

COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMÉTRIE

SESSION DE 1937.

---

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES,

RAPPORT ET ANNEXES.



---

**PRÉSIDENT**  
du Comité International des Poids et Mesures

A. DANJON.

---

**LISTE DES MEMBRES**  
DU  
COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMÉTRIE.

---

*Président*

J. M. OTERO, Membre du Comité International des Poids et Mesures; Directeur, Instituto de Optica « Daza Valdés », Madrid.

*Membres*

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT, *Braunschweig*  
(H. KORTE, Directeur de l'Abteilung IV; Dr SPILLER,  
du Deutsches Amt für Mass und Gewicht).

NATIONAL BUREAU OF STANDARDS, *Washington 25, D. C.*  
(D. B. JUDD, Assistant Chief, Division of Optics and  
Metrology).

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, *Ottawa* (G. W. WYSZECKI).

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS, *Paris*  
(M. DEBURE, Chef du Service de Métrologie au Laboratoire  
d'Essais).

ELECTROTECHNICAL LABORATORY, *Tokyo* (Y. NAKAJI, Associate Director).

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY, *Teddington* (J. S. PRESTON, Senior Principal Scientific Officer).

INSTITUT DE MÉTROLOGIE D. I. MENDÉLÉEV, *Leningrad* (S. M. STOLIAROV, Chef des Instituts Scientifiques du Comité des Normes, des Mesures et Instruments de Mesure de l'U. R. S. S.; M<sup>me</sup> V. E. KARTACHEVSKAIA, Chef du Laboratoire de Photométrie de l'Institut de Métrologie).

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES, *Sèvres* (Ch. VOLET, Directeur).

E. PERUCCA, Directeur de l'Institut de Physique Expérimentale, Politecnico, *Turin*.

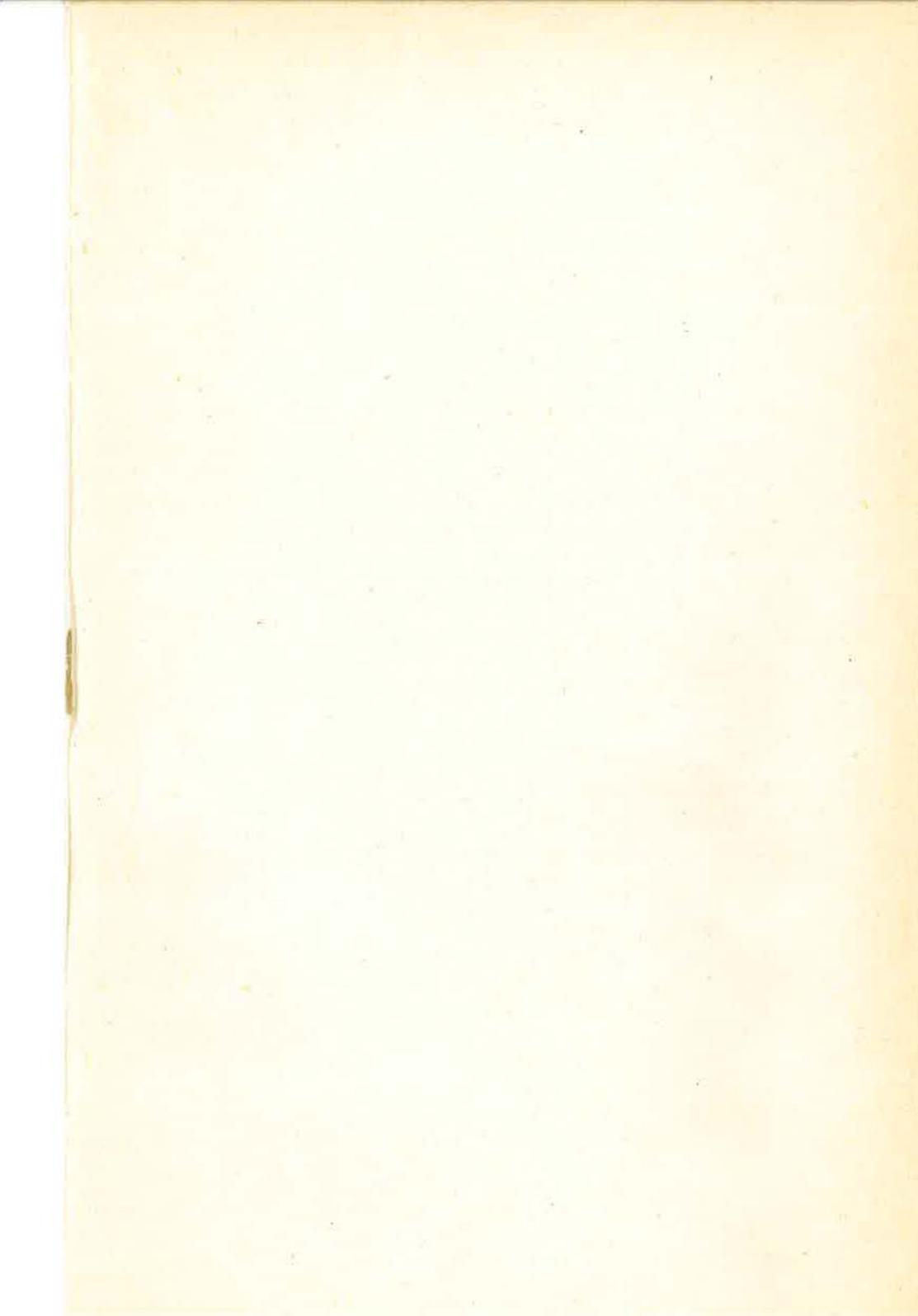
L. PLAZA, Vice-Directeur, Instituto de Optica « Daza Valdés », *Madrid*.

W. D. WRIGHT, Professeur à l'Imperial College, *London*.

C. ZWIKKER, Professeur, Technische Hogeschool, *Eindhoven*.

*Invité*

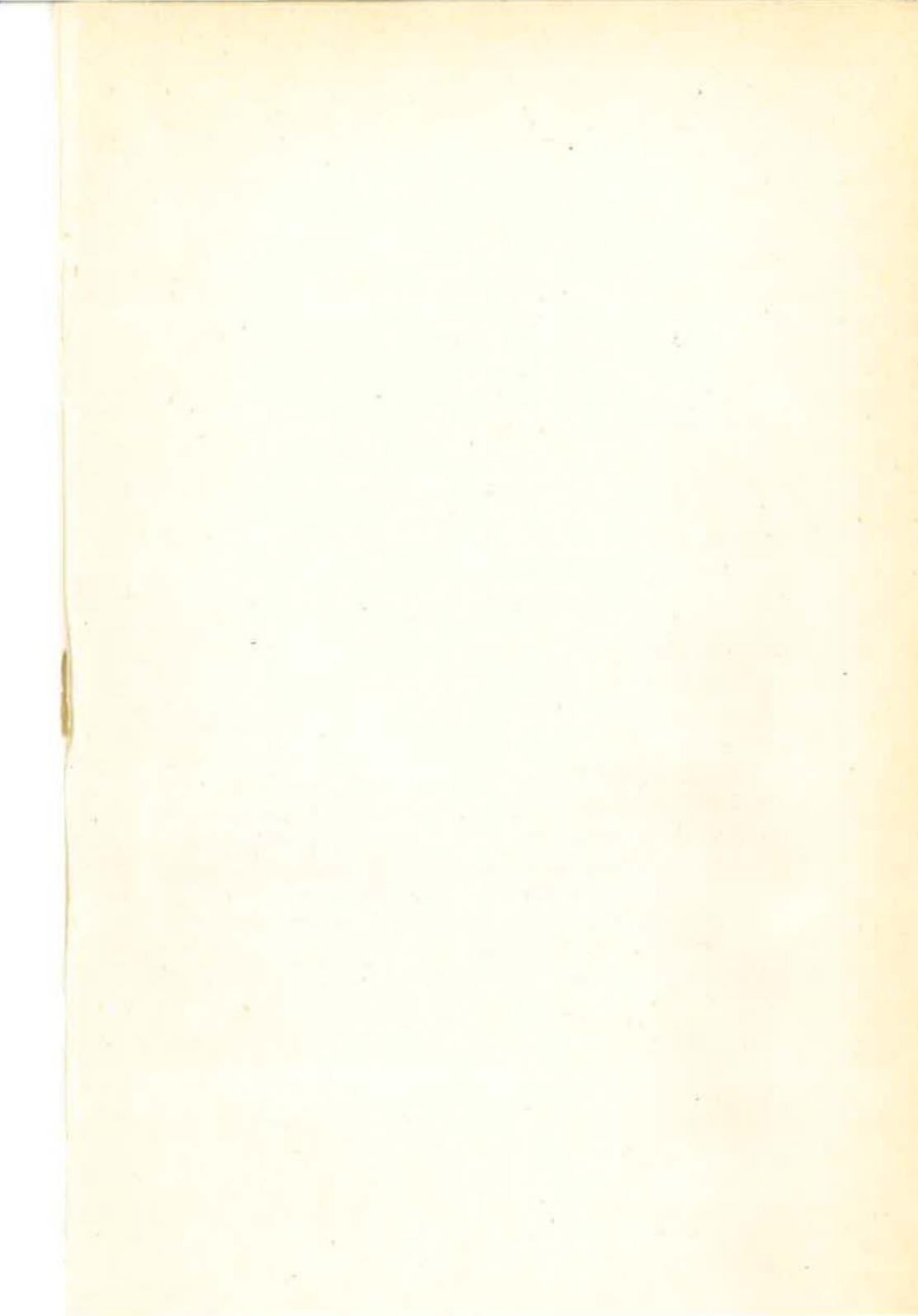
J. TERRIEN, Sous-Directeur du Bureau International des Poids et Mesures, *Sèvres*.



## ORDRE DU JOUR DE LA SESSION.

---

1. Nomination d'un Secrétaire et d'un Rapporteur.
  2. Documents distribués.
  3. Travaux sur l'étalon primaire; améliorations proposées pour la réalisation du corps noir.
  4. Erreurs dans les comparaisons de flux à la sphère.
  5. Méthode spectrophotométrique pour les comparaisons hétérochromes; concordance avec les autres méthodes.
  6. Examen des résultats des comparaisons internationales de 1956-1957.
  7. Unification des unités photométriques.
  8. Lampes étalons : perfectionnements; spécifications; transport.
  9. Comparaisons futures.
  10. Travaux photométriques du Bureau International.
  11. Projet de comparaisons d'étalons de température de couleur.
  12. Répercussions possibles des travaux récents de colorimétrie sur les valeurs des efficacités lumineuses relatives  $V_\lambda$  adoptées par le Comité International des Poids et Mesures en 1933.
  13. Questions diverses.
-



COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMÉTRIE.

---

4<sup>e</sup> SESSION \* (1957)

---

PROCÈS-VERBAL

DE LA PREMIÈRE SÉANCE,

TENUE AU BUREAU INTERNATIONAL.

Samedi 28 septembre 1957.

PRÉSIDENCE DE Mr J. M. OTERO.

---

La séance est ouverte à 15<sup>h</sup> 10<sup>m</sup>.

Sont présents : MM. OTERO, DEBURE, JUDD, M<sup>me</sup> KARTACHEVSKAIA, MM. KORTE, NAKAJI, PERUCCA, PLAZA, PRESTON, SPILLER, STOLIAROV, VOLET, WRIGHT, WYSZECKI, Membres du Comité Consultatif.

Assistent à la séance : Mr HOWLETT, Membre du Comité International des Poids et Mesures;

Mr TERRIEN, invité.

MM. A. BONHOURE, MOREAU, LECLERC, J. BONHOURE, du Bureau International.

Excusé : Mr ZWIKKER.

Après avoir souhaité la bienvenue à tous les Membres, Mr le PRÉSIDENT évoque la mémoire de E. C. Crittenden, décédé en 1956, Membre du Comité International des Poids et Mesures et du

---

(\*) Avant 1937, les questions de photométrie étaient examinées par le Comité Consultatif d'Électricité.

Comité Consultatif de Photométrie dont il fut Président un certain temps. Il rappelle ce que la photométrie doit à E. C. Crittenden, dont le travail au sein de notre Comité ne peut être oublié; il invite les Membres à se recueillir quelques instants en hommage à ce Collègue disparu.

Mr le PRÉSIDENT propose ensuite de confier la fonction de Secrétaire des séances à Mr Moreau et celle de Rapporteur auprès du Comité International à Mr Korte; cette proposition reçoit l'assentiment de tous les Membres.

Avant d'ouvrir la discussion sur les différents points de l'Ordre du Jour, Mr le PRÉSIDENT rappelle que la langue officielle est le français. Néanmoins, pour faciliter les échanges de vues en anglais, Mr Terrien a bien voulu accepter de faire quelques interprétations.

#### **Travaux sur l'étalon primaire.**

##### **Améliorations proposées pour la réalisation du corps noir.**

Mr PRESTON considère que la récente réalisation du corps noir au National Physical Laboratory (Annexe P 2, p. P 42) n'a pas fourni des résultats aussi satisfaisants qu'on pouvait l'espérer. Des améliorations au corps noir original devront être recherchées afin d'obtenir une précision meilleure.

Il pense par ailleurs que l'unité photométrique pourrait être fondée sur des mesures énergétiques. Des comparaisons préliminaires de l'intensité énergétique totale de deux lampes à filament de carbone ont déjà été effectuées entre le N. P. L. et le N. B. S. Six comparaisons ont conduit, à une exception près, à un écart maximum de 1 %. Les mesures à des températures de couleur plus élevées seraient sans doute plus faciles. On peut envisager le remplacement de l'étalon corps noir, étalon d'émission, par un récepteur étalon, par exemple une thermopile munie d'un filtre V, étalon dont la sensibilité spectrale serait connue en valeur absolue.

M<sup>me</sup> KARTACHEVSKAIA considère également que les résultats de la nouvelle réalisation du corps noir à l'Institut de Métrologie montrent la nécessité d'améliorations; des variations de luminance assez importantes ont en effet été constatées et des recherches seront poursuivies selon les propositions de P. M. Thikhodéev (amélioration de l'isolement thermique,

conditions de chauffage, élimination des dépôts sur le prisme), afin d'obtenir une meilleure reproductibilité des résultats (Annexe P 3, p. P 46). On essaiera également d'effectuer simultanément la mesure de la luminance du corps noir et celle du facteur de transmission du système optique.

M<sup>me</sup> KARTACHEVSKAIA note par ailleurs tout l'intérêt de la proposition de Mr Preston; elle n'est toutefois pas certaine que l'on puisse atteindre actuellement dans les mesures énergétiques absolues une exactitude et une précision supérieures à celles des mesures avec le corps noir, et elle craint que les différences entre les divers Laboratoires ne se trouvent encore plus accentuées.

Mr KORTE a aussi observé que la luminance du corps noir dépend de la température de la thorine qui entoure le creuset; il n'est pas sûr qu'on obtienne de meilleurs résultats en renforçant l'isolement thermique de thorine. L'amélioration devra être recherchée dans les conditions de chauffage; il semble nécessaire de chauffer pendant au moins deux heures avant de commencer les observations.

M<sup>me</sup> KARTACHEVSKAIA appuie cette remarque : Il est absolument nécessaire que le corps noir soit correctement chauffé; presque tous les Laboratoires ont en effet constaté que les premiers et les derniers paliers de solidification devaient être éliminés.

Mr KORTE fait remarquer, au sujet de la proposition de Mr Preston, que deux lampes de même rayonnement peuvent avoir des intensités lumineuses très différentes; il est donc nécessaire de mesurer une deuxième propriété, et laquelle ? Mr PRESTON précise qu'il faut avoir une thermopile étalonnée en énergie, ainsi qu'un filtre étalonné reproduisant la courbe  $V_{\lambda}$ .

Mr JUDD indique que le National Bureau of Standards a entrepris quelques études en vue d'une nouvelle réalisation permanente du corps noir au point de solidification du platine, afin que l'étalon primaire de la candela soit ainsi toujours disponible pour des comparaisons importantes.

Il se déclare d'accord sur les améliorations proposées par M<sup>me</sup> Kartachevskaia, et l'on cherchera en outre à diminuer le diamètre de l'ouverture d'observation afin de réduire les

corrections et de s'approcher ainsi du corps noir théorique. Mr Judd ne croit pas que l'on doive simplement chercher à reproduire le corps noir sous sa forme ancienne. La définition de la candela est fondée sur le corps noir idéal, d'où la nécessité d'apporter toutes les améliorations possibles.

Mr NAKAJI considère, d'après l'examen des rapports présentés par les Laboratoires nationaux, que les spécifications actuelles de l'étalon primaire ne sont pas suffisamment détaillées. Il estime, en conséquence, que l'on devrait établir un programme des études à entreprendre sur le corps noir, telles que sa construction, son mode de fonctionnement, etc., chaque Laboratoire étant chargé d'étudier un problème particulier, les résultats ainsi obtenus étant ensuite examinés par tous les autres Laboratoires. Les deux rapports présentés par l'Electrotechnical Laboratory (Annexes P 5 et P 6, p. P 58 et P 61), apportent une contribution dans ce sens.

Mr WYSZECKI dit que le National Research Council, depuis la réalisation du corps noir en 1953, poursuit les travaux sur de nouveaux types de creusets; il pense également que le tube de visée devrait baigner entièrement dans le platine. A ce sujet, Mr KORRE fait remarquer qu'un tube de visée sans contact avec le fond du creuset a déjà été employé à la P. T. B.; cette disposition est peut-être la cause des valeurs plus élevées obtenues à la P. T. B. pour la luminance du corps noir.

Mr DEBURE expose quelques remarques qu'il a pu faire lors de la réalisation du corps noir à son Laboratoire en 1951, suivant les suggestions du Comité International des Poids et Mesures (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 14, 1931, p. 249). Il s'est trouvé en face des mêmes difficultés rencontrées par les autres Laboratoires :

— influence de l'équilibre thermique de la thorine, d'où la nécessité d'effectuer un préchauffage d'environ une heure et d'éliminer les deux ou trois premiers paliers de solidification;

— nécessité d'immerger le tube de visée le plus possible dans le platine; quand le tube émergeait de 8 à 10 mm les mesures devaient être abandonnées;

— influence de la surfusion; une surfusion trop importante conduit à de faux paliers de solidification;

— contamination du prisme par les vapeurs de platine; on obviait à cet inconvénient par l'envoi d'un léger courant d'air.

Mr PERUCCA ayant demandé si l'emploi du jet d'air est bien efficace, c'est-à-dire s'il permet d'effectuer des dizaines de paliers de solidification sans changement du facteur de transmission du prisme, Mr DEBURE répond que ce procédé est absolument nécessaire si l'on veut éviter le dépôt d'une couche très adhérente de platine sur le prisme. M<sup>me</sup> KARTACHEVSKAIA ajoute que ce procédé, également employé dans son Laboratoire, n'a pas donné de résultats très satisfaisants.

Mr KORTE voit également une autre cause de difficultés : la divergence des rayons dans le tube de visée; on doit employer une divergence très faible afin de n'observer que le fond du tube.

Au sujet de la surfusion, Mr KORTE demande comment l'éviter. Mr DEBURE répond qu'il est impossible de la supprimer complètement, mais qu'il faut chercher à la réduire en évitant un chauffage prolongé du platine quand la fusion est atteinte; il lui paraît dangereux de frapper sur le creuset, bien que cette pratique ait été employée avec succès à la P. T. B. pour faire cesser la surfusion.

Mr VOLET ayant demandé s'il n'était pas possible de se passer du prisme en observant verticalement, Mr JUDD indique que le N. B. S. envisage effectivement d'employer une telle disposition.

Mr le PRÉSIDENT considère, à la suite de cet échange de vues, que l'adoption du corps noir au point de solidification du platine comme étalon primaire, en remplacement des lampes à incandescence conservées dans les Laboratoires nationaux, a peut-être été prématurée; l'étalon primaire ne semble pas actuellement suffisamment bien défini et reproductible. Doit-on, dans ces conditions, envisager la création d'un Sous-Comité chargé, selon le sens de la proposition japonaise (Annexe P 1, § 1, p. P 39), d'établir un programme de travail pour fixer des spécifications plus complètes afin que le corps noir étalon soit mieux reproductible, ou doit-on considérer que nos travaux sont suffisants pour obtenir une amélioration ?

Après consultation des représentants des Laboratoires nationaux, il est apparu que presque tous les Laboratoires sont

d'accord pour poursuivre les recherches sur les divers paramètres expérimentaux : formes et dimensions de l'étalon, conditions thermiques, isolement, diamètre de l'ouverture du tube de visée, méthodes d'observation, etc., et sur les écarts par rapport au corps noir idéal dont la luminance est, par définition, de 60 cd/cm<sup>2</sup>.

Mr PRESTON tient à préciser que le N. P. L., actuellement engagé sur le problème des méthodes énergétiques absolues, n'envisage pas de nouvelles études sur le corps noir dans un proche avenir. Il reconnaît l'importance majeure du corps noir pour le moment présent, mais le N. P. L. n'a pas les ressources nécessaires pour étudier simultanément ces deux problèmes.

Mr JUDD ayant fait remarquer que la définition de la candela par le corps noir n'impose aucune spécification formelle à ce dernier, Mr HOWLETT objecte qu'on ne peut se passer d'une méthode recommandée, c'est-à-dire de spécifications, pour la réalisation pratique de l'étalon. Tel sera en particulier le cas pour la future définition du mètre par une longueur d'onde.

En conclusion de cette discussion, Mr le PRÉSIDENT constate que l'opinion générale est en faveur de la continuation des recherches sur l'étalon primaire, mais en laissant à chaque Laboratoire national l'organisation de son programme de travail. Les résultats de ces recherches seront portés à la connaissance du Comité Consultatif qui, s'il le juge opportun, pourra recommander des spécifications particulières pour l'étalon primaire.

#### **Erreurs dans les comparaisons de flux à la sphère.**

Mr PRESTON attire l'attention sur les erreurs qui risquent de se produire lors de la comparaison, dans une sphère-lumenmètre, de lampes de flux dont la répartition spatiale de l'intensité lumineuse est différente.

Afin d'évaluer l'importance de cette erreur, deux groupes d'étalons de flux à 2 353° K, à ampoule en verre clair, l'un du type à « cage d'écureuil », l'autre à filament monté en octogone fermé dans un plan horizontal, ont été comparés directement dans la sphère du Bureau International. Le flux lumineux de ces lampes avait été déterminé au N. P. L. par comparaison à des lampes de même type étalonnées par la méthode absolue.

Le résultat de la comparaison directe au Bureau International est en accord satisfaisant avec le résultat du N. P. L. (Annexe P 7, p. P 70); l'écart obtenu, inférieur à 0,2 %, est du reste en sens contraire de la correction calculée (0,1 %) d'après les caractéristiques de la sphère du Bureau International et la distribution du flux de chaque type de lampe.

Avec la sphère utilisée au N. P. L. (1 m de diamètre, facteur de réflexion  $\rho = 0,82$ , écran d'un diamètre suffisant pour couvrir une lampe de 60 W), le calcul indique que le résultat de la comparaison de deux lampes des types précités devrait être corrigé d'environ 0,4 %.

Mr TERRIEN demande quelle est l'exactitude supposée de la mesure du flux de ces lampes par la méthode absolue. Mr PRESTON répond que cette exactitude est difficile à établir, mais il croit que l'erreur ne dépasse pas  $\pm 0,2$  % pour la réalisation du lumen à 2 353° K au N. P. L.

Mr TERRIEN rappelle que les comparaisons qui ont eu lieu au N. P. L. en 1939, entre l'intensité lumineuse dans une direction spécifiée ( $I_d$ ) et l'intensité moyenne sphérique ( $I_s$ ) de lampes à « cage d'écureuil » (voir *Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 19, 1939, p. P 64), ont conduit à des écarts atteignant jusqu'à 1,6 % sur le rapport  $\frac{I_s}{I_d}$ . Y a-t-il eu depuis cette époque des progrès tels que ces écarts soient ramenés à 0,2 % environ ?

Mr KORTE ne le pense pas; on a constaté récemment une différence de 2 % lors de la comparaison directe, dans la sphère de la P. T. B. (et aussi au B. I. P. M.), de lampes opalines et de lampes à « cage d'écureuil » dont le flux avait été déterminé par la méthode de la répartition spatiale. Il faut donc poursuivre l'étude de cette question.

Mr PRESTON précise que l'accord qu'il a obtenu entre les deux méthodes de mesure absolue et relative, résulte de l'application de corrections calculées; cet accord ne suffit pas pour garantir l'exactitude du passage de la candela au lumen, mais il confirme que même si l'erreur de ce passage n'est pas petite, elle est presque la même pour les deux types de lampes.

Mr TERRIEN demande aux Laboratoires nationaux s'ils estiment utile d'effectuer une nouvelle comparaison internatio-

nale analogue à celle de 1939, chaque Laboratoire envoyant au Bureau International deux groupes de lampes de répartitions spatiales différentes et donnant pour chaque lampe les valeurs de  $I_r$  et  $I_s$ .

Mr PRESTON ne pense pas que cette comparaison s'impose; les lampes à 2 353° K mesurées en valeur absolue permettent d'effectuer ce contrôle.

Mr KORTE estime au contraire que des comparaisons de lampes présentant des répartitions spatiales très différentes seraient d'un grand intérêt.

Mr JUDD craint que ces comparaisons ne conduisent à des résultats peu consistants. Les lampes utilisées actuellement et celles de 1939 sont du même type et il ne voit pas l'enseignement à tirer de nouvelles comparaisons; le N.B.S. est néanmoins prêt à s'associer à ce projet si le Comité Consultatif l'approuve.

M<sup>me</sup> KARTACHEVSKAIA, tout en se déclarant d'accord avec Mr Preston, apporte cependant l'adhésion de son Laboratoire pour prendre part à de telles comparaisons. Dans ce cas, M<sup>me</sup> KARTACHEVSKAIA souhaite que toutes les lampes qui interviendraient dans ces comparaisons aient une puissance très voisine; cette condition faciliterait non seulement les mesures, mais éviterait aussi des erreurs supplémentaires, en particulier celle due aux variations du facteur de réflexion de la peinture de la sphère sous l'influence de l'échauffement provoqué par des lampes de puissances différentes.

A la suite de ces interventions, Mr le PRÉSIDENT charge le Bureau International d'établir une circulaire précisant les modalités et les conditions expérimentales à remplir pour cette comparaison. Chaque Laboratoire désirant y participer se mettra en rapport direct avec le Bureau International.

#### **Comparaisons hétérochromes par la méthode spectrophotométrique.**

Mr TERRIEN rappelle que la méthode spectrophotométrique a été employée au Bureau International, plus particulièrement pour le passage du lumen à 2 353° K au lumen à 2 788° K. Les résultats de nouvelles mesures effectuées en 1954 ont conduit à un désaccord de 1,9 % pour la valeur moyenne du lumen

à 2 788° K tel qu'il résulte des comparaisons internationales de 1952; le désaccord, quoique un peu plus faible, subsiste si l'on prend les résultats des comparaisons internationales de 1957. Les causes de cette différence n'ont pas encore été expliquées, d'où l'intérêt de poursuivre ces travaux dans d'autres laboratoires.

Mr KORTE indique qu'il a utilisé une méthode identique pour la mesure de ses étalons secondaires d'intensité et de flux lumineux; ce qui explique peut-être la valeur élevée du lumen P. T. B.-D. A. M. G. à 2 788° K.

En réponse à une question de Mr WRIGHT, Mr TERRIEN donne quelques brèves indications sur les conditions expérimentales des mesures effectuées au Bureau International (voir *Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 23-B, 1952, p. P 124).

Mr PRESTON ayant demandé si ces mesures avaient été corrigées pour tenir compte de la coloration de la peinture de la sphère, Mr TERRIEN répond qu'il ne pense pas qu'il y ait d'erreurs à craindre de ce côté; pour la comparaison directe des étalons dans la sphère, les mesures sont quasi homochromes; pour les comparaisons spectrophotométriques, les mesures sont faites à une même longueur d'onde; la seule erreur possible réside dans la répartition spatiale différente des lampes lors de la comparaison du flux des lampes de travail au flux des étalons (lampes à filament en cage d'écureuil) qui conservent le lumen à 2 353° K (1).

Mr PRESTON indique que le N. P. L. a l'intention d'étudier la méthode spectrophotométrique pour l'évaluation de différences de température de couleur, et l'on pourra également utiliser les résultats pour tenter le calcul de rapports d'intensités ou de flux.

---

(1) A titre de vérification, l'étalonnage des trois lampes de travail a été refait en janvier 1958, par comparaison à des étalons de flux à 2 353° K et à 2 788° K comme en 1954, mais avec la nouvelle peinture de la sphère du Bureau International qui, sans correction, conduit à une concordance de 0,2 % avec les déterminations absolues de flux effectuées au N. P. L. sur des lampes de répartitions spatiales différentes (Annexe P 7, p. P 70). Le nouveau résultat obtenu confirme à 0,2 % près celui de 1954. Sur le lumen à 2 788° K déterminé au Bureau International à partir du lumen moyen à 2 353° K de cinq Laboratoires nationaux, le désaccord de l'ordre de 1,9 % se trouve donc confirmé. (*Note ajoutée en cours d'impression.*)

Mr le PRÉSIDENT note tout l'intérêt que présentent ces comparaisons spectrophotométriques et propose que le Bureau International se mette directement en rapport avec les Laboratoires nationaux pour poursuivre ces études en étroite collaboration.

**Examen des résultats  
des comparaisons internationales de 1956-1957.**

Mr TERRIEN commente brièvement le Rapport du Bureau International sur les résultats provisoires de la troisième comparaison des étalons nationaux d'intensité et de flux lumineux (Annexe P 8, p. P 74). Il demande si les Laboratoires ont des remarques à faire ou des corrections à apporter aux valeurs numériques citées dans ce Rapport.

MM. WYSZECKI (N. R. C.), DEBURE (C. N. A. M.), KORTE (P. T. B.-D. A. M. G.) et NAKAJI (E. T. L.) n'ont aucune remarque à présenter.

Mr PRESTON tient à préciser que l'écart sur le lumen N. P. L. à 2 353° K (Annexe P 8, tableau X, p. P 98) résulte de la correction d'une erreur antérieure dans la mesure des flux.

Mr JUDD n'a pas de remarque particulière à faire sur ce Rapport, bien qu'il ne s'explique pas l'écart de + 1,2 % pour la candela N. B. S. à 2 353° K; l'examen des mesures antérieures au N. B. S. n'a rien révélé d'anormal (Voir la Note à la fin de l'Annexe P 8, p. P 103).

M<sup>me</sup> KARTACHEVSKAIA n'est pas particulièrement satisfaite des résultats obtenus pour le lumen I. M. à 2 353° K. La stabilité imparfaite des lampes employées (cage d'écureuil) oblige à utiliser un grand nombre de lampes (10 à 12) pour conserver l'unité avec une incertitude n'excédant pas 0,3 %. Le nombre de lampes envoyées au Bureau International pour la comparaison internationale était beaucoup plus faible (3), ce qui peut expliquer la variation importante observée pour le lumen I. M. Ce type de lampe sera du reste modifié afin d'améliorer ses qualités photométriques.

A la suite de cette consultation, Mr TERRIEN considère que le tableau IV de l'Annexe P 8 représente les résultats définitifs de la troisième comparaison internationale. Il commente ensuite

les graphiques (p. P 100) qui montrent les valeurs relatives des unités nationales en 1952 et en 1957.

Au sujet de ces résultats, M<sup>me</sup> KARTACHEVSKAIA indique que la différence entre la candela 1952 et la candela 1957 à 2 042° K de l'I. M. est due principalement au fait que, lors des récentes mesures au corps noir, on a tenu compte par une méthode expérimentale des changements de la transmission du système optique pendant les mesures (Annexe P 3, § 4).

M<sup>me</sup> KARTACHEVSKAIA, MM. KORTE et PRESTON précisent en outre que leurs Laboratoires respectifs n'ont pas, jusqu'ici, apporté de changement à la valeur de leurs unités photométriques à la suite des récentes déterminations du corps noir.

Mr TERRIEN demande alors au Comité Consultatif quelles sont les valeurs moyennes que le Bureau International doit adopter pour l'étalonnage des lampes qui sont soumises à son contrôle.

Cette question, sur laquelle certains Membres ont été amenés à donner leur avis, s'est trouvée remise en discussion au cours de l'examen du point suivant de l'Ordre du Jour.

#### **Unification des unités photométriques.**

Mr NAKAJI rappelle que l'importante question de l'unification des unités photométriques a déjà été portée à l'attention du Comité Consultatif en 1952; une telle unification avait toutefois été jugée prématurée à cette époque (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 23-B, 1952, p. P 13). Il estime que la valeur moyenne de l'unité à la température de couleur de 2 042° K devrait être conservée au Bureau International comme une unité internationale sujette à révision.

Mr le PRÉSIDENT considère que la discussion sur l'étalon primaire a montré de telles discordances entre les résultats, qu'il semble difficile d'arriver à un accord sur la question de l'unification des unités.

Mr VOLET confirme ce qu'il a dit en 1952. Le but de notre Organisation est l'unification mondiale des mesures; cette unification est déjà réalisée pour les longueurs et les masses, mais pas encore complètement pour les grandeurs électriques et

photométriques. Devons-nous reconnaître une nouvelle fois que les progrès sont insuffisants actuellement et remettre cette unification à plus tard ?

Mr PRESTON déclare que le N. P. L. accepterait de changer la valeur de sa candela à  $2\ 042^{\circ}$  K pour l'aligner sur la valeur moyenne qui serait adoptée; mais que se passera-t-il à l'avenir ? Faudra-t-il adopter une nouvelle valeur moyenne à la suite de chaque « redétermination internationale » de l'unité primaire ?

Faute d'une amélioration en ce qui concerne la reproductibilité de cette unité, on peut prévoir que les changements périodiques ainsi provoqués seraient plus grands que les variations de « l'unité moyenne » conservée jusqu'ici par des groupes de lampes étalons. Ne serait-il pas préférable d'adopter cette « unité moyenne » comme base d'unification, jusqu'à ce que l'unité primaire soit connue avec une précision qui surpasse celle des comparaisons de lampes étalons ?

Mr KORTE objecte que si les changements sont petits personne ne les remarquera; s'ils sont importants, il sera difficile de ne pas en tenir compte. Il se prononce donc, ainsi que Mr DEBURE, en faveur de l'unification.

Mr JUDD déclare qu'il n'a pas de documentation suffisante pour se prononcer sur l'adoption d'une unité moyenne par le N. B. S. Pour ce qui concerne les changements qui pourraient intervenir après chaque nouvelle comparaison internationale, il remarque que les unités sont conservées au N. B. S. par des groupes de lampes plus importants que ceux qui sont envoyés au Bureau International; on doit donc leur accorder une plus grande confiance et il serait désagréable de leur apporter des petits changements périodiques en plus ou en moins. L'utilité des comparaisons internationales est surtout de montrer sur quels types de lampes il faut faire des recherches. Mr JUDD estime en conséquence que le moment n'est pas encore venu de faire un changement et que le mieux serait d'attendre les résultats des travaux futurs.

