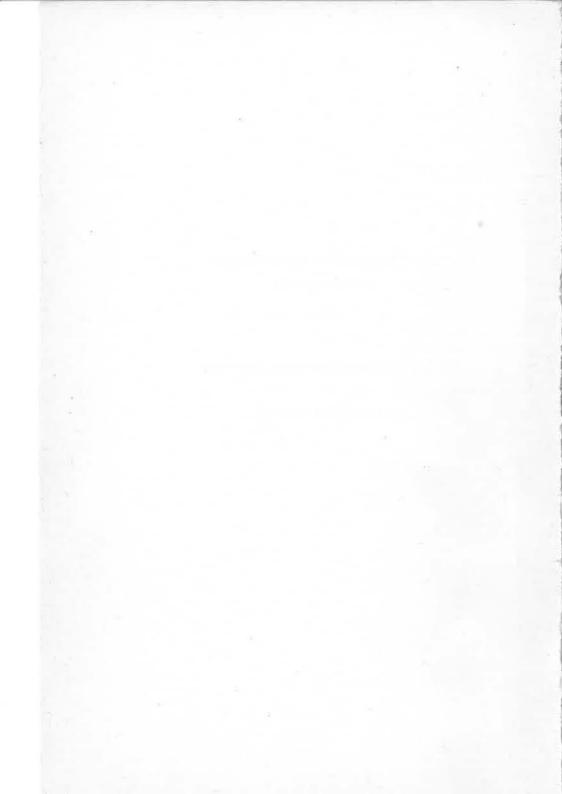
# COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMÈTRIE SESSION DE 1952.

# PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES,

RAPPORT ET ANNEXES.



#### PRÉSIDENT

#### du Comité International des Poids et Mesures :

M. J. E. SEARS.

### LISTE DES MEMBRES

DU

# COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMÉTRIE.

### Président :

M. E. C. Crittender, Conseiller du National Bureau of Standards, Washington.

# Membres et experts :

- Pour la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig: M. le Dr H. Ковтв, Oberregierungsrat, Physikalisch-Technische Bundesanstalt. Expert: M. W. Dziobek, Oberregierungsrat, Physikalisch-Technische Reichsanstalt.
- Pour le National Bureau of Standards, Washington: M. L. E. Barbrow, Membre du National Bureau of Standards.

- Pour le National Physical Laboratory, Teddington:
  M. le Dr. W. S. Stiles, Membre du National Physical
  Laboratory.
- Pour le Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris:

  M. P. Fleury, Directeur général de l'Institut d'Optique théorique et appliquée, Paris. Expert:

  M. M. Debure, Physicien principal du Service de Métrologie, Conservatoire National des Arts et Métiers.
- Pour l'Electrotechnical Laboratory, Tokyo: M. le Dr Y. Nakaji, Associate Director, Electrotechnical Laboratory.
- Pour l'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S., Moscou: M. P. N. Agaletzki, Chef de Laboratoire à l'Institut de Métrologie. Expert: M. A. C. Kolossov, Professeur à l'Institut de Métrologie.
- M. le Prof. Dr M. Pirani, 2, The Clone, Kingston Hill, Surrey.
- M. le Prof. Dr C. Zwikker, Ruusbroeclaan, 23, Eindhoven.
- M. Ch. Volet, Directeur du Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres.

### Invités :

M. V. D. Alessine, Directeur de l'Institut de Métrologie, Moscou.

- M. le Prof. E. Perucca, Directeur de l'École Polytechnique, *Turin*.
- MM. A. Bonhoure et J. Terrien, Adjoints du Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres.
- MM. H. Moreau et Å. Thulin, Assistants du Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres.

### ORDRE DU JOUR

DE LA

# SESSION

- 1. Nomination d'un Secrétaire et d'un Rapporteur.
- 2. Rapports distribués.
- 3. Travaux sur l'étalon primaire.
- 4. Examen des résultats des comparaisons photométriques internationales de 1948.
- 5. Comparaisons internationales 1950; retard de plusieurs Laboratoires nationaux.
- 6. Progrès dans la réalisation des étalons photométriques. Normalisation des caractéristiques, et particulièrement des températures de couleur, en vue de rendre plus précises les comparaisons. Discussion des recommandations du Bureau International des Poids et Mesures.
  - 7. Transport des étalons photométriques.
  - 8. Organisation des comparaisons futures.
  - 9. Comparaisons internationales de verres colorés.
  - 10. Travaux photométriques du Bureau International.
- 11. Suggestions en vue de la révision du Règlement du Comité Consultatif. (Le Règlement actuel figure dans les Procès-Verbaux du Comité International des Poids et Mesures, 1931, p. 55).
  - 12. Questions diverses.

# COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMÉTRIE.

# SESSION DE 1952

# PROCÈS-VERBAL

DE LA SÉANCE

TENUE AU BUREAU INTERNATIONAL.

Lundi 30 juin 1952.

PRÉSIDENCE DE M. P. FLEURY.

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

Sont présents : MM. AGALETZKI, BARBROW, DZIOBEK, KORTE, PIRANI, NAKAJI, STILES, VOLET, ZWIKKER, Membres du Comité consultatif;

MM. DEBURE, KOLOSSOV, adjoints;

MM. Alessine, König, Perucca, Bonhoure, Terrien, Moreau, Thulin, Leclerc, invités.

M. Volet, Directeur du Bureau International, ayant constaté que le quorum était atteint, adresse ses vœux de bienvenue à tous les Membres du Comité Consultatif, dont la dernière réunion date de 1939. Il transmet les souhaits et salutations de M. Sears, Président du Comité International, et indique qu'en l'absence de M. CRITTENDEN, Président du Comité Consultatif,

empêché d'assister à la séance, M. Seans a demandé à M. Fleury de bien vouloir assumer la présidence de cette session.

M. Fleury, très touché de cette marque de confiance, accepte cette fonction tout en regrettant vivement l'absence de M. CRITTENDEN.

Sur la proposition de M. Volet, le Comité envoie par télégramme ses salutations respectueuses à M. Crittenden.

M. Moreau est désigné pour remplir les fonctions de Secrétaire pour la rédaction du procès-verbal. M. Korte accepte d'autre part d'être le Rapporteur du Comité Consultatif auprès du Comité International.

M. Volet indique que MM. König, Perucca et Leclerc ont été ajoutés à la liste des invités. Il fait part, avec regret, du décès de M. Bordoni, spécialiste italien de la photométrie, qui s'était toujours vivement intéressé aux travaux de notre Comité, dont il était Membre depuis l'origine.

M. le Président passe à l'examen des différents points de l'ordre du jour qui, établi il y a déjà deux années par le Comité International, n'a pas fait l'objet de nouvelles propositions importantes.

# TRAVAUX SUR L'ÉTALON PRIMAIRE.

M. Terrien signale qu'une réalisation de l'étalon primaire a été faite récemment en France au Conservatoire National des Arts et Métiers (Annexe P1, p. P. 42). D'après des indications reçues de l'Institut de Métrologie de Léningrad, l'étalon primaire a été également réalisé dans ce Laboratoire en 1946.

