COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMÉTRIE

SESSION DE 1965



COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMÉTRIE

6° SESSION — 1965 (13-14 septembre)



PARIS GAUTHIER-VILLARS

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.

Le Comité International est composé de dix-huit membres appartenant à des États différents; il se réunit au moins une fois 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.

Limitées à l'origine aux mesures de longueur et de masse et aux études métrologiques en relation avec ces grandeurs, les activités du Bureau International ont été étendues aux étalons de mesure électriques (1927), photométriques (1937) et des radiations ionisantes (1960). Dans ce but, un agrandissement des premiers laboratoires construits en 1876-1878 a eu lieu en 1929 et deux nouveaux bâtiments ont été construits en 1963-1964 pour les laboratoires de la Section des radiations ionisantes,

^{(&}lt;sup>1</sup>) Au 31 décembre 1964, quarante États sont membres de cette Convention : Afrique du Sud, 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, République Arabe Unic, Roumanie, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, Thaïlande, Turquie, U.R.S.S., Uruguay, Vénézuéla, Yougoslavie.

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 ont un règlement commun (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 31, 1963, p. 97). Chaque Comité Consultatif, dont la présidence est généralement confiée à un membre du Comité International, est composé d'un délégué des grands Laboratoires de métrologie et des Instituts spécialisés dont la liste est établie par le Comité International, ainsi que de membres individuels désignés également par le Comité International. Ces Comités tiennent leurs sessions à des intervalles irréguliers; ils sont actuellement au nombre de sept :

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 Comilé 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.

7. Le Comité Consultatif des Unités, créé en 1964.

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.

Depuis 1965 le journal international *Metrologia*, édité sous les auspices du Comité International des Poids et Mesures, publie des articles sur les principaux travaux de métrologie scientifique effectués dans le monde, sur l'amélioration des méthodes de mesure et des étalons, sur les unités, etc., ainsi que des rapports concernant les activités, les décisions et les recommandations des divers organismes issus de la Convention du Mêtre.

Comité International des Poids et Mesures

Secrétaire J. de Boer Vice-Président J. M. Otero Président L. E. Howlett

LISTE DES MEMBRES

DU

COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMÉTRIE

Président

J. M. OTERO, Vice-Président 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 UND WARENPRÜFUNG [D. A. M. W.], Berlin (S. NÜNDEL, Hauptlaborleiter; B. FISCHER, Laborleiter).
- NATIONAL BUREAU OF STANDARDS [N. B. S.], Washington D. C. 20 234 (L. E. BARBROW, Chief, Photometry and Colorimetry Section; R. P. TEELE, Physicist).
- NATIONAL STANDARDS LABORATORY [N. S. L.], Chippendale N. S. W. (W. R. BLEVIN, Principal Research Scientist).
- CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES [N. R. C.], Ottawa (C. L. SANDERS, Associate Research Officer; G. W. Wyszecki, Head, Radiation Optics Section).
- CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS [C. N. A. M.], *Paris* (M. DEBURE, 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* (E. J. GILL-HAM, Principal Scientific Officer; O. C. JONES, Principal Scientific Officer, Light Division).
- INSTITUT DE MÉTROLOGIE D. I. MENDÉLÉEV [I. M. M.], Leningrad (M^{me} V. E. KARTACHEVSKAIA, Chef du laboratoire photométrique).
- L. PLAZA, Vice-Director, Instituto de Optica, Madrid.
- O. REEB, Professeur, Lichttechnisches Institut der Technischen Hochschule, Karlsruhe.
- W. D. WRIGHT, Professor of Applied 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. Examen des rapports du « Groupe de travail de l'étalon primaire photométrique » (réunions de Vienne, juin 1963 et de Sèvres, septembre 1965).
- 2. Travaux récents sur l'étalon primaire; nouvelles réalisations du corps noir.
- 3. Radiométrie absolue.
- 4. Travaux de spectrophotométrie.
- 5. Examen et discussion des résultats de la première comparaison des étalons nationaux de température de répartition. Échelle de la P.T.B.; échelle de l'I.M.M.
- 6. Étalons de flux lumineux de répartitions spatiales différentes.
- 7. Prochaine comparaison internationale des étalons d'intensité et de flux lumineux.
- 8. Informations sur la comparaison de lampes étalonnées en unités énergétiques, organisée par le N.P.L.
- 9. Informations sur la comparaison de lampes à vapeur de mercure à haute pression recommandée par la C.I.E. et organisée par l'E.T.L.
- 10. Examen des conventions colorimétriques de la C.I.E.; proposition du N.R.C.
- 11. Colorimétrie des lampes fluorescentes.
- 12. Questions diverses.

COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMÉTRIE

6° SESSION (1965)

RAPPORT

AU

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Par H. KORTE, Rapporteur

Le Comité Consultatif de Photométrie s'est réuni pour sa sixième session au Bureau International des Poids et Mesures, à Sèvres, où il a tenu trois séances les lundi 13 et mardi 14 septembre 1965.

Étaient présents: Mr Otero, président; MM. Barbrow, Blevin, Debure, Gillham, Jones, M^{me} Kartachevskaia, MM. Korte, Plaza, Reeb, Sanders, Teele, Terrien, Willenberg, Wright, Wyszecki, Yoshié, Zwikker; MM. Bonhoure et Moreau (Bureau International), invités.

Empêchés: MM. FISCHER et NÜNDEL (D.A.M.W.).

Mr Korte est nommé rapporteur, assisté de Mr Bonhoure comme secrétaire.

Après avoir ouvert la séance, le Président évoque la mémoire et les mérites de E. Perucca, membre du Comité Consultatif de Photométrie depuis 1952, décédé le 5 janvier 1965.

Travaux sur l'étalon primaire

Mr Sanders résume les délibérations du Groupe de travail de l'étalon primaire photométrique qui, depuis la 5^e session du Comité Consultatif, a tenu deux réunions, l'une à Vienne (Autriche) en juin 1963, l'autre à Sèvres en septembre 1965 (Annexe 1). Il explique que les diverses corrections apportées au corps noir n'ont presque pas amélioré la concordance entre les laboratoires nationaux. Le Groupe de travail doit poursuivre ses études et rechercher quelle est la meilleure géométrie à donner au creuset et au tube de visée pour réduire les erreurs qui en résultent. On est d'accord pour employer ensuite des dispositifs d'un type identique, par exemple actuellement le modèle qui a donné le plus de satisfaction au National Bureau of Standards; quant aux autres erreurs systématiques, on attire l'attention sur celles qui peuvent provenir du système optique (*Recommandation* P 1 p. P 15).

Malheureusement, l'absence à cette session des représentants du Deutsches Amt für Messwesen und Warenprüfung n'a pas permis d'étudier avec profit les résultats d'une nouvelle réalisation du corps noir dans ce laboratoire.

Radiométrie absolue

A l'Electrotechnical Laboratory, on a réalisé et étudié un nouveau radiomètre qui utilise un thermomètre à fil de platine pour indiquer l'égalité des échauffements de la surface sensible provoqués soit par le rayonnement, soit par l'énergie électrique (Annexe 2).

Mr Gillham donne alors des informations sur l'état d'avancement de la comparaison de récepteurs thermoélectriques en unités énergétiques, organisée par le National Physical Laboratory (*Comité Consultatif de Photométrie*, 5^o session, 1962, p. 14). Il signale qu'après consultation des laboratoires intéressés, on a jugé préférable de remplacer ces récepteurs par des groupes de lampes à filament de tungstène fonctionnant à 2 700-2 800 °K (Osram Wi 41).

En vue de pouvoir examiner les résultats de cette comparaison dès que possible, le Comité Consultatif propose la création d'un Groupe de travail de la radiométrie, sous la présidence de Mr E. J. Gillham (*Recommandation* P 2, p. P 15).

Travaux de spectrophotométrie

Le but de ces travaux est d'effectuer le passage de la candela définie directement par l'étalon primaire, aux candelas et aux lumens à températures plus élevées (*Recommandation* P 3, p. P 15).

Les résultats de mesures faites au Bureau International des Poids et Mesures (Annexe 3) sont en accord à mieux que 0,5 % avec d'autres résultats obtenus antérieurement à l'Electrotechnical Laboratory et plus récemment à la Physikalisch-Technische Bundesantalt (Annexe 4) avec un récepteur V(λ); mais ils diffèrent sensiblement de résultats provenant de l'Institut de Métrologie D.I. Mendéléev (Annexe 5).

Étalons de température de répartition

Après présentation des résultats de la première comparaison internationale des étalons de température de répartition (Annexe 7) et des travaux de la P.T.B. (Annexe 6) et de l'I.M.M. (Annexe 5), on estime qu'il faut considérer ces lampes comme des étalons de répartition spectrale.

Pour obtenir de cette première comparaison une meilleure information, les laboratoires qui le peuvent sont priés d'envoyer au B.I.P.M. les courbes de répartition spectrale de leurs lampes; le B.I.P.M. pourra alors calculer une courbe moyenne.

Étalons de flux lumineux

Des travaux ont été effectués à l'E.T.L. (Annexe 8) pour essayer de mettre en évidence les erreurs éventuelles qui peuvent apparaître au cours de la comparaison de lampes de répartitions spatiales différentes dans une sphère d'Ulbricht. Des mesures, faites dans deux sphères de 1,5 m et de 5 m de diamètre et à l'aide d'un goniophotomètre, n'ont pas montré d'écarts supérieurs à 0,3 %.

Au cours de la discussion, on note la possibilité d'une erreur due à la polarisation de la lumière dans le dispositif à miroirs du goniophotomètre utilisé par l'E.T.L.

Prochaine comparaison internationale des étalons d'intensité et de flux lumineux

Après examen des réponses envoyées par les laboratoires nationaux à l'enquête préalable du B.I.P.M., on se met rapidement d'accord sur les types de lampes retenues pour la prochaine comparaison internationale ainsi que sur les durées spécifiées de préallumage; quant au mode de contrôle de l'alimentation, il résulte des caractéristiques électriques des lampes (*Recommandation* P 4, p. P 15).

Pour le passage de l'intensité lumineuse au flux lumineux et à propos du choix pour les étalons de flux du seul type à ampoule claire, la P.T.B. mentionne les difficultés qui peuvent apparaître du fait que la répartition spatiale des lampes à ampoule claire est moins régulière que celle des lampes à ampoule dépolie intérieurement.

L'I.M.M. désire que les caractéristiques mécaniques et électriques des lampes étalons soient étudiées et précisées en vue de faire connaître aux fabricants les désirs des photométristes; mais on estime cependant qu'il faut laisser aux fabricants la décision finale concernant les modes de construction les plus sûrs.

Comparaison de lampes à vapeur de mercure à haute pression

A la suite d'une recommandation de la C.I.E. en 1959, l'E.T.L. a organisé une comparaison internationale du flux lumineux de lampes à vapeur de mercure à haute pression. L'E.T.L. a envoyé à cinq laboratoires nationaux des groupes de quatre lampes sélectionnées et étalonnées; après mesures dans les laboratoires, les lampes ont été contrôlées à nouveau à l'E.T.L.

Les résultats de cette comparaison montrent que l'écart maximal entre les divers laboratoires est de 7 % environ, la stabilité des lampes étant de l'ordre de 0,5 %.

Colorimétrie

A la suite de la proposition de Mr Wyszecki (Annexe 9), le Comité Consultatif se met d'accord sur le texte suivant :

1. Le Comité Consultatif de Photométrie a constaté qu'il est souvent impossible de séparer entièrement la photométrie de la colorimétrie, en raison des relations intimes qui existent entre l'une et l'autre. Ces relations ont leur origine d'une part dans la composition physique de la lumière et sa détermination expérimentale, d'autre part dans les conventions internationales adoptées par la C.I.E. et servant à définir les grandeurs colorimétriques. En conséquence, le Comité Consultatif de Photométrie estime nécessaire que certains aspects de la colorimétrie soient pris en considération dans ses travaux, par exemple le concept de température de couleur et les méthodes de sa mesure.

2. Le Comité Consultatif de Photométrie suggère au Comité International des Poids et Mesures d'étudier l'opportunité de soumettre à l'approbation de la Conférence Générale des Poids et Mesures les conventions fondamentales de la colorimétrie.

Mr Barbrow donne alors quelques indications sur la comparaison des coordonnées trichromatiques de lampes fluorescentes tubulaires entre le N.B.S. et le N.P.L., après étalonnage spectroradiométrique au N.B.S. (Annexe 10). Les résultats sont meilleurs que lors de la comparaison recommandée par la C.I.E. en 1955.

Questions diverses

A M^{me} Kartachevskaia qui demande que soit modifiée la définition actuelle de la candela, jugée par tous illogique, Mr Terrien répond qu'il existe maintenant un Comité Consultatif des Unités qui étudiera cette question.

A l'issue de la session, Mr Zwikker donne sa démission de membre spécialiste; il rappelle qu'il participe aux réunions depuis plus de trente années et qu'il est le doyen du Comité Consultatif de Photométrie. Au nom de tous les membres, le Président remercie Mr Zwikker de sa fructueuse collaboration et lui exprime ses souhaits les plus cordiaux.

En conclusion de ses travaux, le Comité Consultatif adopte les quatre recommandations ci-après et le Président remercie ses collègues pour le travail accompli au cours de cette session.

(Sèvres, 14 septembre 1965)

RECOMMANDATION P 1

Considérant les résultats encourageants obtenus par le Groupe de travail de l'« étalon primaire photométrique » dans la recherche des erreurs qui apparaissent dans la réalisation pratique du corps noir au point de solidification du platine, étalon primaire de la candela, le Comité Consultatif de Photométrie recommande :

a. que le Groupe de travail poursuive aussi complètement que possible l'étude et l'évaluation des diverses erreurs;

b. que le Groupe de travail, s'appuyant sur les résultats de l'étude cidessus, détermine une forme pratique de réalisation de l'étalon primaire photométrique, susceptible d'être acceptée par tous les laboratoires intéressés; cette forme pratique serait telle que la valeur des corrections soit, sinon négligeable, du moins suffisamment petite pour être facilement calculable, de sorte que l'écart entre la luminance obtenue par cette réalisation et sa valeur vraie soit inférieur à 0,3 % environ.

RECOMMANDATION P 2

Après avoir pris connaissance de l'état d'avancement de la comparaison de lampes en unités énergétiques que le National Physical Laboratory a organisée avec les autres laboratoires nationaux, et dans le but de tirer le plus de renseignements possible de cette comparaison, le Comité Consultatif de Photométrie recommande que les laboratoires nationaux poursuivent leurs travaux et crée un Groupe de travail de la « radiométrie », comprenant MM. Gillham (N.P.L.), proposé comme président, Bedford (N.R.C.), Bischoff (P.T.B.), Blevin (N.S.L.), Stair (N.B.S.), Yoshié (E.T.L.), un représentant de l'I.M.M. (à désigner) et un représentant du D.A.M.W. (à désigner) (¹).

RECOMMANDATION P 3

Pour expliquer les écarts importants qui subsistent entre les laboratoires nationaux dans les valeurs attribuées aux étalons secondaires d'intensité et de flux lumineux, même si ces valeurs sont rapportées à une valeur identique des étalons de la candela à 2 042 °K, le Comité Consultatif de Photométrie recommande :

que soient poursuivies et étendues les éludes de comparaisons hétérochromes, par exemple par spectrophotométrie ou par récepieur $V(\lambda)$, déjà entreprises avec succès à l'E.T.L., à l'I.M.M., au N.B.S., à la P.T.B. et au B.I.P.M.

RECOMMANDATION P 4

Après avoir pris connaissance des résultats de l'enquête menée par le Bureau International sur les conditions d'exécution de la prochaine comparai-

^{(&}lt;sup>1</sup>) Note ajoutée aux épreuves. — Les représentants de ces deux laboratoires sont maintenant connus: M^{me} Kartachevskaia pour l'I.M.M. et M^r Kaufhold pour le D.A.M.W.

son internationale des étalons d'intensité et de flux lumineux, le Comité Consultatif de Photométrie recommande :

a. qu'une comparaison d'étalons d'intensité à 2 042 °K ait lieu, chaque laboratoire national envoyant au B.I.P.M. huit lampes du type Toshiba, l'alimentation étant contrôlée par la différence de potentiel mesurée sur la douille adaptée à ces lampes (préallumage des lampes : 15 minutes);

b. que la comparaison des étalons d'intensité à 2 854 °K se fasse dans les mêmes conditions, les lampes étant du type Osram Wi 41, l'alimentation étant contrôlée par l'intensité du courant (préallumage des lampes : 12 minutes);

c. que la comparaison des étalons de flux lumineux à 2 788 °K ne comporte que des lampes à ampoule claire (huit) du type G.E.C., l'alimentation étant contrôlée par la différence de potentiel (préallumage des lampes: 7 minutes).

ANNEXE 1

Rapports du Groupe de travail de l'étalon primaire photométrique

au

Comité Consultatif de Photométrie

Deuxième réunion (Vienne, 1963)

Le Groupe de travail s'est réuni à Vienne (Autriche) les 20 et 26 juin 1963.

Étaient présents: Mr SANDERS (N.R.C.) président, Mme KARTACHEV-SKAIA (I.M.M.), MM. BARBROW (N.B.S.), JONES (N.P.L.), WILLENBERG (P.T.B.). Assistaient également à la réunion MM. DEBURE (C.N.A.M.), JUDD (N.B.S.), NAYATANI (E.T.L.), TEELE (N.B.S.), ainsi que MM. MOREAU et BONHOURE (secrétaire) du Bureau International.

Après un premier échange de vues sur les renseignements rassemblés par correspondance concernant les différents corps noirs nationaux, Mr Teele fait un exposé des corrections systématiquement étudiées au N.B.S. (gradient de température dans les parois du tube de visée, en particulier) et communique les valeurs qui résultent de ses nouveaux calculs. On constate que ces corrections sont très différentes de celles obtenues par la méthode de Sanders et Jones et qu'elles n'expliquent pas non plus la luminance élevée du corps noir de la P.T.B. Mr Willenberg mentionne alors que les mesures de 1934 ont montré qu'un tube de visée immergé seulement dans les deux tiers supérieurs du lingot de platine était à une température plus élevée de 1,5 degré qu'un tube de visée en contact avec le fond du creuset, ce qui correspond à une variation de luminance de 0,9 %.