Mr HOWLETT, au nom du N. R. C., se range à l'avis de Mr Judd.

M<sup>me</sup> KARTACHEVSKAIA expose que l'adoption du corps noir a eu précisément pour but d'assurer l'unification des unités de lumière en fondant celles-ci sur un étalon stable et repro-

ductible. A ce point de vue, l'unification proposée pourrait apparaître comme un recul du principe fondamental d'un étalon reproductible. Les comparaisons des étalons secondaires ont cependant montré des discordances entre les Laboratoires. La pratique exige, d'autre part, des unités dont la valeur soit stable, tout au moins dans les limites d'incertitude requises pour les besoins de cette pratique. L'expérience des Laboratoires nationaux doit nous aider à obtenir les valeurs les plus sûres. L'unité moyenne adoptée par le Bureau International devrait être affectée d'une incertitude fonction de la concordance des résultats des différents Laboratoires. Il paraît difficile à M<sup>me</sup> KARTACHEVSKAIA d'adopter actuellement une unité moyenne. De nouvelles études sur le corps noir permettront peut-être, par un meilleur accord des résultats de chaque Laboratoire, d'obtenir une valeur internationale moyenne plus précise qui ne s'écartera des valeurs nationales que dans les limites d'incertitude des mesures de chaque Laboratoire.

Mr PERUCCA constate que l'étalon primaire ne paraît pas encore reproductible à mieux que  $\pm 1$  %; bien que les comparaisons des étalons secondaires soient plus précises, il faudrait avoir le courage de reconnaître que l'incertitude du résultat final restera de l'ordre de  $\pm 1$  %.

Mr le PRÉSIDENT propose de reporter la suite de cette discussion à la prochaine séance.

La séance est levée à 18<sup>h</sup>10<sup>m</sup>.



---

## PROCÈS-VERBAL

DE LA DEUXIÈME SÉANCE,

TENUE AU BUREAU INTERNATIONAL.

Lundi 30 septembre 1957.

PRÉSIDENCE DE Mr J. M. OTERO.

---

La séance est ouverte à 9<sup>h</sup>45<sup>m</sup>.

Sont présents : MM. OTERO, DEBURE, JUDD, M<sup>me</sup> KARTACHEVSKAIA, MM. KORTE, NAKAJI, PERUCCA, PLAZA, PRESTON, SPILLER, STOLIAROV, VOLET, WRIGHT, WYSZECKI, ZWIKKER, Membres du Comité Consultatif.

Assistent à la séance : Mr HOWLETT, Membre du Comité International des Poids et Mesures;

Mr TERRIEN, invité.

MM. A. BONHOURE, MOREAU, LECLERC, J. BONHOURE, du Bureau International.

A la reprise de la discussion du point 7 de l'Ordre du Jour, Mr VOLET tient à insister de nouveau sur l'importance de l'unification des unités photométriques, l'une des tâches essentielles du Comité Consultatif de Photométrie. Il cite à ce sujet un passage du paragraphe 5 de la Résolution adoptée par le Comité International dans sa session de 1946 (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 20, 1946, p. 122) et approuvée par la Neuvième Conférence Générale des Poids et Mesures (*Comptes Rendus C. G. P. M.*, 1948, p. 54) :

« ... les valeurs assignées aux étalons secondaires conservés au Bureau International et dans chacun des Laboratoires nationaux, seront exprimées au moyen de l'unité moyenne, telle qu'elle aura été

déterminée dans tous les Laboratoires où l'étalon primaire aura été réalisé. »

Des études fort longues seront nécessaires pour perfectionner l'étalon primaire et Mr VOLET considère qu'une unification même imparfaite serait encore préférable aux divergences actuelles. Mr TERRIEN pense également qu'une unification provisoire pourrait être faite maintenant sur une base qui serait conservée sans changement jusqu'à ce que l'on obtienne entre les Laboratoires un meilleur accord sur le corps noir.

Mr le PRÉSIDENT remarque que cette proposition est légèrement différente de celle qui a été faite à la première séance; il demande en conséquence aux Laboratoires d'exprimer leur opinion.

Mr PRESTON accepterait cette proposition au nom du N. P. L.; l'unification devrait toutefois être faite de préférence, par souci de simplicité, sur la base des unités 1952 sans tenir compte des résultats obtenus depuis 1952 avec le corps noir.

Mr TERRIEN précise en effet que les unités 1952, représentées par la moyenne de cinq Laboratoires, sont mieux connues au Bureau International car ces Laboratoires ont envoyé à deux reprises différentes, en 1952 et en 1956, des groupes de lampes dont la valeur était exprimée en unités 1952.

Mr JUDD déclare que le N. B. S. ne désire apporter de changements à ses unités que si ses propres mesures indiquent qu'un changement devrait être fait. Il note cependant que les récentes comparaisons du Bureau International ont fait apparaître des écarts sensibles entre les unités N. B. S. représentées par les groupes de lampes envoyés en 1952 et en 1956, alors que la valeur de chacun de ces groupes était exprimée dans la même unité qui est restée inchangée depuis 1952; de nouvelles expériences s'imposent donc (*Voir la Note à la fin de l'Annexe P8, p. P 103*).

Mr NAKAJI dit que l'E. T. L. n'a pas d'objection à l'unification proposée, les unités de son Laboratoire étant toujours voisines des unités moyennes.

Mr HOWLETT préfère maintenir les unités du N. R. C. d'après les résultats obtenus sur le corps noir réalisé dans son Laboratoire en 1953.

M<sup>me</sup> KARTACHEVSKAIA rappelle le point de vue qu'elle a exposé à la première séance. Les objections portent plus sur le principe de l'unification que sur les changements à apporter aux unités de son Laboratoire, changements qui seraient peu importants.

Mr KORTE accepte d'aligner les unités de l'Allemagne; il regrette seulement que les travaux effectués dans les Laboratoires n'aient pas encore conduit à une meilleure concordance.

Mr ZWIKKER se déclare en accord avec les objections de principe de M<sup>me</sup> Kartachevskaia. Il craint en outre qu'une unification ne fasse plus ou moins oublier les travaux sur le corps noir, alors qu'il faut au contraire les poursuivre activement si l'on veut éviter que des différences très grandes se produisent après un certain temps, comme cela est arrivé autrefois. Il se prononce en conséquence contre une unification provisoire immédiate.

Mr TERRIEN tient cependant à faire remarquer que l'on peut, maintenant, conserver les unités d'une manière satisfaisante avec des lampes, comme le fait le N. B. S. depuis vingt ans.

En conclusion, Mr le PRÉSIDENT constate que les opinions sont encore partagées. Une unification générale ne pourrait être décidée, à son avis, qu'après avoir reçu l'adhésion de tous les Laboratoires. Il propose donc, en accord avec MM. Volet et Terrien, que chaque Laboratoire garde la liberté d'agir pour son propre compte en liaison avec le Bureau International. Dans ce sens, le Bureau International adressera à tous les Laboratoires une Note précisant la situation actuelle des unités nationales et les changements qu'il conviendrait d'apporter à ces unités pour les aligner sur la valeur moyenne de 1952 <sup>(1)</sup>. Quant aux unités qui seront adoptées par le Bureau International, il sera évidemment préférable qu'elles soient aussi voisines que possible de la moyenne des unités réellement en vigueur dans chaque Laboratoire.

**Lampes étalons :**  
**perfectionnements ; spécifications ; transport.**

Mr NAKAJI donne quelques indications sur le nouveau type de lampes d'intensité lumineuse (2 042 et 2 353° K) construites

---

(1) Cette Note, adressée aux Membres du Comité Consultatif le 28 octobre 1957, est reproduite à l'Annexe P 9, p. P 104.

au Japon, dont il présente deux modèles au Comité (*cf.* Annexe P 10, p. P 111).

Tous les Membres sont vivement intéressés par ces lampes qui ont déjà fait l'objet d'une comparaison entre l'E. T. L. et le B. I. P. M. (Annexe P 11, p. P 113). Le centrage du filament dans une ampoule sphérique de bonne qualité, le montage du filament sans crochets-supports et l'excellent comportement des lampes après un transport non accompagné Tokyo-Paris et retour par avion, permettent d'envisager favorablement leur emploi pour les comparaisons internationales.

En réponse à MM. JUDD et KORTE qui désirent essayer ces lampes, Mr NAKAJI confirme qu'il est possible de se les procurer auprès du fabricant japonais; ce sont des lampes à vide utilisables aux températures de couleur inférieures à 2 400° K.

Mr NAKAJI ayant demandé si le Bureau International pourrait accepter ce nouveau type de lampes pour les comparaisons internationales, bien que leur culot à broches ne soit pas conforme aux spécifications recommandées en 1952 (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 23-B, 1952, p. P 37-38), Mr VOLET répond que le Bureau International ne peut qu'encourager l'adoption de telles lampes pour les futures comparaisons, ce qui faciliterait en outre sa tâche si toutes les lampes étaient du même type. Quant à la forme spéciale du culot, ce ne peut être un obstacle à l'utilisation de ces lampes dont les qualités escomptées ont plus d'importance que l'observation de spécifications qui, recommandées pour la commodité des comparaisons internationales, ne doivent pas être considérées comme absolument impératives.

Aucune remarque particulière n'est faite au sujet du transport des lampes étalons. Ainsi qu'on l'avait déjà noté à la session de 1952, le transport à la main est à préférer; il permet, le cas échéant, un contrôle douanier sous la surveillance directe de la personne accompagnant les lampes. Les effets du transport sur les lampes dépendent beaucoup de leurs caractéristiques de construction; il est par suite difficile de recommander un moyen de transport particulier, bien que l'avion paraisse préférable, plus spécialement pour les transports non accompagnés.

#### Comparaisons futures.

Mr VOLET indique que la périodicité des comparaisons photométriques avait été initialement fixée à deux ans. On a tou-

tefois reconnu que cet intervalle était trop court et l'on avait déjà suggéré à la précédente session une périodicité de cinq ans.

Après consultation des représentants des Laboratoires, il a été décidé que les comparaisons photométriques internationales auraient lieu au Bureau International tous les quatre ans.

Mr TERRIEN fait remarquer qu'il est néanmoins toujours possible de procéder entre deux comparaisons à des échanges partiels de lampes, si le besoin s'en fait sentir; le Bureau International conserve des groupes d'étalons secondaires qui permettent des rattachements.

#### Travaux photométriques du Bureau International (\*).

Certains travaux (comparaisons internationales 1956-1957; comparaisons hétérochromes par la méthode spectrophotométrique) ont déjà été exposés à la première séance.

Mr TERRIEN mentionne quelques améliorations apportées à la sphère-lumenmètre du Bureau International : recherche et étude d'une peinture satisfaisante à base d'oxyde de zinc et de carboxyméthylcellulose; suppression de la fenêtre diffusante de la sphère, remplacée par une simple ouverture permettant de projeter sur le plan récepteur du photomètre, par l'intermédiaire d'un petit miroir sphérique aluminé, l'image d'une petite région de la sphère (cf. Annexe P 8, § 5 b, p. P 77).

L'intercomparaison d'un groupe de quatre étalons de flux à 2 788° K entre le N. B. S., le N. P. L. et le B. I. P. M., a permis de confirmer à 0,1 % les résultats de la comparaison internationale de 1952 pour l'unité du N. P. L., et d'expliquer les causes d'un désaccord qui avait été observé pour l'unité du N. B. S.

Depuis la session de 1952, le Bureau International a formé, réglé en température de couleur et étalonné en candelas et lumens moyens plus de 150 lampes. Ces lampes, des types préconisés par le Bureau International et construites sous son contrôle, ont été attribuées à divers Laboratoires et Services métrologiques nationaux. Des lampes neuves non étalonnées ont été également cédées à quelques laboratoires.

Signalons enfin que sur l'initiative du Bureau International, la fabrication de 90 tubes photoélectriques du type Gillod-Boutry, à cathode Cs-AgO et Cs-Bi, a pu être entreprise. Ces

---

(\*) Voir *Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 24, 1954, p. 38-41; 25, 1956, p. 32-34.

récepteurs, particulièrement intéressants pour la photométrie de précision, ont été cédés, après examen au Bureau International, à quelques laboratoires français et étrangers qui avaient exprimé le désir d'en acquérir.

Les propriétés de quelques récepteurs photoélectriques (photomultiplicateurs, tubes à cathode semi-transparente, cellules photoconductrices) ont été également étudiées.

#### Projet de comparaisons d'étalons de température de couleur.

Comme suite à la proposition du Japon, présentée à la session de 1952 du Comité Consultatif, en vue d'une unification des échelles de température de couleur, le Bureau International a effectué une enquête auprès des Laboratoires nationaux (Lettres-circulaires du Bureau International des 4 mars 1953 et 16 juillet 1954). Tous les Laboratoires se sont déclarés en faveur de telles comparaisons et ont donné leur avis sur les conditions dans lesquelles pourraient s'effectuer ces comparaisons.

Mr TERRIEN demande aux Laboratoires s'ils sont toujours d'accord pour effectuer ces mesures suivant le plan de travail envisagé. Il rappelle que l'enquête du Bureau International portait sur les trois points suivants :

- a. caractéristiques des lampes à échanger;
- b. températures de couleur à choisir pour les comparaisons;
- c. méthodes de mesure à employer.

Tous les Laboratoires ayant confirmé leur accord pour ces comparaisons, Mr TERRIEN indique qu'en ce qui concerne le point a, les Laboratoires ont vivement souhaité l'adoption d'un type de lampe unique; dans ce sens, la lampe de projection à ampoule sphérique incolore (d'un modèle analogue à celui qui est décrit dans *J. Opt. Soc. Amer.*, 41, 1951, p. 516, fig. 4), ayant les caractéristiques suivantes :  $\sim 100$  V, 300 à 500 W, filament spiralé monté dans un plan vertical, culot à vis (de préférence E 40), direction d'observation spécifiée, semble pouvoir être recommandée.

Un échange de vues a lieu ensuite sur le point b.

Mr KORTE propose l'intervalle de température de 2 000 à 3 000° K, avec des mesures tous les 100 degrés.

Mr PRESTON préférerait tous les 200 degrés, ainsi que Mr JUDD qui propose d'ajouter en plus les points 2 042, 2 353 et 2 854° K. Mr ZWIKKER fait remarquer qu'une fois les méthodes et appareils choisis, il n'est pas plus long de faire des mesures tous les 100 degrés au lieu de tous les 200 degrés.

Mr PRESTON objecte toutefois qu'avec la méthode visuelle, il est nécessaire de faire un grand nombre de mesures pour éviter les erreurs, d'où un travail plus important si l'on adopte tous les 100 degrés.

M<sup>me</sup> KARTACHEVSKAIA pense que trois températures de couleur (2 042, 2 353 et 2 788 ou 2 854° K) seraient suffisantes pour des mesures spectrophotométriques, méthode que l'Institut de Métrologie envisage d'utiliser.

Mr PRESTON est d'accord sur ce point; une fois les résultats obtenus pour trois températures, on peut déduire les autres températures par interpolation.

Mr KORTE remarque que l'on désire obtenir une échelle de température de couleur et non pas seulement trois points de cette échelle, ce qui lui paraît insuffisant; il accepterait à la rigueur ces trois points, mais avec des mesures tous les 200 degrés.

Après une nouvelle proposition de Mr JUDD, le Comité Consultatif décide finalement à l'unanimité que les comparaisons seront faites aux températures de couleur suivantes : 2 042, 2 200, 2 353, 2 600, 2 854 et 3 000° K.

En réponse à une demande de Mr NAKAJI, il est en outre précisé que chaque Laboratoire réglera ses étalons en température de couleur d'après sa propre échelle et non pas d'après l'« échelle moyenne » adoptée jusqu'ici par le Bureau International.

Pour ce qui concerne le point c, Mr TERRIEN demande quelle doit être, parmi les trois méthodes de comparaison possibles : 1° égalisation visuelle; 2° égalisation physique (rapport Rouge/Bleu ou une variante); 3° comparaison spectrophotométrique avec mesures à plusieurs longueurs d'onde et calcul du rapport des intensités monochromatiques, la méthode que le Bureau International devra utiliser. La méthode spectrophotométrique nous a été suggérée par l'Institut de Métrologie; c'est

évidemment la plus intéressante, mais elle conduira à un travail important pour le Bureau International.

Mr KORTE considère qu'il faut laisser à chaque Laboratoire le choix de sa méthode. Pour sa part, la P. T. B. emploiera les trois méthodes.

Mr WRIGHT s'étant informé de la différence de sensibilité entre les trois méthodes, Mr TERRIEN répond que la méthode du rapport Rouge/Bleu est la plus sensible, mais qu'elle est d'une interprétation plus difficile.

Mr PRESTON remarque du reste que si les températures de couleur des lampes à comparer sont très voisines, la méthode adoptée importe peu. Mr TERRIEN note que cette remarque est valable si les lampes sont du même type et d'une même série de fabrication; une coloration différente du verre des ampoules, par exemple, peut conduire à des différences; la tâche du Bureau International sera grandement allégée si les lampes sont d'un même type et issues d'une même série.

Tous les Membres étant d'accord sur ce projet de comparaison d'étalons de température de couleur suivant le programme qui vient d'être discuté, Mr le PRÉSIDENT estime que le Bureau International pourrait s'occuper de ces comparaisons vers 1960. Il recommande donc aux Laboratoires de commencer dès maintenant leurs travaux afin de pouvoir soumettre leurs étalons au Bureau International à cette époque.

**Courbe  $V_{\lambda}$ ; répercussions possibles des travaux récents  
de colorimétrie.**

Sur l'invitation de Mr le Président, Mr JUDD résume les discussions qui ont eu lieu au Symposium de Colorimétrie (Teddington, septembre 1957) et à la réunion des experts du Comité 1.3.1 de la Commission Internationale de l'Éclairage (C. I. E.), qui ont fixé des propositions concernant un nouveau système de référence trichromatique pour les champs angulaires de  $10^{\circ}$ .

Pour les champs angulaires inférieurs à  $4^{\circ}$ , les égalisations visuelles pratiques d'échantillons colorés ont montré qu'aucun autre système n'était plus satisfaisant; l'accord a donc été unanime pour ne pas proposer de changement à la courbe  $V_{\lambda}$

actuelle (courbe C. I. E. 1924, adoptée par le Comité International des Poids et Mesures en 1933), valable pour les champs de 2°.

Il a également été décidé à ce Comité de travail de la C. I. E. de communiquer aux Comités « Visions Photopique et Scotopique » et « Photométrie », toutes les propositions qui ont une répercussion sur la photométrie; ce sera le cas par exemple pour la nouvelle courbe des efficacités lumineuses relatives pour les champs de 10°.

Mr WRIGHT désire connaître l'opinion du Comité Consultatif sur les répercussions possibles en photométrie de cette nouvelle courbe pour les champs de 10°; adopterait-on les nouvelles valeurs auxquelles elle conduirait ?

Mr TERRIEN ayant demandé quel serait l'ordre de grandeur des changements, Mr WRIGHT répond que ceux-ci seraient assez importants, sans toutefois pouvoir les estimer quantitativement. D'après Mr JUDD, les changements pourraient atteindre 5 % pour les lampes fluorescentes. Mr TERRIEN ne pense pas que ce changement soit bien significatif, les incertitudes sur le flux de telles lampes étant en effet assez grandes.

M<sup>me</sup> KARTACHEVSKAIA commente brièvement la récente détermination des efficacités lumineuses relatives à l'Institut de Métrologie (Annexe P 12, p. P 117), détermination faite avec un champ de 3° et des lumières assez peu saturées afin de se placer dans les conditions de la photométrie pratique. Les résultats obtenus sont en accord satisfaisant avec les efficacités lumineuses relatives C. I. E. 1924, sauf dans la région bleue du spectre. Les écarts dans ce domaine spectral sont assez importants, mais l'incertitude des mesures est elle-même aussi assez importante, et M<sup>me</sup> KARTACHEVSKAIA ne propose pour le moment aucun changement de la courbe  $V_{\lambda}$ .

Mr WRIGHT remarque à ce sujet que des valeurs incorrectes de  $V_{\lambda}$  dans le bleu du spectre avaient été rendues responsables de désaccords dans les mesures colorimétriques industrielles. Les discussions au Symposium de Teddington ont toutefois montré qu'un accord satisfaisant était obtenu pour les petits champs angulaires, et l'on peut affirmer que la courbe  $V_{\lambda}$  actuelle est aussi bonne qu'on peut le souhaiter.

Mr JUDD attire l'attention sur la base qui a servi à établir

les valeurs des efficacités lumineuses relatives données dans la Note de M<sup>me</sup> Kartachevskaia et P. M. Tikhodéev (Annexe P 12, tableau I, p. P 122), en ajustant par tâtonnements les coefficients de luminosité des fonctions de distribution jusqu'à ce que le meilleur accord possible soit obtenu entre les facteurs de transmission de six filtres calculés par la courbe des efficacités lumineuses, et les facteurs de transmission des mêmes filtres déterminés expérimentalement par trois méthodes : comparaison directe, pas à pas et méthode de Tikhodéev. Mr JUDD note également qu'une comparaison de ces trois valeurs expérimentales du facteur de transmission pour chaque filtre avec les valeurs calculées par la courbe des efficacités lumineuses C. I. E. et à l'aide des résultats donnés au tableau I de l'Annexe P 12, fournirait une indication sur l'amélioration que procure l'emploi de ces derniers résultats.

On voit que cette étude s'accorde parfaitement avec le désir primordial des Comités de Travail de la C. I. E. : fonder la colorimétrie et la photométrie sur des bases communes.

Mr PERUCCA constate une nouvelle fois combien la courbe  $V_{\lambda}$  (C. I. E. 1924) est l'objet de critiques. Cette courbe est-elle certaine ? C'est une courbe *conventionnelle* et l'on se demande si l'on doit vraiment la modifier étant donné les diverses conditions imprévues (état de l'observateur, par exemple) qui peuvent l'affecter. En définitive, Mr PERUCCA voudrait que l'on dise si l'on est bien d'accord pour ne pas changer la courbe  $V_{\lambda}$  actuelle; ce à quoi Mr WRIGHT répond que les colorimétristes, contrairement à ce qu'ils ont cru pendant quelque temps, n'ont plus aucune raison de demander une révision dans le cas des champs angulaires petits (2° environ).

#### Questions diverses.

*Précision des étalonnages photométriques.* — A la suite d'une intervention de Mr ZWIKKER, un échange de vues a lieu entre MM. KORTE, TERRIEN, PRESTON, JUDD et WRIGHT au sujet de la précision des étalonnages de lampes photométriques. La comparaison directe de deux lampes étalons secondaires peut s'effectuer actuellement avec une précision de l'ordre de 0,2 %, mais l'étalon primaire n'est pas, en réalité, défini à mieux que 1 %. D'où la nécessité de faire une distinction entre la *précision* de la comparaison d'une lampe à un étalon secondaire,

et l'*exactitude* du résultat final exprimé en candela ou en lumen, exactitude qui est limitée surtout par l'incertitude avec laquelle les unités sont connues.

On recommande, en conséquence, que les certificats délivrés par les Laboratoires soient établis de façon à éviter toute ambiguïté à ce sujet.

*Préchauffage des lampes.* — Mr PRESTON demande que pour les comparaisons internationales futures — photométriques et de température de couleur — on spécifie la durée entre l'allumage de la lampe à son régime de fonctionnement et le commencement des observations. Le facteur préchauffage est en effet d'une grande importance pour certains types de lampes..

*Étalons d'intensité à 2 854° K.* — M<sup>me</sup> KARTACHEVSKAIA propose d'inclure dans les comparaisons internationales photométriques futures des étalons d'intensité lumineuse à 2 854° K.

Mr le PRÉSIDENT note tout l'intérêt de cette proposition, étant donné que la technique de l'éclairage nous pousse dans cette voie. Il recommande donc aux Laboratoires d'encourager les études sur cette question, et en particulier sur le type de lampe qui pourrait convenir.

*Publication des documents remis.* — Tous les documents remis aux Membres seront publiés dans les *Procès-Verbaux*. Il est en outre décidé que le document sur la troisième comparaison des étalons nationaux sera publié intégralement avec les résultats obtenus pour les lampes de chaque Laboratoire.

Aucune autre question n'étant soulevée, Mr le PRÉSIDENT remercie vivement tous les Membres pour l'importante contribution qu'ils ont apportée dans la discussion des questions inscrites à l'Ordre du Jour de la quatrième session du Comité Consultatif de Photométrie.

La séance est levée à 12<sup>h</sup>5<sup>m</sup>.

---

QUATRIÈME RAPPORT  
DU  
COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMÉTRIE  
AU  
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES.

Par H. KORTE, Rapporteur.

---

Le Comité Consultatif de Photométrie a tenu sa quatrième session au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les 28 et 30 septembre 1957.

Étaient présents : Mr OTERO, Président; MM. DEBURE, JUDD, M<sup>me</sup> KARTACHEVSKAIA, MM. KORTE, NAKAJI, PERUCCA, PLAZA, PRESTON, SPILLER, STOLIAROV, VOLET, WRIGHT, WYSZECKI, ZWIKKER, Membres du Comité Consultatif;

Mr HOWLETT, Membre du Comité International des Poids et Mesures; Mr TERRIEN, invité.

Après avoir ouvert la séance, Mr le Président évoque la mémoire et les mérites de E. C. Crittenden, Membre du Comité International des Poids et Mesures et ancien Président du Comité Consultatif de Photométrie, décédé en 1956. Il rappelle ce que la photométrie doit à E. C. Crittenden, dont le travail au sein du Comité Consultatif ne sera jamais oublié. Les personnes présentes se recueillent quelques instants en hommage à ce collègue défunt.

Mr Moreau, du Bureau International, fut nommé Secrétaire, et Mr Korte Rapporteur.

TRAVAUX SUR L'ÉTALON PRIMAIRE.

Tous les Laboratoires qui ont réalisé l'étalon primaire pour la comparaison 1956-1957 ne sont pas très satisfaits des résultats

obtenus. La luminance du corps noir au point de solidification du platine n'était pas assez constante; elle dépendait de plusieurs facteurs, par exemple de la surfusion et de la température de la thorine qui entoure le creuset.

Les récentes réalisations de l'étalon primaire ont été faites en utilisant deux montages quelque peu différents :

1° Le tube de visée qui constitue le corps noir est en contact avec le fond du creuset; la distance entre la lentille (qui forme l'image) et l'ouverture du tube est de 20 cm environ;

2° Le tube n'est pas en contact avec le fond du creuset; la distance entre la lentille et l'ouverture est de 40 cm environ.

La grandeur de la candela obtenue avec le deuxième montage est supérieure d'environ 1 %; cet écart est peut-être dû à ces différences de montage.

Au cours d'un échange de vues fort intéressant, plusieurs remarques importantes quant à l'amélioration du corps noir ont été faites. On doit essayer de se rapprocher de la réalisation du corps noir théorique. Quelques propositions dans ce but ont été présentées et tous les Laboratoires vont poursuivre ce travail.

On étudiera l'influence des divers paramètres expérimentaux : formes et dimensions de l'étalon, conditions thermiques, diamètres de l'ouverture du tube de visée, méthodes d'observation, etc.

Pour le moment, on ne considère pas qu'il soit nécessaire de recommander des spécifications détaillées, afin que la luminance du corps noir soit mieux reproductible. Les divers Laboratoires nationaux choisiront leur programme de travail eux-mêmes et communiqueront leurs résultats au Comité Consultatif lequel, s'il le juge opportun, pourra recommander des spécifications particulières pour l'étalon primaire.

On a également signalé les recherches en cours au National Physical Laboratory de Teddington en vue de fonder l'unité photométrique sur un récepteur étalon par des mesures énergétiques.

#### MESURES SUR DES ÉTALONS DE FLUX.

La comparaison des étalons de flux lumineux à 2 353° K a présenté quelques difficultés par suite de la répartition spatiale différente des lampes.

Des lampes de types différents : a. filament en cage d'écureuil; b. filament en hélice monté en octogone fermé dans un plan horizontal; c. lampes à ampoule en verre opalin, ont été étalonnées par la méthode absolue, puis comparées dans la sphère lumenmètre. Un accord satisfaisant a été obtenu pour le rapport du

flux lumineux mesuré dans la sphère pour les lampes des types *a* et *b*, mais un écart important a été constaté pour les types *a* et *c*.

A la suite d'une discussion sur les causes et la grandeur de ces écarts, le Bureau International a été chargé d'établir une circulaire précisant les modalités et les conditions expérimentales pour une comparaison de lampes de répartitions spatiales différentes, en vue de rechercher une explication de ces divergences; chaque Laboratoire désirant participer à cette comparaison se mettra en rapport direct avec le Bureau International.

#### COMPARAISONS HÉTÉROCHROMES PAR MESURES SPECTROPHOTOMÉTRIQUES.

Le Bureau International a effectué quelques nouvelles mesures de photométrie hétérochrome par la méthode spectrophotométrique pour le passage du lumen à 2 353° K au lumen à 2 788° K; ces mesures ont confirmé le désaccord, de l'ordre de 1,9 %, entre le lumen à 2 788° K ainsi déterminé à partir du lumen moyen à 2 353° K de cinq Laboratoires nationaux, et le lumen moyen à 2 788° K de ces mêmes Laboratoires.

La méthode spectrophotométrique a été également employée à la Physikalisch-Technische Bundesanstalt pour la mesure des étalons secondaires d'intensité et de flux lumineux, ce qui explique peut-être la valeur élevée du lumen P. T. B.-D. A. M. G. à 2 788° K.

Le National Physical Laboratory envisage aussi l'emploi de cette méthode pour l'évaluation de différences de température de couleur et le calcul du rapport des intensités et des flux de lampes photométriques.

L'attention du Comité Consultatif a été attirée sur l'intérêt de la mise en œuvre de la méthode spectrophotométrique dans tous les Laboratoires nationaux.

#### EXAMEN DES COMPARAISONS INTERNATIONALES DE 1956-1957.

La troisième comparaison internationale des étalons d'intensité et de flux lumineux, à laquelle ont participé plus de 150 lampes appartenant à sept Laboratoires nationaux et au Bureau International, a conduit aux résultats représentés sur la figure 1, page P 100.

On voit que les valeurs moyennes *x* et *y* sont très voisines. Les résultats de la comparaison de 1956-1957, calculés uniquement sur la base des unités nationales 1952, ne modifient donc pas sensiblement les valeurs moyennes des unités.

Par rapport à *x*, la valeur moyenne *z* s'en distingue davantage que *y*; le plus grand écart se trouve pour le lumen à 2 788° K.

Il se peut que cet écart soit dû aux diverses méthodes de passage du lumen à 2 353° K au lumen à 2 788° K.

On voit aussi que, pour certains Laboratoires, les unités ont un peu changé de 1952 à 1957. Le sens du changement est à peu près le même pour les unités d'un même Laboratoire, mais il est différent d'un Laboratoire à l'autre.

#### UNIFICATION DES UNITÉS PHOTOMÉTRIQUES.

La discussion sur l'étalon primaire a montré de telles discordances entre les résultats obtenus, qu'il a été difficile d'arriver à un accord sur l'unification des unités photométriques.

Deux opinions se sont manifestées :

1° Les Laboratoires nationaux devraient changer leurs unités après chaque comparaison internationale. Dans ces conditions, on arriverait à une unification des unités; mais, à chaque comparaison, les unités d'un même Laboratoire pourraient subir de petites augmentations ou diminutions.

2° On devrait laisser les unités nationales inchangées tant que les comparaisons à l'étalon primaire ne donneront pas un accord suffisant, et l'on ne considérerait les comparaisons internationales que comme un renseignement quant aux valeurs relatives des unités conservées par les divers Laboratoires.

Après une longue discussion, les opinions étaient encore partagées. Chaque Laboratoire garde donc la liberté d'agir pour son propre compte en liaison avec le Bureau International. Dans ce sens, le Bureau International a été chargé d'adresser à tous les Laboratoires une Note précisant la situation actuelle des unités nationales et les changements qu'il conviendrait d'apporter à ces unités pour les aligner sur la valeur moyenne de 1952 (Annexe P 9, p. P 104). Quant aux unités qui seront adoptées par le Bureau International, il sera évidemment préférable qu'elles soient aussi voisines que possible de la moyenne des unités réellement en vigueur dans chaque Laboratoire.

#### LAMPES ÉTALONS.

Deux lampes étalons d'intensité lumineuse (2 042 et 2 353° K) d'un nouveau type, construites au Japon, ont été présentées. Le centrage du filament dans une ampoule sphérique de bonne qualité, le montage du filament sans crochets-supports et l'excellent comportement des lampes après un transport non accompagné, Tokyo-Paris et retour, par avion, permettent d'envisager favorablement leur emploi pour les comparaisons internationales.

Ces lampes seront essayées dans plusieurs Laboratoires nationaux qui ont été invités à se mettre en rapport direct avec l'Electrotechnical Laboratory de Tokyo.

#### COMPARAISONS FUTURES.

Il a été décidé à l'unanimité que les comparaisons photométriques auraient lieu tous les quatre ans.

Il est néanmoins toujours possible de procéder entre deux comparaisons à des échanges partiels de lampes, si le besoin s'en fait sentir; le Bureau International conserve des groupes d'étalons secondaires qui permettent des rattachements.

#### TRAVAUX PHOTOMÉTRIQUES DU BUREAU INTERNATIONAL.

En dehors des mesures hétérochromes et de la troisième comparaison des étalons nationaux d'intensité et de flux lumineux dont il a déjà été question, le Bureau International a effectué les travaux suivants :

La sphère-lumenmètre a été améliorée sur quelques points. Elle a reçu une peinture satisfaisante à base d'oxyde de zinc et de carboxyméthylcellulose. La fenêtre diffusante a été supprimée et remplacée par une simple ouverture permettant de projeter sur le plan récepteur du photomètre, par l'intermédiaire d'un petit miroir sphérique aluminé, l'image d'une petite région de la sphère.

L'intercomparaison d'un groupe de quatre étalons de flux à 2 788° K entre le N. B. S., le N. P. L. et le B. I. P. M., a permis de confirmer à 0,1 % les résultats de la comparaison internationale de 1952 pour l'unité du N. P. L. et d'expliquer les causes d'un désaccord qui avait été observé pour l'unité du N. B. S.

Depuis la session de 1952, le Bureau International a formé, réglé en température de couleur et étalonné en candelas et lumens moyens plus de 150 lampes. Ces lampes, des types préconisés par le Bureau International et construites sous son contrôle, ont été attribuées à divers Laboratoires et Services métrologiques nationaux. Des lampes neuves non étalonnées ont été également cédées à quelques laboratoires.

Sur l'initiative du Bureau International, la fabrication de 90 tubes photoélectriques du type Gillod-Boutry, à cathode Cs-AgO et Cs-Bi, a pu être entreprise. Ces récepteurs, particulièrement intéressants pour la photométrie de précision, ont été cédés, après examen au Bureau International, à quelques laboratoires français et étrangers qui avaient exprimé le désir d'en acquérir.

Les propriétés de quelques récepteurs photoélectriques (photomultiplicateurs, tubes à cathode semi-transparente, cellules photoconductrices) ont été également étudiées.

