

UNIVERSITÉ DE LIÈGE

INSTITUT D'ASTRONOMIE ET DE GÉODÉSIE

N° 60

Note sur la Perméabilité des Verres aux radiations ultra-violettes

PAR

P. GILARD,

Ingenieur civil des Mines (A. I. L.É.)
Adjoint à la Direction technique des Cristalleries du Val Saint-Lambert.

P. SWINGS,

Docteur spécial en Sciences physiques,
Assistant à l'Université de Liège.

ET

A. HAUTOT,

Docteur en Sciences physiques et mathématiques,
Assistant à l'Université de Liège.

Extrait de la Revue Belge des Industries Verrières », 1931.



Introduction.

Dans une note publiée par deux de nous, en 1929, dans les *Bulletins de la classe des Sciences de l'Académie Royale de Belgique* et ayant trait à l'exposé d'une « Méthode simple de détermination de l'absorption des verres dans la région ultra-violetle du spectre » (1), nous avons souligné l'intérêt tout spécial, qui, en ces dernières années, s'est attaché à la question de la transparence du verre, du verre à vitres surtout, aux rayons ultra-violetes.

Les facteurs qui influencent cette transparence, sont nombreux.

Il n'ont été qu'occasionnellement et plus ou moins sommairement étudiés jusqu'ici.

Parmi eux, la composition du verre joue un rôle primordial.

Ayant été amenés, au cours de l'expérimentation de notre méthode, à constater certaines différences avec les résultats actuellement connus, nous avons cru utile

(1) P. Gilard et P. Swings. — *Bull. Ac. R. de Belgique, cl. des Sc.*, 15-749.1929.

de préciser quelques points, d'en vérifier d'autres, et nous avons entrepris d'étudier l'influence des différents constituants des verres sur leur perméabilité à l'ultra-violet.

A l'occasion de cette recherche, nous avons cru bon de résumer dans un exposé succinct, l'état actuel de la question de la transparence des verres aux radiations ultra-violettes, en insistant encore sur l'intérêt qu'elle présente, et de rappeler, en les discutant quelque peu, les différentes méthodes employées pour la déterminer.

CHAPITRE PREMIER.

L'ultra-violet.

Avant d'aborder le sujet qui nous préoccupe plus directement et d'exposer le résultat de nos propres recherches, nous ferons une incursion dans le domaine de l'ultra-violet. Nous pénétrons peu à peu dans une région, mystérieuse encore il y a cent ans, et que la science a progressivement repérée; région magique, aussi, dans laquelle des radiations de longueurs d'onde de plus en plus courtes, sont douées de propriétés dont on a reconnu la merveilleuse action.

I. — Observé par un œil normal au moyen d'un prisme en verre par exemple, le spectre solaire semble limité, du côté des courtes longueurs d'onde à la région de 4,000 Å.

Les vibrations de longueur d'onde plus courte que celles de la lumière visible, forment le spectre ultra-violet, dit aussi spectre chimique par suite des propriétés qui le caractérisent.

Le spectre connu aujourd'hui comporte plusieurs régions qui ont été successivement explorées.

La première s'étend des derniers rayons violets visibles, c'est-à-dire de la longueur d'onde $\lambda = 4,000\text{Å}$ à la longueur d'onde $\lambda = 3,000\text{Å}$. Elle est donc con-
tiguë au spectre visible et représente l'ultra-violet initial ou ultra-violet solaire, appellation justifiée par le fait que toutes ces radiations se trouvent dans celles que le Soleil envoie sur la Terre.

Les radiations plus courtes, bien qu'émisses abondamment par le Soleil sont arrêtées par l'atmosphère, vraisemblablement par suite de l'ozone qu'elle contient.

La deuxième région constitue l'ultra-violet moyen. Il s'étend de la longueur d'onde $\lambda = 3,000 \text{ \AA}$ à la longueur d'onde $\lambda = 2,000 \text{ \AA}$. Ces radiations sont abiotiques, microbicides, stérilisantes. Au point de vue chimique, leur rôle est analogue à une élévation modérée de température, qui atténue les résistances passives et accélère les réactions spontanées irréversibles.

La troisième région s'étend de la longueur d'onde $\lambda = 2,000 \text{ \AA}$ à la longueur d'onde $\lambda = 100 \text{ \AA}$. Elle forme l'ultra-violet extrême et comporte elle-même deux subdivisions : la première de $\lambda = 2,000 \text{ \AA}$ à $\lambda = 1,200 \text{ \AA}$ qui est la région de Schumann, la seconde de $\lambda = 1,200 \text{ \AA}$ à $\lambda = 100 \text{ \AA}$, qui est la région de Lyman.

Cette troisième région présente les mêmes propriétés abiotiques que la deuxième; mais au point de vue chimique, la différence d'effet entre ces radiations et les précédentes est analogue à la différence d'action des hautes et des moyennes températures. Elles atténuent très fortement les résistances passives. Au point de vue chimique, elles provoquent les réactions réversibles, jouant ainsi dans de nombreux cas, un rôle analogue à celui des températures élevées.

Les radiations des deux dernières régions citées — donc de la longueur d'onde $\lambda = 3,000 \text{ \AA}$ à $\lambda = 100 \text{ \AA}$ — sont, comme nous l'avons dit, arrêtées par l'atmosphère dans le rayonnement solaire, mais se trouvent en abondance dans la lumière des arcs électriques et dans celle des étincelles.

Dans la région de Lyman, les radiations sont absorbées par la plupart des corps connus.

On a mesuré la longueur d'onde de nombreuses radiations qui sont émises dans ce domaine; les recherches récentes faites au moyen de spectrographes à vide et d'étincelles dans le vide, par Bowen et Millikan (spectre de Boll et Boll; C II, C III et C IV; Si II,

Si III, Si IV; P III, P IV et P V; S IV, S V, S VI; Se III; Ti IV; Va V; Yt III; Zn IV, etc.), par Lang (Ca III, Ce IV, Sb V, Te VI); par Rao (Ge IV, Sn IV), par Carroll (Pb IV, Te III, etc.), Bloch, Ericson, Siegbahn, etc., ont montré que l'étude des raies émises dans le domaine ultra-violet lointain par les atomes ionisés est nécessaire pour l'établissement des schémas des niveaux électroniques de ces ions.

La longueur d'onde $\lambda = 100 \text{ \AA}$ constitue la limite extrême de l'ultra-violet actuellement connu dont l'étendue totale est donc de cinq octaves environ.

2. — Au point de vue théorique comme au point de vue pratique, une des caractéristiques des rayons ultra-violets est leur facile absorption par la plupart des corps et c'est ce qui a rendu lente et pénible, l'étude de cette région si intéressante du spectre.

L'opacité d'un milieu pour une radiation dépend évidemment de l'épaisseur traversée par cette dernière, mais on peut dire en restant dans les limites courantes, que le verre — pratiquement — ne peut être employé efficacement que dans les appareils destinés à l'étude de l'ultra-violet initial, soit jusqu'à la longueur d'onde $\lambda = 3,000 \text{ \AA}$, son absorption étant très forte pour les ondes plus courtes.

Trois minéraux, le quartz, le sel gemme, la fluorine — pratiquement utilisables parce qu'on les trouve dans la nature en masses abondantes suffisamment homogènes — sont plus perméables que le verre aux radiations ultra-violettes, et ont permis l'étude de la région comprise entre $\lambda = 3,000 \text{ \AA}$ et $\lambda = 1,500 \text{ \AA}$ dans laquelle la présence de minces couches d'air n'est pas gênante.

Sous une épaisseur de 2 mm., le quartz laisse passer l'ultra-violet jusqu'à $\lambda = 1,500 \text{ \AA}$, sous 0.2 mm., jusqu'à $\lambda = 1,450 \text{ \AA}$.

La fluorine, d'après Lyman, est perméable à la majeure partie des radiations ultra-violettes jusqu'à $\lambda = 1,330$ A, et laisse passer encore quelques leurs jusqu'à $\lambda = 1,230$ A, les échantillons colorés étant en général moins transparents que les échantillons incolores, la transparence aux radiations invisibles ne marquant pas nécessairement de pair avec la transparence aux radiations visibles.

3. Quant au sel gemme, d'après Pflüger, son absorption serait de 30 p. c. pour $\lambda = 1,860$ A sous une épaisseur de 1 centimètre.

D'autres minéraux, dont l'emploi ne peut être que très limité par suite des faibles dimensions et quantités dans lesquelles on les trouve dans la nature, ont des perméabilités intéressantes pour certaines radiations : la topaze sous 1.5 mm. est perméable jusqu'à $\lambda = 1,570$ A; le gypse, sous 1 mm., jusqu'à 1,650 à 1,770 A; la baryte en lames de 1 à 2 mm. est comparable au sel gemme; l'alun, sous 1 mm. est transparent jusqu'à $\lambda = 1,750$ A.

Les gaz et vapeurs ont, dans l'ultra-violet, des spectres d'absorption variables selon leur nature, leur état physique et l'épaisseur traversée.

Nous nous bornerons à rappeler que l'étude de la région de Lyman a nécessité la spectrographie dans le vide, l'absorption par l'air, même en couche très mince, proscrivant toute mesure dans cette région.

3. — Nous ne croyons pas utile de nous étendre davantage sur ces différents points. Notre seul but, en les rappelant au commencement de notre travail, a été de donner une vue d'ensemble du domaine dans lequel nous voulons pénétrer, qui comme nous l'avons vu, comporte plusieurs parcelles d'accès difficile et qu'on ne peut explorer qu'à l'aide d'un matériel de plus en plus sensible et au prix de soins extrêmes.

CHAPITRE II.

Intérêt des verres ultra-violet.

Il n'est pas dans nos intentions de faire ici l'apologie de l'ultra-violet et nous ne croyons pas utile d'entrer dans le détail des rôles multiples qu'il peut jouer, des applications auxquelles il se prête.

Depuis sa découverte par Wollaston en 1801, il fut maintes fois cité à l'ordre du jour de la Science pour les services qu'il lui rend et sa connaissance de plus en plus parfaite à laquelle restent attachés les noms de savants illustres est une source constante de progrès pour l'humanité.

4. — Agissant dans le domaine chimique comme agent de catalyse et de synthèse, opérant des décompositions et des combinaisons nombreuses; dans le domaine physique, par sa propriété de produire la phosphorescence et la fluorescence de certains corps; dans le domaine physiologique par l'effet biotique de certaines radiations et surtout par l'effet abiotique, destructeur de vie, de la plupart de celles qui le constituent, doué donc de propriétés susceptibles d'applications nombreuses, l'ultra-violet vit s'étendre largement son champs d'utilisation.

Pour le Physicien, la connaissance de verres diversément transparents aux rayons ultra-violettes serait très utile. Par exemple, le choix de verres adéquats pourrait vraisemblablement permettre de sélectionner certaines régions du spectre ultra-violet, jouant dans ce domaine un rôle analogue à celui d'écrans colorés dans le domaine visible. Il permettrait aussi la fabrication (avec des pièces optiques de dimensions égales) de spectrographes pour l'ultra-violet, plus dispersifs que les appareils en quartz, ce dernier ayant un indice

de réfraction très faible dans le spectre visible et le commencement de l'ultra-violet.

L'astronome également serait très heureux de trouver de bons verres transparents aux rayons ultra-violets. Lorsqu'on examine les diagrammes stellaires obtenus par exemple dans les grands observatoires (Meudon, Mont-Wilson, Harvard, Lick...), on constate que très peu d'entre eux s'étendent au delà de 3,800 Å. La cause de cette limite rapprochée est purement instrumentale; elle consiste dans l'absorption des verres ordinaires dont sont constitués les objectifs et spectrographes; la réalisation de grandes pièces optiques en quartz, en fluorine ou en eau est impossible; d'ailleurs, la limite d'observation étant de 2,900 Å, une transparence comme celle du quartz est inutile. Certes, pour les problèmes de classification spectrale des étoiles et de statistiques diverses, la conspécration de la région ultra-violet n'est pas indispensable. Mais pour beaucoup d'autres problèmes elle serait extrêmement utile. Ce serait le cas, par exemple, pour la détermination des températures stellaires par la répartition de l'énergie lumineuse dans le fond continu du spectre; ce fond continu s'avance plus ou moins vers les ondes courtes suivant la température de la photosphère stellaire.

Beaucoup de raies ultimes d'éléments tombent aussi dans la région en-dessous de 4,000 Å. Prenons par exemple Al, Mg et Li. On a comme raies ultimes :

Al	Mg	Li
3951.54	4571.15	6707.85
3944.03	3427.1	3232.61
3092.84	3302.94	
3092.72	3302.34	
3082.16		

On voit que beaucoup de ces raies ne peuvent être observées avec les appareils en verre ordinaire.

La photographie des planètes en lumière ultra-violet et infra-rouge a aussi conduit Wright (observ. Lick) à des résultats très intéressants.

5. — Les propriétés bactéricides de la lumière ultra-violet — appliquées notamment à la stérilisation des eaux et au traitement de nombreuses maladies microbiennes — sa faculté de modifier les colloïdes de la cellule vivante, d'accroître les réactions de défense; son action stimulante sur le métabolisme du phosphore, de l'azote, du calcium, du soufre, trouvent en hygiène et en médecine de vastes débouchés. Les nombreuses applications, enfin, de l'étude des phénomènes de fluorescence apparaissant dans les différents domaines de la chimie, tant de la chimie organique que de la chimie minérale et de la toxicologie sont d'un incontestable intérêt pour la vérification ou l'identification de la pureté des composés chimiques même en faibles traces et les recherches judiciaires qui ont tiré parti de ces propriétés ont trouvé dans les radiations ultra-violettes un de leurs plus fidèles et infailibles collaborateurs.

Ce sont toutefois les applications médicales des radiations ultra-violettes qui, en ces dernières années surtout, ont attiré sur elles une attention toute spéciale et cette attention ne s'est pas portée seulement sur les radiations abiotiques, microbicides, mais aussi sur les radiations de longueur d'onde plus grande, voisines du violet visible, dont l'effet sur l'organisme est des plus salutaire.

Actuellement la baignation lumineuse — l'héliothérapie artificielle ou mieux l'actinothérapie — prend une extension considérable et, à la suite d'expériences récentes dans la cure du rachitisme, fait merveille dans une foule d'états chroniques, diathésiques, constitutionnels.

La carence lumineuse, on le sait, constitue une cause importante d'anémie et de lymphatisme, une raison capitale de prédisposition à la scrofule et à la tuberculose, principalement dans les agglomérations urbaines très denses où le soleil ne distribue que très parcimonieusement son ultra-violet.

L'irradiation locale dans certains cas spéciaux, l'irradiation totale, dans d'autres, par des sources artificielles de rayons ultra-violet, telle la lampe en verre de quartz à vapeur de mercure, l'insolation artificielle, si l'on veut, porte remède à cette situation.

Jusqu'ici les sujets débiles sont traités dans des cliniques spéciales ou dans des solaria appropriés; des lampes leur fournissent en abondance l'ultra-violet qui leur est nécessaire. La masse entière cependant, ne profite pas encore comme il se pourrait des bienfaits que procure l'ultra-violet.

Toutefois, l'époque n'est peut-être pas lointaine où tous, enfants dans les classes des écoles, ouvriers dans les ateliers, malades dans les hôpitaux, recevront de façon permanente les radiations nécessaires à leur développement physique, non plus artificiellement, cette fois, mais naturellement. Ils recevront l'ultra-violet de la lumière solaire qui est impitoyablement arrêté par les vitres qui ferment les baies de toutes les habitations, l'ultra-violet promoteur de tonicité générale, d'énergie et de vie.

Tous les phénomènes dont nous venons de parler et qui trouvent, dans tous les domaines de l'Economie, des applications variées, sont provoqués par des radiations de fréquence variable et tandis que les radiations les plus longues, proches du visible et la lumière de Wood qui leur fait suite sont susceptibles d'effets bien définis, les radiations plus courtes sont indispensables pour en obtenir d'autres.

Or, ces radiations diverses, nous l'avons dit, ne peu-

vent être sélectionnées que par des filtres variés, dont la plupart sont de construction coûteuse, de fabrication difficile, d'une matière qui en général ne se prête pas à de larges applications pratiques.

6. — Le verre ordinaire n'est perméable à l'ultra-violet que jusque 3,500 Å. Certains verres spéciaux sont nettement plus perméables — le verre de silice est de ceux-là — mais leurs applications sont relativement limitées. Aussi l'intérêt de la connaissance de verres qui laisseraient passer, en quantités appréciables, des radiations de longueur d'onde de plus en plus petite n'est-il pas contestable.

Il explique les efforts qui, en ces dernières années, ont été tentés dans ce sens, dans le but d'obtenir un verre courant, un verre à vitre surtout, de plus en plus transparent à l'ultra-violet, un verre dont l'emploi serait utile à tous.

Là n'est pourtant qu'une partie du problème car la connaissance d'un verre très perméable pouvant remplacer le quartz ou la fluorine serait d'une portée immense.

Quel que soit le but que l'on se propose d'atteindre, l'étude de la transparence du verre aux radiations ultra-violettes, mérite qu'on s'y arrête. Des progrès sérieux ont été jusqu'ici déjà obtenus.

