



HAL
open science

Le rayonnement des manchons a incandescence

H. Rubens

► **To cite this version:**

H. Rubens. Le rayonnement des manchons a incandescence. J. Phys. Theor. Appl., 1906, 5 (1), pp.306-326. 10.1051/jphystap:019060050030600 . jpa-00241112

HAL Id: jpa-00241112

<https://hal.science/jpa-00241112>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LE RAYONNEMENT DES MANCHONS A INCANDESCENCE ;

Par M. H. RUBENS ¹⁾.

I. — INTRODUCTION.

Les remarquables propriétés du manchon à incandescence Auer ont dès l'origine excité au plus haut point l'intérêt des physiciens et suscité des recherches scientifiques vers une explication. Un grand nombre de travaux théoriques et expérimentaux, en partie fort dignes d'attention, ont été entrepris dans ce but. Il existe également des exposés d'ensemble des résultats atteints dans ce domaine. Parmi ces dernières publications je désire signaler celle de M. Ch.-Ed. Guillaume ⁽²⁾, dans la *Revue des Sciences*, comme se distinguant par sa clarté et son esprit critique. Malgré cette importante dépense de perspicacité et d'ardeur scientifiques, on n'est pas encore jusqu'ici parvenu au but, mais on a au moins réussi à établir deux faits de très grosse importance.

D'abord, il ne peut subsister aucun doute, après les expériences de M. Saint-John ⁽³⁾, que le manchon Auer ne soit dénué de toute luminescence et ne rayonne exclusivement en vertu de sa haute température.

En second lieu, les expériences de MM. Le Châtelier et Boudouard ⁽⁴⁾ permettent de conclure que la puissance lumineuse si frappante du bec Auer est dans une très étroite dépendance avec son pouvoir émissif relativement faible dans l'infra-rouge.

Il y a contradiction apparente entre ce second résultat et une remarque que j'ai bien souvent faite et plusieurs fois énoncée, que le rayonnement du manchon Auer est très riche en rayons de grande longueur d'onde. Aucune des sources rayonnantes que je connais ne se prête, par exemple, aussi bien à la formation des « rayons restants ». Si l'on rapproche ce fait de ceux énoncés précédemment, on en conclura que la distribution de l'énergie dans le spectre du manchon Auer doit présenter une allure très particulière.

(1) Conférence faite à la Société française de Physique, le 20 avril 1906.

(2) *Revue*

de W...

XVI, p. 1861 : 1898.

Comme la connaissance du spectre infra-rouge de cette remarquable source de lumière présente de l'intérêt même au point de vue technique, je me suis proposé d'étudier ce spectre entre des limites aussi éloignées que possible par des procédés spectrothermométriques.

Des mesures analogues ont d'ailleurs déjà été entreprises par Langley pour la lampe à incandescence au pétrole avec l'aide de ses holomètres. Langley a trouvé que, dans la courbe de répartition de l'énergie, les maxima d'émission de la vapeur d'eau et du gaz carbonique sont nettement visibles. Malheureusement les expériences de Langley ne permettent pas de séparer le rayonnement du manchon de celui de la flamme du pétrole, et de plus ses mesures ne s'étendent que jusqu'à la longueur d'onde $\mu = 8 \lambda$. De nouvelles mesures étaient, par suite, désirables, afin d'obtenir des données sûres sur l'émission du manchon à incandescence lui-même dans l'ensemble du spectre accessible à l'expérience.

II. — LES MANCHONS AUER.

Les expériences décrites par la suite ont toutes été faites avec les manchons dits Degea de la « Deutsche Gasglühlicht A. G. », chauffés au moyen du brûleur Bunsen modifié à la manière ordinaire et muni de son chapeau. Les manchons Degea contiennent environ 99,2 0/0 d'oxyde de thorium et 0,8 0/0 d'oxyde de cérium, tant qu'ils sont neufs; mais il est vraisemblable que le cérium s'évapore un peu avec l'âge. Mes mesures se rapportent à des manchons qui ont brûlé pendant moins de dix heures. La flamme du Bunsen était toujours soigneusement réglée de manière à donner l'effet lumineux maximum. Afin d'éviter le rayonnement du support central, les manchons étaient maintenus dans la flamme par des supports latéraux.

III. — MESURE DE LA DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE.

La distribution de l'énergie dans le spectre a été mesurée avec l'aide d'un spectromètre à miroirs et d'une pile thermoélectrique linéaire. Jusqu'à la longueur d'onde $\lambda = 8 \mu$, on employait un prisme de fluorine; au contraire, depuis $\lambda = 8 \mu$ jusqu'à $\lambda = 18 \mu$, un prisme de sylvine. Les courbes d'énergie ont été ramenées à la manière connue au spectre normal et reliées l'une à l'autre en tenant

compte de l'absorption des prismes. Dans certaines de ces séries de mesures, le brûleur Auer a été muni de son verre de lampe usuel; cependant, dans le domaine du spectre visible, les déviations observées n'étaient pas très différentes avec ou sans verre. Dans le spectre infra-rouge, le brûleur a toujours été étudié sans verre.

En opérant ainsi on a mesuré les déviations en 70 endroits différents du spectre environ, entre $\lambda = 0,45 \mu$ et $\lambda = 18 \mu$, et cela d'abord pour le brûleur Auer; ensuite, après avoir enlevé avec précaution le manchon, pour le brûleur Bunsen seul; enfin pour un brûleur Auer dont le manchon avait été recouvert d'une couche extrêmement fine d'oxyde de fer. On recouvre un manchon Auer d'une couche mince d'oxyde de fer en plongeant avec précaution le manchon une fois brûlé dans l'encre et en le calcinant ensuite dans la flamme du Bunsen. Le manchon prend alors une coloration bien foncée, mais conserve sa forme et montre au microscope la même structure et la même finesse de tissus qu'auparavant. Dans l'enveloppe extérieure de la flamme du brûleur, il ne s'échauffe plus maintenant qu'au rouge assez clair. Sa température, mesurée au pyromètre optique de Holborn-Kurlbaum (1), à une hauteur de $0^{\text{cm}},5$ à $2^{\text{cm}},5$ au-dessus du sommet du brûleur, a été évaluée à $1.050-1.100^{\circ}$ C., alors que le même instrument dans les mêmes conditions indique pour le manchon Auer normal des températures beaucoup plus élevées.