PROJET DE COMPARAISON D'ÉTALONS  
DE TEMPÉRATURE DE COULEUR.

Tous les Laboratoires ont confirmé leur accord pour une comparaison internationale de lampes étalons de température de couleur. Les trois points suivants ont été considérés :

*a. Caractéristiques des lampes à échanger.* — La lampe du type à projection ayant les caractéristiques suivantes est recommandée : 100 V, 300 à 500 W, filament en hélice monté dans un plan vertical, culot à vis (de préférence E 40), direction d'observation spécifiée.

*b. Températures de couleur à choisir.* — Après une vive discussion, les températures de couleur suivantes ont été adoptées à l'unanimité : 2 042, 2 200, 2 353, 2 600, 2 854 et 3 000° K.

Chaque Laboratoire réglera ses étalons de température de couleur d'après sa propre échelle, et non pas d'après « l'Échelle moyenne » du Bureau International.

*c. Méthodes de mesure à employer.* — Trois méthodes de mesure peuvent être employées pour les comparaisons : 1° égalisation visuelle; 2° égalisation physique (rapport  $\frac{\text{Rouge}}{\text{Bleu}}$ ); 3° comparaison spectrophotométrique avec mesures à plusieurs longueurs d'onde et calcul du rapport des intensités monochromatiques. On a laissé à chaque Laboratoire le choix de sa méthode, en souhaitant que chacun d'eux utilise également si possible la méthode spectrophotométrique.

Les Laboratoires ont été priés de terminer leurs travaux d'ici deux ans environ, afin que les lampes puissent être envoyées au Bureau International au printemps 1960.

COURBE  $V_\lambda$ ; RÉPERCUSSIONS POSSIBLES DES TRAVAUX RÉCENTS  
DE COLORIMÉTRIE.

Des travaux de photométrie visuelle à l'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S. ont établi que le principe d'additivité et les valeurs de  $V_\lambda$  qui sont actuellement à la base de la photométrie, se vérifient d'une façon satisfaisante pour un champ angulaire de 3° et les lumières peu saturées qui seules interviennent dans la photométrie pratique.

A la suite du Symposium de Colorimétrie (Teddington) et de

la réunion des experts du Comité de travail 1.3.1 de la Commission Internationale de l'Éclairage (C. I. E.), qui ont eu lieu en septembre 1957, le Comité Consultatif a été informé que des propositions concernant un nouveau système de référence trichromatique pour les champs angulaires de  $10^\circ$  ont été élaborées.

Pour les champs angulaires inférieurs à  $4^\circ$ , le système actuel (courbe  $V_\lambda$  de 1924, adoptée par le Comité International des Poids et Mesures en 1933) donne des résultats satisfaisants. Le Comité Consultatif a donc appris avec satisfaction qu'aucun changement de la courbe  $V_\lambda$  n'était proposé.

#### QUESTIONS DIVERSES.

On a attiré l'attention sur la distinction à faire entre la *précision* de la comparaison de deux lampes photométriques et l'*exactitude* du résultat final exprimé en candela ou en lumen.

Les Laboratoires ont été priés de spécifier la durée entre l'allumage des lampes et le commencement des observations.

On a proposé d'inclure dans les comparaisons internationales photométriques futures des étalons d'intensité lumineuse à  $2854^\circ\text{K}$ .

(Braunschweig, janvier 1958.)



## ANNEXE P 1.

Electrotechnical Laboratory (Japan).

---

### PROPOSITIONS PRÉSENTÉES AU COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMÉTRIE

---

#### 1. UNIFICATION MONDIALE DES UNITÉS PHOTOMÉTRIQUES.

Au cours de sa session de 1952, le Comité Consultatif de Photométrie a discuté sur une unification mondiale des unités photométriques et l'on avait conclu que les travaux n'étaient pas suffisamment avancés à cette époque pour permettre de prendre une décision à ce sujet.

Depuis lors, plusieurs laboratoires nationaux ont exécuté une nouvelle réalisation de l'étalon primaire et la troisième comparaison internationale des lampes étalons a été effectuée au Bureau International des Poids et Mesures en 1956.

Il serait désirable que le Comité Consultatif examine, au cours de sa session de septembre 1957, les résultats de cette comparaison internationale, en particulier la spécification de l'étalon primaire, la précision des mesures photométriques, la stabilité des lampes, etc., afin que tous les laboratoires nationaux puissent arriver à un accord pour obtenir l'unification mondiale de la candela à la température de couleur du corps noir au point de solidification du platine.

Pour l'unification de la candela et du lumen aux températures de couleur plus élevées que celle de l'étalon primaire, nous proposons que tous les laboratoires nationaux poursuivent aussi activement que possible les études sur la photométrie hétérochrome par la méthode spectrophotométrique proposée par le Bureau International des Poids et Mesures ou par toutes autres méthodes visuelles et physiques qui paraîtront désirables.

#### 2. NORMALISATION DES CARACTÉRISTIQUES DES LAMPES ÉTALONS.

Une normalisation des caractéristiques des lampes étalons destinées aux comparaisons internationales a été recommandée

par le Comité Consultatif et adoptée par le Comité International des Poids et Mesures en 1952 (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 23-A, 1952, p. 185-186).

Nous poursuivons toujours des études en vue du perfectionnement des lampes étalons et lors des comparaisons internationales de 1956 nous avons présenté, en plus des lampes étalons des types fournis par le Bureau International, des lampes étalons japonaises d'intensité lumineuse dont les caractéristiques sont données à l'Annexe P 10, p. P 111. Ces lampes, qui ont été transportées par avion sans être convoyées, ont supporté le long voyage entre la France et le Japon sans aucun dommage.

Les premiers résultats de l'examen du comportement de ces lampes montrent qu'elles sont très stables et bien utilisables comme étalons secondaires d'intensité lumineuse. Nous avons essayé d'ailleurs de les munir d'un culot Edison, mais au point de vue des mesures électriques nous avons été conduits à adopter un culot spécial. Lors de la dernière session du Comité Consultatif, la spécification de la différence de potentiel d'alimentation a été adoptée à  $\leq 120$  V, d'après les commentaires de quelques laboratoires. Afin que nous puissions présenter ces lampes aux comparaisons internationales futures, nous désirons qu'on supprime également parmi les spécifications mentionnées ci-dessus celle concernant la forme du culot.

D'autre part, la « Tokyo Shibaura Electric Company » peut fournir ces lampes aux laboratoires qui portent intérêt aux caractéristiques de ces lampes.

### 3. COMPARAISONS INTERNATIONALES D'ÉTALONS DE TEMPÉRATURE DE COULEUR.

D'après les résultats de l'enquête poursuivie par le Bureau International (lettre-circulaire N° 2 du 16 juillet 1954), nous pensons que le Comité Consultatif devrait fixer la date des comparaisons internationales d'étalons de température de couleur.

Pour ce qui concerne les caractéristiques des lampes à échanger, les températures à comparer et la méthode pour les comparaisons, nous sommes d'accord pour effectuer ces comparaisons selon la proposition faite par le B. I. P. M.

Étant donnée la bonne concordance en température de couleur des étalons nationaux destinés à la troisième comparaison internationale des unités photométriques, nous pensons qu'il serait désirable que les températures de couleur que les laboratoires nationaux attribueront aux lampes destinées à ces comparaisons de température de couleur, soient fondées sur l'échelle de température de couleur propre à chaque laboratoire, indépendamment de l'échelle du B. I. P. M. qui est une échelle moyenne fondée sur

les résultats de l'étude des lampes intervenues dans les comparaisons de 1950-1952. De plus, il serait très utile que tous les laboratoires échangent entre eux les rapports détaillés sur la méthode de mesure qu'ils auront adoptée pour ces comparaisons de température de couleur.

Pour ces comparaisons il est très souhaitable qu'un type de lampe unique soit utilisé. Dans ce sens, il est désirable que des lampes de projection à ampoule sphérique incolore, recommandées par le B. I. P. M., soient fabriquées et mises à la disposition des laboratoires intéressés. Pour les températures de couleur inférieures à 2 400° K, les lampes japonaises à filament de tungstène dans le vide mentionnées ci-dessus pourraient également convenir comme étalons de température de couleur.

(Juillet 1957.)

ANNEXE P 2.

National Physical Laboratory (Royaume-Uni).

---

RAPPORT SUR LES MESURES  
FAITES SUR L'ÉTALON PRIMAIRE DE LUMIÈRE  
DE 1954 A 1956

Par J. S. PRESTON.

(Traduction.)

---

De 1954 à 1956, le National Physical Laboratory a effectué une nouvelle série de mesures sur l'étalon primaire de lumière, les premières faites à ce Laboratoire depuis celles qui ont été mentionnées dans le rapport de H. Buckley et W. Barnett (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 1937, 18, p. 247). Pour ce nouveau travail, on a refait un étalon primaire dont la luminance a été mesurée en fonction de l'unité d'intensité lumineuse à 2 042° K actuelle du N. P. L. Cette unité est la même que celle qui est représentée par le groupe de lampes soumis par le N. P. L. pour la troisième comparaison internationale des étalons photométriques; elle a été conservée depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1948 au N. P. L. par un groupe fondamental d'étalons secondaires, constitué par des lampes à vide à filament dans un plan.

CONDITIONS DES MESURES. — Les spécifications du corps noir réalisé suivent également de très près les spécifications initialement proposées par le National Bureau of Standards. Ce corps noir se compose d'un tube en thorine de 47 mm de longueur et de 2,5 mm de diamètre intérieur avec, pour l'observation, une ouverture de 1,5 mm de diamètre sur le couvercle de l'extrémité supérieure. Ce tube est entouré d'un lingot de platine contenu dans un creuset en thorine de 46 mm de hauteur intérieure et de 20 mm de diamètre intérieur. La méthode expérimentale diffère toutefois sur certains points de celle employée dans le travail

antérieur; les principales différences portaient sur les points suivants :

a. Un four moderne à induction haute fréquence a été utilisé pour le chauffage du lingot de platine, donnant ainsi un meilleur réglage de l'énergie thermique.

b. Un ensemble prisme-lentille a été utilisé, à la place d'une lentille et d'un prisme séparés. Cet ensemble était constitué par un prisme rectangle à réflexion totale dont l'une des deux faces carrées était optiquement travaillée de façon à constituer une lentille convergente de distance focale convenable; par ce montage on évitait ainsi certaines réflexions mutuelles. D'autre part, le prisme-lentille n'était pas achromatique, de sorte qu'un soin particulier devait être pris pour focaliser correctement l'image du corps noir sur le photomètre.

c. Le facteur de transmission du prisme-lentille a été mesuré et remesuré pendant tout le travail par une méthode photoélectrique, avec une erreur estimée inférieure à 0,1 %. A l'origine, deux méthodes photoélectriques ont été comparées : l'une employant un dispositif optique relativement compliqué et une cellule photoémisive à vide; l'autre un montage plus simple avec une photopile au sélénium. Dans les deux méthodes, le prisme-lentille était employé avec les mêmes distances focales et ouverture que dans le travail principal. Ces deux méthodes ont donné des résultats en accord à quelques dix-millièmes. La méthode la plus simple a été par suite employée pour les contrôles répétés.

d. Quoique de nombreuses observations sur l'étalon primaire aient été faites visuellement, en utilisant un photomètre du type Lummer-Brodhun à petit champ et la méthode traditionnelle de substitution, le plus grand nombre de mesures a toutefois été fait avec un photomètre photoélectrique qui se substituait au Lummer-Brodhun.

Ce photomètre comportait une photopile au sélénium munie d'un filtre correcteur de sensibilité spectrale, et dont l'un des composants a été spécialement choisi pour assurer une absorption convenable de la région du proche infrarouge du spectre. La photopile pouvait tourner de 180° afin de recevoir, soit l'image du radiateur intégral, soit la lumière d'une lampe étalon. Une plaque métallique percée d'un trou, fixée à la photopile, assurait l'utilisation de la même aire de la photopile dans les deux cas; la distance de la lampe étalon était ajustée de façon à fournir des réponses à peu près égales de la photopile dans les deux cas; La photopile était employée dans un circuit à résistance nulle (Campbell-Freeth), avec un potentiomètre étalonné et un galvanomètre de zéro. Ce dispositif de mesure, qui utilise la photopile

comme un comparateur d'éclairéments à peu près égaux, fournit une exactitude estimée à environ 0,1 %, tout en permettant d'effectuer les observations rapidement. Les formes des courbes de solidification pouvaient ainsi être suivies et définies très étroitement.

e. Les diverses distances qui interviennent dans les mesures, par exemple entre le filament de la lampe et le plan récepteur du photomètre, ont été mesurées avec plus de soin que par le passé. La distance du filament à la paroi antérieure de l'ampoule était mesurée à l'aide d'un microscope mobile, celle de l'ampoule au photomètre, et du photomètre à l'ouverture du prisme-lentille, au moyen d'étalons à bouts construits au Laboratoire dans ce but.

RÉSULTATS. — La série des observations visuelles sur l'étalon primaire a fourni 63 courbes de solidification acceptables, réparties entre cinq observateurs expérimentés. Un résultat individuel a été obtenu de chaque courbe. Ces 63 résultats, exprimés en candelas par centimètre carré, se situaient entre 57,8 et 62,2, avec une valeur moyenne de 59,7<sub>2</sub>. Dans la série photoélectrique, on a obtenu 74 résultats, compris entre 58,5 et 62,4, avec une valeur moyenne de 59,7<sub>3</sub> cd/cm<sup>2</sup>.

Une caractéristique particulière de ces résultats est leur grande dispersion, à peu près la même pour les deux méthodes. Cette dispersion est importante si on la compare à l'estimation la plus pessimiste de l'erreur probable des observations visuelles; elle est tout à fait disproportionnée avec la précision de la méthode photoélectrique. Pour l'ensemble de ces mesures on a employé sept lingots différents de platine, mais les résultats n'ont montré aucune corrélation systématique avec les divers lingots. De plus, tous les lingots ont été contrôlés quant à leur pureté avant et après emploi et, dans aucun cas, on n'a décelé une impureté notable. La grande dispersion des résultats individuels peut, par suite, être probablement attribuée à des variations incontrôlables, d'une solidification à l'autre, dans la répartition de la température à l'intérieur du lingot de platine, celle-ci n'étant pas aussi uniforme qu'on aurait pu le supposer. Cette supposition est renforcée par des variations assez grandes dans la forme des courbes de solidification, qui dépend tant soit peu de la vitesse de solidification aussi bien que de l'état de surfusion initial qui ont pu se produire. Des expériences ont été faites pour le chauffage haute fréquence avec différentes formes d'enroulements entourant le creuset et le cylindre extérieur en silice contenant l'isolant thermique de poudre de zircon; aucune uniformité meilleure n'a pu cependant être obtenue dans les résultats.

Un examen de la répartition statistique des résultats n'a révélé aucune caractéristique remarquable, si ce n'est une légère dissy-

métrie dans la répartition des résultats photoélectriques, à laquelle on ne peut du reste attacher une véritable signification. La distribution des 137 résultats pris dans leur ensemble se rapprochait d'une distribution au hasard, alors que la moyenne générale et les valeurs médianes de la luminance étaient presque identiques, à savoir 59,7 cd/cm<sup>2</sup>. Cette valeur doit être par conséquent acceptée comme résultat final. L'erreur quadratique de cette valeur moyenne est de 0,05 cd/cm<sup>2</sup>.

En tenant compte également de certaines petites erreurs systématiques possibles dans le dispositif de mesure, on trouve donc que la luminance de l'étalon primaire de lumière, exprimée en fonction de l'unité N. P. L. d'intensité lumineuse à 2 042° K en vigueur à la date de ce rapport, est de 59,7 ± 0,1 cd/cm<sup>2</sup>.

(8 mai 1957.)

Les mesures faites au cours de 1956-1957 diffèrent des précédentes sur deux points :

1° On employait, pour le chauffage, un four à induction haute fréquence plus puissant, mais dont la fréquence (205 kHz) était cependant inférieure à celle utilisée auparavant.

2° On déterminait le facteur de transmission du système optique plus rapidement.

1. RADIATEUR INTÉGRAL. — Ayant en vue l'uniformité internationale sur la construction d'un radiateur intégral, on a observé scrupuleusement les spécifications adoptées par le Comité Consultatif de Photométrie de 1939.

On a employé pour les mesures les trois radiateurs préparés en 1940 et en 1946; deux de ces radiateurs contenaient du platine dont le rapport  $\frac{R_{100}}{R_0}$  de la résistance électrique était 1,391 6; pour le troisième radiateur complémentaire, ce rapport n'a pas été déterminé mais, d'après des données indirectes, il ne doit pas être inférieur à 1,390.

2. CONSERVATION DE LA PURETÉ DU PLATINE APRÈS PLUSIEURS FUSIONS. — Les mesures ont été faites sur le lingot de platine le plus utilisé. On comparait les spectres d'arc de deux échantillons de platine extraits du même lingot, avant et après les mesures. L'analyse spectrale a montré qu'il n'y avait aucune contamination du métal, qui conservait ainsi toute sa pureté.

3. CONDITIONS DE CHAUFFAGE. — En choisissant des conditions de chauffage convenables, il a été possible d'obtenir une luminance du radiateur intégral stable et reproductible à  $\pm 2$  % autour de sa valeur moyenne. Cette variation dépend essentiellement de la puissance de chauffage fournie et des positions respectives du centre du lingot de platine et du centre de l'enroulement du four; dans le radiateur intégral actuel, il est nécessaire de placer le centre du lingot au-dessus de celui de l'enroulement.

On a choisi des conditions de chauffage telles que les périodes de fusion et de solidification soient de 8 à 12 minutes; cette durée pouvait cependant varier dans les limites de 5 à 30 minutes.

Après la fusion, le platine était surchauffé pendant 5 minutes environ, puis refroidi. Si la puissance entretenue pendant une fusion lente est de 100, elle est de 100 également pendant une surchauffe, de 80 pendant le refroidissement qui suit, et près de 90 pendant la solidification. Il est clair que ces valeurs dépendent de l'isolement thermique.

Des mesures ont été effectuées au cours de la fusion et de la solidification du platine. Pour les calculs définitifs de la luminance,

on n'a toutefois retenu que les mesures faites pendant la solidification; de plus, les toutes premières observations et les toutes dernières ont été éliminées.

En ce qui concerne la fusion, les mesures faites au milieu du palier de fusion concordent, dans les limites de précision des mesures, avec celles qui ont été faites au cours de la solidification. Cette constatation est une preuve supplémentaire de conditions de chauffage correctes.

Après avoir enlevé le couvercle du creuset, on a observé sur un lingot la présence d'une cavité longitudinale dans le corps du métal, sur presque la moitié du lingot. La forme du lingot était correcte, ce qui peut confirmer également que les conditions du refroidissement au cours de la solidification étaient convenables.

On a cependant prévu, pour améliorer encore les conditions de chauffage, un processus nouveau.

#### 4. FACTEUR DE TRANSMISSION DU SYSTÈME PRISME-LENTILLE.

— Comme on le sait, l'incertitude de reproduction de la luminance du corps noir est due essentiellement à l'incertitude sur la détermination du facteur de transmission du système optique. Ce facteur de transmission est maintenant déterminé (V. E. Kartachevskaja) beaucoup plus vite qu'auparavant à l'aide d'une photopile. On n'a cependant pas encore réussi à effectuer des mesures immédiatement avant et après la solidification, et *a fortiori* au cours même des déterminations de la luminance. Il est de plus difficile de se placer dans des conditions analogues à celles du radiateur intégral (température du prisme, contamination de la face du prisme, etc.).

Le prisme était nettoyé avant chaque fusion et chaque solidification; lorsqu'un dépôt était directement visible après une série d'observations, ces observations étaient éliminées. Les facteurs de transmission des deux systèmes optiques étaient mesurés généralement la veille et le lendemain du jour d'emploi du radiateur intégral. Ces facteurs ont diminué légèrement de valeur au cours des mesures échelonnées sur plusieurs mois; de plus, une diminution avait lieu le plus souvent durant les observations (fusion ou solidification).

On n'a pas encore réussi à trouver des moyens permettant d'éliminer complètement cette diminution du facteur de transmission. En attendant, on admet que le facteur de transmission baisse proportionnellement au temps de présence du système prisme-lentille au-dessus du radiateur; cette baisse atteint en moyenne 0,4 %, par comparaison à l'état le plus propre. Une incertitude sur la valeur du facteur de transmission provoque inévitablement une erreur systématique (*voir plus loin*).

Dans les mesures des années précédentes, y compris celles de

1946, on considérait la valeur du facteur de transmission comme invariable, et l'on éliminait les observations quand un dépôt était apparent sur le prisme. Cette méthode entraînait une erreur systématique, cause probable de la différence entre les valeurs de la luminance du radiateur intégral en 1946 et en 1956-1957.

5. MESURES PHOTOMÉTRIQUES. — Une partie des mesures a été faite à l'aide d'une photopile, mais cet essai n'ayant pas montré d'avantages, ces mesures ont été éliminées en attendant de modifier l'appareillage. Les mesures prises en considération ont été exécutées par trois observateurs exercés, avec un photomètre à contraste; l'éclairement de l'écran du photomètre était voisin de 18 lux, sauf dans un seul cas où il n'était que de 15 lux. Pour la mesure des lampes étalons à la température de couleur de  $2\,353^{\circ}$  K, on employait un verre bleu, l'éclairement de l'écran étant alors de 10,5 lux environ.

Le nombre de solidifications pris en considération était de 18 avec, en moyenne, 40 observations par solidification. Une augmentation de ces nombres n'apporterait pas d'avantages sensibles.

Les deux radiateurs utilisés ont conduit à une même valeur de la luminance; les résultats obtenus avec le troisième radiateur complémentaire n'ont pas modifié la valeur définitive.

6. ÉVALUATION DE LA PRÉCISION. — Compte tenu des erreurs accidentelles des pointés photométriques, l'écart accidentel maximum d'une seule détermination de la luminance, pour un seul observateur et dix observations, est voisin de  $\pm 1\%$  par rapport à la moyenne. L'écart moyen quadratique pour une série d'observations est de  $\pm 0,55\%$ .

Comme il y avait plusieurs dizaines de déterminations, l'écart moyen quadratique sur le résultat final n'est que de  $\pm 0,07\%$ ; cette incertitude représente uniquement les variations accidentelles de la luminance et les erreurs des mesures photométriques.

A cette incertitude il faut ajouter l'erreur systématique, de l'ordre de  $\pm 0,15\%$ , due à l'incertitude sur le facteur de transmission du système optique; c'est une des principales erreurs. Les autres erreurs sont moins importantes; on peut penser que l'incertitude sur les valeurs de l'intensité lumineuse (plus exactement de l'éclairement) des lampes étalons est d'environ  $\pm 0,2\%$  (ou  $-0,25$  et  $+0,15\%$ ).

On a, en outre, négligé quelques erreurs systématiques ayant pour cause :

1° l'imperfection du radiateur intégral, due à l'existence de l'orifice de visée;

2° l'absorption de l'air (probablement de l'ordre de  $0,1\%$ );

3° la réflexion de la lumière par le velours placé derrière la lampe étalon (inférieure à 0,1 %).

La détermination de chacune de ces erreurs ne peut être effectuée avec une précision suffisante. Il faudrait appliquer des corrections, mais nous considérons que cette question devrait être discutée au Comité Consultatif de Photométrie.

7. PERFECTIONNEMENTS A APPORTER AU RADIATEUR INTÉGRAL. — L'erreur sur la détermination de la luminance du radiateur intégral peut être diminuée. Le laboratoire photométrique de l'Institut de Métrologie de l'U.R.S.S. se propose d'effectuer prochainement les modifications suivantes :

*a. Amélioration de l'isolement thermique.* — L'isolement thermique des corps noirs de l'Institut de Métrologie est à peu près semblable à celui des corps noirs des autres Instituts. Il est souhaitable d'augmenter cet isolement et de diminuer la puissance fournie, pour que la durée du palier de solidification soit plus longue. L'épaisseur d'isolant doit être augmentée de 2 à 2,5 fois. Le revêtement isolant doit être chauffé lentement pour obtenir une distribution thermique régulière; les premières fusions et solidifications sont souvent peu sûres si ces conditions ne sont pas remplies.

*b. Chauffage régulier du platine.* — Le chauffage en haute fréquence du platine ne s'effectuant pas régulièrement en hauteur, il faut déplacer l'enroulement du four de 2 à 3 cm au cours des mesures.

*c. Mouvements de l'air autour du prisme.* — En modifiant les conditions de la circulation de l'air autour du prisme, on peut diminuer le dépôt sur ses faces. Mais il faut avoir recours à d'autres moyens pour que soit diminuée l'erreur sur le facteur de transmission, due à la position du système optique au-dessus du radiateur intégral.

Ces améliorations ne seront apportées qu'après confrontation de ces idées avec celles des autres instituts de métrologie, lors de la session de septembre 1957 du Comité Consultatif de Photométrie.

#### *Additif.*

Les lampes étalons représentant l'unité de flux lumineux n'ont pas été renouvelées au cours des dernières années; leurs valeurs résultent de valeurs attribuées aux lampes étalons d'intensité lumineuse.

L'erreur moyenne quadratique des mesures pour le passage de

l'unité d'intensité lumineuse à l'unité de flux lumineux est de  $\pm 0,15$  % pour les lampes à 2 353° K et de  $\pm 0,20$  % pour les lampes à 2 788° K [voir la référence (1)].

Ces erreurs s'ajoutent à l'incertitude de la reproductibilité de l'intensité lumineuse indiquée au paragraphe 6.

(22 avril 1957.)

ANNEXE P 4.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Allemagne).

---

MESURES SUR  
L'ÉTALON PRIMAIRE PHOTOMÉTRIQUE (1955-1956)  
ET MESURES SUR LES LAMPES ÉTALONS  
POUR LES COMPARAISONS INTERNATIONALES  
DE 1956-1957

Par H. KORTE et H. WILLENBERG.

(Traduction.)

---

RÉALISATION DU CORPS NOIR.

Les pièces réfractaires du corps noir ont été faites cette fois en alumine pure (Degussit Al 23) de la Société Degussa (Frankfurt am Mein). Les procédés de mesure étaient semblables à ceux qui ont été employés autrefois à la P. T. R. (1). Le tube de visée était, comme en 1939, fixé au couvercle et ne touchait pas le fond du creuset. Le fond fermé de ce tube était donc en contact avec le platine de tous côtés. La longueur du tube de visée était de 32 mm, et la longueur de la partie immergée dans le platine de 26 mm. L'ouverture du corps noir, d'un diamètre de 2,0 mm, se trouvait à 8 mm au-dessus du niveau du platine.

On a évité soigneusement que la partie émergente du tube ne forme son image sur la région de l'écran photométrique vue par l'observateur; seule, l'image du fond du tube éclairait cette région.

LAMPES ÉTALONS D'INTENSITÉ A 2 042° K (Groupe IA).

Pendant l'été 1955, on a étalonné visuellement par rapport au corps noir plusieurs lampes à filament de carbone, parmi lesquelles

---

(1) WILLENBERG (H.), *Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 1939, 19, p. P 36.

un groupe de huit lampes (Nos 1431 à 1438) destine aux comparaisons internationales (groupe IA). On a retenu les résultats de huit solidifications pour le calcul définitif. Ces huit résultats s'écartent de la moyenne générale de  $\pm 0,44$  % en moyenne.

Les valeurs des intensités lumineuses obtenues par rattachement au corps noir et lors des mesures de contrôle ultérieures sont indiquées au tableau I.

TABLEAU I.

Groupe IA.

Lampe N°	Ampères (spécifiés).	A.		B.		C.		D.	
		cd.	V.	cd.	V.	cd.	V.	cd.	V.
1431...	0,554 74	12,37	97,525	12,39	97,501	12,44	97,518	12,42	97,510
1432...	0,564 92	12,58	98,618	12,60	98,605	12,62	98,620	12,61	98,613
1433...	0,559 13	11,59	94,481	11,71	94,466	11,68	94,461	11,70	94,464
1434...	0,577 57	12,33	94,957	12,37	94,958	12,43	94,955	12,40	94,957
1435...	0,536 24	11,78	96,975	11,71	96,970	11,83	96,976	11,77	96,973
1436...	0,549 07	11,56	97,359	11,56	97,350	11,65	97,360	11,60	97,355
1437...	0,552 10	11,84	96,408	11,82	96,384	11,87	96,399	11,84	96,392
1438...	0,538 49	11,74	97,351	11,73	97,338	11,78	97,338	11,76	97,338

La colonne A contient les valeurs de l'intensité lumineuse obtenues par comparaison directe à l'étalon primaire pendant l'été 1955; ces valeurs ont été communiquées à titre provisoire au Bureau International des Poids et Mesures en mai 1956. Les lampes ont été aussitôt après envoyées au D. A. M. G. pour des mesures de comparaison.

La colonne B contient les valeurs de l'intensité lumineuse obtenues en octobre 1955, après retour des lampes du D.A.M.G. et avant leur envoi au B. I. P. M., par comparaison à des lampes semblables, rattachées au corps noir en même temps que le groupe IA, mais conservées à la P. T. B.

La colonne C contient les valeurs mesurées de la même façon après le retour des lampes du B. I. P. M.

La colonne D contient les valeurs définitives (moyennes des colonnes B et C) valables pour la date des comparaisons internationales au B. I. P. M. L'incertitude avec laquelle la moyenne du groupe IA représente l'unité d'intensité lumineuse à 2 042° K est estimée inférieure à  $\pm 0,7$  %.

LAMPES ÉTALONS D'INTENSITÉ A 2 353° K (Groupe IB).

On a choisi pour les comparaisons internationales d'intensité lumineuse à 2 353° K un groupe de huit lampes à filament de

tungstène (Nos 1446 à 1453). Ces lampes ont été elles aussi rattachées directement en 1955 à l'étalon primaire par la méthode visuelle du filtre bleu, au cours de cinq solidifications. Le résultat provisoire de ces mesures a été également communiqué au B. I. P. M. Malgré certaines divergences inexplicables relatives à ce groupe IB, les lampes ont dû être envoyées également à Sèvres au printemps 1955 lorsque l'occasion d'un transport s'est présentée.

En janvier 1957, après le retour du groupe IB de Sèvres, les mesures effectuées à Braunschweig ont conduit aux constatations suivantes :

D'une part, le groupe IB est resté constant depuis novembre 1955 à 0,3 % près en moyenne; d'autre part, les résultats des mesures visuelles par la méthode du filtre bleu n'ont pas été confirmés. Les comparaisons du groupe IB au groupe IA à l'aide de deux filtres bleus différents et d'un filtre orange, et aussi par la méthode spectrophotométrique de J. Terrien, ont fourni pour l'intensité lumineuse du groupe IB une valeur différente de celle qu'avait donnée le rattachement direct à l'étalon primaire en 1955. L'une des explications pourrait être une certaine différence dans la répartition de la lumière issue du corps noir à la traversée du verre bleu au cobalt.

L'exactitude de ces dernières mesures relatives a été estimée meilleure que celle du rattachement au corps noir en 1955 par la seule méthode ancienne du verre bleu. Les nouveaux résultats de janvier 1957 pour le groupe IB sont donnés au tableau II, colonne *a*.

Avant l'envoi des lampes du groupe IB au B. I. P. M., au printemps 1955, les valeurs des intensités lumineuses des lampes étaient plus petites de 0,3 % en moyenne que les nouvelles valeurs de janvier 1957, comme l'a montré le contrôle de leur constance par rapport à des lampes sédentaires.

TABLEAU II.

*Groupe IB.*

Lampe N°	Ampères (spécifiés).	<i>a.</i>		<i>b.</i>	
		cd.	V.	cd.	V.
1446 .....	0,412 94	31,26	105,781	31,10	105,797
1447 .....	0,410 74	33,90	109,342	33,88	109,381
1448 .....	0,403 94	30,55	106,678	30,60	106,742
1449 .....	0,409 84	33,45	109,448	33,44	109,427
1450 .....	0,404 14	30,53	106,275	30,40	106,206
1451 .....	0,413 03	34,76	110,572	34,76	110,604
1452 .....	0,406 34	31,32	107,430	31,25	107,478
1453 .....	0,404 64	30,65	106,512	30,61	106,511

Les valeurs définitives de l'intensité lumineuse des lampes du groupe IB, à la date des comparaisons internationales, sont indiquées au tableau II, colonne *b*.

L'incertitude de la représentation de l'unité d'intensité lumineuse à 2 353° K par ce groupe de lampes est estimée inférieure à  $\pm 1$  %.

LAMPES ÉTALONS DE FLUX LUMINEUX.

Les mesures suivantes ont été effectuées sur les lampes étalons de flux envoyées au B. I. P. M. au printemps 1955 pour les comparaisons internationales.

1. Avant leur envoi au B. I. P. M., les lampes ont été comparées visuellement dans une sphère d'Ulbricht à des lampes étalons ayant la même température de couleur et la même répartition spatiale de l'intensité lumineuse; les résultats de ces mesures ont été communiqués au B. I. P. M. en mai 1956.

2. Après le retour des lampes du B. I. P. M., on a d'abord contrôlé leur constance par des mesures semblables aux précédentes.

3. On a ensuite comparé ces lampes à des lampes de même type dont le flux avait été déterminé en 1955 et en 1957 à la P.T.B. par la méthode absolue (mesure de la répartition spatiale de l'intensité lumineuse et rattachement à l'étalon primaire).

Les résultats de ces trois séries de mesures sont donnés aux tableaux III et IV.

TABLEAU III.

*Étalons de flux à 2 353° K.*

Lampe N°	Ampères (spécifiés).	(1).		(2).		(3) lm.
		lm.	V.	lm.	V.	
Lampes à filament en « cage d'écreuil » dans une ampoule claire.						
1460	0,319 55	229,0	99,335	228,9	99,400	230,8
1461	0,321 15	235,7	99,946	235,7	99,946	237,6
1462	0,320 75	234,8	99,961	234,8	99,989	236,7
1463	0,319 35	229,6	99,465	229,1	99,402	231,2
Lampes à filament en hélice dans une ampoule opaline.						
1465	0,325 45	204,7	96,562	204,5	96,579	201,1
1466	0,330 05	206,5	97,168	206,3	97,256	202,8
1467	0,327 45	209,4	97,258	209,3	97,227	205,8
1468	0,326 35	202,2	96,474	202,2	96,640	198,7
1469	0,326 85	206,5	96,833	206,7	96,991	203,0

TABLEAU IV.