Mr Judd expose très brièvement le principe de ses calculs théoriques qui permettent de connaître la luminance du radiateur intégral idéal à partir de la luminance d'un radiateur expérimental, en évaluant les effets de l'ouverture d'observation et du gradient de température entre le platine et la partie observée du fond du tube de visée. Mr Nayatani donne la description d'un travail qu'il a effectué sur un corps noir utilisé à l'E.T.L.; sa méthode consiste à diviser le corps noir en zones et à étudier le rayonnement mutuel de ces zones, mais Mr Judd estime que le nombre des zones n'est peut-être pas suffisant compte tenu de la forme du radiateur dont le rapport longueur/rayon est 20 environ.

Le Président parle ensuite des erreurs de diffraction pour signaler l'existence d'une erreur supplémentaire quand on utilise une région plus grande que la partie centrale de l'image du fond du tube de visée sur l'ouverture de la lentille; puis il indique la méthode utilisée actuellement au N.R.C. pour déterminer la répartition de l'éclairement dans l'image.

On passe alors à l'examen individuel des corrections, ce qui donne lieu aux remarques suivantes :

— La mesure de la transmission de la lentille et du prisme n'est peutêtre pas toujours correcte, bien que plusieurs méthodes différentes soient utilisées (Voir, en particulier, *Comité Consultatif de Photométrie*, 5^e session, 1962, p. 33).

 On manque d'expérience sur la lumière diffusée dans l'espace tube de visée-récepteur, mais cette correction semble assez petite.

— L'effet de diffraction (au centre de l'image) n'est pas négligeable; encore faut-il être sûr que la mesure de la transmission du système optique ne compense pas, en partie tout au moins, cet effet. Les valeurs données au tableau I (p. P 19) ont été calculées à partir du dispositif géométrique utilisé par chaque laboratoire, en admettant que la méthode de mesure de la transmission du système optique n'entraîne aucune compensation pour l'erreur de diffraction.

 La présence éventuelle de vapeurs de sodium à l'intérieur du four peut conduire à une correction positive ou négative suivant qu'il y a absorption ou émission.

— L'effet de diffraction dû à l'emploi d'une trop grande partie de l'image n'apparaît que lorsque le rayon de l'ouverture est supérieur à 70 % du rayon de l'image.

- Les impuretés dans le platine conduisent à une correction de 0,2 %pour le corps noir du C.N.A.M., en utilisant la relation entre le coefficient de résistance et la température de congélation, donnée par H.T. Wensel, W. F. Roeser, F. R. Caldwell (The freezing point of platinum, *J. Res. N.B.S.*, **6**, 1931, p. 1119); cependant on s'accorde pour reconnaître que cette correction ainsi calculée est anormalement grande et on décide de la négliger.

- Devant le désaccord entre les méthodes de calcul de la correction pour l'émergence du tube de visée, on omet cette correction.

— Les cavités dans le lingot de platine sont difficiles à éviter; on rappelle à ce sujet les dispositifs de chauffage utilisés pour avoir une meilleure uniformité de température (*Comité Consultatij de Photométrie*, 5^e session, 1962, pp. 23, 29, 37).

- L'émissivité du corps noir peut être calculée de différentes façons (E.T.L., Yamauti; I.M.M., de Vos).

- La formation de l'image à la P.T.B. est particulière, l'ouverture du tube de visée n'étant pas réduite par un diaphragme. TABLEAU I (1963)

Estimation des corrections à apporter à l'étalon primaire photométrique

(Corrections en %)

 $1,20 \\ (0,80)$ $0,61 \\ 0,59 \\ 0,19)$ 0,10)IMIMI 0,040,220,15 0,18 0 $1,13 \\ (0,93)$ $^{+0.62}_{1.75}$ 0,04 0,57 0,30 PTB 0,78(0,90) 0,05 0,17)0.20 $0,31 \\ 0,47 \\ (0,59)$ 0.260,07 NRC Laboratoires nationaux (correction omise) (0, 33)0,900,20 (1,04) $0,92 \\ (0,35)$ 0,69 NPL 0,53(0,10)0,05 $0.54 \\ 0.50 \\ (0,07)$ 1,040,61) NBS $1,21 \\ (0,66)$ 0.02(0,20)1,45 (0, 90)0,10 0,24ETL CNAM (0, 12)1,30(0,92) $1,24 \\ (0,86)$ 0,08 0,08 ,440,50 0,200,06 Gradient de température dans les parois du tube de visée Lumière diffusée dans l'espace tube de visée-récepteur Absorption par la vapeur de sodium Écart à la loi de l'inverse du carré des distances Diffraction (grande surface d'image utilisée) Transmission du système lentille-prisme Cavités dans le lingot de platine.... Sensibilité angulaire du récepteur Sensibilité spectrale du récepteur Impuretés dans le platine Unité relative { non corrigée (*) Comparaison de la lampe étalon Diffraction (centre de l'image) Emergence du tube de visée Erreurs du « corps noir » corrigée . Erreurs photométriques Émissivité. Formation de l'image Correction totale. 10,04,00,000 ÷ S. 6.4.3.

Note: Les valeurs entre parenthèses correspondent aux calculs de R.P. Teele; les autres valeurs correspondent aux calculs de C.L. Sanders et O. C. Jones.

(*) Comité Consultatif de Photométrie, 5° session, 1962, p. 84, Tableau X, colonne 4, sauf pour le N.R.C. dont l'unité était déjà affectée d'une correction. Finalement, on parvient à établir le tableau de corrections (Tableau I), qui fait l'objet des commentaires suivants:

1. On constate que l'accord n'est pas meilleur après corrections qu'avant corrections puisque l'écart maximal entre les laboratoires est

1,31 % avant corrections
1,28 % après corrections (Sanders et Jones)
1,48 % après corrections (Teele).

La luminance du corps noir apparaît pour le moment trop basse.

2. On remarque que la conception actuelle du corps noir n'est peut-être pas la meilleure; la différence de température de 1,5 degré constatée à la P.T.B. entre des arrangements géométriques différents est la seule indication dont on dispose sur l'écart entre la P.T.B. et les autres laboratoires.

3. On propose que les laboratoires nationaux envoient au Président tous les détails concernant la mesure de la transmission de la lentille et du prisme, de façon qu'on puisse voir si cette correction améliore les résultats.

4. On suggère de n'utiliser que la partie centrale de l'image (50 % au plus de son diamètre) pour s'affranchir de la correction correspondante de diffraction.

5. On constate enfin et surtout la très grande difficulté de déterminer ces sortes de corrections avec suffisamment de précision.

Après une discussion générale sur la voie à suivre en vue d'aboutir ultérieurement à une uniformité des unités photométriques, les membres du Groupe de travail s'accordent finalement sur la proposition suivante:

a. Continuer l'étude des corrections qui devraient être appliquées à la luminance observée de l'étalon primaire; mais, dans l'immédiat, procéder comme par le passé en ne faisant pas de corrections pour les erreurs systématiques.

b. Pour la prochaine comparaison internationale, demander au Bureau International des Poids et Mesures, en ce qui concerne les étalons d'intensité lumineuse à 2 042 °K, de procurer aux laboratoires nationaux des lampes d'un même type en nombre suffisant, de telle sorte que chaque laboratoire puisse mesurer et finalement retenir douze lampes après la comparaison.

Note. — A partir des résultats d'une comparaison aussi complète, il est permis d'espérer qu'un moyen pourra être trouvé pour attribuer des valeurs à toutes les lampes comparées, de sorte que chaque laboratoire puisse conserver et utiliser comme étalons des lampes ayant des valeurs fixées sur une base commune.

c. Des procédures analogues à b devraient être appliquées aux comparaisons des étalons d'intensité lumineuse à 2 854 °K et de flux lumineux à 2 788 °K (dans ce dernier cas, à la fois six lampes à ampoule claire et six lampes à ampoule dépolie).

(Juillet 1963)

Troisième réunion (Sèvres, 1965)

Le Groupe de travail s'est réuni au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, le 11 septembre 1965.

Étaient présents : Mr SANDERS (N.R.C.) président, Mme KARTACHEV-SKAIA (I.M.M.), MM. BARBROW (N.B.S.), JONES (N.P.L.), WILLENBERG (P.T.B.), YOSHIÉ (E.T.L.). Assistaient également à la réunion MM. DEBURE (C.N.A.M.), TEELE (N.B.S.), WYSZECKI (N.R.C.), ainsi que MM. TERRIEN et BONHOURE (secrétaire) du Bureau International.

Après avoir rappelé brièvement que la deuxième réunion (voir p. P 17) avait permis de rassembler de nombreux renseignements sur les corrections à apporter au corps noir, on passe à l'examen des documents obtenus depuis lors.

Une étude a été effectuée au N.R.C. par N. Ooba (*J.O.S.A.*, **54**, 1964, p. 357) sur la non-uniformité de la luminance de l'image de l'ouverture du corps noir. C'est la diffraction qui en est la cause et, pour éviter d'avoir une correction à faire, on doit mesurer le facteur de transmission de la lentille dans des conditions telles que l'effet de diffraction soit exactement le même que dans la mesure de l'étalon primaire. A l'I.M.M., des spécialistes ont fait des calculs sur la diffraction suivant le rayon de l'image; les premiers résultats montrent que les erreurs théoriques sont plus faibles qu'on ne le pensait. On souhaite que ces spécialistes poursuivent leurs études afin que le Groupe de travail puisse profiter des résultats ainsi obtenus.

Une nouvelle réalisation du corps noir a été effectuée au D.A.M.W. en 1962 par B. Fischer et R. Krönert (*Feingerätetechnik*, **12**, 1963, p. 405); on remarque que l'épaisseur du tube de visée, sans doute irrégulière, était comprise entre 0,5 et 1 mm. La correction (0,03 %) calculée au D.A.M.W. pour tenir compte du gradient de température dans les parois du tube de visée paraît faible.

Après avoir envisagé une étude comparative de la luminance pour deux tubes de visée identiques placés dans un même four mais contenant des hauteurs variables de poudre de thorine, on procède à un échange de vues sur la qualité des paliers de congélation et sur la vitesse de refroidissement du platine; il semble que l'allure des paliers obtenus au N.B.S. diffère sensiblement de celle des paliers du N.P.L.

Mr Teele expose ensuite brièvement ses calculs sur l'effet d'ouverture du corps noir, du gradient de température dans les parois du tube de visée et sur l'effet d'émergence. Mr Sanders propose alors le tableau de corrections (tableau II), établi d'après ses propres calculs. Les corrections de MM. Sanders et Teele diffèrent notablement et les raisons de ce désaccord doivent être étudiées au N.B.S. par un groupe restreint. Le but des calculs poursuivis sur le gradient de température dans les parois est de conduire au choix de la meilleure géométrie et de la meilleure épaisseur à donner au tube de visée pour que l'erreur soit suffisamment faible (inférieure à 0,1 % par exemple).

Après une discussion sur le facteur de réflexion et la diffusion des matériaux utilisés (thorine ou alumine), on propose que les laboratoires, en vue d'améliorer leur accord, utilisent des dispositifs identiques; un

- P 22 -

TABLEAU II (1965)

Estimation des corrections à apporter à l'étalon primaire photométrique (Corrections en %)

	Laboratoires nationaux						
	CNAM	ETL	NBS	NPL	NRC	PTB	IMM
Erreurs photométriques (Tableau I (1963), p. P 19).	0,60	0,60	0,46	0,51	0,38	0,26	0,52
(Tableau I (1963), p. P 19). Gradient de température et émergence du tube de	0	0	0	0	0,15	0	0
visée	0,30	0,77	1,02	0,08	0,23	0,17	0,32
Correction totale	0,90	1,37	1,48	0,59	0,76	0,43	0,84
Unité (non corrigée (*) relative (corrigée	$^{-0,06}_{+0,84}$	-0,24 + 1,13	-0,54 + 0,94	- 0,69 - 0,10	$^{-0,31}_{+0,45}$	$^{+\ 0,62}_{+\ 1,05}$	-0,61 + 0,23

(*) Comité Consultatif de Photométrie, 5^e session, 1962, p. 84, Tableau X, colonne 4, sauf pour le N.R.C. dont l'unité était déjà affectée d'une correction.

même laboratoire les construirait, puis les distribuerait ou les ferait circuler parmi les autres laboratoires. D'après les études du N.B.S., c'est un creuset de grandes dimensions qui semble donner les meilleurs résultats, mais il présente l'inconvénient de nécessiter une quantité de platine assez importante.

Enfin, on évoque le facteur de transmission du système optique; on pense que sa mesure peut être une cause importante d'incertitude, mais c'est une question dont on s'occupera ultérieurement.

(11 septembre 1965)

ANNEXE 2

Radiomètre absolu

Par N. OOBA

Electrotechnical Laboratory (Japon)

I. INTRODUCTION

Depuis 1959, une étude sur la radiométrie absolue est poursuivie à l'Electrotechnical Laboratory dans le but de substituer un étalon radiométrique à l'étalon photométrique. Plusieurs radiomètres absolus ont été construits avant la fin de 1964, et l'éclairement énergétique donné par une lampe étalon à incandescence a été mesuré avec ces radiomètres.

Le principe de fonctionnement consiste à mesurer l'énergie électrique produisant les mêmes effets que le rayonnement absorbé par le radiomètre, ce qui est obtenu par égalisation des accroissements de température produits soit par l'absorption du rayonnement, soit par la dissipation de l'énergie électrique dans le radiomètre lui-même. L'égalisation peut être contrôlée par le changement de résistance électrique d'un fil métallique noyé dans le radiomètre.

II. RADIOMÈTRE ABSOLU

La constitution du radiomètre absolu construit à l'E.T.L. est à peu près analogue à celle qui est décrite par Eppley et Karoli [1]. Sa partie essentielle est une spirale bifilaire de platine de 25 μ m de diamètre, enroulée sur un disque d'argent de 1 cm de diamètre et de 20 μ m d'épaisseur (fig. 1). L'enroulement est réalisé, à l'aide d'un microscope, avec un ciment à prise rapide.

La spirale est isolée électriquement du disque par une couche mince de vernis de bonne conductivité thermique. La longueur du fil de platine est d'environ 50 cm et sa résistance d'environ 100 Ω . La surface plane de la spirale est noircie d'abord avec une couche mince d'une peinture vinylique pour l'isolement électrique, et ensuite avec du noir d'or évaporé suivant la méthode exposée par Harris *et al.* [2]. L'ensemble du disque est monté sur deux fils de soie, tendus parallèlement sur un anneau de laiton dont le diamètre interne est de 35 mm. Les deux extrémités du fil de platine enroulé en spirale sont l'une près de l'autre au bord du disque et elles sont reliées, par trois conducteurs identiques constitués de fil d'or et de fil de cuivre en série, à un pont de Wheatstone modifié de haute précision; le montage est identique à celui



Fig. 1. — Schéma du radiomètre absolu de l'E.T.L. 1, Fils de soie; 2, Fil de platine; 3, Disque en argent; 4, Anneau de laiton.



Fig. 2. — Circuit électrique de mesure du radiomètre. E, Étalon de résistance; G, Galvanomètre; P, Potentiomètre; Ra, Radiomètre.

d'un thermomètre à résistance de platine à trois sorties, les résistances des conducteurs pouvant être éliminées (fig. 2). Le pont peut déceler un changement de la résistance de 10^{-5} à l'aide d'un relai thermique.

III. MESURE DU FACTEUR DE RÉFLEXION DE LA SURFACE DU RADIOMÈTRE

Le facteur de réflexion diffuse de la surface noircie a été déterminé en établissant la courbe polaire de réflexion et en mesurant le facteur de réflexion à $\pi/4$ rad pour une incidence normale. Pour cette mesure, un goniophotomètre enregistreur à thermopile et une lampe à incandescence de température de répartition 2 700 °K ont été utilisés. Le facteur de réflexion obtenu était 0,005 pour tous les radiomètres, à 0,001 près.

Le facteur spectral de réflexion diffuse dans le domaine visible a été également mesuré par un dispositif semblable en utilisant de la lumière monochromatique et un photomultiplicateur. Le facteur de réflexion dans ce domaine et pour une source à 2700 °K a été calculé et trouvé égal à $0,004 \pm 0,001$. La valeur de 0,005 a été retenue comme le facteur de réflexion de la surface.

IV. PROCÉDÉ DE MESURE

Afin d'éviter une dérive du radiomètre, ce dernier était placé dans une enceinte de dimensions $65 \times 65 \times 100$ cm, dont la paroi était formée de plaque d'aluminium, de bloc de bois et de plastique expansé. La température ambiante était maintenue à $20 \pm 0,1$ °C et l'état hygrométrique à 40 ± 10 %.

Un diaphragme circulaire de 9 mm de diamètre, dont l'aire a été mesurée avec précision, était placé juste devant le radiomètre pour limiter son aire effective. Ainsi, l'éclairement énergétique dans le plan d'ouverture a pu être déterminé.

Le procédé de mesure était le suivant :

Une lampe étalon fonctionnait à la température de répartition de 2 700 °K. L'obturateur de la fenêtre de l'enceinte était fermé, et le pont était équilibré pour un courant I_0 (5 mA). Les résistances R_1 , R_2 de deux bras du pont étant égales, le courant traversant le radiomètre était $I_0/2$ (2,5 mA).

