

**COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMÉTRIE**

**SESSION DE 1962**

---

---

## NOTE

---

A partir de cette session, les travaux du *Comité Consultatif de Photométrie* sont publiés dans une série indépendante, et non plus dans les Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures.

En 1929, le Comité International des Poids et Mesures chargeait le Comité Consultatif d'Électricité de la question des unités et mesures photométriques. En 1933, la Conférence Générale des Poids et Mesures décidait la création d'un Comité Consultatif de Photométrie distinct du Comité Consultatif d'Électricité (et de Photométrie); le Comité Consultatif de Photométrie s'est réuni pour la première fois séparément en 1937.

Les travaux des Comités Consultatifs s'occupant de photométrie ont été publiés dans les *Procès-Verbaux du Comité International des Poids et Mesures* :

- tome 14, p. 75 à 318 (C. C. Électricité, 2<sup>e</sup> Session, 1930);
- » 15, p. 137 à 206 et 16, p. 223 à 338 [C. C. Électricité (et Photométrie), 3<sup>e</sup> Session, 1933];
- » 18, p. 209 à 284 (C. C. Photométrie, 1<sup>re</sup> Session, 1937);
- » 19, p. P 1 à P 83 (2<sup>e</sup> Session, 1939);
- » 23-B, p. P 1 à P 138 (3<sup>e</sup> Session, 1952);
- » 26-B, p. P 1 à P 123 (4<sup>e</sup> Session, 1957).

Par simplification, le Comité International des Poids et Mesures a par ailleurs décidé (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 29, 1961, p. 37) la suppression des procès-verbaux détaillés des séances des Comités Consultatifs; les Rapports des Comités Consultatifs au Comité International tiennent lieu de procès-verbaux simplifiés.

---

COMITÉ CONSULTATIF  
DE PHOTOMÉTRIE

AUPRÈS DU

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

---

5<sup>e</sup> SESSION — 1962  
(14-16 mai)



PARIS

GAUTHIER-VILLARS & C<sup>ie</sup>

IMPRIMEUR-ÉDITEUR DU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

55, Quai des Grands-Augustins.





---

## AVERTISSEMENT HISTORIQUE

---

Le Bureau International des Poids et Mesures a été créé par la *Convention du Mètre* signée à Paris le 20 mai 1875 par dix-sept États, lors de la dernière séance de la Conférence Diplomatique du Mètre. Cette Convention a été modifiée en 1921.

Le Bureau International a son siège près de Paris, dans le domaine du Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) mis à sa disposition par le Gouvernement français; son entretien est assuré à frais communs par les États membres de la Convention du Mètre (1).

Le Bureau International a pour mission d'assurer l'unification mondiale des mesures physiques; il est chargé

- d'établir les étalons fondamentaux et les échelles des principales grandeurs physiques et de conserver les prototypes internationaux;
- d'effectuer la comparaison des étalons nationaux et internationaux;
- d'assurer la coordination des techniques de mesure correspondantes;
- d'effectuer et de coordonner les déterminations relatives aux constantes physiques fondamentales.

Le Bureau International fonctionne sous la surveillance exclusive d'un *Comité International des Poids et Mesures*, placé lui-même sous l'autorité d'une *Conférence Générale des Poids et Mesures*.

La Conférence Générale est formée des délégués de tous les États membres de la Convention du Mètre et se réunit au moins une fois tous les six ans. Elle reçoit à chacune de ses sessions le Rapport du Comité International sur les travaux accomplis, et a pour mission :

- de discuter et de provoquer les mesures nécessaires pour assurer la propagation et le perfectionnement du Système Métrique;
- de sanctionner les résultats des nouvelles déterminations métrologiques fondamentales et les diverses résolutions scientifiques de portée internationale;
- d'adopter les décisions importantes concernant l'organisation et le développement du Bureau International.

---

(1) Au 31 décembre 1961, trente-huit États sont membres de cette Convention : Allemagne, Amérique (É.-U. d'), Argentine (Rép.), Australie, Autriche, Belgique, Brésil, Bulgarie, Canada, Chili, Corée, Danemark, Dominicaine (Rép.), Espagne, Finlande, France, Hongrie, Inde, Indonésie, Irlande, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Roumanie, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, Thaïlande, Turquie, U. R. S. S., Uruguay, Vénézuéla, Yougoslavie.

Le Comité International est composé de dix-huit membres appartenant à des États différents; il se réunit normalement tous les deux ans. Le bureau de ce Comité adresse aux Gouvernements des États membres de la Convention du Mètre un *Rapport Annuel* sur la situation administrative et financière du Bureau International.

Devant l'extension des tâches confiées au Bureau International, le Comité International a institué depuis 1927, sous le nom de *Comités Consultatifs*, des organes destinés à le renseigner sur les questions qu'il soumet, pour avis, à leur examen. Ces Comités Consultatifs sont chargés de coordonner les travaux internationaux effectués dans leurs domaines respectifs et de proposer des recommandations concernant les modifications à apporter aux définitions et aux valeurs des unités, en vue des décisions que le Comité International est amené à prendre directement ou à soumettre à la sanction de la Conférence Générale pour assurer l'unification mondiale des unités de mesure.

Les Comités Consultatifs, dont la présidence est généralement confiée à un Membre du Comité International, ont un règlement commun (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 1952, 23-A, p. 108); ils sont composés d'un délégué de chacun des grands Laboratoires métrologiques nationaux, de représentants d'Organisations et d'Instituts spécialisés et de spécialistes nominativement désignés. Ces Comités tiennent leurs sessions selon une périodicité irrégulière; ils sont actuellement au nombre de six :

1. Le *Comité Consultatif d'Électricité*, créé en 1927.
2. Le *Comité Consultatif de Photométrie*, créé en 1933 (de 1930 à 1933 le Comité précédent s'est occupé des questions de photométrie).
3. Le *Comité Consultatif de Thermométrie*, créé en 1937.
4. Le *Comité Consultatif pour la Définition du Mètre*, créé en 1952.
5. Le *Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde*, créé en 1956.
6. Le *Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Radiations Ionisantes*, créé en 1958.

Les travaux de la Conférence Générale, du Comité International, des Comités Consultatifs et du Bureau International sont publiés par les soins de ce dernier dans les collections suivantes

- *Comptes Rendus des séances de la Conférence Générale des Poids et Mesures*;
- *Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures*;
- *Sessions des Comités Consultatifs*;
- *Travaux et Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures* (périodicité irrégulière).

Le Bureau International présente en outre à la Conférence Générale un Rapport sur les développements du Système Métrique dans le monde, Rapport publié sous le titre : *Les récents progrès du Système Métrique*.



---

PRÉSIDENT  
du Comité International des Poids et Mesures

R. VIEWEG

---

LISTE DES MEMBRES

DU

COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMÉTRIE

---

*Président*

J. M. OTERO, Membre du Comité International des Poids et Mesures, Président, Centro Nacional de Energia Nuclear « Juan Vigon », Ciudad Universitaria, *Madrid*.

*Membres*

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT [P. T. B.], *Braunschweig* (H. KORTE, Directeur de l'Abteilung IV; H. WILLENBERG, Abteilung IV).

DEUTSCHES AMT FÜR MESSWESEN [D. A. M.], *Berlin* (S. NÜNDEL, Hauptlaborleiter; B. FISCHER, Laborleiter, Labor. für Lichteinheit).

NATIONAL BUREAU OF STANDARDS [N. B. S.], *Washington 25*, D. C. (L. E. BARBROW, Chief, Photometry and Colorimetry Section).

NATIONAL STANDARDS LABORATORY [N. S. L.], *Chippendale*, N. S. W. (W. R. BLEVIN, Senior Research Officer).

NATIONAL RESEARCH COUNCIL [N. R. C.], *Ottawa* (C. L. SANDERS, Research Officer; G. W. WYSZECKI, Head, Radiation Optics Section).

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS [C. N. A. M.], *Paris* (M. DEBURE, Sous-Directeur de Laboratoire, Chef du Service de Métrologie au Laboratoire National d'Essais).

ELECTROTECHNICAL LABORATORY [E. T. L.], *Tokyo* (K. YOSHIÉ, Chief, Applied Physics Division).

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY [N. P. L.], *Teddington* (J. S. PRESTON, Senior Principal Scientific Officer; O. C. JONES, Senior Scientific Officer, Light Division).

INSTITUT DE MÉTROLOGIE D. I. MENDÉLÉEV [I. M. M.], *Leningrad* (M<sup>me</sup> V. E. KARTACHEVSKAIA, Chef du Laboratoire Photométrique; M<sup>me</sup> E. N. TCHETCHOURINA, Chef du Laboratoire de Mesures Électromagnétiques).

E. PERUCCA, Directeur honoraire, Istituto di Fisica Sperimentale, Politecnico, *Torino*.

L. PLAZA, Vice-Director, Instituto de Optica, *Madrid*.

O. REEB, Professeur, Lichttechnisches Institut der Technischen Hochschule, *Karlsruhe*.

W. D. WRIGHT, Professor of Technical Optics, Imperial College of Science and Technology, *London*.

C. ZWIKKER, Doyen de la Faculté des Sciences Générales, Université Technique, *Eindhoven*.

Le Directeur du BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES [B. I. P. M.], *Sèvres* (J. TERRIEN).



## ORDRE DU JOUR DE LA SESSION

---

1. Désignation d'un Secrétaire et d'un Rapporteur.
  2. Documents distribués.
  3. Travaux sur l'étalon primaire; résultats des études sur la réalisation du corps noir; radiométrie absolue.  
Travaux de spectrophotométrie.
  4. Examen et discussion des résultats des comparaisons photométriques internationales de 1961; conclusions à en tirer.
  5. Qualités des lampes étalons.
  6. Unification des unités photométriques.
  7. Comparaisons futures.
  8. Travaux photométriques du Bureau International.
  9. Comparaisons internationales d'étalons de température de couleur.
  10. Valeurs des efficacités lumineuses relatives  $V_{\lambda}$ .
  11. Informations sur les comparaisons de lampes fluorescentes tubulaires, organisées par le N. P. L. pour la C. I. E.
  12. Questions diverses.
-

# COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMÉTRIE

---

## 5<sup>e</sup> SESSION (1962)

---

### CINQUIÈME RAPPORT

AU

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Par H. KORTE, Rapporteur

---

Le Comité Consultatif de Photométrie a tenu sa cinquième session au Pavillon de Breteuil à Sèvres, au cours de cinq séances les lundi 14, mardi 15 et mercredi 16 mai 1962.

Étaient présents : Mr OTERO, Président; MM. BARBROW, BLEVIN, DEBURE, JONES, M<sup>me</sup> KARTACHEVSKAIA, MM. KORTE, PERUCCA, PLAZA, PRESTON, REEB, SANDERS, M<sup>me</sup> TCHETCHOURINA, MM. TERRIEN, WILLENBERG, WRIGHT, WYSZECKI, YOSHIÉ, ZWIKKER, Membres du Comité Consultatif;

MM. J. BONHOURE et MOREAU, du Bureau International, invités.

Excusés : MM. FISCHER et NÜNDEL.

Mr KORTE (assisté de Mr J. BONHOURE comme Secrétaire) fut nommé Rapporteur.

#### Travaux sur l'étalon primaire

Mr le PRÉSIDENT rappelle que l'on a rencontré des causes d'erreurs imprévues dans la réalisation de l'étalon primaire. Il croit qu'il serait nécessaire de discuter des possibilités d'amélio-

ration actuelles et demande aux Laboratoires nationaux qui ont récemment refait le corps noir d'exposer les divers aspects de leurs travaux.

Au National Bureau of Standards, depuis 1957, on a réalisé l'étalon en lui donnant successivement des caractéristiques géométriques différentes; on a étudié, en particulier, l'influence des dimensions du creuset et du tube de visée; on a également fait l'essai d'une bobine de chauffage asymétrique et, par suite d'une plus grande uniformité de température du platine, on a obtenu des résultats plus reproductibles (Annexe 2).

A l'Institut de Métrologie D. I. Mendéléev, au cours des plus récentes mesures, on a employé pour le chauffage en haute fréquence du bain de platine un enroulement mobile; la vitesse de déplacement de cet enroulement n'était pas uniforme, mais choisie de telle sorte que les extrémités du creuset bénéficient d'un supplément de chauffage. On a ainsi pu obtenir des paliers de fusion et de solidification sensiblement identiques, et il n'a été nécessaire d'éliminer qu'un très petit nombre de paliers.

Un autre perfectionnement apporté à l'appareillage concerne le système optique; un dispositif auxiliaire a permis de déterminer la valeur du facteur de transmission et d'en suivre l'évolution au cours même des mesures. Dans ces conditions, on est parvenu à une précision sur une seule mesure de 0,3 à 0,4 % (Annexe 3).

Cependant, à la vue des incertitudes qui apparaissent entre les unités représentées par les lampes à incandescence des Laboratoires nationaux, et suivant une proposition écrite présentée au Comité Consultatif, l'I. M. M. pense qu'une comparaison directe des corps noirs (y compris leurs systèmes optiques) aurait peut-être permis de connaître leur concordance réelle.

Au National Research Council, on a porté depuis 1957 son attention sur le dispositif de chauffage; le four a été modifié en introduisant une enveloppe métallique de tantale autour du creuset. Ce procédé a permis d'améliorer l'uniformité de température du lingot de platine, mais on observe malheureusement une certaine contamination du platine. Les paliers de solidification sont excellents; les paliers de fusion sont aussi nettement définis, mais les paliers de solidification sont seuls utilisés.



Au cours de ces travaux, on a étudié l'importance des diverses erreurs intervenant dans la réalisation du corps noir et dans le passage de l'étalon primaire aux étalons secondaires (Annexe 4).

Dans le but de voir si l'application des corrections qui peuvent être apportées aux résultats de mesure améliorerait l'accord entre les laboratoires, le Comité Consultatif a décidé de créer un *Groupe de travail* ayant pour tâche l'étude de ces corrections, et plus généralement l'étude de toutes questions relatives à l'étalon primaire (*Recommandation 1*). Mr SANDERS a été proposé comme Président de ce Groupe de travail (1).

#### Radiométrie absolue

Au National Physical Laboratory, on a mesuré l'échauffement d'une surface noircie soumise à un rayonnement énergétique (visible et proche du visible) en reproduisant le même échauffement par énergie électrique (Annexe 5). Le récepteur utilisé pour ces mesures absolues était une thermopile munie d'une résistance électrique de chauffage; sa sensibilité spectrale était rendue aussi voisine que possible de la courbe  $V_{\lambda}$  à l'aide d'un filtre liquide. Avec ce type de récepteur dont la sensibilité globale est faible, il est préférable d'étalonner des lampes de forte intensité lumineuse, à la température de couleur de 2 854°K par exemple.

En fixant par convention internationale une valeur de l'efficacité lumineuse maximale  $K_m$ , il serait possible de déduire la candela des unités électriques (Annexe 6).

A l'Institut de Métrologie D. I. Mendéléev, on a déjà effectué en 1957 un travail dans le même but par une méthode semblable à celle du N. P. L. citée ci-dessus. La valeur de l'efficacité lumineuse maximale a été déterminée par une méthode expérimentale fondée sur les mesures de l'intensité lumineuse et de l'intensité énergétique d'un groupe de lampes à incandescence pour trois températures de couleur. Ces mesures ont été exécutées à l'aide de thermopiles munies d'un filtre liquide dont la courbe de

---

(1) Ce groupe de travail a tenu sa première réunion le 16 mai 1962; son rapport est donné à l'Annexe 1.

transmission spectrale était aussi voisine que possible de la courbe  $V_\lambda$  (Annexe 7).

Des recherches semblables sont présentement en cours à l'Electrotechnical Laboratory où l'on mesure l'échauffement par la variation de résistance de fils fins métalliques. Au National Standards Laboratory, où l'on est en faveur des méthodes radiométriques de préférence au corps noir, on étudie des bolomètres à couches minces d'or.

Il semble que les mesures radiométriques aient une reproductibilité meilleure que celle du corps noir actuel et qu'elles pourraient constituer pour l'avenir une solution intéressante au problème de l'étalon primaire.

Sur une proposition du N. S. L. approuvée par les autres laboratoires, le N. P. L. accepte d'organiser une comparaison préliminaire de récepteurs thermiques absolus; le N. P. L. se chargera d'étalonner des récepteurs d'un même type, sans doute des thermopiles à air de sensibilité  $60 \text{ mV} \cdot \text{W}^{-1} \text{ cm}^2$  environ, pour les laboratoires qui en feront la demande; les étalonnages devront être effectués en éclaircissement énergétique au moyen du rayonnement, filtré par une cuve d'eau, de lampes à filament de tungstène en atmosphère gazeuse réglées à température de couleur élevée (*Recommandation 2*). Le N. P. L. prendra la responsabilité d'obtenir et de distribuer les thermopiles et, si nécessaire, d'examiner la question des frais correspondants.

#### Mesures spectrophotométriques

L'E. T. L. a effectué, au cours de mesures de photométrie hétérochrome par la méthode spectrophotométrique, le passage de la candela à  $2\,042^\circ\text{K}$  à la candela à  $2\,353^\circ\text{K}$  et du lumen à  $2\,353^\circ\text{K}$  au lumen à  $2\,788^\circ\text{K}$ . Les écarts trouvés entre les valeurs photométrique et spectrophotométrique, 0,3 % pour la candela à  $2\,353^\circ\text{K}$  et 1,7 % pour le lumen à  $2\,788^\circ\text{K}$ , confirment ceux qui ont été obtenus antérieurement au Bureau International. Il semble que la méthode de la longueur d'onde de Crova, peut-être plus simple, donne les mêmes résultats que la méthode spectrophotométrique (Annexe 8).

Le Comité Consultatif souhaite que de telles études soient poursuivies (*Recommandation 3*).

**Comparaisons internationales de 1961  
Unification des unités photométriques**

Le Bureau International présente les résultats de la quatrième comparaison des étalons d'intensité et de flux lumineux, à laquelle ont participé huit Laboratoires nationaux. L'examen du tableau XI (Annexe 9) montre que les écarts concernant la conservation des unités de 1957 à 1961 ne sont pas tous satisfaisants; les différences extrêmes entre les laboratoires ont même augmenté par rapport aux différences correspondantes de 1957. Il y a lieu de rechercher les causes d'un tel état de fait (*Recommandation 3*). Le préallumage spécifié des étalons et l'emploi de lampes d'un nouveau type, construites au Japon, n'ont pas apporté l'amélioration escomptée.

En 1957, quatre laboratoires avaient modifié leurs unités pour les aligner sur une même moyenne internationale. La concordance interne entre ces quatre laboratoires n'étant pas meilleure que la concordance d'ensemble de tous les laboratoires, ceux-ci décident de maintenir leurs unités présentement en usage.

**Qualités des lampes étalons**

Des lampes, des types préconisés par l'E. T. L. en 1957 pour constituer des étalons d'intensité lumineuse, ont été acquises par plusieurs laboratoires et certaines d'entre elles ont participé à la quatrième comparaison internationale. L'examen de la stabilité de ces lampes a montré qu'elles sont très satisfaisantes lorsqu'elles sont utilisées en un même lieu. Mais au cours de transports non accompagnés, quelques accidents spécifiques aux lampes à 2 042°K se sont produits; il semble qu'en l'absence de tout crochet-support, les deux seules soudures qui fixent le filament aux arrivées de courant soient fragiles compte tenu du poids du filament. L'E. T. L., en collaboration avec le constructeur, doit chercher à porter remède à ce manque de robustesse (Annexe 10).

**Comparaisons futures**

Pour la cinquième comparaison internationale des étalons photométriques, dans le but d'augmenter encore si possible tout le soin apporté à ces comparaisons et également pour

alléger le travail du Bureau International, le Comité Consultatif décide de supprimer les étalons d'intensité et de flux lumineux à 2 353°K, bien qu'ils soient les plus stables. Chaque laboratoire n'enverra que les groupes de lampes présentant le plus d'importance actuellement, à savoir : des étalons d'intensité lumineuse aux températures de couleur de 2 042°K et 2 854°K et des étalons de flux lumineux à la température de couleur de 2 788°K.

La date retenue pour l'arrivée des lampes au Bureau International est octobre 1965 (*Recommandation 4*).

#### **Travaux photométriques du Bureau International**

Outre la quatrième comparaison des étalons photométriques nationaux, le Bureau International a effectué une étude sur sa sphère lumenmètre, toujours recouverte intérieurement du mélange oxyde de zinc-carboxyméthylcellulose réalisé en 1955. Le but de cette étude était la détermination, directement sur la sphère de mesure, du facteur de réflexion du revêtement blanc diffusant. La méthode utilisée consistait à mesurer, pour un même flux lumineux pénétrant dans la sphère, le rapport des luminances correspondant, soit à l'aire totale de la sphère, soit à l'aire d'un seul hémisphère; le calcul permettait ensuite de connaître la valeur du facteur de réflexion. Après avoir contrôlé la validité pratique de cette méthode, par comparaison à celle des échantillons utilisée jusque-là, on a obtenu le résultat suivant : le revêtement de la sphère est légèrement sélectif dans la partie bleue seulement du spectre et son facteur de réflexion mesuré en lumière blanche a pour valeur 90 % (*Bull. Soc. Fr. Élect.*, 8<sup>e</sup> série, 1961, p. 402).

Par ailleurs, depuis la session de 1957, le Bureau International a procédé aux études courantes (formation, réglage en température de couleur, étalonnage en candelas et en lumens) de plus de 60 lampes, à la demande de laboratoires appartenant aux pays suivants : Égypte, Hongrie, Inde, Italie, Pologne, Suisse. Des lampes neuves ont été également cédées à quelques laboratoires.

#### **Comparaison internationale d'étalons de température de couleur**

Les laboratoires suivants prendront part à la première comparaison internationale d'étalons de température de couleur :

Physikalisch-Technische Bundesanstalt;  
Deutsches Amt für Messwesen;  
National Bureau of Standards;  
Conservatoire National des Arts et Métiers;  
Electrotechnical Laboratory;  
National Physical Laboratory;  
Institut de Métrologie D. I. Mendéléév.

Il a été convenu que les étalons de température de couleur devaient parvenir au Bureau International avant le 1<sup>er</sup> novembre 1962.

#### Valeurs des efficacités lumineuses relatives $V_\lambda$

Après un échange de vues sur cette question, on constate qu'au cours des dix dernières années, aucune information tirée de travaux expérimentaux ne justifie une modification de la courbe  $V_\lambda$  que tous les spécialistes reconnaissent cependant imparfaite.

#### Comparaison de lampes fluorescentes tubulaires

A la suite d'une recommandation de la Commission Internationale de l'Éclairage (C. I. E.) en 1955, le National Physical Laboratory a organisé une comparaison internationale de lampes fluorescentes tubulaires. Le N. P. L. a envoyé à chacun des huit Laboratoires nationaux participants neuf lampes sélectionnées et étalonnées réparties en trois groupes : « Daylight », « Colour Matching » et « Warm White ». Après mesures dans les divers laboratoires, les neuf lampes ont été contrôlées à nouveau au N. P. L.

Les mesures effectuées étaient de deux sortes : mesure du flux lumineux et mesure des coordonnées trichromatiques; on a également déterminé la répartition spectrale de la lumière émise par une région de 1 cm<sup>2</sup> spécifiée de la surface du tube.

A la fin de cette comparaison, on a pu conclure que la précision des mesures photométriques est nettement meilleure que la stabilité des lampes, et l'on estime que si l'industrie peut conserver le lumen par un groupe de tubes fluorescents, il est préférable dans les Laboratoires nationaux d'étalonner les tubes à partir de lampes à incandescence.

Le Comité Consultatif félicite et remercie le N. P. L. pour l'important travail réalisé dans ce domaine.

#### Questions diverses

Au sujet des travaux que comptent poursuivre les Laboratoires nationaux dans les quelques années à venir, on constate que trois d'entre eux (N. B. S., N. R. C., I. M. M.) continuent à s'intéresser à la réalisation et à l'amélioration du corps noir, mais que tous désirent étudier l'importante question des méthodes radiométriques.

Le Bureau International a l'intention d'effectuer, outre les comparaisons d'étalons de température de couleur, le rattachement de la candela à  $2854^{\circ}\text{K}$  aux deux autres candelas par la méthode spectrophotométrique; il pense également s'engager vers la radiométrie absolue.

En conclusion de ses travaux, le Comité Consultatif a adopté les quatre recommandations ci-dessous.

Mr le PRÉSIDENT remercie ses collègues pour le travail accompli au cours de cette session et Mr PRESTON rend hommage à Mr le Président pour la façon dont il a conduit les discussions. A ces remerciements, M<sup>me</sup> KARTACHEVSKAIA associe le Bureau International dont elle souligne l'importance du travail effectué.