*Étalons de flux à 2 788° K.*

Lampe N°	Ampères (spécifiés).	(1).		(2).		(3). lm.
		lm.	V.	lm.	V.	
Lampes à ampoule claire.						
1470.....	0,896 07	1 289	104,521	1 291	104,531	1 265
1471.....	0,893 67	1 263	102,732	1 262	102,707	1 238
1472.....	0,898 97	1 306	104,596	1 300	104,485	1 278
1473.....	0,889 67	1 288	105,351	1 287	105,257	1 264
Lampes à ampoule opaline.						
1474.....	0,893 37	1 260	102,908	1 256	102,953	1 234
1475.....	0,894 27	1 292	106,383	1 292	106,253	1 267
1476.....	0,886 07	1 244	102,827	1 240	102,888	1 218
1477.....	0,888 07	1 192	102,375	1 186	102,348	1 166

Ces tableaux montrent que :

a. le flux des lampes n'a pas varié à la suite des transports [colonnes (1) et (2)];

b. la comparaison aux lampes de même type dont le flux avait été déterminé par la méthode absolue a conduit aux valeurs de la colonne (3) qui sont en partie différentes de celles des colonnes (1) et (2), les mesures à la sphère n'étant pas tout à fait indépendantes de la répartition spatiale des intensités lumineuses. Les valeurs de la colonne (3) sont valables pour les comparaisons internationales en 1956 au B. I. P. M.

L'incertitude des résultats est estimée inférieure à  $\pm 1,3$  % pour les lampes N<sup>os</sup> 1465 à 1469, et inférieure à  $\pm 2$  % pour les lampes N<sup>os</sup> 1470 à 1477 et 1460 à 1463.

COMMENTAIRES.

1. *Étalon primaire.* — On n'a jusqu'ici appliqué aucune correction pour tenir compte :

de l'imperfection de l'étalon primaire, qui n'est pas une enceinte close;

de l'imperfection de l'uniformité de température de l'étalon primaire;

de l'imperfection de la pureté du platine.

En particulier, les erreurs provenant des défauts d'uniformité

de la température des parois du tube de visée peuvent être importantes. Il est en effet frappant que la luminance du tube au moment de la solidification dépend nettement de la température des isolants thermiques qui l'entourent. Les mesures d'un grand nombre de solidifications ont été rejetées pour cette raison, en particulier celles des premières solidifications de chaque série, car les isolants thermiques ne sont pas encore entièrement chauds; on a également rejeté quelques solidifications qui avaient présenté une forte surfusion, et donc un refroidissement important des isolants. Il est pourtant à craindre que la luminance de l'étalon primaire, malgré les mesures éliminées comme nous l'avons indiqué, ait été en moyenne trop petite. La grandeur de cette erreur présumée ne peut pas encore être évaluée à présent.

2. *Mesures de flux.* — Les résultats des mesures absolues de flux par la répartition spatiale sont en bon accord avec les mesures semblables effectuées antérieurement à l'ancienne P. T. R. par un procédé expérimental analogue.

Les causes des résultats divergents fournis par les mesures à la sphère d'Ulbricht ont été analysées en particulier par H. Korte en 1954 (\*).

(Juillet 1957.)

---

(\*) *Lichttechnik*, 1954, 6, n° 3, p. 88.

ANNEXE P 5.

Electrotechnical Laboratory (Japon).

---

FORMATION DE CRISTAUX CAPILLAIRES  
SUR L'OUVERTURE  
DE L'ÉTALON PRIMAIRE PHOTOMÉTRIQUE

Par M. OKAMATSU.

---

En 1955, lors de la comparaison d'une intensité lumineuse à la luminance d'un de nos étalons primaires conservés à notre Laboratoire depuis 1938 (étalons dont les spécifications sont très voisines de celles proposées par le National Bureau of Standards), nous avons observé que cette luminance s'écartait considérablement de la valeur attendue.

Par un examen photographique de la répartition de la luminance dans le plan de l'ouverture du tube cylindrique rayonnant, on a constaté un abaissement anormal de la luminance qui devenait de plus en plus important du centre vers les bords de l'ouverture. On a trouvé sur le trou du couvercle, auquel le tube de visée est ajusté, des cristaux capillaires de la couleur du platine, qui s'étaient développés des bords vers le centre du trou (*fig. 2*). Cet étalon primaire avait résisté à plus de cent fusions.

Dans de nouvelles comparaisons après enlèvement de ces cristaux, on a obtenu la valeur attendue. Cependant, ces cristaux se reconstituent de nouveau après une dizaine de fusions, ce qui entraîne une influence fâcheuse sur les comparaisons par suite d'une diminution du diamètre effectif de l'ouverture.

Il n'apparaît pas clairement jusqu'ici si les cristaux peuvent se développer dans un creuset neuf, ou s'ils se produisent par quelque défaut de construction du creuset, ou bien s'ils sont causés par un vieillissement de la matière des creusets après de nombreuses fusions.

(Juillet 1957.)

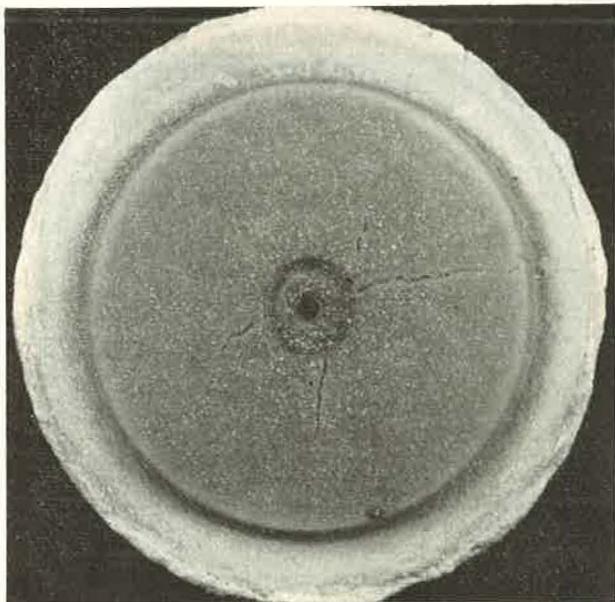


Fig. 1. — Photographie ( $\times 3$ ) du couvercle vu du dessous.

Les grains fins de platine adhèrent sur toute la surface du couvercle. Quatre fissures superficielles se développent vers l'extérieur du couvercle. Le tube de visée s'ajuste dans la gorge annulaire centrale. On ne distingue pas de grains de platine sur une partie en demi-cercle qui avait été en contact parfait avec le bord supérieur du tube de visée. Sur les bords du trou se trouvent les cristaux capillaires. Les diamètres du couvercle et du trou sont respectivement de 27 et 1 mm environ.

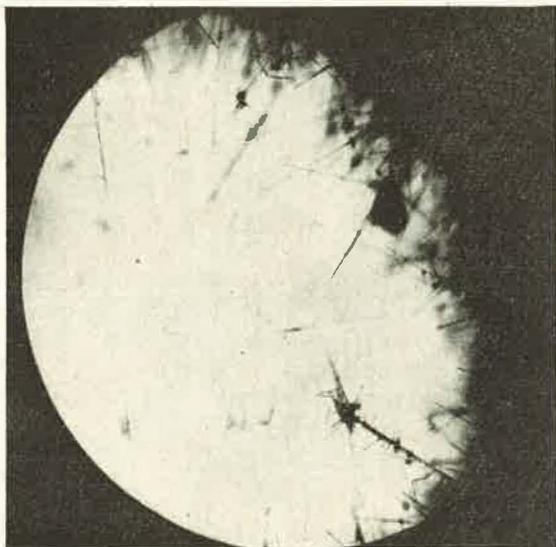


Fig. 2. — Microphotographie ( $\times 75$ )  
d'une partie du contour du trou vu du dessous.

Les cristaux qui se forment vers le plan supérieur du contour sont courts et denses, tandis que ceux qui adhèrent plus bas sont longs et se prolongent presque jusqu'au centre du trou. On observe aussi des cristaux complexes présentant des ramifications. Ces cristaux ont la couleur du platine.

## ANNEXE P 6.

Electrotechnical Laboratory (Japon).

---

### CALCULS NUMÉRIQUES DE PRÉCISION SUR LA NOIRCEUR DU CYLINDRE (\*)

Par Y. NAKAJI.

---

Cet article a pour but d'estimer la noirceur du cylindre utilisé comme source rayonnante du corps noir dans l'étalon primaire photométrique ou dans notre étude pour établir une échelle de température de couleur. Pour examiner jusqu'à quel point la noirceur d'un cylindre chauffé uniformément se rapproche de celle du corps noir, Z. Yamauti a résolu une équation de l'interréflexion en exprimant les coefficients d'éclairement spécifiques par des fonctions exponentielles approchées à un ou trois termes [1]; mais ses résultats ne donnent pas de bonnes approximations pour un cylindre assez allongé. En général, les calculs numériques de précision d'une équation de l'interréflexion sont très laborieux. Grâce à la machine à calculer automatique à relais E. T. L. Mark II, construite par M. Goto, Directeur de l'E. T. L., et par ses collaborateurs [2], ces calculs sont actuellement exécutables. Les calculs que je mentionne dans cet article sont le calcul numérique de précision sur la noirceur d'un cylindre ayant un fond, et le calcul approché sur l'accroissement de noirceur de ce cylindre dans le cas où l'on y ajoute un couvercle ayant une ouverture circulaire.

#### 1. ÉQUATION DE L'INTERRÉFLEXION.

L'équation de l'interréflexion pour le cylindre ayant un fond

---

(\*) Voir aussi les articles publiés en langue japonaise dans *Bull. Electrotechnical Laboratory*, 1954, 18, n° 10, p. 741; 1957, 21, n° 1, p. 17.

peut s'écrire, suivant Z. Yamauti, par

$$(1) \quad \Phi(x_1) = \varepsilon + (1 - \varepsilon) \int_0^l \Phi(x) K_2(x, x_1) dx + (1 - \varepsilon) \Phi_{00} K_1(x_1),$$

$$(2) \quad \Phi_{00} = \varepsilon + (1 - \varepsilon) \int_0^l \Phi(x) 2K_1(x) dx,$$

où  $\Phi(x_1)$ ,  $\Phi_{00}$ , sont respectivement les pouvoirs émissifs finals d'un point  $x_1$  situé sur la paroi, et du fond;

$\varepsilon$ , le pouvoir émissif de la matière du cylindre;

$l$ , la longueur du cylindre mesurée en fonction du rayon pris comme unité;

$x$ , la distance du fond;

$K_2(x, x_1) dx$ ,  $K_1(x_1)$ , les éclairagements au point  $x_1$  produits respectivement par un anneau de largeur  $dx$  au point  $x$  et par le fond quand ils possèdent l'émittance unité;

$2 K_1(x) dx$ , l'éclairagement au fond produit par un anneau de largeur  $dx$  au point  $x$ , quand il possède l'émittance unité.

Dans le cas où l'on ajoute au cylindre un couvercle ayant une ouverture circulaire, comme le montre la figure 1, on définit le degré de fermeture de l'ouverture comme suit :

$$(3) \quad S = \frac{\pi - \pi r^2}{\pi} = 1 - r^2,$$

où  $r$  est le rayon de l'ouverture. Si  $S = 0$ , l'ouverture est complètement ouverte.

L'équation de l'interréflexion peut s'écrire, dans ce cas,

$$(4) \quad \Phi(x_1) = \varepsilon + (1 - \varepsilon) \int_0^l \Phi(x) K_2(x, x_1) dx + (1 - \varepsilon) \Phi_{00} K_1(x_1) + (1 - \varepsilon) \Phi_S K_3(l - x_1),$$

$$(5) \quad \Phi_{00} = \varepsilon + (1 - \varepsilon) \int_0^l \Phi(x) 2K_1(x) dx + (1 - \varepsilon) \Phi_S K_4(l),$$

$$(6) \quad \Phi_S = \varepsilon + (1 - \varepsilon) \int_0^l \Phi(x) \frac{2K_3(x)}{S} dx + (1 - \varepsilon) \frac{K_4(l)}{S},$$

où  $\Phi_S$  est le pouvoir émissif final du couvercle;

$K_3(l - x_1)$  et  $K_4(l)$ , les éclairagements correspondants au point  $x_1$  et au fond quand le couvercle a l'émittance unité;

$\frac{2K_3(x)}{S} dx$ ,  $\frac{K_4(l)}{S}$ , les éclairagements au couvercle quand l'anneau de largeur  $dx$  au point  $x$  et le fond possèdent respectivement l'émittance unité.

Les coefficients d'éclairément spécifiques  $K_1(x)$  et  $K_2(x, x_1)$  sont identiques aux coefficients  $K_0(x)$  et  $K(x, x_1)$  dans le cas de l'étude de Z. Yamauti [1].

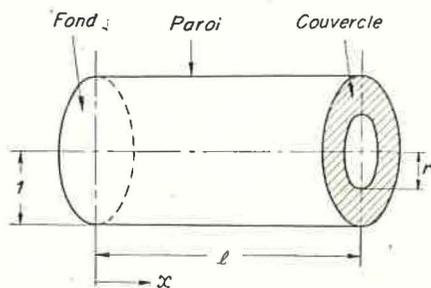


Fig. 1.

Les autres coefficients sont

$$(7) \quad K_3(x) = \frac{1}{2} \left[ \frac{x^2 + 2}{\sqrt{x^2 + 4}} - \frac{x(x^2 - S + 2)}{\sqrt{(x^2 - S)^2 + 4x^2}} \right],$$

$$(8) \quad K_4(x) = \frac{1}{2} \left[ S + \sqrt{(x^2 - S)^2 + 4x^2} - x\sqrt{x^2 + 4} \right].$$

## 2. LIMITE SUPÉRIEURE DE LA NOIRCEUR.

Si l'on connaissait une noirceur maximum possible, c'est-à-dire une limite supérieure de noirceur pour un corps donné, on pourrait éviter les erreurs d'estimation de la noirceur qui dépassent cette limite.

Pour simplifier le problème, on observe une noirceur du fond du cylindre chauffé uniformément. Si l'on couvre l'ouverture du cylindre par une plaque circulaire ayant le pouvoir émissif unité, ce cylindre devient un corps noir. D'où :

$$\begin{aligned} & \text{émittance du fond (émittance du corps noir)} \\ &= \text{émittance du fond du cylindre sans couvercle} \\ &+ \text{émittance du fond produite par réflexion des rayonnements} \\ & \quad \text{directs du couvercle} \\ &+ \text{émittance du fond produite par réflexion des rayonnements} \\ & \quad \text{diffusés accrus par l'existence du couvercle.} \end{aligned}$$

Pour ce qui est du pouvoir émissif, en prenant l'émittance du corps noir comme unité, on a évidemment :

$$(9) \quad \left\{ \begin{array}{l} 1 - (\text{coefficient d'éclairément spécifique du couvercle} \\ \text{éventuel par rapport au fond}) \times (\text{facteur de réflexion} \\ \text{du fond}) > \text{pouvoir émissif final du fond du cylindre.} \end{array} \right.$$

Ainsi, le pouvoir émissif final du fond du cylindre ne peut dépasser la valeur exprimée par le membre gauche de (9), qui indique donc la limite supérieure de la noirceur du fond du cylindre.

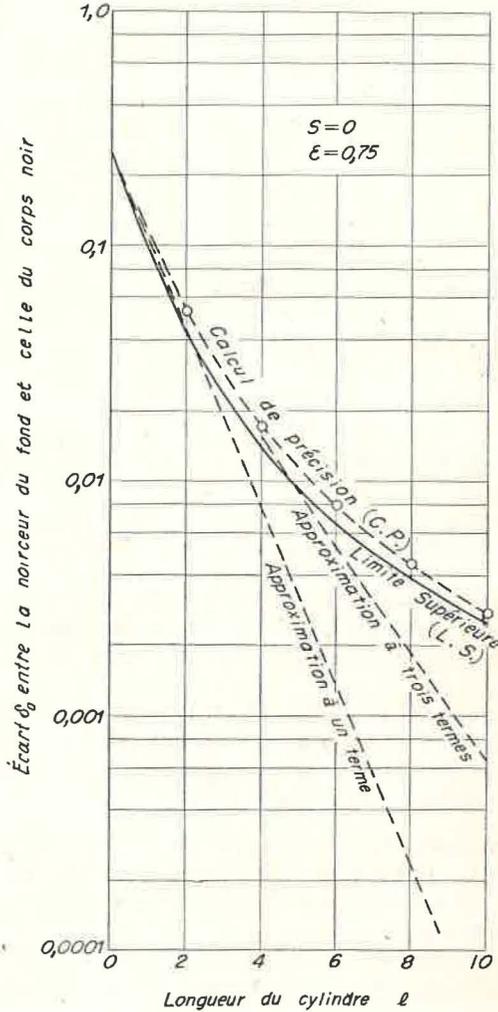


Fig. 2.

En appelant  $K_0$  le coefficient d'éclairément spécifique du couvercle éventuel par rapport au fond du cylindre,  $\epsilon$  le pouvoir émissif de la matière du cylindre et  $\delta_0$  l'écart entre la noirceur

du fond et celle du corps noir, on a

$$(10) \quad \delta_0 > (1 - \varepsilon) K_0.$$

La courbe L. S. de la figure 2 indique les valeurs de  $(1 - \varepsilon)K_0$  dans le cas où  $\varepsilon = 0,75$ . Dans ce cas, les valeurs de  $\delta_0$  ne peuvent pas descendre au-dessous de cette courbe, c'est-à-dire qu'elles ne peuvent pas conduire à une noirceur plus grande que celle exprimée par la courbe L. S.

Les valeurs de  $\delta_0$  obtenues par Z. Yamauti, qui les avait calculées avec les coefficients d'éclairement spécifiques approchés exprimés par des fonctions exponentielles à un ou trois termes, dépassent considérablement cette limite supérieure, comme le montre la figure 2, dans le domaine où les longueurs du cylindre sont assez grandes. On peut donc conclure que les approximations à un ou trois termes pour les coefficients d'éclairement spécifiques ne peuvent pas être admises, au moins dans ces domaines où les valeurs de  $\delta_0$  dépassent cette limite supérieure.

Cette formule pour obtenir la limite supérieure de la noirceur peut être généralisée facilement pour un corps de forme quelconque.

### 3. CALCUL NUMÉRIQUE DE PRÉCISION DE LA NOIRCEUR DU CYLINDRE AYANT UN FOND.

Ce qui précède et la figure 2 font prévoir que même avec des coefficients d'éclairement spécifiques approchés par des polynômes exponentiels de plus de trois termes, il serait difficile de donner à l'équation de l'interréflexion une solution précise. On a donc cherché des solutions numériques dont les exactitudes soient meilleures que le millième, directement à partir des équations (1) et (2). Pour cela, on a divisé la longueur entière du cylindre en N segments de largeur 0,4 et les intégrations ont été effectuées par les règles de Simpson des deux tiers et des trois huitièmes, et N + 2 équations simultanées ont été établies. Quant au premier ou dernier segment, on a utilisé le traitement de K. Hidaka [3] pour éviter des erreurs provenant de la quadrature trapézoïdale. Les calculs ont été exécutés pour les 15 cas où  $l = 2, 4, 6, 8, 10$  et  $\varepsilon = 0,25, 0,50, 0,75$ . Pour résoudre les équations simultanées on a utilisé la méthode de l'approximation successive de Gauss-Seitel, en prenant une solution approchée d'un terme comme la première valeur approchée. Les calculs ont été faits par la machine à calculer automatique pour  $l > 6$  (plus de 17 éléments) ou par la machine à calculer manuelle pour  $l < 4$  (moins de 12 éléments).

Par exemple, dans le cas où  $l = 2$ , le nombre de segments est  $N = \frac{2}{0,4} = 5$ . Les membres de l'équation simultanée sont 6 pour

l'équation de l'interréflexion (1) et 1 pour l'équation (2). L'équation simultanée ainsi établie pour 7 éléments est

$$\begin{aligned}
 \Phi_0 &= \varepsilon + \frac{1-\varepsilon}{12} [0,8k_0\Phi_0 + 3,2k_1\Phi_1 + 1,7k_2\Phi_2 + 2,7k_3\Phi_3 \\
 &\quad + 2,7k_4\Phi_4 + 0,9k_5\Phi_5 + 6k'_0\Phi_{00}], \\
 \Phi_1 &= \varepsilon + \frac{1-\varepsilon}{12} [0,9k_1\Phi_0 + 2,7k_0\Phi_1 + (3,7k_1 - 1,0)\Phi_2 \\
 &\quad + (1,5k_2 + 0,2)\Phi_3 \\
 &\quad + 3,2k_3\Phi_4 + 0,8k_4\Phi_5 + 6k'_1\Phi_{00}], \\
 \Phi_2 &= \varepsilon + \frac{1-\varepsilon}{12} [0,8k_2\Phi_0 + 3,2k_1\Phi_1 + 1,7k_0\Phi_2 + 2,7k_1\Phi_3 \\
 &\quad + 2,7k_2\Phi_4 + 0,9k_3\Phi_5 + 6k'_2\Phi_{00}], \\
 \Phi_3 &= \varepsilon + \frac{1-\varepsilon}{12} [0,9k_3\Phi_0 + 2,7k_2\Phi_1 + 2,7k_1\Phi_2 + 1,7k_0\Phi_3 \\
 &\quad + 3,2k_1\Phi_4 + 0,8k_2\Phi_5 + 6k'_3\Phi_{00}], \\
 \Phi_4 &= \varepsilon + \frac{1-\varepsilon}{12} [0,8k_4\Phi_0 + 3,2k_3\Phi_1 + (1,5k_2 + 0,2)\Phi_2 \\
 &\quad + (3,7k_1 - 1,0)\Phi_3 \\
 &\quad + 2,7k_0\Phi_4 + 0,9k_1\Phi_5 + 6k'_4\Phi_{00}], \\
 \Phi_5 &= \varepsilon + \frac{1-\varepsilon}{12} [0,9k_5\Phi_0 + 2,7k_4\Phi_1 + 2,7k_3\Phi_2 + 1,7k_2\Phi_3 \\
 &\quad + 3,2k_1\Phi_4 + 0,8k_0\Phi_5 + 6k'_5\Phi_{00}], \\
 \Phi_{00} &= \varepsilon + \frac{1-\varepsilon}{6} [0,8k'_0\Phi_0 + 3,2k'_1\Phi_1 + 1,7k'_2\Phi_2 + 2,7k'_3\Phi_3 \\
 &\quad + 2,7k'_4\Phi_4 + 0,9k'_5\Phi_5],
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

où  $\Phi_0, \dots, \Phi_5; k_0, \dots, k_5$  et  $k'_0, \dots, k'_5$  sont respectivement les valeurs de  $\Phi(x)$ ,  $2K_2(x)$  et  $2K_1(x)$  qui correspondent à chacun des segments de largeur 0,4 entre  $x = 0$  et  $x = 2$ . Le traitement de K. Hidaka a été appliqué au premier ou dernier segment dans les équations pour  $\Phi_1$  et  $\Phi_4$ .

De la même façon, on a obtenu les valeurs de  $\Phi_{00}$  et de  $\Phi(x)$  par les équations simultanées de 12 éléments pour  $l = 4$ , de 17 éléments pour  $l = 6$ , de 22 éléments pour  $l = 8$  et de 27 éléments pour  $l = 10$ .

Parmi les résultats ainsi obtenus,  $1 - \Phi_{00} = \delta_0$ , c'est-à-dire l'écart entre la noirceur du fond et celle du corps noir, est donné par la courbe C. P. (fig. 2) et par les courbes  $S = 0$  (fig. 3). La solution numérique de précision (courbe C. P.) de la figure 2 se situe au voisinage de la limite supérieure, mais elle ne traverse plus la courbe L. S., contrairement aux cas de l'approximation à un ou trois termes. La figure 3 donne ces valeurs pour trois valeurs différentes du pouvoir émissif.

Dans le domaine où ces calculs ont été faits, la noirceur d'une

sphère tangente au fond du cylindre et ayant l'ouverture commune ne dépasse jamais la noirceur du cylindre.

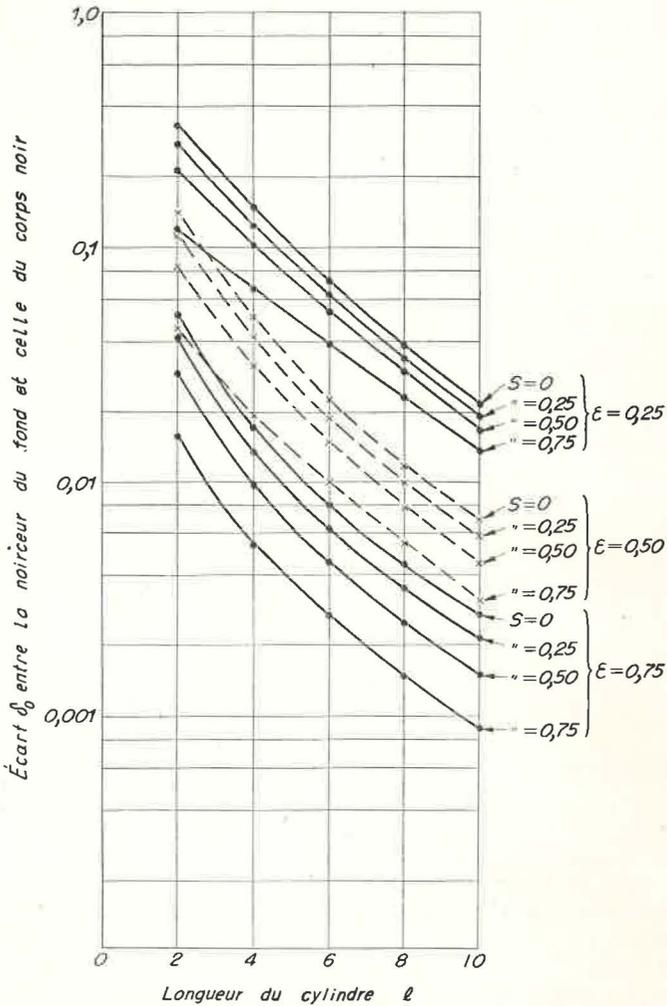


Fig. 3.

#### 4. CALCUL NUMÉRIQUE APPROCHÉ DE LA NOIRCEUR DU CYLINDRE AYANT UN FOND ET UN COUVERCLE A OUVERTURE CIRCULAIRE.

On a calculé d'une façon simplifiée l'accroissement de noirceur du cylindre dans le cas où l'on y ajoute un couvercle ayant une ouverture circulaire.

Les coefficients d'éclairement spécifiques  $K_1(x)$  et  $K_2(x)$  exprimés par des fonctions exponentielles à un ou trois termes, oscillent de part et d'autre de leurs valeurs réelles avec le changement de  $x$ , mais ils gardent en moyenne des valeurs voisines de leurs valeurs réelles. Aux endroits où les valeurs approchées ont des valeurs plus grandes que les valeurs réelles, l'équation de l'interréflexion donne des résultats qui conduisent à une noirceur trop élevée. Par contre, lorsque les valeurs approchées sont plus petites que les valeurs réelles, les résultats conduisent à une noirceur trop faible. Dans l'équation intégrale ces écarts ne sont pas toujours compensés dans les endroits entiers considérés.

Si l'on exprime les coefficients d'éclairement spécifiques par des fonctions approchées qui ont des valeurs toujours plus faibles que les valeurs réelles, l'équation de l'interréflexion ne donne jamais des résultats conduisant à une noirceur trop élevée.

Les coefficients d'éclairement spécifiques trouvés pour ce but sont :

$$(12) \quad \left\{ \begin{array}{ll} \text{pour } 2K_1(x) \text{ et } 2K_2(x) & : e^{-1,08x}; \\ \text{» } 2K_3(x) & : N_1 e^{-1,08x} + N_2 e^{\gamma x}; \\ \text{» } K_4(x) & : \text{valeurs numériques réelles,} \end{array} \right.$$

où les valeurs numériques de  $N_1$ ,  $N_2$  et  $\gamma$  pour trois valeurs de  $S$  sont données dans le tableau ci-dessous :

	$S = 0,75.$	$S = 0,50.$	$S = 0,25.$
$N_1$ .....	0,662 394	0,376 446	0,150 336
$N_2$ .....	0,337 606	0,623 554	0,849 664
$\gamma$ .....	— 5,822 0	— 8,044 25	— 11,241 3

En posant

$$(13) \quad \Phi(x) = A_0 + A e^{\alpha x} + B e^{\beta(l-x)} + C e^{\gamma x}$$

et en substituant (12) et (13) dans les équations (4), (5) et (6), on obtient par intégration une équation simultanée de 5 éléments.  $\Phi_{00}$ ,  $\Phi(x)$ , etc., sont donnés comme solutions analytiques de cette équation.

La valeur approchée  $\Phi_{00}$  du fond ainsi obtenue est toujours inférieure à la valeur réelle. Cependant sa valeur elle-même a peu d'intérêt, car son écart par rapport à la valeur réelle est assez grand. Par contre, la différence  $\Delta\Phi_{00}$  entre les valeurs obtenues pour les deux cas où le couvercle existe ou non, aurait une valeur très voisine de celle de la différence réelle, puisque sa grandeur est petite et que les fonctions approchées utilisées pour  $K_3(x)$ ,  $K_4(x)$  sont de bonnes approximations.

En additionnant cette différence de la noirceur  $\Delta\Phi_{00}$ , obtenue de la façon simplifiée, à la valeur précise  $\Phi_{00}$  trouvée dans le para-

graphe précédent pour le cylindre sans couvercle, on peut obtenir la noirceur du fond du cylindre ayant un couvercle d'ouverture circulaire. Cette noirceur est assez précise et elle n'est jamais excessive.

La figure 3 montre l'écart entre la noirceur ainsi obtenue et celle du corps noir pour les cas où les degrés de fermeture sont respectivement  $S = 0,25, 0,50, 0,75$  et pour  $\varepsilon = 0,25, 0,50, 0,75$ .

Pour terminer, il me reste l'agréable devoir de remercier Mr le Directeur M. Goto qui a réalisé la machine à calculer automatique à relais E. T. L. Mark II à l'Electrotechnical Laboratory, grâce à laquelle ces calculs numériques ont pu être faits, et Mr le Prof. Z. Yamauti qui m'a prodigué ses précieux conseils au cours de cette étude.

(Juillet 1957.)

#### BIBLIOGRAPHIE.

- [1] YAMAUTI (Z.), Recherche d'un radiateur intégral au moyen d'un corps cylindrique, *Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 1933, 16, p. 243.
- [2] GOTO (M.) et alt., Theory and structure of the automatic relay computer E. T. L. Mark II, *Researches of the Electrotechnical Laboratory*, sept. 1956, n° 556.
- [3] HIDAOKA (K.), *Numerical Integration*, vol. 1, 1948, p. 205.



ANNEXE P 7.

National Physical Laboratory (Royaume-Uni).

---

MESURE DU FLUX LUMINEUX DE LAMPES  
AYANT DES  
RÉPARTITIONS LUMINEUSES DIFFÉRENTES

Par W. BARNETT.

(Traduction.)

---

INTRODUCTION. — Lorsqu'on compare des lampes de répartitions lumineuses différentes dans une sphère d'Ulbricht, on commet une erreur due à la présence dans la sphère d'un écran opaque entre la lampe et la fenêtre (1). Cette Note expose les résultats d'un échange de lampes entre le B. I. P. M. et le N. P. L., relatif à ce sujet. Cet échange a eu lieu de la façon suivante.

ÉTALONS SECONDAIRES DE FLUX LUMINEUX DU N. P. L. — Dans l'échelle photométrique du N. P. L., établie en vue de l'introduction officielle de la *candela* en janvier 1948, le passage de l'intensité lumineuse au flux a été fait à la température de couleur de 2 353° K. Les lampes utilisées comme étalons de flux forment le « Groupe F ». Ce sont des lampes à vide dont le filament en hélice, soudé à huit supports, est monté en octogone dans une ampoule sphérique (Annexe P 8, *fig. 6 a*). Ce type de lampe peut sans risque tourner d'une façon continue autour de son axe, de telle sorte que l'intensité moyenne dans une zone angulaire quelconque peut être comparée directement à celle d'un étalon d'intensité immobile. Le papillotement de la lampe en rotation n'a pas grande importance par suite de la répartition lumineuse presque uniforme de ce type de lampe. La mesure du

---

(1) CHANEY et CLARK, *Trans. Illum. Eng. Soc. N. Y.*, 10, 1915, p. 1.  
WALSH (J. W. T.), *Photometry*. Constable, London, 2nd edit., 1953,  
p. 264-267.

flux de chaque lampe a été faite à l'aide de 50 comparaisons dans 50 zones convenablement espacées et en faisant ensuite la moyenne des résultats. Des essais directs utilisant 25, 50 et 100 zones ont montré que 50 était un nombre suffisant pour que l'erreur affectant la moyenne des résultats soit bien inférieure à 0,01 %.

Une raison supplémentaire du choix de ce type de lampe est sa ressemblance, dans sa forme et sa répartition lumineuse, avec les lampes à atmosphère gazeuse utilisées comme étalons de flux à température plus élevée, ainsi qu'avec les lampes à atmosphère gazeuse de type commercial de faible puissance.

Un peu plus tard, en 1953, un second groupe d'étalons de flux, le « Groupe E », fut construit. Ce sont des lampes à vide dont le filament, soudé aux supports, est monté en cage d'écureuil. Ces lampes furent étalonnées à la même température de couleur et par la même méthode que le Groupe F.

Le N. P. L. disposait alors de deux groupes d'étalons secondaires de flux représentant les deux extrêmes de la répartition lumineuse habituellement rencontrée, ces deux groupes étant étalonnés par une méthode absolue indépendante de la sphère et des erreurs inhérentes à cet instrument. La comparaison de deux tels groupes dans une sphère offre ainsi un moyen expérimental direct pour déterminer l'erreur d'une telle sphère, due à la différence de répartition lumineuse des lampes.

Peu après, en 1954, nous avons proposé au B. I. P. M. de comparer deux tels groupes dans sa sphère photométrique, proposition qui fut acceptée aussitôt et avec intérêt. Les deux groupes fournis par le N. P. L. dans ce but étaient similaires aux Groupes F et E :

*Groupe 254*, quatre lampes à vide, 60 V, 43 W environ, à filament en hélice soudé aux supports, monté en octogone dans une ampoule sphérique en verre clair (lampes semblables à celles du Groupe F);

*Groupe 304*, six lampes à vide, 100 V, 60 W, à filament monté en cage d'écureuil dans une ampoule légèrement conique en verre clair (lampes semblables à celles du Groupe E).

Les deux groupes fonctionnaient à la température de couleur de 2 353° K (Échelle B. I. P. M., 1951) et chaque lampe était alimentée par le courant, la différence de potentiel correspondante étant mesurée lors de chaque allumage.