Des recherches tentées à ce jour, nous donnerons un court aperçu et nous nous efforcerons de dégager les résultats actuellement acquis.

CHAPITRE III.

Historique des verres ultra-violettes.

Etat actuel de la question.

7. — Le verre est le premier milieu que l'on ait employé pour l'étude du spectre ultra-violet; malheureusement son emploi s'est trouvé rapidement limité.

Le verre ordinaire à base de soude et de chaux, le crown, transparent pour les radiations visibles, ne l'est

en effet que très peu pour les rayons ultra-violet. Il laisse passer ceux qui sont voisins du visible; mais dès la longueur d'onde $\lambda = 3,500 \text{ A}$ une absorption importante commence à se manifester qui augmente très rapidement à mesure qu'on avance vers les petites longueurs d'onde et à partir de $\lambda = 3,200 \text{ A}$, l'absorption est pratiquement complète. La limite d'absorption varie évidemment avec l'épaisseur du milieu traversé; sous 1 à 2 mm., les crowns sont pratiquement opaques à l'ultra-violet inférieur à $\lambda = 3500 \text{ A}$.

Il importe de rappeler, que, sous le rapport de son emploi, la transparence au point de vue qualitatif, n'est pas déterminante de la valeur d'un verre, la quantité de lumière transmise jouant, en général, le rôle important.

8. — Une des toutes premières recherches sur l'absorption des verres est due à Chardonnet (C. R. 1882). Celui-ci avait observé que le spectre des rayons solaires, après traversée d'une lame de verre, était limité du côté des ondes courtes, même avec une durée d'exposition photographique prolongée et une lame mince. Il avait aussi examiné la question du raccourcissement du spectre en fonction de l'épaisseur de l'absorbant.

Dans la suite, plusieurs physiciens mesurèrent l'absorption de différents verres d'optique industriels, dans le domaine visible. Mais leurs mesures concernaient des cas isolés; elles se rapportaient à des verres d'optique catalogués, sans considération de la composition chimique de ces verres. (Nichols et Snow, Phil. Mag. 1892; Schjerming, Berl. Ber. 1885; Krüss, Z. S. für Inst. 1903.)

La transparence des crowns à l'ultra-violet fut étudiée particulièrement par Pflüger qui fit des mesures précises jusqu'à 3750 A (1903) et par Krüss qui, utilisant un crown au bore à l'aide d'un spectrophotomètre

tre avec écran fluorescent, trouva que ce verre sous 1 cm. d'épaisseur, laisse passer 8 % de la lumière incidente pour $3,100 \text{ A}$.

Le cristal, verre à base de plomb, même sous des épaisseurs très faibles, est plus absorbant que le verre ordinaire pour les rayons ultra-violet.

Les flints lourds sont moins transparents que les flints légers, ceux-ci étant eux-mêmes plus absorbants que les crowns.

Le verre de silice (verre de quartz ou silice fondue) présente pour l'ultra-violet une transparence nettement supérieure à celle des verres précédents, tout en étant cependant moins transparent que le quartz.

Sous une épaisseur de 1 à 2 mm., il est très perméable aux radiations jusqu'à $\lambda = 2,100 \text{ A}$. A partir de cette valeur, l'absorption augmente rapidement et est pratiquement complète pour $\lambda = 1,930 \text{ A}$.

Cette grande perméabilité du verre de silice lui a permis de remplacer le quartz dans maints de ses emplois et a donné lieu à des applications d'un intérêt puissant parmi lesquelles la lampe à vapeur de mercure est l'une des plus fructueuses et des plus importantes.

La fabrication du verre de silice — qui s'obtient sous deux variétés, l'une transparente, l'autre translucide — constitue aujourd'hui une industrie spéciale qui s'est fortement développée en ces dernières années. Ce verre possède en effet un ensemble de propriétés chimiques, physiques, optiques, mécaniques qui en font un produit précieux pour la science et l'industrie d'autant plus que la fabrication, d'abord limitée à la confection de pièces de petites dimensions, s'est largement étendue et permet aujourd'hui l'obtention en un verre impeccable, de pièces de dimensions appréciables. Toutefois, elle ne se prête pas à toutes les applications qui sont l'apanage de la grande industrie du

verre, telles la fabrication des vitres et des glaces, celle des grands objectifs, etc. De plus, les produits sont encore assez coûteux.

9. — Se rendant compte de l'avantage que présenterait un verre industriel plus perméable à l'ultra-violet que ceux couramment fabriqués, les Etablissements Schott, à Jéna, avaient entrepris, il y a quelque trente ans, une étude systématique et fait une série de recherches sur cet objet. En 1903, Zschimmer fit connaître les résultats obtenus. Ils se résumaient dans la fabrication de trois verres, un crown, un flint, un borocrown, qui reçurent le nom générique de verres « *Uviol* ». Le degré de transparence variait d'un verre à l'autre, mais tous étaient cependant, sous ce rapport, supérieurs aux verres ordinaires : sous 2 mm. d'épaisseur le crown était perméable jusqu'à $\lambda = 2,800 \text{ A}$, le flint jusqu'à $\lambda = 2,750 \text{ A}$ et le borocrown jusqu'à $\lambda = 2,680 \text{ A}$ environ.

Comme pour certaines recherches, il est utile de proscrire la partie visible du spectre, un verre spécial perméable à l'ultra-violet sous 1 mm. jusqu'à $\lambda = 2,800 \text{ A}$, fut fabriqué par les Usines Schott, qui arrête jusqu'au bleu la partie visible du spectre.

Ce verre reçut le nom de « *Violet U V Glas* ». En lumière réfléchie sous 1 mm. d'épaisseur, il paraît fortement violet.

Zschimmer étudia également la transparence aux courtes longueurs d'onde, en fonction de la composition des verres. Nous aurons l'occasion de dire un mot des résultats obtenus.

D'autres essais furent tentés qui n'eurent pas de résultats pratiques, les produits obtenus étant trop altérables ou ne présentant pas une homogénéité suffisante.

Nous citerons notamment ceux de Fritsch et Lindemann qui préconisèrent comme milieu de faible absorption dans l'ultra-violet un mélange fondu d'environ

70 % de B^2O^3 et de 30 % de CaF^2 auquel était ajoutée un peu d'alumine pour accroître la résistance chimique du verre.

Les verres de Schott, tout en constituant un progrès certain, ne permettaient pas les recherches dans l'ultra-violet au delà de 3,000 A et ils ne paraissent pas avoir spécialement retenu l'attention, bien que les usines d'Jéna aient signalé leur emploi possible pour plusieurs usages et notamment pour la fabrication des vitres.

La question des verres ultra-violet entra dans l'ombre.

10. — Elle revint au jour, il y a quelques années, à la suite de la découverte et de l'étude de l'action thérapeutique des rayons solaires et de ceux produits par des sources artificielles, surtout des rayons dont la longueur d'onde est comprise entre $\lambda = 3,150 \text{ A}$ et $\lambda = 2,950 \text{ A}$.

En 1924, Lamplough songea à fabriquer un verre à vitres perméable à l'ultra-violet salulaire et lança sur le marché le « *Vita Glass* » — qui, sous une épaisseur de 2 à 3 mm., est transparent jusqu'à une longueur d'onde $\lambda = 2,750 \text{ A}$.

Le succès obtenu par ce verre fut considérable et suscita une concurrence énorme : toute une série de verres transparents à l'ultra-violet virent le jour dont les principaux sont les suivants : le *corex*, l'*hélioglass*, le *cel-o-glass*, le *quartzlite*, le *Bioglass*, le *Brephos*, l'*Ultravit-glass*, le *Sanalux*, le *flexo-glass*, le *Sun-Ray*.

Tous ces verres ont immédiatement reçu une attention spéciale et furent longuement étudiés, comparativement au verre à vitre ordinaire. Certains sont analogues à ce dernier et se composent essentiellement de chaux, de silice et d'alcali. Plusieurs contiennent de l'acide borique en quantités plus ou moins élevées et souvent aussi du Zn, du Ba et de l'alumine.

Le corex-glass présente cette particularité de ne pas contenir d'alcali, il ne se compose essentiellement que de chaux, d'acide phosphorique et d'acide borique. Sa faible résistance à l'altération prohibe son emploi comme verre à vitres. Sa composition moyenne est la suivante: 66.45 P²O⁵; 25.16 CaO; 4.63 B²O³; 2.12 SiO²; 0.37 Al²O³; 0.03 FeO; 0.6 MgO; 0.56 Na²O.

Le cel-o-glass n'est autre qu'un réseau dont les mailles sont emplies d'acétate de cellulose.

Nous mentionnerons aussi un verre préconisé par Lock qui en sa formule simple, ne contient que quatre éléments: de la silice, de l'alumine hydratée, de l'acide borique et de la fluorine. Complètement libre d'alcali, il serait très stable et sa perméabilité à l'ultra-violet serait intéressante.

D'après les mesures du « Bureau of Standards », Washington, les % de transmission pour 3,020 Å des principaux verres anglais et américains sont les suivants:

Corex	89 %	sous une épaisseur de 2.8 mm.
Helioglass	...	56 %	» » 2.3 »
Vitaglass	...	44 %	» » 2.5 »
Cel-o-glass	..	30 %	» » 0.1 »
Quartz-lite	..	0.5 %	» » 0.9 »

Les résultats saluaires obtenus par emploi des verres ultra-violet et surtout la campagne de propagande entreprise lors de leur apparition sur le marché stimulèrent le zèle de l'Allemagne et la portèrent à reprendre une fabrication dont, à la suite des premiers essais de Zschimmer, elle revendique l'idée première. Les verres Uviol, le Sanalux, le Brephos, le Bios, l'Ultraviol sont de fabrication allemande. Leur perméabilité à l'ultra-violet serait, à même épaisseur, comparable et pour certains supérieure à celle du Vita-Glass.

11. — Etant donné l'intérêt du problème, on s'est

attaché à étudier les différents facteurs susceptibles d'influencer la transparence des verres aux radiations à courte longueur d'onde.

Vu leur importance sur l'avenir de la question, nous nous arrêterons quelque peu aux résultats obtenus.

Le premier des facteurs et certainement le facteur dominant est la composition du verre.

Dans une étude publiée en 1907 sur la transparence des verres à l'ultra-violet, en fonction de leur constitution chimique, Zschimmer fit ressortir un certain nombre de points intéressants. Il constata notamment que l'acide borique et la silice à l'état pur sont très transparents à l'ultra-violet, même pour 2,000 Å. L'addition d'oxydes métalliques diminue cette transparence, l'effet de la soude étant, dans ce sens, plus marqué que celui de la potasse, celui de l'oxyde de plomb étant le moins favorable.

Les verres de Zschimmer étaient fondus en creusets de platine et fabriqués à l'aide de constituants très purs.

Les résultats qu'il obtint sont résumés dans le tableau suivant.

TABLEAU I

Formule chimique	Limite A	Épaisseur
B ² O ³	1860	3 mm.
85 B ² O ³ — 15 Na ² O	1860	3 mm.
74 B ² O ³ — 26 Na ² O	2260	3 mm.
70 B ² O ³ — 30 Na ² O	2750	2 mm.
79 B ² O ³ — 21 K ² O	1990	3-4 mm.
41 B ² O ³ — 59 ZnO	2100	3 mm.
57 B ² O ³ — 43 BaO	2450	3 mm.
50 B ² O ³ — 50 BaO	2310	4 mm.
64 B ² O ³ — 12 Na ² O — 12 BaO	2450	2 mm.
40 B ² O ³ — 55 BaO — 5 Al ² O ³	2800	3 mm.
25 B ² O ³ — 65 BaO — 10 Al ² O ³	2800	5 mm.
66 B ² O ³ — 30 CaF ² — 4 Al ² O ³	2260	3 mm.
56 B ² O ³ — 40 CaF ² — 4 Al ² O ³	2570	3 mm.
40 B ² O ³ — 60 BaF ²	2570	2.5 mm.
40 B ² O ³ — 50 BaO — 10 PbO	3460	3.5 mm.
22 B ² O ³ — 58 SiO ² — 5 Na ² O — 15 K ² O	2750	4 mm.
25 B ² O ³ — 58 SiO ² — 15 ZnO — 45 BaO	2750	5 mm.
76 SiO ² — 22 K ² O	2450	3 mm.
50 SiO ² — 32 K ² O	2570	3 mm.

Ils présentent un intérêt certain en mettant en valeur le rôle de plusieurs constituants ordinaires des verres, mais les produits obtenus, trop altérables, sont sans valeur pratique. En outre, ces résultats ne sont que qualitatifs : ils donnent la limite de transparence sans faire mention de la quantité d'énergie transmise.

La méthode employée, assez rudimentaire, donnait des résultats purement qualitatifs : elle consistait à observer visuellement, dans un spectrographe en quartz, au moyen d'un écran fluorescent, les dernières raies d'arcs et étincelles diverses, après interposition des différentes lames de verre devant la fente.

Dans un mémoire plus important paru en 1925, Zschimmer étudia à nouveau les verres transparents ou opaques aux radiations ultra-violettes et son travail contient nombre de données utiles sur les éléments favorisant ou contrariant la transparence. Parmi ces derniers figurent le chrome et le plomb et surtout ces deux corps associés, combinaison qui dans un verre arrête totalement les radiations ultra-violettes. Zschimmer constata, en outre, l'influence défavorable du Fer, du Thallium, du Cuivre et des terres rares dont un choix judicieux proscriit l'ultra-violet. Il souligne l'influence favorable du Nickel.

12. — Ce résultat avait antérieurement été obtenu par Wood qui en 1921, au cours d'une conférence devant la Société de Physique, présente pour la première fois en France des écrans en verre rendu opaques pour le spectre visible par addition d'une forte quantité d'oxyde de Nickel et qui présentait à l'ultra-violet une grande transparence.

La proportion d'oxyde de Nickel variait de 6 à 12%. Wood fit ressortir à cette occasion le rôle défavorable joué par la chaux, la magnésie, l'oxyde de Plomb, l'alumine et l'anhydride borique; l'influence favo-

rable de la baryte et de l'oxyde de Zinc dans la perméabilité à l'ultra-violet.

La composition du verre de Wood est la suivante :
50 SiO² - 16 K²O - 25 BaO - 9 NiO.

13. — Des essais importants sur le rôle des différents constituants ont été faits aussi par Sugie.

Cet auteur a étudié des verres alcali-Barium et des verres alcali-Zinc, les premiers répondant à la formule 0.6 à 1.3 Na²O - 0.6 à 2 BaO - 6 SiO², les seconds à la formule 0.8 à 1.4 Na²O - 0.6 à 1.6 ZnO - 6 SiO². Ces verres furent étudiés sous une épaisseur de 1.5 mm. et l'auteur a constaté que : dans la série des verres aux Barium, la plus courte longueur d'onde transmise est 2,700 Å, la transmission diminuant avec l'augmentation de la teneur en barium. Dans la série des verres au zinc, le rayonnement limite est 2,600 Å, la transmission augmentant avec l'accroissement de la teneur en Zinc.

L'auteur constata que le remplacement de la soude par la potasse est sans effet sur les verres de la série au barium mais réduit la transmission dans les verres au zinc.

La présence de l'oxyde de Ni dans les verres à la chaux, à l'oxyde de Barium et à l'oxyde de Zinc augmenta la transparence dans la région 2,900-3,000 Å. La présence du Cuivre à côté du Ni augmente l'absorption dans l'ultra-violet.

L'auteur étudia également une importante série de verres à la chaux de formule 0.7 à 1.6 Na²O-0.9 à 1.5 CaO - 6 SiO², ainsi que le remplacement partiel ou total de la chaux par d'autres éléments : MgO, Al²O³, ZnO, BaO et rechercha l'effet de certaines additions Sb²O³, As²O³, P²O⁵, Fe²O³, CdO, etc.

Les conclusions de cette recherche sont les suivantes :

1° Il n'y a pas de relation régulière entre la transmission dans l'ultra-violet des verres alcali-chaux et leurs composants. En effet, le verre $\text{Na}_2\text{O} - 1.4 \text{ CaO} - 6 \text{ SiO}_2$ donne sous une épaisseur de 1.5 mm. une transparence maxima, la longueur d'onde transmise étant 2,370 Å, tandis que le verre $\text{Na}_2\text{O} - 1.5 \text{ CaO} - 6 \text{ SiO}_2$ donne sous une épaisseur identique une transparence minima, la longueur d'onde minima transmise étant 2,790 Å.

2° L'effet du remplacement intégral ou partiel de la soude par la potasse est négligeable.

3° L'influence de $\text{FeO} - \text{Sb}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ est très importante, de même que celle de MgO et Al_2O_3 .

Dans les verres sodico-calciques, la transmission est nettement réduite par la présence d'oxyde ferrique, ce dernier abaissant la transparence plus que l'oxyde ferreux. Dans les verres potassico-calciques, la différence d'action entre FeO et Fe_2O_3 ne serait pas appréciable.

4° Dans les verres à deux composants de composition 1 à $2.2 \text{ Na}_2\text{O} - 6 \text{ SiO}_2$, la transparence est grande, la longueur d'onde minima transmise est 2,600 Å.