On mesurait alors la résistance R_0 du radiomètre. Ensuite, l'obturateur était ouvert; après avoir atteint l'état stable du radiomètre, le pont était équilibré de nouveau et la résistance R_r du radiomètre était mesurée. Pendant cette mesure, le courant était maintenu à la valeur I_0 en ajustant la résistance variable R'. Le radiomètre exige environ 90 secondes pour atteindre son état stable après l'ouverture ou la fermeture de l'obturateur. Les lectures ont donc été prises toutes les quatre minutes, y compris le temps nécessaire pour régler R' et équilibrer le pont. Cette série de mesures a été répétée plusieurs fois et les valeurs moyennes \overline{R}_0 et \overline{R}_r de la résistance étaient déterminées. Ensuite, il faut déterminer l'énergie électrique à fournir au radiomètre pour que se produise le même changement de résistance $\overline{R}_r - \overline{R}_0$. Pour cela, l'obturateur était fermé et le courant augmenté de I_0 à une valeur fixée I_1 . Le pont était alors équilibré et la résistance R_1 du radiomètre était mesurée. Le courant était alors ramené à I_0 et l'on mesurait la résistance R_0 . Cette série de mesures, avec les courants I_0 et I_1 alternés toutes les quatre minutes, était répétée plusieurs fois et les valeurs moyennes \overline{R}_0 et \overline{R}_1 étaient déterminées. D'autres séries semblables avec des courants I_2 , I_3 , ..., et des valeurs moyennes des résistances \overline{R}_2 , \overline{R}_3 , ..., ont été effectuées. Ainsi, la relation entre le courant I traversant le pont et la résistance \overline{R} du radiomètre a été obtenue et, par interpolation, le courant I_r qui correspond à la résistance \overline{R}_r dans le cas du rayonnement absorbé.

Le flux énergétique Φ absorbé par le radiomètre est donc

$$\Phi = (I_r/2)^2 \overline{R}_r - (I_0/2)^2 \overline{R}_0,$$

et l'éclairement énergétique E dans le plan du diaphragme

$$E=\frac{\Phi}{A}\,\frac{1}{1-\rho},$$

 ${\it A}$ et ρ étant respectivement l'aire du diaphragme et le facteur de réflexion du radiomètre.

Il faut noter que lorsque le radiomètre est exposé au rayonnement, l'énergie électrique dissipée dans le radiomètre est un peu plus grande par suite d'un accroissement de la résistance, le courant I_0 étant maintenu constant. Ceci contribue à élever la température du radiomètre, mais il est facile d'en tenir compte.

V. Résultats expérimentaux

L'éclairement énergétique à une distance de 1 m d'une lampe étalon d'intensité lumineuse fonctionnant à la température de répartition de 2 700 °K a été mesuré avec quatre radiomètres. Le tableau ci-dessous donne les résultats types de ces mesures. A l'exception du radiomètre N° 4, l'accord entre les radiomètres est de \pm 0,3 %. L'écart assez important obtenu pour le radiomètre N° 4 est peut-être dû à un défaut de construction insoupçonné. La reproductibilité des lectures pour un même radiomètre et dans les mêmes conditions de mesure était meilleure que \pm 0,2 % d'un jour à l'autre.

Radio- mètre N⁰	\overline{R}_{0}	$\overline{R}_r - \overline{R}_0$	$I_r/2$	Flux énergétique incident	Éclairement énergétique	Écart par rapport à la moyenne
	(Ω)	(Ω)	(mA)	(mW)	(W/m^2)	(%)
1	94,801 6	0,227 1	4,829	1,630	25,71	-0,2
2	97,494 4	0,234 9	4,784	1,635	25,79	+ 0,1
4	89,468 7	0,205 7	4,945	1,641	25,88	+0,5
5	127,4127	0,318 8	4,350	1,627	25,66	-0,3

- P 27 -

VI. CONCLUSION

Dans le passage de l'énergie rayonnante à l'énergie électrique, la répartition de la température dans le disque du radiomètre peut être différente. Les différences de température dans le plan du disque peuvent être considérées comme négligeables, mais celles dans le sens de l'épaisseur doivent être examinées en tenant compte des couches d'isolement électrique. Pour cela, les deux côtés du disque du radiomètre N° 2 ont été noircis par évaporation de noir d'or et le changement de résistance de la spirale a été mesuré dans deux cas : a en recevant le rayonnement sur la face avant de la spirale et b en recevant le même rayonnement sur la face arrière. Les deux valeurs mesurées ne différant pas d'une manière significative, on en a conclu que la répartition de la température a un effet négligeable.

Les incertitudes sur la détermination du facteur d'absorption de la surface du radiomètre et sur la détermination de l'aire du diaphragme circulaire sont estimées à 0,1 %. L'erreur possible qui peut provenir de l'échauffement des conducteurs dans le cas où la puissance électrique est augmentée, a été jugée négligeable à la suite d'un calcul numérique.

Compte tenu de ces erreurs, outre les écarts donnés dans le tableau ci-dessus, l'incertitude de cette détermination est estimée à 0,4 %.

La radiométrie absolue n'a été étudiée jusqu'ici à l'E.T.L. qu'avec un seul type de radiomètre. Ce type a été choisi principalement à cause de sa facilité de construction et de la simplicité de mesure de l'énergie électrique dissipée. Mais sa grande constante de temps est un inconvénient, bien que la dérive puisse être rendue très petite par l'emploi d'un thermostat. D'autres types de radiomètres seront construits dans un proche avenir pour contrôler les résultats obtenus par les radiomètres actuels.

(Juin 1965)

BIBLIOGRAPHIE

[1] EPPLEY (M.) et KAROLI (A. R.), J. Opt. Soc. Amer., 47, 1957, p. 748.

[2] HARRIS (L.), MCGINNIES (R. T.) et SIEGEL (B. M.), J. Opt. Soc. Amer., 38, 1948, p. 582.

ANNEXE 3

Rattachement des candelas à 2 353 °K et à 2 854 °K à la candela à 2 042 °K par la méthode spectrophotométrique

Par J. BONHOURE

Bureau International des Poids et Mesures

Abstract. — Spectrophotometric measurements carried out at the B.I.P.M. in 1963 have made it possible to calculate the relative magnitudes of the mean units of luminous intensity at $2353 \,$ °K and at $2854 \,$ °K in terms of the mean candela at $2042 \,$ °K. On the basis of the results of the fourth international comparison of 1961, the relative magnitudes of the units of the various national laboratories have been determined.

La méthode spectrophotométrique, décrite et utilisée par J. Terrien dès 1950 [1] pour effectuer des comparaisons hétérochromes sur des lampes à incandescence, a été reprise en 1963 pour déterminer la grandeur relative des unités d'intensité lumineuse à 2 353 °K et à 2 854 °K à partir de la candela à 2 042 °K.

Le principe de cette méthode de comparaison étant connu, il suffit de préciser comment les mesures ont été effectuées. L'étalon photométrique, réglé aux deux régimes d'alimentation correspondant aux deux intensités lumineuses à comparer, était placé devant un monochromateur double soustractif à prismes; une lentille de champ, placée immédiatement devant la fente d'entrée du monochromateur, donnait une image de l'étalon sur le premier prisme. Le récepteur, linéaire à mieux que 0,1 %, était un tube photoélectrique à cathode Cs-Bi suivi d'un amplificateur à courant continu; des lentilles formaient une image de la fente de sortie du monochromateur sur la cathode. Les caractéristiques géométriques et optiques étaient telles que chaque point éclairé de la cathode voyait toute l'ampoule de l'étalon.

La mesure du rapport R_{λ} des luminances monochromatiques a été effectuée pour quinze valeurs de la longueur d'onde λ , de 20 en 20 nm entre 430 et 710 nm; le choix des largeurs des fentes du monochromateur a permis d'isoler des bandes spectrales qui n'ont jamais été supérieures à 3 nm à 550 nm et 15 nm à 700 nm pour le passage de 2 042 °K à 2 353 °K, 1 nm à 550 nm et 9 nm à 700 nm pour le passage de 2 353 °K à 2 854 °K.

Les valeurs du rapport R_{λ} , de 10 en 10 nm, ont été obtenues par inter-

polation suivant la relation log $R_{\lambda} = \frac{a}{\lambda} + b$, a et b étant des constantes; les calculs ultérieurs ont été effectués en assimilant le rayonnement de la lampe à la température de répartition de 2 042 °K au rayonnement du corps noir à cette température, et en utilisant les valeurs des efficacités lumineuses relatives spectrales $V(\lambda)$.

Grandeur de la candela à 2 353 °K. – Trois lampes, réglées à 2 042 °K et à 2 353 °K dans l'« Échelle BIPM 1951 », ont été comparées aux étalons de référence du Bureau International, leurs intensités lumineuses étant exprimées en « unités moyennes 1961 » [2]. Les résultats des mesures spectrophotométriques et photométriques sont rassemblées au tableau I.

TABLEAU I

	Rapport	Rapport c	andela 2 353 ºK
Lampe Nº	spectro- photométrique	photométrique c	andela 2 042 ºK
SV2a	5,283	5,296	0,997
2375	5,500	5,517	0,997
2377	5,552	5,572	0,996
		Moyenne	. 0,997

La candela moyenne à 2353 °K apparaît ainsi trop petite de 0,3 % par rapport à la candela moyenne à 2042 °K.

Note: Pour permettre la comparaison avec des résultats analogues antérieurs [1], [3], les deux candelas auraient la même grandeur en exprimant les intensités lumineuses des lampes en « unités moyennes 1952 ».

Grandeur de la candela à 2854 °K. — Les deux lampes N° 2375 et 2377 étant aussi réglées à 2854 °K dans l'« Échelle BIPM 1951 » et étalonnées en « candela moyenne 1961 », la comparaison spectrophotométrique des candelas à 2353 °K et à 2854 °K a conduit aux résultats du tableau II.

TABLEAU II

	Rapport	Rapport c	andela 2 854 °K
Lampe Nº	spectro- photométrique	photométrique	andela 2 353 °K
2375	6,731	6,699	1,005
2377	6,639	6,633	1,001
		Moyenne	. 1,003

Mais, compte tenu de la valeur obtenue au tableau I, on peut exprimer la candela à 2 854 °K directement en fonction de la candela à 2 042 °K :

$$\frac{\text{candela } 2 854 \text{ }^{\circ}\text{K}}{\text{candela } 2 042 \text{ }^{\circ}\text{K}} = 1,000$$

La candela moyenne à 2854 °K a ainsi la même grandeur que la candela moyenne à 2042 °K.

Grandeurs des unités nationales. — On peut calculer comment chaque laboratoire national a réalisé le passage de son unité de base, la candela à 2 042 °K, aux unités d'intensité lumineuse à des températures de répartition plus élevées; on emploie pour ce calcul les résultats de la quatrième comparaison internationale de 1961 [2]; les résultats de ce calcul sont indiqués au tableau III.

TABLEAU III

	candela 2 353 °K	candela 2 854 °K
Laboratoire	candela 2 042 °K	candela 2 042 °K
Allemagne (P.T.B.)	0,991	1,004
Allemagne (D.A.M.W.)	0,988	0,981
États-Unis d'Amérique (N.B.S.).	0,999	0,998
Canada (N.R.C.)	0,996	0,993
France (C.N.A.M.)	0,998	
Japon (E.T.L.)	0,997	1,005
Royaumé-Uni (N.P.L.)	1,000	1,000
U.R.S.S. (I.M.M.)	1,004	1,016
Moyenne	0,997	1,000
Écart maxima	ul 1,6 %	3,5 %

L'examen de ce tableau montre que trois laboratoires (P.T.B., D.A.M.W. et I.M.M.) s'écartent nettement de la moyenne, ce qui conduit aux valeurs élevées de l'écart maximal entre les deux laboratoires les plus divergents.

Conclusions. — La réalisation du corps noir au point de congélation du platine, la détermination de sa luminance et le passage homochrome aux étalons d'intensité lumineuse à 2 042 °K n'ont pas permis jusqu'ici d'obtenir un accord international meilleur que 1,3 %, même après étude des corrections que pourraient justifier des techniques de mesure différentes [4]. Cependant, même en admettant ce problème convenablement résolu, il n'en demeure pas moins que l'établissement des unités dérivées de la candela à 2 042 °K, qui est une question à peu près indépendante de la réalisation du corps noir, conduit à des incertitudes plus grandes encore; et c'est sans doute un hasard heureux si les unités moyennes de la candela à 2 353 °K et à 2 854 °K, déterminées par spectrophotométrie au Bureau International, ont la même grandeur, à quelques millièmes près, que la candela moyenne à 2 042 °K.

Il semble donc très souhaitable que les laboratoires nationaux, outre leurs travaux sur l'étalon primaire, reprennent l'étude du passage aux températures de répartition plus élevées, afin que l'on obtienne un accord satisfaisant à ces températures qui sont les plus importantes dans la pratique courante.

(Février 1965)

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Procès-Verbaux C.I.P.M., 23-B, 1952, p. P 124.
- [2] Comité Consultatif de Photométrie, 5° session, 1962, p. 84, tableau X.
- [3] Comité Consultatif de Photométrie, 5° session, 1962, p. 59.
- [4] Ce volume, p. P 17.

ANNEXE 4

Contrôle de la grandeur relative des candelas à 2 042 °K, 2 353 °K et 2 854 °K, à l'aide d'un récepteur photoélectrique V(λ)

Par D. FORSTE et H. WILLENBERG

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Allemagne)

A partir des lampes étalons d'intensité lumineuse de la P.T.B., on a constitué et comparé entre eux les trois groupes de lampes suivants :

2 042 °K : Toshiba (TS)	1505	1507	1512	1530
2 353 °K : Toshiba (TS)	3004	3010	3028	3029
2 854 °K : PTB 60	2173	2174	2175	2176

Pour les mesures, on a utilisé un récepteur photoélectrique dont la courbe de sensibilité spectrale relative est rendue analogue à la courbe $V(\lambda)$ avec une bonne précision au moyen de filtres colorés. Le récepteur est une photopile précédée d'un verre opale; les verres colorés sont placés entre le verre opale et la couche sensible.

Si l'on considère l'écart entre la courbe $V(\lambda)$ et la sensibilité relative du récepteur $s(\lambda)$, en prenant V(555 nm) = s(555 nm) = 1, on obtient des différences $s(\lambda) - V(\lambda)$ qui, pour la plupart, sont inférieures à 0,01 et dont aucune n'est supérieure à 0,02 (dans tout le domaine spectral compris entre 403 et 727 nm).

Le récepteur, placé sur un banc photométrique, reçoit un éclairement constant soit de la lampe à mesurer, soit de la lampe tare; l'éclairement constant est obtenu en modifiant la distance entre la lampe et le récepteur.

La plus grande partie du courant photoélectrique est compensée; la partie restante est amplifiée et, en modifiant la distance entre la lampe et le récepteur, sa valeur est ramenée à celle qui correspond à l'éclairement par la lampe tare. L'incertitude de cette égalisation photométrique est inférieure à 10^{-3} .

La comparaison des trois groupes de lampes a conduit aux résultats suivants:

	mesures ac ta 1,1.D.	
Candela PTB 2042 °K	Candela PTB 2 353 °K	Candela PTB 2 854 °K
1	0,995 4	1,006 1

Les douze lampes utilisées pour cette étude avaient été comparées aux étalons du B.I.P.M. lors de la quatrième comparaison des étalons nationaux d'intensité lumineuse effectuée au Bureau International en 1961 [1]. Par la suite, le Bureau International a relié entre elles, par une méthode spectrophotométrique, les trois unités d'intensité lumineuse et a obtenu ainsi pour les candelas de la P.T.B. les résultats suivants [2]:

Mesures du B.I.P.M.

Candela PTB	Candela PTB	Candela PTB
2 042 °K	2 353 °K	2 854 ⁰K
1	0,991	1,004

(Novembre 1965)

BIBLIOGRAPHIE

[1] Comité Consultatif de Photométrie, 5° session, 1962, p. 63.

[2] Ce volume, Annexe 3, Tableau III, p. P 30.

ANNEXE 5

Répartition énergétique spectrale dans le domaine visible de lampes à incandescence, étalons secondaires de température de répartition

Par V. E. KARTACHEVSKAIA

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

Abstract. — In order to verify the distribution temperature scale of the M.I.M. monochromatic radiation from incandescent lamps at 2 042 °K was first compared with that from a black body at the freezing point of platinum using a series of wavelengths. Monochromatic intercomparisons were then made between the lamps at various distribution temperatures up to 3 000 °K. Table 1 shows the results given by the different methods of measurement and calculation employed. The same spectrophotometric measurements also give the relative magnitudes of the units of luminous intensity at 2 042, 2 353 and 2 854 °K.

I. INTRODUCTION

En 1965, le laboratoire de photométrie de l'I.M.M. a déterminé la répartition spectrale relative de l'énergie des lampes à incandescence servant à la reproduction de l'échelle de température de répartition. Ces mesures avaient pour but de préciser l'échelle adoptée antérieurement à l'I.M.M., en raison d'une part du temps écoulé depuis sa première réalisation (1940 et 1947), d'autre part de la comparaison internationale des étalons de température de répartition organisée par le B.I.P.M.

On a effectué les comparaisons suivantes :

-- comparaison des rayonnements monochromatiques des lampes à la température de répartition de 2 042 °K aux rayonnements monochromatiques du corps noir à la température de congélation du platine (étalon primaire);

- comparaison relative des rayonnements monochromatiques des lampes aux différentes températures de répartition.

II. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

La partie optique du dispositif expérimental de mesure est représentée à la figure 1. Les lentilles O_1 , O_2 , O_3 forment sur la fente d'entrée du monochromateur double M une image, soit des hélices incandescentes du filament de la lampe L_1 , soit de l'ouverture du corps noir; l'image, carrée ou circulaire suivant la source de lumière, a pour dimensions 0,5 mm de côté ou 0,5 mm de diamètre environ. En hauteur, toute l'image passe librement à travers la fente du monochromateur tandis qu'en largeur, elle peut être partiellement masquée en fonction de l'ouverture de la fente. La lentille O_3 garantit dans tous les cas un éclairement complet et uniforme du collimateur d'entrée du monochromateur.