(22 juin 1962)

#### RECOMMANDATION 1

*Plusieurs Laboratoires nationaux ayant sensiblement amélioré*

*a. le mode de réalisation du corps noir étalon primaire photométrique par la recherche de meilleures conditions de température et par le calcul de corrections,*

*b. le passage de la luminance du corps noir à l'intensité lumineuse des lampes étalons secondaires,*

*laissant ainsi espérer qu'il est maintenant possible d'atteindre l'exactitude de 0,5 pour cent estimée suffisante pour les besoins actuels, le Comité Consultatif de Photométrie recommande à ces Laboratoires nationaux de poursuivre leurs travaux, et crée un Groupe de travail de l'« étalon primaire photométrique », comprenant Mr Sanders, proposé comme président, M<sup>me</sup> Kartachevskaja, MM. Barbrow, Jones, Willenberg et Yoshié.*

## RECOMMANDATION 2

Considérant l'intérêt croissant des Laboratoires nationaux pour la mesure énergétique des rayonnements visibles ou proches du visible (radiométrie absolue), le Comité Consultatif de Photométrie recommande à ces Laboratoires d'orienter leurs travaux en tenant compte de la possibilité (illustrée par les études du National Physical Laboratory et de l'Institut de Métrologie D. I. Mendéléev) de définir les grandeurs photométriques par la fixation d'une valeur de l'efficacité lumineuse d'une radiation monochromatique et de mesurer ces grandeurs au moyen d'un récepteur thermique absolu combiné à un filtre dont le facteur de transmission soit connu et approximativement proportionnel à  $V_\lambda$  aux diverses longueurs d'onde. Parmi les travaux envisagés dans cette voie, le Comité Consultatif a pris connaissance avec satisfaction du projet d'un étalonnage comparatif de récepteurs thermoélectriques de rayonnement que le N. P. L. se propose d'organiser avec les autres Laboratoires nationaux.

## RECOMMANDATION 3

La quatrième comparaison internationale (1961) des étalons photométriques ayant fait apparaître, dans le contrôle de la conservation des unités des divers Laboratoires nationaux et dans le rattachement hétérochrome des étalons de flux lumineux aux deux températures de couleur, des divergences que ni les erreurs expérimentales ni les défauts de stabilité des lampes ne suffisent à expliquer, le Comité Consultatif de Photométrie recommande que leur cause soit recherchée par les Laboratoires nationaux et le Bureau International des Poids et Mesures.

## RECOMMANDATION 4

En vue de renforcer la valeur des renseignements qui seront obtenus par la cinquième comparaison internationale des étalons photométriques qui doit commencer en octobre 1965, le Comité Consultatif de Photométrie recommande de concentrer les efforts en limitant à trois le nombre des types d'étalons envoyés par les Laboratoires nationaux au Bureau International des Poids et Mesures, à savoir :

1° A la température de couleur du corps noir étalon primaire, des lampes dont l'intensité lumineuse sera déterminée sur la base des expériences les plus récentes de chaque Laboratoire national sur cet étalon primaire ; ces expériences et les corrections appliquées aux résultats seront exposées dans un rapport qui sera adressé au

*Bureau International et étudié par le Groupe de travail de l'étalon primaire photométrique ;*

*2° Des lampes, étalons secondaires d'intensité lumineuse à la température de couleur de 2 854°K;*

*3° Des lampes étalons secondaires de flux lumineux à la température de couleur de 2 788°K,*

*ces deux derniers types étant les plus fréquemment employés par les Laboratoires nationaux.*



ANNEXE 4

---

RAPPORT DU GROUPE DE TRAVAIL  
DE L'ÉTALON PRIMAIRE PHOTOMÉTRIQUE  
AU  
COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMÉTRIE

Par C. L. SANDERS, Président

(Traduction)

---

Le Groupe de travail s'est réuni au Pavillon de Breteuil le mercredi 16 mai 1962.

Étaient présents : MM. SANDERS (Président), M<sup>me</sup> KARTACHEVSKAIA, MM. BARBROW, JONES, WILLENBERG et YOSHIÉ. Assistaient également à la réunion quelques autres Membres du Comité Consultatif.

Après un échange de vues, il a été convenu que les Laboratoires nationaux ayant réalisé l'étalon primaire seraient invités à établir un rapport décrivant les conditions géométriques et le dispositif optique utilisés dans leurs travaux. Chaque laboratoire préparerait un tableau analogue au tableau I de l'Annexe 4, donnant la valeur et l'écart-type de chacune des erreurs non corrigées. On ajouterait à cette liste une correction pour la loi de l'inverse du carré des distances, en raison des dimensions finies du diaphragme. Une dernière correction, enfin, serait ajoutée à celles concernant le corps noir pour tenir compte du fait que, si l'émissivité est habituellement calculée pour le fond du tube de visée, une partie de la paroi du tube peut aussi intervenir dans l'éclairement du récepteur.

Les résultats fournis comprendraient la correction relative à l'unité nationale à 2 042°K indiquée au tableau X de l'Annexe 9. Une valeur corrigée pour le « groupe de référence B. I. P. M. 1961 » pourrait ainsi être calculée et on verrait alors si les corrections améliorent ou non l'accord international pour la candela à 2 042°K.

Il a été convenu d'envoyer ces renseignements avant le 31 décembre 1962 au Bureau International où ils seront rassemblés en un seul document; ce dernier sera communiqué à chaque laboratoire pour étude avant d'être discuté à une réunion du Groupe de travail à Vienne, soit juste avant, soit juste après la session plénière de la C. I. E. de 1963. A cette réunion, les Membres du Groupe pourront ainsi examiner les résultats et décider du programme ultérieur.

La proposition faite par le N. R. C. (Annexe 11) d'une comparaison internationale de lampes à ruban étalons de luminance a été examinée, mais les intéressantes suggestions contenues dans cette proposition ne seront étudiées que plus tard dans le cas où le projet prendrait corps.

La question du degré de confiance des valeurs du tableau X de l'Annexe 9 comme indication de la grandeur relative des candelas nationales a été soulevée et le Bureau International a suggéré qu'un échange limité de lampes pourrait être organisé ultérieurement; mais il a été décidé de ne pas prendre de décision sur ce point jusqu'à ce que les autres erreurs aient été précisées et examinées.

Le N. B. S. a proposé de fournir des copies d'une Note de son laboratoire sur les corrections qu'entraînent les changements dans les dimensions du creuset et du tube de visée. Cette Note serait très utile pour les corrections à apporter au corps noir suivant l'émergence du tube de visée.

(21 mai 1962)

## ANNEXE 2

National Bureau of Standards (États-Unis d'Amérique)

---

# REPRODUCTIBILITÉ DE L'ÉTALON PRIMAIRE DE LUMIÈRE

Par R. P. TEELE

(Traduction)

---

En 1908, Waidner et Burgess [1] ont proposé comme étalon de lumière un radiateur intégral au point de solidification du platine pur. En 1931, Wensel et al. [2] ont décrit la réalisation d'un tel radiateur au National Bureau of Standards (N. B. S.). Après vérification expérimentale dans d'autres laboratoires, l'étalon a été adopté internationalement [3] et pris comme base de définition des unités photométriques à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1948.

En 1940, par suite d'un besoin urgent de place et de matériel pour d'autres travaux, et après que des lampes à incandescence aient été étalonnées par comparaison à l'étalon primaire, l'installation photométrique utilisée en 1930 a été démontée.

En 1957, des travaux ont commencé au N. B. S. en vue de réaliser de façon permanente le radiateur intégral étalon de lumière et de déterminer tous les facteurs qui affectent sa reproductibilité.

Au lieu de l'ancienne disposition du montage photométrique sur un seul niveau, ce qui nécessitait l'emploi d'un système prisme-lentille, on a utilisé une disposition sur deux niveaux (*fig. 1*) avec seulement une lentille et un porte-photomètre pivotant. L'élimination du prisme a rendu la détermination du facteur de transmission du système optique moins incertaine. Le générateur haute fréquence, la bobine d'induction, le creuset et la lentille ont été placés sur le niveau inférieur, et les appareils photométrique et électriques sur le niveau supérieur. Le récepteur (photopile munie d'un filtre correcteur, d'un verre opalin et

d'un diaphragme) et les divers écrans étaient montés sur une glissière pivotante pouvant être placée verticalement ou horizontalement. Dans la position verticale, la photopile était éclairée

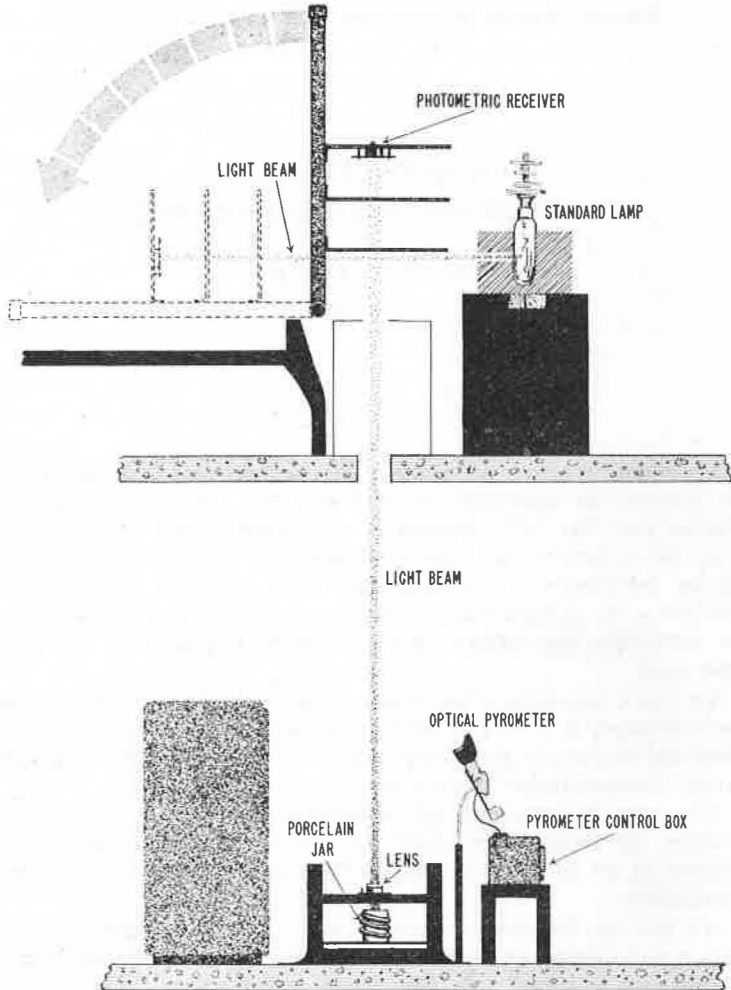


Fig. 1. — Installation sur deux niveaux de l'étalon primaire. Sur le niveau supérieur : appareils photométrique et électriques; sur le niveau inférieur : générateur haute fréquence, bobine d'induction, creuset, lentille. Le porte-photomètre pivotant occupe les positions verticale (éclairage du récepteur par le radiateur intégral) et horizontale (éclairage du récepteur par les lampes étalons). Les divers écrans sont les mêmes dans les deux positions.

par la lumière du radiateur dont la lentille formait une image sur l'ouverture du diaphragme. Dans la position horizontale, l'ouverture du diaphragme était éclairée par les lampes étalons fonctionnant à la température de couleur de  $2\ 042^{\circ}\text{K}$ . Les mesures étaient faites ainsi par une méthode de substitution parfaite, le récepteur, le filtre correcteur, le verre opalin, le diaphragme et les divers écrans étant les mêmes dans les deux positions.

L'étalon adopté internationalement est un radiateur intégral à la température de solidification du platine pur. Les radiateurs réels s'écartent inévitablement de cet idéal sur plusieurs points :

- 1° Il y a une ouverture permettant d'observer l'intérieur;
- 2° Il y a un gradient de température dans les parois du tube;
- 3° Le radiateur n'est pas complètement immergé dans le bain de platine. Toutes ces conditions non idéales réduisent la luminance.

Aucune difficulté n'a été rencontrée pour l'obtention de platine très pur d'origine commerciale. La préparation du lingot a été faite en découpant un quart environ du couvercle du creuset de façon que le platine puisse être introduit. Le platine était obtenu sous forme de barres (1,6 et 0,8 cm<sup>2</sup>) légèrement plus courtes que la hauteur du creuset, ce qui permettait un minimum de manipulations du platine pur et réduisait la possibilité de contamination au cours de la formation d'un lingot utilisable. Des pinces recouvertes de platine à leurs extrémités ont servi à manipuler les barres. Une fois le creuset rempli de platine, le couvercle coupé a été enlevé et remplacé par un couvercle entier. Des contrôles portant sur la force thermoélectrique en fonction du platine pur, sur la valeur moyenne du rapport des résistances électriques pour l'intervalle fondamental 0-100°C, et une analyse spectrochimique ont été faits avant et après l'emploi. La force thermoélectrique par rapport à l'étalon de platine du N.B.S. Pt 27 était à 1 400°C de + 2  $\mu\text{V}$  avant et + 4  $\mu\text{V}$  après emploi ; la valeur du rapport  $\frac{R_{100} - R_0}{100 R_0}$  était de 0,003 925 avant et de 0,003 920 après. L'analyse spectrochimique a montré avant l'emploi une légère trace de fer (1 millionième environ), tandis qu'après l'emploi on a trouvé 50 à 100 millionièmes de fer et moins de 5 millionièmes pour chacun des corps suivants : cuivre, magnésium, argent et silicium. Ces trois contrôles montrent qu'aucune contamination importante du platine ne s'est produite au cours des mesures.

Deux creusets de dimensions différentes ont été utilisés (fig. 2). Le lingot était chauffé par induction, à la fréquence de 450 kHz. Comme cela est indiqué dans l'article de 1931, le chauffage par

induction a deux avantages marqués sur les autres modes de chauffage :

1° Une violente agitation avant le commencement de la solidification améliore l'uniformité de température au moment critique du début de la solidification;

2° Le lingot de platine est la partie la plus chaude de l'appareil, ce qui réduit la contamination possible du platine par condensation d'impuretés. Les mesures ont été faites dans l'air. Le portelentille était muni, à sa partie basse, d'une cavité refroidie par un courant d'air et présentait ainsi une paroi froide sur laquelle les vapeurs pouvaient se condenser. Aucun dépôt métallique sur la lentille n'a pu être mis en évidence.

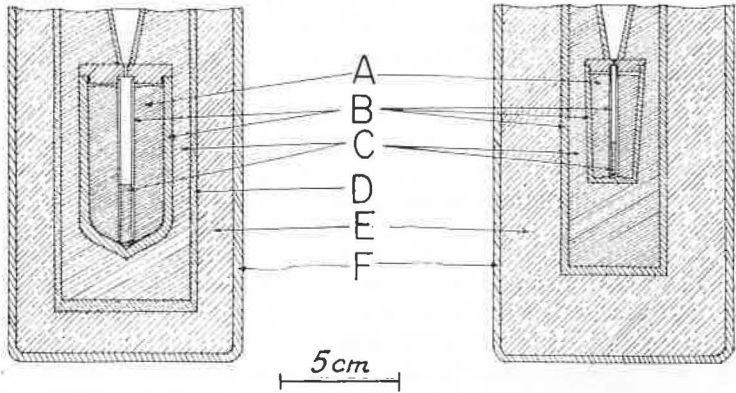


Fig. 2. — Le petit et le grand creusets et les tubes de visée utilisés.

Le petit creuset est à peu près le même que celui qui a été utilisé en 1931.

A, platine; B, oxyde de thorium fondu; C, poudre d'oxyde de thorium; D, oxyde de zirconium fondu; E, poudre d'oxyde de zirconium; F, porcelaine réfractaire.

Chaque tube de visée, qui constitue le radiateur réel, était cylindrique et en oxyde de thorium. Un orifice dans le couvercle du creuset constituait l'ouverture d'observation.

Au cours des séries de mesure, on a utilisé des tubes de visée et des ouvertures différents afin d'étudier l'influence de leurs dimensions.

Plusieurs dispositions relatives du champ haute fréquence et du lingot ont été étudiées. La première disposition était obtenue en plaçant avec soin le lingot de platine dans l'axe d'une bobine d'induction à spires régulièrement espacées. Cette disposition conduisait à la formation d'une cavité dans le métal, en des

points variant au hasard d'une solidification à l'autre, comme le montrait l'analyse radiographique faite après chaque emploi avec une source au cobalt 60. Pour environ un tiers des solidifications, la cavité était contiguë au tube de visée qui, ainsi, n'était pas en contact avec le platine en cours de solidification; de telles séries de mesure ont été éliminées parce qu'elles fournissaient de mauvais paliers de courte durée. La deuxième disposition était obtenue en décentrant légèrement le lingot dans la bobine d'induction; dans ces conditions, la cavité dans le métal se formait toujours du côté du creuset et le tube de visée restait toujours immergé dans le bain de platine. La troisième disposition était obtenue en plaçant le lingot dans l'axe d'une bobine d'induction asymétrique dont les spires étaient plus serrées sur un des côtés; cette disposition conduisait également à la formation de cavités dans le métal, mais ne touchant pas le tube de visée.

Les résultats obtenus ici sont comparés à ceux de 1931 dans le tableau I.

TABLEAU I

*Résultats obtenus sur le radiateur expérimental du N. B. S.*

Condition expérimentale	Nombre de solidifications	Dimensions (en cm)						Luminance observée (cd/cm <sup>2</sup> )
		$d_a$	$d_i$	$d_o$	$l$	$l_i$	$l_u$	
<i>a</i> .....		0,15	0,25	0,30	3,0	2,6	0,4	60,00
<i>b</i> .....	17	,20	,55	,79	4,5	3,1	1,4	58,51
<i>c</i> .....	28	,18	,35	,50	2,5	2,3	1,2	59,85
<i>d</i> .....	21	,18	,35	,50	2,5	2,2	1,3	59,81
<i>e</i> .....	25	,18	,35	,50	2,5	2,1	1,4	59,68
<i>f</i> .....	14	,20	,55	,79	4,4	4,1	1,3	59,77

*a*, Travaux de 1931.

*b*, Grand lingot (diamètre moyen : 3,2 cm) centré.

*c*, Petit lingot ( » » : 2,0 » ) centré.

*d*, Petit lingot ( » » : 2,0 » ) décentré.

*e*, Petit lingot ( » » : 2,0 » ) centré, bobine asymétrique.

*f*, Grand lingot ( » » : 3,2 » ) centré, bobine asymétrique.

$d_a$  = diamètre de l'ouverture du tube de visée;

$d_i$  = diamètre intérieur du tube de visée;

$d_o$  = diamètre extérieur du tube de visée;

$l$  = longueur de la partie du tube de visée comprise entre l'ouverture et la surface de la poudre de thorine remplissant environ le tiers inférieur du tube;

$l_i$  et  $l_u$  = longueurs immergée et émergente ( $l = l_i + l_u$ ).

On notera que les luminances obtenues dans le travail actuel (conditions *b* à *f*) sont toutes inférieures à la valeur (60 cd/cm<sup>2</sup>) assignée à la luminance observée au cours des mesures de 1931 (condition *a*). Les corrections pour tenir compte des dimensions de l'ouverture [4], du gradient de température dans la paroi du

tube de visée et de la longueur émergente du tube de visée, ne sont toutefois pas encore appliquées. Puisque les luminances observées se rapportent toutes à des conditions distinctes, le fait qu'elles soient différentes n'implique pas que la luminance du radiateur intégral soit nécessairement en désaccord suivant les conditions. Il est bon de remarquer que la condition *b* qui donne la luminance la plus basse correspond à la longueur émergente la plus grande; cette condition *b* a été employée intentionnellement pour avoir des renseignements sur la correction d'émergence. L'analyse théorique des diverses corrections et un article détaillé sur ce travail sera publié dans *J. Res. N. B. S.*, série A.

Le tableau II montre comment l'erreur moyenne est liée aux différentes conditions de mesure. Dans les cas *c*, *d*, *e*, *f* où les conditions sont suffisamment proches du cas parfait pour que les différences entre les luminances observées soient faibles (tableau I), la précision représentée par l'écart-type d'une seule mesure paraît bien définie.

TABLEAU II

*Relation entre l'erreur moyenne et les conditions de mesure*

Condition	Nombre de solidifications	Disposition relative du champ HF et des creusets	Erreur moyenne (cd/cm <sup>2</sup> )	Écart-type d'une seule mesure
<i>b</i> .....	17	Grand lingot centré	0,14 <sub>1</sub>	0,65
<i>c</i> .....	28	Petit lingot centré	,17 <sub>3</sub>	1,00
<i>d</i> .....	21	Petit lingot décentré	,08 <sub>7</sub>	0,43
<i>e</i> .....	25	Petit lingot, bobine asymétrique	,05 <sub>3</sub>	0,29
<i>f</i> .....	14	Grand lingot, bobine asymétrique	,03 <sub>1</sub>	0,13

La conclusion est la suivante : l'emploi d'un grand creuset et d'une bobine asymétrique conduit à une meilleure précision. De plus, dans ce cas, la fusion donne des paliers aussi bons que la solidification et fournit la même luminance.

(Mars 1962)

BIBLIOGRAPHIE

[1] Waidner (C. W.) et Burgess (G. K.), *Elec. World*, 52, 1908, p. 625.  
 [2] Wensel (H. T.), Roesser (Wm. F.), Barrow (L. E.) et Caldwell (F. R.), *J. Research N. B. S.*, 6, 1931, p. 1103.  
 [3] *Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 20, 1946, p. 119.  
 [4] Gouffé (A.), *Rev. Optique*, 24, 1945, p. 1.



### ANNEXE 3

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

## MOYENS POUR AUGMENTER LA PRÉCISION DE L'ÉTALON PRIMAIRE DE LUMIÈRE (RADIATEUR INTÉGRAL)

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

(Traduction)

### 1. MODE DE CHAUFFAGE DU RADIATEUR INTÉGRAL

Dans un rapport présenté à la 4<sup>e</sup> Session du Comité Consultatif de Photométrie (<sup>1</sup>), on a présenté quelques propositions ayant pour but de diminuer les variations de la luminance du radiateur intégral.

D'après l'une de ces propositions, l'isolement thermique du creuset doit être augmenté pour ralentir un peu les variations thermiques du lingot de platine et rendre ces dernières moins dépendantes des variations accidentelles de la puissance électrique du four.

Selon la seconde proposition, le chauffage du platine doit être fait en déplaçant l'enroulement du four le long de l'axe vertical du lingot pour que la chauffe de toute sa masse soit plus uniforme.

Ces deux propositions ont été mises à l'essai avec des résultats favorables, d'abord en 1959-1960, puis en 1961 et enfin en 1962.

Les dimensions des creusets intérieurs des radiateurs sont proches de celles qui ont été recommandées auparavant par le N. B. S. Jusqu'en 1959, les enceintes cylindriques extérieures avaient un diamètre de 70 mm et une hauteur de 114 mm. En 1959, ces enceintes ont été mises dans des cylindres de quartz ayant un diamètre de 110 mm et une hauteur de 175 mm. L'espace intermédiaire est rempli d'oxyde de zirconium.

---

(<sup>1</sup>) *Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 26-B, 1958, p. P 46-P 51.

L'enroulement du four à induction est mobile et peut être déplacé le long de la hauteur, dans les limites de 30 à 32 mm. On peut considérer un tel déplacement comme suffisant, bien qu'il y ait un projet de le porter à l'avenir à 40-45 mm, suivant la hauteur du lingot de platine.

L'enroulement était déplacé continuellement avant et pendant la fusion, ainsi qu'avant et pendant la solidification. Il n'était pas nécessaire de déplacer l'enroulement pendant le chauffage préliminaire et pendant la surchauffe. La période du mouvement était en moyenne de 15 s, mais la vitesse n'était pas régulière; elle était un peu plus lente aux positions extrêmes pour intensifier la chauffe des bouts du lingot de platine.

En déplaçant l'enroulement lentement entre des arrêts, on pouvait étudier l'influence de sa position sur la luminance du radiateur. Quand l'enroulement était déplacé continuellement, on pouvait admettre qu'une fusion (ou solidification) régulière et simultanée de tout le lingot de platine était obtenue; ceci est beaucoup plus difficile quand l'enroulement est fixe.

Le nouveau mode de chauffage, ainsi qu'un plus grand isolement thermique, ont donné les résultats suivants :

1. Les variations de la luminance du radiateur intégral sont considérablement réduites. Si dans notre premier rapport (1) nous avons indiqué que, dans certaines conditions de chauffage, des valeurs de la luminance s'écartaient parfois de  $\pm 2$  % par rapport à la moyenne, maintenant les plus grandes variations sont de  $\pm 0,6$  à  $0,8$  % (la valeur  $1,1$  % n'a été obtenue qu'une seule fois, pendant les premières expériences et pour un seul palier de solidification sur 96); mais il est nécessaire d'indiquer que, comme on le verra plus loin, ces nombres contiennent aussi des erreurs dues aux mesures photométriques et au changement de la transmission du dispositif optique.

2. Les mesures qui diffèrent fortement de la moyenne, assez nombreuses auparavant, ont maintenant presque complètement disparu. Ainsi, dans les expériences précédentes, on avait dû éliminer les premiers paliers de fusion et de solidification. Dans le cas présent, sur les 99 paliers de fusion et de solidification réalisés au cours de dix journées de mesure, on n'a rejeté que trois paliers, d'ailleurs placés au milieu de jours différents; la luminance de ces paliers s'écarte de la moyenne de  $1,4$  %, et la raison n'en est pas parfaitement claire.

3. Les valeurs moyennes de la luminance sont égales pour les paliers de fusion et de solidification. Ceci a déjà été indiqué dans les rapports précédents, alors que nous n'étions pas absolument sûrs de la fusion simultanée de toute la masse du lingot; nous en avons maintenant la certitude.

Or, d'après la façon de faire indiquée ci-dessous, les conditions de chauffage du platine sont bien plus compliquées pendant la solidification que pendant la fusion. Ce résultat, et le fait que les valeurs de la luminance pendant la fusion et pendant la solidification ne montrent pas de différence perceptible, nous conduit à penser qu'il faut se servir des deux valeurs comme ayant autant d'importance l'une que l'autre.

