Wolfer à Zurich.



VALEURS MOYENNES ANNUELLES OBSERVÉES A BERNE.

	Dépression du soleil pour les phases :			Intensité	Lumières supernormales en %	Nombre des lumières second.	Nombre moyen des tâches solaires
	Com-mence-ment	Max. d'inten-sité	Fin				
1903	°	°	°	2,7	52	8	24
1904	2,5	3,9	5,5	2,4	39	5	42
1905	2,4	3,9	5,6	2,1	27	7	64
1906	2,2	4,0	4,9	1,5	7	0	54
1907	2,1	3,4	4,8	2,1	42	0	62
1908	2,2	3,6	5,2	2,1	23	0	49
1909	2,3	3,6	5,1	1,8	21	0	44
1910	2,5	4,0	5,1	1,6	6	0	19
1911	3,0	4,2	5,4	1,4	9	0	6
1912	2,1	3,7	5,1	2,1	22	1	4
1913	2,2	3,7	5,3	1,9	16	5	1
1914	2,1	3,8	5,3	2,1	23	0	9
1915	2,3	3,9	5,3	1,7	8	0	46
1916	2,2	3,7	5,2	2,3	32	1?	55
Moy. totale	2,3	3,8	5,2	2,0			

La représentation graphique, fig. 2, donne d'abord la courbe du *nombre moyen des tâches solaires*, puis la courbe de l'*intensité moyenne annuelle des lumières pourprées*, enfin la courbe du *pour cent des lumières supernormales*.

En séparant la période non troublée de 1905 à 1911, il est très frappant de voir que *les trois courbes montrent pour cette période une allure semblable qui ne peut être méconnue*, tandis que pour les autres années (excepté 1916) la divergence de la courbe des tâches solaires et des deux autres courbes concernant la lumière pourprée (qui s'accordent très bien entre elles deux) est excessive. Dans ces deux dernières courbes les périodes troublées de 1903 et de 1912-1914 montrent des maxima accentués qui ne se retrouvent nullement dans la courbe des tâches solaires. Ce n'est qu'en 1916 que la marche devient analogue, et nous croyons utile de rappeler à ce propos qu'il est très probable, d'après les observations de M. Dorno, que le trouble atmo-

sphérique de 1916 a été causé par l'activité solaire elle-même. Avec la prudence, indispensable, qui doit accompagner des considérations de ce genre, il nous semble pourtant permis de conclure qu'il *y a un rapport indubitable entre l'activité solaire et l'intensité du développement des lumières pourprées.*

Ici des hypothèses nombreuses se présentent à l'imagination, mais nous croyons que ce n'est pas encore le moment de se décider pour l'une ou pour l'autre. Par contre nous avons fait encore un calcul qui, à vrai dire, est très hasardeux, mais donne pourtant un certain appui à notre thèse concernant le rapport avec l'activité solaire. Celle-ci ayant pour la terre une période de 26 à 27 jours, par suite de la rotation du soleil, nous avons classé toutes nos observations dans la période non troublée, de 1905-1912, d'après des périodes de 26,5 jours et nous avons formé la *somme des lumières supernormales* tombant dans chaque période sur le même jour. Ce dénombrement donne le résultat suivant:

Période de 26,5 jours :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Nombre de lumières supernormales :	2	1	3	5	1	5	3	3	3	4	1	4	2	8

Période de 26,5 jours :	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Nombre de lumières supernormales :	5	4	6	2	3	3	1	1	1	3	2	3	1

Il semble bien que le 14^{me} jour de cette période, ainsi que les jours avoisinants, présentent un maximum marqué, et qu'il paraît pour le moins probable que *l'intensité des lumières pourprées suit, dans une certaine mesure, la période solaire de 26,5 jours.*

Encouragés par ce résultat, nous nous sommes demandé si une influence de la *lune* pourrait aussi être constatée. Dans un second dénombrement, nous avons fait la somme des lumières supernormales pour les jours correspondant aux mêmes phases lunaires, mais seulement pour la période 1905-1912 et nous avons trouvé le résultat suivant:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Période de 29,5 jours :															
Nombre de lumières supernormales :	3	2	3	2	2	2	5	5	6	3	4	4	4	3	3
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Période de 29,5 jours :															
Nombre de lumières supernormales :	5	2	2	2	2	1	1	0	0	0	4	1	1	1	1

Ici aussi il y a une accumulation sensible aux environs du premier quartier de la lune, qui ressort particulièrement par comparaison au minimum très marqué aux environs du dernier quartier. Il semble donc que là aussi se révèle *une certaine périodicité en relation avec les phases de la lune*; mais dans ce cas-là, il faut remarquer que cette périodicité pourrait être purement optique, étant peut-être due à l'illumination secondaire que la lune produit sur le firmament.