Par rotation, on peut orienter le prisme P (sa face d'entrée de la lumière étant soit horizontale, soit verticale) pour la mesure soit du corps noir, soit de la lampe à incandescence. La lampe et le corps noir étant à des distances différentes de la lentille O_1 , la lentille O_2 doit être déplacée pour passer d'une source à l'autre. Avec la lampe à incandescence, la lentille O_2 donne un faisceau de lumière à peu près parallèle. Avec le corps noir, l'image de l'ouverture est formée dans le plan de la lentille O_2 , alors recouverte d'un diaphragme de 8 mm de diamètre qui ne laisse passer que la lumière provenant du milieu de l'image et qui arrête le rayonnement émis par les parties chaudes de l'isolant thermique entourant le radiateur intégral. La présence de ce diaphragme pour la mesure sur le corps noir modifie les conditions d'emploi de la lentille O_2 dont toute la surface (diamètre 60 mm) est utilisée pour la mesure avec la lampe à incandescence, mais on a jugé la différence sans grande importance.

Le récepteur *Ph* utilisé était une cellule photoélectrique Gillod-Boutry suivie d'un amplificateur à courant continu.

Les mesures ont été effectuées à dix ou douze longueurs d'onde dans les limites du spectre visible (430, 450, 480, 500, 530, 560, 600, 650, 680, 700 et 720 nm). Pour contrôler la stabilité dans le temps du dispositif de mesure, on répétait à plusieurs reprises, au cours d'une même série, les lectures à la longueur d'onde de 560 nm. Lorsque les mesures sur la lampe à incandescence et sur le corps noir étaient effectuées à des dates différentes, un contrôle supplémentaire de la stabilité dans le temps était réalisé avec une lampe auxiliaire L_2 ; on dirigeait le rayonnement de L_2 vers la fente du monochromateur, alternativement avec celui de la source de lumière à mesurer, au moyen d'un miroir mobile Mi. La lampe L_2 fonctionnait à la température de répartition de 2 042 °K environ. La valeur absolue du courant photoélectrique pour L_2 , à la longueur d'onde de 560 nm, était ajustée à l'aide d'un secteur tournant à la valeur moyenne de la lecture correspondante pour les lampes étalons à 2 042 °K. Au cours d'un examen préalable du dispositif de mesure, on a vérifié la linéarité des courants photoélectriques, la reproductibilité des mesures de la répartition spectrale pour diverses mises en place des lampes et l'influence des ouvertures des fentes du monochromateur. La reproductibilité des mesures effectuées avec la lampe L_2 a été vérifiée également pour diverses mises en place du miroir Mi.

L'installation qui vient d'être décrite a été employée pour les deux types de comparaisons mentionnés ci-dessus. Cependant, en 1962 et 1963, un autre appareil (fig. 2) a été utilisé pour la comparaison relative des lampes à des températures différentes. La lampe L éclairait une surface diffusante Pdont l'image était formée sur la fente d'entrée du monochromateur double M; après la fente de sortie, le récepteur Ph (cellule photoélectrique suivie d'un amplificateur) était semblable à celui du montage précédent.



III. COMPARAISON AVEC LE CORPS NOIR

Huit lampes à incandescence à atmosphère gazeuse de même type, à filament spiralé, ont été choisies pour l'ensemble des mesures. Pour six lampes, à 2 042 °K, le courant photoélectrique a été mesuré avant et après les déterminations avec le corps noir.

Les longueurs d'onde indiquées précédemment ont été utilisées d'abord dans l'ordre croissant, puis dans l'ordre décroissant, en revenant à 560 nm toutes les trois ou quatre lectures. La largeur de la bande spectrale était de 10 ou 12 nm environ, à 700 nm.

Les conditions d'emploi du corps noir correspondaient à celles qui ont été établies ces dernières années pour la détermination de la candela. Le creuset de platine avait une isolation thermique améliorée; l'enroulement chauffant mobile du four à haute fréquence était déplacé continuellement (par un moteur électrique) le long de l'axe du creuset pour rendre plus uniforme le chauffage du platine. Les paliers de fusion et de congélation ont été repérés en mesurant les courants photoélectriques, pour 560 nm, à des intervalles de temps égaux (15 à 20 s à l'approche du palier). Le palier étant obtenu, les courants photoélectriques ont été mesurés aux différentes longueurs d'onde, dans les mêmes conditions que pour les lampes à incandescence.

En une journée, on réalisait cinq ou six paliers de fusion et de congélation; les valeurs de la luminance spectrale étaient pratiquement les mêmes.

Les valeurs des courants photoélectriques lors des mesures avec le corps noir étaient bien plus élevées que celles qui étaient obtenues avec les lampes à incandescence; pour les rendre à peu près égales on a utilisé, avec le corps noir et à partir de 480 nm, un secteur tournant. Deux séries de mesures ont été effectuées avec le corps noir; en conséquence, le rayonnement de chaque lampe a été mesuré trois ou quatre fois pour des réglages indépendants de la lampe. La répartition spectrale relative de l'énergie à 2042 °K, $\frac{P_{\lambda}}{P_{560}}$, a été calculée par rapport au corps noir, en tenant compte de toutes les séries de mesures. L'écart-type est estimé à \pm 0,3 à 0,5 %.

IV. Comparaison relative des lampes a différentes températures de répartition

Pour un même réglage d'une lampe, les mesures spectrophotométriques ont été effectuées aux cinq valeurs de température de répartition considérées. Les longueurs d'onde et l'ordre des mesures étaient les mêmes que ci-dessus. On commençait et on finissait par la température de 2 042 °K. En outre, des mesures de contrôle, particulières à cette température (habituellement à 450, 480, 560, 600, 650 nm), étaient faites entre les mesures aux autres températures.

Plusieurs séries ont été effectuées pour chacune des lampes avec les installations représentées aux figures 1 et 2.

Pour diminuer l'éclairement aux températures élevées, on utilisait un secteur tournant. Les répartitions spectrales aux températures autres que 2 042 °K ont été calculées à partir de la répartition spectrale à 2 042 °K, déterminée elle-même, pour chaque lampe, par comparaison au corps noir. En plus des mesures faites sur les six lampes mentionnées ci-dessus, on a également effectué des mesures sur deux lampes du même type aux températures de répartition de 2 600, 2 850 et 2 950 °K. La répartition énergétique relative de ces lampes, à 2 600 °K, était déterminée par comparaison avec les autres lampes. Il en résulte que la précision des valeurs attribuées à ces deux lampes est un peu plus faible, par suite des mesures supplémentaires de rattachement.

V. Résultats des mesures

Les valeurs obtenues pour la répartition énergétique des lampes montrent, sans aucune exception, des écarts systématiques par rapport au rayonnement du corps noir; un exemple en est donné à la figure 3 pour la



lampe T-2-22. Ces écarts sont du même genre que ceux qui ont été précédemment observés à l'Electrotechnical Laboratory [1]. Pour quelques-unes des lampes, ces écarts sont même plus importants et peut-être liés à une
certaine coloration du verre des ampoules; quand on calcule la température de répartition pour divers intervalles spectraux, on constate une augmentation de la température de répartition en allant de l'extrémité violette à l'extrémité rouge du spectre. Pour atténuer autant que possible l'effet qui en résulte sur la valeur moyenne de la température de répartition, on a calculé les valeurs relatives de l'énergie P_{λ} aux longueurs d'onde intermédiaires en s'appuyant sur la relation suivante

$$\lg R_{\lambda}=\frac{a}{\lambda}+b,$$

où R_{λ} est le rapport des flux énergétiques spectraux pour deux valeurs de la température de répartition; *a* et *b* sont deux constantes déduites de l'équation de la droite la plus probable pour toutes les valeurs expérimentales de lg R_{λ} .

Les températures de répartition ont été calculées par plusieurs méthodes : *a.* d'après le rapport $\frac{P_{\lambda_1}}{P_{\lambda_2}}$, pour un intervalle $\lambda_2 - \lambda_1$ constant se déplaçant régulièrement le long du spectre visible (430-580, 440-590, etc.), en prenant la moyenne arithmétique de toutes les valeurs partielles;

b. d'après le même rapport, mais en attribuant aux valeurs partielles des poids proportionnels à $V(\lambda_1)$, $V(\lambda_2)$, etc.;

c. d'après le même rapport, mais pour l'intervalle 500-600 nm seulement;

d. d'après la méthode de D. B. Judd, en utilisant les coordonnées trichromatiques et les isothermes;

e. d'après la méthode de l'identité de couleur, par comparaison aux étalons représentant l'échelle établie en 1940 et 1947;

f. d'après les mesures spectrales, en attribuant à la température la plus basse la valeur 2 042 °K.

Les valeurs des températures de répartition diffèrent d'une méthode à l'autre de quelques degrés, parfois de \pm 10 degrés (Tableau I).

Les valeurs moyennes sont obtenues sans tenir compte de c et f, et les valeurs finalement retenues sont arrondies à 5 degrés pour tenir compte de la précision réelle des résultats tout en donnant quelque préférence aux valeurs b et e.

Les écarts maximaux des valeurs des températures calculées suivant les intervalles spectraux extrêmes (430-580 et 570-720 nm) sont représentés à la figure 4.



TABLEAU I

Valeurs des températures de répartition, en °K, suivant les différentes méthodes de mesure et de calcul

8

2

Méth	odes de mesure el de calcul		Γ	umpe T-2	-22			La	mpe T-2.	-30	
Répartition spectrale	Moyenne arithmétique	2 044	2 193	2 350	2 604	2 852	2 045	2 206	2 364	2621	2 865
1	Moyenne pondérée	2042	2 191	2347	2600	2850	2 038	2198	2354	2603	2850
1	Intervalle 500-650 nm	2043	2 192	2349	2601	2851	2041	2 201	2357	2 607	2858
I	Isothermes de Judd	2042	2190	2360	2596	2866	2 035	2 197	2 354	2600	2835
Identité de couleur	Échelle 1940-1947	2042	2194	2 351	2600	2851	2053	$2 \ 207$	2 361	2612	2860
Mesures spectrales	La température la plus basse étant prise égale à 2 042 °K .	1	2 197	2352	2 605	2847	ţ	2 204	2 360	2610	2859
Moyennes (s. Valeurs rete	ans c et f)	2 043 2 042	2 192 2 195	2 352 2 350	2 600 2 600	2 855 2 850	2042 2045	2 202 2 205	2 358 2 360	2 609 2 610	2 852 2 855

– P 38 –

Compte tenu des progrès actuels de la spectrophotométrie, on estime qu'il serait désirable, dans les travaux métrologiques, de caractériser le rayonnement des sources de lumière par la répartition spectrale plutôt que par la température de répartition.

VI. RATTACHEMENT DES CANDELAS ENTRE ELLES

Des mesures spectrales du rayonnement des lampes ont été effectuées aux différentes températures de répartition; ces mesures ont permis de calculer les intensités lumineuses des lampes aux températures considérées, suivant la méthode déjà employée au B.I.P.M. [2]. Les intensité lumineuses des lampes ont été aussi déterminées directement sur le banc photométrique.

Pour les calculs spectrophotométriques, on a utilisé les résultats des mesures faites avec les deux montages (fig. 1 et 2). Le montage de la figure 2 correspond plus rigoureusement aux conditions de mesure de l'intensité lumineuse des lampes; cependant les deux séries de résultats, à deux ans d'intervalle, sont en bon accord; les valeurs obtenues (Tableau II) ne diffèrent que dans les limites de précision actuellement permises.

TABLEAU II

Rattachement des candelas

Année des	2 353 °K	2 854 °K
mesures	2 042 °K	2 353 °K
1963	0,999	0,994
1965	1,003	0,990

Il ne faut pas perdre de vue que la stabilité même des lampes à atmosphère gazeuse, employées pour ces travaux, n'est vraisemblablement pas supérieure à \pm 0,5 % environ. C'est pourquoi nous ne jugeons pas possible actuellement, à partir de ces résultats, de modifier la grandeur des unités lumineuses; pour prendre une décision dans ce sens, il faut attendre d'avoir un plus grand nombre de résultats expérimentaux.

On peut penser que dans l'ensemble cette méthode de mesure perd un peu de son intérêt du fait même qu'il est nécessaire, lors de la reproduction des unités lumineuses, de s'appuyer sur des lampes à atmosphère gazeuse dont la stabilité est toujours très inférieure à celle des lampes à vide.

Cependant, si on considère avec attention les résultats des mesures, on constate que le rattachement des candelas à 2 042 °K et 2 353 °K est en moyenne de 1,001 \pm 0,002, valeur proche de celle qui a été obtenue au B.I.P.M. (1,004) pour les unités de l'I.M.M. [3]; mais pour les températures de 2 042 °K et 2 854 °K, la valeur moyenne calculée à l'I.M.M. (0,993) diffère de celle du B.I.P.M. (1,016), sans que la différence puisse être expliquée pour le moment.

(30 août 1965)

BIBLIOGRAPHIE

- [1] YOSHIÉ (K.), Comité Consultatif de Photométrie, 5° session, 1962, p. 98.
- [2] TERRIEN (J.), Procès-Verbaux C.I.P.M., 23-B, 1952, p. P 124.
- [3] Ce volume, Annexe 3, Tableau III, p. P 30.

ANNEXE 6

La nouvelle échelle de température de répartition de la P.T.B.

Par D. FORSTE

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Allemagne)

Zusammenfassung. — Glühlampen vom Typ Osram Wi 41/G werden für die Verteilungstemperaturen 2 190, 2 350, 2 530 und 2 750 °K mit Hilfe eines induktiv geheizten Graphit-Hohlraumstrahlers kølibriert. Die Temperatur des Hohlraumstrahlers wird aus seiner Leuchtdichte berechnet und stimmt mit der Verteilungstemperatur der Glühlampe (fast) überein. Die Gleichheit der Verteilungstemperaturen beider Strahlungen wird durch Regelung der Hohlraumstrahlertemperatur hergestellt und durch die Gleichheit ihrer « Rot/Blau-Verhaltnisse » von einem Spezialphotometer angezeigt. Dieses Photometer erlaubt ausserdem, die Bestrahlungsstärken in einem Spektralbereich « Grün » abzugleichen und die Leuchtdichte des Hohlraumstrahlers zu messen.

Für jede Normallampe werden drei Werte ihrer Strahlungsfunktion erhalten, und zwar für wirksame Wellenlängen bei 474, 558 und 670 nm. Eine Abschätzung ergibt für die Verteilungstemperatur mittlere Fehler, die zwischen 2,3 und 3,3 grad liegen und grösste Fehler zwischen 6,9 und 9,7 grad.

I. MÉTHODE DE MESURE

Un radiateur de Planck sert d'étalon primaire. Sa température, calculée à partir de sa luminance, est presque égale à la température de répartition (spectrale) de la lampe à étalonner. L'égalité du rapport rouge/bleu des deux rayonnements tombant sur le photomètre — celui de l'étalon primaire et celui de l'étalon secondaire — indique l'égalité de leurs températures de répartition. On obtient, pour une intensité donnée du courant électrique de la lampe, la température de répartition T_v et la répartition spectrale relative de la lampe étalonnée.

L'intensité lumineuse de la lampe est connue et sert à la détermination de la luminance du corps noir, en évitant la pyrométrie optique. La comparaison des deux températures de répartition et la détermination de la répartition spectrale relative sont effectuées par le même procédé, à l'aide du même photomètre. On a choisi quatre températures, 2 190 °K, 2 350 °K, 2 530 °K, 2 750 °K et deux lampes pour chaque température. Entre ces températures il existe le même écart de 30×10^{-6} deg⁻¹. Les filtres de passage, étalonnés aux températures données, sont utilisés ensuite pour l'extension de l'échelle des températures de répartition aux valeurs plus hautes et plus basses.

II. INSTALLATION DE MESURE

Le radiateur de Planck HS (fig. 1) est installé à l'extrémité d'un banc optique. L'axe du radiateur étant vertical, les rayons doivent être réfléchis



Fig. 1. — Schéma de l'installation de mesure.

par un prisme à 90° LP. La lentille accolée au prisme projette l'ouverture du radiateur sur le photomètre Ph. Le diaphragme MB (diamètre 8 mm) est refroidi par un courant d'air. Le photomètre et l'étalon secondaire N



Fig. 2 et 3. — Schéma du montage pour la détermination du facteur de transmission du prisme.

sont fixés sur deux chariots reliés l'un à l'autre et pouvant être déplacés ensemble. Le radiateur est en graphite, matériau qui, à l'inverse du tungstène, se laisse bien travailler et possède un faible facteur de réflexion. Le radiateur (fig. 4) se compose de diverses parties, tournées et ajustées à force. Ces parties sont: le socle f rempli de charbon menu g_1 ; le radiateur proprement dit s et sa cavité h (8 mm de diamètre, 12 mm de longueur et 3 mm d'ouverture) dont le fond et le couvercle sont coniques; le tube à paroi double b et c, par lequel un gaz inerte est introduit en a dans la cavité. Un gaz inerte s'écoule également de la fente circulaire m, fermant l'ouverture o à l'air et évitant ainsi une fenêtre de quartz.



Fig. 4. — Radiateur de Planck.

Le radiateur est placé dans un creuset en céramique à double paroi t_1, t_2 . Le charbon menu g_2 , mis entre la face interne du creuset et le radiateur, fixe mécaniquement celui-ci et sert d'isolation thermique. Pour éviter l'oxydation du radiateur, le remplissage g_2 baigne dans un gaz inerte.

La face externe du creuset est entourée d'une bobine d'induction hélicoïdale à trois enroulements (95 mm de diamètre, 90 mm de longueur). Le générateur de 400 kHz produit 20 kW au maximum. La tension d'alimentation est réglée automatiquement.

Des lampes du type Osram Wi 41/G ont été choisies comme étalons secondaires; ces lampes ont des filaments non spiralés montés dans un plan. Pour plusieurs intensités spécifiées du courant électrique, l'intensité lumineuse est mesurée en prenant pour base la candela de la P.T.B. à $T_{\rm v} = 2\,353$ °K établie en 1955.