MESURES EFFECTUÉES AU N. P. L. — Au N. P. L., le Groupe 254 fut étalonné par rapport au Groupe F, et le Groupe 304 par rapport au Groupe E, dans une sphère photométrique de 1 m de diamètre, avec un écran de 10 × 15 cm. Le facteur de réflexion

des parois de la sphère, de l'écran et du porte-lampe était 0,83 environ. On utilisait pour les mesures une cellule photoémissive Osram KMV6 précédée d'un filtre correcteur à liquides. Ces détails sur le photomètre sont donnés pour information, mais on doit noter que la sphère fut utilisée ici uniquement pour comparer des lampes ayant des répartitions lumineuses et des températures de couleur pratiquement identiques. Les lampes de chaque groupe furent étalonnées avant et après les comparaisons au B. I. P. M.; elles ne montrèrent aucun signe de variation attribuable au transport ou aux manipulations. Le résultat final des mesures du N. P. L. est le suivant :

$$\frac{\text{Groupe 254}}{\text{Groupe 304}} = 0,8464.$$

MESURES EFFECTUÉES AU B. I. P. M. — Les mesures faites au B. I. P. M. se rapportent à la comparaison *directe* des deux Groupes 254 et 304 dans la sphère de ce laboratoire. Le diamètre de cette sphère est de 1,54 m et le facteur de réflexion de toutes les surfaces internes est de 0,94 environ; l'écran a un diamètre de 14 cm et se trouve à 25 cm de la lampe. Deux méthodes différentes furent utilisées : dans la première méthode, la sphère est utilisée avec une fenêtre diffusante en verre dépoli dont la face extérieure éclaire une photopile au sélénium placée à distance fixe; dans la seconde méthode on mesure, à l'aide d'une cellule à vide Boutry-Gillod précédée de filtres correcteurs, la luminance d'une petite surface de la paroi de la sphère, observée à travers une simple ouverture par l'intermédiaire d'un miroir sphérique situé à l'intérieur de la sphère (Annexe P 8, *fig.* 8 et 9). Les premières mesures effectuées par ces deux méthodes ont donné respectivement pour le rapport des Groupes 254 et 304 les valeurs 0,845 1 et 0,845 5, soit en moyenne 0,845 3; des mesures ultérieures ont donné la valeur 0,844 5.

Finalement, le résultat définitif des mesures effectuées au B. I. P. M., sans qu'aucune correction ait été apportée pour tenir compte des répartitions lumineuses différentes des deux groupes de lampes, est le suivant :

$$\frac{\text{Groupe 254}}{\text{Groupe 304}} = 0,8449.$$

CONCLUSION. — Des calculs fondés sur l'application de la formule donnée en référence (1), et en utilisant les répartitions lumineuses déterminées au N. P. L. au cours de l'étalonnage des groupes similaires F et E, indiquent que le rapport déterminé dans la sphère du B. I. P. M. devrait être supérieur de 0,1 % à la valeur vraie. En fait, comme le montrent les résultats ci-dessus,

le rapport obtenu au B. I. P. M. est plus faible de 0,18 % que celui du N. P. L., qui est censé représenter la valeur vraie. Eu égard aux autres causes d'erreurs qui sont susceptibles d'intervenir dans de telles comparaisons, l'accord entre les deux laboratoires est considéré comme satisfaisant.

(18 septembre 1957.)



ANNEXE P 8.

Bureau International des Poids et Mesures.

---

RAPPORT SUR LA  
TROISIÈME COMPARAISON DES ÉTALONS NATIONAUX  
D'INTENSITÉ ET DE FLUX LUMINEUX (1)  
(1956-1957)

Par J. TERRIEN, H. MOREAU et J. BONHOURE.

---

La troisième comparaison des étalons nationaux d'intensité et de flux lumineux, décidée par le Comité International dans sa session de 1952, a été effectuée au Bureau International de mars à août 1956.

Cent quarante lampes ont participé à cette comparaison, auxquelles ont été jointes douze lampes du Bureau International servant d'étalons de référence. Les sept Laboratoires nationaux suivants étaient représentés :

P. T. B.-D. A. M. G.	Allemagne
N. B. S.	Amérique (États-Unis d')
N. R. C.	Canada
C. N. A. M.	France
E. T. L.	Japon
N. P. L.	Royaume-Uni
I. M.	U. R. S. S.

1. TYPES DE LAMPES.

Suivant les suggestions et recommandations du Comité Consultatif de Photométrie de 1952 en vue d'améliorer la précision des

---

(1) Ce Rapport, mis à jour en tenant compte des mesures effectuées sur les lampes après retour à leur Laboratoire d'origine, rassemble les résultats et renseignements contenus dans les Documents multicopiés Nos 1 et 4 distribués aux Membres du Comité Consultatif de Photométrie.

mesures, plusieurs Laboratoires ont remis des lampes conformes aux types préconisés par le Bureau International; les autres ont envoyé des lampes, soit d'un type identique à celui des comparaisons de 1952, soit d'une construction améliorée, soit encore d'un type entièrement nouveau. Le tableau I précise les types des lampes remises par les Laboratoires nationaux, ainsi que ceux des lampes constituant les groupes de référence du Bureau International.

TABLEAU I.

Laboratoire.	Intensité.		Flux.	
	2 042.	2 353.	2 353.	2 788.
P. T. B.-D. A. M. G. ....	A	<i>fig.</i> 3	F et G	<i>fig.</i> 4 a et G
N. B. S. ....	A	D	F	<i>fig.</i> 4 b
N. R. C. ....	A	D	H	<i>fig.</i> 5
C. N. A. M. ....	B	E	F	<i>fig.</i> 4 b
E. T. L. ....	A	<i>fig.</i> 3	F	<i>fig.</i> 4 b
N. P. L. ....	<i>fig.</i> 2 (*)	<i>fig.</i> 2 (*)	I	<i>fig.</i> 6 b (*)
I. M. ....	C	C	J	K
B. I. P. M. ....	A	D	F	<i>fig.</i> 4 b

- A. Voir *Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 1952, 23 B, p. P 16, *fig.* 1.  
 B. " " " " " p. P 100, *fig.* 3.  
 C. " " " " " p. P 100, *fig.* 6.  
 D. " " " " " p. P 16, *fig.* 2.  
 E. " " " " " p. P 100, *fig.* 7.  
 F. " " " " " p. P 100, *fig.* 9a.  
 G. " " " " " p. P 100, *fig.* 9b.  
 H. Lampe à vide, ampoule légèrement conique en verre clair, filament en « cage d'écureuil ».  
 I. Voir *Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 1952, 23 B, p. P 100, *fig.* 12a.  
 J. " " " " " p. P 100, *fig.* 14a.  
 K. " " " " " p. P 100, *fig.* 14b.

En plus de ces lampes, nous avons également reçu de l'Electro-technical Laboratory deux groupes d'étalons d'intensité lumineuse à 2 042° K (*fig.* 7a) et 2 353° K (*fig.* 7b) d'un type nouveau (\*). Le N. P. L. nous a également envoyé un second groupe d'étalons de flux à 2 353° K (*fig.* 6a) (\*). Ces trois groupes supplémentaires ont été mesurés au Bureau International indépendamment des comparaisons internationales (voir Annexes P 7 et P 11).

(\*) Voir aussi *J. Gen. Elect. Co.*, 1955, 22, n° 4, p. 232; *Trans. Illum. Eng. Soc.*, 1956, 21, n° 5, p. 91.

(\*) *Bulletin E. T. L.*, 1954, 18, n° 12, supplément p. 1-3; ce volume, Annexe P 10, p. P 111.

## 2. RÉPARTITION DE L'INTENSITÉ LUMINEUSE DES LAMPES AUTOUR DE LA DIRECTION NORMALE D'UTILISATION.

Tous les étalons d'intensité ont fait l'objet d'un contrôle de la répartition de l'intensité lumineuse autour de la direction normale d'utilisation ( $\pm 4$  grades). Ce contrôle a été effectué photoélectriquement, avec enregistrement automatique de la répartition à l'aide d'un suiveur de spot <sup>(3)</sup>.

Les enregistrements obtenus ont montré que, dans les limites d'incertitude de la mise en place des lampes (de l'ordre de  $\pm 0,5$  grade), les variations d'intensité lumineuse excédaient rarement  $\pm 0,1$  %.

## 3. TEMPÉRATURE DE COULEUR.

Presque tous les étalons nationaux étaient réglés en température de couleur d'après l'« Échelle B. I. P. M. 1951 », fondée sur la moyenne des températures de couleur des lampes intervenues dans la comparaison internationale de 1950-1952. Un contrôle de la température de couleur de chaque lampe, effectué photoélectriquement par la méthode du rapport  $\frac{\text{Rouge}}{\text{Bleu}}$ , a permis de constater que, dans l'ensemble, les températures de couleur des étalons nationaux s'écartaient rarement de plus de 10 degrés des températures conventionnelles exprimées dans l'échelle B. I. P. M. (des écarts plus importants ont été observés sur l'un des groupes de flux à 2 353° K et sur quelques groupes à 2 788° K).

Les résultats individuels de ce contrôle sont donnés pour chaque Laboratoire aux tableaux II à VIII, colonne 2.

## 4. COMPORTEMENT DES ÉTALONS NATIONAUX APRÈS LES TRANSPORTS.

Tous les étalons nationaux ont été transportés à la main, sauf ceux de l'E. T. L. qui ont fait le voyage Tokyo-Paris et retour par avion, sans être accompagnés.

Ces transports effectués avec soin n'ont pas eu, dans l'ensemble, de répercussion fâcheuse sur la stabilité photométrique des lampes. Les contrôles de retour n'ont fait apparaître que les variations habituellement observées, de l'ordre de 0,1 à 0,3 %. Des variations plus importantes, dépassant même parfois 1 %, ont cependant été observées sur quelques étalons d'intensité lumineuse

---

<sup>(3)</sup> Voir la description de cet appareil dans : *Mesures et Contrôle Ind.* 1956, 21, p. 185-188.

à filament de carbone ( $2\ 042^{\circ}$  K) de la P. T. B.-D. A. M. G., du N. B. S. et de l'E. T. L., et sur les étalons de flux à  $2\ 353^{\circ}$  K de l'E. T. L. (voir les remarques qui suivent les tableaux II, III et VI).

On doit, par contre, noter l'excellente tenue des lampes japonaises du type sans crochets-soutiens (*fig. 7a et b*), dont l'intensité lumineuse se reproduit à mieux que 0,2 % après un transport aérien de 20 000 km.

## 5. EXÉCUTION DES COMPARAISONS.

Toutes les mesures au Bureau International ont été faites photoélectriquement. La température ambiante durant les mesures était de  $20$  à  $21^{\circ}$  C et l'état hygrométrique a varié entre 45 et 60 %. Les spécifications relatives au fonctionnement de chaque lampe ont été suivies, et l'on a cherché à reproduire le mieux possible les conditions d'éclairage pour les mesures des étalons d'intensité. Rappelons enfin que les lampes ont été nettoyées à l'alcool au début des comparaisons et qu'elles étaient essayées avec une peau de chamois au début de chaque mesure.

Chaque groupe national a été comparé, au cours de deux séries de mesures indépendantes, au même groupe de référence B.I.P.M. fonctionnant à la même température de couleur nominale; dans chaque série, les étalons nationaux étaient mesurés deux fois, symétriquement par rapport au groupe B. I. P. M.

*a. Intensité lumineuse.* — Les étalons d'intensité ont été comparés au moyen : 1<sup>o</sup> du photomètre à photopile au sélénium déjà utilisé en 1950-1952 (méthode de substitution à éclairage constant avec lampe *tare* et application de la loi en  $\frac{I}{d^2}$ ); 2<sup>o</sup> d'un photomètre à réponse linéaire comportant une cellule à vide (type Gillod-Boutry) dont la cathode est constituée par une couche semi-transparente de Cs-Sb déposée sur la face interne de la fenêtre de la cellule; devant celle-ci étaient placés un filtre correcteur et un verre diffusant; le courant photoélectrique était mesuré par une méthode potentiométrique.

*b. Flux lumineux.* — La comparaison des étalons de flux lumineux a été effectuée dans notre sphère lumenmètre (1,54 m de diamètre) dont le revêtement intérieur blanc diffusant venait d'être refait en décembre 1955. Le renouvellement du revêtement avait été précédé de nombreux essais en vue du choix de la peinture à employer. On s'est finalement arrêté à l'oxyde de titane pour les couches de base et à l'oxyde de zinc pour les couches finales, en utilisant la carboxyméthylcellulose comme liant (voir

*Procès-Verbaux*, 1956, 24, p. 32-33). Le revêtement obtenu a un facteur de réflexion égal à 0,94, pratiquement constant pour les longueurs d'onde comprises entre 0,45 et 0,75  $\mu$ .

Dans la première série de mesures on a utilisé le photomètre à photopile au sélénium; celui-ci, placé à une distance constante de la fenêtre diffusante de la sphère, recevait un éclaircissement que l'on comparait à l'éclaircissement fourni par une lampe *tare* placée à une distance réglable et mesurée sur le banc photométrique (application de la loi en  $\frac{1}{d^2}$ ).

Dans la seconde série, on a employé le photomètre à réponse linéaire déjà utilisé en 1950-1952: cellule à vide du type Gillod-Boutry à cathode Cs-AgO, suivie d'un amplificateur à courant continu; des verres colorés corrigeaient la sensibilité spectrale de la cellule de façon à la rendre analogue à l'efficacité lumineuse relative admise internationalement pour l'œil. Le courant photo-électrique était mesuré par une méthode potentiométrique.

Pour cette seconde série, la fenêtre diffusante de la sphère a été supprimée afin de s'affranchir de sa coloration; le photomètre mesurait alors la luminance d'une petite région circulaire ( $d = 4$  mm) de la paroi de la sphère, observée à travers une simple ouverture par l'intermédiaire d'un miroir sphérique aluminé ( $d = 40$  mm), fixé dans la sphère à 12 cm de l'ouverture (*fig.* 8 et 9). Avec la nouvelle peinture et l'emploi de ce dispositif, l'altération apparente du rayonnement d'une lampe allumée dans la sphère a pu être réduite d'un facteur 10 (l'abaissement de la température de couleur de la lampe est passé d'environ 300 degrés à 25 degrés).

*c. Corrections.* — Les étalons d'intensité lumineuse étant, soit du même type, soit de types peu différents, on n'a pas tenu compte des corrections à la loi en  $\frac{1}{d^2}$ , ni des corrections d'absorption de l'air, qui se compensaient du reste à peu près. Seules ont été appliquées les corrections pour tenir compte des différences de température de couleur; ces corrections, d'ailleurs trop petites pour être mesurables avec certitude, atteignaient au maximum 0,1 % pour une différence de température de couleur de 10 degrés.

Pour les étalons de flux, la correction de température de couleur était négligeable (sauf pour la mesure à la photopile du groupe E. T. L. à 2 353° K, où une correction d'environ 0,15 % a été appliquée).

L'absorption supplémentaire due à la présence de la lampe dans la sphère a été déterminée pour chaque groupe de lampes; cette absorption a donné lieu à des corrections comprises entre 0,1 et 0,4 % pour les lampes à 2 353° K, et entre 0,2 et 0,8 % pour

celles à 2 788° K [la correction atteignait 1,3 % pour les lampes du N. R. C. à culot E 40 (*fig. 5*) qui ont été mesurées avec une douille intermédiaire].

## 6. RÉSULTATS DES MESURES AU BUREAU INTERNATIONAL SUR CHACUN DES GROUPES D'ÉTALONS NATIONAUX.

Les résultats des mesures photométriques effectuées sur tous les groupes d'étalons nationaux de même température de couleur nominale ont été rapportés au même groupe de référence du Bureau International. La stabilité photométrique de chacun de ces quatre groupes de référence (intensité et flux) pendant la durée des comparaisons a été contrôlée à quatre reprises différentes (au début et à la fin des mesures des lampes avec chacun des deux récepteurs), par comparaison à nos groupes de référence 1952 conservés depuis la deuxième comparaison internationale; cette stabilité a été confirmée à 0,1-0,2 %.

Les tableaux II à VIII rassemblent les résultats des mesures photométriques et électriques faites sur les différents groupes de lampes envoyés par chaque Laboratoire national, compte tenu des mesures de contrôle après le retour des lampes à leur laboratoire d'origine. Les résultats photométriques sont la moyenne des deux séries au photomètre à photopile et au photomètre à réponse linéaire; l'accord entre ces deux méthodes de mesure se situe, dans l'ensemble, entre 0 et  $2 \cdot 10^{-3}$  en valeur relative (exceptionnellement 3 à  $4 \cdot 10^{-3}$ ).

Les diverses colonnes des tableaux donnent :

(2) La température de couleur ( $T_c$ ) mesurée au Bureau International et exprimée dans l'« Échelle B. I. P. M. 1951 »;

(3) La valeur photométrique moyenne du « groupe de référence B. I. P. M. 1956 » en unité du Laboratoire, telle qu'elle est représentée par chacun des étalons du Laboratoire;

(4) L'écart, en pour cent, entre la valeur photométrique de chaque étalon national mesurée au Bureau International et la valeur photométrique mesurée au Laboratoire d'origine, *la valeur moyenne des lampes du groupe étant prise comme unité*;

(5) L'écart, en pour cent, entre l'intensité du courant traversant la lampe (ou la différence de potentiel aux bornes) mesurée au Bureau International après la durée d'allumage indiquée entre parenthèses, et celle mesurée au Laboratoire d'origine.

L'accord entre les mesures des caractéristiques électriques des lampes au Bureau International et au Laboratoire d'origine est, dans l'ensemble, satisfaisant. On doit toutefois noter que, faute d'indications particulières aux Certificats, ces mesures ne corres-

pondent pas toujours à une même durée d'allumage des lampes au Bureau International et au Laboratoire, ce qui peut expliquer certaines différences qui paraissent excessives ou qui présentent un caractère systématique. Pour certains types de lampes, le temps qui s'écoule entre l'allumage de la lampe et les mesures photométrique et électrique est un facteur dont il faut tenir compte en photométrie de précision. Pour les lampes du N. P. L. (tableau VII), les mesures ont été faites dans ce Laboratoire et au Bureau International après la même durée d'allumage.

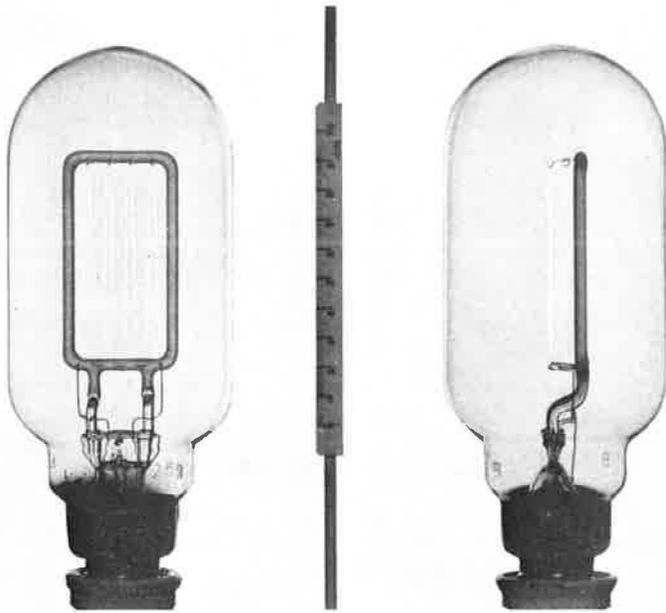


Fig. 2.

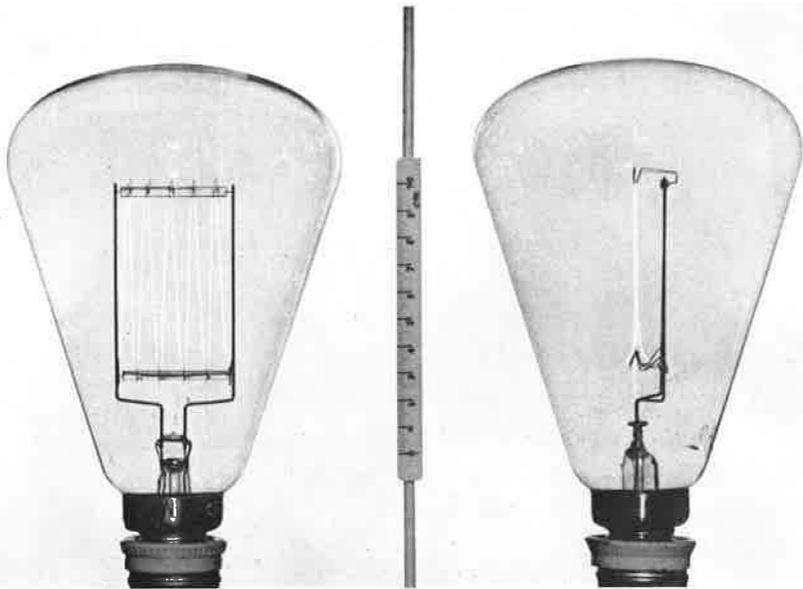


Fig. 3.

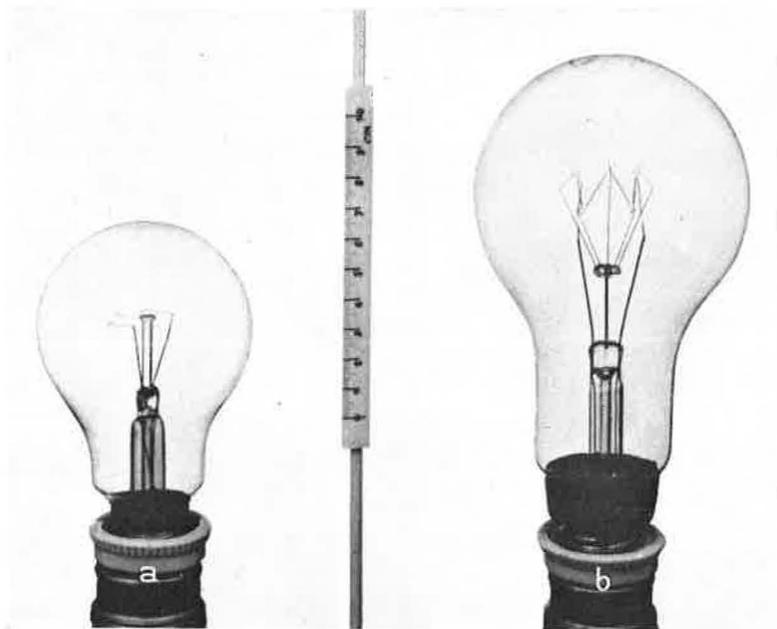


Fig. 4.

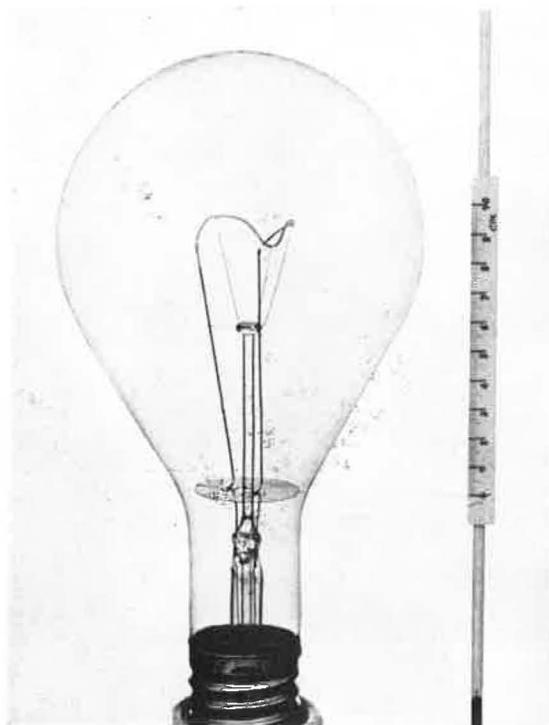


Fig. 5.

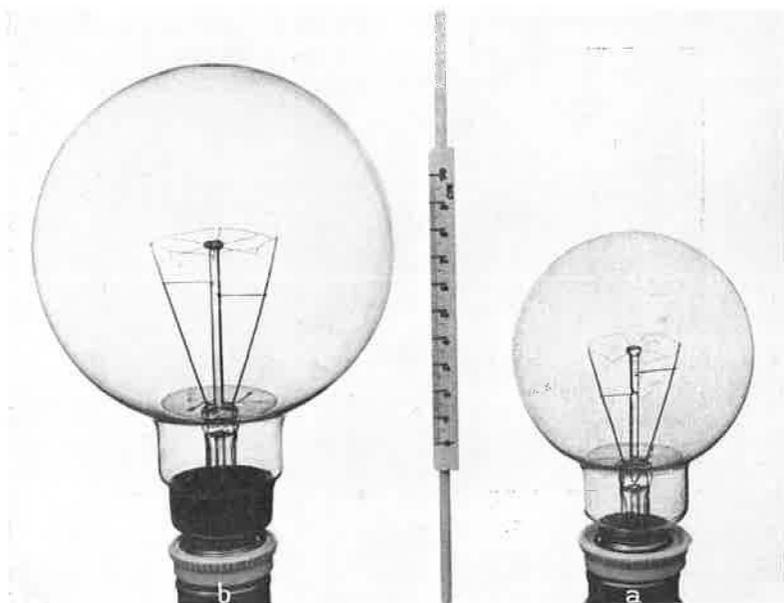


Fig. 6.

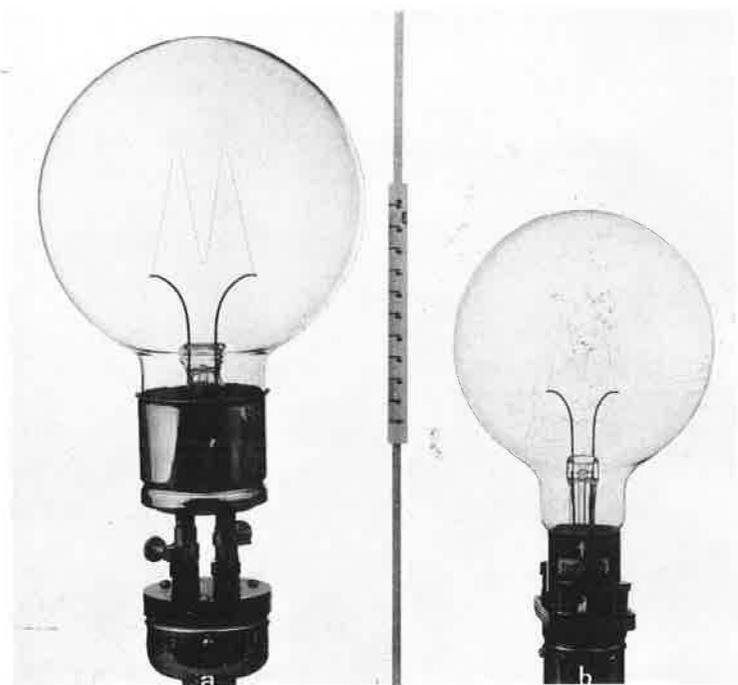


Fig. 7.

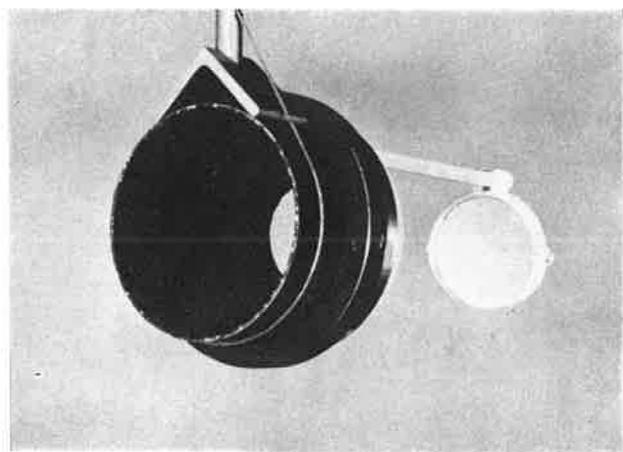


Fig. 8.

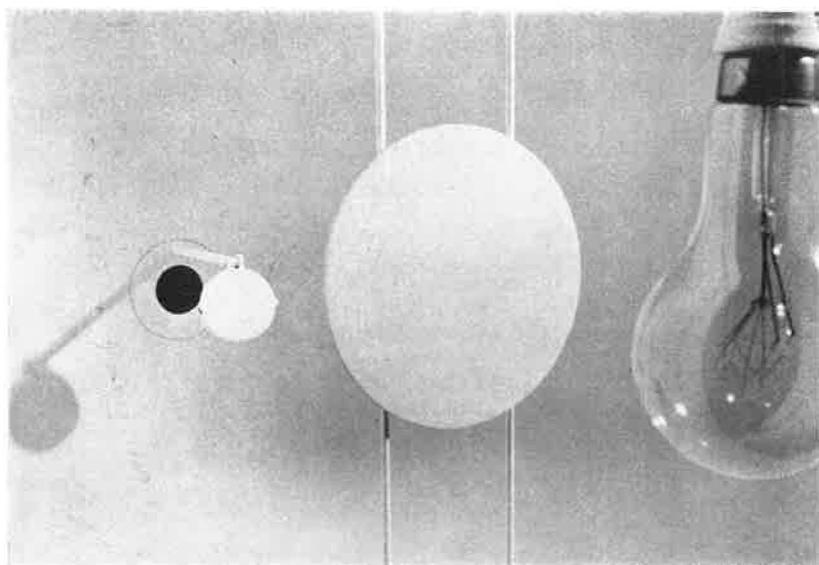


Fig. 9.

TABLEAU II.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
et Deutsches Amt für Mass und Gewicht, Allemagne.

*Intensité lumineuse.*

2 042° K.

Lampes à filament de carbone, 0,55 A, 96 V, 12 cd environ

Lampe N°	Tc (B.I.P.M. 1951) (°K.)	Groupe B. I. P. M. cd (P. T. B.-D. A. M. G.)	Volts	
			B. I. P. M.- P. T. B.-D. A. M. G. (%)	B. I. P. M.- P. T. B.-D. A. M. G. (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1431 P. T. B. 53 D. A. M. G.	2 048	12,275	- 0,27	+ 0,005
1432 .....	2 043	249	- 0,06	+ 0,005
1433 .....	2 039	264	- 0,18	+ 0,02
1434 .....	2 041	270	- 0,23	+ 0,01
1435 .....	2 042	286	- 0,36	+ 0,005
1436 .....	2 040	200	+ 0,34	+ 0,005
1437 .....	2 040	186	+ 0,46	+ 0,005
1438 .....	2 045	205	+ 0,30	+ 0,02
		12,242 $\alpha$		(après 5 min)

2 353° K.

Lampes à filament de tungstène (fig. 3), 0,40 A, 110 V, 30 cd environ.

1446 P. T. B. 53 D. A. M. G.	2 354	22,408	- 0,50	- 0,08
1447 .....	2 362	293	+ 0,02	+ 0,06
1448 .....	2 355	286	+ 0,05	+ 0,045
1449 .....	2 356	308	- 0,05	+ 0,02
1450 .....	2 356	268	+ 0,13	+ 0,08
1451 .....	2 361	330	- 0,15	- 0,01
1452 .....	2 353	219	+ 0,35	+ 0,07
1453 .....	2 355	260	+ 0,17	+ 0,045
		22,297 $\alpha$		(après 6 min)

*Flux lumineux.*

2 353° K.

Lampes à vide, filament en cage d'écureuil,  
0,32 A, 100 V, 230 lm environ.

		lm (P.T.B.-D.A.M.G.)		
1460 P.T.B. 53 D.A.M.G. . . . .	2 353	229,23	+ 0,76	+ 0,13
1461 . . . . .	2 358	31,68	- 0,30	+ 0,06
1462 . . . . .	2 357	31,28	- 0,13	+ 0,045
1463 . . . . .	2 351	31,75	- 0,33	+ 0,03
		<hr/>		
		230,99* $\alpha$		(après 6 min)

Lampes à filament en hélice dans une ampoule opaline,  
0,33 A, 97 V, 205 lm environ.

1465 . . . . .	2 355	225,98	+ 0,01	- 0,09
1466 . . . . .	2 355	26,35	- 0,15	+ 0,05
1467 . . . . .	2 359	26,11	- 0,05	0
1468 . . . . .	2 353	25,35	+ 0,29	+ 0,12
1469 . . . . .	2 358	26,22	- 0,10	+ 0,11
		<hr/>		
		226,00		(après 6 min)

\* Ce résultat, obtenu avec des lampes du même type que les lampes des autres Laboratoires nationaux, a seul été retenu, à la demande de la P.T.B., pour les calculs du tableau IX.

2 788° K.

Lampes à atmosphère gazeuse (fig. 4a),  
0,9 A, 105 V, 1300 lm environ.

1470 P.T.B. 53 D.A.M.G. . . . .	2 768	2 664,1	+ 0,07	0
1471 . . . . .	2 768	3,7	+ 0,09	0
1472 . . . . .	2 771	8,1	- 0,08	+ 0,05
1473 . . . . .	2 767	8,1	- 0,08	+ 0,03
		<hr/>		
		2 666,0		(après 6 min)

Lampes à atmosphère gazeuse, ampoule opaline,  
0,9 A, 105 V, 1300 lm environ.

1474 . . . . .	2 770	2 661,7	+ 0,02	- 0,03
1475 . . . . .	2 768	65,5	- 0,13	+ 0,03
1476 . . . . .	2 770	57,9	+ 0,15	+ 0,07
1477 . . . . .	2 745	63,4	- 0,05	+ 0,09
		<hr/>		
		2 662,1		(après 6 min)
		Moy. 2 664,0 $\alpha$		

Au cours des mesures au B. I. P. M., on a observé pour quelques-unes de ces lampes des variations de la différence de potentiel aux bornes, de l'ordre de 0,2 %, atteignant même 0,4 % pour la lampe N° 1471.

a. Résultat exprimé en unité P. T. B.-D. A. M. G. telle qu'elle résulte des nouvelles déterminations absolues de la candela et du lumen effectuées à la P. T. B. en 1955-1956 (voir Annexe P 4, p. P 52).

D'après les valeurs indiquées à l'Annexe P 4 (tableau I, colonnes B et C), l'intensité lumineuse moyenne du groupe de lampes à filament de carbone (2 042° K) a augmenté de 0,4 % entre les mesures effectuées à la P. T. B. avant et après la comparaison des lampes au Bureau International; la variation individuelle maximum atteint + 1,0 % pour la lampe N° 1435.

TABLEAU III.

National Bureau of Standards, États-Unis d'Amérique.

*Intensité lumineuse.*

2 039° K (Échelle N. B. S.).

Lampes à filament de carbone, 98 V, 0,55 A, 12 cd environ.

Lampe N° (1)	Tc (°K) (2)	Groupe B. I. P. M. cd <sub>(N. B. S.)</sub> (3)	B. I. P. M.-N. B. S. (%) (4)	Ampère B. I. P. M.-N. B. S. (%) (5)
	N. B. S. 3757	2 035	12,234	+ 0,41
3759	2 033	358	— 0,60	— 0,04
3760	2 030	262	+ 0,18	— 0,05
3762	2 030	284	0	0
		12,284		(après 5 min)

2 352° K (Échelle N. B. S.).

Lampes à filament de tungstène, 92 V, 0,34 A, 24 cd environ.

N. B. S. 3764	2 351	22,063	+ 0,24	— 0,05
3765*	2 348	-	-	-
3769	2 348	163	— 0,21	— 0,09
3770	2 351	122	— 0,03	+ 0,06
		22,116		(après 5 min)

\* Lampe éliminée (culot descellé).

*Flux lumineux.*

2 356° K (Échelle N. B. S.).

Lampes à vide, filament en cage d'écureuil,  
99 V, 0,32 A, 230 lm environ.