Le tableau suivant (tableau I) contient les résultats des mesures d'énergie dans le spectre. La colonne 1 donne les longueurs d'onde; les colonnes 2, 3 et 4, les intensités de rayonnement réduites au spectre normal du bec Auer usuel, du brûleur correspondant et du bec Auer avec manchon recouvert d'oxyde. La signification des nombres de la colonne 5 sera indiquée plus loin. Jusqu'à la longueur d'onde $\lambda = 10 \mu$, les nombres de cette colonne sont égaux aux différences des nombres correspondants des colonnes 2 et 3. A partir de $\lambda = 10 \mu$, les nombres de la colonne 5 sont identiques à ceux de la colonne 2.

(1) *Ber. d. Kgl. Preuss. Acad. d. Wissensch.*, juin 1901; et *Ann. d. Physik* X.

TABLEAU I.

	Brûleur Auer	Brûleur Bunsen	Manchon à oxyde de fer	Manchon Auer		Brûleur Auer	Brûleur Bunsen	Manchon à oxyde de fer	Manchon Auer
0,45	3,8	—	—	3,8	6,10	12,2	4,1	13,7	8,1
0,47	7,5	—	—	7,5	6,25	14,2	3,8	15,8	10,4
0,50	11,5	—	—	11,5	6,41	12,1	4,7	13,6	7,4
0,53	20,9	0	0	20,9	6,56	17,3	8,6	13,8	8,7
0,59	23,4	0	0,7	23,4	6,71	22,6	10,6	14,3	12,0
0,73	26,4	0	4,6	26,4	6,99	24,7	9,7	15,1	15,0
1,0	34,8	0,5	12	34,3	7,25	26,3	9,3	16,3	17,0
1,47	38,3	5,0	109	33,3	7,53	30,7	9,2	15,8	21,5
1,73	39,5	9,1	160	30,6	7,79	31,7	9,2	16,3	22,5
1,96	36,9	11,3	175	25,6	8,04	30,8	6,9	16,3	23,9
2,20	34,7	11,1	187	23,6	8,27	30,3	4,2	16,4	26,1
2,42	43,2	24,0	171	19,2	8,66	31,0	2,3	16,5	28,7
2,62	66	48	146	18,0	9,15	32,0	1,38	16,9	30,6
2,80	81	62	128	19,0	9,60	31,3	0,87	16,2	30,5
2,99	72	55	125	17,0	10,05	28,2	0,68	15,4	27,5
3,15	38,5	22,6	112	15,9	10,45	26,9	0,55	14,6	26,3
3,49	15,4	5,2	88	10,2	10,83	24,3	0,77	13,4	24,3
3,77	11,2	4,8	70	9,9	11,24	21,4	0,84	12,4	21,4
4,04	19,0	11,4	57,5	7,6	11,97	19,1	1,20	10,6	19,1
4,16	62,0	55,0	59	7,0	12,64	17,3	1,53	9,6	17,1
4,29	175	165	83	10	13,27	14,8	1,72	8,4	14,8
4,41	249	241	107	8	13,86	13,0	1,93	7,7	13,0
4,52	205	198	101	7	14,44	10,3	1,82	6,5	10,4
4,64	119	110	65	9	15,0	8,9	1,57	5,4	8,9
4,75	51	43	40	8	15,5	8,3	1,46	5,1	8,3
4,98	25,2	18,0	33,6	7,2	16,0	8,1	1,36	4,7	8,1
5,19	19,5	14,5	27,0	8,0	16,5	6,0	1,31	4,3	6,9
5,39	17,5	10,3	25,4	7,2	17,0	5,9	1,22	4,0	5,9
5,57	16,2	8,5	23,1	7,7	17,45	5,6	1,03	3,7	5,6
5,76	15,9	7,7	18,6	8,3	17,9	5,0	0,94	3,3	5,0
5,4	13,2	5,6	14,5	7,6					

Aux nombres du tableau I correspondent les courbes d'énergie *a*, *b* et *c* (fig. 1) : *a* donne la distribution de l'énergie dans le spectre d'émission du brûleur Auer normal, *b* dans le spectre du brûleur Bunsen, *c* dans celui du brûleur Auer avec manchon à oxyde de fer. Dans les trois courbes, les maxima d'émission du gaz carbonique et ceux de la vapeur d'eau apparaissent nettement, surtout dans les courbes *b* et *a*. On reconnaît de plus que la courbe d'émission du brûleur Auer (*a*) enveloppe complètement celle du brûleur Bunsen (*b*), alors que la même chose n'a pas lieu pour les courbes *c* et *b*. Le fait que dans le domaine spectral com-