5° Dans les verres à trois composants à teneur constante en $\text{Na}_2\text{O} - 6 \text{ SiO}_2$ et contenant une partie d'oxyde de Mg, Ca, Zn, Cr, Gl, Sb, Ba ou Pb, la transparence à l'ultra-violet est inversement proportionnelle au poids atomique des éléments métalliques bi-valents.

6° Quand un verre à quatre composants est formé de métaux légers, sa transparence à l'ultra-violet est plus grande que quand il est formé de métaux lourds.

14. — L'influence de l'oxyde de Fer est très grande au point de vue de la perméabilité à l'ultra-violet.

Elle a été particulièrement étudiée par Starkie et Turner qui constatèrent non seulement son influence néfaste sur la transmission des radiations à courte longueur d'onde mais établirent aussi sa différence d'ac-

tion lorsqu'il se trouve à l'état ferrique ou à l'état ferreux, ce dernier étant plus favorable que l'autre sur la transmission, fait déjà constaté par Sugie et avant lui par Zsigmondi et W. Crookes, ce dernier ayant établi notamment qu'une teneur de 0.25 % en oxyde ferrique dans un verre sodico-calcique supprime l'ultra-violet en-dessous de 3,500 Å, tandis qu'une teneur de 2 % le supprime en-dessous de 4,000Å, limite du spectre visible.

Nous reproduisons d'après Starkie et Turner, la courbe donnant la loi de variation de la transparence avec la teneur en oxyde ferrique des verres sodico-calciques. Il semblerait d'après cette courbe, qu'un verre absolument dépourvu d'oxyde ferrique aurait sa limite de transmission reportée à 2,300 Å.

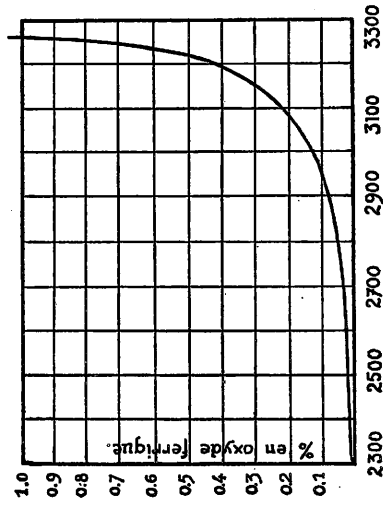


Fig. 1.
Variation de la transparence en fonction de la teneur en oxyde ferrique. Longueurs d'onde en Angström.

15. — Un second facteur important sur la transmission des verres à l'ultra-violet est la « solarisation », c'est-à-dire l'influence de la lumière, soit naturelle (lumière solaire), soit artificielle (lumière de l'arc au Hg, de l'arc électrique ou de l'étincelle).

L'influence de la lumière solaire est surtout importante à prendre en considération dans le cas des vitres ultra-violettes. Celle de la lumière artificielle intéresse la généralité des autres applications.

L'action de la lumière solaire est variable selon le moment de la journée, la saison, la latitude, l'altitude et la clarté de l'atmosphère.

Les essais effectués au Bureau of Standards (Washington) et relatés dans la lettre circulaire du 14 janvier 1928, montrent que la transparence diminue avec la durée d'exposition et que ce décroissement se produit surtout pendant les premières semaines d'exposition.

L'arc au mercure produit très rapidement un effet identique à celui du rayonnement solaire.

Les essais ont montré notamment que la transmission moyenne du Vitaglass (3,020 Å), après dégradation complète par l'arc au Hg est de 25 % pour une épaisseur de 2,3 mm. Celle de l'Hélio-glass dans les mêmes conditions est de 30 %, celle du Corex, à peine influencée par le rayonnement solaire est fortement affectée par celui de l'arc au Hg, celle du Celoglass est réduite à rien après 25 heures d'exposition au rayonnement de l'arc au Hg.

16. — Ruttenuer dans une étude importante publiée en 1928 constate également que tous les verres ultra-violettes, par une irradiation intensive, perdent de leur perméabilité et après une durée d'exposition déterminée, atteignent une valeur limite de la perméabilité.

La réduction de transparence est d'autant plus grande que la longueur d'onde du rayonnement incident est plus faible et sa cause pourrait résider dans une transformation, sous l'influence de la lumière, de l'oxyde ferreux en oxyde ferrique.

Les produits obtenus en fusion oxydante d'une part, en fusion réductrice d'autre part, confirment cette manière de voir.

L'influence de la solarisation sous l'action de la lumière solaire et sous l'action de la lumière artificielle sur la perméabilité des verres a été également bien étudiée par Starkie et Turner.

Les tableaux ci-après donnent le résultat de leurs mesures avant et après solarisation, sur six verres courants, dans le cas du rayonnement solaire d'abord (12 semaines d'exposition à 600 pieds au-dessus du niveau de la mer pendant les mois de juin, juillet, août, septembre) et dans le cas du rayonnement artificiel (lampe à vapeur de Hg ou arc au charbon — 15 cm. de la source pendant des temps variables).

TABLEAU II

Rayonnement solaire.

	Après	
	Avant	Limite de transmission
Corex	2130	2130
Vita	2520	2620
Sanalux	2450	2470
Hello	2600	2690
Quartzlite	3000	3000
Verre à vitre ordinaire	3100	3100

TABLEAU III

Rayonnement artificiel.

	Après solarisation de		
	Etat neuf	2 heures	4 heures
Corex	2130	2180	2220
Vita	2520	2600	2630
Hello	2600	2680	2700
Sanalux	2450	2510	2520
Quartzlite	3000	3010	3010
Verre à vitre	3100	3120	3120

On peut remarquer que le changement le plus important se produit pendant les deux premières heures, après quoi la vitesse de détérioration diminue rapidement.

Les auteurs ont discuté les causes des modifications subies et les variations constatées dans la coloration

des échantillons étudiés les ont amenés, eux-aussi, en confirmation des résultats de Ruttenauer à conclure à une oxydation du fer. La transformation de l'oxyde ferreux en oxyde ferrique serait pour eux le facteur dominant dans la solarisation. Et de ces essais, ils tirent cette conclusion intéressante que l'addition à la composition, d'éléments empêchant l'oxydation du fer contribue nettement à assurer la stabilité de transparence du verre.

17. — Un troisième facteur, susceptible d'altérer la perméabilité des verres à l'ultra-violet est la température. Son action a été spécialement étudiée par Ruttenauer.

Un échantillon fut successivement chauffé à 100-200-300° dans un four électrique; comme source d'ultra-violet, il utilisa une lampe à vapeur de Hg dont le rayonnement était dirigé à travers le four sur l'échantillon à étudier.

Le tableau suivant donne la diminution de perméabilité à l'ultra-violet pour trois températures, dans les intervalles spectraux 3,200-2,500 Å et 3,200-2,700 Å en % de la perméabilité à 20°.

TABLEAU IV

T°	Chute de perméabilité Chute de perméabilité	
	U.V. 3200 — 2500 Å	U.V. 3200 — 2700 Å
100	3	2
200	14	10
300	30	22

Les verres à haute température sont donc nettement moins perméables à l'ultra-violet.

L'importance de la réduction dépend de la longueur d'onde du rayonnement incident. Elle est d'autant plus grande que la longueur d'onde tombant sur le verre est plus courte.

Nous ne croyons pas utile de nous étendre davantage sur ces différents points. Nous avons donné, de l'état

actuel de la question une idée aussi complète que possible car les résultats jusqu'ici acquis sont intéressants et méritent d'être exposés avec quelques détails.

Nous aurons au cours de notre travail, l'occasion de les commenter.

CHAPITRE IV.

Méthode expérimentale employée pour l'étude de l'absorption des verres dans l'ultra-violet

18. — Considérons une lame absorbante à faces parallèles; faisons tomber normalement sur cette lame un faisceau lumineux d'intensité $I_0(\lambda)$, soit e l'épaisseur du milieu absorbant; l'intensité du faisceau émergent est donnée par

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \cdot e^{-K(\lambda)e} [1 - r(\lambda)] \quad (1)$$

e étant la base des logarithmes naturels, $K(\lambda)$ le « coefficient d'absorption » pour la longueur d'onde λ et $r(\lambda)$ le « coefficient de réflexion » pour cette même longueur d'onde.

Pour une seule surface réfléchissante, le facteur de réflexion serait, d'après Fresnel

$$r_1(\lambda) = \frac{[n(\lambda) - 1]^2}{[n(\lambda) + 1]^2} \quad (2)$$

où $n(\lambda)$ est l'indice de réfraction du milieu pour la longueur d'onde λ .

Pour $n(\lambda) = 1,5$, $r_1(\lambda)$ vaut 0,04.

Pour une lame à deux faces parallèles, la perte par réflexion est sensiblement double. Remarquons d'ailleurs que le facteur $r(\lambda)$ ne dépend pas de l'épaisseur de la lame.

Pour la commodité, on écrira la formule (1) sous la forme :

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \cdot 10^{-m(\lambda)e} [1 - r(\lambda)] \quad (3)$$

avec

$$m(\lambda) = K(\lambda) \cdot \log_{10} e = 0,43K(\lambda) \quad (4)$$

Si nous voulons éliminer le facteur de réflexion $r(\lambda)$, nous ferons passer le faisceau $I_0(\lambda)$ successivement à travers deux lames d'épaisseur e et e' . On a évidemment alors

$$\frac{I(\lambda)}{I'(\lambda)} = 10^{(e'-e)m(\lambda)} \quad (5)$$

ou

$$\log \frac{I(\lambda)}{I'(\lambda)} = (e' - e)m(\lambda) = 0.43(e' - e)K(\lambda) \quad (5')$$

Nous pourrions donc connaître les valeurs du coefficient $m(\lambda)$ ou $K(\lambda)$ en mesurant le rapport des deux intensités lumineuses $I(\lambda)$ et $I'(\lambda)$ à la sortie des deux lames d'épaisseur e et e' .

Remarquons d'ailleurs que pratiquement ce qui intéresse, c'est non pas la valeur de $m(\lambda)$, mais bien le pourcentage d'énergie lumineuse sortant de la lame, c'est à dire le rapport $\frac{I(\lambda)}{I_0(\lambda)}$.

(Signalons en passant que parmi les recherches sur la perméabilité des verres à l'ultra-violet, beaucoup sont trop exclusivement qualitatives; elles donnent seulement les limites de transparence, mais il est très utile de posséder les diagrammes d'absorption en fonction de λ .)

19. — Les mesures d'absorption dans le domaine ultra-violet peuvent se faire par diverses méthodes : au moyen de la cellule photo-électrique, du couple thermoélectrique, de la plaque photographique. Nous avons accordé la préférence à la méthode photographique, à cause de sa rapidité, du peu de frais qu'elle cause et surtout de la bonne précision qu'elle permet d'atteindre lorsqu'on prend certaines précautions.

Après essais photométriques de diverses espèces d'émulsions photographiques, notre choix s'est porté sur les plaques au lactate Guilleminot et les Micro Lumière; ces plaques sont remarquablement exemptes de voile dans l'ultra-violet, ont un bon facteur de

contraste et sont d'une très belle transparence après développement.

20. — Avant d'exposer la technique expérimentale que nous avons suivie, nous devons rappeler brièvement les propriétés des émulsions photographiques.

On appelle opacité $O(\lambda)$ d'une lame absorbante le rapport

$$O(\lambda) = \frac{I_0(\lambda)}{I(\lambda)}$$

la densité de la lame est le logarithme décimal de l'opacité

$$D(\lambda) = \log_{10} O(\lambda) = \log \frac{I_0(\lambda)}{I(\lambda)}$$

Considérons une émulsion photographique et soumettons-la pendant des durées égales à des expositions d'intensités diverses. Après développement, fixage et lavage, mesurons les densités photographiques et dessinons un diagramme en portant en abscisses les log. décimaux des éclaircissements et en or-

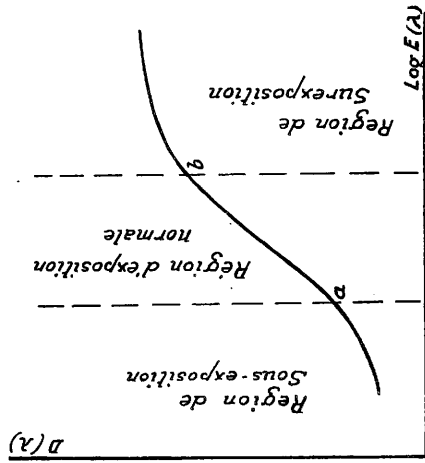


Fig. 2.

données les densités. Nous obtenons une courbe ayant l'allure suivante (courbe de Hurter et Driffield) (fig. 2).

Cette courbe présente une partie rectiligne plus ou moins grande *ab* (zone d'exposition normale) ; dans cette région, on a

$$D(\lambda) = A(\lambda) + \gamma_\lambda \log E(\lambda) \quad (6)$$

A, γ étant des constantes ; $\gamma(\lambda)$ est appelé « coefficient de contraste » pour la longueur d'onde λ . Les déterminations photométriques seraient relativement simples si on pouvait toujours se placer dans la région *ab* et si dans la formule (6) les coefficients A et γ étaient bien constants pour une émulsion donnée.

Mais il n'en est rien. Les valeurs de A et de γ dépendent fortement du développement (durée, formule, température, état de fraîcheur), et varient aussi d'une plaque à l'autre.

Pour qu'une méthode photographique puisse être précise, il faut que l'on se place dans des conditions d'indépendance vis-à-vis du développement et de constance maximum des propriétés de l'émulsion. Ces conditions sont vérifiées dans la technique expérimentale que nous avons suivie.

21. — L'obtention d'une source lumineuse compacte, d'intensité constante et suffisamment riche en radiations ultra-violettes n'est pas très facile. Nous avons utilisé une lampe à incandescence fabriquée par la maison Philips ; l'ampoule est en quartz fondu et le filament est remplacé par un ruban en tungstène long de deux centimètres et large de trois millimètres, recourbé aux deux extrémités et porté à une température très élevée par un courant de 15 ampères (12 volts aux bornes). La température élevée du ruban fait que le rayonnement s'étend dans l'ultra-violet jusqu'à 2,500 Å environ. Cette limite était amplement suffisante pour nos recherches ; c'est pourquoi nous avons accordé la préférence à cette source plutôt qu'au tube à hydrogène par exemple (nous y reviendrons plus loin).

Lorsque le courant de chauffage est bien constant, la partie centrale du ruban possède une densité d'intensité lumineuse absolument uniforme, comme nous nous en sommes rendu compte au moyen de spectres pris avec une fente très courte et très fine que nous amenions aux différents points de l'image du filament. (L'image du filament était obtenue sur la fente du spectrographe, au moyen d'une lentille en quartz.)

Pour s'assurer de la constance de chauffage du filament, un ampèremètre restait constamment en série avec la lampe. Nous allumions la lampe une dizaine de minutes avant de commencer les clichés, afin de lui laisser prendre son état de régime.

De nombreux clichés pris à des intervalles de temps très espacés ont toujours été, dans ces conditions, absolument identiques ; la lampe était d'une constance idéale.

22. — Il existe des appareils spéciaux destinés à la spectrophotométrie ultra-violettes (duplicateur photométrique de Jobin-Yvon, photomètre à secteurs de Hilger, appareils de Carl Zeiss), mais ils sont en général compliqués ou coûteux. C'est pourquoi nous avons constamment employé une nouvelle méthode simple et peu onéreuse. (P. Gilard et P. Swings, Bull. de l'Ac. R. Belge, Cl. des Sc., 15, 749, 1929.) Par l'application de ce procédé, un simple examen visuel des spectrogrammes donne, pour chaque longueur d'onde, une valeur approchée du pourcentage de lumière traversant une lame donnée. La méthode est basée sur le raisonnement suivant :

Sur une même plaque, photographions les spectres d'une même source S et correspondant (pour la longueur d'onde λ) aux éclaircissements

$$E_0, E_1, E_2, \dots, E_n, E_{n+1}, \dots, E_{i+1}, \dots, E_i < E_j$$

dont les rapports soient connus. Sur la même plaque,

[on se trouve ainsi dans les conditions sensito-métriques les meilleures (indépendance vis-à-vis du développement, moins grande incertitude due à l'émulsion)], photographions le spectre obtenu en faisant traverser à E_0 la lame de verre à étudier. Pratiquement il suffit de placer la lame contre la fente.

Pour une longueur d'onde déterminée λ , soit $J(\lambda)$ la portion de E_0 qui a traversé la lame de verre, $J(\lambda)$ produit un certain noircissement photographique. Si celui-ci est compris entre les noircissements qu'ont produit pour la radiation λ les éclaircissements E_1 et E_{i+1} on écrira

$$E_{i+1} < J(\lambda) < E_1 \quad (7)$$

Si les éclaircissements E_1 ont été bien choisis, les inégalités (7) permettent déjà d'apprécier visuellement

$$\frac{J(\lambda)}{E_0}$$

Supposons qu'on dispose d'un microphotomètre; portons en abscisses les logarithmes décimaux des éclaircissements ($\log. E_1$) et en ordonnées les densités D_1 du cliché, mesurées au photomètre, pour la longueur d'onde qui intéresse. On obtiendra ainsi un diagramme qui permettra de trouver $\log. J(\lambda)$ après mesure de la densité D correspondante. Dans nos mesures, nous avons parfois utilisé un microphotomètre enregistreur de Lambert et Chalonge, à cellule photoélectrique (Lambert et Chalonge, « Revue d'Optique », 5, 404, 1926). Mais les opérations sont alors très longues et ne se prêtent par suite pas à une étude systématique des verres. D'ailleurs de plusieurs vérifications, il résulte que l'approximation obtenue par estimation visuelle est toujours de l'ordre de 2 à 3 %; elle est donc tout à fait satisfaisante pour nos besoins. (Certaines courbes d'absorption ont été tracées deux fois au moyen de deux clichés différents; elles coïncident avec des écarts maxima de 3 %.)