N. B. S.	Tc (°K)	lm <sub>(N. B. S.)</sub>		
		3780		
3782	2 357	1,14	— 0,06	+ 0,03
3783	2 349	0,93	+ 0,03	— 0,02 <sub>5</sub>
3784	2 357	0,64	+ 0,16	0
		231,00		(après 5 min)

2 811° K (Échelle N. B. S.).

Lampes à atmosphère gazeuse (fig. 4b),  
110 V, 1,7 A, 2 750 lm environ.

N. B. S. 3772	2 790	2 700,5	+ 0,01	— 0,03
3773	2 789	696,2	+ 0,17	0
3775	2 789	710,5	— 0,36	— 0,06
3776	2 790	696,2	+ 0,17	— 0,01
		2 700,8		(après 6 min)

Tous les résultats de la colonne (3) sont exprimés dans les mêmes unités N. B. S. que celles des comparaisons internationales 1950-1952. (Pour les étalons d'intensité à 2353°K, voir la Note en fin d'Annexe, p. P 103).

Les valeurs attribuées aux lampes du N. B. S. résultent de la comparaison de ces lampes aux groupes de référence qui conservent les unités photométriques au N. B. S. depuis la dernière réalisation du corps noir au point de solidification du platine en 1937-1938.

L'intensité lumineuse moyenne du groupe de référence représentant la candela à 2 042° K conservée au N. B. S. (groupe A constitué de huit lampes), a été déterminée avec une incertitude évaluée à 0,2 %. L'incertitude totale résultant de la comparaison des lampes à 2 042° K à celles du groupe A est de 0,57 %. Cette estimation de l'incertitude s'appuie sur l'hypothèse que le groupe A n'a pas évolué depuis son étalonnage par rapport au corps noir en 1937-1938. L'hypothèse est valable; en effet, le groupe A a été comparé deux fois, d'abord en 1937-1938, ensuite en 1956 à un groupe de six lampes (groupe O), peu utilisé entre les deux comparaisons. Le rapport du groupe A au groupe O est le même en 1956 qu'en 1937-1938, à moins de 0,1 % près.

Toutes les mesures photométriques au N. B. S. ont été faites photoélectriquement par une méthode de substitution, en utilisant une forme modifiée du photomètre à photopile décrit dans *J. Research N. B. S.*, 25, 1940, p. 703. La sphère-lumenmètre avait un diamètre de 2,24 m.

Les mesures des lampes au N. B. S. avant et après les comparaisons au B. I. P. M. n'ont fait apparaître des variations importantes que pour le groupe d'intensité lumineuse à 2 042° K; bien que la variation moyenne de ce groupe n'atteigne que — 0,4 %, les changements individuels constatés sur trois lampes : — 1,54 % (N° 3757), + 1,26 % (N° 3759) et — 1,49 % (N° 3762) dépassent notablement les variations généralement observées.

TABLEAU IV.

National Research Council, Canada.

*Intensité lumineuse.*

2 042° K.

Lampes à filament de carbone, 97 V, 0,55 A, 12 cd environ.

Lampe N°	Te	Groupe	Ampère	
	(B.I.P.M. 1951) (°K).	B.I.P.M. cd <sub>(N.R.C.)</sub>	B.I.P.M.-N.R.C. (%).	B.I.P.M.-N.R.C. (%).
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
5 C.....		12,398	+ 0,09	— 0,02
34 C.....	Lampes	425	— 0,13	— 0,04
35 C.....	réglées	425	— 0,13	— 0,03
36 C.....	au B. I. P. M.	405	+ 0,03	— 0,03
39 C.....	à 2 042° K	392	+ 0,14	— 0,04
		<hr/> 12,409 <i>a</i>		(après 5 min)

2 353° K.

Lampes à filament de tungstène, 93 V, 0,35 A, 24 cd environ.

25 W.....		22,410	+ 0,09	+ 0,04
47 W.....	Lampes	367	+ 0,29	+ 0,04
48 W.....	réglées	465	— 0,15	— 0,05
52 W.....	au B. I. P. M.	447	— 0,07	— 0,02
53 W.....	à 2 353° K	431	0	— 0,02
55 W.....		467	— 0,16	— 0,01
		<hr/> 22,431 <i>a</i>		(après 5 min)

*Flux lumineux.*

2 353° K.

Lampes à vide, filament en cage d'écreuil,  
96 V, 0,32 A, 225 lm environ.

N.R.C.		lm <sub>(N.R.C.)</sub>		
506.....	2 359	231,08	— 0,06	— 0,05
507.....	2 357	1,04	— 0,04	— 0,02
508.....	2 359	0,99	— 0,02	— 0,05
509.....	2 359	0,92	+ 0,01	— 0,01
510.....	2 359	0,95	0	— 0,08
511.....	2 358	0,74	+ 0,09	— 0,04
		<hr/> 230,95 <i>a</i>		(après 5 min)

2 788° K.

Lampes à atmosphère gazeuse (fig. 5),  
97 V, 4,0 A, 5 700 lm environ.

N. R. C. 1007.....	2 766	2 685,2	+ 0,04	— 0,02
1008.....	2 768	85,8	+ 0,02	— 0,05
1009.....	2 777	85,9	+ 0,02	0
1010.....	2 778	81,5	+ 0,18	— 0,03
1011.....	2 773	93,7	— 0,27	— 0,08*
		<u>2 686,4</u> <i>a</i>		(après 7 min)

\* On a observé sur cette lampe une variation du courant de 0,13 % entre les deux séries de mesure au B. I. P. M.

a. Résultat exprimé en unité N. R. C. telle qu'elle résulte des déterminations absolues de la candela et du lumen effectuées de 1953 à 1955.

Les lampes d'intensité à 2 042° K ont été étalonnées au N. R. C. par comparaison, à l'aide d'un photomètre à deux photopiles au sélénium montées dos à dos et corrigées en sensibilité spectrale, à douze étalons secondaires de référence dont l'intensité lumineuse avait été déterminée directement par rapport à l'étalon primaire de lumière réalisé au N. R. C. en janvier-septembre 1953 (voir, par exemple, *J. Opt. Soc. Amer.*, 44, 1954, p. 88). L'incertitude de la candela représentée par les douze étalons de référence est estimée à 0,3 %.

Les lampes d'intensité à 2 353° K ont été comparées aux étalons secondaires à 2 042° K à l'aide d'une thermopile munie d'un filtre dont la transmission spectrale correspond à celle de l'observateur moyen C. I. E.

Au sujet du comportement des lampes durant les transports, mentionnons que les lampes à filament de carbone du groupe à 2 042° K, formées au Bureau International, n'ont pas montré de variations individuelles supérieures à 0,25 % entre les deux mesures effectuées au Bureau International après un transport accompagné Sèvres-Ottawa-Sèvres. Cette stabilité très satisfaisante est à noter, étant donné que les lampes du même type de trois autres Laboratoires ont montré des variations beaucoup plus importantes à la suite des transports.

TABLEAU V.

Conservatoire National des Arts et Métiers  
(Laboratoire d'Essais), France.

*Intensité lumineuse.*

2 042° K.

Lampes à filament de carbone, 100 V, 0,74 A, 15 cd environ.

Lampe N°	Tc	Groupe	B.I.P.M.-	Ampère
	(B.I.P.M. 1951)	B.I.P.M.	C.N.A.M.	B.I.P.M.-C.N.A.M.
(1)	(°K):	cd(C.N.A.M.)	(%)	(%)
(2)	(3)	(4)	(5)	(5)
C 93.....	2 021	12,275	+ 0,06	+ 0,08
C 98.....	2 043	266	+ 0,13	+ 0,03
C 103.....	2 021	302	- 0,16	+ 0,06
C 104.....	2 036	284	- 0,02	+ 0,10
		<hr/>		
		12,282		(après 5 min)

2 353° K.

Lampes à filament de tungstène, 110 V, 0,31 A, 25 cd environ.

WJ 74.....	2 356	22,337	- 0,10	+ 0,04
WJ 75.....	2 356	282	+ 0,14	+ 0,04
WJ 81.....	2 353	330	- 0,07	- 0,02
WJ 83.....	2 359	305	+ 0,04	+ 0,06
		<hr/>		
		22,314		(après 5 min)

*Flux lumineux.*

2 353° K.

Lampes à vide, filament en cage d'écureuil,  
98 V, 0,32 A, 228 lm environ.

		lm(C.N.A.M.)		
D 6.....	2 356	230,92	- 0,20	0
D 7.....	2 356	35	+ 0,05	+ 0,08
D 9.....	2 358	08	+ 0,16	+ 0,11
D 10.....	2 357	47	0	+ 0,09
		<hr/>		
		230,46		(après 5 min)

2 788° K.

Lampes à atmosphère gazeuse (fig. 4b),  
110 V, 1,7 A, 2 800 lm environ.

T 1.....	2 805	2 715,2	+ 0,06	-- 0,08
T 4*.....	2 801	—	—	—
T 6.....	2 801	19,7	-- 0,11	— 0,14
T 8.....	2 814	15,2	+ 0,05	— 0,13
		<u>2 716,7</u>		(après 6 min)

\* Lampe éliminée (instable au cours d'une série).

Tous les résultats de la colonne (3) sont exprimés dans les mêmes unités C. N. A. M. que celles des comparaisons internationales 1950-1952.

Les valeurs attribuées aux lampes du C. N. A. M. résultent de la comparaison visuelle de ces lampes aux groupes d'étalons fondamentaux établis en 1951 lors de la réalisation de l'étalon primaire (*Rev. Optique*, 1952, 31, p. 529).

TABLEAU VI.

Electrotechnical Laboratory, Japon.

*Intensité lumineuse.*

2 048° K (Échelle E. T. L.).

Lampes à filament de carbone, 96 V, 0,55 A, 12 cd environ.

Lampe N°	Tc (B.I.P.M. 1951) (°K).	Groupe B.I.P.M. cd <sub>(E.T.L.)</sub>	B.I.P.M.-E.T.L. (%).	Ampère B.I.P.M.-E.T.L. (%).
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
B. I. 5403.....	2 044	12,353	— 0,07	— 0,02
5404.....	2 042	337	+ 0,06	— 0,04
5409.....	2 045	352	— 0,06	— 0,02
5410.....	2 042	334	+ 0,08	— 0,03
		12,344 <i>a</i>		(après 5 min)
		12,373 <i>b</i>		

2 353° K.

Lampes à filament de tungstène (fig. 3),

105 V, 0,40 A, 30 cd environ.

B. I. 5414.....	2 347	22,376	+ 0,01	— 0,09
5415.....	2 349	357	+ 0,10	+ 0,02
5417.....	2 348	379	0	— 0,06
5420.....	2 349	403	— 0,11	— 0,03
		22,379 <i>a</i>		(après 5 min)
		22,517 <i>b</i>		

*Flux lumineux.*

2 353° K.

Lampes à vide, filament en cage d'écureuil,

100 V, 0,33 A, 270 lm environ.

B. I. T.	(m).	(n).	lm <sub>(E.T.L.)</sub>		
5403.....	2 378	2 386	231,10	— 0,02	— 0,02
5407.....	2 382	2 387	09	— 0,01	— 0,05
5408.....	2 382	2 387	03	+ 0,01	— 0,02
5410.....	2 383	2 388	00	+ 0,02	— 0,04
			231,06 <i>a</i>		(après 5 min)
			232,67 <i>b</i>		

(m) à l'E. T. L.; (n) au B. I. P. M.

2 788° K.

Lampes à atmosphère gazeuse (*fig. 4b*),  
105 V, 1,7 A, 2500 lm environ.

	(m).	(n).			
B. I. T. 3411.....	2 774	2 776	(2 709,2)*	—	—
3417.....	2 777	2 783	2 708,1	+ 0,12	+ 0,02
3418.....	2 775	2 776	11,7	— 0,01	— 0,06
3420.....	2 778	2 780	14,4	— 0,11	— 0,07
			2 711,4 <i>a</i>		(après 6 min)
			2 708,6 <i>b</i>		

(m) à l'E. T. L.; (n) au B. I. P. M.

\* Lampe éliminée (signes d'instabilité).

a. Résultat exprimé en unité E. T. L. telle qu'elle résulte des nouvelles déterminations absolues de la candela et du lumen effectuées à l'E. T. L. en 1955.

b. Résultat exprimé dans la même unité E. T. L. que celle de la comparaison internationale 1950-1952.

Toutes ces lampes ont été étalonnées par comparaison aux étalons secondaires de référence de l'E. T. L. à l'aide d'un photomètre à photopile au sélénium (mesures avant l'envoi des lampes au B. I. P. M.) et d'un photomètre à cellule photoémissive à vide Cs-Sb (mesures au retour des lampes); la sensibilité spectrale de ces deux récepteurs était corrigée de façon à la rendre analogue à celle de l'œil de l'observateur moyen.

La valeur des étalons de référence à 2 042° K de l'E. T. L. a été déterminée par comparaison visuelle (photomètre Lummer et Brodhun) au corps noir réalisé en avril-juin 1955; le facteur de transmission du nouveau système optique prisme-lentille avait été mesuré par la méthode de l'éclairage et par la méthode spectrophotométrique.

Le passage des étalons d'intensité à 2 042° K aux étalons à 2 353° K a été effectué en utilisant un verre bleu dont le facteur de transmission était calculé à partir des facteurs de transmission spectrale mesurés photoélectriquement par la même méthode que pour la comparaison internationale des verres colorés (voir *Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 1952, 23-B, p. P 104 et P 113).

La valeur des étalons de flux à 2 353° K a été déduite de celle des étalons d'intensité lumineuse à la même température de couleur, par la méthode d'intégration. Le passage aux étalons de flux à 2 788° K a été effectué par la méthode du verre coloré, en tenant compte des corrections dues à la sélectivité de la peinture et de la fenêtre de la sphère.

La comparaison de l'intensité lumineuse des lampes à la luminance du corps noir a été faite avec une incertitude estimée à  $\pm 0,2$  %; la détermination du facteur de transmission du système optique et la comparaison visuelle ont permis d'obtenir respectivement une erreur probable meilleure que le millième.

Les mesures des lampes à l'E. T. L. avant et après les comparaisons au

Bureau International, ont fait apparaître une diminution de 0,50 % de l'intensité lumineuse moyenne du groupe à 2 042° K, la variation individuelle maximum atteignant 0,8 % (lampe N° 5409). Malgré ces variations, on doit noter que l'intensité lumineuse moyenne attribuée finalement à ce groupe fournit, pour le groupe de référence du B. I. P. M., une valeur qui concorde à 0,1 % avec celle que fournit le groupe de lampes japonaises du nouveau type sans crochets-supports (voir Annexe P 11, tableau B, p. P 115).

Le flux lumineux du groupe à 2 353° K a diminué en moyenne de 0,44 % (variation maximum de 0,55 % pour la lampe N° 5410).

TABLEAU VII.

National Physical Laboratory, Royaume-Uni.

*Intensité lumineuse.*

2 036° K (Échelle N. P. L.).

Lampes à filament de tungstène (*fig. 2*),  
0,57 A, 59 V, 9 cd environ.

Lampe N°	Te	Groupe	B. I. P. M.-N. P. L. (%)	Volts
	(B. I. P. M. 1951) (°K)	B. I. P. M. cd <sub>(N. P. L.)</sub>		B. I. P. M.-N. P. L. (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
253 A 1955	2 033	12,344	— 0,19	+ 0,04
B	2 038	330	— 0,08	+ 0,07
C	2 037	305	+ 0,12	+ 0,13
D	2 037	318	+ 0,02	+ 0,06
E	2 034	298	+ 0,18	+ 0,14
F	2 035	325	— 0,04	+ 0,07
		12,320 <i>a</i>		(après 15 min)
		12,382 <i>b</i>		

2 338° K (Échelle N. P. L.).

Lampes à filament de tungstène (*fig. 2*),  
0,31 A, 98 V, 22 cd environ.

252 A 1955	2 342	22,404	— 0,10	0
B	2 340	385	— 0,01	+ 0,02
C	2 340	383	0	0
D	2 344	365	+ 0,08	+ 0,03
E	2 345	404	— 0,10	0
F	2 342	353	+ 0,13	+ 0,05
		22,382 <i>a</i>		(après 16 min)
		22,494 <i>b</i>		

*Flux lumineux.*

2 338° K (Échelle N. P. L.).

Lampes à vide, filament en cage d'écreuil,  
0,56 A, 85 V, 340 lm environ.

		lm <sub>(N.P.L.)</sub>		
304 A 1930	2 349	230,62	+ 0,31	+ 0,09
F	2 344	1,56	— 0,10	0
H	2 344	1,18	+ 0,06	+ 0,03
L 1933	2 346	1,51	— 0,08	+ 0,03
M 1930	2 338	1,84	— 0,22	— 0,02
R	2 343	1,28	+ 0,02	0
		<hr/>		
		231,33 <i>a</i>		(après 13 min)
		232,49 <i>b</i>		

2 791° K (Échelle N. P. L.).

Lampes à atmosphère gazeuse, filament soudé aux supports (*fig. 6b*),  
2 A, 100 V, 2 700 lm environ.

230 D 1934	2 797	2 691,7	— 0,11	0
E	2 795	84,6	+ 0,16	+ 0,005
F	2 791	85,8	+ 0,11	+ 0,015
G	2 784	89,9	— 0,04	0
H	2 792	90,4	— 0,06	— 0,015
I	2 791	90,4	— 0,06	0
		<hr/>		
		2 688,8 <i>a</i>		(après 7 min)
		2 702,3 <i>b</i>		

*a.* Résultat exprimé dans la même unité N. P. L. que celle de la comparaison internationale 1950-1952.

*b.* Résultat exprimé en unité N. P. L. telle qu'elle résulte des nouvelles mesures faites sur l'étalon primaire de lumière réalisé au N. P. L. en 1954-1956 (*voir* Annexe P 2, p. P 42) :

$$\text{Unité N. P. L. (1956)} = \text{Unité N. P. L. (1952)} \times 0,995.$$

TABLEAU VIII.

Institut de Métrologie, U. R. S. S.

*Intensité lumineuse.*

2 042° K.

Lampes à filament de tungstène, 70 V, 1,1 A, 19 cd environ.

Lampe N° (1)	Te (B. I. P. M. 1951) (°K.)	Groupe B. I. P. M. cd <sub>(I.M.)</sub>	B. I. P. M.-I. M. (%).	Ampère B. I. P. M.-I. M. (%).
	(2)	(3)	(4)	(5)
1-3.....	2 037	12,299	+ 0,10	+ 0,04
1-4.....	2 045	309	+ 0,02	+ 0,02
1-6.....	2 043	324	- 0,11	- 0,01
		12,311 <i>a</i>		(après 5 min)
		12,387 <i>b</i>		

2 353° K.

Lampes à filament de tungstène, 107 V, 0,55 A, 38 cd environ.

2-1.....	2 340	22,159	+ 0,06	+ 0,04
2-6.....	2 341	235	- 0,28	0
2-7.....	2 341	121	+ 0,23	0
		22,172 <i>a</i>		(après 5 min)
		22,307 <i>b</i>		

*Flux lumineux.*

2 353° K.

Lampes à vide, filament en cage d'écreuil,  
100 V, 0,55 A, 350 lm environ.

		lm <sub>(I.M.)</sub>		
Π -1-52.....	2 347	230,06	- 0,20	+ 0,06*
Π -1-54.....	2 349	29,53	+ 0,03	- 0,05
Π <sub>7</sub> -2-25.....	2 355	29,21	+ 0,17	- 0,13*
		229,60 <i>a</i>		(après 6 min)
		230,59 <i>b</i>		

\* Au cours d'une série au B. I. P. M. le courant de ces deux lampes a varié d'environ 0,2 % entre les mesures « aller » et « retour ».

2 788° K.

Lampes à atmosphère gazeuse, 105 V, 2,3 A, 3 300 lm environ.

II-1-69.....	2 787	2 727,0	- 1,00	+ 0,03
II-1-70.....	2 813	708,8	- 0,33	- 0,01*
II-1-83.....	2 809	664,1	+ 1,33	+ 0,05
		<u>2 700,0 a</u>		(après 7 min)
		2 716,1 b		

\* On a observé sur cette lampe une diminution du courant au cours des mesures, dans les deux séries.

a. Résultat exprimé en unité I. M. telle qu'elle résulte des nouvelles mesures faites sur l'étalon primaire de lumière réalisé à l'I. M. en 1956-1957 (voir Annexe P 3, p. P 46).

b. Résultat exprimé dans la même unité I. M. que celle des comparaisons internationales de 1948 et de 1950-1952 :

Unité I. M. (1957) = Unité I. M. (1948-1952) × 1,006 environ.

## 7. RÉSULTATS DES COMPARAISONS 1956-1957.

A partir des valeurs photométriques des « groupes de référence B. I. P. M. 1956 », exprimées en unités de chaque Laboratoire national (tableaux II à VIII, colonnes 3), nous avons :

1° Calculé la valeur relative des unités nationales d'intensité et de flux lumineux, telles qu'elles résultent des comparaisons 1956-1957 et tenant compte des nouvelles réalisations de l'étalon primaire effectuées depuis 1952 dans cinq des sept Laboratoires représentés (tableau IX).

2° Effectué un rapprochement entre les unités conservées depuis 1952 dans cinq Laboratoires, telles qu'elles résultent des comparaisons de 1950-1952 et de 1956-1957 (tableau X).

Ce dernier calcul a été rendu possible du fait (a) que ces cinq Laboratoires nous ont communiqué la valeur de leurs lampes pour la comparaison 1957 dans les mêmes unités que pour la comparaison de 1952 et (b) que les mesures de contrôle effectuées par le Bureau International entre ses groupes de référence 1956 et 1952 ont permis de connaître exactement la valeur des groupes de référence 1956 en « unité moyenne 1952 », puis en unité de chaque Laboratoire par application des résultats publiés en 1952 (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 1952, 23-B, p. P 98, tableau III).

Nous avons ainsi obtenu pour les groupes de référence B.I.P.M. 1956 deux valeurs, exprimées toutes deux dans la même unité nationale qu'en 1952, l'une résultant directement de la compa-

TABLEAU IX.

*Valeur relative de l'unité réalisée dans chaque Laboratoire national, la moyenne des sept Laboratoires représentés étant prise comme unité.*

Laboratoire.	Corps noir de référence.	Candela.			Lumen.		
		2 042° K.	2 353° K.	2 353° K.	2 353° K.	2 788° K.	
(1)	(2)	Groupe B. I. P. M. en unité nationale.	Valeur relative de l'unité.	Groupe B. I. P. M. en unité nationale.	Valeur relative de l'unité.	Groupe B. I. P. M. en unité nationale.	Valeur relative de l'unité.
Allemagne (P. T. B.-D. A. M. G.).....	1955/6	12,242	1,006 5	22,297	1,000 8	230,99	0,999 8
États-Unis d'Amérique (N. B. S.).....	1937/8	284	1,003 1	116	1,008 9	31,00	0,999 7
Canada (N. R. C.).....	1953	409	0,992 9	431	0,994 8	30,95	1,000 0
France (C. N. A. M.).....	1950/1	282	1,003 2	314	1,000 0	30,46	1,002 1
Japon (E. T. L.).....	1955	344	0,998 2	379	0,997 1	31,06	0,999 5
Royaume-Uni (N. P. L.).....	1954/6	382	0,995 1	494	0,982 0	32,49	0,993 3
U. R. S. S. (I. M.).....	1956/7	311	1,000 9	172	1,006 4	29,60	1,005 8
Moyennes (s).....		12,322		22,315		230,94	
							2 697,4

(Compte tenu de l'erreur expérimentale signalée à la Note p. P 103, les résultats concernant la valeur relative de la candela à 2 353° K devaient être diminués de 1,0 % pour le N. B. S. et augmentés de 0,16 % pour les six autres Laboratoires).

raison aux étalons nationaux 1956-1957, l'autre déduite indirectement des résultats de la comparaison de 1952 comme il est dit ci-dessus. Si l'on admet que les groupes de référence B.I.P.M. sont restés stables depuis 1952 et si les Laboratoires n'ont pas apporté eux-mêmes de changement volontaire ou involontaire à la grandeur de leurs unités, ces deux valeurs devraient conduire pour chaque Laboratoire au même résultat, aux erreurs près (0,2 à 0,3 %). Ces résultats, rassemblés au tableau X, permettent ainsi de juger, par l'examen des différences  $\Delta$ , du degré de conservation et de reproductibilité des unités photométriques entre deux comparaisons internationales.

Les graphiques de la figure 1 résument les résultats de cette troisième comparaison internationale.

TABLEAU X.

*Conservation des unités entre 1952 et 1957.*

Valeurs des « groupes de référence B. I. P. M. 1956 » en unité 1952 de chaque Laboratoire national représentée par les lampes envoyées pour les comparaisons de 1950-1952 et de 1956-1957.

$\Delta$ , variation apparente de la grandeur de l'unité nationale (1957) — (1952).

	Candela.				Lumen.			
	2 042° K.	$\Delta$ (%)	2 353° K.	$\Delta$ (%)	2 353° K.	$\Delta$ (%)	2 788° K.	$\Delta$ (%)
N. B. S.	1957.....	12,284	22,116	231,00	2 700,8	+ 0,8		
	1952.....	387	400	0,95	22,3			
C. N. A. M.	1957.....	12,242	22,314	230,46	2 716,7	+ 0,1		
	1952.....	278	302	28,84	19,5			
E. T. L.	1957.....	12,373	22,517	232,67	2 708,6	+ 0,1		
	1952.....	307	422	1,85	11,4			
N. P. L.	1957.....	12,320	22,382	231,33	2 688,8	+ 0,15		
	1952.....	379	411	29,87	92,6			
I. M.	1957.....	12,387	22,307	230,59	2 716,1	+ 0,3		
	1952.....	419	328	2,58	25,0			
Moyennes.	1957.....	12,329	22,327	231,21	2 706,2			
	1952 (y)....	12,354	22,373	230,82	2 714,2			
	1952-1957(x).	12,342	22,350	231,01	2 710,2			

\* Voir la Note en fin d'Annexe, p. P 103; compte tenu de l'erreur signalée dans cette Note, la moyenne  $x$  pour la candela à 2 353° K serait augmentée de 0,1 % environ.

## 8. COMMENTAIRES ET CONCLUSIONS.

*a. Précision des comparaisons internationales.* — Les écarts  $\Delta$  du tableau X, qui sont les variations apparentes des unités nationales de 1952 entre la comparaison de 1952 et celle de 1957, fournissent une indication sur la précision des comparaisons photométriques internationales. Cette précision a été estimée à 0,3 %, surtout à cause des variations des lampes. Sur les vingt valeurs de  $\Delta$ , quatorze sont inférieures ou égales à 0,5 %, mais six sont excessives et dépassent 0,6 %.

L'un de ces écarts anormaux a été expliqué par un changement réel du lumen à 2 353° K du N. P. L.; deux autres ont été attribués à la fidélité insuffisante du groupe d'étalons de flux à 2 353° K du C. N. A. M. et de l'I. M.; la même explication est valable pour la candela à 2 042° K du N. B. S. (*cf.* le tableau III et les commentaires qui l'accompagnent); il ne reste que les écarts inexplicables sur la candela à 2 353° K et le lumen à 2 788° K du N. B. S. (*Voir la Note en fin d'Annexe, p. P 103*).

Il se confirme donc que la précision des comparaisons est limitée principalement par la stabilité des lampes transportées.

*b. Déterminations de la candela.* — Entre la comparaison internationale de 1952 et celle de 1957, cinq Laboratoires ont redéterminé la candela par l'étalon primaire. Les cinq résultats nouveaux s'échelonnent assez régulièrement dans un domaine total de 1,36 %. En tenant compte de ces nouveaux résultats, la candela moyenne des sept Laboratoires serait cependant à peine plus grande (0,26 %) que la candela moyenne résultant de la comparaison de 1952.

*c. Passage de la candela à 2 042° K aux autres unités.* — Entre la comparaison internationale de 1952 et celle de 1957, les mesures nécessaires à ce passage ont été effectuées par trois Laboratoires (P. T. B., N. R. C., E. T. L.). En général, les écarts entre Laboratoires, pour chacun de ces passages, restent comme autrefois entre les limites de  $\pm 0,5$  % environ.

Une exception notable est la grandeur élevée du lumen à 2 788° K obtenu récemment en Allemagne, qui se situe à 1,85 % au-dessus du lumen moyen obtenu en 1952. La détermination récente du lumen à 2 788° K au Canada est aussi supérieure, de 1,0 %, à la moyenne de 1952. En conséquence, compte tenu de toutes les déterminations récentes, le lumen moyen à 2 788° K des sept Laboratoires augmenterait de 0,6 % par rapport au lumen moyen de 1952.

La candela à 2 353° K augmenterait de 0,26 % (0,1 % en

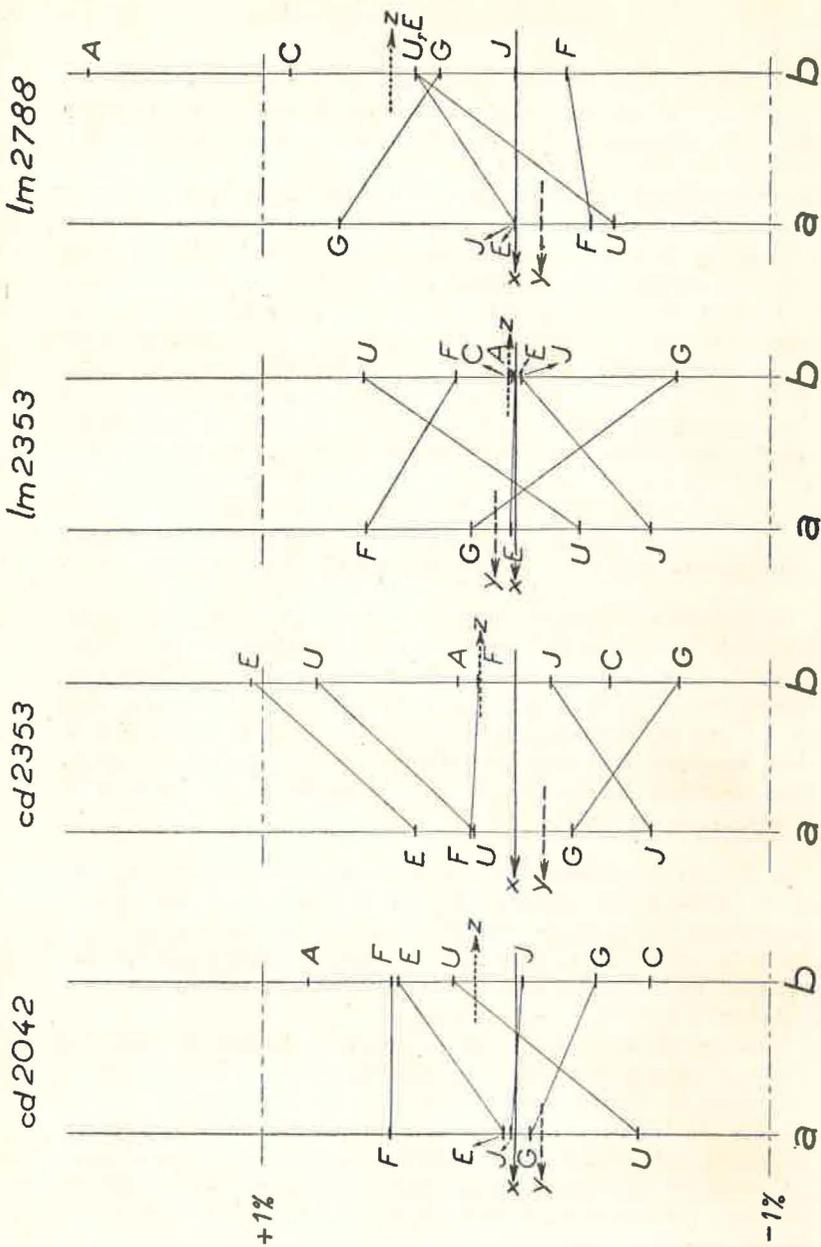


Fig. 1.

Fig. 1. — Valeur relative des unités nationales.

a. Valeur relative des « unités 1952 » représentées par les groupes de lampes envoyés pour les comparaisons 1952 et 1957, les valeurs attribuées à chaque groupe national étant exprimées en « unités 1952 » pour les deux comparaisons.

$x$ , moyenne des « unités 1952 » tenant compte des groupes envoyés en 1952 et en 1957;

$y$ , moyenne des « unités 1952 » tenant compte seulement des groupes envoyés en 1952.

b. Valeur relative, par rapport à  $x$ , des unités nationales représentées par les groupes de lampes envoyés pour la comparaison 1957, et tenant compte des mesures sur l'étalon primaire postérieures à 1952.

$z$ , moyenne 1957 tenant compte des mesures sur l'étalon primaire postérieures à 1952.

A, Allemagne; E, États-Unis d'Amérique; C, Canada; F, France; J, Japon; G, Royaume-Uni; U, U. R. S. S.

*N. B.* — Pour la candela à 2 353° K, les valeurs seraient à modifier conformément aux remarques qui suivent les tableaux IX et X.

---

tenant compte de la remarque qui suit le tableau IX), et le lumen à 2 353° K serait pratiquement inchangé (4).

*d. Constatations tirées des résultats des comparaisons de 1956-1957.*

— Les déterminations absolues récentes des unités photométriques ne tendraient pas à diminuer les écarts entre les unités nationales d'intensité et de flux lumineux; ces écarts atteindraient au maximum 1,36 %, 1,7 % (1,44 % en tenant compte de la remarque qui suit le tableau IX), 1,25 % et 1,9 %. Il ne semble pas que l'on puisse connaître actuellement les unités à mieux que 1 %, à cause des difficultés rencontrées dans la réalisation de l'étalon primaire, et aussi dans le passage aux autres unités à partir de la candela à 2 042° K.

La précision des comparaisons internationales est à peine suffisante; la cause principale est que les lampes transportées ne sont pas assez fidèles. Il y a là un problème à résoudre pour que les comparaisons internationales, qui demandent beaucoup de travail, fournissent des résultats plus certains.

*e. Grandeur des unités photométriques en usage dans les Laboratoires nationaux.* — Avant les comparaisons de 1956-1957,

---

(4) Rappelons que le lumen à 2 353° K de l'Allemagne était représenté par deux groupes de lampes de types différents (voir tableau II). Un seul groupe a été retenu pour le calcul des résultats du tableau IX; l'autre groupe donnait une valeur supérieure de 2%; ce désaccord n'est pas expliqué.

on espérait que les nouvelles déterminations absolues seraient concordantes, et que les Laboratoires nationaux adopteraient peut-être les moyennes internationales sans que le changement dépasse beaucoup l'incertitude de leurs mesures absolues. En attendant les résultats de ces comparaisons, ces Laboratoires ont continué d'utiliser les unités anciennes de 1952. Lorsque les résultats furent connus, on a discuté à la quatrième session du Comité Consultatif de Photométrie, puis par correspondance (Annexe P 9), sur l'opportunité de l'adoption des unités moyennes par les Laboratoires nationaux.