Les conditions de chauffage du platine sont les suivantes. Pendant la fusion (le palier même de fusion) le chauffage est réglé à puissance constante, égale à celle précédant la fusion. On peut par exemple, avant le palier de fusion, trouver une valeur de la puissance telle que l'augmentation de la luminance soit à peu près de 1 % en 15 s. Le début du palier est alors facilement repérable; c'est l'arrêt de l'augmentation de la luminance qui garde une valeur constante pendant 4 à 10 min (et même plus) selon la valeur choisie de la puissance; ensuite la luminance croît de plus de 1 % en 15 s.

Avant la solidification, il est nécessaire de surchauffer le platine, puis de réduire par deux fois la puissance fournie pour ne pas trop prolonger la durée de l'opération; l'isolement thermique doit parvenir à une température inférieure à celle de la fusion du platine. Pendant ce temps la luminance du radiateur baisse fortement de façon régulière puis, par un saut brusque, s'élève à la valeur correspondant au palier de solidification. A ce moment, il faut rapidement augmenter la puissance fournie jusqu'à la valeur choisie à l'avance pour laquelle le platine ne fond pas encore. Le palier de solidification peut demeurer stable durant 5 à 10 min (et même plus) suivant la puissance fournie.

Dans la plupart des cas, le palier de solidification, comme le palier de fusion, est artificiellement rompu pour gagner du temps. Le tableau I donne les résultats des mesures de 1962.

TABLEAU I

	<i>Fusion</i> Mesures		<i>Solidification</i> Mesures		Moyenne
	Photo- Visuelles	Photo- électriques	Photo- Visuelles	Photo- électriques	
Nombre de paliers retenus (96).....	31	19	29	17	—
Nombre de paliers rejetés (3).....	1	—	1	1	—
Écart quadratique moyen.....	0,30	0,35	0,55	0,40	0,4
Écart maximal.....	0,6	0,5	1,1	0,6	0,8
Luminance relative...	0,999 8	0,999 2	1,000 2	1,000 8	1,000 0

Les mesures visuelles ont été effectuées par cinq ou six observateurs expérimentés. Les mesures photoélectriques ont été faites avec une cellule photoémissive à vide, à cathode Cs-Bi; cette cellule, munie d'un filtre correcteur, était employée avec un amplificateur.

L'écart quadratique moyen est presque le même pour toutes les mesures. Sa valeur un peu plus grande pour les mesures visuelles (palier de solidification) peut s'expliquer par le fait que l'on recherchait à ce moment-là les valeurs de la puissance de chauffage nécessaire.

Par ailleurs, le manque d'une meilleure précision pour les mesures photoélectriques peut être dû à des conditions générales défavorables. On a employé pour le chauffage du platine un four de fabrication industrielle qui n'était pas spécialement conçu ou adapté aux buts de ce travail. Il y avait une dissipation considérable de l'énergie électrique, cause au surplus de quelques perturbations dont souffraient en particulier la cellule photoémissive et l'amplificateur à courant continu. Ces perturbations sont accidentelles et leur influence diminue avec l'augmentation du nombre des mesures. La grande dissipation de l'énergie électrique provoquait aussi l'échauffement des appareils accessoires autour du radiateur, par exemple le dispositif optique dont il est toujours difficile de maintenir la transmission invariable.

Il est évident que l'écart quadratique moyen d'une série inclut non seulement les variations accidentelles de la luminance du radiateur intégral, mais aussi celles de la transmission du système prisme-lentille et des mesures lumineuses visuelles et photoélectriques. On pourrait déterminer d'une manière plus précise l'écart quadratique moyen pour le radiateur seul. Pourtant nous ne ferons pas ici d'autre remarque, si ce n'est que les variations pour le système prisme-lentille et pour les mesures photométriques prises séparément sont du même ordre de grandeur que les écarts indiqués dans le tableau I pour la fusion lors des mesures visuelles. Ainsi nous pouvons supposer que l'écart quadratique moyen de la luminance du radiateur intégral pour une seule mesure est de 0,1 %, en tout cas inférieur à 0,15 %. Puisqu'il est possible de diminuer l'erreur par l'augmentation du nombre des mesures (ce qui est naturel dans les travaux métrologiques), on peut considérer une telle valeur de l'écart quadratique moyen comme tout à fait satisfaisante.

Des mesures identiques dans des conditions analogues (meilleur isolement thermique et enroulement mobile) ont été faites en 1959-1960 et en 1961. Le nombre total de paliers pris en considération dans les calculs était de 41, un seul palier étant éliminé.

La valeur des unités lumineuses obtenue est la même que pour les mesures de 1962 (différence inférieure à 0,015 %).

## 2. TRANSMISSION DU SYSTÈME OPTIQUE

L'erreur faite en mesurant la transmission du système prisme-lentille a une très grande influence sur la précision des unités lumineuses obtenues à partir du radiateur intégral. Il est facile de conclure, comme on l'a déjà fait auparavant, qu'il est peu probable de conserver invariable (dans les conditions assez compliquées de l'installation du radiateur intégral) la valeur de la transmission telle qu'elle a été mesurée hors de l'installation.

Outre l'influence des conditions particulières de travail avec l'étalon primaire, nous avons remarqué des variations sensibles de la transmission du système optique suivant la méthode utilisée pour nettoyer, sécher et conserver les prismes et les lentilles. Pour le nettoyage des surfaces on a employé l'eau distillée, l'alcool, l'éther et des étoffes de soie moelleuses stérilisées.

Entre les mesures, le système prisme-lentille était conservé sous une cloche de verre, en présence de gel de silice. Pendant les mesures avec le radiateur intégral, un courant d'air filtré parvenait au prisme et chassait l'air chauffé par le radiateur. Cependant, peu de temps en général après le début des mesures, on notait l'apparition d'un dépôt sur la surface du prisme.

On a parfois vu apparaître un tel dépôt en mesurant le système optique en dehors du radiateur intégral, et dans certains cas on a pu attribuer ce dépôt au mode de nettoyage précédent. L'emploi de méthodes humides pour nettoyer le prisme accélérât parfois, semble-t-il, l'apparition du dépôt. Il est probable que les grains de poussière de l'air se collaient à la surface du verre sous l'effet des charges électriques.

Ainsi il faut, d'une part, déterminer la transmission du système optique dans son état le plus propre avec la plus grande précision possible et, d'autre part, garder invariable la valeur de la transmission obtenue. La première tâche est déjà assez compliquée et pour la résoudre il faut employer plusieurs méthodes.

C'est ce que nous avons fait en 1947 par des méthodes visuelles, une bonne concordance et une précision élevée (près de 0,1 %) étant alors obtenues par un grand nombre de mesures. On tenait compte du changement de la transmission pendant les mesures avec le radiateur intégral en négligeant les paliers au cours desquels un dépôt sur le prisme était constaté.

Les années suivantes on a employé des méthodes photo-électriques. En 1962, en dehors d'une installation fixe pour la mesure suivant la méthode du changement de flux lumineux (soit avec une photopile au sélénium, soit avec une cellule photo-émissive) on a élaboré (V. E. Kartachevskaia) un appareil d'éclairage auxiliaire pour déterminer la transmission ou sa variation directement dans l'installation de l'étalon primaire.

Cet appareil auxiliaire comporte une lampe spéciale (corps lumineux en forme de disque de luminance uniforme) et un système optique supplémentaire. Le faisceau lumineux de l'appareil auxiliaire est semblable à celui du radiateur intégral, ce qui donne la possibilité de reproduire les conditions d'éclairage du système optique et de la cellule photoémissive comme avec le radiateur intégral. Il est facile de mettre cet appareil auxiliaire en position de travail pour effectuer la mesure du système optique et de le retirer pour passer aux mesures avec l'étalon. Cet appareil a permis de suivre plus facilement le changement relatif de la transmission du système optique, des mesures étant effectuées pratiquement avant et après chaque palier de fusion et de solidification. C'est ainsi qu'on a observé l'état de la transmission du système optique directement dans les conditions de travail avec le radiateur intégral. On peut mesurer également à l'aide de cet appareil la valeur absolue de la transmission, ce qu'on a effectué plusieurs fois sans employer alors le radiateur intégral.

De plus, il est nécessaire d'apporter une correction aux résultats des mesures directes pour tenir compte des réflexions mutuelles entre les surfaces du système optique auxiliaire et du système prisme-lentille.

L'erreur accidentelle sur le changement relatif de la transmission pour chaque palier est comprise entre 0,1 et 0,2 %.

Il est à noter que, malgré toutes les précautions prises, la valeur des changements mesurés est restée malheureusement importante (0,997 et même 0,991). L'erreur sur la mesure de la valeur absolue de la transmission définie comme la concordance des résultats de méthodes différentes est également comprise entre 0,1 et 0,2 % et peut parfois dépasser un peu ces valeurs. Il faut tenir compte en ce cas de l'état de la surface du système optique qui peut influencer les résultats. En définitive, pour augmenter notablement la précision de reproductibilité des unités lumineuses avec le radiateur intégral, il est nécessaire de porter une attention particulière à la mesure de la transmission du système optique et à l'élaboration des méthodes qui permettent de garder constante la valeur obtenue.

### 3. COMPARAISON AVEC LES RÉSULTATS DE MESURE DES ANNÉES PRÉCÉDENTES

Dans le travail ci-dessus on a employé deux radiateurs (sur trois) et deux systèmes optiques <sup>(2)</sup>. On n'a noté aucun écart systématique entre leurs résultats.

---

<sup>(2)</sup> On n'utilisait les systèmes optiques auxiliaires que pour les mesures relatives de la transmission du système optique.

Si l'on considère que les étalons secondaires (lampes à incandescence) ont conservé leurs valeurs depuis 1947, il y a lieu de faire les remarques suivantes :

La reproduction des unités lumineuses de 1947 et de 1962 est de 0,15 %, ce qui est dans les limites de précision des mesures. La valeur des unités lumineuses obtenue en 1957 diffère de celle de 1962 de 0,4 %. Il est probable qu'en 1957 le facteur de transmission du système optique a été moins bien défini qu'en 1947 et 1962. Cependant, on ne peut expliquer d'une manière précise l'écart de 1957 <sup>(3)</sup>.

Depuis 1947, on n'a apporté aucun changement aux valeurs des unités lumineuses adoptées en U. R. S. S. Leurs valeurs relatives, d'après les mesures de l'étalon primaire effectuées à l'Institut de Métrologie D. I. Mendéléév, sont les suivantes :

1947	1957	1959-1961	1962
1,000	(1,006)	1,0013	1,0015

En conclusion, l'étalon de lumière a une précision satisfaisante pour les études courantes des prochaines années. Mais il faut porter une attention particulière à l'augmentation de précision des mesures de la transmission du système optique. On peut constater que cette détermination (et non pas les variations de la luminance du radiateur intégral) représente la plus grande difficulté lors de la reproduction des unités lumineuses.

#### APPENDICE. — Formule de calcul

Jusqu'à présent, dans un but d'unification, nous avons utilisé pour le calcul de la luminance du radiateur la formule employée pour la première fois par le N. B. S.

$$E_1 = \frac{\tau LA}{l_1^2}$$

Cette formule est approximative. Peut-être vaut-il mieux employer une formule plus précise, telle que

$$E_2 = \frac{\tau L \pi l_2^2 \left[ r^2 + r_1^2 + l_2^2 - \sqrt{(r^2 + r_1^2 + l_2^2)^2 - 4r^2 r_1^2} \right]}{2 l_1^2 r^2},$$

où :

$E_1$  et  $E_2$  = éclaircissement du photomètre ou de la cellule photo-émisive;

---

<sup>(3)</sup> En 1957 on a employé un autre four à haute fréquence (de fréquence plus faible); les conditions de chauffage étaient différentes.

$\tau$  = facteur de transmission du système optique;

$L$  = luminance du radiateur intégral;

$A$  = aire de la fenêtre de la lentille ( $A = \pi r_1^2$ );

$l_1$  = distance de la lentille au photomètre ou à la cellule photo-émissive;

$r$  = rayon de l'ouverture circulaire du radiateur;

$r_1$  = rayon de la fenêtre circulaire de la lentille;

$l_2$  = distance de l'ouverture du radiateur à la lentille.

Suivant les mesures faites à l'I. M. M., la différence entre les deux formules atteint 0,12 à 0,14 % (elle dépend des distances utilisées).

(8 mai 1962)



## ANNEXE 4

National Research Council (Canada)

---

### EXPÉRIENCES ET OBSERVATIONS RÉCENTES SUR L'ÉTALON PRIMAIRE DE LUMIÈRE

Par O. C. JONES <sup>(1)</sup> et C. L. SANDERS

---

*Résumé.* — Les suggestions exposées dans cette Note conduisent aux conclusions suivantes : *a.* ou bien l'étalon primaire au point de solidification du platine doit être conservé et amélioré par des méthodes qui devront être perfectionnées; *b.* ou bien la possibilité d'adopter un autre étalon plus reproductible doit être envisagée et l'on doit commencer ou poursuivre les recherches pour déterminer les avantages escomptés d'un changement.

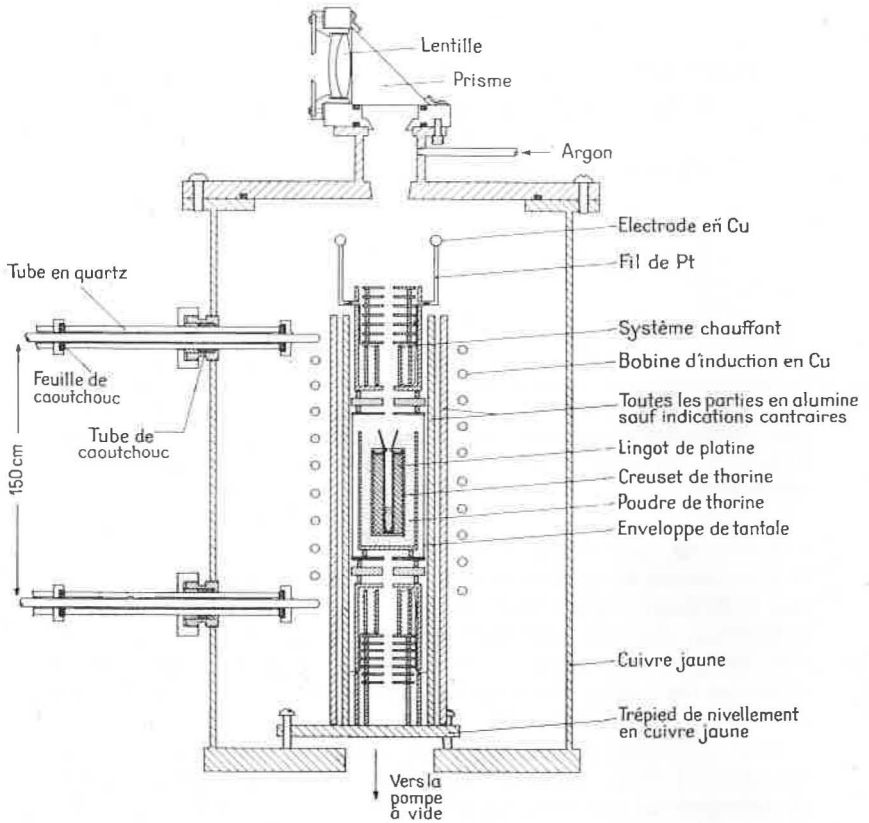
Lorsqu'en 1957 il devint évident que le désaccord concernant la grandeur de la candela entre les laboratoires nationaux résultait des différences réelles de luminance des divers corps noirs, des recherches ont été entreprises au National Research Council afin de déterminer les causes possibles d'incertitude et d'en diminuer les effets. Ce rapport est le résumé d'un article plus détaillé sur la question [1].

Notre première hypothèse fixait que la température moyenne du tube de visée n'était pas la même dans chaque cas et qu'elle ne représentait pas nécessairement le point de solidification du platine. La résistance du platine liquide étant plus grande que celle du platine solide, la quantité de chaleur en chaque point de la surface du lingot dépend de l'état du métal en cet endroit. Pendant la solidification, les zones solides tendent ainsi à se refroidir plus rapidement que les zones liquides et, par conséquent, des gradients de température peuvent s'établir. Avec le four de type original, il est tout à fait probable que le dessus du lingot

---

<sup>(1)</sup> Maintenant à la « Light Division », National Physical Laboratory, Royaume-Uni.

est plus froid que sa partie basse, ce qui signifie que la température moyenne du tube de visée est supérieure au point de solidification lorsque la solidification débute. La période initiale de solidification représentant un changement d'état plus court (puisque l'efficacité du chauffage est plus grande lorsqu'il y a davantage de métal liquide), elle doit être surestimée dans l'inter-



prétation de la courbe de solidification, et la luminance ainsi obtenue du corps noir doit être trop grande dans la plupart des résultats antérieurs.

On a alors convenu de dessiner un four tel que les gradients de température du lingot soient aussi petits que possible. Le creuset contenant le platine est entouré par une enveloppe cylindrique de tantale chauffée par induction. Avec cet arrangement (voir figure), le changement d'état du platine n'a aucun effet sur la vitesse de chauffage du four; il est par suite possible d'obtenir

un meilleur contrôle du chauffage et du refroidissement. Des paliers de solidification de 40 minutes ont été obtenus sans difficulté. Un désavantage est que l'appareil doit alors fonctionner en atmosphère inerte. Les gradients de température, dans la poudre de thorine près du creuset contenant le platine, sont mesurés à l'aide de thermocouples tungstène-tungstène à 26 % de rhénium. Il est possible de diminuer ces gradients, pendant le fonctionnement du four, en réglant l'écran de radiation qui entoure l'enveloppe de tantale avec un système chauffant constitué d'un fil de tungstène enroulé et placé au-dessus et au-dessous de l'enveloppe de tantale.

La différence de température entre le haut et le bas de la couche isolante en poudre de thorine est réduite à 2 deg, ce qui nous porte à croire que les variations à l'intérieur du lingot de platine sont beaucoup moindres, puisque la conductibilité thermique de la thorine est relativement basse. On obtient ainsi des paliers très plats et la reproductibilité du niveau des paliers est meilleure que celle qui est obtenue avec le four original. (On peut noter qu'en chauffant le lingot de platine de façon asymétrique [2], il est démontré qu'on peut améliorer la précision obtenue avec l'étalon original; mais à cause de la possibilité de gradients de température en utilisant cette méthode, la précision générale n'est pas nécessairement améliorée.)

Cependant, la reproductibilité d'un jour à l'autre avec le nouveau four n'est pas améliorée de façon aussi marquante, en raison de la contamination graduelle du platine par les impuretés contenues dans l'alumine employée. Pourtant, aucune trace de tantale ou de tungstène n'a été trouvée par analyse spectroscopique. La contamination finale des deux lingots utilisés a été plus grande que celle présentement admise pour l'étalon primaire. Or, quoique nous ayons tenté de faire des corrections pour le changement du point de solidification, cette erreur demeure une source majeure d'incertitude.

Puisque, en utilisant le nouveau four, quelques fusions seulement sont nécessaires pour établir la candela à  $\pm 0,1$  %, on peut espérer que la répétition des mesures avec un lingot pré-coulé pourrait réduire notablement l'erreur due à la contamination. Dans les travaux futurs, il serait à conseiller d'insister sur la nécessité d'un haut degré de pureté de la céramique, puisque l'opération en atmosphère inerte semble accélérer la vitesse de contamination du platine par les impuretés.

L'installation est cependant assez compliquée et, bien que quelques causes d'incertitude aient été éliminées, d'autres ont été introduites. La liste complète des erreurs qui ont été examinées et corrigées, est donnée dans le tableau I. On doit noter que quelques-unes de ces erreurs s'appliquent aussi à l'étalon original;

cependant, elles n'ont peut-être pas toujours été prises en considération antérieurement.

TABLEAU I

	Évaluation de l'erreur, non corrigée dans la valeur N. R. C. obtenue en 1960	Écart-type
<i>Erreurs photométriques</i>		
1. Facteur de transmission du système lentille-prisme.....	0,00 %	±0,15 %
2. Comparaison de la lampe étalon.....	0,00	±0,05
3. Lumière dispersée dans l'espace entre le tube de visée et le détecteur.....	+0,05	±0,05
4. Écart de sensibilité angulaire du détec- teur.....	0,00	±0,05
5. Sensibilité spectrale du détecteur.....	0,00	±0,05
6. Diffraction causée par l'ouverture de la lentille.....	+0,26	±0,10
7. Absorption par la vapeur de sodium à l'intérieur du four.....	0,00	±0,06
<i>Erreurs du « corps noir »</i>		
1. Impuretés dans le platine.....	+0,15	±0,15
2. Abaissement de température dans les parois du tube de visée.....	+0,05	±0,05
3. Émergence du tube de visée.....	+0,05	±0,05
4. Cavités dans le lingot.....	0,00	0,00
5. Émissivité du tube de visée.....	+0,20	±0,10

Quand on tient compte de ces erreurs en appliquant des corrections à la valeur 60,083 obtenue en 1960, la valeur corrigée devient  $60,54 \pm 0,18$  cd/cm<sup>2</sup>.

Le tableau II permet la comparaison de l'unité qui en résulte aux unités des sept laboratoires nationaux, exprimées en unité moyenne internationale 1956-1957.

TABLEAU II

Pays	Unité nationale
Allemagne (P. T. B.).....	1,006 5
U. S. A. (N. B. S.).....	1,003 1
Canada (N. R. C.).....	0,992 9
France (C. N. A. M.).....	1,003 2
Japon (E. T. L.).....	0,998 2
Royaume-Uni (N. P. L.).....	0,995 1
U. R. S. S. (I. M. M.).....	1,000 9
Canada (N. R. C.) 1960 :	
avec correction d'absorption seulement.....	0,994 2
avec correction de toutes les erreurs données ci-dessus au tableau I.....	1,001 9

Bien que l'unité du National Research Council soit maintenant plus grande que la moyenne internationale 1956-1957, on doit se rendre compte qu'en appliquant les corrections appropriées aux unités des autres laboratoires, la candela du N. R. C. serait probablement encore plus petite que la candela moyenne.

*Conclusion.* — Il semble que les efforts pour perfectionner le corps noir qui sert d'étalon primaire peuvent conduire à une amélioration considérable de la précision, sans toutefois augmenter de façon appréciable l'exactitude d'ensemble. Mais, des modifications aux plans du four en augmentant la complexité, il serait peut-être plus avantageux de remplacer la définition actuelle de l'étalon primaire par une autre plus facile à réaliser. Quelques suggestions sont apportées dans l'Appendice. Les difficultés rencontrées avec l'étalon actuel sont d'ordre pratique et dues au four à haute température. Les progrès à venir dans la technique des hautes températures, tels que la production de matériaux réfractaires nouveaux ou plus purs, pourraient peut-être redonner l'avantage à un étalon du type corps noir. Dans la situation présente, d'autres méthodes, plus commodes d'emploi, devraient permettre d'établir l'étalon primaire de lumière avec la même précision au moins que le type original de four à platine ou le type modifié décrit ci-dessus.

APPENDICE. — *Nouveaux moyens d'établissement d'un étalon amélioré.*

*a. Échelle photométrique fondée sur la radiométrie absolue.* — En disposant d'un détecteur ayant une réponse spectrale relative identique à celle de l'observateur de référence de la C. I. E. et dont l'étalonnage (par exemple en mV/mW) soit connu pour chaque longueur d'onde, et en fixant une valeur pour  $\frac{1}{R}$  (équivalent mécanique de la lumière, approximativement 680 lm/W) la réponse du détecteur pourrait être connue en mV/lm.

D'après un travail récent du N. P. L. [3], il semble que deux radiomètres absolus, s'ils sont construits avec soin, soient en accord à mieux que 0,25 % pour des mesures sur des rayonnements analogues. La moyenne des deux instruments n'affecte probablement pas la valeur du rayonnement de plus de  $\pm 0,2$  %. Puisque ces instruments ne sont pas très sensibles (par exemple 0,04 mV/mW), il faudrait s'en servir pour étalonner un groupe de thermopiles de façon à pouvoir mesurer des lampes de puissance normale (incertitude  $\pm 0,1$  %). Le problème majeur semble être la mesure du facteur de transmission du filtre correcteur qui sert à convertir la thermopile en œil physique, l'incertitude étant ici de  $\pm 0,3$  %. Si l'on suppose que la mesure des

lampes introduit une incertitude de  $\pm 0,1$  % (pour un groupe de 6), et en prenant des valeurs acceptées internationalement pour les constantes de radiation qui interviennent dans l'équivalent mécanique de la lumière, il semble y avoir de bonnes chances pour que les unités photométriques des différents pays obtenues par cette méthode s'accordent à  $\pm 0,5$  %.

Un avantage important serait la possibilité de se servir de lampes à température de couleur élevée comme étalons secondaires. La difficulté de connaître avec précision le facteur de transmission du filtre correcteur est moindre que dans le cas de l'étalon primaire actuel qui nécessite une série d'opérations intermédiaires pour la comparaison des lampes à atmosphère gazeuse à haute température de couleur avec les étalons de base à  $2\ 042^{\circ}\text{K}$ .

*b. Corps noir de moindre luminance.* — Un corps noir au point de solidification de l'or, par exemple, serait techniquement beaucoup plus simple à construire que celui au point de solidification du platine. Sa luminance est cependant environ 1 000 fois plus faible que celle de l'étalon actuel, et sa température de couleur plus éloignée de celle des lampes de type moderne. La correction spectrale du détecteur employé pour comparer une telle source avec les lampes étalons actuelles exigerait autant d'attention que dans le cas de la thermopile considérée en *a*. Les problèmes dus à la différence de luminance pourraient probablement être résolus de façon satisfaisante en effectuant les mesures photométriques avec soin.