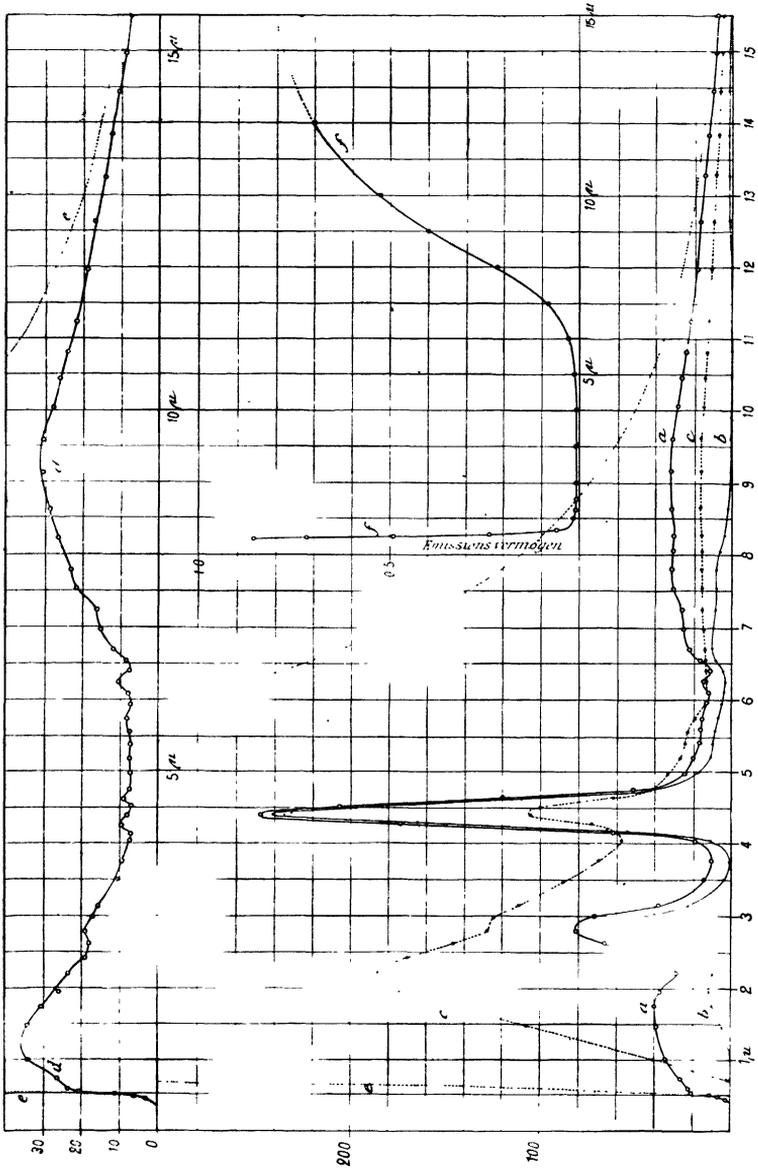


FIG. 1.

pris entre $\lambda = 2\ \mu$ et $\lambda = 3\ \mu$, qui renferme les bandes d'absorption les plus fortes du gaz carbonique, le brûleur Auer normal donne presque le même spectre d'émission que la flamme Bunsen seule, montre d'abord que le pouvoir émissif du manchon comparé à celui de la flamme est ici extraordinairement petit, et ensuite que la masse du manchon incandescent doit être à peu près complètement transparente pour le rayonnement de la flamme. Si l'on admet que le petit pouvoir émissif du manchon n'est pas la conséquence d'un pouvoir réflecteur métallique, ce qui paraît vraisemblable, vu la division extrême de la masse, la petitesse du pouvoir émissif du manchon est, d'après la loi de Kirchhoff, en rapport avec sa transparence.

Cette conception est appuyée par la manière dont se comporte le manchon noirci par l'oxyde de fer. Celui-ci possède dans le domaine spectral en question un pouvoir émissif notablement plus élevé que le manchon Auer normal, ce qui résulte de ce que, malgré sa température bien inférieure, il rayonne davantage. Mais à son pouvoir émissif supérieur est lié aussi un pouvoir absorbant plus élevé, et par suite il ne laisse passer qu'une petite partie du rayonnement de la flamme (sans doute en gros la fraction qui passe à travers les mailles).

La transparence presque parfaite du manchon Auer pour le rayonnement de la flamme Bunsen rend possible d'obtenir, par différence des nombres contenus dans les colonnes 2 et 3 du tableau I, des valeurs qui correspondent à peu près à l'émission du manchon Auer seul dans ce domaine spectral. Au contraire, dans le domaine des grandes longueurs d'onde (à partir de $10\ \mu$ environ), le pouvoir émissif et aussi le pouvoir absorbant de la masse du manchon sont, d'une part, redevenus si élevés, le rayonnement de la flamme est, d'autre part, redevenu si faible, que ce dernier peut être complètement négligé. Les nombres de la colonne 5 dans le tableau I représentent donc très approximativement l'émission du manchon incandescent seul. La représentation graphique correspondante est fournie par la courbe *d* (fig. 1). L'échelle des ordonnées a été ici doublée par rapport à celle des courbes *a*, *b* et *c*, pour des raisons de netteté. La courbe *d* présente deux maxima nettement marqués chez $1,2\ \mu$ et $9,3\ \mu$; dans l'intervalle, les pouvoirs émissifs sont très petits.

Comme on l'a déjà rappelé au début, les expériences de M. Saint-John sur la question de savoir si le bec Auer a un

rayonnement purement thermique ou non, ont résolu la question dans le premier sens. La forme singulière de la courbe d résulte donc exclusivement de l'allure particulière du pouvoir absorbant. Le pouvoir émissif du manchon Auer peut, en tous les points du domaine spectral étudié, être déterminé numériquement avec l'aide de la courbe d ou de la colonne 3 du tableau I), à condition de connaître les grandeurs suivantes :

1° La température du manchon incandescent ;

2° Le rapport de l'émission totale du manchon Auer à celle d'un corps parfaitement noir de même température, de même forme et de même structure.

IV. — MESURE DE LA TEMPÉRATURE D'INCANDESCENCE DU MANCHON AUER.

La mesure de la température d'incandescence du manchon Auer se heurte, à vrai dire, à des difficultés sérieuses. La position du premier maximum d'énergie ne peut malheureusement en aucune façon être utilisée, à cause de la rapide diminution du pouvoir émissif avec la longueur d'onde. Pour cette raison, les mesures de MM. Lummer et Pringsheim (¹), qui sont fondées sur la position de ce premier maximum, fournissent des températures beaucoup trop élevées. C'est ce qu'a déjà indiqué M. Guillaume dans l'exposé cité plus haut. Au contraire, les expériences connues de MM. Le Châtelier et Boudouard paraissent beaucoup plus propres à répondre à cette difficile question. Il faut donc que je m'étende plus longuement sur ces importantes expériences. Un couple thermoélectrique Le Châtelier est recouvert d'une couche mince de la substance d'un manchon Auer, et chauffé ensuite assez fort pour que son éclat paraisse égal à celui des parties les plus chaudes d'un manchon amené à l'incandescence à la manière normale au moyen d'une flamme Bunsen. L'égalité d'éclat a lieu à des températures différentes pour les différentes couleurs; mais ces différences paraissent devoir s'expliquer par des inégalités dans l'épaisseur et la structure des couches rayonnantes. Comme température la plus vraisemblable de la région la plus chaude du manchon, MM. Le Châtelier et Boudouard obtiennent 1.650. Il faut cependant tenir compte de ce

(¹) *Verhandl. des Deutschen Physik. Vereins*, 3, p. 36: 1901.