23. — Comment obtenir la gamme d'éclaircissements E_1 ? Nous avons simplement ouvert plus ou moins fortement la fente du spectrographe. Celui-ci était un spectrographe en quartz de Jobin-Yvon, donnant une dispersion de 180 mm. environ de 4,000 à 2,000 Å. La fente jouant un rôle très important dans cette méthode doit être très précise et commandée par une bonne vis micrométrique, ce qui était le cas dans notre appareil; les ouvertures qu'on lui donnait allaient de 10^{-2} à 1 mm.; le spectre étant continu, les effets des différentes parties de la fente se superposent. Avec notre spectrographe, l'erreur sur la longueur d'onde (de 3,200 à 2,600 Å) résultant de la largeur de la fente n'était que de quelques angströms; la précision était donc suffisante pratiquement.

Généralement, les éclaircissements étaient obtenus au moyen des largeurs suivantes de fente: (Les durées d'exposition ont varié de 1 à 12 minutes.)

5.10^{-2} ; 10.10^{-2} ; 20.10^{-2} ; 100.10^{-2} mm. sans absorbant;

100.10^{-2} mm. avec absorbant.

On employait la méthode d'estime visuelle (interpolation visuelle). Les pourcentages correspondants indiqués sur les diagrammes se rapportent donc aux pertes totales de lumière subies par le faisceau en traversant la lame, les pertes dues à la réflexion étant comprises.

Une photographie pour mesures présentait l'aspect indiqué par le cliché fig. 3. Si, par exemple pour $\lambda = 3,000$ Å, le noircissement du spectre d'absorption obtenu avec une fente 100.10^{-2} mm. est égal à celui du spectre obtenu sans absorbant avec la fente 50.10^{-2} , c'est que le pourcentage de lumière transmise pour $\lambda = 3,000$ Å est de 50 %.

24. — Avant de choisir comme source la lampe à enveloppe de quartz et à ruban de tungstène, nous

avons examiné plusieurs autres solutions. Nous ne disposons pas de tube à spectre continu d'hydrogène; ce n'était d'ailleurs pas nécessaire pour la région spectrale où nous voulions faire nos mesures d'absorption.

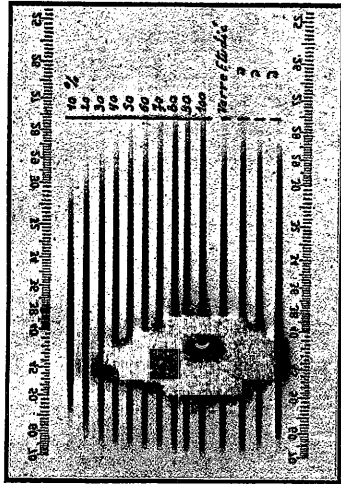


Fig. 3.

Nous avons examiné plusieurs sources lumineuses à raies. D'abord l'étincelle de haute fréquence, comme l'a préconisé Tsukamoto (« Revue d'Optique », 1928, p. 89).

Nous utilisons un générateur d'étincelles de haute fréquence, du genre de celui qu'avait utilisé Tsukamoto. Mais des enregistrements photométriques nous ont indiqué que cette source n'était pas suffisamment constante (il y eut des variations de près de 10 %).

Nous avons aussi essayé une décharge dans un tube à vide (en particulier dans un tube à hélium au moyen d'une bobine d'induction). Les examens photométriques ont montré que cette source est très constante et par conséquent à conseiller dans les cas où un spectre de raies peut être utile pour des mesures photométriques.

Mais ces sources à spectres de raies se prêtent moins facilement que notre lampe à une gradation des intensités lumineuses.

25. — Nous avons dit que pour faire une échelle d'éclaircements, nous ouvririons plus ou moins fortement la fente du spectrographe. De nombreux autres procédés ont été utilisés.

Certains auteurs, en particulier Ruitenauer (« Sprechsaal für Keramik, Glas », 1928, n^{os} 23 et 24) ont fait varier la distance de la source (procédé du banc photométrique).

Fabry et Buisson (« Journal de Physique », 3, 197, 1923) emploient des diaphragmes rectangulaires placés à l'intérieur du spectrographe devant le prisme.

En cet endroit, le faisceau de rayons est parallèle; d'autres positions de l'écran (devant le collimateur ou la lentille de projection, par exemple) sont peu à conseiller. En effet, dans ces cas, lorsqu'on change de diaphragme, l'angle solide du faisceau varie et on n'est pas fixé d'une manière précise au sujet de la variation de l'éclairement.

Le flux est alors modifié dans le rapport des surfaces des diaphragmes.

Nous avons comparé cette méthode à la nôtre en prenant les deux clichés suivants :

	Eclairement photographique	Densité
1 ^o Diaphragme carré de 5 ^{mm} de côté	$I = I'$	$D = D'$
Diaphragme carré de 15 ^{mm} de côté	$I = I''$	$D = D''$
Fente de 5.10 ⁻³ mm.	$I = I_1'$	$D = D_1''$
Fente de 45.10 ⁻³ mm.	$I = I_1''$	$D = D_1'''$
2 ^o Diaphragme carré de 10 ^{mm} de côté	$I = J$	$D = \Delta$
Diaphragme carré de 20 ^{mm} de côté	$I = J''$	$D = \Delta''$
Fente de 10.10 ⁻³ mm.	$I = J_1'$	$D = \Delta_1$
Fente de 40.10 ⁻³ mm.	$I = J_1''$	$D = \Delta_1''$

Les valeurs de D ont été déterminées au moyen des enregistrements photométriques de ces divers spectres.

Dans la zone d'exposition normale, on a

$$D = A + \gamma \log I$$

Par conséquent, les rapports

$$\frac{D_1 - D_2}{D_1 - D_3} \text{ et } \frac{\Delta_1 - \Delta_2}{\Delta_1 - \Delta_3}$$

doivent être égaux à 1.

Les déterminations des valeurs de ces rapports pour différentes λ , n'ont jamais donné des nombres différant de 1 de plus de 0.03. Les deux méthodes sont donc sensiblement équivalentes.

D'autres physiciens ont employé des procédés semblables à celui de Fabry et Buisson. Tsukamoto a remplacé les diaphragmes rectangulaires par des toiles métalliques. Robertson (« Journal Opt. », Soc. Amér., 7, 983, 1923) a placé un écran mobile en avant du spectrographe.

On a parfois aussi employé le procédé du disque tournant (les maisons Hilger, Zeiss, etc., fabriquent de tels photomètres à secteur tournant) ; mais il n'est pas certain que le noircissement de la plaque photographique produit par une pose ininterrompue soit le même que celui produit par une succession de poses de même durée totale.

On peut aussi placer sur le trajet des rayons, un polarisateur et un analyseur ; l'intensité lumineuse varie selon la loi de Malus

$$I = I_0 \cos^2 \alpha$$

α étant l'angle des plans de polarisation du polarisateur et de l'analyseur. Mais pour la photométrie de l'ultra-violet on doit disposer de prismes de Glan ou analogues ; de tels prismes de section assez grande et les cercles gradués correspondants sont très coûteux et nous n'en disposons pas à l'époque de la préparation de ce travail.

Une autre méthode consiste à introduire des milieux absorbants dont on connaisse le coefficient d'absorption. Comme milieu absorbant, on utilise souvent

un coin sensimétrique. Mais ce procédé est inapplicable pour une lumière composée, parce que l'absorption est fonction de la longueur d'onde ; il est également inapplicable dans l'ultra-violet. Depuis peu de temps, la maison Zeiss fabrique des écrans en quartz avec dépôts de platine, d'opacités différentes ; ces écrans sont également absorbants pour tout le spectre visible et ultra-violet ; ils constituent un progrès important.

G. Jaeckel (« Glastechnische Berichte », 1928, n° 6), emploie un brûleur de Nernst et pour faire varier l'éclairement, prend une gamme de durées d'exposition. A moins que d'utiliser le coefficient de Schwarzschild (c'est alors assez compliqué et d'ailleurs le coefficient de Schwarzschild varie d'une plaque à l'autre) ce procédé manque absolument de précision.

Baillaud (« Thèse de doctorat », Paris, 1907) avait utilisé concurrentement la méthode du disque tournant et celle de la variation des durées d'exposition.

La méthode que nous avons employée nous a semblé plus rapide et plus simple et elle possède une précision absolument suffisante pour le but poursuivi.

CHAPITRE V.

Résultats expérimentaux.

Comme il a été dit au début de ce travail, notre but a été de préciser le rôle joué par la composition des verres dans leur perméabilité aux radiations ultra-violettes et de faire ressortir nettement l'influence des divers constituants.

Nous avons choisi dans la longue série des corps, ceux qui sont le plus couramment employés dans la fabrication des verres industriels, soit comme éléments

185-41
160

de base, soit comme affinant, comme colorants ou comme décolorants (1).

Nous avons négligé provisoirement les verres au plomb, qu'une étude préliminaire nous avait montrés comme n'étant pas particulièrement favorables à la transmission de l'ultra-violet.

Les résultats de notre recherche ont été les suivants :

Influence de la silice.

Il est bien connu que la silice fondue ou verre de silice présente au rayonnement ultra-violet une remarquable perméabilité. Comme le montre le spectre (2) de la figure 4, la limite de transparence à l'ultra-violet



FIG. 4.

d'une lame en silice fondue de 2 mm. d'épaisseur est voisine de 2,000 Å.

Il importait d'abord de rechercher qu'elle est l'influence de l'addition d'oxydes métalliques à la silice, puis, pour une proportion donnée de ces derniers, de noter l'effet de la variation de la teneur en silice sur la perméabilité à l'ultra-violet.

Le premier point s'est immédiatement dégagé de l'ensemble des essais : la transparence à l'ultra-violet

(1) Au moment de la présentation de ce travail, nous avons eu connaissance d'un mémoire de MM. Fritz-Schmidt, Gehlhoff et Thomas (« Z. S. für Technische Physik », 1930, n° 8, pp. 289-326), sur le même sujet. La publication de nos résultats est, néanmoins, utile; les auteurs allemands ont toujours employé la méthode des raies limites, alors que nous traçons les courbes d'absorption, ce qui est important au point de vue pratique (leur étude est plutôt qualitative); certaines influences étaient ainsi rendues plus nettes. D'ailleurs, leurs séries de verres ne sont pas les mêmes que les nôtres; pour observer les influences des divers éléments, ils ont fait varier les compositions chimiques des verres d'une manière tout à fait distincte de la nôtre.

(2) Spectre d'une étincelle fer-cuivre, de haute fréquence, avec interposition de la lame absorbante.

est sensiblement réduite par addition d'oxydes métalliques à la silice.

Il est dès lors logique de supposer que la transparence des verres à l'ultra-violet augmentera avec leur teneur en silice.

Pour vérifier le fait, nous avons examiné les séries suivantes :

- 3SiO² . BaO . K²O épaisseur 0.85 mm.
- 4SiO² . BaO . K²O id.
- 6SiO² . BaO . K²O id.
- 3SiO² . BaO . Na²O id.
- 5SiO² . BaO . Na²O id.

L'examen des spectrogrammes (1) (fig. 5 et 6) est concluant. Il montre nettement l'avantage de l'accroissement de la teneur en silice. Il semble cependant qu'il n'y ait pas d'intérêt à augmenter au delà d'une certaine mesure la teneur en silice. Le spectrogramme (fig. 5) accuse, en effet, comme limite de transparence du verre 6SiO² . BaO . K²O la même longueur d'onde que pour le verre 4SiO² . BaO . Na²O, sous une épaisseur comparable.

Le fait se constate également avec les verres :

- 5SiO² . CaO . Na²O
- 6SiO² . CaO . Na²O
- 5SiO² . BaO . Na²O
- 6SiO² . BaO . Na²O

qui ont une limite commune de transparence, les deux premiers à 2,700 Å, les deux autres vers 2,450, bien que sous une épaisseur quelque peu différente.

(1) Les raies extrêmes dépendent évidemment de la durée d'exposition et de la sensibilité des plaques photographiques employées pour l'obtention des spectres. Avec une pose plus longue, on arrive à déceler des raies plus éloignées. Il importe donc surtout d'envisager les raies limites, dans tout le travail, en vue des comparaisons entre les différents verres. La source lumineuse (étincelle de haute fréquence fer-cuivre), la durée d'exposition (60 secondes), l'émulsion (Lactaek Guilleminot) et le développement sont restés les mêmes. Seuls les trois spectres de la figure 5 ont été pris différemment (arc au fer).

Les limites que nous avons obtenues diffèrent toujours de celles obtenues par MM. Fritz-Schmidt, Gehlhoff et Thomas, qui exposaient très fortement leurs clichés.

En conclusion de ces essais, nous pouvons dire que la perméabilité des verres aux radiations ultra-violettes augmente avec leur teneur en silice, la transparence étant toutefois limitée à une certaine teneur optimum et étant influencée aussi par la nature des éléments associés.

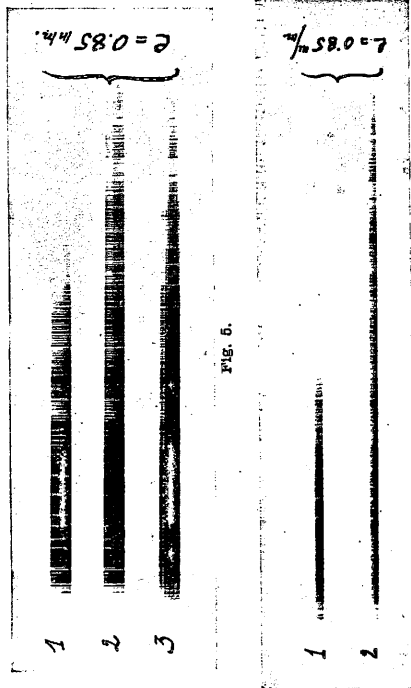


Fig. 6.

Fig. 6.

Influence de la chaux.

Pour déceler l'influence de ce constituant, nous avons examiné les séries suivantes :

1. $\left\{ \begin{array}{l} 5\text{SiO}_2 \cdot \text{Na}_2\text{O} \\ 5\text{SiO}_2 \cdot \text{CaO} \cdot \text{Na}_2\text{O} \\ 6\text{SiO}_2 \cdot 0.8\text{CaO} \cdot \text{Na}_2\text{O} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} e = 0.75 \text{ mm.} \\ e = 0.91 \text{ } \\ e = 0.78 \text{ } \end{array}$
2. $\left\{ \begin{array}{l} 6\text{SiO}_2 \cdot \text{CaO} \cdot \text{Na}_2\text{O} \\ 6\text{SiO}_2 \cdot \text{CaO} \cdot \text{Na}_2\text{O} \\ 6\text{SiO}_2 \cdot 1.2\text{CaO} \cdot \text{Na}_2\text{O} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} e = 0.84 \text{ } \\ e = 0.76 \text{ } \\ e = 0.74 \text{ } \end{array}$
3. $\left\{ \begin{array}{l} 6\text{SiO}_2 \cdot 0.8\text{CaO} \cdot \text{K}_2\text{O} \\ 6\text{SiO}_2 \cdot \text{CaO} \cdot \text{K}_2\text{O} \\ 6\text{SiO}_2 \cdot 1.2\text{CaO} \cdot \text{K}_2\text{O} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} e = 0.75 \text{ } \\ e = 0.74 \text{ } \\ e = 0.74 \text{ } \end{array}$

L'examen des spectrogrammes des deux verres du premier groupe (fig. 7) montre l'influence de la chaux,



Fig. 7

qui a reporté à 2,820 Å la limite de transparence, laquelle dans le verre sans chaux se trouvait à 2,480 Å.

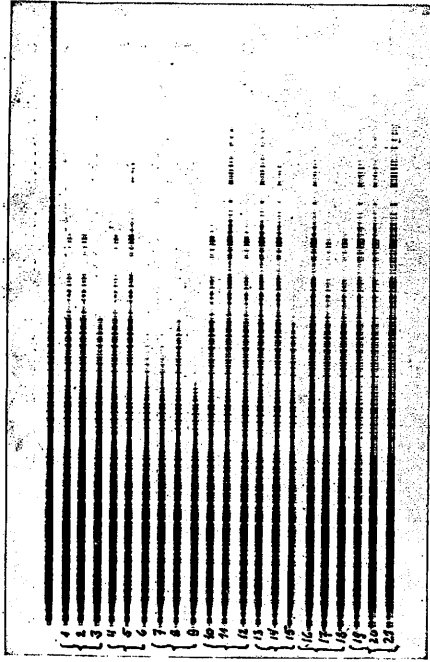


Fig. 8.