Le photomètre permet de constater ou d'ajuster l'égalité des éclairements énergétiques pour deux rayonnements et en même temps pour deux régions du spectre, bleue et rouge par exemple. L'incertitude de l'égalisation est inférieure à 10^{-3} . Le temps de l'indication est d'environ 0,1 s. Après avoir rapidement changé les filtres devant les photomultiplicateurs, on peut égaliser les éclairements énergétiques de la région verte du spectre et les éclairements [suivant $V(\lambda)$] produits par les deux rayonnements. Les courbes spectrales de transmission des filtres interférentiels sont données à la figure 5.



Fig. 5. — Courbes des facteurs de transmission des filtres interférentiels.

III. EXÉCUTION DES MESURES

La lampe à étalonner en température de répartition est alimentée à une intensité de courant déterminée à l'avance et maintenue constante. Le photomètre reçoit alors un éclairement constant

$$E_2 = \frac{I_2}{l_2^2}.$$

La température T du radiateur de Planck est réglée manuellement jusqu'à ce que le photomètre indique l'égalité du rapport rouge/bleu. On égalise alors, par déplacement du photomètre, les courants photoélectriques correspondant aux éclairements dans la région verte du spectre.

En désignant par

 $L_{s}(T)$ la luminance du radiateur de Planck HS,

- ε l'émissivité du radiateur de Planck,
- τ le facteur de transmission du prisme LP,
- A l'aire du diaphragme MB,
- I_2 l'intensité lumineuse de l'étalon secondaire N,

 l_1, l_2 les distances indiquées à la figure 1,

et après égalisation des éclairements E_1 et E_2 où $E_1 = \frac{A \tau \varepsilon L_s(T)}{l_1^2}$, on obtient la luminance du radiateur de Planck

$$L_{s}(T) = \frac{l_1^2}{l_2^2} \frac{I_2}{\varepsilon \tau A},$$

L'émissivité ε du radiateur, obtenue à partir du facteur de luminance de modèles en graphite, est $\varepsilon = 0.998$.

Le facteur de transmission du prisme LP est mesuré au moyen du même photomètre (*fig.* 2 et 3). Pour cela, le radiateur est remplacé par un étalon de luminance LS dont le diaphragme RB est variable; une lampe de comparaison V placée derrière un verre opale O et un diaphragme à iris IB fournit un éclairement constant sur le photomètre.

Le facteur de transmission est déterminé pour les températures de répartition 2 190, 2 350, 2 530 et 2 750 °K à partir de l'équation

$$\tau(T_{\mathbf{v}}) = \frac{l_1^2 (\operatorname{avec} LP)}{l_1^2 (\operatorname{sans} LP)}.$$

En changeant le diamètre du diaphragme RB (de 3 à 8 mm) on obtient des informations sur la diffusion par le prisme LP. Les facteurs de transmission $\tau_{\rm R}$, $\tau_{\rm G}$, $\tau_{\rm B}$ pour les régions spectrales rouge, verte et bleue sont déterminés de la même manière.

Par suite de la transmission un peu plus élevée du prisme LP dans le rouge que dans le bleu, la température T du radiateur est réglée à une valeur ΔT plus haute que la température de répartition de la lampe: $T = T_{\rm v} + \Delta T$.

La valeur de ΔT peut être déterminée par le changement du rapport rouge/bleu du rayonnement de l'étalon de luminance LS (fig. 2 et 3), produit par le prisme LP.

Si l'écart ΔI entre les deux courants électriques de la lampe V, pour obtenir le même rapport rouge/bleu, est

 $\Delta I = I \text{ (avec } LP) - I \text{ (sans } LP),$

on trouve, avec $\frac{\mathrm{d}T_{\mathrm{v}}}{\mathrm{d}I}$ connu pour la lampe V,

du radiateur.

$$\Delta T = \frac{\mathrm{d}T_{\mathrm{v}}}{\mathrm{d}I} \,\Delta I.$$

Pour le calcul, on utilise une équation tirée de la loi du rayonnement de Wien

$$\frac{\Delta T}{T_{\rm v}} = \frac{\ln \frac{\tau_{\rm R}}{\tau_{\rm B}}}{\frac{c_{\rm 2}}{T} \left(\frac{1}{\lambda_{\rm B}} - \frac{1}{\lambda_{\rm R}}\right)},$$

Étant donné que la répartition spectrale d'une lampe à incandescence ne coïncide pas exactement avec celle d'un radiateur de Planck, on obtient seulement des étalons pour le rapport rouge/bleu, valables pour les longueurs d'onde effectives $\lambda_{\rm R}$ et $\lambda_{\rm B}$.

On peut prendre la répartition spectrale $I_{e\lambda}(\lambda)$ d'une lampe étalon, par rapport à $I_{e\lambda}(\lambda_R)$,

$$\frac{I_{e\lambda}(\lambda)}{I_{e\lambda}(\lambda_{\rm R})} = D(\lambda) \cdot \frac{L_{e\lambda_{\rm S}}(\lambda, T_{\rm v})}{L_{e\lambda_{\rm S}}(\lambda_{\rm R}, T_{\rm v})}$$

comme une fonction de la densité spectrale de la luminance énergétique du corps noir $L_{e\lambda_s}(\lambda, T_v)$ à la température de répartition T_v , si on introduit le facteur $D(\lambda)$ connu pour trois longueurs d'onde. $D(\lambda_R) = 1$ par définition et $D(\lambda_B) = 1$ parce que les rapports rouge/bleu sont égaux. $D(\lambda_G)$ est calculé à partir de la différence $l_{1G} - l_{1R}$ des positions du photomètre obtenues en égalisant les courants photoélectriques correspondant à la région verte du spectre et à partir des facteurs de transmission τ_G et τ_B :

$$D(\lambda_{\rm G}) = \left(\frac{l_{1\rm R}}{l_{1\rm G}}\right)^2 \cdot \frac{\tau_{\rm G}}{\tau_{\rm R}} \cdot \exp\left[-\frac{\Delta T_{\rm v}}{T_{\rm v}} \frac{c_2}{T} \left(\frac{1}{\lambda_{\rm G}} - \frac{1}{\lambda_{\rm R}}\right)\right],$$

pour $l_{2G} = l_{2R}$ (voir fig. 1).

La fonction exponentielle tient compte du changement $\Delta T_{\rm y} = -\Delta T$ de la température de répartition résultant du prisme LP.

Les valeurs de $D(\lambda)$ entre 400 et 760 nm peuvent être relevées sur la courbe qui est assez bien déterminée par les trois points $D(\lambda_{\rm B})$, $D(\lambda_{\rm G})$, $D(\lambda_{\rm R})$.

A partir de la répartition spectrale des étalons secondaires de température de répartition on peut obtenir les températures de couleur proximales $T_{\rm f}$ selon Judd; elles sont plus élevées d'environ 1 degré. Le tableau I montre comment la valeur $\Delta T_{\rm v}$, le facteur $D(\lambda_{\rm G})$ et la différence $T_{\rm f} - T_{\rm v}$ dépendent de la température de répartition $T_{\rm v}$.

TABLEAU I

Т _у (°К)	Δ <i>T</i> _v (°K)	$D(\lambda_{\rm G})$	$T_{f} - T_{v}$ (°K)	$T_{\mathbf{v}}$ (ancien) - $T_{\mathbf{v}}$ (nouveau) (°K)
$2\ 190$	- 6,2	1,001 2	0,8	5
$2\ 350$	- 7,1	1,002 0	1,1	7
2530	- 8,3	1,003 1	1,1	12
2750	- 9,7	1,004 4	0,9	19

La dernière colonne montre l'écart entre l'ancienne et la nouvelle échelle de température de répartition.

IV. ESTIMATION DES ERREURS

Les erreurs sont déterminées soit expérimentalement, soit par le calcul.

Cause d'erreur

Erreur relative

Mesure de l'intensité lumineuse des étalons de température			
de répartition	7	X	10^{-3}
Unité d'intensité lumineuse (candela)	6	×	10^{-3}
Égalisation photométrique	2	Х	10-3
Détermination des longueurs	2	\times	10-3
Aire du diaphragme	2	Х	10-3
Émissivité du corps noir	2	×	10-3
Isothermie des parois du corps noir	1	×	10-3
Facteur de transmission du prisme	3	Х	10-3
Évaluation du rayonnement par le photomètre	1	×	10-3

Cause d'erreur	Erreur absolue
Correction $\Delta T_{\mathbf{x}}$	0,5 °K
Échauffement du prisme en cours de mesure	0,5 °K
Absorption dans le radiateur	0,4 °K
Diffraction par le diaphragme	0,5 °K

A partir de ces erreurs individuelles, on a calculé l'erreur moyenne et l'erreur maximale sur la température de répartition :

	Te	empérature de	répartition (°	K)
	2 190	2 350	2 530	2 750
Erreur moyenne (°K)	2,3	2,5	2,9	3,3
Erreur maximale (°K)	6,9	7,7	8,6	9,7

Pour obtenir des renseignements sur l'isothermie des parois du radiateur on a procédé comme suit : une première mesure a été effectuée pour une position de la bobine d'induction produisant une luminosité plus grande du fond de la cavité qu'au voisinage de l'ouverture; une seconde mesure a été faite pour une position de la bobine produisant une luminosité plus faible du fond. La luminance du radiateur différait en moyenne de $1,4 \times 10^{-3}$ entre ces deux positions.

On a également déterminé l'influence, sur le résultat des mesures, de l'absorption de la lumière dans le radiateur par des vapeurs ou par des particules de carbone en mouvement : toutes les mesures ont été effectuées une fois en laissant s'écouler de l'argon spécial à travers la cavité et une autre fois sans écoulement de gaz. En moyenne, la différence de température était inférieure à 0,5 deg.

(16 juillet 1965)

- P 46 →

ANNEXE 7

Rapport sur la première comparaison des étalons nationaux de température de répartition (1963-1964)

Par J. BONHOURE

Bureau International des Poids et Mesures

Abstract. — Distribution temperature standards belonging to seven national laboratories have been compared at six nominal temperatures between $2\,000$ °K and $3\,000$ °K. Two methods of measurement have been used: the red-green ratio method and the spectrophotometric method. The results of the comparison show that though the national scales of distribution temperature are in very good agreement for the lower temperatures, they diverge by several tens of degrees above $2\,600$ °K.

Dans le but d'unifier les échelles de température de répartition réalisées dans les laboratoires nationaux, et conformément à la décision du Comité International des Poids et Mesures prise en 1952 sur avis de son Comité Consultatif de Photométrie, une comparaison d'étalons de température de répartition (lampes à incandescence) a été effectuée au Bureau International en 1963 et 1964.

Les sept laboratoires nationaux suivants étaient représentés: Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Allemagne; Deutsches Amt für Messwesen und Warenprüfung, Allemagne; National Bureau of Standards, États-Unis d'Amérique; Conservatoire National des Arts et Métiers, France; Electrotechnical Laboratory, Japon; National Physical Laboratory, Royaume-Uni; Institut de Métrologie D.I. Mendéléev, U.R.S.S.

Chaque laboratoire a présenté des étalons réglés, dans sa propre échelle, aux six températures de répartition suivantes: 2 042, 2 200, 2 353, 2 600, 2 854, 3 000 °K. Le Bureau International a utilisé, comme étalons de référence, des lampes réglées aux mêmes températures de répartition d'après l'« Échelle BIPM 1951 extrapolée »; cette échelle est fondée sur les moyennes des températures de répartition (2 042 et 2 353 °K) des étalons d'intensité lumineuse ayant participé à la deuxième comparaison internationale de 1950-1952; elle a été extrapolée par la méthode du rapport Rouge/Vert.

I. TYPES DE LAMPES

Malgré le désir exprimé lors de la 4^e session (1957) du Comité Consultatif de Photométrie, il n'a pas été possible de réunir des étalons d'un type



Fig. 1.



Fig. 2.

			A TED GL						
I	Laboratoire	Nombre de lampes par groupe	Type des lampes	р	Temp oortées pa	pératures ar chaque	de répar e groupe	tition de lampe	es
P. T .B.	(1 ^{er} groupe (2 ^e groupe	3 3	fig. 1 fig. 1	2 042	2 200	2 353	2 600	-2854	3 000
D.A.M.W	. groupe unique	5	fig. 1	$2\ 042$	2 200	$2\ 353$	2 600	2 854	3 000
N.B.S.	groupe unique	5	fig. 2	$2 \ 042$	$2\ 200$	$2\ 353$	$2\ 600$	2854	3 000
C.N.A.M.	1 ^{er} groupe 2 ^e groupe	3 3	A fig. 1	2 042 —	$2\ 200$ —	$2\ 353$	2 600	2 854 —	
E.T.L.	(1 ^{er} groupe (2 ^e groupe	4 4	B B	2 042	2 200 —	2 353 —	2 600	2 854 —	 3 000
N.P.L.	groupe unique	4	Α	$2\ 042$	$2\ 200$	2 353	$2\ 600$	2854	3 000
I.M.M.	1 ^{er} groupe 2 ^e groupe	2 2	C C	2 042	$2\ 200$	2 353 —	$\begin{array}{c} 2 & 600 \\ 2 & 600 \end{array}$	$2 854 \\ 2 854$	
B.I.P.M.	1 ^{er} groupe 2 ^e groupe	3 3	A fig. 1	2 042 —	2 200	2 353 —	2600	2 854	

unique. Le tableau I précise, pour chaque laboratoire national et pour le Bureau International, le nombre de lampes par groupe, le type des lampes et les températures de répartition portées par chaque groupe.

TABLEAU I

A Voir Procès-Verbaux C.I.P.M., 23-B, 1952, p. P 100, fig. 1.

B Voir Comité Consultatif de Photométrie, 5º session, 1962, p. 64, fig. 2.

C Voir Ibid, fig. 4.

II. EXÉCUTION DES COMPARAISONS

Le Bureau International a employé deux méthodes de comparaison : la méthode du rapport Rouge/Vert et la méthode spectrophotométrique.

Méthode du rapport Rouge/Vert. — Pour chacune des six températures de répartition nominales, chaque groupe national a été comparé deux fois au groupe de référence BIPM; les mesures ont été faites d'abord dans l'ordre croissant, puis dans l'ordre décroissant des températures, de mars à juin 1963. De plus, quelques mesures de contrôle, à 2 854 °K exclusivement, ont été effectuées en mars 1964 après l'exécution des comparaisons par la méthode spectrophotométrique.

Dans le montage utilisé pour les mesures (*fig.* 3), le rayonnement émis par chaque lampe dans la direction spécifiée traversait successivement :

a. un verre diffusant (verre double opale);

b. soit un filtre vert-bleu, soit un filtre rouge, qui permettait d'obtenir des réponses correspondant à des domaines spectraux assez larges centrés respectivement sur 550 et 630 nm environ;

4

c. des filtres jaunes qui donnaient au récepteur, approximativement, la sensibilité spectrale $V(\lambda)$ de l'œil.



Fig. 3. — Méthode du rapport Rouge/Vert: Montage.
C, Cathode du récepteur; D, Diaphragme; Fj, Filtres jaunes; Fr, Filtre rouge; Fv, Filtre vert; L, Lampe; V, Verre diffusant.

Le récepteur était un tube photoélectrique à cathode centrale sensibilisée par une couche Cs-Bi, suivi d'un amplificateur à courant continu; le courant photoélectrique était mesuré par une méthode potentiométrique. Une étude antérieure de la linéarité de ce dispositif a déjà montré que le courant photoélectrique était proportionnel à l'éclairement à mieux que 0,1 %, pour un rapport d'éclairements pouvant atteindre 10.

La sensibilité de cette méthode était de l'ordre de 1 degré à 2042 °K et 3 degrés à 3000 °K, pour une variation de 0,1 % sur la mesure des rapports Rouge/Vert.

Méthode spectrophotométrique. — La comparaison de deux étalons fonctionnant l'un à la température de répartition T_A , l'autre à la température T_B , a été effectuée comme suit : pour une même longueur d'onde λ connue, on mesurait le rapport R des intensités énergétiques des deux étalons; deux valeurs R_1 et R_2 correspondant à des longueurs d'onde λ_1 et λ_2 respectivement, permettaient de calculer la quantité $U_{1,2} = \frac{1}{T_A} - \frac{1}{T_B}$ valable dans l'intervalle spectral $\Delta \lambda = \lambda_2 - \lambda_1$. Les résultats partiels, de valeur voisine, obtenus pour des intervalles $\Delta \lambda$ contigus et régulièrement espacés sur tout le spectre visible, ont été affectés de poids proportionnels aux émittances lumineuses spectrales du corps noir à la température de répartition nominale $\frac{1}{2}$ $(T_A + T_B)$, et l'on a calculé la valeur moyenne des $U_{i,j}$.

Des mesures ont été effectuées aux quinze longueurs d'onde comprises entre 430 et 710 nm, de 20 en 20 nm.

Les étalons nationaux ont été comparés aux étalons de référence du Bureau International, entre novembre 1963 et mars 1964, selon le schéma suivant :

 $\begin{array}{c|c} \text{Étalon} \\ \text{national} \end{array} \\ \begin{array}{c} 2 \ 042 \rightleftharpoons 2 \ 200 \rightleftharpoons 2 \ 353 \rightleftharpoons 2 \ 600 \rightleftharpoons 2 \ 854 \rightleftharpoons 3 \ 000 \\ \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} \text{Étalon} \\ \text{de référence} \\ \text{BIPM} \end{array} \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} 2 \ 042 \rightleftharpoons 2 \ 200 \rightleftharpoons 2 \ 353 \rightleftharpoons 2 \ 600 \rightleftharpoons 2 \ 854 \rightleftharpoons 3 \ 000 \\ \\ \end{array} \\ \end{array}$

Ce schéma montre que la comparaison directe d'une lampe à une autre n'a été effectuée qu'à une seule température de répartition, 2854 °K. La comparaison aux autres températures a été obtenue par étapes successives, en comparant deux à deux les températures de répartition portées par une même lampe; pour le B.I.P.M. et trois des laboratoires ayant envoyé deux groupes d'étalons, on a de plus rattaché ces deux groupes lampe à lampe (2 600 et 2 854 °K pour la P.T.B.; 2 854 et 3 000 °K pour le C.N.A.M., l'E.T.L. et le B.I.P.M.). Cette façon de faire a été imposée par le faible éclairement du récepteur dans les conditions de mesure utilisées. Cependant, l'écart-type calculé pour les valeurs moyennes obtenues à partir de chaque groupe d'étalons n'excède pas 2 degrés à 2 042 °K.