En résumé, nous croyons qu'il n'y a pas d'utilité à rechercher les causes profondes de ces périodicités solaires et lunaires, avant que des observations beaucoup plus nombreuses et régulières les démontrent ou les réfutent clairement. Mais nous ne voulions pourtant pas passer sous silence ces calculs qui doivent encourager les recherches statistiques dans ce domaine.

G. *La période de la lumière secondaire.* Parfois la lumière pourprée principale, dont nous avons parlé jusqu'à présent, est suivie, peu après sa disparition sous l'horizon, le soir, d'une seconde lumière toute analogue, mais plus faible, de nuance plus foncée et plus diffuse: c'est la lumière pourprée secondaire. Il ne nous a pas encore été possible de discuter toutes les observations concernant cette lumière secondaire, mais la statistique faite à leur sujet et contenue dans les deux derniers tableaux fait cependant ressortir un point essentiel que nous avons contrôlé par l'examen des résultats de tous les autres observateurs européens, pour autant que ces résultats sont parvenus à notre connaissance:



Les lumières pourprées secondaires n'apparaissent que durant des périodes de trouble atmosphérique-optique et sont directement caractéristiques pour ceux-ci. Dans nos régions, elles ne se montrent que du mois d'août au mois de février; ce n'est que pendant des troubles extrêmement forts et par un air très pur qu'elles peuvent être vues exceptionnellement au printemps ou en été. Elles possèdent aussi une période annuelle, qui est un peu différente de celle des lumières principales.

IV. — LA SPECTROPHOTOMÉTRIE DE LA LUMIÈRE POURPRÉE.

A. *Le spectre du ciel au couchant.* L'auteur a essayé parfois d'étudier le spectre des lueurs crépusculaires à travers un petit, mais très bon spectroscope de poche à vision directe; il a même obtenu quelques photographies de ce spectre, bien distinctes, mais ne donnant pas la partie essentielle, le rouge. En général il n'a rien trouvé de sensiblement neuf et il suffira d'indiquer brièvement quelques points essentiels:

Ce qui caractérise le spectre visible du ciel crépusculaire, c'est un renforcement marqué de certaines lignes telluriques, en même temps qu'un affaiblissement général des couleurs de petite longueur d'onde. En premier lieu ressortent le *groupe α* ($\lambda = 628 \mu\mu$) dans le rouge et le *low-sun-band* (*groupe δ* et α' , λ de 567-584 $\mu\mu$) dans le jaune; en second lieu le *groupe C_1* (λ environ 653 $\mu\mu$) dans l'orange; et la *bande de pluie* de *Piazzi Smith* (λ de 585-603 $\mu\mu$) dans le jaune et enfin encore quelques groupes plus faibles dans le vert et le vert-bleu. L'apparition de ces lignes est simple à expliquer: α et *low-sun-band* proviennent essentiellement de l'absorption de l'oxygène atmosphérique, formant pour les rayons du soleil une courbe toujours plus longue, à mesure que celui-ci descend sous l'horizon; C_1 et la *bande de pluie*, par contre, révèlent l'existence de vapeurs aqueuses dans l'atmosphère et sont par là même plus variables que les autres groupes de lignes. Comme d'autres observateurs (M. Rigganbach et d'autres) l'ont déjà fait remarquer, le *low-sun-band* et la *bande de pluie* éteignent en grande partie la zone jaune du spectre, ce qui explique probablement une certaine prédominance des

nuances violettes, complémentaires, dans la lumière pourprée.

B. *La spectrophotométrie dans le rouge pour la phase initiale de la lumière pourprée.* L'auteur a déjà publié à deux reprises¹ dans les *Archives*, quelques résultats de ses recherches spectrophotométriques, ceux-ci n'ayant qu'un caractère provisoire; maintenant il nous est possible de les donner dans leur totalité.