En somme, l'avantage obtenu avec une source plus facile à reproduire serait contre-balancé par la nécessité d'effectuer de la photométrie quelque peu hétérochrome.

(Mars 1962)

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] SANDERS (C. L.) et JONES (O. C.), *J. Opt. Soc. America*, 52, 1962, p. 731.
- [2] TEELE (R. P.), *J. Opt. Soc. America*, 50, 1960, p. 1135.
- [3] GILLHAM (E. J.), *Voir Annexe 5*, p. 43.

## ANNEXE 5

National Physical Laboratory (Royaume-Uni)

---

### RECHERCHES RÉCENTES EN RADIOMÉTRIE ABSOLUE

Par E. J. GILLHAM

(Traduction)

---

Les premières mesures systématiques sur l'intensité de rayonnement ont été faites au N. P. L. par Guild en 1937, avec un radiomètre absolu de sa conception connu sous le nom de radiomètre « drift ». Dans cet appareil, le récepteur est constitué par un disque de cuivre pourvu de thermocouples et monté de telle sorte que les pertes de chaleur tout autour soient très petites. Un élément plan de chauffage électrique est collé sur une face du disque et le rayonnement à mesurer est reçu sur cette face noircie à travers une ouverture circulaire d'aire connue. En principe, les mesures sont faites en déterminant la puissance électrique qui doit être dissipée dans l'élément de chauffage pour que la réponse du thermocouple soit la même que celle qui est produite par le rayonnement absorbé.

Durant plusieurs années, l'échelle de rayonnement du N. P. L. a été fondée uniquement sur les mesures faites avec deux modèles identiques de ce type de radiomètre. Cependant, vers 1959, les résultats obtenus avec ces deux instruments sont devenus incertains; en conséquence, trois nouveaux radiomètres absolus ont été construits pour établir l'échelle de rayonnement sur une base plus sûre. Cette Note résume un article publié dans *Proc. Roy. Soc. (London)* 269-A, 1962, p. 249, donnant la description de ces instruments, leur méthode d'utilisation et les résultats de leur comparaison mutuelle et avec le radiomètre original de Guild.

Les trois nouveaux radiomètres comportent tous deux caractéristiques importantes empruntées au radiomètre de Guild et qui les distinguent de l'autre grande classe des radiomètres absolus dont le pyréliomètre d'Angström est le prototype. La première caractéristique est l'emploi d'un récepteur métallique

assez massif, bien isolé thermiquement de ce qui l'entoure et pourvu de thermocouples permettant de connaître sa température moyenne. La seconde caractéristique est un élément chauffant électrique susceptible de fournir au récepteur une quantité de

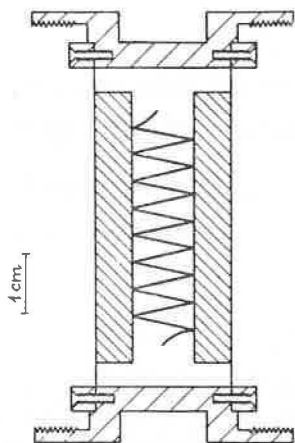


Fig. 1. — Élément récepteur du nouveau modèle de radiomètre « type Guild ».



Fig. 2. — Élément chauffant du nouveau modèle de radiomètre « type Guild ».

chaleur mesurable avec précision, et de répartition spatiale analogue à celle qui est produite par le rayonnement absorbé.

Le premier des nouveaux radiomètres (*fig. 1 et 2*) est construit sur le même modèle que le radiomètre de Guild, et comporte deux disques récepteurs identiques, de 40 mm de diamètre



et 6 mm d'épaisseur chacun. Ces disques sont maintenus parallèlement l'un à l'autre à 10 mm de distance par deux disques plus grands de mica mince collés sur les faces externes. Chaque disque de mica est pourvu d'un élément chauffant constitué par un circuit conducteur en zigzag déposé par évaporation d'or sur sa face externe, et qui couvre à peu près toute la surface circulaire exposée au rayonnement. Chaque extrémité de l'élément chauffant est munie de deux arrivées de courant et d'une prise de potentiel, sous forme de rubans obtenus par un dépôt d'or légèrement plus épais et qui débordent du disque de mica pour être raccordés à des conducteurs par soudure à l'indium. La face externe du mica est recouverte d'une peinture noire mate.

Les deux disques récepteurs, distants de 10 mm, sont reliés par une thermopile en fil nichrome-constantan de 0,12 mm de diamètre, dont les soudures sont collées à l'araldite aux faces internes des deux disques. Il y a 24 soudures au total, 12 sur chaque face, uniformément réparties.

Le radiomètre complet est parfaitement symétrique et chacun des deux disques peut être utilisé comme récepteur. Le procédé de mesure est analogue à celui qui est employé avec le radiomètre de Guild : le récepteur est chauffé alternativement par énergie rayonnante et par énergie électrique réglée pour fournir à peu près la même réponse, pendant des intervalles de temps égaux de 100 s environ; la relation exacte entre les deux sources énergétiques est déduite de l'amplitude de la courbe en dent de scie que donne la réponse du thermocouple. L'intensité du rayonnement incident peut alors être déduite si l'on connaît le facteur d'absorption du revêtement noir et l'aire du diaphragme limitant le faisceau lumineux.

Le deuxième des nouveaux radiomètres (*fig. 3 et 4*), le radiomètre « disque », a un récepteur beaucoup plus petit formé d'un disque d'aluminium de 10 mm de diamètre et de 0,5 mm d'épaisseur. Il est maintenu comme précédemment par un disque de mica qui porte un élément chauffant constitué d'un film d'or sur sa face externe. La température du disque est également déterminée par une thermopile dont les soudures sont collées à la face interne. Cependant, contrairement au radiomètre de Guild, les soudures froides de la thermopile sont fixées, non pas à un disque identique thermiquement isolé, mais à une surface en contact avec le corps principal de l'instrument. Pour que l'instrument soit insensible aux changements de la température ambiante, il est constitué de deux éléments récepteurs identiques dont les surfaces sensibles sont en directions opposées, les deux thermopiles étant connectées en opposition. Chaque récepteur est pourvu de son élément chauffant et de son diaphragme limitant le faisceau lumineux, de telle sorte qu'ils peuvent servir l'un

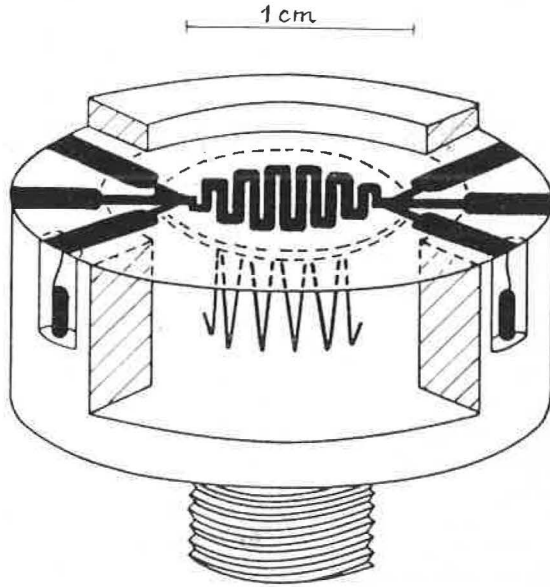


Fig. 3. — Élément récepteur du radiomètre « disque ».

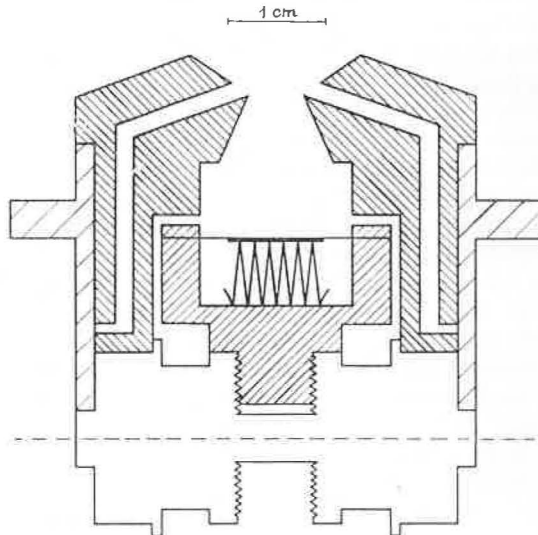


Fig. 4. — Ensemble du radiomètre « disque ».

et l'autre à des mesures absolues. Les surfaces de mica exposées au rayonnement sont recouvertes, non pas d'une peinture noire mate, mais d'un mince film absorbant, de facteur de réflexion faible, déposé par pulvérisation cathodique. On obtient ainsi des surfaces à réflexion spéculaire, dont le facteur de réflexion peut être mesuré plus facilement, et avec plus de précision que dans le cas de surfaces à réflexion diffuse.

La réponse de cet instrument est beaucoup plus rapide que celle du radiomètre de Guild, et il est ainsi possible de mesurer la réponse en régime permanent du thermocouple au lieu de la

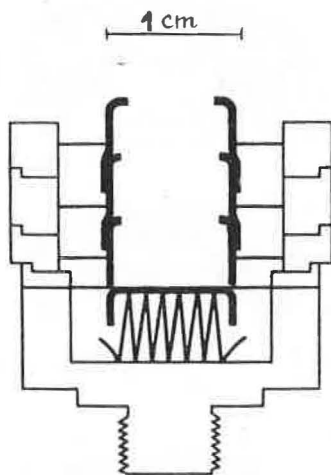


Fig. 5. — Élément récepteur du radiomètre « corps noir ».

vitesse de variation de la réponse; ceci supprime la nécessité de déterminer des intervalles de temps avec précision et facilite grandement les mesures.

Le troisième des nouveaux radiomètres (*fig. 5, 6 et 7*) a un récepteur creux ou corps noir, et se présente sous la forme d'une enceinte cylindrique noircie intérieurement; en dehors de cette particularité, il est analogue en dimension et construction au radiomètre « disque ». La meilleure façon de se représenter sa forme générale est d'imaginer un radiomètre « disque », noirci avec une peinture noire mate, auquel est adapté un tube de 10 mm de diamètre et 15 mm de long pour capter la petite quantité de rayonnement diffusée par le disque. Le tube est muni de sa propre thermopile qui est connectée à celle du disque et agit en liaison avec elle pour indiquer la température moyenne de l'ensemble du récepteur. L'avantage de ce type de récepteur est qu'il est

presque totalement absorbant; les difficiles mesures du facteur de réflexion deviennent ainsi inutiles.

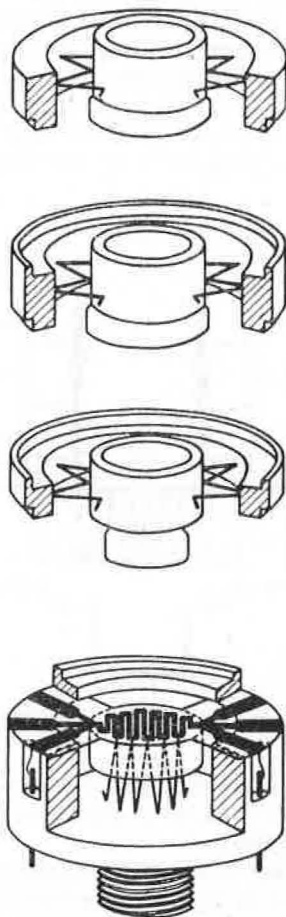


Fig. 6. — Vue éclatée de l'élément récepteur du radiomètre « corps noir ».

La constante de temps de ce radiomètre étant voisine de celle du radiomètre « disque », il est également possible de mesurer la réponse en régime permanent de la thermopile.

Les principales caractéristiques des trois nouveaux radiomètres sont données dans le tableau I.

TABLEAU I

*Caractéristiques des nouveaux radiomètres*

	« Guild »	« Disque »	« Corps noir »
Aire du diaphragme.	10,2 cm <sup>2</sup>	0,300 cm <sup>2</sup>	0,300 cm <sup>2</sup>
Sensibilité . . . . .	120 mV/W/cm <sup>2</sup>	22 mV/W/cm <sup>2</sup>	12 mV/W/cm <sup>2</sup>
Résistance de la thermopile . . . . .	20 Ω	20 Ω	20 Ω
Constante de temps . .	400	12	14
Résistance de l'élément chauffant . . .	400 Ω	800 Ω	600 Ω

La comparaison entre les trois nouveaux radiomètres et l'un des radiomètres d'origine de Guild a été faite en utilisant successivement chacun d'eux pour mesurer, à une distance donnée,

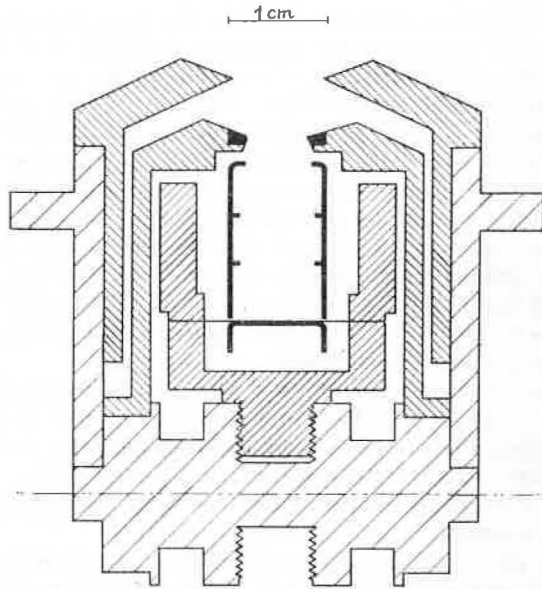


Fig. 7. — Ensemble du radiomètre « corps noir ».

l'intensité du rayonnement d'une lampe à filament de tungstène filtré par une cuve d'eau. Ces mesures étant longues, l'intensité (2 mW/cm<sup>2</sup> environ) était contrôlée à plusieurs reprises avec une thermopile de référence stable.

Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau II qui donne l'intensité du rayonnement mesuré avec chacun des quatre radiomètres; ces résultats sont exprimés en valeur relative par rapport à la réponse du radiomètre d'origine de Guild prise comme unité. Bien que chacun des nouveaux radiomètres se compose en réalité de deux radiomètres, il n'a pas été nécessaire de donner leurs réponses individuelles puisqu'elles sont en accord à mieux que 0,1 % dans chaque cas.

TABLEAU II

Radiomètre	Résultats obtenus pour une intensité de rayonnement donnée (en valeur relative)
Guild, d'origine.....	1,000 ± 0,003 0
Guild, nouveau.....	0,994 ± 0,003 0
« Disque ».....	0,994 ± 0,002 0
« Corps noir ».....	0,996 ± 0,002 0

L'excellent accord entre les résultats des trois nouveaux radiomètres laisse à penser que les tolérances indiquées correspondent en fait à l'exactitude absolue, d'autant plus que les trois radiomètres sont très différents, tant par leur construction que par leur mode opératoire. C'est ce qui permet de dire, en conclusion de cette étude, qu'il est maintenant possible de faire des mesures absolues de l'intensité du rayonnement avec une exactitude de  $\pm 0,2$  %.

Le résultat anormal du radiomètre d'origine de Guild ne peut être attribué qu'à un défaut qui s'est manifesté dans l'appareil depuis sa construction, défaut qui n'a pas pu être précisé jusqu'ici. L'autre modèle de radiomètre de Guild n'est d'aucun secours pour élucider ce problème, puisqu'il donne maintenant un désaccord encore plus grand.

Comme suite à cette étude, on a dû réviser l'échelle de rayonnement du N. P. L. et, autant que l'on puisse juger de la continuité fournie par le groupe de thermopiles de référence du N. P. L., les intensités de rayonnement ont maintenant (pour 1962 et les années à venir) des valeurs plus basses de 1,3 % que lors des années antérieures.

Au sujet de l'accord entre l'échelle du N. P. L. et celles d'autres laboratoires nationaux, il y a peu de données disponibles, sauf une qui laisse à penser à un désaccord de 0,5 % entre l'échelle du N. P. L. et celle du National Bureau of Standards. Des travaux ultérieurs devront être effectués à cette fin, dans le cadre d'un programme plus vaste de comparaisons entre les différents laboratoires nationaux.

(6 juin 1962)

ANNEXE 6

National Physical Laboratory (Royaume-Uni)

---

MÉTHODE RADIOMÉTRIQUE POUR LA  
CONSERVATION DE L'UNITÉ DE LUMIÈRE (1)

Par J. S. PRESTON

(Traduction)

---

Bien que la définition actuelle de la candela soit parfaitement précise, l'emploi et la réalisation de cette unité présentent des inconvénients :

1° La température du radiateur intégral, étalon primaire, est  $2\,042^{\circ}\text{K}$  et sa répartition spectrale diffère notablement de celle de sources lumineuses plus modernes ainsi que de celle des étalons secondaires les plus généralement utilisés, à savoir des lampes à filament de tungstène fonctionnant à la température de couleur de  $2\,788^{\circ}\text{K}$ . C'est pourquoi l'étalonnage exact de ces dernières lampes, à partir de l'étalon primaire, nécessite un passage hétérochrome qui demande beaucoup de soin.

2° L'accord entre les diverses déterminations de la candela elle-même, dans le temps et suivant la géométrie de l'étalon primaire utilisé jusqu'ici, n'a pas été aussi bon qu'on l'espérait et qu'on le désirait.

3° La réalisation satisfaisante du radiateur intégral à la température de solidification du platine nécessite toujours beaucoup de soin et de temps.

C'est pour ces raisons que l'on propose une méthode de remplacement qui permettrait dans l'avenir d'exprimer l'intensité lumineuse d'une source (en candelas) à partir des mesures faites avec une thermopile étalonnée, sans faire appel à l'actuel étalon primaire de lumière.

---

(1) Résumé de l'article publié dans *Proc. Roy. Soc. (London)*.

Supposons que la thermopile ait été étalonnée en valeur absolue de telle sorte que sa réponse en circuit ouvert soit connue en fonction de l'éclairement énergétique  $E_c$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) dans le plan de l'élément récepteur; supposons également que la thermopile soit munie d'un filtre dont la transmission spectrale est rigoureusement proportionnelle à  $V_\lambda$  à toutes les longueurs d'onde, avec une valeur maximale  $t_0$  (à  $0,555 \mu\text{m}$ ). Si  $P_\lambda$  représente le rayonnement énergétique spectral émis par la source lumineuse et tombant sur l'unité d'aire à une distance donnée de la source ( $\text{W}/\text{m}^2$  par unité d'intervalle de longueur d'onde), alors, à cette même distance, l'éclairement lumineux  $E$  dû à la source ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ) et l'éclairement énergétique mesuré par la thermopile derrière le filtre sont respectivement

$$E = K_m \int V_\lambda P_\lambda d\lambda \quad \text{et} \quad E_c = t_0 \int V_\lambda P_\lambda d\lambda,$$

les deux intégrales étant étendues à tout le spectre visible. La combinaison des deux équations donne

$$E = \frac{E_c K_m}{t_0}.$$

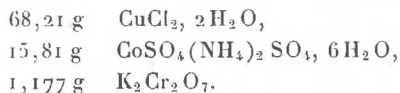
$E_c$  est fourni par les lectures de la thermopile étalonnée, tandis que  $t_0$  est déterminé par spectrophotométrie. Ainsi l'éclairement  $E$ , et par suite l'intensité lumineuse de la source, peuvent être obtenus si  $K_m$  est connu. L'intensité lumineuse d'une source peut donc, en principe, être mesurée sans référence à l'étalon primaire si :  
*a.* on possède des moyens d'étalonnage radiométrique exact d'une thermopile; *b.* on emploie une valeur admise correcte de  $K_m$  (efficacité lumineuse à  $0,555 \mu\text{m}$ ). Dans ce système de mesure le choix de la valeur de  $K_m$ , au lieu de l'emploi actuel de l'étalon primaire, fixe la grandeur de l'unité de lumière.

En pratique, il n'existe pas de filtre dont la courbe de transmission soit *exactement*  $V_\lambda$ , et une correction doit être faite. Le calcul de cette correction nécessite de connaître la courbe de transmission spectrale tout entière du filtre, ainsi que la répartition spectrale  $P_\lambda$  de l'énergie rayonnée par la source, en unités arbitraires; la première courbe peut être déterminée par spectrophotométrie, tandis que la seconde ne peut pas l'être généralement avec une exactitude suffisante. Cependant, si la source est une lampe à filament de tungstène de température de couleur connue, la courbe de répartition du corps noir à cette température peut être utilisée avec une approximation suffisamment bonne pour qu'un calcul exact de la correction soit alors possible. Ainsi, semble-t-il, la méthode pourrait être utilisée avec une exactitude suffisante pour étalonner des étalons secondaires d'intensité



lumineuse représentés par des lampes à filament de tungstène. Mais, pour diverses raisons, plus la température de couleur des lampes serait élevée, plus grandes seraient l'exactitude et la facilité des mesures.

Il ne reste plus qu'à voir comment choisir une valeur de  $K_m$  qui soit en accord avec la grandeur actuelle de la candela. Une façon de procéder consiste à employer la méthode proposée pour mesurer des lampes étalons secondaires dont les intensités lumineuses, dans l'échelle photométrique actuelle, sont déjà connues. Au National Physical Laboratory, de telles mesures ont été faites sur les lampes 264 A, B, C, D à 2 854°K qui ont participé à la quatrième comparaison internationale (Annexe 9, p. 80). Les valeurs obtenues pour  $K_m$  étaient 684, 683, 689 et 685 lm/W, avec une valeur moyenne de 685. Pour ces mesures, on a utilisé une thermopile de Moll (air) étalonnée dans l'échelle de rayonnement N. P. L. 1962, avec un verre absorbant l'infrarouge (Chance ON 22) de 0,372 cm d'épaisseur et un filtre formé d'une cellule de verre contenant 1 cm d'épaisseur d'une solution aqueuse de composition suivante pour 1 litre :



Dans ces conditions, à une distance de 79 cm environ des lampes ayant une intensité lumineuse de 260 cd, les réponses de la thermopile étaient de l'ordre de 2  $\mu$ V. Une telle sensibilité n'est pas suffisante pour la mesure des étalons du N. P. L. à 2 042°K dont l'intensité lumineuse est de 13 cd. Cependant, comme ces étalons sont plus étroitement reliés à l'étalon primaire, un essai a été fait pour mesurer quatre d'entre eux avec une photopile au sélénium munie d'un filtre en verre (Viscor) donnant approximativement  $V_\lambda$ . La réponse spectrale absolue de la photopile était déterminée par comparaison à une thermopile à un niveau d'énergie suffisamment élevé. La moyenne des mesures sur les quatre lampes a donné 681 lm/W. Par suite d'incertitudes sur le comportement de la photopile, on ne peut pas attacher une très grande confiance à cette valeur, bien que la sensibilité du récepteur ait été suffisante. Toutefois, l'exactitude de l'expérience précédente, qu'elle soit considérée comme une mesure pratique de  $K_m$  ou comme une illustration de la possibilité d'utiliser ultérieurement la méthode pour étalonner des lampes à filament de tungstène, semble satisfaisante.

Par ailleurs,  $K_m$  peut être calculé à partir des propriétés connues de l'étalon primaire, dont la luminance est 60 cd/cm<sup>2</sup> par définition et dont la répartition spectrale d'énergie peut être

représentée par la formule de Planck. Il y a cependant quelque incertitude sur le résultat, suivant les valeurs admises pour les constantes de radiation et le point de solidification du platine. Deux résultats, que l'on peut supposer de même poids, sont donnés dans le tableau suivant :

$c_1$ (erg.cm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )	$c_2$ (cm.°K)	Point de l'or (°K)	Point de platine (°K)	$K_m$ (lm/W)
$3,7407 \times 10^{-5}$	1,438 00	1 336,15	2 042,15	679,7
$3,7413 \times 10^{-5}$	1,438 79	1 336,15	2 041,56	686,5

La première ligne correspond aux valeurs admises actuellement sur le plan international; la seconde, à des valeurs de  $c_1$  et  $c_2$  plus récentes et peut-être plus correctes (la modification du point de solidification du platine provient du changement de  $c_2$  et de sa conséquence en pyrométrie optique). Il faut remarquer que les deux résultats expérimentaux obtenus au N. P. L. se placent entre les deux valeurs calculées de  $K_m$  qui diffèrent cependant l'une de l'autre de 1 %. C'est une constatation satisfaisante et il serait intéressant de répéter de telles mesures dans d'autres Laboratoires nationaux. Cependant, avant d'adopter la méthode proposée conjointement avec une valeur de  $K_m$  admise par tous, les photométristes désireraient probablement attendre que les valeurs calculées qu'il est possible d'accepter convergent vers une valeur connue avec plus de précision. Il serait évidemment illogique pour les photométristes d'adopter une valeur qui ne serait pas finalement en accord, à une petite tolérance près, avec les meilleures déterminations futures des constantes atomiques.

Notons en terminant qu'il est évident, d'après le raisonnement ci-dessus, qu'une valeur  $K_\lambda$  à une longueur d'onde autre que  $0,555 \mu\text{m}$  pourrait tout aussi bien servir que  $K_m$ , puisque leur rapport est le même que celui des valeurs correspondantes de  $V_\lambda$ . Peut-être jugera-t-on un jour préférable, pour la rigueur de la forme, de choisir une valeur  $K_\lambda$  correspondant à une longueur d'onde pour laquelle une seule radiation monochromatique peut être produite, si besoin est, par une lampe à décharge suivie d'un filtre. Par exemple, la longueur d'onde choisie pourrait être celle de la raie verte du mercure ( $0,5461 \mu\text{m}$ ) à laquelle correspondrait une valeur  $K_\lambda$  de  $669 \text{ lm/W}$  environ.