Les radiations monochromatiques ont été isolées avec un monochromateur double soustractif, à prismes. La largeur des bandes spectrales n'a jamais été supérieure à 5 nm pour 500 nm, 9 nm pour 600 nm et 15 nm pour 700 nm. Le récepteur, dont la cathode recevait une image de la fente de sortie du monochromateur, était le même que pour la comparaison par la méthode du rapport Rouge/Vert, mais il était utilisé sans filtres colorés ni verre diffusant (*fig.* 4). La position de la lampe par rapport au monochromateur ainsi que l'ordre des observations étaient différents selon que la comparaison à effectuer appartenait à l'un ou à l'autre des deux types suivants (A et B représentant des étalons, T_1 et T_2 des températures de répartition):

Type I
$$A(T_1) \rightleftharpoons A(T_2)$$
 Type II $A(T_1) \rightleftharpoons B(T_2)$

Le type II comprend le cas particulier où $T_1 = T_2 = 2.854$ °K.



Fig. 4. — Méthode spectrophotométrique: Récepteur. C, Cathode du récepteur; fs, Fente de sortie du monochromateur.

a. Comparaisons du type I. — La lampe était placée devant la fente d'entrée du monochromateur, une lentille formant une image du filament de la lampe sur le prisme (fig. 5).



Fig. 5. — Méthode spectrophotométrique: Comparaisons du type I. f, Lentille de distance focale f; fe, Fente d'entrée du monochromateur; I, Image (120 × 120 mm) du prisme; L, Lampe.

Laboratoire	f	d
C.N.A.M., N.P.L., B.I.P.M	350 mm	500 mm
E.T.L	450	700
PTB DAMW NBS	\$ 450	700
1.1.D., D.M.M. W., N.D.D	1540	1 000
I.M.M	540	1 000

Les observations ont été faites dans l'ordre croissant des longueurs d'onde, en déterminant le rapport R des intensités énergétiques correspondant à T_1 et T_2 pour une même longueur d'onde λ ; puis on passait à une autre longueur d'onde. Cette façon de procéder avait l'avantage d'une précision plus grande, R variant lentement avec λ alors que les intensités énergétiques spectrales varient rapidement. Dans ces conditions, il n'a pas été possible de respecter parfaitement les spécifications de fonctionnement des lampes par suite de la nécessité de passer alternativement et rapidement de l'une à l'autre des deux températures de répartition T_1 et T_2 . Pour le N.P.L., il a même été nécessaire de contrôler les étalons par la différence de potentiel, en utilisant les valeurs obtenues au B.I.P.M. au cours de la comparaison par la méthode du rapport Rouge/Vert.

Pour le N.B.S. dont les étalons ne retrouvaient pas leurs caractéristiques à un même régime d'alimentation sans extinction intermédiaire, les observations ont été faites aussi dans l'ordre croissant des longueurs d'onde, mais en effectuant toutes les lectures relatives à un même régime de fonctionnement avant de passer au suivant.

b. Comparaisons du type II. — Le fait d'avoir deux ou plusieurs lampes à comparer a conduit à modifier le montage utilisé en introduisant une surface diffusante entre la lampe et la fente d'entrée du monochromateur (fig. 6); cette surface diffusante était un plan métallique recouvert d'un mélange d'oxyde de zinc et de carboxyméthylcellulose. Ce montage a été rendu nécessaire parce que, lors du remplacement d'une lampe par une autre, on modifiait la répartition de la lumière sur les prismes et les miroirs du monochromateur, et un peu aussi sur la cathode du récepteur; il en résultait un changement de la sensibilité de l'ensemble monochromateurrécepteur. Avec l'éclairage diffus du montage adopté, cette sensibilité restait invariable.



Fig. 6. — Méthode spectrophotométrique : Comparaisons du type II. *fe*, Fente d'entrée du monochromateur; *I*, Image $(120 \times 120 \text{ mm})$ du prisme; *L*, Lampe; *S*, Surface diffusante.

Les observations ont été faites dans l'ordre croissant des longueurs d'onde, en effectuant toutes les lectures relatives à une même lampe avant de passer à la suivante.

III. RÉSULTATS

Les résultats ont été établis sans tenir compte des températures de répartition des étalons de référence du Bureau International dans l'« Échelle BIPM 1951 extrapolée ». Pour chaque température de répartition affectée

à un étalon national par son laboratoire d'origine, les comparaisons ont permis d'attribuer une température de répartition à la valeur moyenne du groupe de référence BIPM.

Les tableaux II à VIII (p. P 53 à 59) rassemblent, pour la méthode du rapport Rouge/Vert et la méthode spectrophotométrique, les résultats des mesures photométriques et électriques.

TABLEAU II

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Allemagne

	Méthode d	u rapport R/V	Méthode	spectrophotométrique
Lampe N° (1)	Groupe BIPM (°K) (2)	Volts BIPM — PTB (%) (3)	Groupe BIPM (°K) (4)	Volts BIPM — PTB (%) (5)
VT 2 5 6	2 037 036 037 2 037	+ 0,06 + 0,09 + 0,14	2 035 036 039 2 037	+ 0,01 + 0,03 + 0,07
VT 2 5 6	2 194 192 192 2 193	+ 0,13 + 0,07 + 0,16	2 192 193 196 2 194	+ 0,08 + 0,03 + 0,10
VT 2 5 6	2 347 347 346 2 347	+ 0,05 + 0,11 + 0,11	2 345 347 349 2 347	0,00 + 0,06 + 0,04
VT 2 5 6	2 589 587 587 2 588	+ 0,11 + 0,07 + 0,05	2 588 590 593 2 590	+ 0,10 + 0,02 + 0,04
VT 3 4 9	2 832 829 825 2 829	+ 0,06 + 0,07 + 0,03	2 839 841 838 2 839	+ 0,05 + 0,06 - 0,02
VT 3 4 9	2 983 978 975 2 979	+ 0,13 - 0,04 + 0,03	2 985 984 983 2 984	+ 0,13 - 0,02 + 0,05

Les diverses colonnes des tableaux II à VIII donnent :

(2) et (4) La température de répartition moyenne du groupe de référence BIPM dans l'échelle du laboratoire national, telle qu'elle est représentée par chacun de ses étalons.

(3) et (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.

TABLEAU III

÷.

Deutsches Amt für Messwesen und Warenprüfung, Allemagne

	Méthode du 1	rapport R/V	Méthode spec	trophotométrique
Lampe N° (1)	Groupe BIPM I (°K) (2)	Volts BIPM — DAMW (%) (3)	Groupe BIPM (°K) (4)	Volts BIPM — DANW (%) (5)
10 DAM 62 11 12 13 14	2 048 041 043 042 042 2 043	+ 0,33 + 0,51 + 0,60 + 1,41 + 0,85	2 048 044 045 044 043 2 045	+ 0,28 + 0,29 + 0,34 + 1,21 + 0,65
10 DAM 62 11 12 13 14	2 201 197 197 197 196 2 198	+ 0,18 + 0,33 + 0,47 + 0,86 + 0,62	2 202 201 200 199 197 2 200	+ 0,11 + 0,21 + 0,29 + 0,86 + 0,58
10 DAM 62 11 12 13 14	2 360 354 354 354 354 2 355	+ 0,08 + 0,20 + 0,38 + 0,57 + 0,43	2 361 358 356 357 356 2 358	+ 0,03 + 0,11 + 0,30 + 0,51 + 0,47
10 DAM 62 11 12 13 14	2 616 611 609 611 609 2 611	+ 0,03 0,00 + 0,15 + 0,24 + 0,17	2 620 619 616 618 613 2 617	- 0,03 - 0,09 + 0,05 + 0,15 + 0,11
10 DAM 62 11 12 13 14	2 848 843 841 843 842 2 843	- 0,11 - 0,29 - 0,11 + 0,03 - 0,02	2 857 856 853 852 847 2 853	- 0,11 - 0,32 - 0,16 + 0,01 - 0,04
10 DAM 62 11 12 13 14	2 969 960 962 965 964 2 964	+ 0,02 - 0,02 - 0,09 - 0,09 - 0,06	2 972 968 970 971 966 2 969	+ 0,07 - 0,08 - 0,11 - 0,09 - 0,08

TABLEAU IV.

Nati	onal Bureau d	of Standards, É	tats-Unis d'Ame	érique
	Méthode du	rapport R/V	Méthode spec	trophotométrique
Lampe N°	Groupe BIPM (°K)	Ampères BIPM — NBS (%)	Groupe BIPM (°K)	Ampères BIPM — NBS (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
NBS 6786 6788 6789 6790 6791	2 047 045 052 044 043 2 046	- 0,11 - 0,02 - 0,01 + 0,04 + 0,17	2 054 039 049 040 039 2 044	+ 0,05 + 0,29 + 0,37 + 0,14 + 0,46
NBS 6786 6788 6789 6790 6791	2 196 200 207 199 195 2 199	+ 0,12 + 0,12 - 0,15 + 0,06 + 0,21	2 203 196 199 195 193 2 197	+ 0,18 + 0,09 + 0,23 + 0,09 + 0,30
NBS 6786 6788 6789 6790 6791	2 347 352 360 348 352 2 352	+ 0,15 + 0,04 - 0,24 + 0,17 + 0,15	2 352 347 350 346 351 2 349	+ 0,09 + 0,12 + 0,23 + 0,14 + 0,21
NBS 6786 6788 6789 6790 6791	2 593 602 599 595 598 2 597	+ 0,30 - 0,28 + 0,07 + 0,13 + 0,15	2 597 596 596 595 595 598 2 596	+ 0,23 + 0,05 + 0,15 + 0,06 + 0,11
NBS 6786 6788 6789 6790 6791	2 842 843 847 840 844 2 843	+ 0,09 + 0,16 + 0,07 + 0,12 + 0,07	2 847 846 846 843 845 2 845	- 0,09 + 0,07 + 0,06 + 0,04 + 0,08
NBS 6786 6788 6789 6790 6791	2 997 3 000 2 997 995 996 2 997	+ 0,02 + 0,07 + 0,03 + 0,10 + 0,06	2 997 997 991 994 993 2 994	- 0,24 + 0,08 + 0,02 + 0,04 + 0,06

TABLEAU V

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

	Méthode du rapport R/V	Méthode spectrophotométrique
Lampe N° (l)	Groupe Ampères. BIPM BIPM—CNAM (°K) (%) (2) (3)	Groupe Ampères BIPM BIPM CNAM (°K) (%) (4) (5)
S 1 2 3	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
S 1 2 3	$ \begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$	$ \begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$
S 1 2 3	$\begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$	$\begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$
S 1 2 3	$\begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$	$\begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$
S 1 2 3	2 846 - 0,12 844 - 0,09 841 0,00 2 844	2 847 - 0,09 846 - 0,07 845 0,00 2 846
F 3 4 6	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$

Note ajoutée aux épreuves.- Des mesures de contrôle ultérieures effectuées au C.N.A.M. ont montré que les valeurs attribuées aux éta-lons fonctionnant à 3 000 °K étaient erronées de 17 degrés en moyenne; en conséquence, les valeurs données ci-dessus pour F3, F4, F6 devraient être diminuées de 17 deg.

TABLEAU VI

...

Electrotechnical Laboratory, Japon

	Méthode du rapport R/V	Méthode spect	rophotométrique
Lampe N° (1)	Groupe Ampères BIPM BIPM – ETL (°K) (%) (2) (3)	Groupe BIPM (°K) (4)	Ampères BIPM — ETL (%) (5)
DSC 5902 5909 5910 5911	$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	2 045 043 041 041 2 042	+ 0,05 + 0,03 + 0,03 + 0,03
DSC 5902 5909 5910 5911	$ \begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$	2 202 202 198 199 2 200	+ 0,02 + 0,02 + 0,02 + 0,02
DSC 5902 5909 5910 5911	$ \begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$	2 353 354 350 353 2 352	+ 0,02 0,00 0,00 + 0,02
DSC 5902 5909 5910 5911	2 593 + 0,02 595 0,00 592 0,00 594 0,00 2 594	2 599 599 596 598 2 598	+ 0,02 0,00 0,00 0,00
DSC 5902 5909 5910 5911	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	2 847 849 845 847 2 847	+ 0,03 + 0,02 + 0,02 + 0;03
DS 5603 5604 5605 5607	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	2 993 991 994 992 2 992	+ 0,02 + 0,02 + 0,02 + 0,02

.

TABLEAU VII

National Physical Laboratory, Royaume-Uni

	Méthode du	rapport R/V	Méthode spec	trophotométrique
Lampe N° (1)	Groupe BIPM (°K) (2)	Volts BIPM — NPL (%) (3)	Groupe BIPM (°K) (4)	Volts [*] BIPM — NPL (%) (5)
268 A 1961 B C D	2 042 043 044 044 2 043	- 0,14 - 0,03 - 0,10 - 0,07	2 041 042 043 044 2 042	- 0,08 + 0,02 - 0,05 - 0,02
268 A 1961 B C D	2 196 198 198 197 2 197	+ 0,08 + 0,15 + 0,05 + 0,09	2 196 196 198 198 2 197	+ 0,08 + 0,14 + 0,04 + 0,10
268 A 1961 B C D	2 349 350 350 348 2 349	- 0,01 + 0,04 0,00 + 0,02	2 348 349 349 348 2 348	+ 0,01 + 0,04 + 0,02 + 0,05
268 A 1961 B C D	2 593 593 593 592 2 593	- 0,06 - 0,06 - 0,10 - 0,11	2 589 593 592 592 2 592	- 0,07 - 0,07 - 0,10 - 0,09
268 A 1961 B C D	2 840 841 839 838 2 840	- 0,01 - 0,01 + 0,01 - 0,01	2 835 838 837 837 2 837	- 0,03 - 0,04 0,00 - 0,01
268 A 1961 B C D	2 984 987 987 983 2 985	- 0,16 + 0,02 + 0,03 + 0,02	* *	

Les étalons ayant été alimentés par la tension, ces valeurs ont été calculées en admettant qu'une variation de 0,5 % sur le courant entraîne une variation de 1 % sur la tension.

.

* * Ce type de lampe n'étant pas fait pour fonctionner à 3 000 °K, les étalons n'ont pas été comparés par la méthode spectrophotométrique, nécessairement assez longue.

	Méthode du	rapport R/V	Méthode sp	ectrophotométri	que
Lampe N° (1)	Groupe BIPM (°K) (2)	Ampères BIPM <u>-</u> IMM (ズ) (ろ)	Groupe BIPM (°K) (4)	Ampères BIPM — IMM (%) (5)	
T-2-22 T-2-30	2 042 40 2 041	- 0,21 - 0,23	2 042 41 2 042	- 0,21 - 0,11	
T-2-22 T-2-30	2 201 199 2 200	- 0,29 - 0,32	2 202 02 2 202	- 0,29 - 0,23	
T-2 -22 T-2-30	2 352 47 2 350	+ 0,02 - 0,05	2 355 53 2 354	+ 0,04 + 0,03	
T-2-22 T-2-30 7-4-61	2 592 87 98 2 592	+ 0,10 + 15 + 12	2 601 00 11 2 604	+ 0,08 + 0,22 + 0,16	
T-2-22 T-2-30 7-4-61	2 848 34 45 2 842	+ 0,28 + 0,18 + 0,26	2 861 55 65 2 860	+ 0,25 + 0,16 + 0,25	
7-4-61	2 984	+ 0,37	3 001	+ 0,34	

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

Le tableau IX et la figure 7 et le tableau X et la figure 8 indiquent, pour la méthode du rapport Rouge/Vert et pour la méthode spectrophotométrique, les écarts en six points entre l'échelle de température de répartition réalisée dans chaque laboratoire national et l'échelle moyenne des sept laboratoires ayant participé aux comparaisons.

Le tableau XI (p. P 63) fournit, pour chaque laboratoire et à chaque température de répartition nominale, les écarts entre les deux méthodes de comparaison. On remarquera que, pour le N.P.L., toutes les différences sont petites et sans valeur significative, ce qui justifie l'introduction au tableau X de la valeur 2 985 °K obtenue par la méthode du rapport Rouge/ Vert.

Enfin le tableau XII (p. P 63), établi à partir des tableaux IX et X, donne l'écart maximal entre les deux laboratoires nationaux les plus divergents à chaque température de répartition nominale.

- P 60 -



Fig. 7. — Représentation graphique des résultats du Tableau IX (méthode du rapport Rouge/Vert).



Fig. 8. — Représentation graphique des résultats du Tableau X (méthode spectrophotométrique).