- M. AGALETZKI précise que l'étalon primaire réalisé en U. R. S. S. correspond aux spécifications adoptées par le Comité Consultatif de Photométrie de 1939; c'est à partir de cet étalon que sont définies les nouvelles unités photométriques introduites en U. R. S. S. depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1948. Une nouvelle réalisation de l'étalon primaire est prévue en 1954.
- M. Stiles indique que le National Physical Laboratory poursuit aussi la réalisation de l'étalon primaire; les travaux progressent favorablement, malgré quelques difficultés rencontrées à propos des creusets. Il pense que ce nouveau corps noir pourra fonctionner à la fin de 1952 et que la valeur des étalons secondaires pourra être précisée à partir de cet étalon primaire dans le milieu de l'année 1953.
- M. Nakaji précise que l'Electrotechnical Laboratory prévoit la reconstitution de l'étalon primaire pour juin 1953.
- M. Korte pense qu'un délai de deux ans sera nécessaire à l'Allemagne pour l'exécution de tels travaux dans les laboratoires qui sont encore en cours d'aménagement; les appareils nécessaires sont commandés et leur livraison est attendue.
- M. Barbrow, tout en rappelant que le National Bureau of Standards fut le premier à réaliser l'étalon primaire dans sa forme actuelle, ne prévoit pas de travaux prochains sur le corps noir.
- M. le Président enregistre avec satisfaction l'achèvement du travail français et se félicite des travaux prévus ou en cours de réalisation dans les autres Laboratoires nationaux, travaux qui permettront d'ici deux à trois ans,

l'exécution de nouvelles comparaisons internationales des étalons secondaires.

Quelques demandes de précisions sont faites par MM. Stiles et Barbrow au sujet des résultats indiqués dans la Note du Conservatoire National des Arts et Métiers (Annexe P 1. p. P 42), auxquelles répondent MM. le Président, Debure et Terrien (4).

Examen des résultats des comparaisons photométriques internationales de 1948 et de 1952.

M. Terrien rappelle que depuis le Comité Consultatif de 1939 (2), deux comparaisons internationales groupant les étalons secondaires d'intensité et de flux lumineux envoyés par les Laboratoires nationaux ont été effectuées au Bureau International : la première en 1948, la seconde de 1950 à 1952.

Pour la comparaison de 1948 certaines difficultés n'ont pas permis d'avoir les étalons de flux à 2788°K du Japon, ni de tenir compte des résultats obtenus sur ceux de la France; en outre, le groupe des étalons des États-Unis a montré des variations dont la cause n'a pu être expliquée.

Pour les comparaisons de 1950-1952, les étalons de l'Allemagne, qui ont visiblement souffert durant le transport exécuté dans des conditions difficiles, n'ont pu être retenus pour le calcul de l'unité moyenne.

<sup>(1)</sup> C'est à la suite de cette discussion que le texte original de cette Note, tel qu'il avait été remis aux Membres du Comité, a été complété.

<sup>(2)</sup> Au Comité de 1939 ont été présentés les résultats de comparaisons internationales effectuées par le National Physical Laboratory (cf. Procès-Verbaux C. I. P. M., t. XIX, 1939, p. P 58, tableau VIII). Ces résultats ont été complètés ultérieurement et publiés dans le Report for the Year 1939 of the National Physical Laboratory, p. 37. On trouvera à l'Annexe P 2, p. P 44, un extrait du Rapport complémentaire établi par le N. P. L. en septembre 1939.

Compte tenu des variations de la valeur des lampes au cours des transports et de la précision des mesures photométriques au Bureau International, M. Terrien estime que l'incertitude des résultats des comparaisons 1950-1952 ne doit pas dépasser 0,3 %, alors que la dispersion des unités atteint environ ± 1 %.

A cette occasion, M. Terrien attire l'attention sur l'importance du nettoyage des lampes : au Bureau International, les ampoules sont nettoyées à l'alcool avant les comparaisons. On a pu mettre en évidence des changements de plusieurs millièmes dans la valeur d'étalons par le fait de leur nettoyage.

- M. le Président demande les raisons de la meilleure cohérence des résultats des comparaisons de 1950-1952.
- M. Terrier répond que ces comparaisons ont été effectuées dans des conditions bien meilleures qu'en 1948, malgré les difficultés rencontrées pour rassembler simultanément au Bureau International les étalons de tous les Laboratoires nationaux.
- M. le Président fait remarquer que la dispersion des résultats relatifs au lumen aux deux températures de couleur n'est guère supérieure à l'incertitude des mesures, et constate que les résultats obtenus apparaissent comme très satisfaisants.

Aucune observation n'étant présentée au sujet des résultats des comparaisons internationales des unités photométriques (voir Annexes P3, p. P46 et P4, p. P76), M. le Président remercie M. Terrien de son exposé et le Bureau International pour l'important travail accompli dans ce domaine.

M. Terrien demande si le Bureau International doit

adopter les unités moyennes résultant des comparaisons de 1950-1952.

- M. le Président élargissant la question, ne pense pas que l'on puisse demander, pour le moment, à un Laboratoire national de changer ses unités afin de les faire coı̈ncider avec celles des dernières comparaisons.
- M. Babbrow se déclare d'accord sur ce point; il considère que les résultats de 1952 devraient servir de base uniquement pour les étalonnages de lampes par le Bureau International.
- M. Stiles précise que les lampes anglaises et des Dominions sont étalonnées en unités nationales, à partir des étalons conservés au N. P. L.
- M. Trrrien fait alors remarquer que si l'Australie, par exemple, fait étalonner des lampes au B. I. P. M. et au N. P. L., les résultats donnés seront légèrement différents.
- M. Dziobek désire savoir si de tels étalonnages sont demandés au Bureau International.
- M. Terrier répond affirmativement, en précisant que ces demandes émanent surtout des pays qui ne possèdent pas de Laboratoire national spécialement équipé pourréaliser l'étalon primaire.
- M. Zwikker, en tant que représentant d'un tel pays, dit que la Hollande est amenée à faire étalonner des lampes en Grande-Bretagne ou en France. Dans ces conditions, peut-il appliquer des corrections qui soient officiellement admises pour avoir la valeur de ses lampes en unité moyenne?
- M. Terrien répond en faisant remarquer qu'il est préférable que les Laboratoires envoient leurs lampes au

Bureau International, où elles seront étalonnées directement en unité moyenne.