Ce résumé n'envisage pas les conséquences, sur le système de mesure proposé, d'une modification ultérieurement possible de  $V_\lambda$ . Cette question est traitée dans l'article cité (1).

(5 juin 1962)

ANNEXE 7

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

TRAVAUX DANS LE DOMAINE D'APPLICATION  
DES MÉTHODES DE MESURES ÉNERGÉTIQUES  
AUX MESURES PHOTOMÉTRIQUES (1)

Par V. E. KARTACHEVSKAIA  
(Traduction)

En 1955-1957, le Laboratoire photométrique de l'I. M. M. a exécuté une détermination expérimentale de l'efficacité lumineuse (équivalent mécanique de la lumière). Ce travail avait pour but, d'une part, la vérification du rapport actuel entre les unités lumineuses et énergétiques en usage (reproduites par des méthodes et des appareils différents), et d'autre part, la recherche des méthodes pouvant augmenter la précision des mesures énergétiques pour la photométrie.

L'équation suivante a servi pour la détermination de l'efficacité lumineuse

$$(1) \quad K_m = \frac{F}{\int_{500}^{700} P_\lambda V_\lambda d\lambda} \quad \text{lm/W.}$$

Le choix de cette équation a été dicté par les considérations suivantes : 1° emploi pour les mesures des sources de rayonnement les plus proches des étalons lumineux en usage; 2° exécution des mesures dans des conditions se rapprochant de celles de l'étalement des récepteurs.

La valeur du flux lumineux  $F$  doit être mesurée au moyen de l'œil (ou bien à l'aide d'un autre récepteur corrigé pour que sa

(1) Résumé de l'article publié en langue russe dans *Trud. Inst. Metrologii*, 1961, n° 56 (116), p. 36-46.

réponse spectrale soit celle de l'observateur de référence de la C. I. E.).

La valeur du flux énergétique  $P$  doit être mesurée, en unités énergétiques, à l'aide d'un récepteur physique. Pour faire ces mesures il faut isoler de façon précise la partie du rayonnement total qui est perçue par l'œil. S'il s'agit de récepteurs thermiques, le filtre utilisé doit avoir une transmission spectrale relative identique à la courbe d'efficacité lumineuse relative.

Pour déterminer expérimentalement l'efficacité lumineuse on s'est servi d'un groupe de cinq lampes à atmosphère gazeuse, mesurées séparément pour l'intensité lumineuse (en candelas) et pour l'intensité énergétique (en watts par stéradian), à trois températures de couleur différentes (2 375, 2 720 et 2 820°K).

Les mesures lumineuses ont été effectuées à l'aide d'un photomètre visuel par comparaison aux étalons secondaires, la valeur en candela étant reproduite avec une erreur de  $\pm 0,3$  à  $0,4$  %. Les mesures énergétiques ont été effectuées par comparaison au radiomètre absolu <sup>(2)</sup> du Laboratoire actinométrique de l'I. M. M., avec une incertitude voisine de  $\pm 0,5$  %, sans compter l'erreur due au radiomètre lui-même.

Trois valeurs de la température de couleur ont été choisies pour créer différentes conditions de mesure et pour vérifier ainsi l'influence sur le résultat de la courbe de transmission du filtre correcteur, plus ou moins éloignée de celle du filtre idéal.

Pour la mesure de l'efficacité lumineuse, on a placé tour à tour chacune des lampes étalonnées devant le récepteur thermique (radiomètre absolu ci-dessus mentionné et trois thermopiles de formes différentes).

Pour ces mesures, l'équation (1) a été exprimée de la façon suivante :

$$(2) \quad K_m = \frac{I e_0}{I_e e_1} \tau_{\lambda, m} \frac{\sum_{400}^{760} P_{\lambda} \frac{\tau_{\lambda}}{\tau_{\lambda, m}} \Delta\lambda}{\sum_{400}^{760} P_{\lambda} V_{\lambda} \Delta\lambda},$$

ce qui équivaut au passage des valeurs des flux  $F$  et  $P$  aux valeurs des éclairagements (ou des intensités lumineuse  $I$  et énergétique  $I_e$ ),  $e_1$  et  $e_0$  sont les valeurs de la force thermoélectrique mesurées

(2) Le radiomètre absolu a été réalisé en 1949 dans le Laboratoire actinométrique de l'I. M. M., suivant un type analogue à celui du pyréliomètre d'Angström. Les deux thermopiles étalonnées à l'aide de ce radiomètre ont été envoyées pour comparaison au N. P. L.; la différence avec les valeurs du N. P. L. était proche de  $0,1$  % en 1957 et de  $0,4$  % en 1959.

avec et sans filtre correcteur, la distance entre la source de lumière et le récepteur étant la même dans les deux cas, compte tenu du raccourcissement du trajet optique dans le filtre. Le dernier facteur fractionnaire de l'équation (2) est un terme correctif qui permet de tenir compte des écarts entre la transmission réelle du filtre correcteur et les valeurs calculées.

Le filtre correcteur pour le récepteur thermique a été choisi suivant les indications du N. B. S. et du N. P. L. [1, 2] et les propres expériences du Laboratoire photométrique de l'I. M. M.; sa composition chimique est la suivante :

CuCl <sub>2</sub> , 2 H <sub>2</sub> O .....	0,36 M
Co SO <sub>4</sub> (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 6 H <sub>2</sub> O.....	0,030 M
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> .....	0,0042 M

L'épaisseur de la couche de liquide utilisée est de 10 mm.

Le terme correctif pour la valeur de l'efficacité lumineuse, compte tenu des écarts entre le filtre réel et le filtre idéal, approche 0,2 % dans la partie visible du spectre, domaine où il est à peu près indépendant de la répartition spectrale de l'énergie.

La correction pour la partie du rayonnement infrarouge transmise par le filtre correcteur, entre 1 et 2,5  $\mu$ m, est plus importante; on en tient compte par quelques mesures auxiliaires avec un ou deux filtres supplémentaires [1]. Ces derniers coupent complètement le rayonnement visible et laissent passer l'infrarouge dans la région indiquée ci-dessus, selon une courbe de transmission ayant approximativement la forme d'un rectangle. Les corrections pour les parties du rayonnement infrarouge mesurées ont été déterminées pour les trois températures de couleur. Elles sont faibles (3 à 6 % de  $e_1$ ) pour les deux températures les plus élevées et, par conséquent, on peut les déterminer avec une incertitude assez grande sans trop influencer le résultat final. Par contre, pour la température de couleur de 2 375°K, la partie du rayonnement infrarouge mesurée avoisine 20 % de la valeur  $e_1$  et l'erreur faite en déterminant la correction devient importante. Les valeurs de l'efficacité lumineuse obtenues dans ces conditions avec les divers récepteurs sont données dans le tableau I.

La moyenne calculée en donnant des poids différents suivant les mesures est 673 lm/W; l'écart quadratique moyen d'une série est voisin de 10 lm/W. On a donné un poids double aux mesures faites aux deux températures élevées à l'aide des thermopiles de l'I. M. M., parce qu'elles sont plus sensibles que les autres et par cela même donnent des résultats plus précis pour  $e_1$  et  $e_0$ .

L'écart entre la valeur mesurée de l'efficacité lumineuse et la valeur calculée (683 lm/W) est de 1,5 %. Cet écart reste dans

les limites de la précision des mesures effectuées et, d'une façon indirecte, confirme ainsi la concordance des mesures lumineuses et énergétiques à l'I. M. M.

TABLEAU I

Série	Temp. de couleur (°K)	du radiomètre absolu	Valeurs de l'efficacité lumineuse, en lm/W, mesurées à l'aide		
			des thermopiles		
			Kipp	XK-2, IMM	XK-3, IMM
1.....	2 820 .....	664	662	671	674
2.....	2 720 .....	688	667	671	678
3.....	2 375 .....	681	672	672	684
	Moyenne.....	676	667	671	679
	Moyenne générale.....		673 ± 10 lm/W		
	Sensibilité des récepteurs				
	$\left(\frac{\mu\text{V} \cdot \text{m}^2}{\text{W}}\right)$ .....	2,6	9,6	45	21

Ce travail a été achevé en 1957; c'est un premier pas vers le développement des recherches sur l'emploi des mesures énergétiques en photométrie.

Pour augmenter la précision des mesures énergétiques au cours de ce travail, on a placé les thermopiles dans un thermostat à paroi avant ouverte. On a conçu et fabriqué des thermopiles à surface très sensible à l'éclairement énergétique; pour les soudures, on a employé le nickel-chrome et le constantan et, afin de diminuer l'impédance, on a utilisé le principe de connexion en série-parallèle.

La surface du récepteur était noircie par dépôt électrolytique de chlorure de platine.

(5 mai 1962)

BIBLIOGRAPHIE

- [1] TEELE (R. P.), *J. Res. N. B. S.*, 27, 1941, p. 217.
- [2] PRESTON (J. S.), *J. Sc. Instr.*, 23, 1946, p. 211-16.

## ANNEXE 8

Electrotechnical Laboratory (Japon)

# PASSAGE DE LA CANDELA 2 042°K A LA CANDELA 2 353°K ET DU LUMEN 2 353°K AU LUMEN 2 788°K PAR LES MÉTHODES SPECTROPHOTOMÉTRIQUE ET DE LA LONGUEUR D'ONDE DE CROVA

Par N. OOBA et M. SUZUKI

## I. PASSAGE PAR LA MÉTHODE SPECTROPHOTOMÉTRIQUE

On a poursuivi la méthode spectrophotométrique proposée par le Bureau International des Poids et Mesures (1) pour le passage de la candela à 2 042°K à la candela à 2 353°K et du lumen à 2 353°K au lumen à 2 788°K.

1. *Comparaison des candelas à 2 042°K et 2 353°K.* — Deux lampes étalons d'intensité lumineuse, Nos BI 5 413 et 5 418, ont été réglées aux températures de couleur de 2 042°K et 2 353°K d'après l'« Échelle B. I. P. M. 1951 » par la méthode du rapport rouge/bleu. Chaque lampe a été placée ensuite à 1 m environ de la fente d'entrée d'un monochromateur double. La disposition du système optique est telle que la cellule photoémissive reçoit une image de la fente de sortie du monochromateur, et que chaque point éclairé de la cellule reçoit bien la lumière de la lampe entière. La linéarité de la cellule montée avec une forte résistance de charge a été vérifiée avec une exactitude de 0,1 %.

Les rapports des luminances monochromatiques  $R_{\lambda} = \frac{J_1}{J_2}$  aux deux régimes de la lampe ont été mesurés à huit longueurs d'onde dans le spectre visible. Le logarithme des rapports mesurés ( $\log R_{\lambda}$ ) et l'inverse de la longueur d'onde ( $1/\lambda$ ) satisfont l'équation  $\log R_{\lambda} = \frac{\alpha}{\lambda} + b$  avec une bonne approximation, et l'inter-

(1) *Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 23-B, 1952, p. P 124.

polation permet de connaître les rapports pour les longueurs d'onde de 10 en 10 nm.

Le rapport des intensités lumineuses aux deux régimes de la lampe  $\sum R_{\lambda} J_{2\lambda} V_{\lambda} d\lambda / \sum J_{2\lambda} V_{\lambda} d\lambda$  a été calculé en admettant que la répartition spectrale relative  $J_{2\lambda}$  de la lampe à la température de couleur de 2 042°K est identique à celle du corps noir à cette température. Les résultats sont donnés dans la deuxième colonne du tableau I.

Le même rapport, déterminé par la comparaison de ces lampes aux étalons secondaires de l'E. T. L. dont les intensités lumineuses sont exprimées en « unité moyenne 1952 », est donné dans la troisième colonne.

TABLEAU I

Lampe N°	Rapport mesuré par spectrophotométrie	Rapport d'après les étalons de l'E. T. L.	Différence %
BI 5413.....	5,130	5,140	0,2
5418.....	5,062	5,078	0,3

2. *Comparaison des lumens à 2 353°K et 2 788°K.* — Deux lampes étalons de flux lumineux, N<sup>os</sup> DST 6 089 et 6 094, ont été réglées aux températures de couleur de 2 353°K et 2 804°K d'après l'« Échelle B. I. P. M. 1951 » par la méthode du rapport rouge/bleu. La température de couleur de 2 804°K n'a été choisie que par une circonstance expérimentale. Chaque lampe était allumée dans une sphère de 1,5 m de diamètre. La fente d'entrée du monochromateur double était éclairée à l'aide d'une lentille soit par l'écran placé entre la lampe et la fenêtre sans verre diffusant, soit par une petite région circulaire de la paroi de la sphère dont on formait l'image sur la fente d'entrée par un miroir sphérique aluminé fixé dans la sphère. Ces deux procédés ont conduit aux mêmes résultats expérimentaux.

Les largeurs des fentes du monochromateur (0,3 mm) laissaient passer des bandes spectrales de 11 nm à la longueur d'onde de 550 nm et de 24 nm à 700 nm. Le calcul des corrections dues aux bandes spectrales utilisées indique qu'elles sont négligeables.

La suite des opérations est tout à fait analogue au cas précédent. Les résultats sont donnés dans le tableau II.

TABLEAU II

Lampe N°	Rapport mesuré par spectrophotométrie	Rapport d'après les étalons de l'E. T. L.	Différence %
DST 6089.....	5,538	5,634	1,8
6094.....	5,545	5,633	1,6



II. PASSAGE PAR LA MÉTHODE  
DE LA LONGUEUR D'ONDE DE CROVA

Il existe une valeur particulière de la longueur d'onde pour laquelle on a  $(J_{\lambda T}/J_{\lambda T'})_{\lambda} = L/L'$ , où  $J_{\lambda T}$  et  $J_{\lambda T'}$  sont les luminances monochromatiques énergétiques du corps noir aux températures  $T$  et  $T'$ ;  $L$  et  $L'$  sont les intensités lumineuses ou les flux lumineux. Cette longueur d'onde, à laquelle on peut effectuer la mesure du rapport des intensités lumineuses ou des flux lumineux du corps noir fonctionnant aux deux températures différentes, est appelée la longueur d'onde de Crova. Elle est fonction des deux températures choisies.

La longueur d'onde *limite* de Crova est la longueur d'onde à la température limite où les deux températures se confondent. Nous avons obtenu par le calcul, en utilisant la formule de Planck et les efficacités lumineuses relatives, la formule qui donne la longueur d'onde limite à une température quelconque entre 2 042°K et 2 854°K :

$$\lambda_{\text{limite}} \text{ (nm)} = -138,035 \times 10^3 (1/T)^2 + 841,574 \times 10^2 (1/T) + 541,507.$$

La vérification par le calcul a montré que la longueur d'onde de Crova entre les deux températures choisies est donnée, à 0,01 nm près, par la moyenne arithmétique des deux longueurs d'onde limites à ces températures. Les longueurs d'onde de Crova ainsi calculées, entre 2 042 et 2 353°K et entre 2 353 et 2 804°K, sont données dans la troisième colonne du tableau III.

TABLEAU III

	Lampe N°	$\lambda_{\text{Crova}}$ (nm)	Rapport mesuré par	
			$\lambda_{\text{Crova}}$	Spectro- photométrie
Intensité lumineuse	BI 3413...	577,09	5,131	5,130
	BI 3418...	577,09	5,063	5,062
Flux lumineux	DST 6089...	572,27	5,537	5,538
	DST 6094...	572,27	5,549	5,545

Les rapports des luminances monochromatiques mesurés à nouveau aux longueurs d'onde de Crova pour les mêmes régimes que précédemment en 1 et 2 sont donnés dans la quatrième colonne du tableau III. La concordance entre les résultats obtenus par cette méthode et la méthode spectrophotométrique est remarquable.

Le tableau IV donne les longueurs d'onde de Crova pour certains intervalles de température, ainsi que les incertitudes qui

entraînent une erreur de  $\pm 0,1$  % sur le rapport de l'intensité lumineuse ou du flux lumineux.

TABLEAU IV

Intervalle de température choisi	$\lambda_{\text{Crova}}$ (nm)	Tolérance sur la longueur d'onde (nm)
2 042-2 353°K	577,09	$\pm 0,36$
2 353-2 600	573,31	$\pm 0,56$
2 600-2 854	570,57	$\pm 0,66$
2 353-2 804	572,27	$\pm 0,33$

Ces tolérances (0,3-0,7 nm) en longueur d'onde ne sont pas sévères pour un monochromateur bien construit. La température de couleur des lampes peut aussi n'être connue qu'avec une tolérance assez large, puisque la longueur d'onde de Crova varie lentement avec l'augmentation de l'intervalle de température.

Ces expériences suggèrent la possibilité de remplacer la méthode spectrophotométrique par la méthode de la longueur d'onde de Crova pour la photométrie hétérochrome des lampes incandescentes ayant des ampoules bien claires.

### III. CONCLUSION

D'après nos expériences, l' « unité moyenne 1952 » de la candela à 2 353°K est plus petite de 0,3 % que l' « unité moyenne 1952 » de la candela à 2 042°K, tandis que l' « unité moyenne 1952 » du lumen à 2 788°K est plus petite de 1,7 % que l' « unité moyenne 1952 » du lumen à 2 353°K.

On se souvient que des différences à peu près semblables ont été trouvées au Bureau International des Poids et Mesures.

(Janvier 1962)



## ANNEXE 9

Bureau International des Poids et Mesures

---

### RAPPORT SUR LA QUATRIÈME COMPARAISON DES ÉTALONS NATIONAUX D'INTENSITÉ ET DE FLUX LUMINEUX (1961)

Par J. BONHOURS

---

La quatrième comparaison des étalons nationaux d'intensité et de flux lumineux a été effectuée au Bureau International de février à juin 1961.

Pour la première fois, cette comparaison comportait, en plus des quatre groupes d'étalons habituels, un groupe d'étalons d'intensité lumineuse fonctionnant à la température de couleur de 2 854°K.

Cent soixante-treize lampes ont participé à cette comparaison, auxquelles ont été jointes quinze lampes du Bureau International servant d'étalons de référence. Les huit Laboratoires nationaux suivants étaient représentés :

P. T. B.	Allemagne
D. A. M.	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. M.	U. R. S. S.

Un seul Laboratoire (C. N. A. M.) n'a pas présenté de lampes d'intensité lumineuse fonctionnant à la température de couleur de 2 854°K.

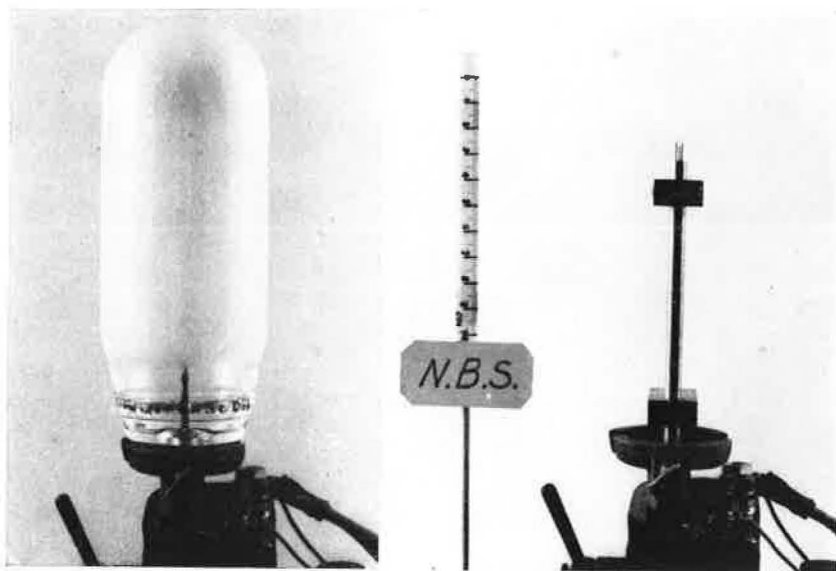


Fig. 1. — A gauche, lampe dépolie intérieurement;  
à droite, gabarit pour la mise en place de la lampe.

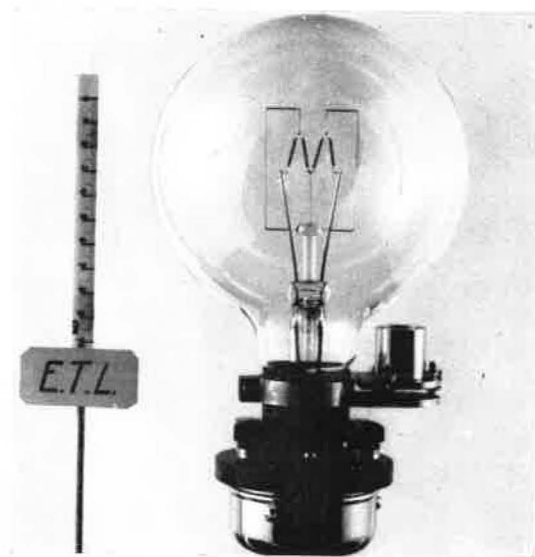


Fig. 2.

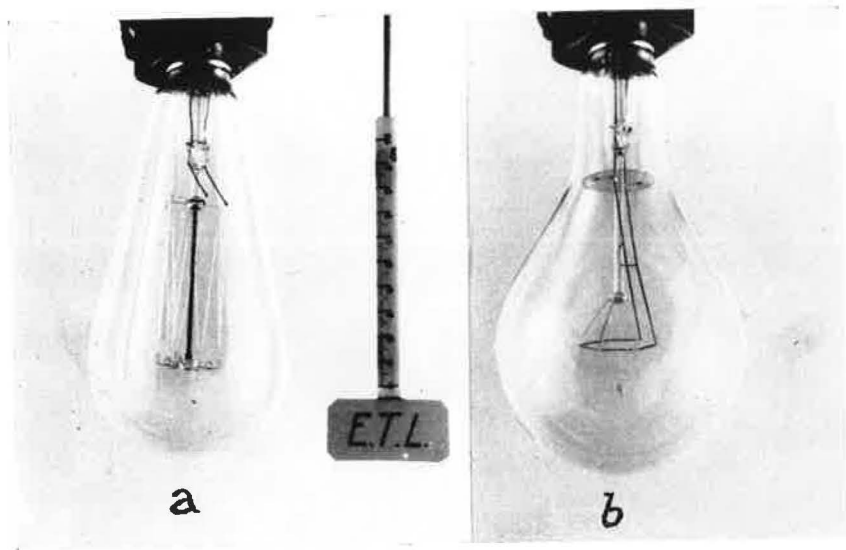


Fig. 3.

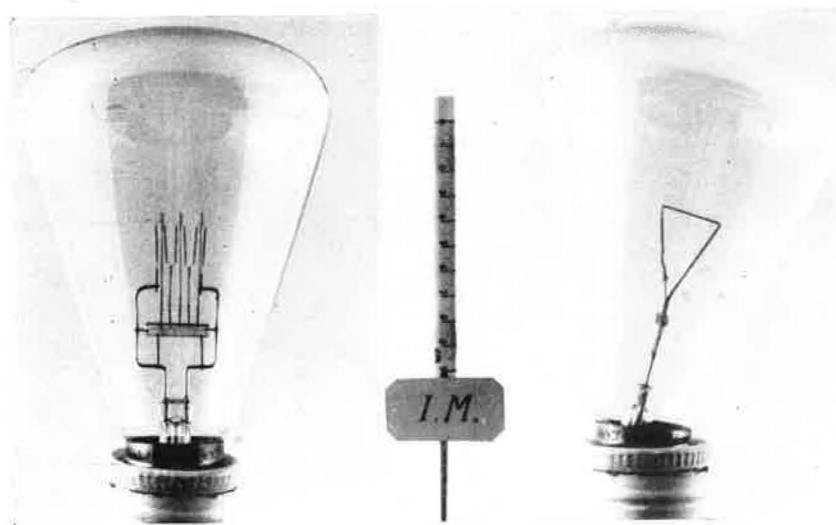


Fig. 4.

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, pouvant atteindre 30 degrés, ont été observés cependant sur quelques groupes à 2788°K).

### 3. EXÉCUTION DES COMPARAISONS

Toutes les mesures au Bureau International ont été faites photoélectriquement. La température ambiante durant les mesures était de 20 à 21°C et l'état hygrométrique compris entre 40 et 55 %. Les lampes ont été nettoyées à l'alcool au début des comparaisons et étaient essuyées avec une peau de chamois au début de chaque mesure.

En suivant rigoureusement les spécifications relatives au fonctionnement des lampes, chaque groupe national a été comparé, au cours de deux séries 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° d'un photomètre à réponse linéaire comportant une cellule à vide, dont la cathode centrale est constituée d'une couche de Cs-Bi; 2° d'un photomètre à réponse linéaire comportant une cellule à vide, 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 chaque photomètre étaient placés des filtres correcteurs et un verre diffusant; le courant photoélectrique était mesuré par une méthode potentiométrique.

*b. Flux lumineux.* — La comparaison des étalons de flux a été effectuée dans la sphère lumenmètre de 1,54 m de diamètre du B. I. P. M., sans fenêtre diffusante, et avec le revêtement intérieur blanc diffusant déjà utilisé en 1956 (voir *Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 25, 1956, p. 32-33 et 26-B, 1958, p. P 80, fig. 8 et 9).

Un chauffage de la sphère de plusieurs heures, au moyen d'une lampe placée en son centre, précédait chaque série de mesures afin de stabiliser les caractéristiques du revêtement diffusant.

Les étalons de flux ont été comparés au moyen des deux mêmes photomètres à réponse linéaire utilisés pour les étalons d'intensité.

*c. Corrections.* — Les différences de température de couleur entre les divers étalons étant faibles, aucune correction n'a été appliquée.