5	e
E	3
	7
-	
-	2
<	ç
μ]
H	7
μ	ŋ
<	ć
F	4

Méthode du rapport Rouge/Vert

Écarts de l'échelle de température de répartition réalisée dans chaque Laboratoire national

par rapport à l'échelle moyenne des sept Laboratoires représentés

oratoire	BIPM	₽ [⊥]	Groupe	ΨŢ	Groupe BIPM	ΔT	Groupe BIPM	ΔT	Groupe BIPM	₽ ₽	Groupe	₽ ₽
	(X ²)	(deg.)	(X2)	(deg.)	(X)	(deg.)	(x,)	(deg.)	(X°)	(deg.)	(X _o)	(deg.)
gne (FTB)	2 037	- 4	2 193	4 -	2 347	۲ ۱	2 588	- 7	2 829	11 -	2 979	00 I
gne (DAMW)	2 043	⊲ +	2 198	۲ +	2 355	+ 5	2 611	+16	2.843	₩ +	5 964	-23
d'Am. (NBS)	2 046	+ 10	2 199	۲ ۲	2 352	01 +	2 597	دی +	2 843	₩ +	2 997	+10
(CNAM)	2 040	Ч 1	2 194	۱ ۱	2 347	Б	2 593	0	2 844	† +	110 £	+24
(ETL)	2 040	Ч	2 197	0	2 350	0	2 594		2 840	0	2 990	+ M
e-Uni (NPL)	2 043	N +	2 197	ò	2 349	ч 1	2 593	() 1	2 840	0	2.985	CU 1
S. (IMM)	2 041	0	2 200	۳ +	2 350	0	2 592	5	2 842	4	2 984	Б
nnes	2 041		2 197		2 350		2 595		2 840		72 987	

TABLEAU X

Méthode spectrophotométrique

Écarts de l'échelle de température de répartition réalisée dans chaque Laboratoire national

par rapport à l'échelle moyenne des sept Laboratoires représentés

1 - 7 - 6 - 7 - 7 - 7 - 7 - 7 - 7 - 7 - 7	Groupe	ΔT	Groupe	ΔT	Groupe	ΔT	Groupe	Δ^{T}	Groupe	ΔT	Groupe	ΔT
ATTON BJORT	(M°)	(deg.)	(X°)	(deg.)	(X°)	(deg.)	(X°)	(deg.)	(N°)	(deg.)	(M°)	(deg.)
Allemagne (PTB)	2 037	ا ا	2 194	- 4	245 5	+ +	2 590	ы б	2 839	00 I	2 984	- 7
Allemagne (DAMW)	2 045	+	2 200	ດ +	2 358	2 +	2 617	+18	2 853	9 +	2 969	-22
ÉU. d'Am. (NBS) 2 044	ດ +	2 197	- 1	2 349	0	2 596	€ -	2 845	N I	2 994	+ 10
France (CNAM)	2 043	+	2 197	1	2 350	1	2 597	CJ 1	2 846	ч 1	≥ oll	+20
Japon (ETL)	2 042	0	2 200	4	2 352	۲ +	2 598	L 1	2 847	0	2 992	+ +
Royaume-Uni (NPL) 2 042	0	2 197	- 1	2 348	5	2 592	- 7	2 837	-10	2 985*	9
U.R.S.S. (IMM)	2 042	0	2 202	+ +	2 354	+	2 604	ی +	2 860	+13	100 E	+10
Moyennes	2 042		2 198		2 351		2 599		2 847		2 991	

🌲 Valeur empruntée aux comparaisons faites par la méthode du rapport Rouge/Vert

— P 63 —

TABLEAU XI

(méthode spectrophoto	mét	triqu	e)	— (m	étł	node	du	rapp	ort	t Rou	ge/	Vert
Laboratoire	2	042	2	200	2	350	2	600	2	854	3	000
Allemagne (PTB)		0	+	l		0	+	2	+	10	+	5
Allemagne (DAMW)	+	2	+	2	+	3	+	6	+	10	+	5
É.U. d'Am. (NBS)	-	2	-	2	-	3	-	l	+	2	-	3
France (CNAM)	+	3	+	3	+	3	+	4	+	2		0
Japon (ETL)	+	2	÷	3	÷	2	+	4	+	7	+	2
Royaume-Uni (NPL)	-	l		0	-	1	-	I	-	3		
U.R.S.S. (IMM)	+	1	+	2	+	4	+	12	+	18	+	17
Moyennes	+	1	+	1	+	l	+	4	+	7	+	4

Écarts AT (deg.) entre les deux méthodes de comparaison (méthode spectrophotométrique) - (méthode du rapport Rouge/Vert)

TABLEAU XII

Écart maximal (en degrés) entre les Laboratoires nationaux

	2 042	2 200	2 353	2 600	2 854	3 000
Méthode du rapport Rouge/Vert	9	7	8	23	15	47
Méthode spectophotom trique.	ié~ 8	8	11	27	23	42

IV. CONCLUSIONS

L'examen du tableau XI fait apparaître quelques écarts assez grands, en particulier pour l'I.M.M. La comparaison la plus délicate étant celle d'étalons de géométries différentes effectuée à 2.854 °K par la méthode spectrophotométrique, on peut rechercher une erreur systématique à cet endroit; mais alors, les écarts le long de l'échelle des températures de répartition devraient être proportionnels à T^2 . En effet, soit T la température à déterminer à partir de la température de référence T_r ; T est donnée par la relation

$$\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\rm r}} = U,$$

où U est une quantité mesurée. Si U est affectée d'une crreur systématique ε , on obtient une température T', voisine de T, telle que

$$\frac{1}{T'} - \frac{1}{T_{\rm r}} = U + \varepsilon.$$

On en déduit

$$\frac{1}{T'} - \frac{1}{T} = \epsilon$$

- P 64 -

et pour les écarts $\Delta T = T - T'$

$$\Delta T = \varepsilon T T' \approx \varepsilon T^2.$$

Les lignes du tableau XI ne montrent pas une telle proportionnalité.

Pour expliquer les écarts obtenus, il est peut-être suffisant d'admettre que les divers étalons ont des courbes d'émittance énergétique qui s'écartent différemment de celle du corps noir, sans doute par suite d'une légère coloration de leurs ampoules; un examen superficiel de ces dernières n'a cependant pas permis de déceler des différences de coloration notables.

Toutefois, pour les lampes de l'I.M.M., on a constaté une petite évolution (6 degrés) entre les mesures faites à 2 854 °K par la méthode du rapport Rouge/Vert, avant et après les mesures par la méthode spectrophotométrique.

Enfin, l'examen du tableau XII montre que, si les valeurs de l'écart maximal entre les laboratoires nationaux restent faibles pour les trois températures de répartition les plus basses, elles prennent quelque importance à partir de 2 600 °K.

(7 septembre 1965)

Appendice I

Il est intéressant de comparer les six températures de répartition de l'échelle moyenne (E_1) des sept laboratoires nationaux (moyennes du tableau X) à celles d'une échelle (E_2) , établie au Bureau International par spectrophotométrie sur le groupe de référence BIPM et basée sur une seule température de répartition fixée arbitrairement. On a choisi la température qui rend minimale la somme des carrés des écarts entre les six paires de valeurs correspondantes.

TABLEAU XIII

Échelles de lempérature de répartition E_1 et E_2

E_1 (°K)	2042	2 1 9 8	2 351	2 599	2847	2 991
<i>E</i> ₂ (°K)	2039	2197	2350	2597	2848	2 996
$E_2 - E_1$ (deg)	— 3	-1	-1	-2	+ 1	+ 5

Les différences $E_2 - E_1$ montrent un bon accord entre les deux échelles de température de répartition.

Appendice II

Méthodes utilisées par les Laboratoires nationaux pour le réglage en température de répartition des étalons présentés à la comparaison

P.T.B. Rapport R/B (474 et 670 nm). D.A.M.W. Visuelle (4 observateurs); rapport R/B (471 et 598 nm); spectrophotométrique (380 à 760 nm, de 10 en 10 nm). N.B.S. Visuelle. C.N.A.M. Visuelle. E.T.L. Rapport R/B (460 et 660 nm); spectrophotométrique (400 à 740 nm, de 20 en 20 nm). N.P.L. Rapport R/B (509 et 644 nm). I.M.M. Spectrophotométrique (430 à 720 nm, par intervalles inégaux variant

de 20 à 50 nm).

Appendice III

Réalisation des échelles nationales de lempérature de répartition

- P.T.B. Méthode du rapport R/B (474 et 670 nm). Échelle obtenue en 1962 par rattachement au corps noir; la température du corps noir (de 2 190 à 2 750 °K) était déterminée à partir de sa luminance qui repose sur l'unité d'intensité lumineuse à 2 353 °K (unité établie en 1955).
- D.A.M.W. Méthode visuelle. Échelle obtenue en 1961 par rattachement au corps noir (2 042 °K); extrapolation aux températures plus élevées par des verres colorés.
- N.B.S. Méthode visuelle. Échelle obtenue dès 1934 par rattachement au corps noir (2 042, 2 233 et 2 716 °K); extrapolation jusqu'à 3 200 °K par des verres colorés; corrections pour le passage à l'Échelle de température de 1948.
- C.N.A.M. Méthode visuelle. Échelle obtenue en 1951 par rattachement au corps noir (2 042 °K); extrapolation aux températures plus élevées par des verres colorés.
- E.T.L. Méthodes du rapport R/B (460 et 660 nm) et spectrophotométrique (400 à 740 nm, de 20 en 20 nm). Échelle obtenue en 1960 par rattachement au corps noir (2 042 °K); comparaison à 2 042 °K de lampes à ruban au corps noir; comparaison à 2 854 °K de lampes à filament spiralé aux lampes à ruban. Température mesurée par pyrométrie.
- N.P.L. Méthode visuelle. Échelle obtenue en 1938 par rattachement au corps noir (1 800 à 2 400 °K); température mesurée par pyrométrie; corrections ultérieures pour le passage à l'Échelle de température de 1948. Extrapolation à 3 000 °K par des verres colorés et par le rapport à deux longueurs d'onde, à partir de 2 400 °K.
- I.M.M. Méthode spectrophotométrique (430 à 720 nm, par intervalles inégaux variant de 20 à 50 nm). Échelle obtenue en 1965 par rattachement au corps noir (2 042 °K); température mesurée par pyrométrie.

ANNEXE 8

Mesure du flux lumineux de lampes ayant des répartitions spatiales différentes

Par Y. KURIOKA et H. KATSUYAMA

Electrotechnical Laboratory (Japon)

Abstract. — Between the international comparisons carried out at the B.I.P.M. in 1956 and 1961, the E.T.L. unit of luminous flux at 2788 °K showed a variation of 0.8 %, the lamps used to represent the unit in 1961 having different spatial distributions from those used in 1956. A comparative study of the influence of spatial distribution on the results of measurements made with spheres of 1.5 m and 5 m diameter and with a distribution photometer has afforded no explanation of the variation.

I. INTRODUCTION

A la suite de la 4° comparaison (1961) des étalons photométriques nationaux, on a pu remarquer que l'unité ETL de flux lumineux à 2788 °K a montré une variation de 0,8 % entre 1956 et 1961 (*Comité Consultatif* de Photométrie, 5° session, 1962, p. 85). Pour la comparaison internationale de 1956, les lampes étalons représentant l'unité ETL étaient de fabrication française (groupe BIT); pour la comparaison de 1961, les lampes étaient de fabrication japonaise (groupe DST). Les lampes du groupe BIT ont un filament disposé en zigzag à l'intérieur d'une ampoule en verre clair et elles sont presque identiques aux lampes du groupe de référence du B.I.P.M. (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, **26-B**, 1958, p. P 80, fig. 4b). Les lampes du groupe DST ont un filament disposé à l'intérieur d'une ampoule en verre clair et monté dans un plan perpendiculaire à l'axe passant par le culot (*Comité Consultatif de Photométrie*, 5° session, 1962, p. 64, fig. 3b).

Afin d'expliquer cette variation de 0,8 %, le même groupe BIT qui a participé à la comparaison de 1956 a été envoyé de nouveau au B.I.P.M. en 1962 pour vérifier sa stabilité. Les résultats des comparaisons du groupe BIT au groupe de référence B.I.P.M. montrent que le groupe B.I.T. conservé à l'E.T.L. est resté stable de 1956 à 1962 (Rapport du B.I.P.M. du 19 décembre 1962).

Les lampes des groupes BIT et DST ayant des répartitions spatiales du flux lumineux très différentes (fig, 1 a et b) il serait possible que leur comparaison soit affectée d'une erreur systématique, soit dans la sphère de l'E.T.L., soit dans la sphère du B.I.P.M., soit dans l'une et l'autre.



Fig. 1. — Répartition lumineuse dans un plan vertical pour les lampes des groupes BIT (a) et DST (b).

Le présent rapport donne les résultats de l'examen effectué à l'E.T.L. pour étudier l'effet de différences de répartition spatiale de ces deux groupes de lampes. Cet examen a été fait en comparant le rapport des flux lumineux des deux groupes avec les trois dispositifs suivants :

1. la sphère de 1,5 m de diamètre;

2. le photomètre automatique de répartition, récemment construit à l'E.T.L.;

3. la sphère de 5 m de diamètre.

II. PHOTOMÈTRE DE RÉPARTITION



Ce photomètre (fig. 2) a trois miroirs M_1 , M_2 , M_3 tournant autour d'un axe horizontal passant par la lampe à mesurer, et il envoie le flux lumineux

Fig. 2. — Photomètre automatique de répartition de l'E.T.L.

de la lampe horizontalement vers le récepteur physique. Le centre lumineux de la lampe et le récepteur sont fixes et la lampe ne tourne qu'autour de son axe vertical. Le mécanisme automatique et le procédé d'intégration du courant photoélectrique sont indiqués à la figure 3.



La répartition de l'intensité lumineuse a été mesurée dans les dix-huit plans verticaux passant de 10 en 10 degrés par l'axe vertical de la lampe et, dans chaque plan, l'intensité lumineuse a été mesurée dans les deux cents directions correspondant aux angles de Russell, soit au total 3 600 lectures. La durée nécessaire pour une série complète est de 25 minutes, y compris le temps de réglage. Les valeurs de l'intensité lumineuse mesurée dans chaque direction sont additionnées immédiatement par le dispositif d'intégration automatique et le flux lumineux est obtenu à la fin de la série. Le fonctionnement du photomètre est le suivant :

1. Le générateur de pulsations envoie une pulsation électrique au voltmètre numérique pour chacune des 200 directions spécifiées dans un plan vertical. L'exactitude des positions angulaires ainsi obtenues est meilleure que \pm 0,1 degré.

2. Le récepteur physique est une cellule à vide du type Gillod-Boutry, de très bonne linéarité, dont la cathode semi-transparente est constituée d'une couche multialcaline.

3. Le voltmètre numérique prend une lecture de la différence de potentiel aux bornes de la résistance de charge de la cellule pendant les 30 millisecondes qui suivent la réception d'une pulsation; l'indication du voltmètre est ensuite transmise au dispositif d'intégration en nombre décimal de quatre chiffres codé binairement.

4. Le dispositif d'intégration additionne, pendant 30 millisecondes, une lecture prise par le voltmètre numérique. Il faut donc 60 millisecondes pour qu'une lecture de l'intensité lumineuse dans une direction soit prise et additionnée. La valeur intégrée est indiquée par sept chiffres.

5. L'imprimante peut être utilisée si l'enregistrement de la répartition lumineuse est nécessaire.

Pour examiner l'incertitude du procédé d'intégration avec 3 600 pointés discontinus on a calculé, pour les deux courbes types de répartition spatiale analogues à celles des groupes BIT et DST, la différence entre le flux lumineux ainsi obtenu et celui résultant de pointés de 1 en 1 degré dans tous les plans verticaux passant de 1 en 1 degré par l'axe vertical de la lampe. Les résultats ont montré que le flux lumineux obtenu par les 3 600 pointés est exact à 0,1 % près, si on admet que le flux lumineux provenant de pointés de 1 en 1 degré dans toutes les directions représente la valeur vraie.

Le temps nécessaire pour une rotation complète des miroirs est de 30 secondes et le temps d'équilibre du système générateur-voltmètre est d'environ 30 millisecondes. Une erreur due au temps d'équilibre peut apparaître dans le cas où la répartition de l'intensité lumineuse varie brutalement. Pour les courbes de répartition des groupes BIT et DST, cette erreur a été estimée inférieure à 0,05 % à la vitesse de rotation indiquée. La distance de la lampe au récepteur étant de 4 m environ, l'erreur due à la mise en place de la lampe est considérée comme négligeable. Enfin, l'incertitude de la mesure avec ce photomètre est estimée à \pm 0,2 %.

III. COMPARAISONS DANS LES SPHÈRES

Les comparaisons dans la sphère de 1,5 m ont été effectuées au moyen d'un photomètre à réponse linéaire comportant une cellule à vide du type Gillod-Boutry à cathode centrale constituée d'une couche Cs-Sb. Les comparaisons dans la sphère de 5 m ont été effectuées au moyen du même photomètre que ci-dessus, ainsi qu'avec un autre photomètre comportant une cellule à vide dont la cathode semi-transparente est constituée d'une couche multialcaline; les deux photomètres ayant été fixés aux deux fenêtres de la sphère situées à 90° l'une de l'autre, leurs lectures ont été prises simultanément à chaque mesure. Les revêtements intérieurs blancs diffusants des deux sphères sont les mélanges ZnO-nitrocellulose et ZnO-carboxyméthylcellulose respectivement. Les corrections différentielles d'absorption due à la présence des lampes dans les sphères, de l'ordre de 0,3 et de 0,03 %, ont été appliquées aux valeurs mesurées.

IV. Résultats

Les résultats obtenus pour le rapport des flux lumineux de deux lampes (groupes BIT et DST) déterminé avec chacun des trois dispositifs indépendants sont les suivants :

Lampes	Sphère de 1,5 m	Photomètre de répartition	Sphère de 5 m
$\frac{\text{DST } 6 \ 076}{\text{BIT } 5 \ 415}$	1,051	1,052	1,050
$\frac{\text{DST} \ 6 \ 078}{\text{BIT} \ 5 \ 419}$	1,047	1,048	1,044

Ces valeurs sont la moyenne de deux séries; l'écart entre les deux séries n'a jamais dépassé 0,25 %.

V. CONCLUSION

Le rapport des flux lumineux de deux lampes ayant des répartitions spatiales différentes a été mesuré par trois méthodes indépendantes. Les valeurs obtenues par le photomètre de répartition et par les deux sphères de diamètres et de facteurs de réflexion différents, dont l'effet de compensation de la non-uniformité de répartition n'est pas le même, sont en accord satisfaisant à 0,3 % près en moyenne.

On en conclut que l'erreur systématique due à la différence de répartition lumineuse de ces deux groupes de lampes est négligeable lorsqu'on les compare dans la sphère lumenmètre. Enfin, la variation de 0,8 % constatée en 1961 n'a pas été élucidée.

Par ailleurs, nous avons étudié au cours de cet examen le point délicat de la stabilité des lampes BIT dont le filament n'est pas soudé aux crochets. La stabilité des lampes étalons utilisées pour les comparaisons internationales et pour la conservation des unités photométriques est en effet d'une grande importance.