que les données thermométriques d'alors dans cette région de l'échelle étaient assurément trop élevées. Le point de fusion du platine, que l'on admettait à ce moment comme égal à 1.780° C., est, d'après les mesures les plus récentes, compris entre 1.720 et 1.740° . On sera donc amené à admettre que, d'après les mesures décrites, la température du manchon Auer en sa région la plus chaude n'est pas beaucoup plus élevée que 1.600° C. Au moyen de leur pyromètre optique, MM. Holborn et Kurlbaum ont également entrepris des mesures de la température dite « noire » du brûleur Auer. Ce pyromètre optique se compose d'une lunette, qui, au lieu du réticule, porte dans l'oculaire une petite lampe à incandescence dont le courant peut être changé au moyen d'un rhéostat et mesuré avec un ampèremètre de précision. On vise avec la lunette pyrométrique l'objet dont on veut mesurer la température d'incandescence, et on règle le courant de la lampe de telle façon qu'elle possède un éclat égal à celui de l'objet examiné pour une couleur spectrale déterminée (¹). Si l'on a préalablement étalonné l'instrument, avec l'aide d'un corps noir réglable, pour une série de températures, on peut de l'intensité actuellement observée du courant dans la lampe déduire par interpolation la température « noire » du corps étudié. On entend ici par température « noire » d'une source de rayonnement la température que devrait posséder un corps parfaitement noir pour rayonner exactement de la même intensité que la source étudiée à l'endroit considéré du spectre. Cette température « noire » est donc en général plus petite que la « vraie » et est une fonction de la longueur d'onde. Pour le corps noir seul, elle est constante et se confond pour toutes les longueurs d'onde avec la température vraie. Pour les régions les plus chaudes du manchon, MM. Holborn et Kurlbaum ont trouvé les températures noires : 1.420° C. dans le rouge, 1.510° dans le vert, 1.580° dans le bleu. J'ai répété ces expériences et les ai vérifiées complètement. Pour les manchons Degea, la température noire aux endroits les plus chauds oscillait, pour la longueur d'onde $\lambda = 0,470 \mu$, en employant le verre de lampe, entre 1.560° et 1.590° . Mais la température moyenne de la moitié inférieure du manchon, qui a le plus grand éclat, est d'environ 30° inférieure. La différence de la tempé-

(¹ M. Féry a, dans ses recherches sur le rayonnement de certains oxydes [*J. de Phys.*, 4, II, p. 97 ; 1903], applique avec avantage une méthode analogue.

rature « noire » dans le rouge et le bleu est très grande. Cette différence s'élève pour les divers échantillons de 160° à 220°. Il apparaît de nouveau ici le fait que le pouvoir émissif du manchon Auer est fortement sélectif. S'il était possible de déterminer approximativement le pouvoir émissif du manchon Auer en une région quelconque du spectre visible, on pourrait, avec l'aide de cette grandeur et de la température « noire » mesurée pour la même longueur d'onde, obtenir, par application de la loi de Wien, la température vraie du manchon Auer. MM. Le Châtelier et Boudouard ont été, par leurs expériences, conduits à la conclusion que le pouvoir émissif dans le bleu n'est vraisemblablement pas très différent de 1. Si cette hypothèse est exacte, la température « noire » du manchon Auer dans le bleu doit presque coïncider avec la température vraie, et sa température maximum serait donc à peu près 1.600°.

Pour éclaircir la question de la grandeur du pouvoir émissif que le manchon Auer possède dans le bleu, j'ai institué les expériences suivantes :

Cinq brûleurs Auer ont été montés de la manière indiquée sur la figure 2. Le brûleur central *a* était muni de son verre, et son éclat pour les lumières bleue et rouge fut déterminé avec l'aide d'un pyromètre optique P servant de photomètre. Des mesures de ce genre furent faites :

En premier lieu, quand *b*, *c*, *d* et *e* brûlaient, *a* étant éteint. Dans ce cas, *a* n'est pas lumineux par lui-même, mais n'envoie que de la lumière provenant des autres brûleurs par réflexion ou transmission diffuse. Cette dernière est relativement faible.

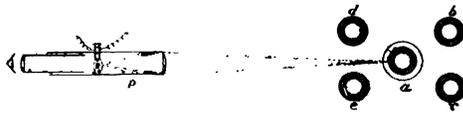


FIG. 2.

En second lieu, quand *a* seul brûle, les autres brûleurs étant éteints. Maintenant *a* n'émet que sa lumière propre.

En troisième lieu, quand tous les brûleurs fonctionnent simultanément. Alors à la lumière proche du brûleur *a* vient s'ajouter celle

qui est réfléchi et transmise d'une manière diffuse à partir des autres. Les résultats sont contenus dans le tableau II suivant.

TABLEAU II.

Expérience n°	En fonctionnement	—	Éclat du manchon	
			Bleu $\lambda = 0,460 \mu$	Rouge $\lambda = 0,650 \mu$
1	<i>b, c, d, e</i>	<i>a</i>	0,27 <i>p</i>	0,23 <i>q</i>
2	<i>a</i>	<i>b, c, d, e</i>	<i>p</i>	<i>q</i>
3	<i>a, b, c, d, e</i>	—	1,08 <i>p</i>	1,23 <i>q</i>

La clarté du fragment de manchon considéré est représentée dans le cas de la seconde expérience, où le brûleur *a* fonctionne seul, par *p* dans le bleu et par *q* dans le rouge. Comme on voit, la lumière provenant des quatre brûleurs extérieurs (*b, c, d, e*) et diffusée par le manchon froid (*a*) se monte dans le bleu à 27 0/0, dans le rouge à 23 0/0 du rayonnement propre. Mais, si le manchon est chaud, la quantité de lumière diffuse réfléchi et transmise ne change pas notablement dans le rouge, mais elle diminue dans le bleu de 27 à 8 0/0. Il faut conclure de là que le manchon chaud ne possède plus dans le bleu qu'une petite fraction du pouvoir de réflexion diffuse qu'il a à froid et de sa transparence initiale, tandis que dans le rouge l'échauffement n'a rien modifié. Le manchon chaud est, par suite, presque noir pour la longueur d'onde $\lambda = 0,46 \mu$, et son pouvoir émissif pour cette longueur d'onde est probablement supérieur à $\frac{27-8}{27}$, c'est-à-dire supérieur à 0,7.

Bien plus probante encore est l'expérience suivante qui, contrairement à celle qui vient d'être décrite, ne se rapporte qu'à la lumière diffuse réfléchi par le manchon; celle-ci est d'ailleurs bien plus intense que la lumière transmise, dans le spectre visible (1).

Le rayonnement d'une lampe à arc de 30 ampères est débarrassé au moyen d'une cuve à eau de la plus grande partie de sa fraction infra-rouge et est concentré ensuite au moyen de plusieurs lentilles sur un manchon Auer, de sorte qu'il se forme sur sa surface une image extraordinairement brillante du cratère du charbon positif. On mesure de nouveau la clarté dans le rouge et dans le bleu avec l'aide du pyromètre optique.