Pour les étalons de flux, l'absorption 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 différentielles ne dépassant pas 0,3 %, sauf pour les lampes du N. R. C. à culot Goliath qui ont été mesurées avec une douille intermédiaire (0,8 %).

#### 4. RÉSULTATS DES MESURES SUR LES CINQ GROUPES D'ÉTALONS

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 des divers groupes de référence pendant toute la durée des comparaisons, à l'exception du groupe d'intensité lumineuse à 2 854°K, a été contrôlée à quatre reprises différentes (au début et à la fin des mesures avec chacun des deux récepteurs), par comparaison aux groupes de référence 1956 conservés depuis la troisième comparaison internationale.

Les tableaux II à IX rassemblent les résultats des mesures électriques et photométriques faites sur les différents groupes de lampes envoyés au Bureau International.

Les résultats des mesures électriques s'appuient sur la moyenne de quatre lectures de l'intensité du courant traversant la lampe (ou de la différence de potentiel aux bornes), une lecture étant faite à chaque allumage des étalons dans la minute suivant la durée d'allumage prescrite.

Les résultats des mesures photométriques, effectuées au cours des deux minutes suivant les mesures électriques, sont la moyenne des deux séries au photomètre Cs-Bi et au photomètre Cs-Sb; l'écart entre ces deux séries dépasse rarement 2 ou 3  $\times 10^{-3}$  en valeur relative.

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 ». (Le réglage du « groupe de référence B. I. P. M. » à 2 854°K a été effectué par la méthode du rapport rouge/bleu, par extrapolation à partir de 2 042°K et de 2 353°K).

(3) La valeur photométrique moyenne du « groupe de référence B. I. P. M. 1961 » en unité du Laboratoire, telle qu'elle est représentée par chacun de ses étalons.

(4) L'écart, en pour cent, entre la valeur photométrique de chaque étalon national mesurée au Bureau International et la

valeur 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 et celle mesurée au Laboratoire d'origine.

## 5. RÉSULTATS DES COMPARAISONS 1961

A partir des « groupes de référence B. I. P. M. 1961 », exprimés en unités de chaque Laboratoire national (tableaux II à IX, colonnes 3), nous avons :

1° Calculé la valeur relative des unités nationales d'intensité et de flux lumineux telles qu'elles résultent des comparaisons, en tenant compte des plus récentes réalisations de l'étalon primaire (tableau X).

2° Effectué un rapprochement entre les unités conservées dans les laboratoires depuis 1956, telles qu'elles résultent des comparaisons de 1956-1957 et de 1961 (tableau XI).

Ce dernier calcul a été possible du fait que :

a. les laboratoires nous ont communiqué les valeurs de leurs lampes pour la comparaison de 1961, soit dans la même unité qu'en 1956-1957, soit avec la possibilité de les rattacher à cette unité;

b. les mesures de contrôle effectuées par le Bureau International entre ses groupes de référence 1961 et 1956 ont permis de connaître exactement la valeur des groupes de référence 1961 en « unité moyenne 1952 », puis en unité de chaque Laboratoire par application des résultats publiés aux *Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 1958, 26-B, Annexe P 8, tableaux IX et X.

Nous avons ainsi obtenu pour les « groupes de référence B. I. P. M. 1961 » deux valeurs, exprimées toutes deux dans la même unité nationale qu'en 1956-1957, l'une résultant directement de la comparaison aux étalons nationaux de 1961, l'autre déduite indirectement des résultats de la comparaison de 1956-1957 comme il est dit ci-dessus. Si l'on admet que les groupes de référence B. I. P. M. sont restés stables depuis 1957, ces deux valeurs devraient conduire pour chaque Laboratoire au même résultat, aux erreurs près (0,2 à 0,3 %). Ces résultats, rassemblés au tableau XI, permettent ainsi de juger, par l'examen des différences  $\Delta$ , du degré de conservation et de reproductibilité des unités photométriques entre les deux comparaisons internationales.



TABLEAU II

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Allemagne

<u>Intensité lumineuse</u>				
Lampe N°	Tc (BIPM 1951) (°K)	Groupe BIPM (cd <sub>PTB</sub> )	BIPM-PTB (%)	Volts BIPM-PTB (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<u>2 042°K</u>				
TS 1505	2 042	12,245	- 0,02	+ 0,08
1507	2 044	252	- 0,08	+ 0,07
1512	2 042	250	- 0,07	+ 0,11
1530	2 042	220	+ 0,18	+ 0,12
		<u>12,242 a</u>		(après
		12,340 b		15 min)
<u>2 353°K</u>				
TS 3004	2 352	31,227	- 0,03	+ 0,03
3010	2 353	202	+ 0,05	+ 0,03
3028	2 354	215	+ 0,01	+ 0,02
3029	2 354	232	- 0,04	+ 0,04
		<u>31,219 a</u>		(après
		31,281 b		15 min)
<u>2 854°K</u>				
2173 PTB 60	2 843	237,51 <sup>+</sup>	+ 0,56	+ 0,03
2174	2 840	8,96	- 0,05	+ 0,02
2175	2 844	9,70	- 0,36	+ 0,05
2176	2 846	9,23	- 0,16	+ 0,07
		<u>238,85 a</u>		(après
		239,33 b		12 min)

TABLEAU II (suite)

Lampe N° (1)	Flux lumineux <sup>++</sup>			
	Tc (BIPM 1951) (°K) (2)	Groupe BIPM (1mPTB) (3)	BIPM-PTB (%) (4)	Volts BIPM-PTB (%) (5)
<u>2 353°K</u>				
1460 PTB 55	2 353	230,23	- 0,18	+ 0,06
1461	2 358	30,35	- 0,23	+ 0,04
1465 <sup>+</sup>	2 355	28,82	+ 0,44	- 0,01
1466	2 355	29,89	- 0,03	- 0,05
		229,82 <u>a</u>		(après
		229,82 <u>b</u>		15 min)
<u>2 788°K</u>				
1472 PTB 55	2 771	2 709,3	- 0,17	+ 0,07
1473	2 767	5,1	- 0,01	+ 0,05
1474	2 770	3,4	+ 0,05	+ 0,10
1475 <sup>+</sup>	2 768	1,2	+ 0,13	+ 0,06
		2 704,8 <u>a</u>		(après
		2 750,8 <u>b</u>		10 min)

a. Résultats exprimés dans les mêmes unités PTB-DAM que celles de la 3<sup>e</sup> comparaison internationale.

b. Résultats exprimés en unités moyennes 1952-1957 (x)  
(Procès-Verbaux C.I.P.M. 1958, 26-B, p. P 98, Tableau X).

+ Au cours des mesures au BIPM, on a observé:

- 1) sur l'étalon 2173, une variation de l'intensité lumineuse de 0,8 % entre les deux séries de mesure.
- 2) Sur l'étalon 1465, une variation du flux lumineux de 0,4 % entre les deux séries de mesure et une variation de la différence de potentiel aux bornes de 0,25 % entre deux allumages.
- 3) Sur l'étalon 1475, une variation du flux lumineux de 0,5 % entre les deux séries de mesure et une variation de la différence de potentiel aux bornes de 0,45 % entre deux allumages.

++ Le flux lumineux moyen des groupes de lampes fonctionnant à 2353°K et 2788°K a diminué de 0,4 % et 0,2 % respectivement, entre les mesures effectuées à la P.T.B. avant et après la comparaison des lampes au Bureau International; la variation individuelle maximale atteint - 1,1 % pour la lampe 1465 et - 0,9 % pour la lampe 1475.

TABLEAU III

Deutsches Amt für Messwesen, Allemagne

Lampe N° (1)	<u>Intensité lumineuse</u>			
	Tc (BIPM 1951) (°K) (2)	Groupe BIPM (cd <sub>DAM</sub> ) (3)	BIPM-DAM (%) (4)	Volts BIPM-DAM (%) (5)
<u>2 042 °K</u>				
2500 DAMG 60	2 040	12,294	- 0,07	+ 0,11
2501	2 036	302	- 0,14	+ 0,04
2502	2 040	256	+ 0,24	+ 0,08
2503	2 036	289	- 0,03	+ 0,01
		12,285 <u>b</u>		(après
		12,187 <u>a</u>		15 min)
<u>2 353°K</u>				
2504 DAMG 60	2 355	31,147	+ 0,29	+ 0,10
2505	2 353	210	+ 0,09	+ 0,01
2506	2 353	295	- 0,19	- 0,01
2507	2 352	297	- 0,19	+ 0,05
		31,237 <u>b</u>		(après
		31,175 <u>a</u>		15 min)
<u>2 854°K</u>				
2508 DAMG 60	2 849	243,51	+ 0,02	+ 0,05
2509	2 844	65	- 0,04	- 0,01
2510	2 845	52	+ 0,02	+ 0,03
		243,56 <u>b</u>		(après
		243,07 <u>a</u>		15 min)

TABLEAU III (suite)

<u>Flux lumineux</u>				
Lampe N° (1)	Tc (BIPM 1951) (°K) (2)	Groupe BIPM (1mDAM) (3)	BIPM-DAM (%) (4)	Volts BIPM-DAM (%) (5)
<u>2 353°K</u>				
2512 DAMG 60	2 340	230,46	- 0,14	- 0,01
2513	2 348	29,57	+ 0,25	+ 0,04
2514	2 341	30,04	+ 0,04	+ 0,04
2515	2 341	30,48	- 0,15	+ 0,03
		<u>230,14</u> b		(après
		230,14 a		10 min)
<u>2 788°K</u>				
2516 DAMG 60	2 759	2 769,7	- 0,03	+ 0,11
2517	2 760	67,2	+ 0,06	+ 0,10
2518 <sup>+</sup>	2 762	70,0	- 0,04	+ 0,19
2519	2 756	68,5	+ 0,01	+ 0,12
		<u>2 766,8</u> b		(après
		2 721,7 a		10 min)

- a. Résultats exprimés dans les mêmes unités PTB-DAM que celles de la 3<sup>e</sup> comparaison internationale.
- b. Résultats exprimés en unités moyennes 1952-1957 (x) (Procès-Verbaux C.I.P.M., 1958, 26-B, p. P 98, Tableau X).
- + Au cours des mesures au B.I.P.M., on a observé sur l'étalon 2518 une variation du flux lumineux de 0,5 % entre les deux séries de mesure et une variation de la différence de potentiel aux bornes de 0,33 % entre deux allumages.

TABLEAU IV

National Bureau of Standards, États-Unis d'Amérique

Intensité lumineuse

Lampe N°	Te (BIPM 1951) (°K)	Groupe BIPM (cd NBS)	BIPM-NBS (%)	Ampères BIPM-NBS (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<u>2 039°K</u> (Echelle N.B.S.)				
NBS 3757	2 035	12,360	+ 0,20	+ 0,01
3759	2 033	381	+ 0,03	+ 0,03
3761	2 034	386	- 0,01	0,00
3762 <sup>+</sup>	2 030	409	- 0,19	- 0,05
TS 1522	2 034	389	- 0,03	- 0,02
		<u>12,385 a</u>		(après 10 ou 15 min)
<u>2 352°K</u> (Echelle N.B.S.)				
NBS 3764	2 351	31,305	+ 0,14	+ 0,04
3767	2 350	379	- 0,10	+ 0,01
3769	2 348	367	- 0,06	+ 0,06
3771	2 351	364	- 0,05	- 0,03
TS 3019	2 355	350	- 0,01	- 0,02
3020	2 354	316	+ 0,10	- 0,02
3032	2 354	357	- 0,03	- 0,01
		<u>31,348 a</u>		(après 10 min)
<u>2 854°K</u> (Echelle N.B.S.)				
NBS 5612	2 848	243,09	- 0,05	- 0,01
5613	2 850	3,00	- 0,02	+ 0,03
5617	2 844	2,78	+ 0,07	- 0,01
5619	2 845	2,95	0,00	- 0,06
		<u>242,96 a</u>		(après 5 min)

TABLEAU IV (suite)

Lampe N° (1)	Flux lumineux			
	Tc (BIPM 1951) (°K) (2)	Groupe BIPM (1 <sup>m</sup> <sub>NBS</sub> ) (3)	BIPM-NBS (%) (4)	Ampères BIPM-NBS (%) (5)
<u>2 356°K (Échelle N.B.S.)</u>				
NBS 3780	2 356	230,97	+ 0,06	+ 0,04
3782	2 357	30,94	+ 0,08	- 0,01
3783	2 349	31,24	- 0,05	+ 0,02
3784	2 357	31,35	- 0,10	+ 0,01
		<u>231,12 a</u>		(après 5 min)
<u>2 811°K (Échelle N.B.S.)<sup>++</sup></u>				
NBS 3772	2 790	2 741,6	- 0,01	- 0,08
3773	2 789	40,9	+ 0,01	- 0,06
3775	2 789	43,6	- 0,09	+ 0,04
3776	2 790	38,5	+ 0,10	- 0,01
		<u>2 741,2 b</u>		(après 5 min)
		<u>2 730,2 a</u>		

- a. Résultats exprimés dans les mêmes unités N.B.S. que celles des 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> comparaisons internationales.
- b. Résultat exprimé en unité moyenne 1952-1957 (x), à partir de la valeur N.B.S. de 1957 uniquement (Procès-Verbaux C.I.P.M., 1958, 26-B, p. P 98, Tableau X).
- + Au cours des mesures au B.I.P.M., on a observé sur l'étalon 3762 une variation de l'intensité lumineuse de 1,0 % entre les deux séries de mesure et une variation du courant de 0,16 % entre deux allumages.
- ++ Le flux lumineux moyen du groupe de lampes fonctionnant à 2811°K a augmenté de 0,6 % entre les mesures effectuées au N.B.S. avant et après la comparaison des lampes au Bureau International.

TABLEAU V  
National Research Council, Canada

<u>Intensité lumineuse</u>				
Lampe N° (1)	Tc (BIPM 1951) (°K) (2)	Groupe BIPM (cd <sub>NRC</sub> ) (3)	BIPM-NRC (%) (4)	Ampères BIPM-NRC (%) (5)
<u>2 042°K</u>				
TS 1523	2 042	12,371	+ 0,02	+ 0,01
1527	2 040	370	+ 0,03	+ 0,03
1529	2 042	382	- 0,06	+ 0,02
1537 <sup>†</sup>	2 041			
		<u>12,374 a</u>		(après
		12,263 c		15 min)
<u>2 353°K</u>				
25 W	2 352	31,365	+ 0,12	- 0,02
47	2 353	462	- 0,19	- 0,04
52	2 352	412	- 0,03	- 0,03
55	2 348	372	+ 0,10	- 0,01
		<u>31,403 a</u>		(après
		31,120 c		5 min)
<u>2 854°K</u>				
NRC 001	2 845	244,08	- 0,05	- 0,01
002	2 851	3,83	+ 0,05	0,00
003	2 841	3,89	+ 0,03	0,00
004	2 843	4,04	- 0,03	- 0,02
		<u>243,96 a</u>		(après
		241,76 c		10 min)

TABLEAU V (suite)

<u>Flux lumineux</u>				
Lampe N°	Tc {BIPM 1951}	Groupe BIPM	BIPM-NRC	Ampères BIPM-NRC
(1)	(°K) (2)	(lm <sub>NRC</sub> ) (3)	(%) (4)	(%) (5)
<u>2 353°K</u>				
NRC 505	2 355	231,36	+ 0,11	- 0,06
506	2 359	31,66	- 0,02	- 0,05
507	2 359	31,45	+ 0,07	- 0,07
508	2 359	31,98	- 0,16	- 0,07
		<u>231,61 a</u>		(après
		<u>229,53 c</u>		5 min)
<u>2 788°K</u>				
NRC 1005	2 784	2 730,5	- 0,16	- 0,05
1008	2 784	23,3	+ 0,10	- 0,04
1010	2 786	28,7	- 0,10	- 0,01
1011	2 787	21,9	+ 0,15	+ 0,02
		<u>2 726,1<sup>++</sup></u>		(après
				10 min)
NRC 1014	2 778	2 713,4	+ 0,12	- 0,02
1016	2 786	15,0	+ 0,06	- 0,04
1017	2 783	14,1	+ 0,10	- 0,02
1021	2 782	24,2	- 0,28	- 0,08
		<u>2 716,7<sup>++</sup></u>		(après
				5 min)
	Moyenne:	<u>2 721,4 a</u>		
		<u>2 690,9 c</u>		

a. Résultats exprimés dans les mêmes unités N.R.C. que celles de la 3<sup>e</sup> comparaison internationale.

c. Résultats exprimés en unités N.R.C. telles qu'elles résultent de la détermination absolue de la candela effectuée en 1960-1961:

$$\text{Unité N.R.C. (1961)} = \text{Unité N.R.C. (1953)} \times 1,009 \text{ O.}$$

+ L'étalon TS 1537 a été éliminé de la comparaison (évolution anormale au cours des mesures).

++ Ces deux valeurs diffèrent de 0,35 %, mais le flux lumineux moyen du groupe de lampes 1005 ... a augmenté de 0,3 % alors que celui du groupe de lampes 1014 ... a diminué de 0,5 % entre les mesures effectuées au N.R.C. avant et après la comparaison des lampes au Bureau International.



TABLEAU VI

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

Intensité lumineuse

Lampe N°	Tc (BIPM 1951) (°K)	Groupe BIPM (cdCNAM)	BIPM-CNAM (%)	Ampères BIPM-CNAM (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<u>2 042°K</u>				
C 93 <sup>+</sup>	2 021	12,419	- 0,25	+ 0,07
98	2 043	324	+ 0,52	+ 0,02
103 <sup>+</sup>	2 020	457	- 0,56	+ 0,05
104	2 036	350	+ 0,31	+ 0,09
		<u>12,388</u> <u>b</u>		(après
		12,326 <u>a</u>		5 min)
<u>2 353°K</u>				
WJ 74	2 356	31,299	- 0,04	+ 0,02
75	2 356	231	+ 0,18	- 0,03
81	2 354	307	- 0,07	- 0,11
83	2 359	307	- 0,07	+ 0,05
		<u>31,286</u> <u>b</u>		(après
		31,223 <u>a</u>		5 min)

TABLEAU VI (suite)

<u>Flux lumineux</u>				
Lampe N° (1)	Tc (BIPM 1951) (°K) (2)	Groupe BIPM (1m <sub>CNAM</sub> ) (3)	BIPM-CNAM (%) (4)	Ampères BIPM-CNAM (%) (5)
<u>2 353°K</u>				
D 6	2 356	232,80	- 0,15	+ 0,02
7	2 356	32,44	0,00	+ 0,08
9	2 358	32,05	+ 0,17	+ 0,10
10	2 357	32,48	- 0,02	+ 0,10
		232,44 <u>b</u>		(après 5 min)
		231,05 <u>a</u>		
<u>2 788°K</u>				
T 4 <sup>++</sup>	2 801	(2 690,6)		
6	2 801	2 742,0	- 0,17	- 0,20
8	2 814	32,6	+ 0,17	- 0,11
		2 737,3 <u>b</u>		(après 5 min)
		2 745,5 <u>a</u>		

a. Résultats exprimés dans les mêmes unités C.N.A.M. que celles des 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> comparaisons internationales.

b. Résultats exprimés en unités moyennes 1952-1957 (x) (Procès-Verbaux C.I.P.M., 1958, 26-B, p. P 98, Tableau X).

+ Au cours des mesures au B.I.P.M., on a observé sur les étalons C 93 et C 103 une variation de l'intensité lumineuse de 0,7 % entre les deux séries de mesure.

++ L'étalon T 4 a été éliminé de la comparaison (valeur aberrante du flux lumineux).

TABLEAU VII

Electrotechnical Laboratory, Japon

<u>Intensité lumineuse</u>				
Lampe N°	Tc (BIPM 1951) (°K)	Groupe BIPM (cd <sub>ETL</sub> )	BIPM-ETL (%)	Ampères BIPM-ETL (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<u>2 042°K</u>				
DS 6012	2 042	12,395	- 0,15	- 0,03
6023	2 044	367	+ 0,08	- 0,02
6027	2 042	369	+ 0,06	- 0,01
		<u>12,377</u> b		(après
		12,377 a		15 min)
		12,348 c		
<u>2 353°K</u>				
DS 6062	2 353	31,316	+ 0,01	- 0,03
6064	2 354	323	- 0,01	- 0,02
6067	2 355	327	- 0,03	0,00
6079	2 353	309	+ 0,03	- 0,01
		<u>31,319</u> b		(après
		31,491 a		10 min)
		31,298 c		
<u>2 854°K</u>				
DSC 5918 <sup>+</sup>	2 855	241,62	- 0,40	0,00
5923	2 853	39,40	+ 0,52	0,00
5924	2 854	41,82	- 0,49	0,00
5926	2 853	39,76	+ 0,37	+ 0,01
		<u>240,65</u> b		(après
		241,97 a		8 min)
		240,49 c		

TABLEAU VII (suite)

Lampe N° (1)	Flux lumineux			
	Tc (BIPM 1951) (°K) (2)	Groupe BIPM (lm <sub>ETL</sub> ) (3)	BIPM-ETL (%) (4)	Ampères BIPM-ETL (%) (5)
<u>2 353°K</u>				
DST 6010	2 351	232,28	- 0,03	0,00
6011	2 351	32,01	+ 0,08	- 0,01
6013	2 352	32,26	- 0,03	0,00
6017	2 351	32,27	- 0,03	+ 0,01
		232,20 <u>b</u>		(après 6 min)
		233,36 <u>a</u>		
		231,75 <u>c</u>		
<u>2 788°K</u>				
DST 6077	2 789	2 761,5	- 0,03	+ 0,01
6081	2 787	58,6	+ 0,08	+ 0,01
6084	2 788	60,5	+ 0,01	0,00
6090	2 785	62,8	- 0,07	+ 0,02
		2 760,8 <u>b</u>		(après- 8 min)
		2 760,8 <u>a</u>		
		2 763,7 <u>c</u>		

- a. Résultats exprimés dans les mêmes unités E.T.L. que celles des 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> comparaisons internationales.
- b. Résultats exprimés en unités moyennes 1952-1957 (x) (Procès-Verbaux C.I.P.M., 1958, 26-B, p. P 98, Tableau X).
- c. Résultats exprimés en unités E.T.L. telles qu'elles résultent des déterminations absolues de la candela et du lumen effectuées en 1955.
- + Au cours des mesures au B.I.P.M., on a observé sur l'étalon DSC 5918 une variation de l'intensité lumineuse de 0,5 % entre les deux séries de mesure.

TABLEAU VIII

National Physical Laboratory, Royaume-Uni

Intensité lumineuse

Lampe N°	Tc (BIPM 1951) (°K)	Groupe BIPM (cd <sub>NPL</sub> )	BIPM-NPL (%)	Volts BIPM-NPL (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<u>2 036°K (Échelle N.P.L.)</u>				
253 A 1955	2 033	12,366	- 0,20	+ 0,01
B	2 038	342	- 0,01	+ 0,02
C	2 037	332	+ 0,07	+ 0,09
D	2 037	346	- 0,04	+ 0,04
E <sup>+</sup>	2 034	320	+ 0,17	+ 0,08
F	2 035	340	+ 0,01	+ 0,02
		12,341 <u>a</u>		(après
		12,403 <u>c</u>		15 min)
<u>2 338°K (Échelle N.P.L.)</u>				
252 A 1955	2 342	31,187	+ 0,08	- 0,03
B	2 340	226	- 0,05	- 0,06
C	2 340	193	+ 0,06	- 0,06
D	2 344	230	- 0,06	- 0,05
E	2 345	251	- 0,13	- 0,05
F	2 342	179	+ 0,10	- 0,03
		31,211 <u>a</u>		(après
		31,367 <u>c</u>		15 min)
<u>2 854°K (Échelle N.P.L.)</u>				
264 A 1959	2 863	242,43	- 0,22	- 0,05
B	2 865	1,51	+ 0,16	- 0,07
C	2 864	1,74	+ 0,07	- 0,08
D	2 856	1,90	0,00	- 0,05
		241,90 <u>a</u>		(après
		243,11 <u>c</u>		12 min)

TABLEAU VIII (suite)

Lampe N° (1)	Tc (BIPM 1951) (°K)	Groupe BIPM (1 <sup>m</sup> NPL) (3)	BIPM-NPL (%) (4)	Volts BIPM-NPL (%) (5)
	(2)	(3)	(4)	(5)
<u>2 338°K</u> (Échelle N.P.L.)				
254 A 1955	2 350	233,44	+ 0,09	0,00
B	2 342	3,72	- 0,03	0,00
C	2 347	3,63	0,00	0,00
D	2 341	3,77	- 0,06	- 0,01
		<u>233,64</u> <u>a</u>		(après
		234,81 <u>c</u>		7 min)

<u>2 791°K</u> (Échelle N.P.L.)				
250 D 1954	2 797	2 724,3	+ 0,05	0,00
E	2 796	23,6	+ 0,08	+ 0,01
F	2 792	23,5	+ 0,08	+ 0,01
G	2 784	25,4	+ 0,01	0,00
H	2 792	27,8	- 0,08	- 0,01
I	2 791	29,8	- 0,15	+ 0,01
		<u>2 725,7</u> <u>a</u>		(après
		2 739,3 <u>c</u>		7 min)

a. Résultats exprimés dans les mêmes unités N.P.L. que celles des 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> comparaisons internationales.

c. Résultats exprimés en unités N.P.L. telles qu'elles résultent de la détermination absolue de la candela effectuée en 1954-1956:

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

+ Au cours des mesures au B.I.P.M., on a observé sur l'étalon 253 E une variation de l'intensité lumineuse de 0,5 % entre les deux séries de mesure.