- M. Könic pense que l'unité moyenne du Bureau International a plus de poids que chaque unité nationale. Dans cet ordre d'idées, est-ce qu'à l'occasion d'une nouvelle comparaison le Bureau International change de base en modifiant les anciennes valeurs? Les autres pays font-ils de même?
- M. le Président fait remarquer que les travaux du Bureau International sur les comparaisons des unités photométriques sont assez récents et qu'il n'existe pas, en fait, d'unité ancienne.
- M. STILES est d'avis que le Bureau International doit continuer à donner ses résultats d'étalonnage comme il le fait actuellement, mais sans publier de facteurs de conversion. Seule la valeur moyenne doit être indiquée.
- M. Volet insiste sur le fait qu'il est désirable d'arriver à une unification mondiale des unités photométriques; c'est le rôle du Bureau International et du Comité Consultatif de Photométrie de poursuivre ce but. Des résultats substantiels ont déjà été obtenus, mais il faut continuer l'œuvre jusqu'à l'adoption effective d'une même unité pour tous les pays.
- M. le Président se déclare entièrement d'accord avec cet objectif final, mais il considère que les travaux ne sont pas encore suffisamment avancés pour qu'une décision soit prise actuellement. Mieux vaut attendre les nouveaux résultats qui seront obtenus après les diverses réalisations en cours de l'étalon primaire. On peut espérer qu'à ce moment les comparaisons internationales permettront de fixer des unités moyennes mieux établies.

- M. Perocca fait remarquer combien cette situation peut être comparée à celle qui se rapporterait au mêtre, si ce dernier était toujours défini en fonction du méridien terrestre; quelle valeur adopter en cas de plusieurs déterminations d'un arc de méridien?
- M. Volet relève que ce serait malheureusement une telle difficulté qui surgirait si l'on adoptait la définition envisagée du mètre en fonction des ondes lumineuses.

# Progrès dans la réalisation des étalons photométriques et normalisation des caractéristiques.

M. Terrien souligne l'intérêt que présente pour la précision des mesures photométriques une unification des caractéristiques des lampes. Déjà, en 1939, à l'occasion de comparaisons internationales, le N. P. L. avait fait remarquer qu'une meilleure précision aurait pu être atteinte si les lampes avaient été moins dissemblables. Pour les comparaisons de 1950-1952, on jugera de la diversité des types de lampes intervenus par l'examen des figures de l'Annexe P 4, p. P 100.

Un projet d'unification des caractéristiques des lampes d'intensité lumineuse a été soumis aux Laboratoires nationaux en 1947; l'Annexe P5, p. P 101, résume les réponses reçues.

A la suite de cette enquête, le Bureau International soumet à l'approbation du Comité Consultatif les spécifications suivantes :

1º Valeur de l'intensité lumineuse :

lampes à 2042°K : 15  $\pm$  4 candelas;

lampes à 2353°K : 30  $\pm$  8 candelas.

2º Tolérance sur la température de couleur nominale (voir plus loin, p. P 18).

3º Forme du culot et du filament :

culot à vis Edison; filament dans un plan; les lampes doivent fonctionner le culot en bas.

4º Différence de potentiel d'alimentation :  $\leq$  120 volts.

Ces spécifications sont adoptées.

A ce propos, l'Electrotechnical Laboratory avait fait les remarques suivantes (3):

« Suivant la recommandation adressée en 1947 par le Bureau International et concernant les caractéristiques des lampes étalons d'intensité lumineuse, l'Electrotechnical Laboratory a préparé et présenté, à l'occasion des comparaisons internationales de 1948 et de 1950, des lampes de 105±15 V; mais à cause des nombreux crochets supportant le filament, des pannes se sont produites, peut-être occasionnées à la suite des transports.

« Étant donné le but de cette recommandation, nous voulons rechercher, du point de vue de la stabilité des lampes, de leurs propriétés photométriques et de leur performance, la longueur à donner au filament et les caractéristiques de construction les plus favorables, indépendamment du potentiel électrique; nous désirons donc qu'on supprime provisoirement de cette recommandation seulement la caractéristique concernant le potentiel.

« Cependant, si le Bureau International juge nécessaire de spécifier le potentiel électrique lors des comparaisons, nous proposons que les différents pays étudient, au point de vue mentionné ci-dessus, le potentiel le plus convenable, et qu'ils préparent l'amélioration des caractéristiques des lampes avant les prochaines comparaisons internationales. »

M. AGALETZKI, au nom de l'Institut de Métrologie, souligne que les changements de caractéristiques des lampes pour les comparaisons internationales peuvent entraîner certaines difficultés. Il note toutefois que les lampes de l'Institut de Métrologie sont alimentées sous une différence de potentiel inférieure à 110 V et ont une intensité lumineuse de 18 et 37 cd; elles se trouvent ainsi satisfaire aux spécifications ci-dessus.

<sup>(3)</sup> Extrait d'un document distribué aux Membres du Comité.

- M. le Président souligne que ces spécifications concernent les étalons pour les comparaisons internationales; il est bien entendu laissé toute liberté pour l'usage interne de chaque pays.
- M. Terrien soumet aux Membres du Comité deux types d'étalons d'intensité lumineuse à 2042 et 2353° K (fig. 1 et 2) qu'il a fait établir par la Compagnie des Lampes (Mazda). La fabrication de ces lampes a été surveillée et les ampoules, en particulier, ont fait l'objet d'une sélection avant le montage; toute ampoule présentant des bulles ou des fils dans la masse du verre a été rejetée. Des étalons de flux à 2353 et 2788°K ont également été commandés. (fig. 11, Annexe P 4).
- M. STILES émet l'avis que le Bureau International devrait fournir de telles lampes pour les comparaisons internationales.
- M. Terrien reconnaît que cette proposition faciliterait grandement les comparaisons exécutées au Burcau International; ce dernier est toutefois heureux de recevoir des lampes nationales, ce qui lui permet de comparer les qualités des divers types reçus : les lampes de fabrication française qu'il vient de montrer ne sont pas forcément les meilleures.
- M. Stiles fait remarquer combien il est difficile de demander aux fabricants de passer du temps pour mettre au point des lampes photométriques spéciales, afin de satisfaire les demandes, nécessairement faibles, d'un pays seulement. M. Terrien appuie cette remarque pour ce qui concerne les fabricants français.
- M. Barbrow demande si le Bureau International peut fournir de telles lampes pour les prochaines comparaisons internationales et en quelle quantité. M. Terrien

PHOTOMÉTRIE PAGE P 16

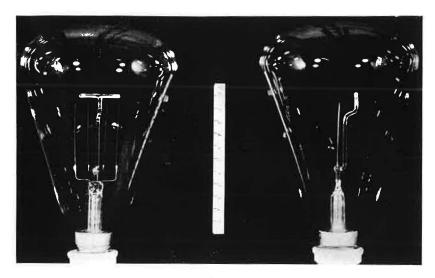


Fig. 1.

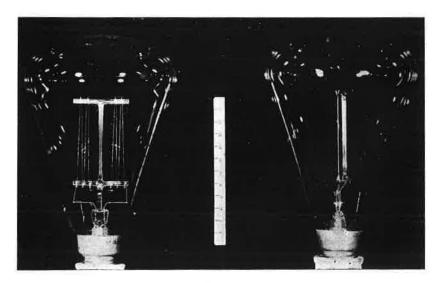


Fig. 2.



répond par l'affirmative en précisant qu'environ 80 lampes de chaque type sont actuellement disponibles.