Dans la première de ces publications nous avons décrit *le petit spectrophotomètre à main*, permettant de comparer l'intensité de la partie la plus éclairée de la lumière pourprée avec une lumière d'intensité constante, pour différentes zones du spectre de diffraction, spécialement pour le rouge d'une longueur d'onde moyenne de $640 \mu\mu$. Des vingt-quatre séries d'observations, effectuées du 22 août 1913 au 21 mai 1914, nous avons dû en rejeter douze. Pour les douze autres, nous avons agi de la manière suivante, afin de nous débarrasser autant que possible des nombreuses causes d'erreurs de notre appareil bien imparfait et de la méthode très insuffisante: Chaque série d'observations fut représentée graphiquement, les abscisses donnant la dépression du soleil, les ordonnées l'intensité photométrique, mesurée en unité arbitraire. Les points obtenus furent reliés par une courbe continue et aussi régulière que possible; ici il faut bien relever l'arbitraire inévitable de cette méthode: en évitant tous les sauts qui auraient pu se produire dans la courbe, on risque fort de masquer ainsi des irrégularités qui ne proviennent pas d'une erreur d'observation mais qui existent bel et bien dans la nature elle-même, et ainsi il n'est pas étonnant que nos conclusions soient, à certains égards, un peu fautives en ce qui concerne la régularité de la courbe photométrique. De cette courbe, nous avons pris les points correspondant aux abscisses de $1/2$ en $1/2$ degré de dépression solaire; les valeurs ainsi obtenues ont été rapportées dans des tableaux, et ce sont elles qui sont désignées comme « intensité photométrique observée dans le rouge ». Comme ces intensités sont rapportées à l'intensité d'une lampe

¹ GRUNER, P. Quelques remarques... *Arch.* 1914, vol. 37, p. 226.
GRUNER, P. La photométrie de la lumière pourprée. *Arch.* 1914, vol. 38, p. 335.

à incandescence dont la constance absolue d'une soirée à l'autre n'était pas très certaine, nous n'utilisâmes pas encore ces résultats pour la discussion définitive. Afin d'éliminer si possible les erreurs d'observation, nous calculâmes pour chaque série *l'intensité photométrique réduite*; fixant arbitrairement à 100 la valeur de cette intensité pour une dépression solaire de $1^{\circ},5$, nous rapportâmes les mesures photométriques à cette unité et obtîmes ainsi des résultats comparables entre eux, mais ne possédant naturellement aucune valeur absolue. Malheureusement, notre appareil affaiblissait beaucoup l'intensité de la lumière observée et, après un examen sérieux, nous nous vîmes forcés de rejeter toutes les observations dépassant une dépression solaire d'environ $3^{\circ},5$; de la sorte, nos mesures ne nous donnèrent que le développement initial de la lumière pourprée, de $1^{\circ},5$ à $3^{\circ},5$ de dépression solaire, et la partie la plus intéressante, le maximum et le déclin de la lumière, échappa à nos investigations.

Néanmoins, certains résultats se dégagèrent immédiatement:

1° *L'intensité photométrique dans le rouge diminue très rapidement avec la dépression solaire croissante, approximativement d'après une courbe exponentielle.* La formation initiale de la lumière pourprée ne produit donc aucunement une augmentation considérable de l'intensité rouge du ciel, comme on s'y attendait, mais seulement peut-être un léger ralentissement dans sa marche descendante (à moins que, pour la raison mentionnée plus haut, p. 27, un léger accroissement ait échappé à notre méthode d'investigation).

2° Il paraît ressortir de nos douze observations, réparties sur des lumières pourprées d'intensité très diverse, que le degré de leur intensité maximum se révèle déjà d'avance, en ce que *la descente de la courbe photométrique (dans le rouge) pour des dépressions solaires de $1^{\circ},5$ à $3^{\circ},5$ est sensiblement plus lente si la lumière pourprée qui commence à peine à se développer est plus intense.* Si ces observations se confirment, on pourra donc déterminer d'avance, par photométrie, si une lumière pourprée en formation restera faible ou deviendra brillante.

Au point de vue physique, il en résulte que *ce serait la nature des couches atmosphériques, placées sous l'horizon et traversées*

par les rayons solaires, qui influerait essentiellement la coloration et l'intensité de la lumière pourprée et non les couches visibles où cette lumière se forme, soit par réflexion diffuse, soit par diffraction. Cette opinion, exprimée déjà par M. Rigganbach de Bâle, paraît être confirmée par les mesures photométriques au zénith, effectuées par M. Dorno à Davos. Selon ses indications, une prédominance du rouge dans le bleu zénithal est généralement accompagnée d'une lumière pourprée intense.