Les verres du deuxième groupe (fig. 8 - VI) ont respectivement comme limite 2,500, 2,700 et 2,600 Å, ceux du troisième groupe (fig. 8 - VII) 2,500, 2,450 et 2,500 Å.

On peut noter que dans les verres sodico-calciques, à teneur égale en silice et en soude, l'accroissement de la teneur en chaux entraîne une modification de la transparence des verres à l'ultra-violet; dans les verres examinés, la proportion $6\text{SiO}_2 \cdot \text{CaO} \cdot \text{Na}_2\text{O}$ s'est montrée la plus favorable.

Dans les verres potassico-calciques, à même teneur en silice et en oxyde de potassium, la transparence à l'ultra-violet ne paraît que peu influencée par la variation de la teneur en chaux.

En conclusion des essais précédents, on peut dire que dans les verres du type $6\text{SiO}_2 \cdot x\text{CaO} \cdot \text{M}_2\text{O}$ ($\text{M} = \text{Na}$ ou K ; x ayant les valeurs 0.8 à 1.2) la variation de la teneur en chaux n'entraîne que de faibles

variations de transparence à l'ultra-violet et il semble qu'il faille attribuer à une erreur expérimentale les résultats acquis antérieurement par d'autres chercheurs, selon lesquels une faible variation dans la teneur d'un élément suffit à modifier profondément la transparence du verre. En effet, la présence d'une impureté ou d'une bulle dans le verre à l'endroit où l'on mesure la transparence peut fausser complètement les résultats et seule la considération d'un grand nombre de verres peut conduire à des résultats certains.

Influence de l'oxyde de Baryum.

Nous avons étudié les verres ci-après :

1. $\left\{ \begin{array}{l} 6\text{SiO}_2 : 0.8\text{BaO} \cdot \text{Na}^2\text{O} \quad e = 0.90 \text{ mm.} \\ 6\text{SiO}_2 : \text{BaO} \cdot \text{Na}^2\text{O} \quad e = 0.74 \text{ " } \\ 6\text{SiO}_2 : 1.2\text{BaO} \cdot \text{Na}^2\text{O} \quad e = 0.74 \text{ " } \\ 6\text{SiO}_2 : 0.8\text{BaO} \cdot \text{K}^2\text{O} \quad e = 0.88 \text{ " } \\ 6\text{SiO}_2 : \text{BaO} \cdot \text{K}^2\text{O} \quad e = 0.80 \text{ " } \\ 6\text{SiO}_2 : 1.2\text{BaO} \cdot \text{K}^2\text{O} \quad e = 0.77 \text{ " } \end{array} \right.$
2. $\left\{ \begin{array}{l} 5\text{SiO}_2 : \text{Na}^2\text{O} \quad e = 0.75 \text{ " } \\ 5\text{SiO}_2 : \text{BaO} \cdot \text{Na}^2\text{O} \quad e = 0.91 \text{ " } \end{array} \right.$

Les verres de la première série ont comme limites respectives de transparence 2,580, 2,520 et 2,550 A (fig. 9 - I) ; ceux de la deuxième série, 2,730, 2,530

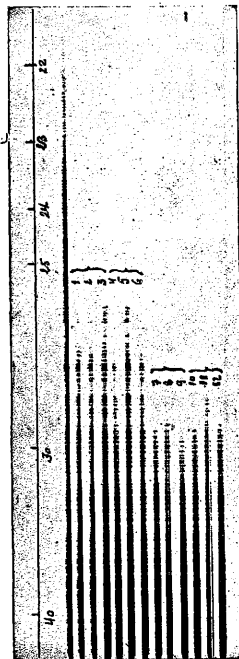


Fig. 9.

et 2,590 A (fig. 12 - II) ; ceux de la troisième série, 2,480 et 2,520 A (fig. 6). De ces résultats, on peut conclure que la combinaison d'oxyde de Baryum à la

soude et à la silice a comme résultat de réduire la transparence du verre ne contenant que ces deux éléments, mais dans une mesure bien moindre que la chaux. Cette remarque s'applique à tous les verres contenant de l'oxyde de Baryum, qui tous donnent des limites de transparence plus reculées vers les courtes longueurs d'onde que les verres à la chaux.

L'examen de la série I montre que dans les verres à la soude, la limite de transparence n'est que peu affectée par la variation de la teneur en oxyde de Baryum. Parmi les trois verres à la potasse, le meilleur résultat obtenu correspond à $6\text{SiO}_2 \cdot \text{BaO} \cdot \text{K}^2\text{O}$, la différence étant très nette avec $6\text{SiO}_2 \cdot 0.8\text{BaO} \cdot \text{K}^2\text{O}$ et très faible avec $6\text{SiO}_2 \cdot 1.2\text{BaO} \cdot \text{K}^2\text{O}$.

Le Baryum se présente en toute occurrence comme un élément favorable à la perméabilité des verres à l'ultra-violet.

Influence combinée des oxydes de Baryum et de Calcium.

Elle résulte de la comparaison des trois verres suivants :

1. $6\text{SiO}_2 \cdot \text{BaO} \cdot \text{Na}^2\text{O} \quad e = 0.74 \text{ mm.}$
2. $6\text{SiO}_2 \cdot \text{CaO} \cdot \text{Na}^2\text{O} \quad e = 0.75 \text{ " }$
3. $6\text{SiO}_2 \cdot 1/2\text{BaO} \cdot 1/2\text{CaO} \cdot \text{Na}^2\text{O} \quad e = 0.77 \text{ " }$

Pour les verres 1 et 2, les limites de transparence sont respectivement 2,580 et 2,700 A (fig. 10).

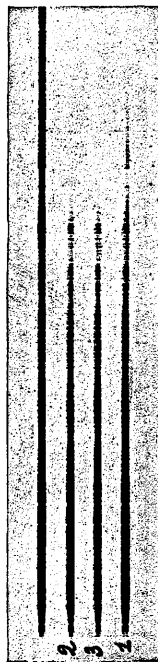


Fig. 10.

Nous avons tracé pour ces verres les courbes d'absorption (fig. 11). Elles nous montrent la supériorité de l'oxyde de Baryum sur la chaux. La courbe du verre contenant à la fois les deux oxydes est comprise entre celles relatives à chacun d'eux. Quant aux raies extrêmes (fig. 10), elles sont les mêmes pour les verres 2 et 3.

I. Verre 6 SiO² . BaO . Na²O $\epsilon = 0,94 \text{ mm.}$
 II. Verre 6 SiO² . CaO . Na²O $\epsilon = 0,75 \text{ mm.}$
 III. Verre 6 SiO² . $\frac{1}{2}$ CaO . $\frac{1}{2}$ BaO . Na²O $\epsilon = 0,77 \text{ mm.}$

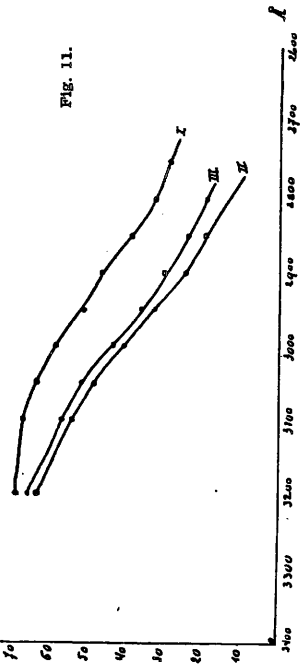


Fig. 11.

Influence de la magnésie.

Pour rechercher l'influence de ce constituant, nous avons examiné les séries ci-après :

3. $\left\{ \begin{array}{l} 6\text{SiO}^2 \cdot 0,8\text{MgO} \cdot \text{Na}^2\text{O} \quad \epsilon = 0,83 \text{ mm.} \\ 6\text{SiO}^2 \cdot \text{MgO} \cdot \text{Na}^2\text{O} \quad \epsilon = 0,90 \text{ " } \\ 6\text{SiO}^2 \cdot 1,2\text{MgO} \cdot \text{Na}^2\text{O} \quad \epsilon = 0,89 \text{ " } \\ 6\text{SiO}^2 \cdot 0,8\text{MgO} \cdot \text{K}^2\text{O} \quad \epsilon = 0,73 \text{ " } \\ 6\text{SiO}^2 \cdot \text{MgO} \cdot \text{K}^2\text{O} \quad \epsilon = 0,90 \text{ " } \\ 6\text{SiO}^2 \cdot 1,2\text{MgO} \cdot \text{K}^2\text{O} \quad \epsilon = 0,88 \text{ " } \end{array} \right.$

Les verres du premier groupe ont respectivement comme limites de transparence 2,900, 2,800 et 2,920 Å.

Ceux du second groupe : 2,900, 2,730 et 2,830 Å (fig. 9 - III, IV).

De ces résultats, nous pouvons conclure que dans les verres à la soude, la variation de la teneur en oxyde de Magnésium n'a pas d'influence bien marquée.

Dans les verres à la potasse, au contraire, son action est plus caractérisée et le verre le plus efficace est le verre normal 6SiO² . MgO . K²O.

Quant à l'influence de la magnésie elle-même sur la transparence à l'ultra-violet des verres, elle résulte directement de la comparaison des verres suivants :

Verre	Raie extrême
6SiO ² . CaO . Na ² O	$\epsilon = 0,8 \text{ mm.}$
6SiO ² . MgO . Na ² O	2,800 Å
6SiO ² . 0,8CaO . Na ² O	$\epsilon = 0,9 \text{ "}$
6SiO ² . 0,8MgO . Na ² O	2,500 Å
6SiO ² . 1,2CaO . Na ² O	$\epsilon = 0,78 \text{ "}$
6SiO ² . 1,2MgO . Na ² O	2,900 Å
6SiO ² . CaO . K ² O	$\epsilon = 0,83 \text{ "}$
6SiO ² . MgO . K ² O	2,600 Å
6SiO ² . 0,8CaO . K ² O	$\epsilon = 0,76 \text{ "}$
6SiO ² . 0,8MgO . K ² O	2,920 Å
6SiO ² . 1,2CaO . K ² O	$\epsilon = 0,89 \text{ "}$
6SiO ² . 1,2MgO . K ² O	2,450 Å
5SiO ² . Na ² O	$\epsilon = 0,8 \text{ "}$
5SiO ² . Na ² O . MgO	2,730 Å
	$\epsilon = 0,9 \text{ "}$
	2,500 Å
	$\epsilon = 0,74 \text{ "}$
	2,900 Å
	$\epsilon = 0,73 \text{ "}$
	2,500 Å
	$\epsilon = 0,74 \text{ "}$
	2,830 Å
	$\epsilon = 0,88 \text{ "}$
	2,480 Å
	$\epsilon = 0,75 \text{ "}$
	2,520 Å
	$\epsilon = 0,82 \text{ "}$

Pour certains de ces verres comparés, on note il est vrai, des différences d'épaisseur allant jusqu'à 0,17 mm. Elles n'expliquent pas toutefois les différences de transparence constatées, lesquelles indiquent nettement l'influence de la magnésie moins favorable que celle de la chaux, dans les verres à six molécules de silice. Il n'en est pas de même dans les verres à cinq molécules de silice, où la magnésie donne un accroissement sensible de transparence par rapport à la chaux — et ce dans les verres à la soude comme dans les verres à la potasse. Comme on peut s'en rendre compte par l'examen des spectrogrammes

12 et 14 de la figure 12, la limite de transparence des verres $5\text{SiO}_2 \cdot \text{MgO} \cdot \text{Na}_2\text{O}$ et $5\text{SiO}_2 \cdot \text{MgO} \cdot \text{K}_2\text{O}$ est, sous 0,82 mm., 2,520 A; elle est supérieure à celle des correspondants au baryum et à la chaux.

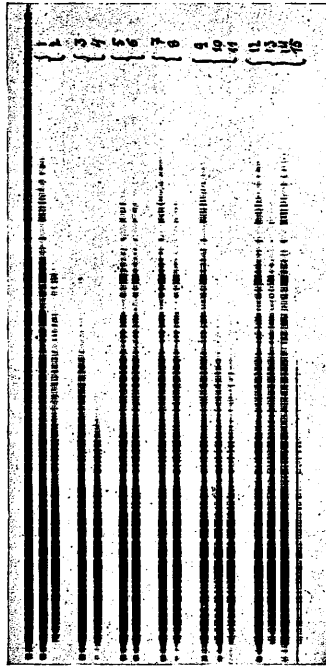
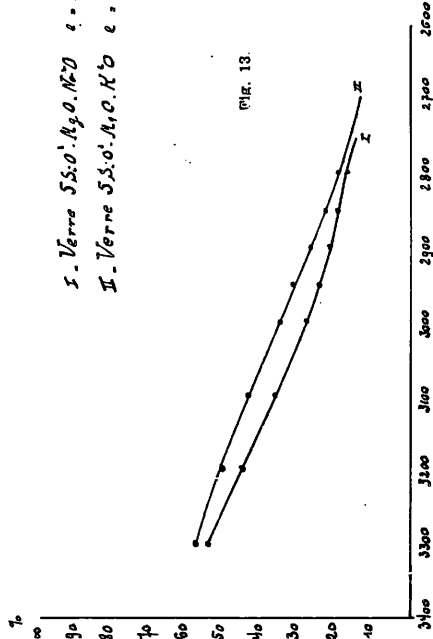


Fig. 12.

Etant donné l'intérêt que présentent ces verres, nous avons jugé intéressant de tracer leurs courbes d'absorption. Elles sont représentées dans les diagrammes de la figure 13.



I. Verre $5\text{SiO}_2 \cdot \text{MgO} \cdot \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{K}_2\text{O}$ $e = 0,84$
 II. Verre $5\text{SiO}_2 \cdot \text{MgO} \cdot \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO}$ $e = 0,79$

Fig. 13.

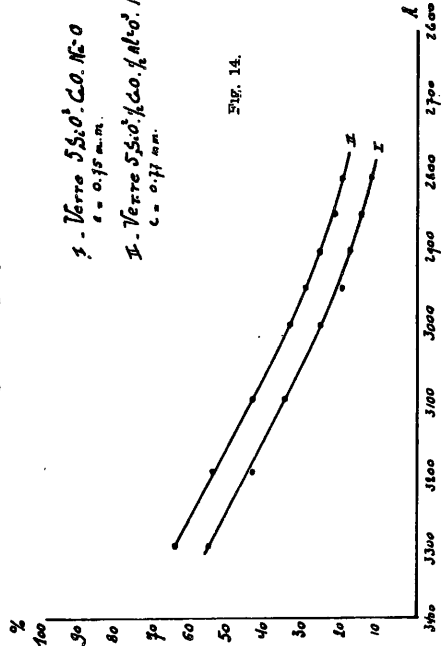
Comme les verres à cinq molécules de silice contenant les oxydes de Baryum et de Magnésium présentent une transparence intéressante, il était judicieux d'étudier des verres contenant simultanément ces deux éléments. Dans les verres à la soude comme dans les verres à la potasse, nous avons dans ce cas constaté une diminution de transparence; l'introduction de deux éléments favorables n'entraîne donc pas nécessairement une superposition des effets inhérents à chacun d'eux.

Influence de l'alumine.

Elle résulte de la comparaison des verres :



Dans le premier de ces verres, la transparence est, comme nous l'avons vu, limitée à 2,700 A. Dans le second, la raie ultime est située à 2,460 A. L'alumine, remplaçant partiellement la chaux a donc une influence heureuse sur la transparence des verres à l'ultra-violet. Ce fait est important, car l'alumine étant l'élément de base de toutes les argiles employées à la confection des



I. Verre $5\text{SiO}_2 \cdot \text{CaO} \cdot \text{Na}_2\text{O}$ $e = 0,75$ mm.
 II. Verre $5\text{SiO}_2 \cdot 1/2\text{CaO} \cdot 1/2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Na}_2\text{O}$ $e = 0,77$ mm.

Fig. 14.

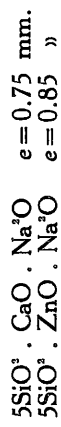
creusets à fondre le verre, se dissout toujours quelque peu dans le verre en fusion.

La figure 14 donne la courbe d'absorption des deux verres considérés. La limite de transparence du verre à l'alumine se voit dans le spectrogramme n° 7 de la figure 12.

Influence de l'oxyde de Zinc.

L'oxyde de Zinc, comme l'oxyde de Baryum du reste, est employé dans la fabrication de certains verres d'optique. Il était intéressant de rechercher son influence.

Celle-ci ressort de la comparaison des verres suivants :



Dans le premier, la limite de transparence est 2,700 Å. Dans le second, elle est aux environs de 2,650 Å (spectrogramme 9, fig. 11). Toutefois, la comparaison des courbes d'absorption de ces deux verres montre que l'emploi de l'oxyde de Zinc est moins avantageux que celui de la chaux. Le verre considéré laisse encore passer 40 p.c. de la lumière transmise à 3,100 Å et 20 p.c. à 2,850 Å (fig. 15).