- M. le Président pense que, dans ce cas, il faudrait répartir les demandes.
- M. Terrier invite donc chaque Laboratoire national à faire connaître ses intentions quant à une commande éventuelle de lampes françaises au Bureau International.
- M. Pirani est d'avis que les Laboratoires nationaux devraient donner l'assurance au Bureau International qu'il peut faire fabriquer une importante quantité de lampes.
- M. Zwikker appuie la remarque de M. Stiles au sujet des difficultés rencontrées dans la construction des lampes étalons et suggère que le Bureau International demande des lampes aux divers Laboratoires pour les comparer.
- M. Volet répond que cela a déjà été fait avec les dernières comparaisons internationales et que ce sont justement les enseignements de ces comparaisons qui ont conduit aux propositions précédentes.
- M. Zwikker fait remarquer que les dimensions extérieures et la forme des ampoules ne sont pas les seuls facteurs à considérer, le mode de fixation des filaments, le montage, etc., sont encore plus importants.
- M. Volet pense, de toute façon, qu'il est préférable d'avoir un type de lampe unifié pour les comparaisons internationales, sans s'interdire d'ailleurs de l'améliorer par la suite.

En conclusion de cet échange de vues, M. le Président est d'avis que les spécifications proposées doivent conduire à la fabrication de lampes permettant des comparaisons plus précises; il reste à s'assurer que les qualités de fabrication seront maintenues.

M. Volet ne peut prendre d'engagement formel sur ce dernier point; il précise en tout cas qu'il s'entoure de toutes les garanties possibles et que le Bureau International lui paraît l'organisme le plus indiqué pour centraliser les commandes de lampes étalons.

Aucune autre remarque n'étant faite, M. le Président considère que l'ensemble des propositions formulées est adopté.

### Température de couleur des étalons.

M. Terrien rappelle que les dernières comparaisons internationales ont fait apparaître des différences, atteignant jusqu'à 80 degrés, entre les températures de couleur auxquelles étaient réglés les étalons. Comme suite à la lettre-circulaire envoyée le 31 mars 1952 à tous les Laboratoires nationaux, il demande aux délégués des Laboratoires si ces dernières accepteraient, en vue d'assurer une concordance meilleure de la couleur des étalons, de régler la couleur de leurs lampes à une même température prise sur l'échelle du Bureau International, échelle fondée sur une moyenne des lampes intervenues dans ces dernières comparaisons.

M. le Président remarque que l'unification de l'échelle de température de couleur est un grand problème; si la proposition du Bureau International était acceptée, les lampes soumises à ce Bureau pour les prochaines comparaisons fonctionneraient alors â des couleurs très voisines, sans que ce réglage entraîne un bien grand changement à chaque Laboratoire national.

Cette proposition a déjà reçu l'assentiment du N. B. S.

M. Tennen précise que le Bureau International sait que les lampes reçues ne sont pas des étalons de température de couleur, mais des étalons photométriques; la proposition faite tend seulement à éviter que le Bureau International fasse des comparaisons hétérochromes qui risquent de diminuer la précision des comparaisons.

Dans ce sens, l'Institut de Métrologie a signalé que la température de couleur de ses lampes était choisie avec une précision pratique et non pas métrologique.

En particulier, « La température de couleur des lampes de flux lumineux fut choisie dans une direction, perpendiculaire à l'axe de la lampe, et non pas dans toutes les directions, comme au Bureau International. En 1948, l'échelle des températures de couleur de l'Institut de Métrologie a été précisée. Les températures de couleur des lampes qui étaient au Bureau International ont été mesurées antérieurement. Vu la question soulevée, les températures de couleur de ces lampes seront mesurées de nouveau aussitôt que ceci sera possible. En même temps l'Institut de Métrologie fait des efforts pour élever encore plus la précision de l'échelle des températures de couleur (\*) ».

M. Korte estime très désirable que toutes les lampes soumises au Bureau International pour les comparaisons aient la même couleur; il n'est, d'autre part, nullement nécessaire que la température de couleur correspondante soit correcte. Il demande également quelques précisions sur la méthode adoptée pour mesurer la température de couleur des étalons de flux, des différences de l'ordre de 10 à 20 degrés pouvant être obtenues suivant que la mesure est faite dans une sphère ou dans différentes directions de la lampe.

Après que M. Stiles eut discuté les résultats trouvés sur les étalons du N. P. L., M. Terrien précisa que les mesures du Bureau International ne prétendent pas être

<sup>(4)</sup> Extrait d'un document distribué aux Membres du Comité.

parfaites; les résultats peuvent en effet être critiqués pour des lampes dont le rayonnement diffère de celui du corps noir.

- M. Stiles est entièrement d'accord sur ce dernier point, et soutient la proposition du Bureau International.
- M. Zwikker attire l'attention sur les causes d'erreurs des mesures fondées sur l'emploi des rapports rouge et bleu jaune.

Au sujet de cette question de la température de couleur des lampes, l'Electrotechnical Laboratory avait soumis au Comité le projet suivant :

- « Comme nous pensons que l'échelle de température de couleur telle qu'on la fixe à présent dans les divers pays, présente d'assez grandes différences, ainsi que l'ont montré les comparaisons internationales de 1948, nous proposons que les Laboratoires nationaux fassent des études en vue de l'unification de l'échelle de température de couleur, au moins pour la photométrie (5) ».
- M. Nakaji ne s'explique pas la différence de température de couleur trouvée au Bureau International entre le groupe des lampes d'intensité lumineuse à 2353°K de l'Electrotechnical Laboratory et celui des lampes de flux à la même couleur (voir Annexe P 4, tableaux I, p. P 79 et II, p. P 90).
- M. Volet demande quelle est la précision des déterminations de température de couleur dans les meilleures conditions.
- M. Korte répond que cette précision peut atteindre ± 1 degré.
  - M. Terrien explique les raisons des différences

<sup>(5)</sup> Extrait d'un document distribué aux Membres du Comité.

signalées par M. Nakaji. En premier lieu, la couleur des étalons d'intensité est prise dans une seule direction, alors que pour les étalons de flux c'est une couleur moyenne observée dans toutes les directions; en second lieu, l'échelle de température de couleur des étalons d'intensité et celle des étalons de flux n'ont pas la même origine, elles sont en fait indépendantes l'une de l'autre.

M. le Président estime difficile de résoudre à ce Comité le problème de l'unification de l'échelle des températures de couleur. La question actuelle est de savoir si les Laboratoires nationaux sont disposés à accepter la méthode de réglage de la couleur des lampes, proposée par le Bureau International.

M. Nakaji remarque que les différences de température de couleur entre les groupes d'étalons nationaux ne sont pas les mêmes pour les comparaisons de 1948 et pour celles de 1950-1952, ce qui indique que les échelles de température de couleur de chaque Laboratoire national ne sont pas encore stables. Il propose, en conséquence, que chaque Laboratoire national fasse connaître la méthode qu'il emploie pour déterminer les températures de couleur et que le Comité spécifie la méthode la mieux appropriée pour fixer la couleur des étalons photométriques.

M. Terrien pense que l'adoption de la proposition du Bureau International permettrait précisément d'apporter une solution provisoire à cette question.