C. *La photométrie comparée dans le rouge et le vert.* La méthode que nous venons de décrire étant très imparfaite, nous entreprîmes la construction d'un appareil mieux approprié à nos besoins, construction qui nous fut rendue possible, grâce à un don très généreux du « Bernische Hochschulverein ». Nous ne ferons pas la description de cet appareil, dont nous avons déjà parlé sommairement dans notre article de novembre 1914 des *Archives*. Nous rappelons seulement qu'il nous donna la possibilité de photométrier rapidement et alternativement différentes zones du ciel: le maximum de la lumière pourprée et les parties au-dessus d'elle, à 30° et 45° de hauteur, et cela tant dans le rouge ($\lambda =$ environ $655 \mu\mu$), que dans le vert ($\lambda =$ environ $535 \mu\mu$). Cette fois nos mesures purent s'étendre jusqu'à une dépression solaire de $6^\circ,0$, c'est-à-dire jusqu'après disparition complète de la lumière pourprée; toutefois les observations vraiment utilisables ne commencent que pour des dépressions solaires de $3^\circ,0$.

Des vingt-huit séries d'observations effectuées du 11 juin 1914 au 20 avril 1915, il n'y en eut que quatorze qui, après un examen serré, purent être acceptées comme bonnes; par malheur il ne se trouve dans toute cette période que trois lumières supernormales et aucune d'elles ne fut très intense et ne dépassa l'intensité 3 (2 étant l'intensité moyenne, 5 le maximum cracatoësque). Les résultats furent traités de la même manière que ceux du paragraphe précédent, les irrégularités furent égalisées autant que possible (peut-être trop!) et de ces courbes égalisées, nommées « intensités observées », furent déduites les « intensités photométriques réduites », rapportées à la valeur 100, correspondant cette fois à une dépression solaire de $3^\circ,0$. Pour chaque soirée, les observations visuelles de l'intensité (échelle

de 1-5), telle qu'elle se présente à l'œil de l'observateur, furent aussi représentées graphiquement et comparées aux courbes photométriques. Il va sans dire que l'allure de la courbe photométrique observée et de l'intensité visuelle diffèrent complètement, la première étant une courbe plus ou moins exponentielle, descendant rapidement avec la dépression solaire, la seconde ayant quelque peu une forme parabolique avec un maximum entre $3^{\circ},5$ et 4° de dépression solaire.

Mais la ressemblance des courbes devient tout à coup très frappante si l'on forme le *rapport* des intensités photométriques observées dans le rouge et dans le vert; et même les valeurs numériques de cette courbe, multipliées par cinq, correspondent, à une demie ou une unité entière près, assez bien avec la courbe de l'intensité visuelle. Ainsi nous croyons avoir trouvé un résultat important que l'on peut formuler comme suit :

Le rapport des intensités photométriques observées du rouge au vert est bien caractéristique pour le développement de l'intensité de la lumière pourprée telle qu'elle se présente à l'œil nu.

L'exemple suivant, que nous avons aussi représenté graphiquement, permettra de juger de la justesse de notre assertion.

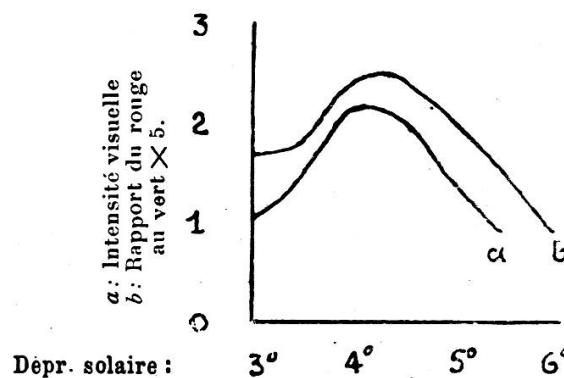


Fig. 3.

Observation du 8 octobre 1914.

Dépression solaire :	3°	3,5°	4,0°	4,5°	5°	5,5°	6,0°
Intensité photométrique observée.	{ rouge :	100	63	37	19	9	4
	{ vert :	300(?)	180	76	39	22	13
Rapport : $\frac{\text{rouge}}{\text{vert}} \times 5$:	1,7	1,8	2,4	2,4	2,0	1,5	0,9
Intensité visuelle :	1,0	1,5	2,1	2,0	1,4	0,9	0,0

Si cette conclusion se confirme, les mesures photométriques dans le rouge et le vert permettront d'atteindre un but très désirable de *fixer objectivement le développement visuel de la lumière pourprée*.