(1) Cette expérience est montée de la même manière qu'une expérience pu laquelle M. Ferry a montré la forte absorption d'un manchon au cerium chaud par les rayons ultra-violets. cf. *loc. cit.*.

1° Le brûleur étant éteint; on obtient alors seulement la lumière de l'arc réfléchi d'une manière diffuse par le manchon *froid*;

2° Le brûleur étant allumé, tandis que le rayonnement de l'arc est intercepté. Dans ce cas, le manchon n'émet par suite que sa propre lumière;

3° Le brûleur étant allumé et éclairé par l'arc. Maintenant la lumière diffuse réfléchi par le manchon *chaud* s'ajoute à la lumière propre du brûleur.

Les résultats des observations furent les suivants :

TABLEAU III.

Expérience n°	Nature de l'expérience	Éclat du manchon	
		Bleu $\lambda = 0,466 \mu$	Rouge $\lambda = 0,650 \mu$
1	Arc rayonne Bec Auer éteint	10,7p	3,7q
2	Arc intercepté Bec Auer brûle	p	q
3	Arc rayonne Bec Auer brûle	5,1p	4,6q

On a de nouveau représenté l'éclat de la lumière propre du manchon dans le bleu par p , dans le rouge par q . L'allumage du brûleur provoque donc dans le rouge une petite augmentation d'éclat du manchon éclairé par l'arc, tandis que dans le bleu la clarté tombe à moins de la moitié. Si l'on considère seulement la lumière *réfléchi* dans les expériences 1 et 3, on voit qu'elle est tombée dans le bleu de 10,7p à 4,1p, dans le rouge de 3,7q à 3,6q. Cette série d'expériences montre donc que le pouvoir de réflexion diffuse du manchon tombe, lors de son échauffement par le brûleur Bunsen, à une petite fraction de sa valeur initiale dans le bleu, alors que dans le rouge il n'est que peu modifié. Comme dans le domaine visible la transparence diffuse du manchon froid et chaud est très petite, et que par suite la lumière *réfléchi* l'emporte ici de beaucoup, il résulte de cette série une valeur pour le pouvoir émissif du manchon Auer chaud dans le bleu qui concorde bien avec le résultat de l'expérience précédente.

Enfin je suis parvenu au même résultat par une voie entièrement différente. Je me suis servi pour cela d'un procédé qui a été appliqué pour la première fois par M. F. Paschen (1).

(1) F. PASCHEN. *Wied. Ann.*, p. 719; 1897.

Si l'on introduit une source quelconque de rayonnement dans l'intérieur d'une enveloppe entièrement close et parfaitement réfléchissante, il s'établit d'après Kirchhoff, dans l'intérieur de l'enceinte, le rayonnement du corps absolument noir de même température que la source. Si l'on examine la source à travers une petite ouverture percée dans l'enveloppe réfléchissante, ouverture qui ne modifie pas l'état du système d'une manière appréciable, la source de rayonnement doit, d'après cela, rayonner comme un corps parfaitement noir. Son pouvoir émissif pour toutes les longueurs d'onde est donc devenu égal à 1.

Malheureusement ce cas idéal de l'enveloppe parfaitement réfléchissante ne peut être réalisé dans la pratique que très incomplètement. Je me suis servi d'une cloche de verre sphérique argentée intérieurement, qui pouvait être amenée par-dessus le verre de lampe du bec Auer étudié, et cela de telle sorte que la partie la plus chaude du manchon se trouvât au centre de la sphère. A travers une petite ouverture circulaire de 1 centimètre de diamètre, on visait une région du manchon avec la lunette pyrométrique, et on mesurait alternativement la température « noire » pour les rayons bleus et rouges. Ces opérations étaient faites aussi bien avec la cloche argentée que sans elle.

On pouvait prévoir d'avance que, la cloche argentée étant mise en place, le manchon ne rayonnerait pas comme un corps parfaitement noir, puisque les conditions prescrites par la théorie ne pouvaient pas être parfaitement réalisées en pratique. Ainsi les ouvertures supérieure, inférieure et latérale supprimaient environ 70 0 de la surface réfléchissante. D'autre part, il y avait dans l'intérieur de la cloche quelques objets non lumineux et absorbants, tels que le sommet du brûleur, le pied du brûleur et le tuyau d'arrivée du gaz ; enfin le pouvoir réflecteur de l'argenteure n'était pas égal à 1, mais compris entre 0,912 et 0,936. Malgré cela l'effet noircissant de la cloche était très notable, comme on pouvait le reconnaître immédiatement, même à l'œil nu, par la forte augmentation du rayonnement rouge.

Les mesures au pyromètre optique donnèrent, en accord avec les expériences antérieures, une très petite augmentation de la température noire dans le bleu, une très importante augmentation dans le rouge. De toutes les séries d'expériences bien concordantes qui ont été faites avec divers manchons de la manière décrite ci-dessus, j'en

retiens une dans laquelle les lectures ont été faites par deux observateurs différents (K. et R.). La cloche fut plusieurs fois mise en place et enlevée, et toujours on obtint dans les mêmes conditions des résultats identiques.

Ces derniers sont réunis dans le tableau suivant :

TABLEAU IV.

Couleur	Sans cloche		Avec cloche	
	K.	R.	K.	R.
Bleu $\lambda = 0,470\mu$	1.555°	1.558°	1.573°	1.578°
Rouge $\lambda = 0,650\mu$	1.340°	1.343°	1.440°	1.437°

Ainsi, tandis que dans le bleu la cloche ne fait monter la température « noire » que de 19°, elle l'augmente dans le rouge de 98°. Ceci correspond à un accroissement de l'éclat photométrique de 19 0/0 dans le bleu, et dans le rouge 2,2 fois la valeur initiale.

Or, il n'est pas douteux que même la petite augmentation de l'intensité du rayonnement dans le bleu ne provienne que partiellement de l'effet noircissant de la cloche. Sûrement elle est provoquée en partie par une élévation de température du manchon, qui provient de ce que le corps incandescent entouré de la cloche reçoit de nouveau une fraction non négligeable de son émission totale. Il ne s'agit ici, naturellement, que du rayonnement qui est capable de traverser deux fois le cylindre de verre, et qui peut être évalué au 1/6 de l'émission totale du manchon.