Il précise que la méthode adoptée au Bureau International pour le réglage de la couleur des lampes est celle du rapport rouge bleu, les observations étant faites avec un photomètre photoélectrique à cellule à vide. Pour les étalons d'intensité, les lampes sont placées sur le banc

photométrique et la couleur de leur rayonnement est observée dans la direction normale d'utilisation; pour ceux de flux, les lampes sont placées dans la sphère, et l'on observe la couleur de la fenêtre de la sphère.

C'est par des méthodes analogues que les Laboratoires nationaux pourront régler la couleur des lampes destinées au Bureau International, en les comparant à celles qui leur ont été renvoyées après les comparaisons internationales de 1950-1952, et dont la température de couleur est connue dans l'« Échelle B. I. P. M. ».

M. Stiles et M. Barbrow déclarent que le National Physical Laboratory et le National Bureau of Standards sont d'accord pour régler la couleur de leurs lampes d'après l'échelle de température de couleur moyenne du Bureau International.

# Transport des étalons photométriques.

M. Terrien expose les difficultés qu'entraîne le transport des lampes avec le maximum de sécurité et reconnaît tous les soins que les Laboratoires nationaux apportent dans ces délicates opérations.

L'expérience a montré que le transport à la main était le plus sûr moyen pour maintenir la valeur d'étalonnage des lampes; si l'on excepte le cas des dernières lampes japonaises qui ont été transportées par avion, sans être convoyées, dans une double caisse et qui n'ont subi que peu de dommages (une seule lampe sur seize a été détériorée), tous les envois non accompagnés ont plus ou moins échoué.

M. Agaletzki est également d'avis que le transport à la main est préférable.

M. le Président demande si l'on ne pourrait pas étudier un emballage spécial.

M. Terrien répond qu'on a fait quelques expériences sur un emballage avec amortisseurs de chocs; mais de tels emballages sont encombrants et ne peuvent être transportés à la main. Il faut donc choisir entre un petit colis facilement transportable à la main, ou un emballage très volumineux susceptible d'être transporté sans être convoyé, mais qui reste à mettre au point.

Il faut également penser aux formalités douanières, avec tous les risques de détériorations des étalons qu'elles comportent; c'est ainsi que les dernières lampes allemandes sont restées en douane pendant quelques temps sans que l'on ait su la façon dont elles avaient été manipulées. Pour de tels transports non accompagnés la voie aérienne paraît préférable, surtout si l'on prend toutes les dispositions pour recevoir les colis à l'aérodrome.

- M. le Président propose finalement la rédaction d'une feuille d'instructions pour le transport des étalons photométriques.
- M. Volet se demande si l'on ne pourrait pas effectuer des comparaisons sans échanger les étalons. On transporterait les cellules de mesure par exemple.
- M. Korte répond qu'une telle suggestion paraît difficilement réalisable.
- M. Perucca reconnaît la difficulté du problème du transport des lampes et signale à cette occasion le cas de lampes redresseuses expédiées d'Allemagne en Italie et reçues intactes; ces lampes étaient emballées avec des ressorts amortisseurs dans une caisse transparente. Il pense que le fait de voir des appareils fragiles dans la

caisse doit contribuer à accroître les précautions dans les manipulations.

### ORGANISATION DES PROCHAINES COMPARAISONS.

- M. le Président indique que le Bureau International propose que les prochaines comparaisons des étalons secondaires nationaux aient lieu dans deux ou trois ans; elles suivraient ainsi les travaux en cours sur l'étalon primaire.
- M. Agaletzki estime que la périodicité des comparaisons devrait être de cinq années. Il serait rationnel de prévoir les prochaines comparaisons après l'achèvement de l'étalon primaire dans tous les Laboratoires nationaux. Dans ces conditions, l'Institut de Métrologie propose la date de 1956 pour les prochaines comparaisons.
- M. le Président pense que ces comparaisons pourraient commencer en 1955 pour se terminer en 1956.
- M. Korte est d'avis qu'il faut laisser un laps de temps suffisant pour que la réalisation de l'étalon primaire soit faite dans les meilleures conditions; 1955 lui paraît une date limite.
- M. Agaletzki pense que la comparaison des étalons secondaires avec l'étalon primaire pourrait être terminée en 1954 à l'Institut de Métrologie.
- M. le Président propose finalement que les lampes soient envoyées au Bureau International au printemps de 1955 afin que les résultats définitifs puissent être communiqués au Comité International de 1956. Il rappelle à cette occasion combien le Bureau International souhaite la présence simultanée de tous les étalons nationaux au moment des comparaisons.

Après une interruption de 15 minutes, la séance est reprise à 17<sup>h</sup> 35<sup>m</sup>.

Comparaisons internationales de verres colorés.

- M. le Président donne la parole à M. Terrien pour l'exposé des résultats de ces comparaisons.
- M. Terrien ne croit pas nécessaire de s'étendre sur ces comparaisons dont les conclusions ont été communiquées aux Laboratoires nationaux. Il commente plus particulièrement les résultats de la seconde partie de ces comparaisons, où un même groupe de verres colorés a été mesuré à l'Institut d'Optique, au National Physical Laboratory et à l'Institut Électrotechnique de Turin. Les valeurs obtenues à l'Electrotechnical Laboratory viennent d'être également reçues. Un résumé de l'ensemble de ces résultats est donné à l'Annexe P7, p. P 113.

L'Institut de Métrologie qui a participé aussi à cette seconde comparaison n'a pas encore communiqué ses résultats.

- M. AGALETZKI indique que les comparaisons sont terminées, mais il ignore pour quelles raisons un rapport n'est pas encore parvenu au Bureau International.
- M. TERRIEN informe que dès leur réception, les résultats de l'Institut de Métrologie seront publiés avec ceux des Laboratoires ci-dessus.
- M. le Président constate que ces comparaisons ont conduit à une précision remarquable et que la concordance entre certains Laboratoires est très satisfaisante.
- M. Volet confirme l'intérêt de ces mesures et remercie tous les Laboratoires qui y ont participé.

M. STILES a été plus particulièrement intéressé par l'excellente concordance des résultats obtenus par les méthodes de photométrie physique, alors que ceux de la méthode par papillotement sont plutôt décevants.

Au cours d'un échange de vues auquel prennent part MM. le Président, Stiles, König et Perucca, les causes possibles des divergences entre les méthodes de photométrie physique et par papillotement sont discutées, et la question d'une révision de la courbe des efficacités lumineuses relatives monochromatiques, plus particulièrement dans le bleu, est évoquée.

M. Stiles considère que si une telle révision s'avérait nécessaire, le Comité International devrait sanctionner aussitôt les nouvelles valeurs adoptées qui auraient une répercussion sur les unités photométriques.

M. le Président fait remarquer que cette courbe est purement conventionnelle mais qu'elle peut être perfectionnée; il faut déterminer les cas où elle apparaît insuffisante. Ce problème fait l'objet d'études dont s'occupe la Commission Internationale de l'Éclairage. Le Comité International des Poids et Mesures sera appelé à sanctionner les propositions futures.