Nos mesures, s'étendant sur les régions voisines de la lumière pourprée, doivent aussi rendre compte de l'*effet de contraste* qui se produit entre la zone pourprée et le ciel ambiant. Ce contraste semble bien être réel, mais pourtant il est beaucoup moins accentué que nous ne l'avions cru au premier abord. Par contre ces mesures, trop peu nombreuses dans ce domaine, paraissent indiquer la marche suivante :

Le rapport du rouge au vert au ciel du couchant, durant le développement de la lumière pourprée, semble augmenter à mesure que la partie du ciel observée est située plus près de l'horizon. Ce rapport augmente et puis diminue pendant que le soleil descend de 3° à 5° sous l'horizon, et le maximum de cette courbe s'aplatit à mesure que la partie du ciel observée s'élève, — au zénith le maximum est imperceptible.

Ces résultats ressortent surtout de la comparaison suivante qui, à vrai dire, ne contient que des observations isolées et peut-être pas toutes comparables.

Le rapport du rouge au vert multiplié par cinq a donné les valeurs suivantes :

Le 30 juin 1914, au zénith, pour une dépression solaire de 3°, *plus petit que un*, puis diminue.

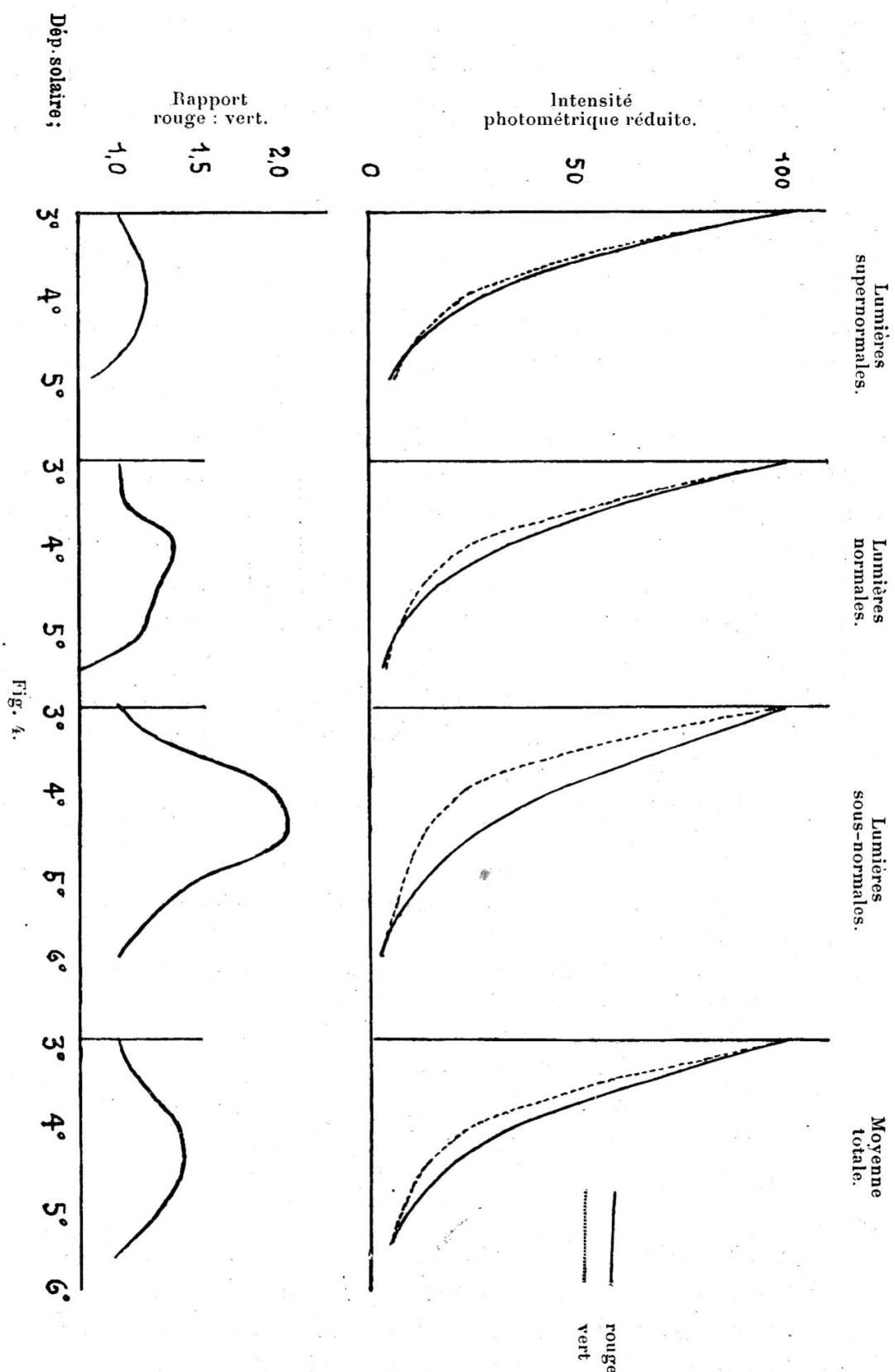
Le 26 novembre 1914, à 45° de hauteur, pour une dépression solaire de 5°, *presque un*, puis diminue.