TABLEAU IX

Institut de Métrologie D.I. Mendéléév, U.R.S.S.

<u>Intensité lumineuse</u>				
Lampe N°	Tc (BIPM 1951) (°K)	Groupe BIPM (cd <sub>IMM</sub> )	BIPM-IMM (%)	Ampères BIPM-IMM (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<u>2 042°K</u>				
1 - 4	2 045	12,376	+ 0,29	+ 0,03
1 - 6	2 043	420	- 0,06	- 0,01
1 - 11	2 035	456	- 0,35	+ 0,03
1 - 15	2 036	394	+ 0,15	+ 0,03
		<u>12,412</u> a		(après
		12,393 c		14 min)
TS 1506 <sup>+</sup>	2 040	12,309	+ 0,32	+ 0,03
1524	2 043	337	+ 0,09	+ 0,03
1542	2 042	398	- 0,40	+ 0,02
		<u>12,348</u> a		(après
				20 min)
<u>2 353°K</u>				
2 - 4	2 342	31,245	+ 0,06	- 0,01
2 - 14	2 339	326	- 0,20	0,00
2 - 15	2 341	254	+ 0,04	+ 0,04
2 - 16	2 342	236	+ 0,09	- 0,01
		<u>31,265</u> a		(après
		31,218 c		14 min)
TS 3034 <sup>+</sup>	2 354	31,229	- 0,04	0,00
3039	2 356	272	- 0,17	- 0,01
3046	2 355	152	+ 0,21	- 0,02
		<u>31,218</u> a		(après
				15 min)
<u>2 842°K<sup>++</sup></u>				
57	2 834	239,58	- 0,16	+ 0,01
58	2 834	9,75	- 0,23	+ 0,01
60	2 841	8,04	+ 0,48	+ 0,02
62	2 836	9,42	- 0,09	+ 0,03
		<u>239,20</u> a		(après
		238,84 c		13 min)

TABLEAU IX (suite)

<u>Flux lumineux</u>				
Lampe N° (1)	Tc (BIPM 1951) (°K) (2)	Groupe BIPM (lm <sub>IMM</sub> ) (3)	BIPM-IMM (%) (4)	Ampères BIPM-IMM (%) (5)
<u>2 353°K</u>				
π - 1 - 52	2 347	231,22	- 0,13	+ 0,17
π - 1 - 57	2 349	0,94	0,00	+ 0,02
π - 1 - 59	2 346	0,79	+ 0,06	+ 0,11
πB - 3 - 15	2 363	0,77	+ 0,07	+ 0,03
		<u>230,93</u> a		(après
		230,58 c		10 min)
<u>2 788°K</u>				
π - 1 - 73	2 820	2 740,8	+ 0,02	+ 0,05
π - 1 - 76	2 808	54,9	- 0,49	+ 0,06
π - 1 - 78	2 813	37,4	+ 0,15	+ 0,02
πE - 12	2 818	32,6	+ 0,32	+ 0,03
		<u>2 741,4</u> a		(après
		2 737,3 c		10 min)

- a. Résultats exprimés dans les mêmes unités I.M.M. que celles des 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> comparaisons internationales.
- c. Résultats exprimés en unités I.M.M. telles qu'elles résultent de la détermination absolue de la candela effectuée en 1962,  
Unité I.M.M. (1962) = Unité I.M.M. (1947) X 1,001 5 environ.
- + Les lampes du type TS, bien qu'ayant participé à la comparaison, n'interviennent pas dans le calcul des unités.
- ++ L'intensité lumineuse moyenne de ce groupe de lampes a varié de 0,9 % entre les mesures effectuées à l'I.M.M. avant et après la comparaison au Bureau International.



TABLEAU X

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

Laboratoire	Corps noir de référence	CANDELA				LUMEN				
		2 042 <sup>o</sup> K		2 353 <sup>o</sup> K		2 353 <sup>o</sup> K		2 788 <sup>o</sup> K		
		Groupe BIPM en unité nationale	Valeur relative de l'unité	Groupe BIPM en unité nationale	Valeur relative de l'unité	Groupe BIPM en unité nationale	Valeur relative de l'unité	Groupe BIPM en unité nationale	Valeur relative de l'unité	
Allemagne (P. T. B.)...	12,242	1,006 2	31,219	1,000 9	238,85	1,010	229,82	1,005 6	2 704,8	1,009
Allemagne (D. A. M.)...	187	1,010 7	175	1,002 3	43,07	0,993	30,14	1,004 2	721,7	1,003
É.-U. d'Am. (N. B. S.)...	385	0,994 6	348	0,996 7	42,96	0,993	31,12	0,999 9	730,2	1,000
Canada (N. R. C.).....	263	1,004 5	120	1,004 0	41,76	0,998	29,53	1,006 8	696,9	1,012
France (C. N. A. M.)...	326	0,999 4	223	1,000 7	—	—	31,05	1,000 2	745,5	0,994
Japon (E. T. L.).....	378	0,997 6	298	0,998 3	40,49	1,003	31,75	0,997 2	763,7	0,988
Royaume-Uni (N. P. I.)..	403	0,993 1	367	0,996 1	43,11	0,993	34,81	0,984 2	739,3	0,997
U. R. S. S. (I. M. M.)...	393	0,993 9	218	1,000 9	38,84	1,010	30,58	1,002 3	737,3	0,997
Moyenne.....	12,318		31,246		241,30		231,10		2 729,9	

12-26

TABLEAU XI

Conservation des unités entre 1957 et 1961

Valeurs des "groupes de référence B.I.P.M. 1961"  
en même unité de chaque Laboratoire National  
représentée par les lampes envoyées pour  
les comparaisons de 1956 et de 1961.

$\Delta$ , variation apparente de la grandeur  
de l'unité nationale (1961) - (1957).

	Candela		Lumen		
	2 042°K $\Delta(\%)$	2 353°K $\Delta(\%)$	2 353°K $\Delta(\%)$	2 786°K $\Delta(\%)$	
P.T.B.	1961	12,242	31,219	229,82	2 704,8
	1957	249 + 0,1	140 - 0,3	31,79 + 0,8	692,8 - 0,4
D.A.M.	1961	12,187	31,175	230,14	2 721,7
	1957	249 + 0,5	140 - 0,1	31,79 + 0,7	692,8 - 1,1
N.B.S.	1961	12,385	31,348	231,12	2 730,2
	1957	303* - 0,7	257* - 0,3	31,80 + 0,3	730,0 0,0
N.R.C.	1961	12,374	31,403	231,61	2 721,4
	1957	416 + 0,3	327 - 0,2	31,75 + 0,1	715,4 - 0,2
C.N.A.M.	1961	12,326	31,223	231,05	2 745,5
	1957	289 - 0,3	164 - 0,2	31,26 + 0,1	746,0 0,0
E.T.L.	1961	12,377	31,491	233,36	2 760,8
	1957	380 0,0	447 - 0,1	33,48 + 0,1	737,8 - 0,8
N.P.L.	1961	12,341	31,211	233,64	2 725,7
	1957	327 - 0,1	259 + 0,2	32,13 - 0,6	717,8 - 0,3
I.M.M.	1961	12,412	31,265	230,93	2 741,4
	1957	394 - 0,1	154 - 0,4	31,39 + 0,2	745,4 + 0,1
B.I.P.M.	12,361	31,246	231,62	2 743,5	

\* On a tenu compte ici des corrections apportées par le N.B.S. à ses unités après la 3<sup>e</sup> comparaison internationale (N.B.S. Reports 5959 du 10 juillet 1958 et 6234 de décembre 1958).

## 6. CONCLUSIONS

*a. Conservation des unités nationales.* — Pour la comparaison internationale de 1961, deux laboratoires seulement (N. R. C. et I. M. M.) ont communiqué au Bureau International des unités correspondant à une détermination de l'étalon primaire effectuée depuis 1957. L'intérêt essentiel de cette quatrième comparaison réside donc à peu près uniquement dans l'examen de la conservation des unités nationales sur une période de cinq ans; ce sont les écarts  $\Delta$  du tableau XI. Si l'on estime la précision des mesures photométriques à quelques millièmes, on constate que plusieurs écarts sont excessifs; sur les trente-deux valeurs de  $\Delta$ , six sont en effet supérieures à 0,5 %. Si certains de ces écarts anormaux peuvent être attribués à une fidélité insuffisante des groupes d'étalons (P. T. B., D. A. M.), d'autres demeurent inexplicés (N. B. S., E. T. L., N. P. L.).

L'emploi de lampes Toshiba par quelques Laboratoires et la mesure des étalons après une durée d'allumage spécifiée ne semblent donc pas avoir amélioré les résultats; il est vrai que ces deux conditions ne peuvent montrer tous leurs avantages que si elles sont appliquées au cours de deux comparaisons successives.

Le tableau X permet de situer les unités de chaque Laboratoire national par rapport aux moyennes des huit Laboratoires. Les écarts entre les unités les plus divergentes sont :

candela	{	2 042°K.....	1,8 %
		2 353°K.....	0,8 %
lumen	{	2 353°K.....	2,3 %
		2 788°K.....	2,4 %

Ces écarts, sauf un, sont supérieurs à ceux qui ont été obtenus en 1956; aux incertitudes de la réalisation de l'étalon primaire s'ajoutent ainsi celles dues à une conservation des unités dans le temps quelque peu défectueuse. L'écart maximal obtenu pour la candela à 2 854°K (1,7 %) n'appelle aucune remarque, compte tenu des autres écarts.

*b. Unités photométriques effectivement en usage dans les laboratoires nationaux.* — Deux Laboratoires seulement (N. B. S. et N. R. C.) utilisent les unités correspondant à leur récente réalisation de l'étalon primaire. Deux autres Laboratoires (N. P. L. et I. M. M.) continuent à employer les unités déjà réalisées en 1952, ayant estimé que les corrections apportées par leur plus récent corps noir sont trop faibles pour être significatives. Les quatre autres Laboratoires (P. T. B., D. A. M., C. N. A. M., E. T. L.) ont, à la suite

de la 3<sup>e</sup> comparaison internationale, changé leurs unités de façon à les rendre égales à une certaine moyenne des unités en vigueur en 1952 (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 26-B, 1958, p. P 98, tableau X, moyenne  $\bar{x}$ ).

Le tableau XII donne la position des unités effectivement utilisées par les Laboratoires nationaux, les unités conservées au Bureau International depuis 1952 étant prises comme référence. Pour la candela à 2 854°K, le Bureau International a adopté l'unité moyenne des huit Laboratoires nationaux obtenue au tableau X.

TABLEAU XII

*Unités effectivement utilisées par les Laboratoires nationaux*

Différences, en pour cent, par rapport aux unités conservées  
au B. I. P. M. depuis 1952 (sauf pour la candela à 2 854°K)

Laboratoire	Candela			Lumen	
	2 042°K	2 853°K	2 854°K	2 353°K	2 788°K
P. T. B.....	+ 0,2	- 0,1	+ 0,8	+ 0,8	- 0,3
D. A. M.....	+ 0,6	0,0	- 0,9	+ 0,6	- 0,9
N. B. S.....	- 0,2	- 0,3	- 0,7	+ 0,2	+ 0,1
N. R. C.....	+ 0,8	+ 0,4	- 0,2	+ 0,9	+ 1,7
C. N. A. M.....	- 0,2	- 0,1		- 0,4	+ 0,2
E. T. L.....	- 0,1	- 0,2	+ 0,3	- 0,2	- 0,6
N. P. L.....	+ 0,2	+ 0,1	- 0,2	- 0,9	+ 0,7
I. M. M.....	- 0,4	- 0,1	+ 0,9	+ 0,3	+ 0,1

(Juillet 1962)

+18-4  
+12-3    +5-8    +20-11    +22-15    +28-9

## ANNEXE 10

Electrotechnical Laboratory (Japon)  
Bureau International des Poids et Mesures

---

### COMPORTEMENT DES LAMPES ÉTALONS DU TYPE TOSHIBA AU COURS DES TRANSPORTS

Par K. YOSHIÉ et J. BONHOURE

---

A la suite de la lettre-circulaire de l'Electrotechnical Laboratory adressée le 16 janvier 1958 aux Membres du Comité Consultatif de Photométrie, des lampes étalons d'intensité lumineuse du nouveau type préconisé par l'E. T. L. (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 26-B, 1958, p. P 111 et figures 7 a et 7 b, p. P 80) ont été achetées à la Tokyo Shibaura Electric Company par les Laboratoires nationaux et le Bureau International des Poids et Mesures.

Avant de quitter le Japon, ces lampes ont été sélectionnées, formées et étalonnées à l'E. T. L.; puis, après un transport non accompagné par avion, elles ont été contrôlées par les Laboratoires acquéreurs dès leur arrivée. Ultérieurement, certaines lampes ont été choisies pour participer à la 4<sup>e</sup> comparaison internationale des étalons photométriques (1961); elles ont alors été mesurées successivement au Laboratoire, au B. I. P. M., puis à nouveau au Laboratoire, d'où encore deux autres transports. Cette Note, où tous les résultats des mesures photométriques et électriques sont rassemblés dans les tableaux I à IV, a pour but d'examiner le comportement des lampes au cours des voyages.

Les diverses colonnes des tableaux I et II donnent :

(3), (5), (6), (8), (10) — la valeur de l'intensité lumineuse de chaque lampe mesurée successivement à l'E. T. L. (3), à l'arrivée au Laboratoire (5), au départ du Laboratoire (6), au B. I. P. M. (8), et à nouveau au Laboratoire (10).



TABLEAU II. - Intensité lumineuse 2 353 Å.

Laboratoire acquéreur (1)	Lampe N° (2)	E.T.L. (3)	(3)-(5) %	arrivée (5)	Laboratoire départ (6)	(6)-(8) %	B.I.P.M. (8)	(8)-(10) %	Laboratoire (10)	(6)-(10) %
			(4)			(7)		(9)		(11)
P.T.B.	TS 3070	29,19	+ 0,16	29,21	29,24	+ 0,03	29,21	+ 0,01	29,27	+ 0,28
	3074	48	+ 0,03	55	55	+ 0,01	44	+ 0,05	45	+ 0,21
	3010	48	+ 0,01	44	44	+ 0,03	31	+ 0,05	31	+ 0,41
	3028	45	+ 0,07	55	55	+ 0,01	43	- 0,12	46	+ 0,20
	3029	45	+ 0,11	55	55	- 0,01	43	- 0,12	46	+ 0,22
		<u>29,20</u>		<u>29,48</u>	<u>29,40</u>		<u>29,38</u>		<u>29,74</u>	
N.B.S.	TS 3015	29,28	- 0,07	29,28	29,28	+ 0,05	29,21	+ 0,03	29,20	- 0,07
	3050	69	+ 0,14	57	57	- 0,12	55	+ 0,07	63	- 0,20
	3032	34	- 0,07	34	34	+ 0,05	27	- 0,10	40	- 0,10
		<u>29,47</u>		<u>29,37</u>	<u>29,37</u>		<u>29,33</u>		<u>29,43</u>	
E.T.L.	DS 6062	29,27	+ 0,01	29,27	29,27	+ 0,01	29,17	+ 0,03	29,26	+ 0,03
	6064	30	+ 0,04	40	40	+ 0,04	20	+ 0,04	31	+ 0,07
	6067	30	+ 0,01	30	30	+ 0,01	20	- 0,04	31	- 0,03
	6075	12	- 0,06	12	12	- 0,06	04	- 0,01	14	- 0,07
			<u>29,300</u>		<u>29,300</u>		<u>29,202</u>		<u>29,200</u>	<u>0,00</u>
I.M.M.	TS 3001	29,89	+ 0,22	29,74	29,74					
	3006	51	+ 0,16	67	67					
	3008	28,27	- 0,22	28,25	28,25					
	3074	29,14	- 0,22	29,14	29,14					
	3020	20	+ 0,25	22	22					
3066	00	- 0,09	88,62	88,62						
		<u>29,150</u>		<u>29,689</u>	<u>29,119</u>		<u>29,607</u>		<u>29,689</u>	
B.I.P.M.	TS 3024	29,26	+ 0,05	29,21	29,21					
	3026	61	- 0,05	59	59					
		<u>29,435</u>		<u>29,400</u>						

TABLEAU III. - 2 042 K - Intensité du courant (ou différence de potentiel pour la P.T.B.)

Laboratoire acquéreur	Lampe N° (2)	E.T.L. (3)	(3)-(5) (4)	Laboratoire arrivée (5)	Laboratoire départ (6)	B.I.P.M. (7)	Laboratoire (8)	(6)-(8) (9)	E.T.L. - B.I.P.M. (10)
P.T.B.	TS 1541	10,243	- 0,03	10,246	10,162	10,171	10,165	- 0,03	- 0,07
	1505	187	+ 0,02	182	198	196	195	+ 0,02	- 0,07
	1507	187	- 0,01	188	148	161	152	- 0,04	- 0,14
	1512	209	+ 0,01	206	206	220	211	- 0,02	- 0,11
	1530		+ 0,00					- 0,02	- 0,10
N.B.S.	TS 1522	5,324 6	+ 0,04	5,322 4*	5,281 4	5,278 5	5,278 1	+ 0,06	
	1525	338 4	+ 0,06	335 0	+ Le régime d'alimentation de la lampe a été modifié après cette mesure.				
	1539	330 7	+ 0,08	335 3					
N.R.C.	TS 1534	5,210 7	+ 0,05	5,208 0					
	1535	368 4	+ 0,04	366 0					
	1523	363 4	+ 0,03	361 9	5,261 3	5,260 9	5,259 0	+ 0,04	+ 0,05
	1527	230 1	+ 0,07	226 6	226 2	226 8	224 7	+ 0,03	+ 0,06
	1529	166 7	+ 0,05	164 1	194 0	194 8	193 3	+ 0,01	+ 0,04
	1537	363 3	+ 0,05	360 8	361 2	359 8	357 6	+ 0,07	+ 0,07
E.T.L.	DS 6012		+ 0,05		5,436	5,433 0	5,433	+ 0,06	+ 0,06
	6022				451	449 2	450	+ 0,02	+ 0,02
	6027				447	445 7	446	+ 0,06	+ 0,04
I.M.M.	TS 1531	5,244 7	+ 0,13	5,237 5					
	1540	339 5	+ 0,09	334 5					
	1543	317 7	+ 0,09	313 0					
	1506	311 5	+ 0,08	307 5	5,207 5	5,210 0	5,209 4	- 0,04	+ 0,03
	1524	360 5	+ 0,08	356 0	356 0	357 7	356 0	+ 0,00	+ 0,05
	1542	332 2	+ 0,08	328 0	328 0	329 7	329 5	- 0,03	+ 0,05
B.I.P.M.	TS 1502	5,213 5	+ 0,04	5,211 6					+ 0,04
	1521	345 5	+ 0,05	343 0					+ 0,05
			+ 0,04						+ 0,04

Moyenne (sauf P.T.B.) + 0,05



TABLEAU IV. — 252°K. — Intensité du courant (ou différence de potentiel pour la P.T.B.)

Laboratoire acquéreur (1)	Lampe N° (2)	E.T.L. (3)	(3)-(5) %	Laboratoire arrivée (5)	Laboratoire départ (6)	B.I.P.M. (7)	Laboratoire (8)	(6)-(8) %	E.T.L. - B.I.P.M. %	(10)
<u>P.T.B.</u>	TS 3030	12,704	- 0,04	12,709	12,742	12,746	12,741	+ 0,01	- 0,07	- 0,07
	3004	737	- 0,04	742	684	688	684	+ 0,00	- 0,06	- 0,06
	3010	679	- 0,04	684	846	848	845	+ 0,01	- 0,07	- 0,07
	3028	841	- 0,04	846	770	775	771	- 0,01	- 0,07	- 0,07
	3029	766	- 0,04	770				- 0,00	- 0,07	- 0,07
<u>N.B.S.</u>	TS 3019	3,156 8	+ 0,05	3,155 2	3,155 2	3,154 8	3,155 5	- 0,01	+ 0,06	+ 0,06
	3020	257 1	+ 0,05	255 4	255 4	254 7	255 0	+ 0,01	+ 0,07	+ 0,07
	3032	267 7	+ 0,05	265 2	265 2	264 7	264 5	+ 0,01	+ 0,07	+ 0,07
<u>E.T.L.</u>	DS 6062									
	6064									
	6067									
	6079									
<u>I.M.M.</u>	TS 3001	3,558 0	+ 0,04	3,556 5	3,230	3,229 1	3,230	+ 0,00	+ 0,03	+ 0,03
	3006	240 5	+ 0,05	239 0	236	234 9	235	+ 0,03	+ 0,00	+ 0,00
	3048	117 0	+ 0,04	115 7	228	227 9	228	+ 0,00	+ 0,01	+ 0,01
	3034	220 6	+ 0,05	219 0	220	219 7	220	+ 0,00	+ 0,01	+ 0,01
	3039	247 8	+ 0,03	247 0						
3046	263 8	+ 0,01	263 5	263 5	262 7	263 5	- 0,00	- 0,00	- 0,00	
<u>B.I.P.M.</u>	TS 3024	3,244 3	+ 0,04	3,243 1						+ 0,04
	3026	248 4	+ 0,04	247 2						+ 0,04

Moyenne (sauf P.T.B.) + 0,04

(4), (7), (9) — l'écart, en pour cent, entre les valeurs de l'intensité lumineuse de chaque lampe mesurées avant et après chaque transport, la valeur moyenne des lampes du groupe étant prise comme unité.

(11) — l'écart, en pour cent, entre les valeurs de l'intensité lumineuse de chaque lampe mesurées au Laboratoire avant et après la comparaison au B. I. P. M.

Toutes les valeurs de l'intensité lumineuse ont été exprimées en unité moyenne 1952-1957 avec les relations de passage suivantes :

	2 042°K	2 353°K	
Unité N. B. S. ....	1,001	0,998	unité moyenne 1952-1957
» E. T. L. ....	1,000	0,994 5	»
» I. M. M. ....	0,995	1,001 5	»
» P. T. B. ....	1,008	1,002 5	»
» N. R. C. ....	0,995	—	»
» B. I. P. M. ....	0,999	0,999	»

Les diverses colonnes des tableaux III et IV donnent :

(3), (5), (6), (7), (8) — l'intensité du courant (ou la différence de potentiel pour la P. T. B.) mesurée successivement à l'E. T. L. (3), à l'arrivée au Laboratoire (5), au départ du Laboratoire (6), au B. I. P. M. (7) et à nouveau au Laboratoire (8).

(4), (9), (10) — l'écart, en pour cent, entre les valeurs de l'intensité du courant (ou de la différence de potentiel pour la P. T. B.) mesurées à l'E. T. L. et à l'arrivée au Laboratoire (4), au Laboratoire avant et après la comparaison au B. I. P. M. (9), à l'E. T. L. et au B. I. P. M. (10).

## RÉSULTATS

*a. Intensité lumineuse.* — Parmi les 45 lampes étudiées, une seule a montré une variation anormale de 1,2 % (TS 1 534 du N. R. C.); toutes les autres n'ont fait apparaître que des variations de l'ordre de 0,2 à 0,3 % (colonnes 4, 7, 9) qui se situent ainsi dans le domaine des erreurs expérimentales. Cependant, quelques accidents spécifiques à ce type de lampes se sont produits; en particulier, pour les lampes à 2 042°K, il semble que les deux seules soudures qui fixent le filament aux arrivées de courant, en l'absence de tout crochet-support, soient fragiles compte tenu du poids du filament.

De plus, pour les groupes de lampes à 2 353°K de la P. T. B et de l'I. M. M., on remarque (colonne 11) un abaissement de l'intensité lumineuse au cours du temps.

*b. Intensité du courant.* — Les variations observées (colonne 9) sont faibles, très satisfaisantes en particulier pour les lampes à 2 353°K où la variation individuelle maximale est de 0,03 %. Mais il faut noter les écarts systématiques entre l'E. T. L. et le B. I. P. M. (colonne 10) et plus généralement entre l'E. T. L. et les autres laboratoires (colonne 4); ces écarts, de l'ordre en moyenne de 0,05 % pour les lampes à 2 042°K et de 0,04 % pour celles à 2 353°K, ne sont pas dus aux lampes utilisées mais semblent provenir des dispositifs de contrôle électrique de l'E. T. L. C'est un fait déjà constaté antérieurement avec d'autres types de lampes.

*c. Cas particulier des étalons appartenant à la P. T. B.* — Toutes les mesures sur les deux groupes d'étalons appartenant à la P.T.B. ont été faites à intensité de courant constante, sauf à l'E. T. L. où les lampes étaient alimentées à différence de potentiel constante. Or, une variation de 0,01 % sur l'intensité du courant correspond à une variation sur l'intensité lumineuse de 0,09 % pour les lampes à 2 042°K et de 0,05 % pour celles à 2 353°K. Il faudrait donc augmenter de 0,4 % (2 042°K) et de 0,2 % (2 353°K) les intensités lumineuses mesurées à l'E. T. L. pour tenir compte des écarts systématiques sur l'intensité du courant indiqués en *b*.

Il en serait de même d'ailleurs pour les différences de potentiel, mais les corrections à effectuer ne sont pas connues; on peut tenir pour vraisemblable que les variations de la colonne 10 (tableaux III et IV) seraient réduites.

En conclusion, la stabilité des lampes étalons du type Toshiba est généralement bonne, mais il semble qu'il soit encore nécessaire d'améliorer leur robustesse si l'on veut que la précision des comparaisons internationales ne soit plus affectée par le transport des lampes.