L'effet de la cloche, qui, dans le rouge, double largement l'intensité, est donc, dans le bleu, très petit, si même il existe. Il faut tirer de là la conclusion que le manchon, même sans cloche, est déjà presque « noir » dans le bleu.

D'après cela, nous sommes autorisés à regarder la température « noire » mesurée dans le bleu avec le pyromètre optique comme très voisine de la vraie, et nous arrivons, en bonne concordance avec MM. Le Châtelier et Boudouard, à la conclusion que la température maximum du bec Auer habituelle dépasse à peine 1.600°. La température moyenne est naturellement notablement inférieure. Pour le morceau de manchon que j'ai étudié spectrothermométriquement elle était, en moyenne, sans le verre de lampe, de 1.530 C., ou, absolus environ, si je prends 0.8 comme valeur du

pouvoir émissif dans le bleu. Avec le verre, la température moyenne était de 20° environ plus élevée. Les séries d'expériences publiées ici sont cependant obtenues sans verre.

On peut ici se demander d'où il vient qu'un fil de platine fin arrive à fondre dans le manteau extérieur de la flamme Bunsen, prend, par conséquent, une température d'au moins 1.720°, tandis que le manchon Auer atteint à peine 1.600°. On peut répondre à cela qu'un petit fragment de manchon Auer, composé de quelques fils seulement, placé dans la région extérieure de la flamme, peut être amené facilement à une température de 1.700° à 1.800°. Mais, avec le brûleur Bunsen habituel, ceci n'est pas possible, parce que, par l'introduction du manchon, le processus d'oxydation dans l'enveloppe extérieure est gêné et la flamme est ainsi refroidie dans sa région la plus chaude. De même, la vitesse du courant gazeux dans la flamme, qui, d'après M. Féry, a une influence notable sur la température du manchon, est fortement diminuée par l'introduction d'un manchon complet. Certains becs Auer à flamme particulièrement riche en air, dans lesquels une grande partie de la quantité d'air nécessaire pour oxyder le gaz d'éclairage est amenée de l'intérieur, comme il arrive dans les lampes Lucas, fournissent effectivement, d'après mes expériences, des températures d'incandescence de 100° environ supérieures à celles des brûleurs Auer ordinaires.

V. — DÉTERMINATION DU POUVOIR ÉMISSIF DU MANCHON AUER.

Puisque nous connaissons la température du manchon et la valeur approximative de son pouvoir émissif dans le bleu, nous pourrions sans doute calculer le pouvoir émissif pour toutes les longueurs d'onde, avec l'aide de la courbe d'énergie d , et en utilisant la formule de M. Planck pour la distribution de l'énergie d'un corps noir. Mais cette méthode n'est pas recommandable, parce qu'alors il entre comme facteur dans le calcul la minime quantité d'énergie dans le bleu, dont l'observation est un peu inexacte. Il vaut beaucoup mieux déterminer le pouvoir émissif moyen pour la radiation totale, et le calcul du pouvoir émissif pour chaque longueur d'onde du spectre sur cette grandeur, c'est-à-dire sur le rapport de la radiation totale du manchon à celle d'un corps noir de la même taille.

1. — Rapport de l'émission totale du bec Auer à celle d'un corps

noir de température donnée a été déterminé de la manière connue, en amenant successivement le bec étudié et un corps « noir » chauffé électriquement, du modèle décrit par MM. Lummer et Kurlbaum⁽¹⁾, derrière le même diaphragme refroidi par une circulation d'eau, et en liant à chaque fois la déviation fournie par une pile thermoélectrique placée en face du diaphragme. Ces expériences ont montré, en tenant compte de la loi de Stéfán, qu'un corps absolument noir à 1.800° absolu rayonne par unité de surface 26 fois autant que le bec Auer, 69 fois autant que le brûleur Bunsen et 42 fois autant que le manchon seul. Mais il faut, en outre, tenir compte de ce que le manchon n'est pas formé par une masse continue, mais par des fils isolés avec interstices étroits. Dans les manchons Degea, la trame du manchon était assez dense et la distance des fils peu supérieure à leur épaisseur. Amené sur le trajet des rayons d'une source de lumière quelconque, le manchon non lumineux absorbait, en formant ombre, environ 70 0/0 au milieu, la totalité sur les bords, en moyenne 78 0/0. La faible translucidité du manchon froid a été ici retranchée.

On est donc fondé à conclure qu'un centimètre carré du manchon étudié rayonne 0,78 fois autant qu'un tissu absolument continu de même température. Or, c'est à un tel tissu qu'il faut comparer le corps noir, si nous voulons arriver au véritable pouvoir émissif. Un corps noir à 1.800° rayonne donc $42 \times 0,18 = 33,2$ fois plus qu'un manchon Auer continu de même température. Si l'on veut tracer l'une au-dessus de l'autre les courbes d'émission (pour le corps noir à 1.800° abs. et pour le manchon continu), il faut donc s'arranger de manière que leurs surfaces soient dans le rapport de 33,2 à 1. Cette condition est remplie par la courbe *e* de la *fig. 4*. C'est une courbe d'énergie d'un corps absolument noir à 1.800° abs. d'après la formule de Planck. On peut donc, pour chaque longueur d'onde, prendre le pouvoir émissif égal au rapport des ordonnées, et on arrive ainsi aux valeurs rassemblées dans le tableau suivant :

(1) *Verhandl.*

Verh. d. Gesellsch. ft. XVII, p. 106: 1898.

TABLEAU V.

λ	Corps noir à 1.800° absolus	Manchon Auer	Pouvoir émissif
0 ^μ ,45	4,4	3,8	0,86
0,5	16,1	11,3	0,72
0,55	45,0	22,0	0,49
0,6	100	24,0	0,24
0,7	390	25,8	0,062
1,0	1820	34,3	0,0187
1,2	2930	34,3	0,0116
1,5	3740	34,0	0,0091
2,0	3500	25,5	0,0073
3,0	1910	17,0	0,0088
4,0	962	7,6	0,0079
5,0	511	7,0	0,0137
6,0	292	7,9	0,027
7,0	178	15,0	0,084
8,0	113	23,9	0,21
9,0	75,6	29,9	0,39
10,0	52,3	27,1	0,52
12,0	27,3	19,1	0,70
15,0	12,0	8,9	0,79
18,0	6,2	5,0	0,81

Le contenu du tableau V est représenté graphiquement par la courbe f (fig. 1), qui donne le pouvoir émissif du manchon Auer comme fonction de la longueur d'onde.