M. Terrier attire l'attention sur la proposition de l'Electrotechnical Laboratory relative à la distribution de verres colorés employés pour l'estimation des lampes étalons ayant une température de couleur autre que celle de l'étalon primaire; le texte de cette proposition est le suivant :

« Nous proposons que le Bureau International choisisse les verres bleus (par exemple ceux pouvant élever la température de couleur de 2042 à 2353°K et de 2042 à 2788°K) nécessaires pour estimer par la « méthode filtre » les lampes étalons à filament incandescent ayant une température de couleur plus

haute que celle de l'étalon primaire, et qu'il divise le même verre pour le distribuer entre les dissérents pays. Nous proposons ensuite que ces pays fassent une comparaison analogue à celle que l'on fait actuellement pour les quatre verres colorés; il serait alors possible d'obtenir un accord entre l'unité à la température de couleur de l'étalon primaire et les unités aux températures de couleur plus élevées (6) ».

M. le Président précise qu'il s'agirait d'un échange de verres bleus, dont on déterminerait les facteurs de transmission, pour le passage des étalons fonctionnant à la température de l'étalon primaire à ceux de températures de couleur plus élevées. Il demande donc au Comité s'il juge cet échange utile.

M. Korte croit qu'un tel échange a déjà eu lieu entre quatre Laboratoires nationaux; le même verre servait pour les passages de 2042 à 2353°K et de 2353 à 2788°K.

M. le Président confirme que cet échange a cu lieu par les soins de la Commission Internationale de l'Éclairage et M. Debure précise que ces quatre verres, numérotés R1 à R4 doivent se trouver : le R1 en Allemagne, le R2 en France, le R3 en Grande-Bretagne et le R4 aux États-Unis.

M. Korte pense qu'il est préférable d'employer la méthode spectrophotométrique préconisée par M. Terrien, plutôt que celle des verres bleus qui conduit à des répartitions spectrales compliquées.

M. Stiles indique qu'au cas où l'on désirerait continuer à utiliser des filtres bleus, il existe actuellement des filtres meilleurs.

M. Barbrow ne juge pas désirable de recommander de nouvelles mesures sur des filtres bleus.

<sup>(6)</sup> Extrait d'un document distribué aux Membres du Comité.

M. Pirani suggère d'autre part que l'on reconsidère la méthode qui consiste à ajouter sur l'écran photométrique un éclairement bleu fourni par une source de lumière auxiliaire (munie d'un filtre convenable) du côté de la lampe qui a la température de couleur la plus basse, au lieu d'utiliser la méthode soustractive comme on le fait à présent. L'avantage est que, par suite du « pouvoir colorant » élevé de la lumière bleue (plus de 50 fois celle du vert et du rouge pour une même intensité), l'intensité de la source auxiliaire bleue est de l'ordre de 15 % seulement de l'intensité totale pour que l'on obtienne la correction de couleur. Il suffit par conséquent de la mesurer avec une exactitude de ± 2 %, lorsque l'on recherche une exactitude de ±0,3 % pour l'intensité lumineuse de la lampe qui a la température de couleur la plus basse.

Cette méthode a été décrite et essayée dans son principe par W. Dziobek et M. Pirani (Licht und Lampe, 1931, nº 6, p. 102-103). On avait toutefois utilisé à cette époque un photomètre à papillotement pour la mesure de la source bleue auxiliaire, tandis qu'aujourd'hui on utiliserait un spectrophotomètre et des cellules photoélectriques, ainsi que l'a proposé le Bureau International des Poids et Mesures.

# Travaux photométriques du Bureau International.

M. Terrien, dans l'impossibilité d'indiquer, même brièvement, tous les travaux exécutés au Bureau International depuis 1939, se limite aux études suivantes :

1º Corrections à la loi en  $\frac{1}{d^2}$ . — La détermination de ces corrections, qui exige des mesures délicates, a permis de mettre en évidence l'influence importante de la qualité du verre des ampoules; l'absorption et la diffusion par l'air et les poussières

est également un facteur dont il faut tenir compte. Lorsque cela est possible, il vaut mieux ne pas utiliser la loi en  $\frac{1}{d^2}$ , mais se fier de préférence à la linéarité, préalablement contrôlée, de récepteurs photoélectriques; on a vérifié expérimentalement, sur des cellules du type Boutry-Gillod, que cette linéarité est assurée à quelques dix-millièmes près pour des éclairements variant dans le rapport 1 à 2, et à mieux que le millième pour des rapports de 1 à 10.

2º Correction de la sensibilité spectrale d'une cellule à l'aide de filtres interférentiels. — Un exposé sur ce travail a été présenté à la Commission Internationale de l'Éclairage de 1951 (7).

3" Essais de mesures hétérochromes par spectrophotométrie. — Le rapport sur ces mesures est reproduit à l'Annexe P 8, p. P 124.

A la suite de l'exposé sur les résultats préliminaires obtenus par cette méthode spectrophotométrique, M. le Président se demande si l'allure systématique des écarts trouvés ne pourrait pas provenir de la courbe des efficacités lumineuses relatives.

M. Stiles demande à M. Terrien s'il a calculé l'influence des différences entre la répartition spectrale de l'énergie rayonnée effectivement par une lampe et celle du corps noir donnant la meilleure identité de couleur. Il ajoute que le National Physical Laboratory a étudié une méthode spectrophotométrique similaire de celle décrite par M. Terrien, mais uniquement dans le but d'établir une échelle de température de couleur.

M. Terrien répond que l'influence signalée par M. Stiles est sans doute très faible, mais qu'il n'a pas fait de calculs; il demande à M. Stiles s'il a lui-même

<sup>(1)</sup> C. I. E., Comptes Rendus A'II Session, 1951, vol. II: Communication individuelle Ii.

une idée de l'ordre de grandeur de ces différences de répartition de l'énergie.

M. König indique qu'elles peuvent atteindre  $\pm 3\,\%$  pour des lampes présentant des dépôts de tungstène sur la paroi de l'ampoule. Il ne pense pas que l'influence dont parle M. Stiles puisse dépasser  $0,1\,\%$ .

M. AGALETZKI, en soulignant tout l'intérêt du travail hautement scientifique de M. Terrier qui permet d'envisager une plus grande exactitude dans les comparaisons photométriques, indique que l'Institut de Métrologie utilise un procédé spectrophotométrique à peu près analogue pour les mesures de température de couleur. D'autre part, cet Institut termine actuellement la mise au point d'un « œil moyen » qui permettra de contrôler, dans de meilleures conditions, le procédé spectrophotométrique de mesure des sources hétérochromes; en outre, il achève les préparatifs pour le passage hétérochrome à l'aide de ce procédé fondamental (\*).

M. le Président remercie M. Terrien de son exposé et le Bureau International pour l'importance du travail qu'il a accompli depuis la création de sa section de photométrie.

M. Volet ajoute que ces remerciements doivent s'adresser aussi aux Laboratoires nationaux qui ont fait profiter le Bureau International de leur expérience dans ce domaine.

<sup>(8)</sup> Cette intervention reproduit une partie d'un document qui avait été distribué aux Membres du Comité Consultatif de Photométrie. Pour plus de détails sur les travaux en cours à l'Institut de Métrologie, voir Travaux de l'I. M., 1952, vol. 17 (77), p. 3 à 16, 17 à 46.