A la date où ces lignes sont écrites (mars 1958), les unités de l'Allemagne, de la France et du Japon ont été changées afin de devenir égales à la nouvelle moyenne  $x$  (tableau X et *fig. 1 a*) des unités en vigueur en 1952 dans les cinq Laboratoires des États-Unis, de la France, du Japon, du Royaume-Uni et de l'U. R. S. S.

Les unités des Laboratoires des États-Unis, du Royaume-Uni et de l'U. R. S. S. sont celles qu'ils utilisaient en 1952; les unités du Canada sont celles que le N. R. C. a obtenues par ses propres déterminations absolues en 1953. Il a été reconnu que ces quatre derniers Laboratoires seraient libres de changer ou non leurs unités.

TABLEAU XI.

*Unités nationales en vigueur en mars 1958.*

Différences, en pour cent, par rapport à la nouvelle moyenne ( $x$ ) des unités de 1952.

Laboratoires.	Candela.		Lumen.	
	2 042° K.	2 353° K.	2 353° K.	2 788° K.
P. T. B.-D. A. M. G. ....	0	0	0	0
N. B. S. ....	+ 0,1	+ 0,4	0	0
N. R. C. ....	- 0,5	- 0,4	0	+ 0,9
C. N. A. M. ....	0	0	0	0
E. T. L. ....	0	0	0	0
N. P. L. ....	- 0,1	- 0,2	+ 0,2	+ 0,7
I. M. ....	- 0,5	+ 0,15	- 0,3	- 0,4
Moyenne. ....	- 0,1	0	0	+ 0,2
B. I. P. M. (ancienne moyenne ( $y$ ) des unités 1952). ....	- 0,1	- 0,1	+ 0,1	- 0,15

Compte tenu de l'erreur signalée dans la Note ci-dessous et de sa répercussion sur la moyenne  $x$ , les résultats concernant la candela à 2 353° K devraient être diminués d'environ 0,5 % pour le N. B. S. et augmentés d'environ 0,1 % pour tous les autres Laboratoires.

En conséquence, le tableau XI, qui indique les différences entre les unités des Laboratoires, serait à modifier si un ou plusieurs de ces quatre Laboratoires décidaient un changement.

Quant au Bureau International, il conserve provisoirement les anciennes moyennes  $y$  résultant des comparaisons de 1952, très voisines des nouvelles moyennes  $x$  adoptées par l'Allemagne, la France et le Japon.

(Mars 1958.)

*Note ajoutée aux épreuves :*

De nouvelles mesures de contrôle effectuées par le National Bureau of Standards sur ses étalons d'intensité lumineuse à 2 353° K ayant participé aux comparaisons internationales de 1956-1957, ont montré que les valeurs attribuées aux lampes envoyées en 1955 au B. I. P. M. pour représenter la grandeur de la candela N. B. S. à 2 353° K étaient erronées d'environ — 1,2 % (*N. B. S. Report 5959* du 10 juillet 1958). La différence  $\Delta$  de + 1,3 % du tableau X, p. P 98, obtenue au B. I. P. M. pour la candela N. B. S. à 2 353° K, se trouve ainsi expliquée : cette différence résulte d'une erreur expérimentale et non d'un changement réel de l'unité N. B. S. entre les comparaisons de 1952 et de 1957.

Un contrôle similaire est en cours au N. B. S. sur ses étalons d'intensité lumineuse à 2 042° K, afin d'essayer de trouver une explication à la différence de + 0,8 % du tableau X.



## ANNEXE P 9.

Bureau International des Poids et Mesures.

---

### NOTE SUR L'UNIFICATION DES UNITÉS PHOTOMÉTRIQUES (1)

---

Après avoir constaté que le corps noir au point de solidification du platine, étalon primaire photométrique, n'apporterait une précision suffisante à l'unification souhaitée des unités photométriques dans le monde qu'après de nouvelles études, plusieurs Laboratoires nationaux ont accepté d'ajuster leurs étalons, pendant cette période d'attente, sur une valeur moyenne internationale. Dans sa session de septembre 1957, le Comité Consultatif de Photométrie a manifesté sa préférence pour la moyenne des « unités 1952 », unités qui n'ont été changées jusqu'à présent par aucun Laboratoire.

Cette Note a pour but de préciser les valeurs relatives de ces unités, calculées d'après les résultats des comparaisons photométriques internationales effectuées en 1952 et en 1957.

Le tableau X de l'Annexe P 8 (p. P 98) contient les résultats expérimentaux qui sont à la base de ce calcul. Rappelons que les nombres de ce tableau sont les valeurs de l'intensité ou du flux lumineux des groupes de référence du Bureau International, exprimées en unités de chaque Laboratoire; la ligne « 1952 » résulte des mesures sur les lampes envoyées pour la comparaison internationale de 1952, et la ligne « 1957 » résulte de la comparaison de 1956-1957, les *valeurs attribuées aux lampes envoyées au Bureau International pour ces deux comparaisons étant exprimées avec les mêmes unités conservées par le Laboratoire*. La moyenne de ces deux lignes, qui est la meilleure représentation

---

(1) Cette Note rassemble les renseignements contenus dans les deux lettres-circulaires (28 octobre 1957 et 6 mars 1958) du Bureau International, qui ont été adressées aux Membres du Comité Consultatif de Photométrie et aux Laboratoires nationaux.

des « unités 1952 » de chaque Laboratoire, a servi au calcul de l'unité moyenne.

Du tableau X on déduit les résultats du tableau A, qui donne les écarts entre les unités 1952 de chaque Laboratoire (telles qu'elles résultent de la moyenne des comparaisons de 1952 et de 1957) et la moyenne ( $\bar{x}$ ) des unités des cinq Laboratoires représentés à ces deux comparaisons.

TABLEAU A. (1).

*Unité nationale 1952 — Unité moyenne ( $\bar{x}$ ).*

Laboratoire.	Candela.		Lumen.	
	2 042° K (%).	2 353° K (%).	2 353° K (%).	2 788° K (%).
N. B. S.....	+ 0,1	+ 0,4	0	0
C. N. A. M.....	+ 0,5	+ 0,2	+ 0,6	- 0,3
E. T. L.....	0	- 0,5 <sub>3</sub>	- 0,5	0
N. P. L.....	- 0,1	- 0,2	+ 0,2	+ 0,7
I. M.....	- 0,5	+ 0,1 <sub>5</sub>	- 0,3	- 0,4

Deux Laboratoires, le P. T. B.-D. A. M. G. et le N. R. C., n'étaient pas représentés aux comparaisons de 1952; le tableau B indique la différence entre l'unité résultant de leur plus récente réalisation de l'étalon primaire, et la même unité moyenne ( $\bar{x}$ ) qu'au tableau A.

TABLEAU B (1).

Laboratoire.	Candela.		Lumen.	
	2 042° K (%).	2 353° K (%).	2 353° K (%).	2 788° K (%).
P. T. B.-D. A. M. G.....	+ 0,8	+ 0,2	0	+ 1,7
N. R. C.....	- 0,5	- 0,4	0	+ 0,9

Les Laboratoires qui, suivant l'invitation du Comité Consultatif de Photométrie de 1957, acceptent de changer leurs unités afin de les ajuster sur la moyenne convenue, trouveront dans les tableaux A ou B la valeur des changements à apporter à leurs unités. Par exemple, un écart de + 0,5 % signifie que l'unité correspondante doit être diminuée de 0,5 % pour devenir égale à l'unité moyenne.

Au cours de la discussion sur l'unification des unités photométriques à la session 1957 du Comité Consultatif de Photo-

(1) Pour la candela à 2 353° K, voir la remarque qui suit le tableau XI, p. P 102.

métrie, on a exprimé l'opinion que l'adoption d'une unité moyenne par les Laboratoires nationaux serait un pas en arrière. Or, d'après la « Résolution concernant le changement des unités photométriques » (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 20, 1946, p. 119), et en particulier d'après le paragraphe 5 de cette Résolution, il est clair que le Comité International a bien prévu les incertitudes de l'étalon primaire, et qu'il a expressément recommandé que les valeurs assignées aux étalons secondaires conservés dans chacun des Laboratoires nationaux soient exprimées au moyen de l'unité moyenne. Les Laboratoires qui accepteront l'unité moyenne feront donc plutôt un pas en avant dans la mise en application de la Résolution du Comité International, également approuvée en octobre 1948 par la Neuvième Conférence Générale des Poids et Mesures.

A la suite de la diffusion de ces renseignements aux sept Laboratoires nationaux, six d'entre eux nous ont fait part de leur position; une seule réponse, celle du National Bureau of Standards, ne nous était pas encore parvenue à la date d'établissement de cette Note (mars 1958).

Trois Laboratoires ont décidé de changer leurs unités photométriques sur la base proposée; ce sont les Laboratoires de l'Allemagne, de la France et du Japon.

Trois Laboratoires accepteraient, provisoirement, si le changement était effectué dans tous les Laboratoires; voici leur réponse détaillée.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, Canada (4 décembre 1957).

« Nous avons soigneusement songé à la question soulevée dans votre lettre du 28 octobre 1957 au sujet des étalons nationaux photométriques. Nous ne sommes pas entièrement convaincus qu'il y aura une amélioration de grande valeur de la concordance de ces étalons après avoir fait les corrections suggérées par votre Note. Les erreurs et les incertitudes des expériences nous semblent au moins de la même grandeur, à peu de chose près, que les corrections. Pour ces raisons nous ne tenons pas à changer maintenant nos étalons. D'autre part, si nous sommes seuls de cet avis nous nous conformerons. Peut-être pouvons-nous remettre la décision à l'occasion de la visite prochaine de Mr Terrien. Pour nous la situation n'est pas pressante parce que nous n'étalonnons pas beaucoup de lampes pour les autres. »

Signé : L. E. HOWLETT.

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY, Royaume-Uni (11 décembre 1957).

« Notre Laboratoire acceptera d'adopter les unités et l'échelle moyenne proposées, à deux conditions.

« La première est que l'ensemble des six autres Laboratoires mentionnés aux tableaux A et B acceptent de faire de même. Nous pensons que cette condition est essentielle, pour des raisons pratiques. Elle semble aussi raisonnable, si l'on considère la petitesse des différences existant actuellement entre les échelles photométriques des cinq Laboratoires du tableau A.

« La seconde condition est que nous devrions conserver la liberté de nous retirer de cet accord à l'occasion d'une des réunions quadri-annuelles du Comité Consultatif de Photométrie, si, en conséquence de nouvelles mesures ou de nouvelles recherches, nous considérons que les unités moyennes internationales en vigueur à ce moment diffèrent sensiblement des valeurs absolues les mieux établies, et si nous avons alors le désir de nous retirer.

« Si un accord unanime est effectivement obtenu, je serais heureux de recevoir vos informations, et de savoir la date proposée pour l'adoption des unités moyennes internationales dans notre Laboratoire. »

*Signé* : D. SAYCE.

INSTITUT DE MÉTROLOGIE DE L'U. R. S. S. (27 décembre 1957).

« L'Institut de Métrologie a soigneusement examiné pour la seconde fois la question de l'unification des unités lumineuses et nous sommes d'avis, comme auparavant, qu'en passant aux valeurs moyennes il y a un certain danger d'enfreindre le principe rigoureux de la reproductibilité de l'étalon.

« Le but du choix du corps noir à la température de solidification du platine comme étalon lumineux a été notamment l'établissement d'un système unique et stable pour les unités lumineuses. Les divergences constatées à présent sur les étalons secondaires des Laboratoires nationaux prouvent seulement que jusqu'ici la précision actuelle de la reproductibilité de l'étalon lumineux n'a pas atteint les valeurs qui ont été déterminées dans ces Laboratoires. Dans ces conditions, ce qui est le plus désirable c'est d'activer les recherches sur l'étalon primaire dans le but d'augmenter sa reproductibilité, et rapprocher en fait les unités lumineuses des différents pays. De plus, il est nécessaire d'effectuer des recherches étendues sur tous les groupes d'étalons secondaires pour préciser le passage de la candela au lumen et le passage des unités lumineuses au rayonnement de différentes compositions spectrales.

« En partant de ce qui précède, l'Institut de Métrologie ne trouverait pas juste d'accepter l'unification des unités lumineuses. Cependant, si l'on tient compte des résolutions prises autrefois par les organisations internationales, de la durée des recherches futures quant au corps noir (la valeur moyenne internationale peut augmenter un peu la précision de la détermination de la candela en attendant la fin de ces recherches), aussi bien que de la grandeur assez insignifiante en pratique des écarts entre les unités lumineuses de l'U. R. S. S. et cette moyenne, l'Institut de Métrologie consent à adopter pour le présent la valeur moyenne internationale, si tous les Laboratoires nationaux s'y conforment.

« Dans ce cas nous ne refusons pas d'accepter pour le moment la valeur moyenne, proposée à la quatrième session du Comité Consultatif sur la base des résultats de 1952 et précisée dans la lettre-circulaire du Bureau International du 28 octobre 1957. L'Institut de Métrologie propose en même temps de fixer une date précise pour passer aux valeurs moyennes internationales des unités lumineuses, par exemple à partir du 1<sup>er</sup> juin ou du 1<sup>er</sup> avril 1958, afin d'assurer la publication préliminaire de cette décision.

« D'autre part, l'Institut de Métrologie trouve que cette décision n'aura qu'une importance provisoire et garde le droit de reprendre cette question quand les recherches futures sur l'étalon primaire seront achevées. »

*Signé* : V. O. AROUTUNOV.

La décision à prendre à la suite des réponses ci-dessus n'est pas suffisamment évidente pour que le Bureau International puisse la formuler de sa propre autorité. On se trouve en présence de trois acceptations sans réserves, et de trois acceptations assorties d'une condition d'unanimité. En ce qui concerne le N. B. S., et bien que sa réponse ne soit pas encore connue, on se souvient des circonstances particulières à ce Laboratoire, exprimées par l'extrait suivant du procès-verbal de la deuxième séance du Comité Consultatif de Photométrie de 1957 (p. P 60) : « ... les récentes comparaisons du Bureau International ont fait apparaître des écarts sensibles entre les unités du N. B. S. représentées par les groupes de lampes envoyés en 1952 et en 1956, alors que la valeur de chacun de ces groupes était exprimée dans la même unité qui est restée inchangée depuis 1952; de nouvelles expériences s'imposent donc » (2). Le résultat des comparaisons photométriques étant incertain pour le N. B. S., il est douteux que ce Laboratoire accepte un changement.

Les six réponses reçues mettent bien en lumière le désir unanime de parvenir à l'uniformité mondiale des mesures photométriques, et de réaliser cette uniformité sur la base des définitions internationales. Mais les incertitudes expérimentales, en partie inexplicables, des mesures absolues et des comparaisons internationales, conduisent à des divergences d'opinion sur les moyens pratiques d'atteindre ce but.

Après un examen attentif de la situation actuelle et de tous les arguments exprimés, le Bureau International suggère que chacun des quatre Laboratoires (N. R. C., N. P. L., I. M., N. B. S.) « garde la liberté d'agir pour son propre compte », comme l'a dit déjà Mr le Président Otero à la deuxième séance du Comité Consultatif de Photométrie de 1957 (p. P 22). Nous sommes

---

(2) Voir la Note à la fin de l'Annexe P 8, p. P 103.

convaincus qu'en tenant compte de ses propres mesures absolues et de leurs incertitudes, des mesures absolues faites dans les autres Laboratoires, et de la décision déjà prise par l'Allemagne, la France et le Japon d'adopter la moyenne proposée, chacun de ces quatre Laboratoires, s'il apporte un changement à la valeur de ses unités, le fera dans le sens d'un progrès, soit vers l'unification internationale, soit vers une meilleure conformité aux définitions, ou les deux simultanément.

(Mars 1958.)

*Note ajoutée aux épreuves :*

En juin 1958, une nouvelle lettre du National Physical Laboratory, communiquée aux Membres du Comité Consultatif de Photométrie le 16 juillet 1958, nous a fait part de la décision définitive de ce Laboratoire sur la question de l'unification des unités photométriques.

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY, Royaume-Uni (4 juin 1958).

« Après votre lettre-circulaire du 6 mars 1958, vous désirez maintenant savoir ce que nous décidons en ce qui concerne l'échelle photométrique conservée à notre Laboratoire et la proposition d'une échelle internationale unifiée.

« Nous avons décidé de ne pas changer et de ne pas ajuster en quoi que ce soit nos unités photométriques, pour le moment. Elles continueront donc, dans les écrits, à différer des unités moyennes proposées des quantités indiquées au tableau A, p. P 105. Cependant, notre opinion est que les différences (pour notre Laboratoire) sont toutes assez faibles pour être explicables par des fluctuations statistiques; elles se situent dans le domaine des erreurs expérimentales inhérentes aux intercomparaisons effectuées par les méthodes les meilleures et les plus modernes. C'est pourquoi une modification de nos unités, pour les rendre égales aux unités moyennes proposées, n'aurait guère de signification réelle ou permanente. Ceci étant, il semble raisonnable et en même temps plus commode de ne rien changer.

« Nous confirmons aussi que nous ne faisons pas le changement d'ensemble de notre échelle qui la rendrait conforme à notre récente redétermination de l'unité primaire, pour des raisons tout à fait semblables. Cette redétermination, à notre avis, n'a pas conduit à une valeur plus précise de l'unité primaire. L'utilité principale de nos expériences, jointes à celles des autres Laboratoires, a été de révéler les causes d'erreurs possibles et leur importance dans la réalisation de l'étalon primaire, sous sa forme originale.

« En bref, bien que nous soyons fermement partisans du principe d'une échelle moyenne unifiée (et nous serions précisément disposés à l'adopter lorsqu'il y aurait pour cela de bonnes raisons), nous ne voyons aucun intérêt à faire des modifications pour tenir compte de petites différences qui peuvent très bien être fortuites

et se présenter vraisemblablement de nouveau à chaque comparaison internationale.

« Combien de temps peut-on conserver les unités photométriques par des lampes étalons à filament de tungstène, sans autre référence à un étalon primaire, c'est là évidemment une question qui se pose. Nous espérons toutefois avoir réussi, avant que cette question devienne urgente, à reproduire l'unité photométrique primaire par la méthode radiométrique dont nous avons parlé à la session du Comité Consultatif de Photométrie de septembre 1957. »

*Signé* : G. B. B. M. SUTHERLAND.

M<sup>me</sup> V. E. Kartachevskaia, de l'Institut de Métrologie de l'U.R.S.S., a confirmé à Mr Terrien, au cours d'une conversation à Leningrad en août 1958, que cette prise de position du N.P.L. rejoignait également les vues de l'Institut de Métrologie sur cette question.

En conclusion, la situation présente des unités photométriques nationales et des unités adoptées par le Bureau International est celle que nous avons résumée dans le tableau XI de l'Annexe P 8, p. P 102.

NOUVEAU TYPE  
DE LAMPES ÉTALONS D'INTENSITÉ LUMINEUSE

Par R. TAZIMÉ.

Des étalons secondaires d'intensité lumineuse à 2 042 et 2 353° K ont été construits sous la forme de lampes à incandescence, à filament de tungstène monté en M au centre d'une ampoule sphérique en verre clair (voir Annexe P 8, fig. 7a et 7b).

Les principales caractéristiques de construction de ces lampes sont les suivantes :

1° Pour éviter le contact instable du filament sur ses supports, aucun crochet n'est utilisé dans les lampes. Cela permet de diminuer les dommages au cours des transports ou par chocs mécaniques.

2° Le filament, en forme de M, ne se déforme pas pendant une longue durée d'utilisation. Le traitement par chauffage à l'incandescence du filament dans un gaz a été répété plusieurs fois, jusqu'à ce que son indéformabilité par le chauffage soit confirmée.

3° Le vieillissement du filament a été fait sur toute sa longueur. Dans les lampes fabriquées habituellement les deux extrémités du filament ne sont pas, en général, suffisamment recristallisées, même après un vieillissement de longue durée; il s'ensuit quelques doutes sur la stabilité de l'intensité lumineuse pendant l'utilisation des lampes. Pour ces lampes de type nouveau, la longueur du filament a été prise suffisamment grande aux deux jambages extrêmes du M et le filament a été vieilli, en cours de fabrication, dans une ampoule préliminaire. Après un vieillissement convenable, le filament a été retiré de l'ampoule préliminaire et les longueurs en excès aux jambages ont été éliminées; le filament était ensuite monté dans l'ampoule définitive.

4° Les ampoules destinées aux lampes ont été soigneusement sélectionnées au point de vue photométrique. Les variations de l'intensité lumineuse des lampes autour de la direction normale

d'utilisation sont faibles, ainsi que l'a montré le contrôle effectué au Bureau International des Poids et Mesures (voir Annexe P 11, § 1, p. P 113).

5° Le montage du filament dans l'ampoule sphérique a été surveillé, de façon telle que l'image du filament formée par réflexion sur la paroi de l'ampoule se trouve pratiquement dans le même plan que le filament.

6° Les culots de ces lampes sont des culots à broches. L'intensité du courant électrique de ces lampes étant assez élevée, il serait préférable, pour la photométrie, de mesurer la différence de potentiel aux bornes des lampes, en prenant soin d'éviter la chute de potentiel provoquée par la résistance de contact entre le culot et la douille.

Deux groupes de lampes à 2 042° K et 2 353° K de ce nouveau type ont été présentés à la troisième comparaison internationale des unités photométriques. La stabilité de leur intensité lumineuse et de leur courant électrique a été remarquable; les mesures des lampes avant leur envoi au Bureau International des Poids et Mesures et après leur retour à l'Electrotechnical Laboratory ont fait apparaître des variations moyennes de l'intensité lumineuse atteignant seulement 0,18 % pour le groupe à 2 042° K et 0,05 % pour le groupe à 2 353° K. Ces variations sont les plus faibles que nous ayons observées jusqu'ici.

Toutes ces lampes ont été fabriquées par la « Tokyo Shibaura Electric Company ». Leurs spécifications nominales sont :

Température de couleur.	Intensité lumineuse.	Volts.	Ampères.	Diamètre de l'ampoule.
2 042° K	15 cd	10	5,5	152 mm
2 353	30	13	3,3	125

(Juillet 1957.)

## ANNEXE P 11.

Bureau International des Poids et Mesures.

### MESURES EFFECTUÉES SUR LE NOUVEAU TYPE D'ÉTALONS SECONDAIRES D'INTENSITÉ LUMINEUSE DE L'ELECTROTECHNICAL LABORATORY, TOKYO

Par J. TERRIEN, H. MOREAU et J. BONHOURE.

En même temps que ses deux groupes d'étalons d'intensité lumineuse (groupes BI) <sup>(1)</sup> pour la troisième comparaison des étalons photométriques nationaux, l'Electrotechnical Laboratory a également soumis au Bureau International deux groupes (DS) de quatre lampes d'intensité lumineuse du nouveau type décrit à l'Annexe P 10 : un groupe à 2 042° K et un groupe à 2 353° K représentés respectivement par les figures 7a et 7b de l'Annexe P 8.

Ces deux groupes de lampes ont été comparés en octobre-novembre 1956 aux deux « groupes de référence B. I. P. M. 1956 » utilisés pour la troisième comparaison internationale. Les appareils, méthodes et conditions de mesure employés étaient les mêmes que pour la comparaison internationale (Annexe P 8).

1. Répartition de l'intensité lumineuse des lampes DS autour de la direction normale d'utilisation.— Le contrôle photoélectrique de la répartition de l'intensité lumineuse de chaque lampe autour de la direction normale d'utilisation a été effectué dans un domaine angulaire de  $\pm 4$  grades; dans ce domaine, les variations d'intensité lumineuse n'ont pas dépassé 0,2 %, sauf pour une lampe (DS 5407). Dans les limites d'incertitude de la mise en place des lampes ( $\pm 0,5$  grade), les variations sont restées inférieures à 0,1 %.

---

<sup>(1)</sup> Lampes à ampoule conique, filament de carbone en « épingle à cheveux » (2 042° K) et filament de tungstène en « dents de scie » (2 353° K), voir *Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 1952, 23-B, p. P 16, fig. 1 et ce volume, Annexe P 8, fig. 3.

Ces faibles variations sont du même ordre de grandeur que celles que le Bureau International a observées sur les meilleures lampes en sa possession, dont les ampoules ont été préalablement sélectionnées avant montage du filament.

2. *Intensité lumineuse.* — Chaque « groupe de référence B. I. P. M. 1956 » a été comparé au groupe DS de même température de couleur nominale. Les résultats obtenus (tableau A, colonne 3) sont la moyenne de deux séries de mesures photoélectriques, l'une avec un photomètre à photopile au sélénium et application de la loi en  $\frac{1}{d^2}$ , l'autre avec un photomètre linéaire à cellule à vide au Cs-Sb (type Gillod-Boutry); les différences entre ces deux séries de mesures étaient en moyenne de 0,1 % et atteignaient au maximum 0,2 % (lampes DS 5431 et 5432).

La colonne 4 donne pour chaque lampe les écarts, en pour cent, entre les valeurs photométriques mesurées au B. I. P. M. et les valeurs moyennes obtenues à l'E. T. L. avant et après la mesure des lampes à Sèvres, la moyenne des lampes de chaque groupe étant prise comme unité. L'accord est très satisfaisant (en particulier pour le groupe à 2 042° K), aucun écart n'atteignant 0,1 %.

TABLEAU A.

*Étalons à 2 042° K.*

Lampe N°	Tc	Groupe	B. I. P. M.-E. T. L. (%)
	(Échelle B. I. P. M. 1951) (°K).	B. I. P. M. cd <sub>(E.T.L.)</sub>	
(1)	(2)	(3)	(4)
DS 5407.....	2 047	12,359	0
5418.....	2 047	357	+ 0,02
5419.....	2 046	358	+ 0,01
5420.....	2 046	363	- 0,03
		12,359	

*Étalons à 2 353° K.*

DS 5424.....	2 346	22,381	0
5430.....	2 345	377	+ 0,01
5431.....	2 351	398	- 0,08
5432.....	2 346	364	+ 0,07
		22,380	

Le tableau B montre par ailleurs l'excellent accord entre la valeur des « groupes de référence B. I. P. M. 1956 » résultant de ces comparaisons et la valeur qui a été obtenue à partir des

groupes BI intervenus dans la troisième comparaison internationale.

TABLEAU B.

Groupe de référence	Intensité lumineuse en cd (E. T. L.) d'après le groupe		Différence (%).
	BI.	DS.	
B. I. P. M. 1956.			
2 042° K.....	12,344*	12,359	0,12
2 353 .....	22,379*	22,380	0

\* Cf. Annexe P 8, tableau VI, p. P 90.

3. *Intensité du courant.* — Dans chaque série, l'intensité du courant traversant les lampes a été mesurée deux fois, à chaque allumage des lampes (mesures « aller » et « retour »); les écarts entre les quatre valeurs individuelles obtenues au Bureau International n'ont pas dépassé 0,02 %. Les résultats moyens obtenus au B. I. P. M. et à l'E. T. L. avant et après l'envoi des lampes à Sèvres, sont rassemblés dans le tableau C.

TABLEAU C.

Lampe N° (1)	Volts (spécifiés) (2)	Ampères (mesurés).		
		E. T. L. (1955-1957). (3)	B. I. P. M. (1956). (4)	B. I. P. M.-E. T. L. (%). (5)
<i>Étalons à 2 042° K.</i>				
DS 5407.....	10,528	5,446	5,443 2	— 0,05
5418.....	10,545	5,459 5	5,457 2	— 0,04
5419.....	10,366	5,386	5,383 7	— 0,04
5420.....	10,356	5,375 5	5,373 1	— 0,04
(après 17 min environ)				
<i>Étalons à 2 353° K.</i>				
DS 5424.....	13,136	3,232	3,231 0	— 0,03
5430.....	13,083	3,227	3,226 2	— 0,02
5431.....	13,518	3,293	3,292 3	— 0,02
5432.....	13,019	3,222 5	3,221 6	— 0,03
(après 11 min environ)				

4. *Conclusions.* — Compte tenu du voyage que ces lampes ont supporté (transport non accompagné Tokyo-Paris et retour par avion, soit environ 20 000 km), nous considérons que leur

stabilité doit être regardée comme particulièrement excellente. Ainsi que l'indique l'Annexe P 10, les nouvelles mesures de ces lampes à l'E. T. L., après leur retour du B. I. P. M., n'ont fait apparaître qu'une variation moyenne de l'intensité lumineuse de 0,18 % pour le groupe à 2 042° K et de 0,05 % pour le groupe à 2 353° K. Ces variations sont plus faibles que celles qui ont été observées sur les groupes de la comparaison internationale 1950-1952 (lampes à filament en « dents de scie » avec crochets-supports, voir *Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 1952, 23-B, p. P 83 et P 87 et *fig.* 5 et 8, p. P 100), et sur les groupes BI de la comparaison 1956 où l'on a constaté une variation moyenne de 0,5 % pour l'intensité lumineuse du groupe à 2 042° K et de 0,17 % pour celle du groupe à 2 353° K.

Ce nouveau type de lampe apparaît donc susceptible de fournir des étalons d'intensité lumineuse dont la stabilité ne serait que très faiblement perturbée par les transports et les légers chocs accidentels; ce progrès aurait une heureuse répercussion sur la précision des comparaisons photométriques (\*).

Bien que la tension d'alimentation (10 et 13 V) et le culot à broches de ces lampes s'écartent des caractéristiques en usage jusqu'à présent, nous estimons que l'avantage de leur excellent comportement des points de vue photométrique et électrique l'emporte sur les petits inconvénients que peut présenter l'utilisation de lampes de types différents lors des comparaisons internationales.

(Juillet 1957.)

---

(\*) Mentionnons également à ce sujet l'excellente stabilité des caractéristiques photométrique et électrique des étalons de flux à 2 353 et 2 788° K présentés par le National Physical Laboratory (Royaume-Uni), dont les crochets-supports sont soudés au filament (Annexe P 8, *fig.* 6 a et b).

Institut de Métrologie D. I. Mendéléev (U. R. S. S.).

---

ÉTUDES DE PHOTOMÉTRIE HÉTÉROCHROME  
ET APPLICATION  
AU PASSAGE DE LA TEMPÉRATURE  
DE COULEUR  
2 042° K A 2 353° K ET AU-DESSUS

Par V. E. KARTACHEVSKAIA et P. M. TIKHODÉEV.

(Traduction.)

---

En 1951-1952 et en 1955, des recherches ont été faites au laboratoire photométrique de l'Institut de Métrologie sur les mesures photométriques hétérochromes. On a déterminé l'efficacité lumineuse relative, et aussi les conditions auxquelles on peut l'utiliser pour des calculs photométriques, c'est-à-dire les conditions d'additivité. Des détails expérimentaux ont été donnés dans les articles de V. E. Kartachevskaia et de P. M. Tikhodéev [*Tryd. Inst. Metr. D. I. Mendeleev*, n° 17 (77), 1952].

1. ADDITIVITÉ.

L'additivité a été confirmée de la façon suivante : le photomètre visuel était du type Lummer et Brodhun à contraste, champ 3° (le minimum compatible avec des égalisations convenables), à fond noir. On disposait de chaque côté du photomètre de trois bancs (1), ce qui permettait d'éclairer chaque plage de comparaison par trois lampes (à 2 788° K) placées à diverses distances. La lumière de chaque lampe traversait un verre coloré,

---

(1) Ce banc photométrique à six bras est décrit dans le deuxième article de la référence citée ci-dessus.

rouge, vert ou bleu; ces verres étaient de couleurs plus saturées d'un côté du photomètre que de l'autre, les facteurs de transmission des verres de couleur moins saturée étant le double des autres verres.

Chacun des deux observateurs très expérimentés égalisait tout d'abord la couleur et la luminance des deux plages de comparaison, la plage 2 étant éclairée seulement par une lampe précédée d'un verre de couleur peu saturée et la plage 1 par les trois lampes précédées de verres de couleurs assez saturées; ces trois lampes étaient mobiles pour permettre le réglage.

La plage 2 était ensuite éclairée en même temps par les trois lampes précédées de verres de couleurs peu saturées, les lampes étant maintenues aux distances précédemment choisies pour les mesures avec une seule lampe. L'additivité en couleur et en luminance fut constatée avec des écarts plus petits que le seuil de perception visuelle; les niveaux de luminance utilisés seront précisés par la suite.

L'exécution de ces mesures par des observateurs moins expérimentés fournit des résultats moins sûrs avec des écarts voisins du seuil de perception. Malheureusement, par suite du développement de la photométrie physique, le nombre des observateurs expérimentés va en décroissant, et il devient difficile d'en trouver pour de tels travaux.

Dans l'article de P. M. Tikhodéev précédemment cité, on trouve la description d'autres expériences avec des lampes à incandescence précédées de verres rouge, jaune, vert, bleu clair et bleu. L'additivité y est vérifiée dans la limite de précision des mesures.

La luminance pour laquelle le phénomène de Purkinje apparaît a été à nouveau contrôlée. La plage 1 du photomètre était éclairée par trois lampes précédées de verres de couleurs saturées; la plage 2 était éclairée successivement par une lampe à incandescence, une lampe à mercure, ou une lampe au sodium avec un peu de lumière d'une lampe à incandescence. La couleur et la luminance des deux plages étaient égalisées, puis on réduisait leur luminance simultanément par un secteur tournant. Les mesures étaient faites par quatre observateurs. L'égalité en couleur et en luminance subsistait pour des variations de la luminance de 60 à 0,3 cd/m<sup>2</sup>. Pour quelques observateurs cette limite inférieure était reportée à 0,15 cd/m<sup>2</sup>. Ces mesures confirment indirectement la validité de l'additivité dans les conditions de l'expérience. Toutes ces observations se rapportent à une bande spectrale assez large et non à quelques raies monochromatiques. D'autres chercheurs (Professeur N. T. Fedorov, en U. R. S. S.) ont constaté un écart à l'additivité, mais en lumière monochromatique seulement.

## 2. EFFICACITÉ LUMINEUSE.

L'efficacité lumineuse relative a été déterminée de la façon suivante. Le champ était de 3° comme dans les mesures courantes. La plage éclairée était constituée de deux demi-cercles; le premier demi-cercle était éclairé simultanément par trois lampes à incandescence ( $I_1, I_2, I_3$ ) situées sur les bancs photométriques; chacune était précédée d'un secteur tournant permettant de faire varier la luminance, et d'un filtre rouge, vert ou bleu. Dans la première partie du travail on employait les filtres de couleurs assez saturées, et dans la seconde les filtres de couleurs moins saturées. Le deuxième demi-cercle était éclairé par la lumière monochromatique d'un monochromateur double, avec addition de lumière provenant d'une lampe à incandescence à 2 788° K d'intensité  $I_0$ . La luminance du champ n'était pas inférieure à 3 cd/m<sup>2</sup> (à  $\lambda = 400$  nm), et était en moyenne deux à trois fois plus grande. On ajoutait de la lumière blanche aussi peu que possible. L'observateur égalisait en couleur et en luminance.

Les rapports des intensités lumineuses des lampes sans filtres étaient déterminés séparément par chaque observateur; chacun d'eux égalisait en outre la lumière blanche seule (sans lumière monochromatique) à la somme des lumières rouge, verte et bleue (équation A). L'énergie rayonnée par la lumière monochromatique était mesurée par une thermopile. Les facteurs de transmission spectrale des verres colorés étaient connus et les lampes étaient réglées à la même température de couleur, 2 788° K.