Il ne faudrait assurément pas demander une trop grande exactitude aux pouvoirs émissifs ci-dessus. Déjà la manière dont la courbe d'émission du manchon a été déduite de la distribution de l'énergie pour le brûleur Auer et la flamme Bunsen est entachée d'incertitude notable. De plus, une petite erreur dans la mesure de la température a une influence très grande sur les pouvoirs émissifs calculés dans le domaine visible, tandis qu'elle entre à peine en ligne de compte dans le spectre des grandes longueurs d'onde. Vouloir ici atteindre une grande précision n'aurait même aucun sens, puisque le pouvoir émissif de chaque manchon varie beaucoup avec sa teneur en cérium.

Il est digne de remarque que les pouvoirs émissifs calculés sont dans toute l'étendue du spectre inférieur à 1, ce qui constitue une espèce de vérification de l'exactitude de notre mesure de température. Les pouvoirs émissifs diminuent fortement du bleu au rouge. Ceci est en accord avec les expériences de MM. Le Châtelier et Bou-

douard, et aussi avec celles de MM. Nernst et Bose. Pour le domaine spectral étendu compris entre 1μ et 5μ , dans lequel le rayonnement de la plupart de nos sources lumineuses est le plus fort, les pouvoirs émissifs du manchon Auer sont plus petits que 150, entre 2μ et 4μ , ils sont même plus petits que 1, 100. Ce n'est que dans le domaine des grandes longueurs d'onde, où le rayonnement n'est plus qu'une fraction très petite de l'émission totale, que les pouvoirs émissifs recommencent à croître et atteignent finalement des valeurs voisines de 1 (0,81 pour $\lambda = 18 \mu$).

De là l'explication du fait que le bec Auer a donné de si bons résultats comme source de rayons dans les expériences sur le rayonnement calorifique de grande longueur d'onde. Non seulement il émet une grande quantité de ces rayons, par suite de sa température élevée, de sa grande surface et de son pouvoir émissif très notable dans cette région spectrale, mais il offre encore l'avantage que les rayons calorifiques de petite longueur d'onde, qui dans les autres sources lumineuses à température élevée ont une intensité prépondérante et produisent des perturbations très gênantes, font presque entièrement défaut dans le bec Auer; surtout pour former les rayons restants, cette propriété est d'une grande utilité. Comme je l'ai déjà indiqué précédemment, on obtient déjà, après une triple réflexion des rayons émis par le bec Auer sur des surfaces de fluorine, des rayons restants très purs et d'une intensité égale à 1,7 0/0 environ de celle du rayonnement total. Un corps parfaitement noir à 1.800° abs. fournirait dans les mêmes conditions moins de 1 millième de rayons restants.

En ce qui concerne l'émission lumineuse du manchon Auer, le pouvoir émissif extrêmement faible dans le domaine spectral compris entre $\lambda = 1 \mu$ et $\lambda = 5 \mu$ joue également un rôle prépondérant. C'est par là seulement que le manchon Auer atteint la haute température si favorable à l'émission de lumière. Cette conception, fondée sur des expériences d'optique par MM. Le Châtelier et Boudouard, examinée et développée par MM. Nernst et Bose, Guillaume et Féry, a donc reçu une confirmation complète.

VI. — L'EFFET DU CÉRIUM DANS LE MANCHON AUER.

Il reste encore une question à élucider : de quelle manière se produit dans le bec Auer une distribution spectrale du pouvoir émissif

si singulière et si favorable pour l'éclairage? quel rôle jouent les deux constituants du manchon? Sur ce point les expériences de Langley mentionnées au début fournissent déjà de précieuses indications. Elles ont montré en effet qu'un brûleur à incandescence par le pétrole muni d'un manchon à oxyde de thorium pur fournit un spectre d'émission qui, dans l'ensemble, est très analogue à celui du brûleur Auer normal, et ne se distingue de celui-ci nettement que dans le domaine visible. J'ai répété cette expérience pour des brûleurs à incandescence par le gaz et étendu ces mesures jusqu'à la longueur d'onde 18μ .

La courbe *a* (*fig. 2*) (en trait continu) et la courbe *g* (pointillée) représentent les spectres d'émission du brûleur à incandescence par le gaz muni de son manchon Auer normal et d'un manchon à oxyde de thorium pur. Les différences entre les deux courbes ne sont en général pas beaucoup plus grandes que celles offertes par divers échantillons de la même espèce de manchons. Ce n'est que dans le domaine spectral compris entre $\lambda = 0,45 \mu$ et $1,5 \mu$ qu'elles diffèrent très notablement. Dans l'émission du manchon à oxyde de thorium pur, le spectre visible manque presque entièrement et l'infra-rouge à courte longueur d'onde est très faible. En tous les points des $3,5$ octaves allant de $0,45 \mu$ à 5μ , le pouvoir émissif a des valeurs très faibles. Dans le domaine des grandes longueurs d'onde seul, on rencontre, comme pour le manchon Auer, de grands pouvoirs émissifs.

Un tout autre aspect est offert par le spectre d'émission du brûleur avec manchon à oxyde de cérium pur (courbe *h*). Ici comme pour le manchon à oxyde de fer, par suite du grand rayonnement calorifique, la température est bien plus basse que pour le manchon Auer normal. A la température ordinaire, le manchon au cérium paraît jaune pâle à la lumière du jour; mais, si on l'échauffe de quelques centaines de degré par un courant d'air chaud, il commence par devenir vert sale, et, si la température continue à croître, brun foncé; alors seulement il commence à devenir lumineux. Ce noircissement de l'oxyde de cérium aux températures assez élevées a été d'abord montré par M. Féry par une expérience photographique. Du reste, le manchon Auer normal manifeste des propriétés analogues à celles du manchon au cérium, quoique à un faible degré. Seul le manchon d'oxyde de thorium pur conserve, même aux températures élevées, sa couleur blanche. Mesurée au pyromètre optique, la