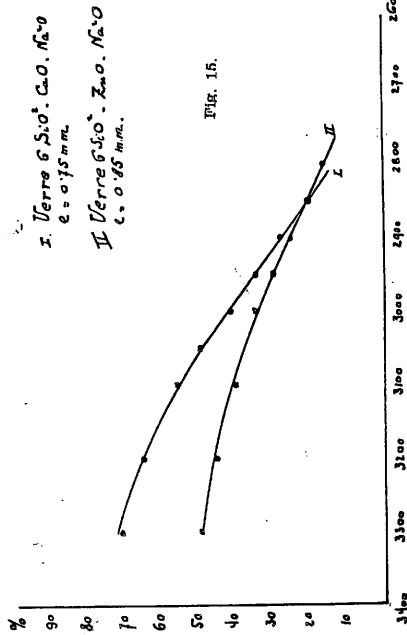


Fig. 15.

Influence de l'alcali.

Toutes les compositions employées à la fabrication des verres industriels contiennent de l'oxyde de Potassium ou de l'oxyde de Sodium, parfois les deux oxydes simultanément. Ils sont incorporés à l'état de composés divers, le plus couramment sous forme de carbonate ou de sulfate. Il était utile de rechercher l'influence que l'un et l'autre exercent sur la transparence à l'ultra-violet.

Dans ce but nous avons composé les verres suivants :

Limite de transparence

1	{ 6 SiO ₂ . CaO . 0,8 Na ₂ O 6 SiO ₂ . CaO . Na ₂ O 6 SiO ₂ . CaO . 1,2 Na ₂ O	2.700 Å e = 0,82 mm. 2.700 » e = 0,85 mm. 2.750 » e = 0,93 mm.
2	{ 6 SiO ₂ . BaO . 0,8 Na ₂ O 6 SiO ₂ . BaO . Na ₂ O 6 SiO ₂ . BaO . 1,2 Na ₂ O	2.675 » e = 0,92 mm. 2.580 » e = 0,75 mm. 2.930 » e = 0,71 mm.
3	{ 6 SiO ₂ . MgO . 0,8 Na ₂ O 6 SiO ₂ . MgO . Na ₂ O 6 SiO ₂ . MgO . 1,2 Na ₂ O	2.950 » e = 0,96 mm. 2.800 » e = 0,88 mm. 2.960 » e = 0,97 mm.
4	{ 6 SiO ₂ . CaO . 0,8 K ₂ O 6 SiO ₂ . CaO . K ₂ O 6 SiO ₂ . CaO . 1,2 K ₂ O	2.580 » e = 0,75 mm. 2.450 » e = 0,80 mm. 2.580 » e = 0,96 mm.
5	{ 6 SiO ₂ . BaO . 0,8 K ₂ O 6 SiO ₂ . BaO . K ₂ O 6 SiO ₂ . BaO . 1,2 K ₂ O	2.450 » e = 0,71 mm. 2.520 » e = 0,80 mm. 2.750 » e = 0,80 mm.
6	{ 6 SiO ₂ . CaO . Na ₂ O 6 SiO ₂ . CaO . K ₂ O	2.700 » e = 0,85 mm. 2.450 » e = 0,80 mm.
7	{ 6 SiO ₂ . BaO . Na ₂ O 6 SiO ₂ . BaO . K ₂ O	2.580 » e = 0,75 mm. 2.520 » e = 0,80 mm.

La comparaison des verres de ces différentes séries montre :

1° Que dans les verres sodico-calciques, la variation de la teneur en oxyde de Sodium n'affecte pas sensiblement la transparence à l'ultra-violet (fig. 8, verres 1, 2, 3).

(1) Ce résultat est en désaccord avec celui obtenu par MM. Marg. Fritz-Schmidt, Gehhoff et Thomas.

2° Que dans les verres sodico-barytiques, l'augmentation de la teneur en oxyde sodique est défavorable. Le verre à 0,8 Na²O sous 0,9 mm. d'épaisseur est nettement plus transparent que le verre à 1,2 Na²O sous 0,71 mm. (fig. 8, verres 4, 5, 6).

3° Que dans les verres magnésico-sodiques, la variation de la teneur en soude n'affecte pas sensiblement la transparence. Les verres à 0,8 Na²O et 1,2 Na²O, sous la même épaisseur, ont des transparences comparables (fig. 8, verres 7, 8, 9).

4° Dans les verres potassico-calciques, la variation de la teneur en potasse n'a pas d'action bien marquée. Le verre normal 6 SiO² . CaO . K²O est le plus favorable (fig. 8, verres 10, 11, 12).

5° Dans les verres potassico-barytiques, l'augmentation de la teneur en K²O paraît préjudiciable (fig. 8, verres 13, 14, 15).

Les séries 6 et 7 montrent que dans les verres à la chaux comme dans ceux à la baryte, la potasse est plus favorable que la soude à la transparence à l'ultra-violet, son action étant cependant plus marquée dans les verres à la chaux. La figure 13, qui donne les courbes d'absorption des verres 5 SiO² . MgO . Na²O et 5 SiO² . MgO . K²O, est une autre confirmation des résultats énoncés (1).

Influence du bore.

Des borosilicates ont souvent été préconisés comme verres ultra-violet. C'est vers leur étude que Zschimmer a dirigé ses principales recherches. Nous avons cru bon de nous arrêter quelque peu à l'influence du bore.

Nous avons étudié les verres suivants :

	Limite de transparence
5 SiO ² . CaO . Na ² O + 0,2 B ² O ³	e = 1,77 mm. 2.730 Å
+ 0,4 B ² O ³	e = 1,68 mm. 2.730 »
+ 0,6 B ² O ³	e = 1,81 mm. 2.930 »
+ 0,8 B ² O ³	e = 2,04 mm. 2.970 »
+ 1 B ² O ³	e = 2,72 mm. 3.120 »
+ 1,2 B ² O ³	e = 2,31 mm. 3.050 »
+ 1,4 B ² O ³	e = 2,38 mm. 3.140 »
+ 1,5 B ² O ³	e = 2,6 mm. 3.040 »
5 SiO ² . CaO . K ² O	e = 2,31 mm. 2.910 »
+ 0,4 B ² O ³	e = 2,19 mm. 2.830 »
+ 0,6 B ² O ³	e = 2,42 mm. 2.910 »
+ 0,8 B ² O ³	e = 2,28 mm. 2.910 »
+ 1 B ² O ³	e = 2,25 mm. 2.940 »
+ 1,2 B ² O ³	e = 2,36 mm. 2.940 »
+ 1,4 B ² O ³	e = 2,17 mm. 2.910 »
+ 1,6 B ² O ³	e = 2,18 mm. 2.930 »
5 SiO ² . BaO . Na ² O + 0,2 B ² O ³	e = 1,2 mm. 3.050 »
+ 0,4 B ² O ³	e = 1 mm. 2.970 »
+ 0,6 B ² O ³	e = 1,07 mm. 2.950 »
+ 0,8 B ² O ³	e = 0,99 mm. 2.910 »
+ 1 B ² O ³	e = 0,82 mm. 2.910 »
+ 1,2 B ² O ³	e = 0,82 mm. 2.970 »
+ 1,4 B ² O ³	e = 0,80 mm. 2.950 »

Les spectrogrammes relatifs à ces verres (fig. 16)

ainsi que les nombres donnés ci-dessus montrent que :
1° Dans les verres sodico-calciques étudiés, donc du type 5 SiO² . CaO . Na²O, la proportion de silice étant maintenue constante, l'introduction du bore, d'abord, l'accroissement de la teneur en bore, ensuite, provoquent une diminution de la transparence à l'ultra-violet. Compte tenu des différences d'épaisseur des échantillons, on voit que la transparence ne varie pas proportionnellement à la teneur en bore.

2° Dans les verres potassico-calciques, la variation de la teneur en bore n'entraîne que peu de variation de la transparence des verres aux rayons ultra-violet.

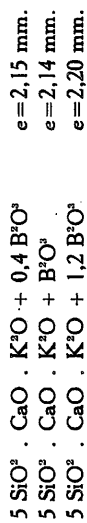


Fig. 16.

3° Dans les verres barytico-sodiques, la variation de la teneur en bore n'a pas non plus grande influence sur la transparence.

L'ensemble de ces résultats montre, en toute occurrence, de façon assez nette, que l'introduction du bore a comme résultat d'éloigner des courtes longueurs d'onde la limite de transparence des verres.

Nous avons complété notre étude des verres au bore par l'examen de la série ci-après, pour laquelle nous avons tracé les courbes d'absorption :



Ces courbes d'absorption sont données dans la figure 17. L'anhydride borique introduit dans le verre, étant un élément acide, est souvent employé en remplacement partiel de la silice. Pour nous rendre compte de l'effet de ce remplacement de la silice par l'anhydride borique, nous avons fondu industrielle-

ment un certain nombre de mélanges. Nous donnerons ultérieurement dans un chapitre spécial, consacré aux verres industriels, les résultats obtenus.

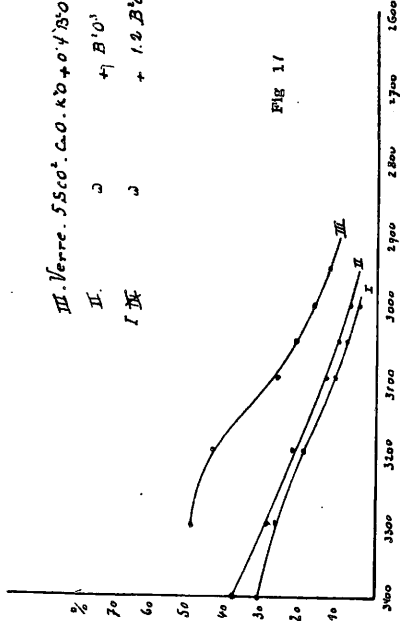
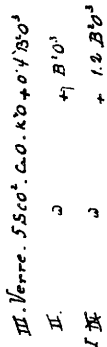
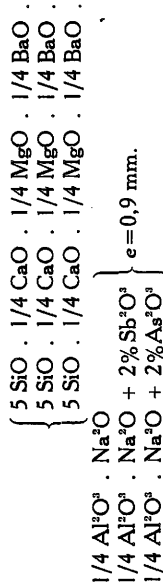


Fig. 17

Influence de l'arsenic et de l'antimoine.

Nous nous sommes arrêtés quelques instants à l'influence qu'exercent As_2O_3 et Sb_2O_3 , car ces deux corps sont couramment employés comme éléments secondaires dans la fabrication des verres industriels.

Nous avons considéré les verres :



Les spectrogrammes de la figure 18 montrent les résultats obtenus. L' As_2O_3 et l' Sb_2O_3 incorporés à un verre de composition déterminée diminuent sa transparence à l'ultra-violet, l'effet de As_2O_3 étant plus marqué (1) que celui de Sb_2O_3 .

(1) Ce résultat est contraire à celui trouvé par MM. Marg. Fritz-Schmidt, Gehloff et Tohmas; mais les verres de base sont différents.

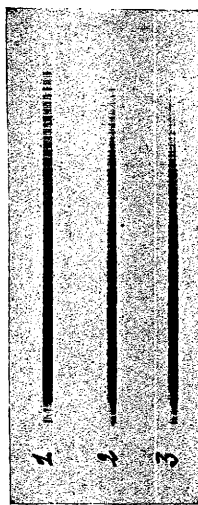
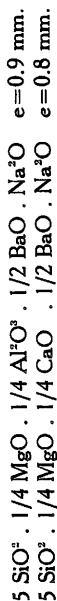


Fig. 18.

Verres complexes.

Pour connaître l'influence que peut avoir sur la transparence la réunion de plusieurs oxydes plus ou moins favorables, chacun pris en particulier, nous avons examiné les deux verres complexes suivants:



Les spectrogrammes 4 et 5 de la figure 19 montrent que le résultat au point de vue transparence n'est pas avantageux. Les limites de transparence sont comparables, la quantité d'ultra-violet au delà de 2.930 Å environ étant négligeable dans le deuxième de ces verres.

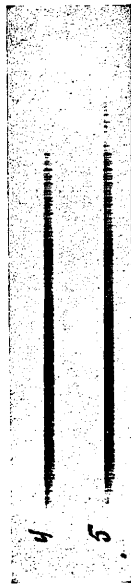
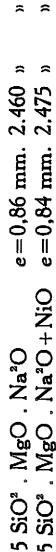
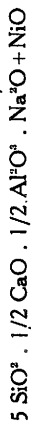
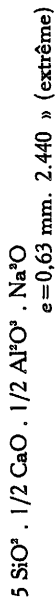
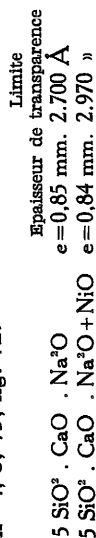


Fig. 19.

Influence de l'oxyde de nickel.

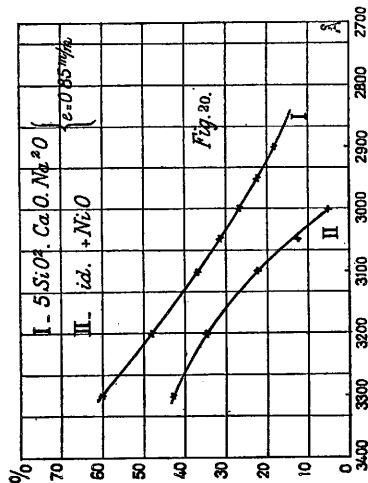
Nous avons recherché l'influence de l'oxyde de Nickel en comparant les verres des séries ci-après: n^{os} 4, 8, 13, fig. 12.



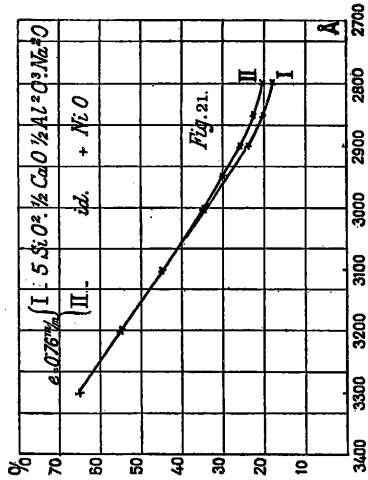
L'oxyde de Nickel a été employé dans tous les verres à raison de 2 %. La comparaison des verres précédents montre que dans tous les cas l'oxyde de Nickel (NiO) diminue la transparence à l'ultra-violet, des verres auxquels il est incorporé.

Nous avons, en outre, examiné les verres suivants pour lesquels nous avons tracé les courbes d'absorption:

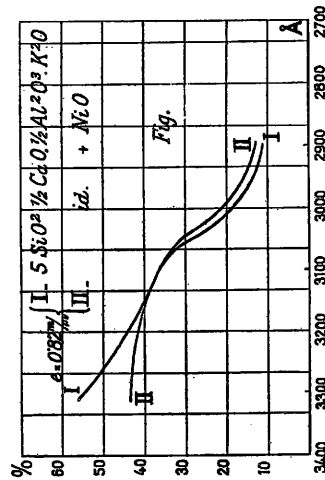
- 1 { 5 SiO² . MgO . Na²O e = 0,84 mm.
 5 SiO² . MgO . Na²O + NiO e = 0,86 mm.
- 2 { 5 SiO² . MgO . K²O e = 0,87 mm.
 5 SiO² . MgO . K²O + NiO e = 0,88 mm.
- 3 { 5 SiO² . 1/2 CaO . 1/2 Al²O³ . Na²O e = 0,75 mm.
 5 SiO² . 1/2 CaO . 1/2 Al²O³ . Na²O + NiO e = 0,75 mm.
- 4 { 5 SiO² . 1/2 CaO . 1/2 Al²O³ . K²O e = 0,83 mm.
 5 SiO² . 1/2 CaO . 1/2 Al²O³ . K²O + NiO e = 0,82 mm.
- 5 { 5 SiO² . CaO . Na²O e = 0,85 mm.
 5 SiO² . CaO . Na²O + NiO e = 0,85 mm.



Les résultats sont donnés dans les figures 20, 21, 22, 23. On voit que dans le verre sodico-calcique (5) l'addition du Nickel diminue nettement, de façon appréciable, et à peu près uniformément, la transparence du verre à l'ultra-violet. Il ne modifie que très peu sensiblement celle du verre alumine-chaux-

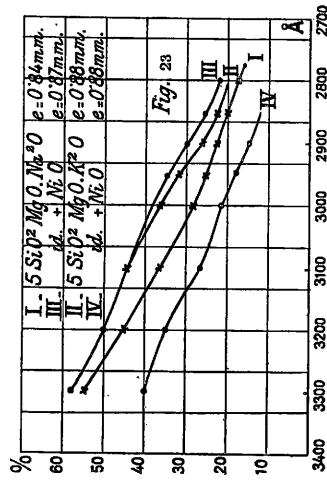


soude (3) ; il augmente quelque peu sa transparence vers les courtes longueurs d'ondes ; dans le verre correspondant à la potasse, il diminue d'abord la transparence, puis l'augmente quelque peu à partir de 3.100 Å.



Dans les verres à la magnésic, son action aussi est différente selon qu'il s'agit du verre à la soude ou du verre à la potasse. Dans le premier cas, il accroît uniformément la transparence à l'ultra-violet ; dans le second, il la diminue.