# Projet de névision du règlement du Comité Consultatif de Photométrie.

M. Volet expose la situation du Règlement actuel, et sollicite l'avis des Membres du Comité afin de soumettre les opinions et suggestions recueillies au Comité International.

Il propose de recommander la nomination de M. Perucca comme Membre du Comité en remplacement de M. Bordoni, décédé, et demande que des propositions soient faites pour le cas où le Comité International déciderait de nommer d'autres Membres experts.

M. le Président émet le vœu que ces propositions soient transmisés directement à M. le Directeur du Bureau International.

# QUESTIONS DIVERSES.

- M. STILES communique au Comité les résultats d'une intercomparaison de lampes à vapeur de mercure, effectuée entre le National Physical Laboratory et le National Bureau of Standards (voir Annexe P9, p. P. 134). Ces résultats ne sont pas aussi discordants qu'on pouvait le penser.
- M. Volet remercie M. Stills pour cette intéressante communication, mais il se demande si l'examen de telles comparaisons rentre dans les attributions du Comité Consultatif.
- M. Stiles répond qu'il a communiqué ces résultats à titre d'information.
- M. le Président juge que cette question mérite un examen attentif; c'est un cas particulier et intéressant de photométrie hétérochrome.

- M. Barbrow indique que des lampes à vapeur de mercure sont utilisées comme étalons photométriques au National Bureau of Standards.
- M. le Président pense que c'est sculement lorsqu'un Membre du Comité International en aura fait la proposition que ce nouveau problème pourra être étudié par le Bureau International.
- M. STILES estime en effet que c'est une question qui se pose pour l'avenir.
- M. Korte rappelle que la Commission Internationale de l'Éclairage a recommandé d'établir des lampes étalons à vapeur de mercure. Il demande à M. Stiles s'il a employé des lampes construites spécialement; les lampes de fabrication allemande, par exemple, varient de quelques pour cent.
- M. Stiles répond que les lampes retenues pour ces comparaisons ont été choisies dans un lot de lampes commerciales.
- M. Zwikker rappelle qu'il a déjà écrit à M. Volet au sujet du problème de la photométric des lampes fluorescentes; il lui a été répondu que ce problème nouveau pourrait être pris en considération par le Bureau International après que la Commission Internationale de l'Éclairage aura elle-même fait quelques études preliminaires. M. Zwikker pense donc qu'une même réponse pourrait être faite pour la Note du National Physical Laboratory qui est plutôt du ressort de la Commission Internationale de l'Éclairage pour le moment.
- M. Volet précise que si le Comité International considère que le Bureau International doit s'occuper de la photométrie des lampes à décharge, il s'équipera en vue de telles comparaisons.

M. le Président attire l'attention sur les changements de définitions proposés en 1951 par la Commission Internationale de l'Éclairage. A ce sujet, M. Terren signale que le mot luminance (en remplacement de « brillance » ) a été employé par le Comité Consultatif de Thermométrie. Le mot émittance a également remplacé celui de « radiance ».

M. Stiles rappelle la question soulevée par M. Nakaji demandant que le problème de l'unification de l'Échelle des températures de couleur soit considéré par le Comité International, et pense que l'on pourrait proposer un échange d'étalons de température de couleur.

M. le Président appuie cette proposition.

M. Pirani croit que, dans ce cas, il faudrait construire des lampes spéciales de fabrication bien étudiée.

M. Terrien considère que si le Bureau International devait être chargé de ce travail, il faudrait savoir quel en serait le profit pour les Laboratoires nationaux.

M. le Président est d'avis de demander aux divers Laboratoires nationaux de fournir un rapport, afin de connaître leur point de vue sur cette question.

M. Zwikker considère, au contraire, que le Bureau International devrait préciser dans quel sens il pourrait faire quelque chose, pour que le Comité Consultatif de Photométrie soumette ensuite une proposition au Comité International.

M. le Président insiste pour obtenir au préalable les Rapports des Laboratoires nationaux. M. Stiles pense qu'il est difficile de donner dès maintenant une réponse catégorique.

Au sujet de la publication dans les *Procès-Verbaux* des divers documents distribués aux Membres du Comité, M. le Président propose de laisser à M. Volet le soin de décider. Chaque Membre recevra en outre une épreuve du compte rendu de la séance.

Aucun délégué ne demandant la parole, M. Zwikker, au nom de tous ses collègues, remercie M. le Président Fleury de l'amabilité avec laquelle il a dirigé les discussions.

M. le Président remercie à son tour ses collègues et déclare close la session du Comité Consultatif de Photométrie.

La séance est levée à 18h55m.

## TROISIÈME RAPPORT

DU

## COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMÉTRIE

AU

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES.

Par H. KORTE, Rapporteur.

Le Comité Consultatif de Photométrie a tenu sa troisième session au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, le lundi 30 juin 1952, sous la présidence de M. le Professeur P. Fleury.

Étaient présents: MM. Agaletzki, Barbrow, Dziobek, Korte, Pirani, Nakaji, Stiles, Volet, Zwikker, Membres du Comité; MM. Debure, Kolossov, experts; MM. Alessine, König, Perucca, Bonhoure, Terrien, Moreau, Thulin, Leclerc, invités.

M. E. C. CRITTENDEN, Président du Comité Consultatif, étant empêché d'assister à la séance, M. Sears a prié M. Fleury d'assumer les fonctions de Président à cette session.

M. Korte fut désigné comme Rapporteur et M. Moreau comme Secrétaire.

## TRAVAUX SUR L'ÉTALON PRIMAIRE.

En Allemagne, en France, en Grande-Bretagne, au Japon, en U. R. S. S., des travaux sont en cours sur

l'étalon primaire. En France, le Conservatoire National des Arts et Métiers vient d'achever une nouvelle détermination. Il a trouvé pour la luminance de l'étalon primaire 58,82 ± 0,035 bougies internationales par centimètre carré. Cette valeur résulte de 32 mesures en employant neuf lampes conservées en France.

A l'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S., l'étalon primaire fut également réalisé en 1946. Une nouvelle réalisation est prévue pour 1954.

Les Laboratoires auront besoin de deux ans environ pour se trouver à même de baser des valeurs photométriques sur une nouvelle étude de l'étalon primaire. Les prochaines comparaisons internationales envisagées pour le printemps de 1955 seront donc fondées sur de récentes mesures du corps noir.

Examen des résultats des comparaisons photométriques de 1948 et de 1952.

On trouve ces résultats à la figure 1, qui donne la valeur relative des unités réalisées dans les divers Laboratoires nationaux, la moyenne desquelles fut prise comme unité.

L'unité moyenne diffère légèrement des unités nationales. Si quelqu'un demande au Bureau International et à un laboratoire national l'étalonnage d'une lampe, celle-ci représentera deux unités différentes.

Il semble désirable d'arriver à une unification mondiale des unités photométriques, mais en ce moment les travaux ne sont pas encore suffisamment avancés pour permettre de prendre une décision à ce sujet. Il faut attendre de nouveaux résultats.