température « noire » moyenne du morceau de manchon au cérium

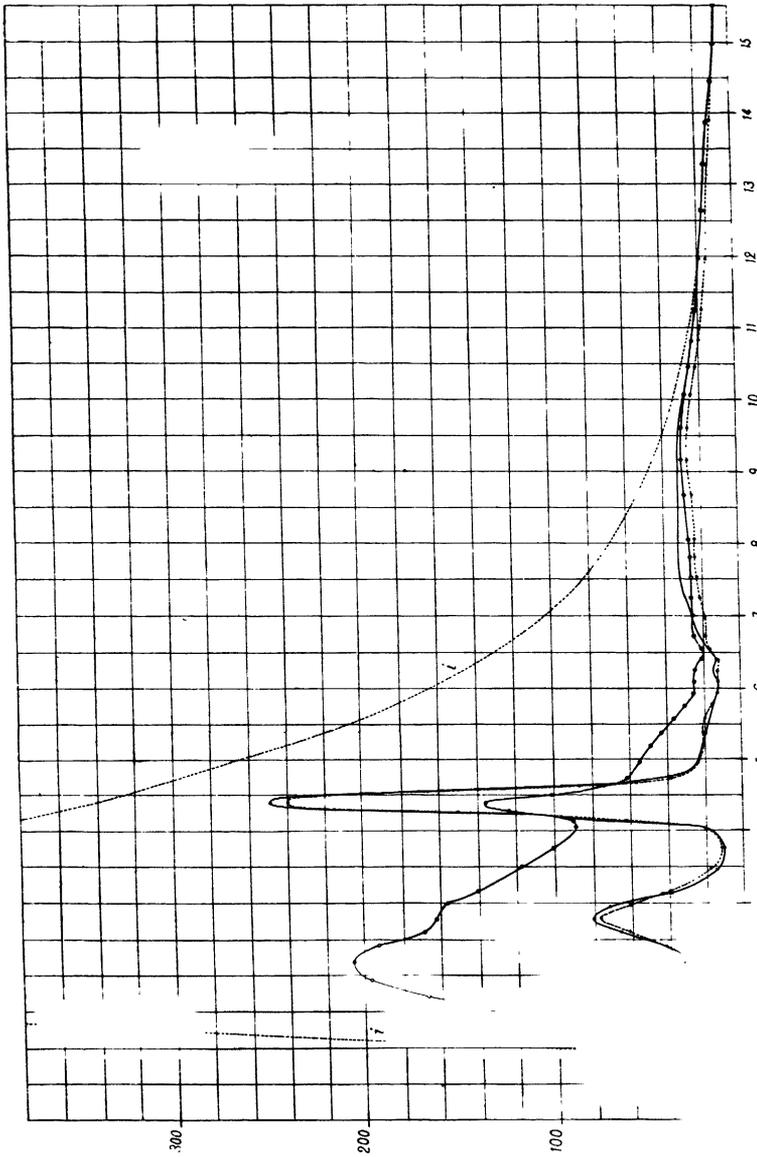


Fig. 3.

étudié spectrothermométriquement a été trouvée égale à 1.077 C.

Comme cette température « noire » ne changeait pas en mettant en place la cloche argentée (1), nous pouvons la regarder en même temps comme étant la température vraie. La température absolue correspondante est 1.350°. Si, après avoir, par une interpolation graphique, tenu compte des maxima d'émission de la flamme, de la même manière que dans le cas du manchon Auer, on calcule le pouvoir émissif du manchon à l'oxyde de cérium, on arrive aux nombres rassemblés dans le tableau VI. La courbe *i* est la courbe d'énergie utilisée ici du corps noir à 1.350° absolu. La surface est à celle de la courbe *k* dans le même rapport que les rayonnements totaux des deux sources, en admettant une même distribution de la masse rayonnante (cf. p. 100).

TABLEAU VI.

λ	Corps noir à 1.350° absolu	Manchon à l'oxyde de cérium	Pouvoir émissif
0,7 μ	6,7	6,2	0,93
1,0	121	42,7	0,35
1,5	604	111	0,18
2,0	889	200	0,22
2,5	889	182	0,21
3,0	736	140	0,18
4,0	452	90	0,20
5,0	269	54	0,20
6,0	165	25,7	0,16
8,0	69,3	29	0,42
10,0	33,5	28	0,84
12,0	18,2	18	0,99
15,0	8,2	8,2	1,00
18,0	4,22	3,7	0,88

On voit que le pouvoir émissif du manchon à l'oxyde de cérium est notable en tous les points du spectre, mais ne possède cependant des valeurs voisines de 1 que dans la région visible et dans l'infra-rouge à partir de $\lambda = 10 \mu$. Naturellement, ce pouvoir absorbant de cette substance pour les ondes très courtes et très longues est beaucoup plus élevé que dans le domaine intermédiaire compris entre $\lambda = 1 \mu$ et $\lambda = 8 \mu$. Ce résultat constitue un complément

(1) A vrai dire, on a trouvé en mettant la cloche une petite augmentation de la température « noire » du manchon au cérium, de 15° C. environ; mais celle-ci provenait probablement de ce que le manchon devenait non pas plus noir, mais plus chaud.

nécessaire aux faits sur lesquels MM. Guillaume et Féry ont fondé leur hypothèse sur le rôle du cérium dans le bec Auer.

D'après les résultats décrits, il devient évident qu'il suffit d'ajouter un peu de Ce^2O^3 à l'oxyde ThO^2 pour provoquer le pouvoir émissif élevé que l'on recherche dans le domaine visible, sans que par là le pouvoir émissif dans l'infra-rouge entre 4 et 8 μ . soit notablement influencé. De plus, il devient évident qu'une proportion plus forte d'oxyde de cérium devra produire un effet nuisible, car alors l'influence de cette matière colorante devient également sensible pour les ondes plus longues et produit une augmentation du pouvoir émissif. Mais, par là, comme on l'a vu, le rayonnement calorifique infra-rouge se trouve accru et la température d'incandescence diminuée. En pratique, on sait que la proportion d'oxyde de cérium qui s'est montrée la plus favorable est à peu près à 1 0/0.

L'oxyde de cérium joue donc dans le bec Auer un rôle analogue à un sensibilisateur dans une plaque photographique, en ce sens qu'il produit dans la région du spectre que l'on désire une bande d'absorption, sans influencer les autres parties du spectre. Assurément il ne réalise cette condition qu'imparfaitement. Si l'on réussissait à employer comme colorant une autre substance qui noircisse parfaitement le manchon à oxyde de thorium dans tout le spectre visible, et cela sans augmenter notablement le rayonnement infra-rouge, on pourrait tripler environ la puissance lumineuse du brûleur.