L'effet de l'oxyde de Nickel est donc essentiellement fonction de la composition du verre à laquelle il est incorporé et il ne nous est pas possible d'énoncer de règle absolue sur son action. Il est en tous cas plutôt défavorable à la transmission de l'ultra-violet.



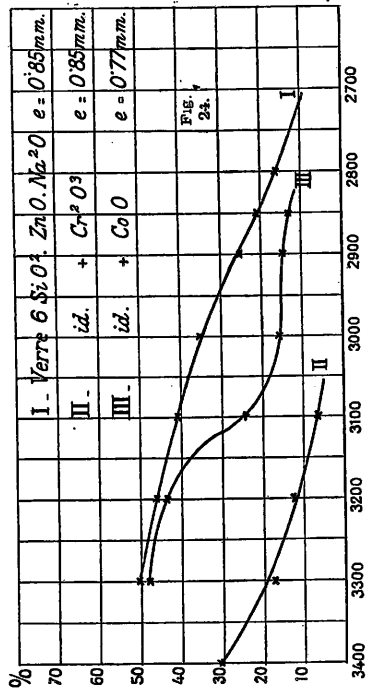
Influence de l'oxyde de chrome.

Nous avons photographié les spectres d'une étincelle fer-cuivre après absorption par les verres n° 2, II fig. 12.

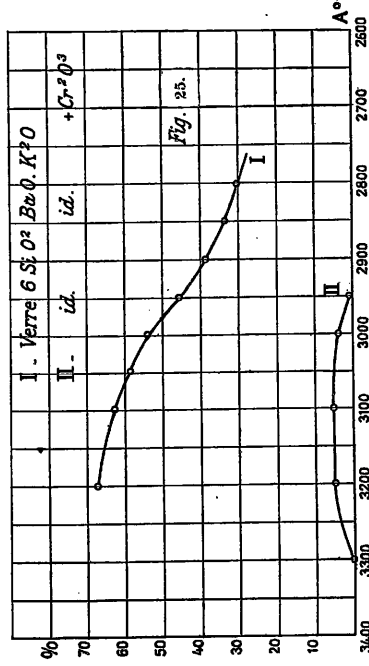
	L limite de transparence
6 SiO ² . CaO . K ² O	e = 0,84 mm. 2.450 Å
6 SiO ² . CaO . K ² O + Cr ² O ³	e = 0,84 mm. 2.580 »
6 SiO ² . ZnO . Na ² O	e = 0,81 mm. 2.480 »
6 SiO ² . ZnO . Na ² O + Cr ² O ³	e = 0,89 mm. 2.370 »

L'oxyde de Chrome diminue donc la transparence des verres aux rayons ultra-violetes.

La figure 27 donne les courbes d'absorption des deux verres au zinc. Un phénomène remarquable s'observe pour le verre 6 SiO² . BaO . K²O + Cr²O³ (fig. 25) . Tandis que la transparence du verre 6 SiO²

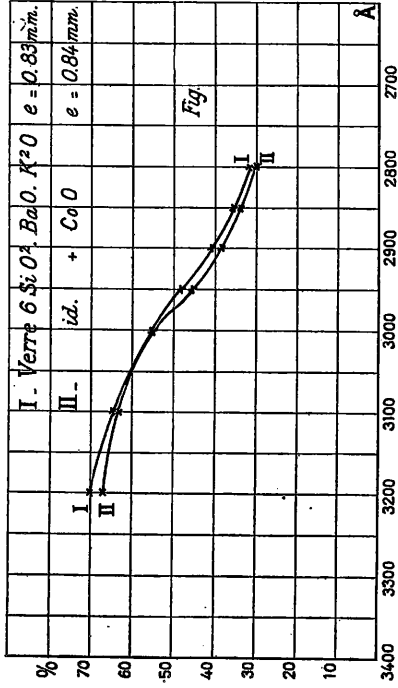


BaO . K²O s'étend loin dans l'ultra-violet, le verre au Cr présente de 3.820 à 3.320 Å, une région d'absorption totale à laquelle succède une région s'étendant jusqu'à 2.950 Å pour laquelle la transparence n'est que de quelques pour cents.



Parmi les nombreux verres que nous avons examinés le verre 6 SiO² . BaO . K²O + Cr²O³ est le seul qui nous ait montré une zone de complète absorption encadrée par deux zones de transparence.

Cette particularité se rencontre plus fréquemment dans les solutions et les vapeurs. Nous l'avons notamment observée dans les solutions aqueuses de différents nitrates (vers 2.500 Å).



Cette singularité n'a lieu pour aucun des verres suivants :

- 6 SiO² . CaO . Na²O + Cr²O³
- 6 SiO² . CaO . K²O + Cr²O³
- 6 SiO² . BaO . Na²O + Cr²O³
- 6 SiO² . ZnO . Na²O + Cr²O³
- 6 SiO² . ZnO . K²O + Cr²O³

Elle semble donc bien due à la présence simultanée du Cr, du Ba et du K.

Influence de l'oxyde de cobalt.

L'oxyde de Cobalt est couramment employé en verrerie à la fois comme colorant et comme décolorant. Il était utile de vérifier son influence sur la faculté du verre à transmettre à l'ultra-violet.

Nous avons photographié les spectres d'une étincelle fer-cuivre après absorption par les verres n° 6, 10, fig. 12 :

- 6 SiO² . BaO . Na²O e = 0,89 mm. 2.510 Å
- 6 SiO² . BaO . Na²O + CoO e = 0,82 mm. 2.530 »
- 6 SiO² . ZnO . Na²O e = 0,80 mm. 2.480 »
- 6 SiO² . ZnO . Na²O + CoO e = 0,77 mm. 2.730 »

L'oxyde de Cobalt diminue la transparence des verres à l'ultra-violet. Pour vérifier le fait et juger de l'allure de la réduction dans les verres à la soude et à la potasse, nous avons tracé la courbe d'absorption des verres au zinc ci-dessus ainsi que celle des verres

- 6 SiO² . BaO . K²O e = 0,83 mm.
- 6 SiO² . BaO . K²O + CoO e = 0,84 mm.

Elles sont représentées dans les figures 24 et 26. La courbe du verre au zinc accuse une diminution nette de transparence. Celle du verre au Baryum correspond pour ainsi dire point par point à celle du verre sans colorant : elle n'accuse qu'une très faible diminution de la transparence.

Influence du manganèse.

Pour reconnaître l'influence du Manganèse ajouté au verre, nous avons examiné les verres suivants :

- 6 SiO² . CaO . Na²O e = 0,85 mm.
- 6 SiO² . CaO . Na²O + MnO² e = 0,83 mm.
- 6 SiO² . BaO . K²O e = 0,8 mm.
- 6 SiO² . BaO . K²O + MnO² e = 0,8 mm.
- 6 SiO² . BaO . Na²O e = 0,74 mm.
- 6 SiO² . BaO . Na²O + MnO² e = 0,78 mm.
- 6 SiO² . 0,8 CaO . Na²O e = 0,84 mm.
- 6 SiO² . 0,8 CaO . Na²O + MnO² e = 0,82 mm.
- 6 SiO² . 1,2 CaO . Na²O e = 0,74 mm.
- 6 SiO² . 1,2 CaO . Na²O + MnO² e = 0,75 mm.
- 6 SiO² . ZnO . Na²O e = 0,84 mm.
- 6 SiO² . ZnO . Na²O + MnO² e = 0,80 mm.

Un simple coup d'œil sur la figure 27, qui reproduit les spectrogrammes de ces verres, montre que l'oxyde de Manganèse diminue très fortement la transparence du verre à l'ultra-violet.

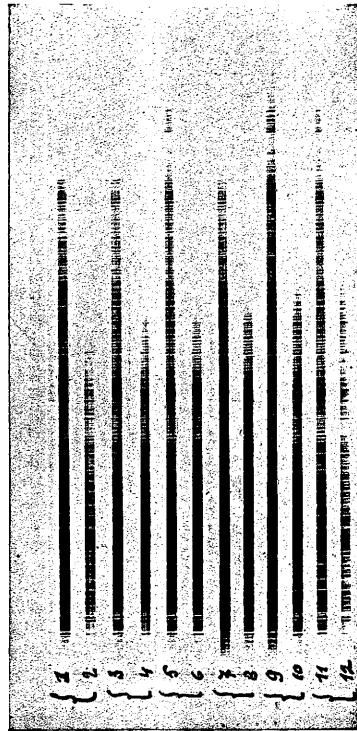


Fig. 27.

Nous avons tracé, à titre d'exemple, la courbe d'absorption du verre
 6 SiO² . CaO . Na²O + MnO² (e = 0,80 mm.)
 pour la comparer à celle du verre normal
 6 SiO² . CaO . Na²O (e = 0,75 mm.)

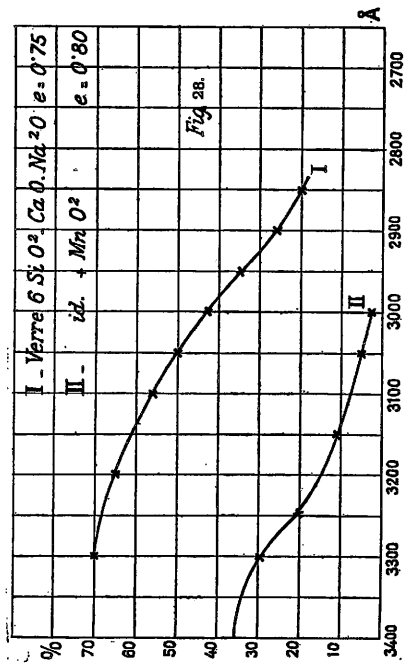


Fig. 28.

Influence de l'oxyde de fer.

Nous avons, au début de ce travail, insisté tout particulièrement sur l'influence de ce constituant, qui agit du reste différemment selon son degré d'oxydation. Son importance est très grande, car, très répandu dans la nature, il se rencontre comme impureté dans nombre de matières utilisées dans la fabrication du verre.

Etant donné les résultats concluants et très complets obtenus jusqu'ici et que confirment les expériences récemment réalisées par Rose à l'aide des solutions, nous n'avons pas cru utile de nous étendre longuement sur l'influence de ce constituant. Nous avons vérifié seulement sur quelques verres le rôle défavorable qu'il joue dans la transmission des radiations ultra-violettes.

Nous avons examiné les verres, cités ci-après, et trouvé les limites renseignées de transparence, figure 29:

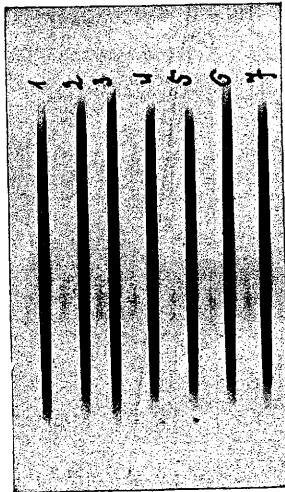


Fig. 29.

- | | |
|---|---------|
| 6 SiO ² . CaO . K ² O + Fe ² O ³ | 3.350 A |
| 6 SiO ² . CaO . Na ² O + Fe ² O ³ | 3.300 » |
| 6 SiO ² . ZnO . K ² O + Fe ² O ³ | 3.250 » |

Comme on le voit, l'oxyde de Fer supprime l'ultra-violet à partir de la longueur d'onde 3.250 A. Il est donc tout à fait nuisible au point de vue de la perméabilité à l'ultra-violet.

Influence de l'oxyde cuivrique.

Nous avons vérifié son influence à l'aide des verres suivants:

- | |
|--|
| 6 SiO ² . CaO . K ² O + CuO |
| 6 SiO ² . CaO . Na ² O + CuO |
| 6 SiO ² . BaO . Na ² O + CuO |
| 6 SiO ² . BaO . K ² O + CuO |

Les spectrogrammes de la figure 29 montrent que son rôle est analogue à celui de l'oxyde de Fer.

La transparence des verres à l'oxyde ferrique et à l'oxyde cuivrique est du reste déjà très faible à l'égard des rayons violets.

Verres industriels.

Tous les verres faisant l'objet de l'étude précédente ont été fabriqués à l'aide de matières absolument pures de façon que soit écarté tout élément étranger à la composition renseignée.

Indépendamment de ces essais, nous avons cru utile d'étudier un certain nombre de verres, fondus en grand creuset (100 à 150 kg.), dont certains répondent à des formules simples et dont d'autres contiennent les affainants ou décolorants couramment employés.

Pour chacun d'eux, nous avons pris un spectre de raies qui nous a permis de préciser sa limite de transparence à l'ultra-violet.

La première série étudiée comprend les verres au bore auxquels il a été précédemment fait allusion.

La composition de base correspond à un verre sodico-calcique. Cette composition a été successivement modifiée par emplacement d'une partie croissante de silice par de l'acide borique. La quantité d'acide borique employée a varié de 8 à 35 p. c. Nous désignons ces verres par A B C D E F et nous

donnons dans le tableau ci-après leur composition ainsi que les résultats de l'examen spectrophotographique.

	Sable	Soude	Calcaire	Acide borique	Épaisseur mm.	Limite de transpar.
A	100	36	34	—	0,98	2730 A
B	91,5	36	34	15	0,93	2580 A
C	83	36	34	30	0,96	2550 A
D	75,5	36	34	45	0,84	2480 A
E	67	36	34	60	0,97	2520 A
F	58,5	36	34	75	1,30	2600 A

Le verre A est le verre de base dépourvu d'acide borique. Comme on peut s'en rendre compte le remplacement partiel de la silice par l'acide borique a un effet favorable sur la perméabilité à l'ultra-violet, résultat contraire à celui obtenu par l'addition pure et simple d'acide borique en quantité croissante à un verre à teneur déterminée en silice.

Les spectrogrammes de la figure 30 concrétisent les résultats signalés.

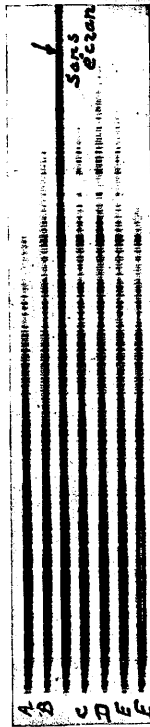


FIG. 30.

La seconde série comprend trois verres sodico-calcaïques et trois verres sodico-barytiques répondant les premiers aux formules générales $5 \text{SiO}_2 \cdot \text{CaO}$ Na_2O (G), $5 \text{SiO}_2 \cdot 1/2 \text{CaO} \cdot 0,8 \text{Na}_2\text{O}$ (H), $5 \text{SiO}_2 \cdot 0,8 \text{CaO} \cdot 1,2 \text{Na}_2\text{O}$ (I); les seconds aux formules $5 \text{SiO}_2 \cdot \text{BaO} \cdot \text{Na}_2\text{O}$ (K), $5 \text{SiO}_2 \cdot 0,8 \text{BaO} \cdot \text{Na}_2\text{O}$ (L), $5 \text{SiO}_2 \cdot 1,2 \text{BaO} \cdot \text{Na}_2\text{O}$ (M).

Les résultats de l'examen sont les suivants :

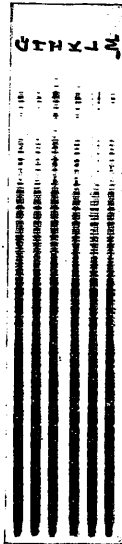


Fig. 31.

Verre	G	H	I	K	L	M
épaisseur	0,78 mm.	—	—	—	—	—
limite de transparence	2680 A	2700 A	2600 A	2620 A	2480 A	2730 A

Certains de ces verres présentent une intéressante perméabilité.

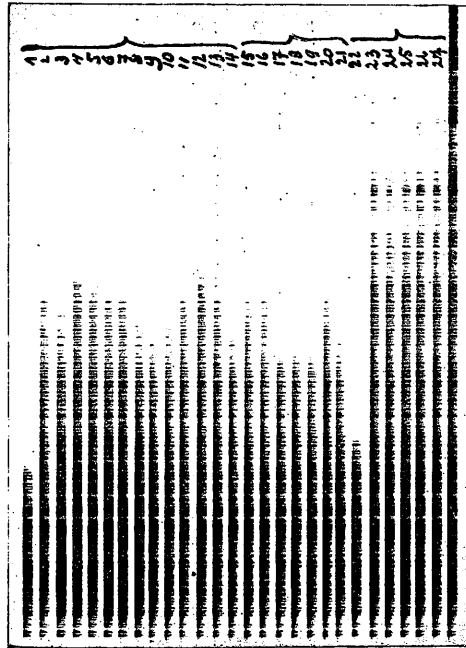


Fig. 32.

Une troisième série comportait des verres sodico-calcaïques de formule générale SiO_2 : 100, soude 40, calcaire 20, contenant tous, outre les éléments fonda-

mentaux, de petites quantités d'anhydride arsénieux employé comme affinant et du peroxyde de manganèse, comme décolorant. Nous les avons désignés 1 à 24. Le premier qui contient en outre de l'oxyde de cérium présente une opacité remarquable à l'ultra-violet. Nous reviendrons plus loin sur ce point. Les autres qui ne se distinguent que par les quantités d'éléments secondaires incorporés, présentent sous l'épaisseur considérée une perméabilité intéressante, en général peu différente d'un verre à l'autre, les limites de transparence variant de 2.900 à 3.000 A (figure 32).