Le 26 novembre 1914, à 30° de hauteur, pour une dépression solaire de 5°, *presque deux*, puis diminue.

Le 26 novembre 1914, à 15° de hauteur, pour une dépression solaire de 5°, *presque trois*, puis diminue rapidement.

Le 20 avril 1915, à 3° de hauteur, pour une dépression solaire de 5°, *presque sept*, puis diminue très vite.

Afin d'obtenir des résultats généraux, nous avons formé les moyennes de la manière suivante : moyenne des intensités photométriques réduites dans le rouge et dans le vert et moyenne de leur rapport, et cela pour les trois meilleures observations de lumières pourprées sous-normales, les trois de lumières nor-



males et les trois de lumières supernormales, enfin, de l'ensemble des quatorze observations. Nous donnons ci-après ces moyennes qui sont aussi représentées graphiquement à la p. 32.

Moyenne des lumières sous-normales.

	°	°	°	°	°
Dépression solaire :	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Intensité photométrique réduite	{ rouge :	100	58	28	13
	{ vert :	100	52	24	12
Rapport rouge : vert :	1,00	1,11	1,16	1,08	0,83

Moyenne des lumières normales.

	°	°	°	°	°	°
Dépression solaire :	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
Intensité photométrique réduite	{ rouge :	100	61	33	16	8
	{ vert :	100	60	25	13	7
Rapport rouge : vert :	1,00	1,02	1,32	1,23	1,14	0,75

Moyenne des lumières supernormales.

	°	°	°	°	°	°	°
Dépression solaire :	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
Intensité photométrique réduite	{ rouge :	100	73	44	26	14	7
	{ vert :	100	54	23	13	9	6
Rapport rouge : vert :	1,00	1,35	1,91	2,00	1,55	1,17	1,00

Moyenne des quatorze lumières pourprées.

	°	°	°	°	°	°
Dépression solaire :	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
Intensité photométrique réduite	{ rouge :	100	64	36	19	10
	{ vert :	100	57	27	14	8
						5
						(14 observations)
						(seulement 5 observ.)
Rapport rouge : vert :	1,00	1,12	1,34	1,36	1,25	1,00

Ces résultats font immédiatement ressortir que les courbes donnant le rapport du rouge au vert permettent, par un simple coup d'œil, de déterminer si la lumière observée est d'intensité sous-normale, normale ou supernormale.

Quant aux courbes donnant les intensités réduites, on entrevoit de même immédiatement, qu'à mesure que la lumière pourprée devient plus intense, la courbe rouge descend moins

rapidement, tandis que la courbe verte reste presque invariablement la même, suivant assez nettement une allure exponentielle.

On pourrait donc conclure que la photométrie dans le vert nous donne en général l'intensité totale du ciel, diminuant régulièrement avec l'abaissement du soleil, tandis que le rouge donne la coloration que les rayons solaires ont obtenue en traversant les couches atmosphériques au-dessous de l'horizon, coloration qui peut beaucoup varier et par suite produire des phénomènes crépusculaires pourprés d'intensité très variable.