(Juin 1965)

ANNEXE 9

Proposition d'adoption de l'observateur de référence colorimétrique CIE 1931

Par G. W. WYSZECKI

Conseil National de Recherches (Canada)

Dans bien des cas, la photométrie moderne fait appel aux considérations colorimétriques. Cela est particulièrement vrai pour les lampes à décharge qui représentent maintenant une part importante des travaux photométriques des laboratoires métrologiques et industriels. Pour caractériser ces lampes, il est souvent insuffisant de fournir les grandeurs photométriques classiques; il est nécessaire de spécifier également les grandeurs colorimétriques, telles que la chromaticité ou la température de couleur proximale (« correlated colour temperature »).

Le système photométrique actuel, adopté par le Comité International des Poids et Mesures (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, **15**, 1933, p. 61), n'est pas suffisant pour fournir les spécifications colorimétriques. Pour cela il faudrait adopter l'observateur de référence colorimétrique CIE 1931 et le système de coordonnées qui lui est associé. Il n'y a aucun doute que ce système est largement employé et reconnu comme utile pour spécifier la couleur des stimuli visuels. L'observateur de référence CIE est directement relié à l'observateur de référence photométrique actuel puisque, par définition, $V(\lambda)$ est identique à $\overline{y}(\lambda)$ qui est l'une des trois fonctions définissant l'observateur colorimétrique.

L'extension officielle des travaux photométriques dont s'occupe le C.I.P.M. est une question de principe qui doit être considérée avec soin. On doit cependant reconnaître que la photométrie classique, sans la colorimétrie, ne fournit qu'une partie des solutions recherchées dans la pratique moderne de la mesure de la lumière.

(24 août 1965)

ANNEXE 10

Étalonnage spectroradiométrique de lampes fluorescentes étalons de chromaticité

Par H.K. HAMMOND III

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

Abstract. — Investigation of the factors affecting spectroradiometric measurements has resulted in the development of a measurement technique that is now being used for calibration of fluorescent-lamp chromaticity standards. CIE chromaticity coordinates x and y can usually be repeated to within .002. Measurements on standards whose chromaticities were previously determined by visual-color matching with incandescent lamps and filters agree to within .004. Although the measurement technique now in use at N.B.S. may not be the best that can be developed, it is set forth here, together with a brief discussion of important sources of systematic errors, to provide a basis for discussion by the national laboratories. The results obtained appear to justify changing from a visual to a spectroradiometric basis for calibrating fluorescent-lamp effective September 1, 1965.

I. INTRODUCTION

Depuis de nombreuses années, le National Bureau of Standards et d'autres laboratoires ont mesuré l'éclairement énergétique spectral produit par des lampes fluorescentes et calculé les coordonnées trichromatiques CIE, x et y, à partir des données spectrales. La comparaison des résultats obtenus par les différents laboratoires a montré des différences aussi bien dans les procédés de mesure que dans les données. L'examen des sources d'erreurs systématiques et des avantages des différents procédés a conduit graduellement au développement des techniques maintenant en usage.

II. HISTORIQUE

A l'époque de la réception des lampes pour la comparaison internationale de 1959, nous avions entrepris la construction d'un appareil spécial : un spectroradiomètre enregistreur de rapport [1]. Bien que cet appareil ait bénéficié de perfectionnements dont le but était de minimiser les erreurs
systématiques prévisibles des mesures, il a été abandonné pour les travaux d'étalonnage en faveur d'un procédé plus direct, mais plus fastidieux, de comparaison point par point de l'éclairement énergétique spectral produit par une lampe fluorescente à l'éclairement produit par une lampe à incandescence fonctionnant à une température de répartition connue.

III. MONTAGE EXPÉRIMENTAL

Les lampes fluorescentes les plus fréquemment utilisées comme étalons de chromaticité sont les lampes T12 (40 W, 1,2 m) d'un modèle analogue au type employé dans les comparaisons internationales. Pour les mesures, chaque lampe est alimentée à 0,430 A et disposée en position horizontale à 12 cm au-dessus d'une ouverture de 7,6 cm pratiquée dans une sphère de 20 cm enduite de SO_4Ba (*fig.* 1). Un écran avec une ouverture de 7 cm, placé à 3,8 cm de la lampe, limite à environ 10 cm la longueur effective de la lampe qui contribue aux mesures de flux lumineux.



Fig. 1. — Montage expérimental pour l'étalonnage spectroradiométrique de lampes fluorescentes.

1, Lampe fluorescente; 2, Écran; 3, Sphère; 4, Vers le monochromateur; 5, Étalon de température de répartition.

La lampe à incandescence a un filament à simple boudinage fonctionnant sous 10 V et 7,5 A; sa température de fonctionnement est de 2 854 °K. Cette lampe est située au-dessous de la lampe fluorescente, sur une droite horizontale passant par le centre de la sphère. La distance de la fenêtre de la sphère à la lampe est de 25 cm. On fait tourner la sphère de $\pi/2$ rad à chaque longueur d'onde pour mesurer successivement l'éclairement énergétique produit par la lampe à incandescence et par la lampe fluorescente avant de passer à la longueur d'onde suivante. Les deux lampes fonctionnent de facon continue, les écrans évitant les réflexions mutuelles.

Les conditions de départ qui ont fixé le montage géométrique sont les suivantes : 1° la lumière provenant d'une courte section de la lampe fluorescente sera valable pour les mesures; 2° la lumière provenant de la lampe fluorescente ou de la lampe à incandescence ne doit pas éclairer directement la portion de la paroi de la sphère observée par le détecteur.

Le monochromateur double est un appareil de Bausch et Lomb à

réseaux (N° 332804-176) d'un modèle identique à celui qui est employé dans le spectrophotomètre Spectronic 505 de ce même fabricant. Ce monochromateur n'a pas de fente centrale ni de système optique entre les deux réseaux. Les fentes d'entrée et de sortie sont identiques et ajustées pour une bande passante de 5,6 nm. La longueur d'onde est indiquée sur un compteur numérique et peut être réglée à \pm 0,1 nm.

Le détecteur est un photomultiplicateur EMI 9558 (courbe de réponse S 20). Un picoampèremètre Keithley modèle 409 est employé avec un voltmètre numérique Digitec dans le but d'établir une base de mesure du courant photoélectrique. La réponse du détecteur est suffisamment linéaire quand le courant anodique est inférieur à 10^{-6} A. La longueur d'onde du monochromateur peut être réglée par un moteur. Un potentiomètre actionné par le même moteur fournit une tension proportionnelle à la longueur d'onde pour l'enregistrement direct. Le courant de sortie du tube photoélectrique est enregistré sur une échelle de longueur d'onde amplifiée, pour évaluer la bande passante du monochromateur en mesurant avec précision la largeur des raies à mi-hauteur.

Des procédés identiques de mesure point par point sont employés dans les laboratoires de la General Electric Co, Cleveland (Ohio) et de la Duro-Test Corp., North Bergen (New Jersey) [2]. Des différences existent néanmoins quant à la dimension de la sphère, ses ouvertures, le type de monochromateur, le détecteur, le dispositif de lecture et le type de lampe à incandescence utilisé comme étalon de température de répartition.

IV. Méthode de mesure

La lampe à incandescence et la lampe fluorescente, ainsi que tous les appareils de mesure, sont mis en fonctionnement vingt minutes au moins avant le début des mesures. Les premières lectures sont faites à 560 nm. Puis, en commençant par l'extrémité bleue du spectre, on mesure les éclairements énergétiques produits par la lampe à incandescence et par la lampe fluorescente de 10 en 10 nm sur 50 nm, et l'on effectue une lecture de contrôle à 560 nm. La mesure se poursuit ainsi tout le long du spectre, de 400 à 700 nm, pour obtenir des renseignements sur le rayonnement à spectre continu de la substance fluorescente. Les intensités maximales des raies du spectre sont aussi déterminées. Une lecture finale est faite à 560 nm. Dans un but de vérification, le domaine spectral est quelquefois parcouru dans le sens rouge-bleu.

V. Sources d'erreurs systématiques

Bien que la répartition de l'éclairement énergétique spectral produit par un filament spiralé de tungstène diffère légèrement de celle d'un corps noir entre 400 à 700 nm, on suppose que l'éclairement énergétique à chaque longueur d'onde est le même que celui d'un radiateur de Planck à la même température de répartition. La température de répartition de la lampe à incandescence doit être connue avec une précision raisonnable. Une erreur de 30 deg entraîne une erreur sur les coordonnées trichromatiques d'une lampe « Cool white » de 0,002 pour x et de 0,001 pour y. Le temps nécessaire pour obtenir la répartition spectrale d'une lampe fluorescente dépend de l'habileté de l'opérateur; il s'échelonne entre trente et soixante minutes. La température de la lampe fluorescente ne doit pas varier au cours des mesures; la répartition spectrale relative d'une lampe fluorescente n'est pas fortement affectée par des changements de température, mais le flux lumineux l'est. Si le flux lumineux varie pendant la durée des mesures, une distortion spectrale se manifestera au cours des lectures photométriques.

Les mesures du rayonnement énergétique spectral pour le spectre continu sont reproductibles en général à 1 % près; la moyenne de plusieurs mesures fournit des valeurs d'une incertitude plus faible. Les mesures pour les raies spectrales sont moins précises, ce qui est dù en partie à l'incertitude sur la détermination de la bande passante et en partie à l'instabilité des raies elles-mêmes. La raie 436 nm du mercure semble être particulièrement variable par suite de sa relation étroite avec la raie 254 nm responsable de l'excitation de la substance fluorescente. La normalisation de l'émission de la substance fluorescente masque l'observation de changements dans le rayonnement du spectre continu mais fait que l'intensité des raies spectrales semble varier. Un changement de 5 % dans la valeur de la raie 436 nm produit un changement des coordonnées trichromatiques d'environ 0,001 pour x et pour y.

VI. RÉSULTATS

Les trois lampes fournies par le N.P.L. pour la comparaison internationale ont été mesurées à nouveau en 1965; elles fonctionnaient à 60 Hz avec l'intensité de courant déterminée au moment de la comparaison internationale. Les valeurs des coordonnées trichromatiques obtenues en 1965 sont les moyennes de trois déterminations faites sur chaque lampe. Les chromaticités obtenues en 1959 au moyen du colorimètre de Barnes étalonné à partir des étalons fluorescents du N.B.S. et les chromaticités obtenues au N.P.L. par des mesures spectroradiométriques effectuées au début et à la fin de la comparaison internationale sont données dans le tableau suivant :

Lampe	Coordonnées trichro- matiques	N.B.S. Barnes (1959)	N.P.L. spectroradiomètre (¹)		N.B.S. spectro-
			(1958)	(1960)	(1965)
2.1.1 (Daylight)	$egin{array}{c} x \ y \end{array}$	0,363 0,372	0,364 0 0,371 8	0,365 0 0,372 6	$0,364\ 2$ $0,373\ 3$
2.2.1 (Colour matching)	$egin{array}{c} x \ y \end{array}$	0,323 0,346*	$0,324\ 4$ $0,338\ 0$	0,325 0 0,339 3	$0,324\ 8$ $0,337\ 6$
2.3.1** (Warm white)	$x \\ y$	$0,443 \\ 0,403$	$0,443\ 2\ 0,400\ 4$	$0,446\ 2\ 0,402\ 1$	$0,441\ 2\ 0,400\ 2$

⁽¹⁾ Lampe fluorescente observée directement.

* La détermination de cette coordonnée au moyen du colorimètre de Barnes est inexacte à cause de la grande différence entre les répartitions spectrales de la lampe témoin et des étalons utilisés pour étalonner le colorimètre de Barnes.

** Cette lampe semble moins stable que les deux autres.

Bien que la comparaison des résultats obtenus sur les lampes utilisées pour cette comparaison internationale soit intéressante, l'objectif initial de ces trayaux était d'établir l'étalonnage de lampes fluorescentes en tant qu'étalons de chromaticité sur une base spectroradiométrique. En plus du N.B.S., les laboratoires de deux compagnies américaines de lampes d'éclairage ont travaillé activement dans le but d'améliorer les méthodes de mesure permettant d'atteindre cet objectif. Les mesures effectuées en 1965 par ces trois laboratoires sur des lampes de quatre types (« Warm white », « White », « Cool white », « Daylight ») ont montré que les coordonnées trichromatiques déterminées par chaque laboratoire étaient reproductibles à 0.002 près pour x et y et que l'intervalle dans lequel se situaient les valeurs des trois laboratoires excédait rarement 0,004 pour x et y. Les coordonnées trichromatiques déterminées par spectroradiométrie au N.B.S. ont été aussi comparées à celles qui ont été obtenues il y a une dizaine d'années par égalisation visuelle de la couleur de lampes fluorescentes et de lampes à incandescence avec filtres. Cet étalonnage visuel a fourni les étalons américains de chromaticité pour les quatre types de blanc ci-dessus. L'étalonnage spectroradiométrique de ces lampes ne change pas les coordonnées trichromatiques établies par égalisation visuelle de plus de 0,004 pour x et y. Aussi, le N.B.S. a-t-il jugé que la précision des mesures spectroradiométriques est maintenant suffisante pour permettre l'étalonnage des lampes fluorescentes en tant qu'étalons de chromaticité à partir de telles mesures; cette méthode d'étalonnage spectroradiométrique sera utilisée par le N.B.S. à partir du 1er septembre 1965.

(5 juillet 1965)

BIBLIOGRAPHIE

- H. K. HAMMOND III, W. L. HOLFORD and L. KUDER, Ratio-recording spectroradiometer, J. Res. N.B.S., 64 C, 1960, p. 151.
- [2] L. THORINGTON, J. PABASCANDOLA and G. SCHIAZZANO, Chromaticity and color rendition of light sources from fundamental spectroradiometry, *Illumg Engng*, 50, 1965, p. 227.

TABLE DES MATIÈRES

COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMÉTRIE 6^e Session (1965)

I	Pages P
Avertissement historique	5
Liste des membres	7
Ordre du jour	10
Rapport au Comité International des Poids et Mesures, par H. Korte.	
Hommage à la mémoire de E. Perucca, membre spécialiste du Comité Consul- tatif, décédé en 1965	11
Travaux sur l'étalon primaire (Examen des rapports du « Groupe de travail de l'étalon primaire photométrique » sur les corrections à apporter au corps noir; nécessité de poursuivre les études)	11
Radiométrie absolue (Travaux effectués à l'E.T.L.; comparaison organisée par le N.P.L. et création d'un Groupe de travail)	12
Travaux de spectrophotométrie (Rattachement des candelas à 2353 °K et à 2854 °K à la candela à 2042 °K; mesures effectuées au B.I.P.M., à la P.T.B. et à l'I.M.M.)	12
Étalons de température de répartition (Première comparaison internationale effectuée au B.I.P.M. Travaux de la P.T.B. et de l'I.M.M.)	12
Étalons de flux lumineux (Erreur possible dans la comparaison de lampes de ré- partitions spatiales différentes; mesures effectuées à l'E.T.L.)	13
Prochaine comparaison internationale des étalons d'intensité et de flux lumineux (Choix des types de lampes, de leurs conditions d'alimentation, etc.)	13
Comparaison de lampes à vapeur de mercure à haute pression (Comparaison organisée par l'E.T.L. sous l'égide de la C.I.E.)	13
Colorimétrie (Adoption d'une proposition du N.R.C. relative à la prise en considération par le Comité Consultatif de Photométrie de certains aspects de la colorimétrie. Comparaison des coordonnées trichromatiques de lampes fluorescentes inbulaires entre le N.B.S. et le N.P.L.)	14
Questions diverses (Définition de la candela. Démission de Mr Zwikker comme membre spécialiste)	14

Recommandations adoptées :

Recommandation P 1 (Continuation des études poursuivies par le « Groupe de travail de l'étalon primaire photométrique » pour la réalisation pratique du corps noir)	15
Recommandation P 2 (Création et constitution d'un « Groupe de travail de la radiométrie »)	15
Recommandation P 3 (Poursuite des mesures par spectrophotométrie ou par récepteur $V(\lambda)$)	15
Recommandation P 4 (Conditions d'exécution de la 5° comparaison des étalons nationaux d'intensité et de flux lumineux)	15

Annexes

1.	Rapports du Groupe de travail de l'étalon primaire photométrique au Comité Consultatif de Photométrie	17
2.	E.T.L. (Japon). — Radiomètre absolu, par N. Ooba	23
3.	B.I.P.M. — Rattachement des candelas à 2 353 °K et à 2 854 °K à la candela à 2 042 °K par la méthode spectrophotométrique, par J. Bonhoure	28
4.	P.T.B. (Allemagne). — Contrôle de la grandeur relative des candelas à 2 042 °K, 2 353 °K et 2 854 °K, à l'aide d'un récepteur photoélectrique $V(\lambda)$, par D. Forste et H. Willenberg	31
5.	I.M.M. (U.R.S.S.). — Répartition énergétique spectrale dans le domaine visible de lampes à incandescence, étalons secondaires de température de répartition, par V. E. Kartachevskaia	33
6.	P.T.B. (Allemagne). — La nouvelle échelle de température de répartition de la P.T.B., par D. Forste	40
7.	B.I.P.M. — Rapport sur la première comparaison des étalons nationaux de lempérature de répartition (1963-1964), par J. Bonhoure	47
8.	E.T.L. (Japon). — Mesure du flux lumineux de lampes ayant des répartitions spatiales différentes, par Y. Kurioka et H. Katsuyama	66
9.	N.R.C. (Canada). — Proposition d'adoption de l'observateur de référence colorimétrique CIE 1931, par G.W. Wyszecki	71
10.	N.B.S. (États-Unis d'Amérique). — Étalonnage spectroradiométrique de lampes fluorescentes étalons de chromaticité, par H. K. Hammond III	72

IMPRIMERIE DURAND

28-LUISANT (FRANCE)

Dépôt légal, Imprimeur, 1966, nº 395 Dépôt légal, Éditeur, 1966, nº 1475

ACHEVÉ D'IMPRIMER LE 20-12-1966

Imprimé en France