Une quatrième série comporte des verres plus complexes, numérotés 15 à 21. Ils contiennent de l'oxyde de plomb et comme alcalis de la soude (19 et 21) ou de la potasse (15, 16, 17, 18, 20). Leur limite de transparence est comparable à celle des verres précédents. Ce sont les plus intéressants parmi ceux que nous avons étudiés.

Comme on peut s'en rendre compte, ces différents verres ont été étudiés sous une épaisseur assez forte. Sous faible épaisseur leurs limites de transparence aux radiations ultra-violettes méritent de retenir l'attention (n^{os} 22 à 27 sont les six premiers verres sous faible épaisseur).

Le tableau ci-après donne, en même temps que l'épaisseur sous laquelle ils ont été étudiés, les limites de transparence de ces différents verres.

Verre	Epaisseur	Limite de transpar.	Verre	Epaisseur	Limite de transpar.
1	2,22	3475 A	15	2,85	2960 A
2	2,46	2920 A	16	2,50	2920 A
3	2,44	2980 A	17	2,59	3080 A
4	1,96	2825 A	18	2,59	3080 A
5	2,88	2900 A	19	1,71	3040 A
6	3,24	2920 A	20	2,44	2960 A
7	3,01	2920 A	21	2,40	3020 A

8	2,88	2980 A	22	0,60	3400 A
9	2,64	3020 A	23	0,63	2580 A
10	2,85	2980 A	24	0,65	2720 A
11	2,75	2920 A	25	0,87	2720 A
12	2,50	2800 A	26	0,66	2580 A
13	2,68	2920 A	27	0,67	2580 A
14	2,44	3000 A			

Influence des oxydes rares.

Dans la propagande entreprise en faveur des verres soi-disant ultra-violet, certains fabricants ont attribué les propriétés spéciales de leurs produits à la présence, dans la composition, d'oxydes rares, dont ils ne mentionnaient du reste pas la nature.

Curieux de connaître le bien-fondé de ces assertions, nous en avons expérimenté quelques-uns : les oxydes de cérium, de didyme, de néodyme, de lanthane.

L'oxyde de lanthane donne un verre opale dont la transparence ne peut être prise en considération.

L'oxyde de cérium — contenu notamment dans le verre n^o 1, précédemment cité — est pour ainsi dire opaque à l'ultra-violet à partir de la longueur d'onde 3.400 A.

Nous avons vérifié le fait en étudiant cinq verres de composition différente contenant cet oxyde en proportions variables.

Ils sont désignés C₁ (verre sodico-calcique à 5 % CeO²), C₂ (verre sodico-calcique à 5 % CeO³), C₃ (verre sodico-calcique à 2 % CeO³), C₄ (verre potassico-calcique à 3 % CeO³), C₅ (verre potassico-calcique à 5 % CeO³). Ils donnent sous faible épaisseur limites de transparence suivantes (figure 33) :

C ₁	e = 0,71	limite de transparence	3.300 A
C ₂	e = 0,71	»	3.420 »
C ₃	e = 0,74	»	3.400 »
C ₄	e = 0,74	»	3.400 »
C ₅	e = 0,74	»	3.400 »

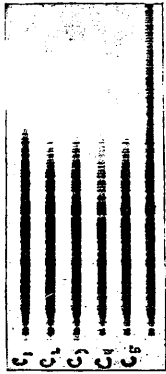


Fig. 33.

Ces résultats sont concluants.

Nous avons, en outre, étudié six verres sodico-potassiques de même composition désignés TR₁ à TR₆.

Les quatre premiers contiennent de l'oxyde de cérium, TR₁ (3,5), TR₂ (3,5 - 1 % TiO₂), TR₃ (5 %), TR₄ (7 %), le cinquième du nitrate de didyme (3,5 %), le sixième de l'oxalate de néodyme (3,5 %).

Les résultats obtenus à l'aide de ces verres sont les suivants :

TR ₁	e = 0,72	limite de transparence	3.410 A
TR ₂	e = 0,76	»	3.420 »
TR ₃	e = 0,85	»	3.480 »
TR ₄	e = 0,78	»	3.410 »
TR ₅	e = 0,72	»	2.825 »
TR ₆	e = 0,62	»	2.825 »

Les quatre premiers verres confirment les résultats précédemment obtenus.

Les deux derniers montrent que les composés du didyme ou du néodyme n'exercent pas sur la transparence à l'ultra-violet, une influence particulièrement favorable (figure 34).

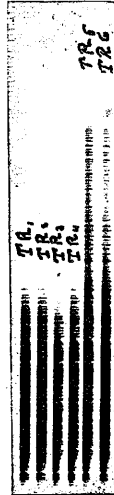


Fig. 34.

Influence de l'épaisseur.

Comme il se conçoit à priori, l'épaisseur de l'écran, en l'occurrence la lame de verre examinée, a une influence sur la quantité de lumière transmise.

Pour apprécier son influence, nous avons composé quelques échantillons d'épaisseur nettement différente.

La figure 35 donne les résultats obtenus. Les verres comparés sont numérotés de I à VIII.

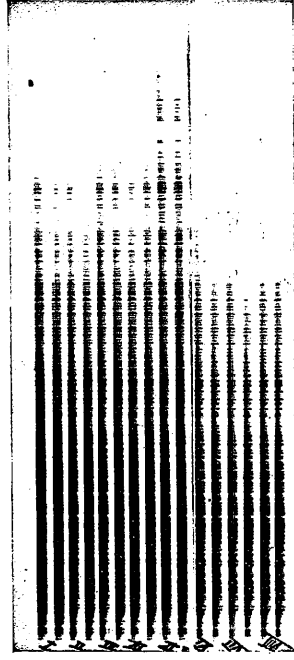


Fig. 35.

Verre I	{ e = 0,75	limite de transparence	2.680 A
	{ e = 3,41	»	2.970 »
Verre II	{ e = 0,77	»	2.700 »
	{ e = 4,05	»	3.000 »
Verre III	{ e = 0,76	»	2.590 »
	{ e = 3,01	»	2.920 »
Verre IV	{ e = 0,89	»	2.690 »
	{ e = 2,51	»	2.850 »
Verre V	{ e = 0,83	»	2.480 »
	{ e = 3,20	»	2.825 »
Verre VI	{ e = 0,83	»	2.725 »
	{ e = 3,90	»	3.080 »
Verre VII	{ e = 0,71	»	2.830 »
	{ e = 3,69	»	3.025 »
Verre VIII	{ e = 1,10	»	2.870 »
	{ e = 3,12	»	2.970 »

Nous rappellerons ici les résultats comparatifs obtenus avec les verres 1 à 6 (figure 32).

Verre 1	$\left\{ \begin{array}{l} e = 0,60 \\ e = 2,22 \end{array} \right.$	limite de transparence	3.400 A 3.475 »
Verre 2	$\left\{ \begin{array}{l} e = 0,63 \\ e = 2,46 \end{array} \right.$	»	2.580 » 2.920 »
Verre 3	$\left\{ \begin{array}{l} e = 0,65 \\ e = 2,44 \end{array} \right.$	»	2.720 » 2.980 »
Verre 4	$\left\{ \begin{array}{l} e = 0,87 \\ e = 1,96 \end{array} \right.$	»	2.710 » 2.825 »
Verre 5	$\left\{ \begin{array}{l} e = 0,66 \\ e = 2,88 \end{array} \right.$	»	2.580 » 2.900 »
Verre 6	$\left\{ \begin{array}{l} e = 0,67 \\ e = 3,24 \end{array} \right.$	»	2.580 » 2.920 »

Influence de l'irradiation.

L'action de la lumière sur la transparence des verres à l'ultra-violet n'est pas douteuse. Nous avons au début de cette note, rappelé les essais entrepris pour la préciser. Afin de vérifier le fait, nous avons irradié à l'aide de la lampe en quartz à vapeur de mercure, durant une quinzaine d'heures un certain nombre d'échantillons.

Les résultats montrent une décroissance de transparence, plus ou moins accusée suivant la nature du verre.

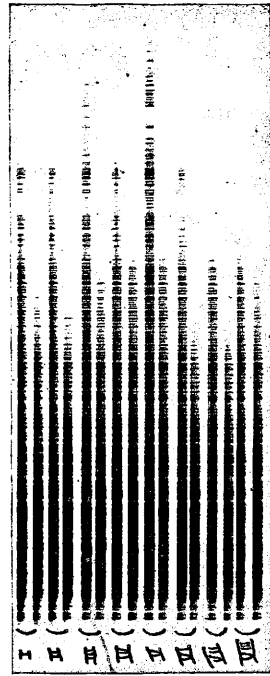


Fig. 36.

Les échantillons irradiés sont de composition identique à ceux de la série I à VIII. Les verres frais et les verres irradiés sont désignés par les indices n et i (figure 36).

I _n	e = 0,75	limite de transparence	2.680 A
I _i	e = 0,90	»	2.700 »
II _n	e = 0,82	»	2.700 »
II _i	e = 1,00	»	2.830 »
III _n	e = 0,82	»	2.590 »
III _i	e = 0,93	»	2.700 »
IV _n	e = 0,85	»	2.690 »
IV _i	e = 0,87	»	2.700 »
V _n	e = 0,81	»	2.500 »
V _i	e = 0,82	»	2.550 »
VI _n	e = 1,00	»	2.750 »
VI _i	e = 1,10	»	2.840 »
VII _n	e = 0,74	»	2.830 »
VII _i	e = 1,00	»	2.920 »
VIII _n	e = 1,13	»	2.900 »
VIII _i	e = 1,00	»	2.900 »

Les épaisseurs des verres étant comparables et toutes les autres conditions étant restées les mêmes, la variation de la limite de transparence ne peut être imputée qu'au vieillissement par le rayonnement de l'arc au mercure. Ces résultats confirment ceux précédemment trouvés.

CONCLUSIONS

Comme on peut s'en rendre compte par l'exposé des résultats des essais, la perméabilité aux radiations ultra-violettes des verres, varie essentiellement avec la nature des éléments constituants.

Grâce aux spectogrammes que nous avons pris et aux courbes d'absorption que nous avons tracées, nous avons pu déterminer de façon assez précise, le rôle joué par les principaux composants des verres courants.

Nous avons du reste adopté et nous nous sommes confinés à une formule générale de verres 5SiO_2 ou $6 \text{SiO}_2 \cdot \text{MO} \cdot \text{M}'\text{O}$ qui est celle à laquelle répondent le plus grand nombre des verres du commerce. Elle donne en général des verres stables, condition primordiale pour que la matière conserve, intégralement, toutes ses propriétés.

Il ressort nettement des résultats expérimentaux que l'influence propre d'un constituant peut être fortement modifiée par les éléments qui lui sont associés et nous croyons pouvoir affirmer que la perméabilité d'un verre aux radiations ultra-violettes est défavorablement influencée par sa complexité moléculaire.

Parmi les composants des verres exerçant une action particulièrement favorable sur la transparence aux rayons ultra-violettes, dans les conditions de nos essais, nous citerons spécialement la silice, l'oxyde de baryum et l'oxyde de potassium, ainsi que l'acide borique quand il est employé, dans une proportion judicieuse, en remplacement de la silice.

Certains éléments par contre se sont montrés très défavorables à la transmission à l'ultra-violet. Nous citerons, en particulier, l'oxyde de fer et l'oxyde de manganèse.

Le premier est l'impureté la plus courante souillant les matières premières entrant dans la composition du verre. Le second est le décolorant le plus souvent employé pour faire disparaître la teinte verdâtre en général communiquée au verre par l'oxyde ferreux. L'un et l'autre sont de nature à amoindrir dans une large mesure l'action de composants favorables et la conclusion qui s'impose est, sinon d'éviter leur

emploi, du moins de le réduire au minimum en utilisant des matières premières de très grande pureté. C'est là une condition primordiale dans la fabrication des verres ultra-violettes.

Les résultats d'essais nous ont également montré que de faibles variations dans la teneur de l'un ou l'autre constituant sont sans influence notable sur la transparence à l'ultra-violet, mais qu'il existe néanmoins, pour une formule donnée de verre, une proportion optima en constituant MO ou M'O.

Indépendamment des verres théoriques sur laquelle est basée notre étude et qui ont été préparés à l'aide de matières chimiquement pures au prix de soins tout spéciaux, nous avons étudié un certain nombre de verres fabriqués dans les conditions ordinaires de la pratique.

Comme on a pu s'en rendre compte, plusieurs d'entre eux donnent d'intéressants résultats. Ils laissent en effet même sous une épaisseur comprise entre 2 et 3 mm., passer tout l'ultra-violet solaire, certains ayant une transparence beaucoup plus prononcée, s'étendant jusqu'à la longueur d'onde $e = 2.825 \text{ \AA}$.

L'étude systématique des verres conduit donc à des résultats du plus haut intérêt. Certes, nous n'avons pas la prétention d'avoir fait œuvre complète. Le terrain à parcourir dans ce domaine est bien vaste encore, car le verre est une matière complexe qui ne se livre à nous que peu à peu. Mais nous serons heureux si les modestes résultats que nous avons obtenus contribuent à faire progresser la question si passionnément utile de la perméabilité du verre aux radiations ultra-violettes.

BIBLIOGRAPHIE

- PFLUGER. — *L'absorption de l'ultra-violet par les verres.* « Phys. Zeitsch. », — 4-129-1903.
- ZSCHIMMER. — *Sur de nouveaux verres de perméabilité croissante à l'ultra-violet.* « Zeitsch. für Instr. kunde », — 23-360-1903.
- KRUSS. — *Sur l'absorption de l'ultra-violet par les verres.* « Zeit. für I. K. », — 23-197, 229.
- ZSCHIMMER. — *Essais sur la dépendance de l'opacité des verres de leur composition chimique.* « Phys. Zeitsch. », — N° 19-1919.
- P. GILARD. — *Le verre de quartz. Sa fabrication, ses propriétés, son emploi.* « Revue Un. des Mines », — T. XI et XII, N° 3 à 6 et 1 à 4, 1922.
- LYMAN. — *L'ultra-violet.* « Nouvelle collection Scientia. » — 1924.
- BAYLE, FABRE & HENRI GEORGE. — *Contribution à l'étude de la fluorescence et de ses applications.* « B. Soc. Chim. de France. » — Nov. 1924.
- V. S. — *Verres transparents et opaques aux rayons ultra-violets.* « Sprechsaal », — N° 7, p. 93, 1925.
- HOOD. — *Nouveaux verres transmettant l'ultra-violet.* « Glass Industry », — N° 7, 1926. — *Annales de l'Institut d'Actinologie depuis 1927.*
- SUCIE. — *Perméabilité des verres aux rayons ultra-violets.* « Journ. Americ. Ceram. Sy. », — 1926.
- SUCIE. — *Colorex Glass, Vitaglass, Brephos.* « Am. Glass. Rev. », — P. 27, 1927.
- BUREAU OF STANDARDS. — *La transmission de l'ultra-violet par différents nouveaux verres et substitués du verre à vitres comparée à celle du verre à vitres ordinaire.* — *Lettre circulaire 235, 1928.*
- JAECKEL. — *Verres transparents à l'ultra-violet.* « Glastechnische Berichte », — N° 6 p. 281, 1928.
- L.-C. MARTIN. — *Perméabilité à l'ultra-violet de différentes substances.* « Nature », — N° 121, p. 648, 1928.

- RUTTENAUER. — *Recherches physiques sur les verres de perméabilité élevée à l'ultra-violet.* « Sprechsaal », — N° 23 et 24, 1928.
- BERGER. — *Remarques sur le travail de M. Ruttenauer.* « Sprechsaal », — N° 29, 1928.
- SALMONY. — *Sur le verre à vitres perméable aux rayons ultra-violets.* « Chemik. Zeitg. », — 4 avril 1928.
- STARKIE ET TURNER. — *Perméabilité à l'ultra-violet de quelques verres à bouteilles incolores.* « Jour. Soc. Glass Techn. », — Mars 1928.
- STARKIE ET TURNER. — *Verres perméables à l'ultra-violet.* « J. Soc. Glass Techn. », — Décembre 1928.
- STARKIE ET TURNER. — *Influence de l'oxyde de fer sur la transparence à l'ultra-violet des verres sodico-calciques.* — Décembre 1928.
- SALMONY. — *Verre à vitres transmettant l'ultra-violet.* « Tech. Blät. Wochsch. zur Deutsch. Bergw. Lg. », — 1928.
- ENGLISH. — *Verre à vitres perméable aux rayons ultra-violets.* « Glass. », — Mai 1928.
- GILARD ET SWINGS. — *Sur une méthode simple de mesure de l'absorption des verres dans la région ultra-violet du spectre.* « Bulletin de l'Ac. Roy. de Belgique, Cl. des Sciences », — N° 15, 749, 1929.
- G. ROSE. — *La perméabilité du verre à la lumière ultra-violette.* « Sprechsaal », — N° 19, 20, 21, 1929.
- FRITZ-SCHMIDT, GEHLHOFF ET THOMAS. — « Zeitsch. für Technische Physik », — 1930, N° 8, p. 289.