D. *La spectrophotométrie totale.* En adaptant notre spectrophotomètre à main au nouvel appareil monté sur le théodolite,

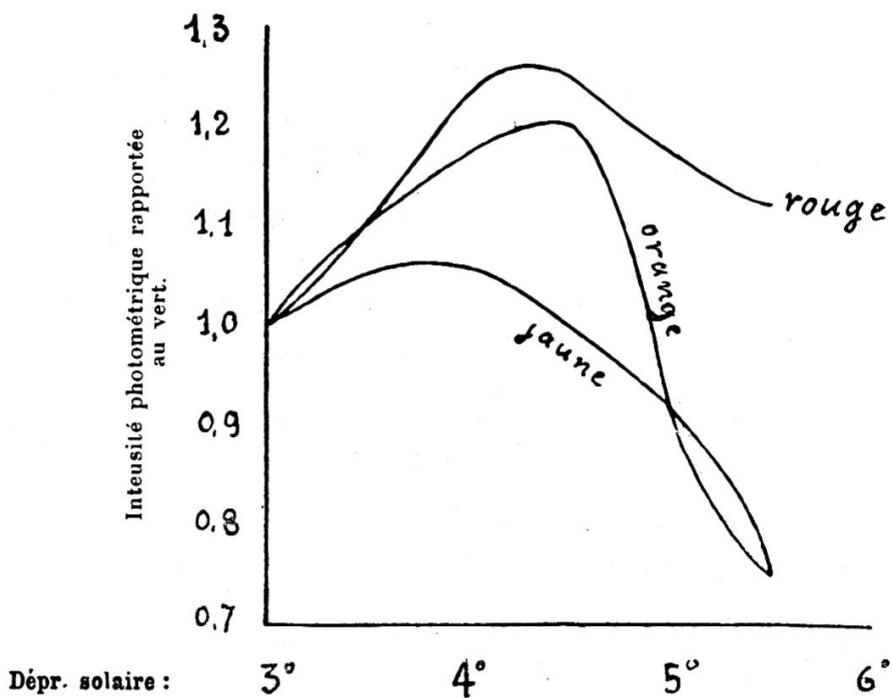


Fig. 5.

il nous devint possible d'étudier les colorations crépusculaires successivement dans 6 parties équidistantes du spectre : dans le rouge ($\lambda = 645 \mu\mu$), l'orange ($\lambda = 605 \mu\mu$), le jaune ($\lambda = 565 \mu\mu$), le vert ($\lambda = 525 \mu\mu$), le vert-bleu ($\lambda = 485 \mu\mu$) et le bleu ($\lambda = 445 \mu\mu$). Ces mesures étaient bien délicates et pénibles à exécuter et ne réussirent qu'après maints essais infructueux, du 24 mai au 23 septembre 1915. Ici aussi il ne resta, des 14 séries d'observations, que 7 quelque peu valables, mais même pour celles-

ci, l'exactitude est encore très peu satisfaisante et les mesures dans le vert-bleu et le bleu ont dû être rejetées définitivement.

La méthode employée pour la discussion des résultats fut la même que dans les cas précédents. Nous ne donnons que les valeurs moyennes des 5 observations les plus complètes, qui, malgré cette réduction, doivent être considérées comme un résultat purement approximatif.

Dépress. solaire °	Intensité photométrique réduite.				Rapport des intensités au vert.		
	Rouge	Orange	Jaune	Vert	Rouge	Orange	Jaune
3,0	100	100	100	100	1,00	1,00	1,00
3,5	66	66	63	60	1,10	1,10	1,85
4,0	43	41	37	35	1,23	1,17	1,06
4,5	25	24	29	20	1,25	1,20	1,00
5,0	14	11	11	12	1,17	0,92	0,92
5,5	9	6	6	8	1,12	0,75	0,75

Le tableau des rapports, ainsi que leur représentation graphique, (fig. 5, p. 34), confirme le résultat précédent, c'est-à-dire que le rapport du rouge au vert donne l'allure générale de la courbe de l'intensité visuelle de la lumière pourprée. Pour l'orange et le jaune cette allure est déjà modifiée, et l'on pourrait se demander si la descente si rapide, au-dessous du vert, ne serait pas causée par la forte absorption des lignes telluriques du spectre (voir page 27).

Nous n'insistons pas davantage sur ces derniers résultats de notre spectrophotométrie, parce que ces observations sont sujettes à trop d'erreurs et qu'il ne nous a pas été possible jusqu'à ce jour de perfectionner notre appareil et notre méthode comme nous le projetons.