(Mai 1962)

ANNEXE 11

National Research Council (Canada)

---

PROPOSITION DE COMPARAISON  
INTERNATIONALE D'ÉTALONS DE LUMINANCE  
REPRÉSENTÉS PAR DES LAMPES A RUBAN

Par C. L. SANDERS

(Traduction)

---

INTRODUCTION

Une évaluation des erreurs affectant l'étalon primaire de lumière réalisé récemment au National Research Council (1) montre qu'il existe, dans la détermination de l'étalon primaire, certaines erreurs photométriques qui pourraient être mieux connues et éliminées si elles étaient l'objet d'une étude détaillée par plusieurs laboratoires nationaux.

Le passage de l'étalon primaire de luminance à des étalons d'intensité lumineuse constitués par des lampes à filament implique l'emploi soit d'une lentille, soit d'un système lentille-prisme. Deux des erreurs photométriques sont dues à la diffraction et aux incertitudes qu'entraîne la mesure du facteur de transmission lentille-prisme.

L'article de Sanders et Jones (1) donne pour l'erreur due à la diffraction, 0,26 % avec une incertitude de 0,1 %; quant à l'écart-type résultant des mesures de la transmission de la lentille et du prisme, il est évalué à 0,15 %. Ces deux incertitudes sont liées, en ce sens que l'erreur de diffraction dans la détermination

---

(1) SANDERS (C. L.) et JONES (O. C.), Problem of realizing the primary standard of light, *J. Opt. Soc. of America*, 1962, 52, p. 731.

de l'étalon primaire peut être partiellement compensée par la diffraction qui a lieu lors de la mesure de la transmission de la lentille et du prisme.

L'élimination de ces deux erreurs, les plus grandes parmi les erreurs photométriques, rendrait certainement plus facile l'évaluation de la précision de l'étalon primaire lui-même. C'est dans ce but que nous suggérons les deux études suivantes. Nous espérons que ces propositions pourront être discutées à la session du Comité Consultatif de Photométrie afin d'établir des programmes de recherche, compte tenu des points de vue de tous les laboratoires intéressés.

#### ÉTUDE A

##### *Étalonnage en luminance de lampes à ruban par comparaison directe à l'étalon primaire*

Les laboratoires participants mesureraient, pour un groupe de lampes à ruban, la luminance d'une aire spécifiée du ruban de chaque lampe. L'étalon primaire de lumière étant un étalon de luminance, la comparaison photométrique de la luminance d'un ruban à celle de l'étalon primaire peut donc se faire sans connaître la transmission du système optique. Les différents groupes de lampes seraient comparés entre eux au Bureau International des Poids et Mesures. Les résultats permettraient d'avoir une estimation bien plus directe des écarts entre les étalons primaires nationaux, puisque l'erreur due à la transmission de la lentille et du prisme serait éliminée.

Pour cette étude, on demanderait à tous les laboratoires d'utiliser des lentilles et des prismes identiques. La position de la lentille par rapport au tube de visée ou au ruban serait fixée, ainsi que la valeur constante de son ouverture. Les seuls éléments variables d'un laboratoire à l'autre ne seraient plus alors que l'étalon primaire et le récepteur photométrique; mais nous pensons que les désaccords dus aux différences entre les récepteurs sont négligeables et que les écarts d'étalonnage des lampes d'un laboratoire à l'autre seraient exactement les écarts entre les étalons primaires.

Le ruban étant plus robuste que le filament des lampes actuellement utilisées comme étalons secondaires, les transports n'affecteraient pas les valeurs d'étalonnage. La lampe Osram Wi 17, qui a une température de couleur de  $2\ 042^{\circ}\text{K}$  à 3 V environ, conviendrait parfaitement. La partie du ruban dont la luminance est la plus uniforme serait seule utilisée dans les mesures. Il existe une encoche dans le ruban qui servirait de repère pour situer l'aire à mesurer, même si l'aire de luminance uniforme n'était pas face à l'encoche.

## ÉTUDE B

### *Étalonnage en luminance de lampes à ruban, à partir d'étalons d'intensité à 2 042°K*

Chaque laboratoire national mesurerait les luminances d'un groupe de lampes à ruban par comparaison à des étalons d'intensité lumineuse dont la valeur serait connue en candela moyenne internationale. Ces mesures nécessitent la détermination de la transmission de la lentille, ou de la lentille et du prisme. Si les luminances différaient d'un laboratoire à l'autre, cela voudrait dire que les différences sont dues soit aux désaccords entre les méthodes employées pour mesurer la transmission de la lentille et du prisme, soit au type du système lentille-prisme utilisé pouvant modifier les erreurs de diffraction ou de diffusion.

Pour faire la distinction entre ces deux erreurs, l'étude B serait répétée avec un ou plusieurs systèmes lentille-prisme en faisant varier systématiquement la distance focale et l'ouverture de la lentille, pour voir comment varie la luminance suivant le type de lentille et prisme. Le résultat pouvant également dépendre de la méthode de mesure de la transmission, il serait souhaitable que cette étude soit reprise dans plusieurs laboratoires.

(Janvier 1962)

## ANNEXE 12

Electrotechnical Laboratory (Japon)

---

# ÉTALONS SECONDAIRES DE RÉPARTITION SPECTRALE DANS LE DOMAINE VISIBLE ET ÉCHELLE DE TEMPÉRATURE DE COULEUR DE L'E. T. L.

Par K. YOSHIÉ

---

Pour obtenir des étalons secondaires de répartition spectrale dans le domaine visible, nous avons cherché à mesurer les luminances spectrales relatives dans une direction donnée de lampes pyrométriques étalons à filament plat de tungstène, en les comparant à une source de luminance spectrale connue, le corps noir. Nous avons effectué ensuite la mesure des répartitions spectrales de lampes à filament spiralé en atmosphère gazeuse, dont les températures de couleur étaient réglées d'après l' « Échelle B. I. P. M. 1951 », en les comparant aux étalons secondaires ainsi obtenus. On a alors trouvé les différences entre les températures de couleur des lampes, calculées d'après la définition de l'identité de couleur ou du rapport rouge/bleu, et les températures calculées d'après l' « Échelle B. I. P. M. 1951 ».

### I. ÉTALON SECONDAIRE DE RÉPARTITION SPECTRALE

*Corps noir.* — Pour réaliser le rayonnement du corps noir, on a construit un four électrique à tube chauffant en graphite. Au centre du tube se trouve une enceinte rayonnante cylindrique ayant un fond et un couvercle à ouverture circulaire. Cette enceinte rayonnante peut être portée à  $2\,042^{\circ}\text{K}$  par un courant électrique d'environ 800 à 1 000 A.

La noirceur de l'enceinte rayonnante a été déterminée suivant le calcul fait par Y. Nakaji [1] ainsi que par un calcul analogue (J. C. de Vos [2]). Ces calculs ont montré que l'enceinte rayonnante est un corps gris, la noirceur du fond étant 0,998.

On formait une image en vraie grandeur de l'ouverture circulaire (diamètre 3 mm) sur la fente d'entrée du monochromateur double. En limitant la hauteur de la fente d'entrée à 1 mm, on n'utilisait pour la comparaison que les radiations émises par le fond de l'enceinte rayonnante, dont la température de luminosité était mesurée au pyromètre optique.

*Lampes à filament plat.* — Les lampes à filament plat de tungstène utilisées comme étalons secondaires de répartition spectrale relative sont des lampes pyrométriques étalons à atmosphère gazeuse. Leur stabilité est très satisfaisante. La longueur du filament vertical est 8 mm et sa largeur 2 mm. Parmi de nombreuses lampes, nous avons sélectionné celles dont la répartition de température le long du filament est uniforme à 1 degré près, dans la zone utilisée d'environ 3 mm de longueur et 0,25 mm de largeur. Les radiations émises par cette zone dans la direction normale au filament plat ne sont pas polarisées; on peut donc les comparer directement à celles du corps noir en utilisant le monochromateur et le système optique qui, en général, polarisent considérablement les radiations transmises ou réfléchies. Ces lampes ont été alimentées à intensité de courant constante de telle sorte que leur température de couleur soit voisine de 2 042°K. La température du corps noir étant voisine de 2 042°K, les rapports des intensités des deux radiations comparées étaient à peu près les mêmes à chaque longueur d'onde, ce qui facilitait les mesures.

*Pyromètre optique à disparition de filament.* — Le pyromètre optique utilisé pour la mesure de la température du fond de l'enceinte rayonnante a été pointé directement sur le corps noir au point de fusion de l'or réalisé au National Research Laboratory of Metrology à Tokyo (anciennement Central Inspection Institute of Weights and Measures). Cet étalonnage a été fait à travers le verre de l'ouverture du four électrique et le prisme à réflexion totale. L'extrapolation aux températures élevées a été effectuée au moyen du facteur spectral de transmission connu du verre rouge et en utilisant une lampe à filament plat ainsi qu'un secteur tournant spécialement construit, à angle d'ouverture variable. Le facteur de transmission du secteur, donné par le rapport de l'angle d'ouverture à  $2\pi$ , a été vérifié, pour les ouvertures comprises entre 20 et 90°, par la méthode photoélectrique à 1/1500 près.



Le pointé de ce pyromètre sur l'étalon primaire photométrique conservé à l'E. T. L. a donné une température de  $2\,042,3^{\circ}\text{K}$ , ce qui confirmait l'exactitude de l'échelle de température ainsi extrapolée.

La lampe tare du pyromètre a un filament de tungstène de diamètre  $0,05\text{ mm}$  et de longueur  $50\text{ mm}$ . Les corrections dues aux variations courantes de la température extérieure sont négligeables. Cette lampe tare est utilisable aux températures de luminance inférieures à  $2\,000^{\circ}\text{C}$  sans interposition de lame de verre neutre.

*Comparaison de la lampe à filament plat au corps noir.* — Par rotation manuelle d'un miroir plan, on peut diriger les radiations du corps noir ou de la lampe vers la fente d'entrée du mono-

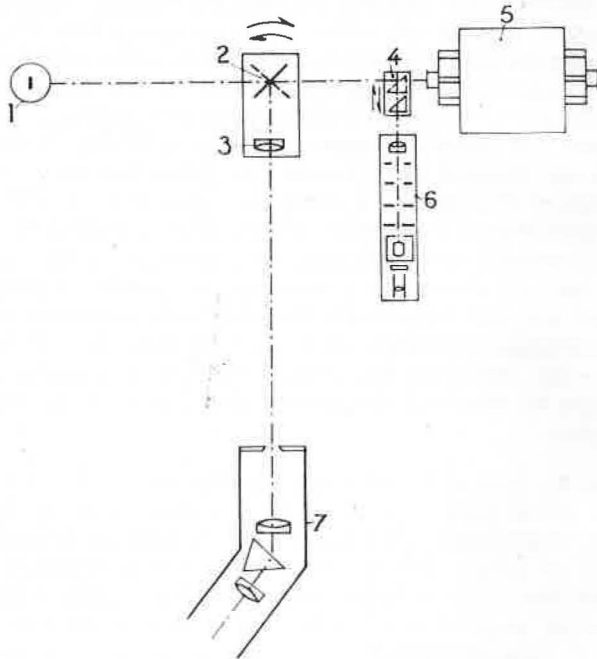


Fig. 1.

- 1, Lampe à filament plat;
- 2, Miroir plan aluminé;
- 3, Lentille;
- 4, Prisme à réflexion totale;
- 5, Four à tube de graphite;
- 6, Pyromètre optique;
- 7, Monochromateur.

chromateur (*fig. 1*). Un prisme qui envoie le faisceau lumineux du corps noir vers le pyromètre optique peut être éclipsé pendant la comparaison.

Au cours des mesures, deux cellules photoémissives à cathodes Sb-Cs et Ag-Cs ont été employées pour les longueurs d'onde de 400 à 600 nm et de 600 à 740 nm respectivement; leurs linéarités étaient vérifiées à 0,1 %. La comparaison était exécutée dans l'ordre suivant : on dirige les radiations de la lampe vers la fente d'entrée du monochromateur; on mesure les courants photoélectriques en fonction de la longueur d'onde de 20 en 20 nm entre 600 et 400 nm en maintenant la largeur des fentes constante (0,25 mm); on répète la même mesure dans le sens inverse de 400 à 600 nm. Les différences de deux courants photoélectriques lus à la même longueur d'onde au cours de cette mesure aller-retour (une série) étaient inférieures à 0,1 % pour toutes les longueurs d'onde. Ensuite, par rotation du miroir, on dirige les radiations du corps noir vers la fente d'entrée et une série de mesures est faite d'une manière analogue; dans ce cas, la température de luminance du corps noir était mesurée au pyromètre optique au début et à la fin de la série. Pour finir, une troisième série est faite avec la lampe; cette dernière série a pour but de vérifier la stabilité des conditions de mesure pendant la durée des deux premières. Pour les longueurs d'onde de 600 à 740 nm, la largeur des fentes du monochromateur restait constante (0,18 mm). Les largeurs de la bande spectrale servant aux mesures étaient de 6 nm à 500 nm, 11 ou 8 nm à 600 nm et 13 nm à 700 nm.

Dans la mesure des radiations du corps noir, les deux courants photoélectriques lus à la même longueur d'onde dans une série aller-retour diffèrent légèrement à cause d'un petit changement régulier de la température du corps noir. Ce changement de la température étant proportionnel au temps et la variation de luminance du corps noir étant aussi considérée comme proportionnelle au petit changement de la température, la moyenne des deux courants photoélectriques à chaque longueur d'onde dans une série donne le courant photoélectrique qui correspond à la luminance spectrale du corps noir pour la moyenne des températures mesurées au début et à la fin de la série. Ces températures moyennes sont égales dans toutes les séries à  $2\ 042 \pm 20^\circ\text{K}$ . On peut alors trouver par le calcul les courants photoélectriques à chaque longueur d'onde, qui correspondent aux radiations du corps noir à la température exacte de  $2\ 042^\circ\text{K}$ .

Ainsi, la luminance spectrale de la lampe a été exprimée par rapport à celle du corps noir à la température de  $2\ 042^\circ\text{K}$  en fonction de la longueur d'onde.

Les résultats sont donnés par la courbe 1 de la figure 2. Cette courbe de répartition spectrale est rapportée à celle du corps noir à une température égale à la température de couleur de la lampe déterminée par le rapport spectral rouge/bleu (rouge : 660 nm, bleu : 460 nm). Les luminances dans le vert sont, par rapport

au corps noir, relativement plus élevées que dans le bleu et le rouge; les différences sont d'environ 1 %. Les différences entre le vert et les deux extrémités du spectre atteignent 2,5 %.

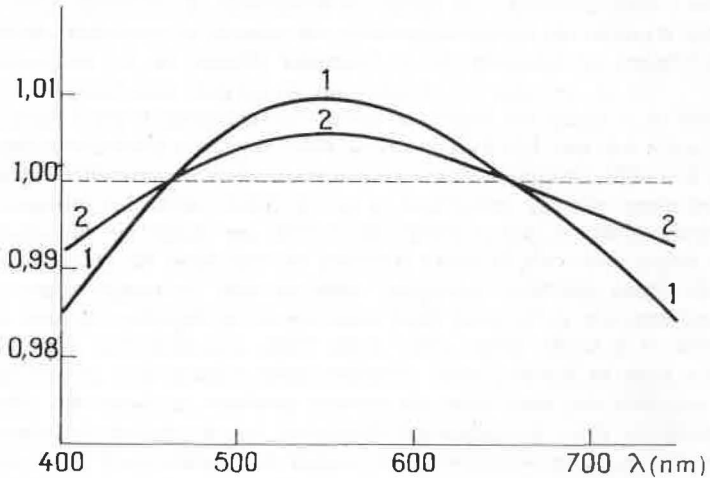


Fig. 2.

II. COMPARAISON DE L'ÉCHELLE  
DE TEMPÉRATURE DE COULEUR DE L'E. T. L.  
A L' « ÉCHELLE B. I. P. M. 1951 »

Des lampes étalons à atmosphère gazeuse (55 V, 330 W) ont été utilisées pour cette comparaison; elles possèdent un filament spiralé monté dans un plan; les crochets-soutiens sont soudés au filament afin d'éviter des contacts instables. Ces lampes sont munies d'un bras horizontal fixé au culot sur lequel est posé un niveau à bulle d'air pour déterminer la verticalité de la lampe. Elles sont donc utilisables comme lampes étalons d'intensité lumineuse à haute température de couleur.

*Réglage en température de couleur d'après l' « Échelle B. I. P. M. 1951 ».* — Les lampes ont été réglées aux températures de couleur de 2 353°K et de 2 042°K d'après l' « Échelle B. I. P. M. 1951 » par la méthode du rapport rouge/bleu. Elles ont été allumées ensuite à une température de couleur plus élevée et les rapports de la luminance monochromatique entre ces deux régimes ont été mesurés à plusieurs longueurs d'onde dans le spectre visible. Ce procédé est tout à fait analogue à celui qui a été proposé par le B. I. P. M. [3]. La température de couleur au

régime élevé de la lampe peut être calculée en admettant que la répartition spectrale relative de la lampe à la température de couleur de  $2\,353^{\circ}\text{K}$  est identique à celle du corps noir à cette température. On a obtenu ainsi l'« Échelle B. I. P. M. 1951 extrapolée » entre les températures de couleur de  $2\,353$  et  $3\,000^{\circ}\text{K}$ , la température de couleur de  $2\,353^{\circ}\text{K}$  étant prise comme base.

*Mesures de la répartition spectrale relative des lampes à filament spiralé.* — La répartition spectrale relative de ces lampes, réglées à la température de couleur de  $2\,854^{\circ}\text{K}$  d'après l'« Échelle B. I. P. M. 1951 extrapolée », a été mesurée en les comparant spectralement aux lampes à filament plat dont la répartition spectrale relative était déterminée par comparaison directe au corps noir. Par l'intermédiaire d'une lentille, l'image d'une plaque diffusante (fumée d'oxyde de magnésium) était formée sur la fente d'entrée du monochromateur double. La plaque diffusante était éclairée alternativement par une zone déterminée du filament plat ou par la lampe entière à mesurer. Cette disposition a été nécessaire pour éviter des erreurs dues aux caractéristiques différentes de polarisation des deux lampes comparées, bien que la polarisation des radiations émises par ce type de lampe à filament spiralé soit assez faible. Les répartitions spectrales aux températures de couleur autres que  $2\,854^{\circ}\text{K}$  peuvent être alors connues en utilisant les rapports des luminances monochromatiques obtenus dans le procédé précédent de l'extrapolation de l'échelle de température de couleur.

Les résultats sont donnés par la courbe 3 de la figure 2. Cette courbe de répartition spectrale, la même, à l'exactitude de mesure près, pour tous les régimes compris entre  $2\,042$  et  $3\,000^{\circ}\text{K}$ , est rapportée à celle du corps noir à une température égale à la température de couleur de la lampe déterminée par le rapport spectral rouge/bleu (rouge :  $660\text{ nm}$ ; bleu :  $460\text{ nm}$ ). L'écart de la répartition entre la lampe et le corps noir est moindre que pour les lampes à filament plat. C'est naturel, puisque le filament spiralé émet un rayonnement plus proche de celui du corps noir.

*Comparaison des échelles de température de couleur.* — Les répartitions spectrales relatives de la lampe à filament spiralé ainsi obtenues aux diverses températures de couleur réglées d'après l'« Échelle B. I. P. M. 1951 », permettent de calculer les températures de couleur d'après la définition de l'identité de couleur ou du rapport spectral rouge/bleu. Les coefficients trichromatiques calculés suivant le système de la C. I. E. donnent les points représentatifs dans le triangle des couleurs; ils ne coïncident pas exactement avec ceux du corps noir. Les températures de couleur à assigner à ces points selon la méthode de D. B. Judd sont données à la deuxième ligne du tableau ci-dessous.

La température de couleur d'après la définition du rapport spectral rouge/bleu dépend des deux longueurs d'onde choisies pour lesquelles le rapport des luminances spectrales d'un corps noir est égalisé à celui de la lampe. Les températures de couleur pour les longueurs d'onde choisies de 660 et 460 nm, par exemple, sont données à la troisième ligne du tableau.

Ces résultats sont les moyennes des températures de couleur obtenues sur sept lampes utilisées pour cette comparaison. L'écart maximal entre les températures de couleur de ces lampes n'excède pas 3 degrés.

Échelle B. I. P. M.....	2 042°K	2 353°K	2 600°K*	2 854°K*
Échelle E. T. L. (Identité de couleur).....	2 038°K	2 349°K	2 594°K	2 847°K
Rapport spectral rouge/bleu...	2 035°K	2 346°K	2 591°K	2 844°K

\* Échelle extrapolée à l'E. T. L.

#### CONCLUSION

La différence entre la température de couleur de la lampe, déterminée à partir de sa répartition spectrale relative, et celle qui est obtenue d'après l'« Échelle B. I. P. M. 1951 » est de 4 degrés à la température de couleur de 2 353°K. Cette différence augmente, suivant la théorie d'extrapolation de la température, proportionnellement au carré du rapport d'une température élevée à celle de 2 353°K prise comme base.

(Janvier 1962)

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] *Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 26-B, 1958, p. P 61.
- [2] DE Vos (J. C.), *Physica*, 20, 1954, p. 669.
- [3] *Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 23-B, 1952, p. P 124.

---

# TABLE DES MATIÈRES

---

## COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMÉTRIE

5<sup>e</sup> Session (1962)

---

	Pages.
NOTE.....	2
Avertissement historique.....	5
Liste des Membres.....	7
Ordre du jour.....	10
<b>Cinquième Rapport au Comité International des Poids et Mesures,</b> <b>par H. Korte .....</b>	
Travaux sur l'étalon primaire dans les Laboratoires nationaux; causes d'erreurs. Création d'un Groupe de travail de l' « étalon primaire photométrique ». Études en radiométrie absolue; leur intérêt pour une définition de l'unité primaire de lumière; projet de comparaison de récepteurs thermoélectriques. Mesures spectro- photométriques à l'Electrotechnical Laboratory (Japon). Examen des résultats de la comparaison internationale 1961 des étalons secondaires d'intensité et de flux lumineux; unités nationales. Qualités des lampes étalons d'intensité lumineuse. Comparaisons internationales futures des étalons secondaires; suppression des étalons d'intensité et de flux à 2 353°K. Travaux du Bureau International (sphère lumenmètre; études courantes). Prochaine comparaison internationale d'étalons de température de couleur. Courbe $V_1$ ; maintien des valeurs actuelles. Indications sur les résultats de la comparaison de lampes fluorescentes tubulaires organisée par la Commission Internationale de l'Éclairage. Ques- tions diverses (travaux projetés par les Laboratoires nationaux; intérêt pour les mesures radiométriques absolues).....	11
<i>Recommandations</i> adoptées (Poursuite des études sur l'étalon pri- maire; création d'un Groupe de travail. Orientation des travaux vers la radiométrie absolue. Recherches des causes de divergences dans la conservation des unités photométriques. Limitation à trois des types d'étalons secondaires pour la prochaine compa- raison internationale).....	18

**Annexes :**

1. Rapport du Groupe de travail de l'étalon primaire photométrique, par C. L. Sanders.....	21
2. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS (États-Unis d'Amérique). — <i>Reproductibilité de l'étalon primaire de lumière</i> , par R. P. Teele.	23
3. INSTITUT DE MÉTROLOGIE D. I. MENDÉLÉEV (U. R. S. S.). — <i>Moyens pour augmenter la précision de l'étalon primaire de lumière (radiateur intégral)</i> , par V. E. Kartachevskaïa et P. M. Tikhodéev.....	29
4. NATIONAL RESEARCH COUNCIL (Canada). — <i>Expériences et observations récentes sur l'étalon primaire de lumière</i> , par O. C. Jones et C. L. Sanders.....	37
NATIONAL PHYSICAL LABORATORY (Royaume-Uni) :	
5. <i>Recherches récentes en radiométrie absolue</i> , par E. J. Gillham....	43
6. <i>Méthode radiométrique pour la conservation de l'unité de lumière</i> , par J. S. Preston.....	51
7. INSTITUT DE MÉTROLOGIE D. I. MENDÉLÉEV (U. R. S. S.). — <i>Travaux dans le domaine d'application des méthodes de mesures énergétiques aux mesures photométriques</i> , par V. E. Kartachevskaïa.....	55
8. ELECTROTECHNICAL LABORATORY (Japon). — <i>Passage de la candela à 2 042°K à la candela à 2 353°K et du lumen à 2 353°K au lumen à 2 788°K par la méthode spectrophotométrique et par la méthode de la longueur d'onde de Crova</i> , par N. Ooba et M. Suzuki.....	59
9. BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. — <i>Rapport sur la quatrième comparaison des étalons nationaux d'intensité et de flux lumineux (1961)</i> , par J. Bonhoure.....	63
10. ELECTROTECHNICAL LABORATORY (Japon). — BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. — <i>Comportement des lampes étalons du type Toshiba au cours des transports</i> , par K. Yoshié et J. Bonhoure.....	88
11. NATIONAL RESEARCH COUNCIL (Canada). — <i>Proposition de comparaison internationale d'étalons de luminance représentés par des lampes à ruban</i> , par C. L. Sanders.....	95
12. ELECTROTECHNICAL LABORATORY (Japon). — <i>Étalons secondaires de répartition spectrale dans le domaine visible et échelle de température de couleur de l'E. T. L.</i> , par K. Yoshié.....	98

IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS & C<sup>ie</sup>  
55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 55 — PARIS

---

162 285

---

Dépôt légal, Imprimeur, 1962, n° 1548  
Dépôt légal, Éditeur, 1962, n° 1102

ACHEVÉ D'IMPRIMER LE 20 MARS 1963

Imprimé en France.