L'efficacité lumineuse relative a été déterminée par 52 personnes <sup>(2)</sup>, dont l'âge moyen était de 38 ans. Les mesures ont été faites principalement pendant les mois sombres de l'année, ce qui peut affecter les résultats obtenus.

La composition spectrale de la lumière traversant les filtres rouge, vert et bleu et la luminance de la plage correspondante étaient dans les limites où l'additivité avait été vérifiée par les expériences ci-dessus.

Les conditions de mesure étaient évidemment à très peu près celles des mesures courantes de colorimétrie et de photométrie, et c'est bien dans ces conditions que nous désirions déterminer l'efficacité lumineuse relative, c'est-à-dire dans le cas d'une lumière complexe dont la composition peut être la somme de lumières rouge, verte et bleue en proportions diverses. La question de l'extrapolation des valeurs de l'efficacité lumineuse relative

---

<sup>(2)</sup> Trois autres observateurs ont été jugés inaptes, car leurs égalisations de couleurs étaient inconstantes.

en dehors de ce cas reste entière. Les limites que nous nous sommes fixées répondent néanmoins à de nombreux cas pratiques.

Il a été impossible de trouver un nombre suffisant d'observateurs expérimentés, capables d'égaliser en couleur et en luminance avec précision et rapidité, ce qui a eu pour effet de diminuer la précision moyenne des mesures. Cependant, cette précision était assez élevée dans le cas des observateurs expérimentés, ce qui fut confirmé par des mesures répétées. Dans les calculs, les résultats de tous les observateurs ont été pris avec des poids égaux.

Il est évident que, dans les calculs, la lumière blanche a été exprimée par la somme des trois lumières colorées et portée dans le deuxième membre des équations, de façon que la luminance monochromatique (de valeur connue en unités énergétiques relatives) figure sous la forme d'une somme algébrique de trois luminances colorées. Pour une même énergie rayonnée par chaque radiation, les équations peuvent s'écrire sous la forme suivante :

$$(a) \quad CV_{\lambda} = \alpha_{1\lambda} \left( \sum \tau_{R\lambda} V_{\lambda} P_{1\lambda} \right) + \beta_{1\lambda} \left( \sum \tau_{G\lambda} V_{\lambda} P_{2\lambda} \right) + \gamma_{1\lambda} \left( \sum \tau_{B\lambda} V_{\lambda} P_{3\lambda} \right) = \alpha_{2\lambda} \tau_R I_1 + \beta_{2\lambda} \tau_G I_2 + \gamma_{2\lambda} \tau_B I_3,$$

où :

- C = constante dépendant des unités choisies;  
 $V_{\lambda}$  = efficacité lumineuse relative à la longueur d'onde  $\lambda$ ;  
 $\alpha_{1\lambda}$ ,  $\beta_{1\lambda}$ ,  $\gamma_{1\lambda}$  = valeur relative des lumières rouge, verte et bleue (lues sur l'instrument);  
 $\tau_{R\lambda}$ ,  $\tau_{G\lambda}$ ,  $\tau_{B\lambda}$  = facteur de transmission spectrale des filtres rouge, vert et bleu;  
 $P_{1\lambda}$ ,  $P_{2\lambda}$ ,  $P_{3\lambda}$  = puissance spectrale rayonnée par les trois lampes (à la température de couleur de 2 788° K);  
 $\tau_R$ ,  $\tau_G$ ,  $\tau_B$  = facteur de transmission (en lumière blanche à 2 788° K) des filtres rouge, vert et bleu;  
 $\alpha_{2\lambda}$ ,  $\beta_{2\lambda}$ ,  $\gamma_{2\lambda}$  = facteurs proportionnels à  $\alpha_{1\lambda}$ ,  $\beta_{1\lambda}$ ,  $\gamma_{1\lambda}$ ;  
 $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  = intensité lumineuse des lampes dont la lumière traverse les filtres colorés.

Les équations (a) ont été obtenues de 10 en 10 nm, dans le domaine de longueurs d'onde de 400 à 730 nm.

Si les deux membres des équations (a) sont multipliés par  $\tau_{R\lambda} P_{1\lambda}$  et si l'on fait la somme de ces équations, on doit avoir

$$(b) \quad \sum \tau_{R\lambda} P_{1\lambda} \beta_{1\lambda} = \sum \tau_{R\lambda} P_{1\lambda} \gamma_{1\lambda} = 0$$

et, de même,

$$(c) \quad \sum \tau_{G\lambda} P_{2\lambda} \alpha_{1\lambda} = \sum \tau_{G\lambda} P_{2\lambda} \gamma_{1\lambda} = 0;$$

$$(d) \quad \sum \tau_{B\lambda} P_{3\lambda} \alpha_{1\lambda} = \sum \tau_{B\lambda} P_{3\lambda} \beta_{1\lambda} = 0.$$

Si les deux membres des équations (a) sont multipliés par le facteur  $P_{0\lambda}$ , proportionnel à la répartition spectrale énergétique de la lampe placée du même côté que la lumière monochromatique, et si l'on fait la somme de ces équations, les sommes

$$(e) \quad \left( \sum P_{0\lambda} \alpha_{2\lambda} \right), \quad \left( \sum P_{0\lambda} \beta_{2\lambda} \right), \quad \left( \sum P_{0\lambda} \gamma_{2\lambda} \right)$$

doivent être dans le même rapport que les proportions de lumières rouge, verte et bleue qui équilibrent la lumière de la lampe  $I_0$  [équation (A)]. Par application de la méthode des moindres carrés, les équations (b), (c), (d), ainsi que (A) et (e), nous permettent de compenser les résultats des observations qui sont affectés par des erreurs systématiques et fortuites. Toutes ces équations ont confirmé l'additivité dans les conditions de l'expérience et à l'intérieur des erreurs de mesure; en tout cas on n'a constaté aucun écart sensible à l'additivité.

Il est clair que la méthode utilisée pour déterminer l'efficacité lumineuse ne présente pas une précision suffisante aux extrémités du spectre où cette efficacité est faible.

La méthode la plus simple pour résoudre les équations (a) est celle des approximations successives, en supposant  $\tau_R$ ,  $\tau_G$  et  $\tau_B$  connus et en substituant alors les valeurs obtenues dans les équations

$$(f) \quad \tau_R = \frac{\sum \tau_{R\lambda} V_\lambda P_{1\lambda}}{\sum V_\lambda P_{1\lambda}}, \quad \dots$$

On a obtenu de cette façon les écarts les plus faibles pour toutes les équations.  $\tau_R$ ,  $\tau_G$  et  $\tau_B$  avaient été déterminés auparavant par des mesures hétérochromes directes par quelques observateurs expérimentés; ils avaient été déterminés également par deux autres méthodes (méthode du pas à pas avec une couleur intermédiaire, et méthode décrite dans l'article de P. M. Tikhodéev); ces mêmes facteurs avaient été aussi calculés à partir de la courbe des efficacités relatives de la Commission Internationale de l'Éclairage (C. I. E. 1924). Tous ces résultats ont servi de départ au calcul par approximations successives. Comme on l'a mentionné plus haut, on a utilisé deux jeux de verres colorés; l'efficacité lumineuse relative fut déterminée avec le premier jeu par 14 per-

sonnes, et par 38 personnes avec le second. Les calculs ont été effectués séparément, et la différence entre les deux courbes était de  $\pm 1$  à 3 % entre 480 et 690 nm, jusqu'à  $\pm 5$  % entre 700 et 730 nm, et  $\pm 10$  % entre 460 et 470 nm. Entre 400 et 450 nm la différence atteignait presque 20 %; il faut bien noter que ces derniers résultats sont considérés comme très approximatifs.

La différence entre les équations (A) et (e) atteint au pire 2 % sur la couleur, mais reste inférieure à 1 % sur la luminance.

Les erreurs systématiques sur les mesures photométriques et énergétiques sont inférieures aux écarts dont nous venons de parler; ces écarts sont essentiellement dus aux différences individuelles de l'efficacité lumineuse et aux erreurs fortuites des égalisations de couleur et de luminance par des personnes de peu d'expérience, qui constituent, par nécessité, la majorité des observateurs.

Comme il a été dit, la méthode utilisée pour la détermination de l'efficacité lumineuse était en fait insuffisamment sensible aux extrémités du spectre.

Les résultats moyens des 52 observateurs sont donnés dans le tableau suivant.

TABLEAU I.

*Efficacité lumineuse relative  
calculée à l'Institut de Métrologie.*

$\lambda$ (nm)	$V_{\lambda}$	$\lambda$ (nm)	$V_{\lambda}$	$\lambda$ (nm)	$V_{\lambda}$	$\lambda$ (nm)	$V_{\lambda}$
400...	0,003 3	490...	0,244	580...	0,860	670...	0,031 4
410...	0,014	500...	0,387	590...	0,769	680...	0,015 0
420...	0,027	510...	0,571	600...	0,689	690...	0,007 6
430...	0,041	520...	0,756	610...	0,571	700...	0,003 5
440...	0,054	530...	0,895	620...	0,426	710...	0,001 6
450...	0,079	540...	0,958	630...	0,291	720...	0,000 8
460...	0,093	550...	0,985	640...	0,190	730...	0,000 4
470...	0,115	560...	0,999	650...	0,110		
480...	0,184	570...	0,949	660...	0,057 8		

### 3. CONCLUSION.

L'emploi de ces derniers résultats pour calculer le facteur de transmission des verres bleus utilisés pour le passage d'un rayonnement à 2 042° K à un rayonnement à 2 353° K, augmenterait ce facteur de 0,07 % par rapport au calcul s'appuyant sur les résultats de la C. I. E., et d'une quantité du même ordre pour le passage de 2 353° K à 2 788° K. Dans l'ensemble, ces nouveaux résultats sont en bon accord avec les efficacités C. I. E. 1924, une différence n'apparaissant que dans le domaine 400 à 510 nm.

En déterminant l'efficacité lumineuse, des courbes de distribution ont été obtenues (pour des rayonnements monochromatiques).

Cette brève communication a été présentée uniquement pour information. Il serait normal que l'on discute cette question de l'efficacité lumineuse à la C. I. E., qui s'en occupe depuis longtemps.

(14 mai 1957.)



---

# TABLES DES MATIÈRES

---

## COMITÉ CONSULTATIF POUR LA DÉFINITION DE LA SECONDE 1<sup>re</sup> Session (1957).

---

	Pages.
Liste des Membres .....	S 3
Ordre du Jour .....	6
<b>Procès-verbal de la première séance, lundi 3 juin 1957.....</b>	<b>7</b>
Motifs de la création et rôle de ce nouveau Comité Consultatif.....	8
Étalons physiques actuellement en usage (Études en cours dans plusieurs laboratoires sur les étalons de fréquence à césium, à ammoniac, les « masers » et les « Atomichrons »).....	9
Adoption de la dénomination « étalon atomique de fréquence ».....	11
Comparaison des étalons de fréquence au temps astronomique.....	13
Intercomparaison d'étalons atomiques de fréquence (Résultats déjà obtenus).....	12
Caractéristiques souhaitables d'un étalon atomique de fréquence (Informations sur les qualités des étalons actuels à césium et à ammoniac).....	13
<b>Procès-verbal de la deuxième séance, mardi 4 juin 1957.....</b>	<b>16</b>
L'éphéméride de la Lune. La théorie de Brown est-elle suffisante ou convient-il de l'améliorer en quelques points? (Résumé du Rapport du Sous-Comité du Comité Consultatif; conclusion à présenter à l'Union Astronomique Internationale).....	16
Les divers étalons possibles; leurs avantages relatifs.....	17
État des recherches sur les étalons atomiques de fréquence. Expériences à faire en vue de choisir le meilleur étalon. Valeur de l'étalon à césium en fonction du T. U. 2 et de la seconde de Temps des Ephémérides (Échange de vues sur le choix éventuel d'un étalon de fréquence et l'adoption d'une valeur provisoire. Influences perturbatrices dans les mesures de fréquence. Nécessité d'établir un programme d'intercomparaisons des étalons en liaison avec l'Union Radioscientifique Internationale).....	18

	Pages.
Adoption des recommandations préconisant l'étude et la comparaison des étalons atomiques de fréquence.....	S 22
<b>Premier Rapport du Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde au Comité International des Poids et Mesures; par B. Decaux.....</b>	<b>24</b>
<b>Annexes des Procès-Verbaux du Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde.....</b>	<b>29</b>
S 1. <i>L'éphéméride de la Lune. La théorie de Brown est-elle suffisante ou convient-il de l'améliorer en quelques points? Compte rendu de la réunion du Sous-Comité du Comité Consultatif, tenue le 4 juin 1957.....</i>	29
S 2. <i>État actuel des travaux au National Physical Laboratory, Teddington; par L. Essen.....</i>	33
S 3. <i>Étalons et mesures de fréquence et d'intervalle de temps aux États-Unis d'Amérique de 1954 à 1957; par W. D. George.</i>	35
S 4. <i>Étalons de temps atomiques et moléculaires au National Bureau of Standards; par R. C. Mockler.....</i>	38
S 5. <i>Sur le rattachement d'une fréquence atomique à la seconde de Temps des Éphémérides au U. S. Naval Observatory; par W. Markowitz.....</i>	43
S 6. <i>Sur le déplacement de la fréquence centrale d'un spectre d'inversion de l'ammoniac; par I. Takahashi, T. Ogawa, M. Yamano et A. Hirai.....</i>	45
S 7. <i>Comparaison entre des étalons de temps atomiques et astronomique effectuée au Japon; par M. Miyadi.....</i>	47
S 8. <i>Horloge atomique à ammoniac; par K. Shimoda.....</i>	49
S 9. <i>Fréquence précise de la raie d'inversion 3-3 de l'ammoniac; par K. Shimoda.....</i>	52
S 10. <i>Note sur l'horloge atomique en fonctionnement à l'Electro- technical Laboratory, Tokyo; par M. Hatoyama.....</i>	55
S 11. <i>Nouveaux progrès des recherches sur les déplacements de fréquence dans le spectre d'inversion de l'ammoniac; par I. Takahashi, M. Yamano et H. Hirai.....</i>	57
S 12. <i>Horloge à ammoniac en fonctionnement à la « Tokyo Shibaura Electric Co »; par N. Sawazaki et T. Honma...</i>	59
S 13. <i>Modulation par effet Stark d'une horloge atomique; par I. Takahashi, T. Ogawa, M. Yamano, A. Hirai et M. Takeyama.</i>	61
S 14. <i>Un étalon de fréquence au Central Inspection Institute of Weights and Measures, Tokyo.....</i>	63

## COMITÉ CONSULTATIF D'ÉLECTRICITÉ

8<sup>e</sup> Session (1957).

	Pages.
Liste des Membres.....	E 3
Ordre du Jour.....	6
<b>Procès-verbal de la séance, jeudi 6 juin 1957.....</b>	<b>7</b>
Résultats des comparaisons internationales de 1953 et de 1955 et unification des unités électriques (Concordance satisfaisante des unités. Réajustement de l'ohm du D. A. M. G. Maintien des valeurs actuelles des unités nationales).....	8
Comparaisons futures (Espacement des comparaisons internationales ; prochaine comparaison en 1961).....	9
Travaux sur les unités absolues (Déterminations absolues de l'ampère et de l'ohm dans les Laboratoires nationaux).....	10
Propositions de l'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S. sur la réalisation et la comparaison des unités électriques (Détermination simultanée, par les Laboratoires nationaux, de la valeur absolue de leurs étalons de l'ohm et du volt et comparaison circulaire de ces étalons. Approbation d'un projet de comparaison internationale d'étalons de capacité).....	12
Matériaux pour étalons de résistance (Recherches dans différents pays ; alliages japonais. Études du Bureau International pour la réalisation d'étalons de référence en métaux purs. Réalisation à la P. T. B. d'un étalon sous la forme d'un quadripôle thermiquement compensé).....	13
Installations du Bureau International (Instrument pour le passage de 1 à 100 $\Omega$ offert par le National Standards Laboratory d'Australie).....	14
<b>Huitième Rapport du Comité Consultatif d'Électricité au Comité International des Poids et Mesures ; par P. de la Gorce.....</b>	<b>16</b>
<b>Annexes des Procès-Verbaux du Comité Consultatif d'Électricité.....</b>	<b>21</b>
NATIONAL PHYSICAL LABORATORY (Royaume-Uni) :	
E 1. <i>Observations sur le groupe de référence de piles étalons utilisées au National Physical Laboratory pour la conservation du volt ; par L. Hartshorn et J. J. Denton...</i>	21

	Pages.
E 2. <i>Comportement des résistances étalons en manganine utilisées pour la conservation de l'ohm</i> ; par L. Hartshorn et J. J. Denton.....	E 23
E 3. <i>Travaux récents sur les mesures électriques absolues au National Physical Laboratory</i> ; par G. H. Rayner.....	31
E 4. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS (États-Unis d'Amérique). — <i>État actuel des mesures électriques absolues au National Bureau of Standards</i> ; par R. L. Driscoll, J. L. Thomas et R. D. Culkosky.....	36
E 5. NATIONAL RESEARCH COUNCIL (Canada). — <i>Détermination absolue de l'unité de résistance électrique</i> ; par M. Romkowski et N. Olson.....	48
INSTITUT DE MÉTROLOGIE D. I. MENDÉLÉEV (U. R. S. S.) :	
E 6. <i>Travaux de l'Institut de Métrologie sur l'établissement des étalons des unités électriques absolues et propositions au Comité Consultatif d'Électricité</i> ; par E. Chramkov...	51
E 7. <i>Balance de courant et établissement de la valeur de l'étalon du volt</i> ; par S. Gorbatzevitch, V. Muller et P. Loukianov.....	54
E 8. <i>Réalisation de l'unité absolue de résistance électrique</i> ; par I. Krotkov, S. Gorbatzevitch, B. Ianowski et N. Amatouni.	61
E 9. <i>Étalon primaire de l'unité d'inductance de l'U. R. S. S.</i> ; par I. Krotkov.....	69
E 10. <i>Étalon primaire de l'unité de capacité de l'U. R. S. S.</i> ; par I. Krotkov.....	72
E 11. <i>Comparateur pour éléments normaux étalons</i> ; par Z. Zélikovski.....	75
E 12. ELECTROTECHNICAL LABORATORY (Japon). — <i>État actuel de la détermination absolue de l'ohm à l'Electrotechnical Laboratory</i> (Résumé).....	80
E 13. DEUTSCHES AMT FÜR MASS UND GEWICHT (Allemagne). — <i>Travaux exécutés au calorimètre différentiel pour déterminer l'ampère absolu</i> ; par D. Bender.....	83
E 14. LABORATOIRE CENTRAL DES INDUSTRIES ÉLECTRIQUES (France). — <i>Vérification de la constance des étalons électriques</i> ; par P. de la Gorce et R. Hérou.....	90
E 15. ELECTROTECHNICAL LABORATORY (Japon). — <i>Recherches sur les matériaux pour résistances électriques</i> (Résumé).....	94
E 16. BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. — <i>Essais de construction d'étalons matériels de l'ohm</i> ; par G. Leclerc.	95
E 17. PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT (Allemagne). — <i>Proposition concernant la réalisation de résistances électriques étalons</i> ; par H. E. Linckh.....	97

---

## COMITÉ CONSULTATIF POUR LA DÉFINITION DU MÈTRE

2<sup>e</sup> Session (1957).

---

	Pages.
Liste des Membres.....	M 3
Ordre du Jour.....	6
<b>Procès-verbal de la première séance</b> , lundi 23 septembre 1957.....	7
Ouverture de la session (Hommage à la mémoire de E. C. Crittenden. Allocutions de MM. A. Danjon, Président du Comité International, et L. E. Howlett, Président du Comité Consultatif. Confirmation des Propositions I, II et III adoptées à la session de 1953).....	7
Position du Bureau International sur le changement de la définition du mètre; résultats des récentes comparaisons de Mètres proto- types avec $\mathfrak{M}$ .....	10
<i>Résultats des recherches expérimentales sur les sources de   lumière</i> .....	11
Travaux de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Séparation des isotopes du krypton. Mesure de longueurs d'onde du $^{84}\text{Kr}$ , $^{86}\text{Kr}$ et $^{198}\text{Hg}$ . Déplacement par effet Doppler. Mesure de l'intensité des radiations. Reproductibilité des longueurs d'onde du $^{86}\text{Kr}$ . Proposition en faveur du $^{86}\text{Kr}$ ).....	11
Position du National Bureau of Standards (Arguments en faveur du mercure 198. Étude en cours sur des lampes à jet atomique de mercure. Proposition d'ajournement de toute décision).....	13
Travaux du National Physical Laboratory (Comparateur pour la mesure en longueurs d'onde d'un étalon à traits. Mesures récentes des longueurs d'onde dans le vide du $^{86}\text{Kr}$ et du $^{198}\text{Hg}$ . Proposition en faveur du $^{86}\text{Kr}$ ).....	14
Valeurs de quelques longueurs d'onde du $^{86}\text{Kr}$ et du $^{198}\text{Hg}$ , mesurées dans quatre Laboratoires nationaux et au Bureau International.....	15
Travaux de l'Institut de Métrologie (Proposition en faveur du cadmium 114. Recherches sur le $^{114}\text{Cd}$ et le $^{206}\text{Pb}$ ).....	16

	Pages.
Travaux du Central Inspection Institute of Weights and Measures (Mesures de longueurs d'onde de radiations du $^{86}\text{Kr}$ et du $^{199}\text{Hg}$ . Étude du profil spectral. Comparateur pour l'étalonnage en longueurs d'onde des étalons à traits. Proposition en faveur du $^{86}\text{Kr}$ ).....	M 17
Travaux du National Research Council.....	17
Travaux du Bureau International (Mesures de longueurs d'onde du $^{86}\text{Kr}$ , $^{199}\text{Hg}$ et $^{111}\text{Cd}$ et de leurs variations. Détermination du profil spectral par deux méthodes. Conclusions concernant la finesse, la symétrie et les perturbations des radiations étudiées. Supériorité de la radiation $2p_{10^{-5}}d_3$ du $^{86}\text{Kr}$ ).....	17
Travaux du National Standards Laboratory d'Australie (Mesures des longueurs d'onde de quelques radiations du $^{86}\text{Kr}$ et du $^{199}\text{Hg}$ )....	20
<b>Procès-verbal de la deuxième séance, mardi 24 septembre 1957....</b>	<b>21</b>
Présentation d'une expérience pour la comparaison des interférences de $^{86}\text{Kr}$ et $^{198}\text{Hg}$ à la différence de marche de 0,5 m.....	21
<i>Discussion générale des Rapports.....</i>	<i>22</i>
Commentaires de Mr Gardner (N. B. S.) au sujet de l'expérience précédente. Nouvelle proposition d'ajournement de la décision pour que soient essayées les lampes isotopiques à jet atomique..	22
Indications sur la lampe à jet de mercure du N. B. S.....	23
Urgence d'une décision; possibilités de révisions ultérieures....	23
Remarques de Mr Edlén sur les difficultés de la réalisation d'un étalon absolu par un jet atomique.....	24
Déplacements de la longueur d'onde du $^{86}\text{Kr}$ par les impuretés isotopiques.....	25
Proposition de Mr Stalla-Götz en faveur du krypton 86.....	25
Le Comité des Normes, des Mesures et Instruments de Mesure de l'U. R. S. S. accepte de se rallier à la radiation orangée du krypton 86.....	26
Arguments de Mr Perucca en faveur du krypton 86.....	26
Validité de la formule d'Edlén pour l'indice de réfraction de l'air normal.....	27
Proposition du Conservatoire National des Arts et Métiers en faveur du krypton 86.....	28
<i>Choix de la radiation étalon : Rejet du cadmium et du mercure, et adoption à l'unanimité de la radiation <math>2p_{10^{-5}}d_3</math> du krypton 86 pour la future définition du mètre.....</i>	<i>28</i>
<b>Procès-verbal de la troisième séance, mercredi 25 septembre 1957.</b>	<b>29</b>
Examen et adoption de la <i>Recommandation</i> à transmettre au Comité International.....	29
Clôture de la session.....	30
<b>Deuxième Rapport du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre au Comité International des Poids et Mesures; par E. Perucca.....</b>	<b>32</b>

	Pages.
<b>Annexes des Procès-Verbaux du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre</b> .....	M 41
 M 1. BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. — <i>Résultats des récentes déterminations de Mètres prototypes effectuées au Bureau International</i> ; par G. Leclerc.....	41
PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT (Allemagne) :	
M 2. <i>Préparation des isotopes Kr 86 et Kr 84</i> ; par E. Engelhard..	51
M 3. <i>Détermination de la longueur d'onde dans le vide de deux radiations étalons de l'isotope Kr 86</i> ; par E. Engelhard...	54
M 4. <i>Déplacement Doppler des raies du krypton</i> ; par E. Engelhard.	58
M 5. <i>Détermination de la longueur d'onde dans le vide de radiations du Hg 198, Kr 86 et Kr 84</i> ; par E. Engelhard...	62
M 6. <i>Mesure de l'intensité de quelques radiations</i> ; par E. Engelhard.....	66
M 7. <i>Reproductibilité des radiations du krypton</i> ; par E. Engelhard et F. Bayer-Helms.....	70
M 8. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS (États-Unis d'Amérique). — <i>Sur le choix d'une radiation étalon</i> ; par I. C. Gardner.	73
NATIONAL PHYSICAL LABORATORY (Royaume-Uni) :	
M 9. <i>Mesure d'étalons à traits par comparaison directe aux longueurs d'onde lumineuses</i> ; par J. S. Clark, L. F. Wilson et H. Barrell.....	76
M 10. <i>Déterminations de la longueur d'onde dans le vide de radiations du krypton 86 et du mercure 198</i> ; par H. Barrell.	80
INSTITUT DE MÉTROLOGIE D. I. MENDÉLÉEV (U. R. S. S.) :	
M 11. <i>Sur le choix de la longueur d'onde fondamentale</i> ; par M. F. Romanova.....	87
M 12. <i>Comparaison des raies du Pb 206 et du Cd 114</i> ; par N. R. Batarhoukova.....	90
M 13. <i>Mesures interférentielles d'étalons à bouts</i> ; par A. I. Kartachev.....	92
M 14. <i>Mesures d'étalons à traits en longueurs d'onde lumineuse</i> ; par M. L. Brzejinski et N. Trofimova.....	95
M 15. <i>Intercomparaison de calibres de 100 mm à bouts plans, en acier et en quartz fondu</i> ; par O. Chochina et E. Alexeeva.	100
M 16. CENTRAL INSPECTION INSTITUTE OF WEIGHTS AND MEASURES (Japon). — <i>Rapport sur les études concernant la définition du mètre</i> .....	102
NATIONAL RESEARCH COUNCIL (Canada) :	
M 17. <i>Rapport sur les travaux concernant la définition du mètre</i> ; par K. M. Baird.....	107

	Pages.
M 18. <i>Sur la mesure précise de la longueur d'onde de quelques radiations du krypton 86 et du mercure 198 par comparaison à la raie rouge du cadmium; par K. M. Baird et D. S. Smith.....</i>	M 111
M 19. <i>Prévention du renversement des raies dans les lampes à mercure 198; par K. M. Baird et D. S. Smith.....</i>	121
M 20. <i>Un interféromètre pour la mesure des étalons à traits; par K. M. Baird.....</i>	124
M 21. <i>Déplacement des raies du mercure 198 en fonction de la pression (Résumé); par K. M. Baird et D. S. Smith.....</i>	129
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES :	
M 22. <i>Qualité des radiations monochromatiques; exactitude des mesures interférentielles; par J. Terrien.....</i>	130
M 23. <i>Résultats de l'étude des radiations monochromatiques envisagées pour la définition du mètre; par J. Terrien.....</i>	135
M 24. <i>Nouvelle détermination de la longueur d'onde des radiations monochromatiques envisagées pour la définition du mètre; par T. Masui, J. Terrien et J. Hamon.....</i>	157
M 25. <i>Observations photoélectriques à l'interféromètre de Michelson (Résumé); par J. Terrien.....</i>	172
M 26. NATIONAL STANDARDS LABORATORY (Australie). — <i>Valeur provisoire de la longueur d'onde dans le vide de la radiation 0,6056 <math>\mu</math> du krypton 86.....</i>	173
M 27. <i>Lettre de Y. Väisälä.....</i>	175
M 28. <i>Étalons à bouts en quartz fondu; par Y. Väisälä.....</i>	177

---

## COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMÉTRIE

4<sup>e</sup> Session (1957).

---

	Pages.
Liste des Membres.....	P 3
Ordre du Jour.....	6
<b>Procès-verbal de la première séance, samedi 28 septembre 1957....</b>	<b>7</b>
Hommage à E. C. Crittenden.....	7
Travaux sur l'étalon primaire. Améliorations proposées pour la réalisation du corps noir (Résultats obtenus dans les Laboratoires nationaux; difficultés rencontrées; nécessité de poursuivre les recherches. Études en cours au National Physical Laboratory pour fonder l'unité photométrique sur des mesures énergétiques).....	8
Comparaisons de flux à la sphère (Erreurs possibles par suite de la répartition spatiale différente des étalons de flux à 2 353°K; comparaisons de lampes de types différents, préalablement étalonnées par la méthode absolue).....	12
Comparaisons hétérochromes par la méthode spectrophotométrique (Nouvelles mesures au Bureau International pour le passage du lumen à 2 353°K au lumen à 2 788°K, confirmant le désaccord antérieurement trouvé. Mise en œuvre de la méthode spectrophotométrique dans d'autres Laboratoires).....	14
Résultats des comparaisons internationales de 1956-1957 (Valeurs relatives des unités nationales. Variations apparentes des « unités 1952 » entre les comparaisons de 1952 et de 1957).....	16
Unification des unités photométriques (Discussion sur l'adoption d'une unité moyenne par tous les Laboratoires. Objections de principe à l'unification proposé).....	17
<b>Procès-verbal de la deuxième séance, lundi 30 septembre 1957.....</b>	<b>20</b>
Unification des unités photométriques ( <i>suite</i> ) (Opinions pour et contre l'adoption provisoire immédiate d'unités moyennes. Liberté d'action laissée à chaque Laboratoire et rédaction d'une Note précisant la situation actuelle des unités nationales).....	20

	Pages
Lampes étalons : perfectionnements; spécifications; transport (Lampes japonaises d'intensité lumineuse à 2 042 et 2 353°K d'un type nouveau; premiers résultats de la comparaison de telles lampes).....	P 22
Comparaisons internationales futures (Périodicité fixée à quatre ans)..	23
Travaux photométriques du Bureau International (Comparaisons hétérochromes, Comparaisons internationales, Améliorations à la sphère-lumenmètre, Comparaison d'étalons de flux à 2 788°K entre le N. B. S., le N. P. L. et le B. I. P. M. Formation et étalonnage de lampes pour divers Laboratoires, Fabrication de tubes photoélectriques du type Gillod-Boutry à cathodes Cs-AgO et Cs-Bi, Étude des propriétés de quelques récepteurs).....	24
Projet de comparaisons d'étalons de température de couleur (Enquête effectuée; accord des Laboratoires nationaux, Caractéristiques des lampes à échanger; choix des températures de couleur; méthodes de mesure)..	25
Courbe $V_{\lambda}$ ; répercussions possibles des travaux récents de colorimétrie (Le Comité Consultatif est informé de propositions concernant un nouveau système de référence trichromatique pour les champs angulaires de 10° et le maintien de la courbe $V_{\lambda}$ actuelle pour les champs angulaires inférieurs à 4°. Études de photométrie hétérochrome à l'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S. : vérification de l'additivité et détermination des efficacités lumineuses relatives pour un champ angulaire de 3° et des lumières peu saturées).....	27
Questions diverses (Distinction entre la <i>précision</i> et l' <i>exactitude</i> des étalonnages photométriques, Spécification de la durée entre l'allumage des lampes et le début des observations, Proposition d'inclure dans les comparaisons internationales photométriques des étalons d'intensité à 2 854°K).....	29
<b>Quatrième Rapport du Comité Consultatif de Photométrie au Comité International des Poids et Mesures; par H. Korte.....</b>	<b>31</b>
<b>Annexes des Procès-Verbaux du Comité Consultatif de Photométrie.</b>	<b>39</b>
P 1. ELECTROTECHNICAL LABORATORY (Japon). — <i>Propositions présentées au Comité Consultatif de Photométrie.....</i>	39
P 2. NATIONAL PHYSICAL LABORATORY (Royaume-Uni). — <i>Rapport sur les mesures faites sur l'étalon primaire de lumière de 1954 à 1956; par J. S. Preston.....</i>	42
P 3. INSTITUT DE MÉTROLOGIE D. I. MENDÉLÉEV (U. R. S. S.). — <i>Travaux sur l'étalon primaire de lumière; par P. M. Tikhodéev... ..</i>	46
P 4. PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT (Allemagne). — <i>Mesures sur l'étalon primaire photométrique (1955-1956) et mesures sur les lampes étalons pour les comparaisons internationales de 1956-1957; par H. Korte et H. Willenberg.</i>	52
ELECTROTECHNICAL LABORATORY (Japon) :	
P 5. <i>Formation de cristaux capillaires sur l'ouverture de l'étalon primaire photométrique; par M. Okamatsu.....</i>	58
P 6. <i>Calculs numériques de précision sur la noirceur du cylindre; par Y. Nakaji.....</i>	61

TABLES DES MATIÈRES.

XI

	Pages.
P 7. NATIONAL PHYSICAL LABORATORY (Royaume-Uni). — <i>Mesure du flux lumineux de lampes ayant des répartitions lumineuses différentes</i> ; par W. Barnett.....	P 70
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES :	
P 8. <i>Rapport sur la troisième comparaison des étalons nationaux d'intensité et de flux lumineux</i> (1956-1957); par J. Terrien, H. Moreau et J. Bonhoure.....	74
P 9. <i>Note sur l'unification des unités photométriques</i> .....	104
P 10. ELECTROTECHNICAL LABORATORY (Japon). — <i>Nouveau type de lampes étalons d'intensité lumineuse</i> ; par R. Tazimé.....	111
P 11. BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. — <i>Mesures effectuées sur le nouveau type d'étalons secondaires d'intensité lumineuse de l'Electrotechnical Laboratory, Tokyo</i> ; par J. Terrien, H. Moreau et J. Bonhoure.....	113
P 12. INSTITUT DE MÉTROLOGIE D. I. MENDÉLÉEV (U. R. S. S.). — <i>Études de photométrie hétérochrome et application au passage de la température de couleur 2 042°K à 2 353°K et au-dessus</i> ; par V. E. Kartachevskaïa et P. M. Tikhodéev.	117
TABLES DES MATIÈRES.....	I - XI

---

PARIS — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS

55, Quai des Grands-Augustins.

152230-58

---

Dépôt légal, Imprimeur, 1958, n° 1261.

Dépôt légal, Éditeur, 1958, n° 769.

ACHEVÉ D'IMPRIMER LE 30 DÉCEMBRE 1958.

Imprimé en France.