E. *Observation de M. Dorno du 26 novembre 1916.* A titre de comparaison nous nous permettons ici une petite digression, en introduisant dans le résumé de nos travaux une belle observation qui n'en fait pas partie, mais que M. Dorno a bien voulu nous communiquer aimablement, longtemps après la clôture définitive de nos propres recherches. Il est vrai qu'il ne s'agit que d'une observation unique, faite sur une partie du ciel à 30° au-dessus de l'horizon (donc, probablement, au-dessus du

maximum de la lumière pourprée), dans le « vert » et le « rouge » qui vraisemblablement ne correspondent pas exactement à notre « vert » et « rouge »; mais cette observation, faite dans l'air pur de Davos, pour une lumière pourprée très intense (intensité 4!) et avec un excellent photomètre de Weber, a été effectuée dans des conditions beaucoup plus favorables que toutes les nôtres et mérite donc une attention spéciale.

Nous donnons ici les résultats de M. Dorno, calculés en intensité réduite, comme nous l'avons fait pour nos propres observations, ainsi que le rapport des intensités observées du rouge et du vert (multiplié par cinq) :

Dépression solaire :	°	°	°	°	°	°	°
	2,8	3,3	3,6	4,2	4,4	4,5	5,2
Intensité photomé- { vert :	107,9	76,8	48,0	50,0	43,6	32,6	8,1
trique réduite { rouge :	112,5	81,0	56,2	81,0	68,2	43,5	6,1
Rapport rouge : vert (observé, {	1,82	1,98	2,21	3,04	2,93	2,43	1,43
multiplié par 5) :							

Ce tableau confirme nos conclusions principales : *Le rapport du rouge au vert donne la mesure du caractère visuel de la lumière pourprée.* En général l'intensité, tant dans le vert que dans le rouge, descend ici rapidement aussi avec la dépression du soleil. Mais sur un point il y a discordance avec nos observations : pendant le développement du maximum de la lumière pourprée, de 3°,6 à 4°,4 de dépression solaire, il y a un rehaussement de l'intensité, faible pour le vert, mais bien marqué pour le rouge. — Il ne nous semble pas difficile d'expliquer cette discordance : nous avons déjà rappelé que nos observations avaient été dépouillées autant que possible de toutes irrégularités, afin d'éliminer les causes d'erreurs, mais que par là des irrégularités véritables disparaissaient aussi. Ajoutant à ce fait que les mesures de M. Dorno se rapportent à une très belle lumière pourprée et dépassent de beaucoup les nôtres en exactitude, nous pouvons conclure avec assez de certitude que l'intensité du ciel, au moment du maximum de la lumière pourprée, montre une légère augmentation qui peut être mesurée avec de très bons instruments et qui sera d'autant plus sensible que la lumière sera plus intense. — Que ce rehaussement ne se montre pas seulement dans le rouge, mais à un très faible degré aussi

dans le vert, confirmerait notre manière de voir, d'après laquelle la lumière pourprée se forme par réflexion diffuse des rayons solaires, et ne se réduit pas seulement au rouge, mais s'étend encore aux autres couleurs spectrales.

F. Conclusions générales des observations photométriques.
Nous résumons rapidement notre exposé précédent :

1. *Pour des dépressions solaires de 3° à 6°, l'intensité du vert dans le ciel coloré par la lumière pourprée diminue assez régulièrement, ne montrant peut-être qu'un faible rehaussement, pendant le maximum d'une lumière très intense.* En prenant les dépressions solaires comme abscisses et les intensités photométriques comme ordonnées, on obtient en moyenne une courbe exponentielle.

2. *L'intensité du rouge diminue d'abord moins rapidement que le vert, plus tard de nouveau plus rapidement. Ce ralentissement peut, pour des lumières très intenses, se transformer en un rehaussement passager sensible, pendant le développement maximum de la lumière pourprée.*

Ce ralentissement initial se manifeste généralement déjà avant la formation de la lumière pourprée et est en rapport direct avec l'intensité visuelle de celle-ci. Cette marche de la coloration rouge ne se montre pas seulement dans la lumière pourprée, mais aussi dans les parties du ciel plus élevées.

3. *Le rapport de l'intensité du rouge au vert en fonction de la dépression solaire possède en général une marche toute analogue à celle de l'intensité visuelle de la lumière pourprée, ayant un maximum à environ 4° de dépression solaire.*

Ce rapport montre une marche semblable pour toutes les parties du ciel occidental, et sa valeur augmente à mesure que cette partie est plus près de l'horizon.

Le rapport de l'intensité de l'orange ou du jaune au vert correspond à peu près à celui du rouge au vert, mais il devient plus faible et il semble que, bientôt après le maximum, les intensités de l'orange et du jaune diminuent plus rapidement que celle du vert.

(A suivre).