On est d'accord pour que le Bureau International

prenne la moyenne des unités nationales comme base de ses étalonnages.

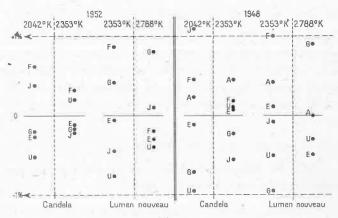


Fig. 1.

A, Allemagne; E, États-Unis d'Amérique; F, France; G, Grande-Bretagne; J, Japon; U, U. R. S. S.

Progrès dans la réalisation des étalons photométriques. Normalisation des caractéristiques des lampes étalons.

L'incertitude de la moyenne des unités représentées par les divers Laboratoires nationaux est de 0,2 à 0,3 %; il y a pour cela plusieurs raisons. L'une d'elles est la différence entre les caractéristiques des lampes envoyées.

Le Bureau International a proposé quelques spécifications à adopter pour les lampes destinées aux comparaisons internationales.

Il a aussi demandé par écrit l'opinion des Laboratoires nationaux à ce sujet. A la suite de cette enquête et après une courte discussion, le Comité Consultatif recommande l'adoption des spécifications suivantes :

1º Valeur de l'intensité lumineuse :

lampes à 2042°K :  $15 \pm 4$  candelas; lampes à 2353°K :  $30 \pm 8$  candelas.

2° Tolérance sur la température de couleur nominale :

pour chaque type d'étalon, les Laboratoires nationaux sont invités à régler les lampes choisies pour les comparaisons internationales, sur une température de couleur unique prise dans l'échelle du Bureau International, échelle arbitraire fondée sur une moyenne des lampes envoyées.

3º Forme du culot et du filament :

culot à vis Edison; filament dans un plan; les lampes doivent fonctionner le culot en bas.

4° Différence de potentiel d'alimentation : ≤ 120 volts.

Le Bureau International a fait exécuter quelques séries de lampes destinées les unes à l'intensité lumineuse, les autres au flux lumineux, fonctionnant aux températures de couleur 2042, 2353 ou 2788°K. Ces lampes sont fabriquées avec beaucoup de soin et le Bureau estime qu'elles pourraient donner satisfaction pour les comparaisons futures. Chaque laboratoire national peut en acheter.

## Température de couleur des étalons.

Les étalons envoyés au Bureau International ont présenté des différences de température de couleur suffisamment importantes pour créer des difficultés lors des mesures, surtout dans une sphère d'Ulbricht.

Le Bureau a déterminé la température de couleur de tous les étalons envoyés, dans une échelle arbitraire fondée sur la moyenne des échelles représentées par ces étalons. Chaque Laboratoire national connaît ainsi l'écart entre cette échelle moyenne et sa propre échelle.

Les lampes pour le flux présentent une petite difficulté, étant donné que leur température de couleur dépend un peu de la méthode de mesure.

Le Comité Consultatif est d'accord pour estimer désirable que toutes les lampes soumises au Bureau International pour les comparaisons possèdent la même température de couleur.

## Transport des étalons photométriques.

Le transport des lampes soulève des problèmes qui ne sont pas encore résolus. Le transport accompagné est le meilleur. Mais, si cela n'est pas possible, il semble que la voie aérienne soit à préférer, à condition que toutes les dispositions nécessaires aient été prises pour assurer la délivrance des colis à l'aérodrome. On suggère que le Bureau International rédige une feuille d'instructions pour le transport des étalons photométriques.

## ORGANISATION DES PROCHAINES COMPARAISONS.

Le Comité Consultatif est d'accord pour recommander que la prochaine comparaison soit effectuée seulement après une nouvelle réalisation de l'étalon primaire dans les grands Laboratoires. Le printemps 1955 semble être une date acceptable. Les résultats définitifs pourront alors être communiqués au Comité International de 1956.

## Comparaison internationale de verres colorés.

Les comparaisons de quelques jeux de verres colorés effectuées jusqu'ici seront continuées. On utilisera un seul et même groupe, qui sera mesuré par les divers Laboratoires. De cette façon, on obtiendra des résultats plus facilement comparables.

Un autre problème est l'échange de verres bleus capables d'élever la température de couleur de 2042 à 2353°K, et de 2042 ou 2353 à 2788°K. Ces verres sont nécessaires pour la mesure photométrique, par la « méthode du filtre », des lampes étalons à filament incandescent ayant une température plus haute que celle de l'étalon primaire. On ne recommande pas d'échanger de tels verres. Il semble préférable de confronter les résultats d'expériences par la méthode spectrophotométrique proposée par le Bureau International, car celle-ci représente un progrès.

TRAVAUX PHOTOMÉTRIQUES DU BUREAU INTERNATIONAL.

Le Bureau a fait des travaux importants pour améliorer l'exactitude des mesures photométriques et surtout des mesures hétérochromes. Plusieurs grands Laboratoires vont employer ces méthodes (avec quelques modifications de détail). Les récepteurs utilisés sont des cellules Boutry-Gillod, qui donnent une relation linéaire excellente entre le courant photoélectrique et le flux lumineux. Cette linéarité est vérifiée à quelques dix-millièmes près, pour des éclairements variant dans le rapport de 1 à 2 et à mieux que le millième pour des rapports de 1 à 10.

Un rapport a déjà été présenté à la réunion de la Commission Internationale de l'Éclairage de 1951, sur la correction de la sensibilité spectrale d'une cellule à l'aide de filtres interférentiels.

Projet de révision du Règlement du Comité Consultatif de Photométrie.

Le Comité Consultatif de Photométrie approuve l'idée

d'une révision de son Règlement par le Comité International.

## QUESTIONS DIVERSES.

On a parlé de la photométrie des lampes à décharge, question qui se posera à l'avenir.

Le Comité Consultatif recommande un échange d'étalons de température de couleur.

On est d'accord pour proposer au Comité International la nomination de M. Perucca, comme Membre du Comité Consultatif, en remplacement de M. Bordoni, décédé.

#### ANNEXE P 1.

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

## RÉALISATION DE L'ÉTALON PRIMAIRE D'INTENSITÉ LUMINEUSE

Désireux d'établir au Laboratoire d'Essais une nouvelle échelle des valeurs des grandeurs photométriques, nous avons procédé, pendant les années 1950 et 1951, à la réalisation d'un étalon primaire d'intensité lumineuse. Le radiateur intégral fonctionnant à la température de solidification du platine a été réalisé sous une forme voisine de celle qui a été conçue par le National Bureau of Standards de Washington, en observant les spécifications décrites dans les Procès-Verbaux du Comité International des Poids et Mesures de 1931, t. XIV, p. 249.

Les divers éléments réfractaires, creusets, couvercles et tubes de visée, en thorine fondue, ont été fabriqués au Laboratoire d'Essais. La thorine fut préparée et purifiée suivant la méthode décrite par les physiciens du N. B. S.

Le platine, purifié par le Comptoir Lyon-Alemand à Paris, présente un degré de pureté tel que  $\frac{R_{100}}{R_0}=1,3916$ . La pureté finale du lingot de platine ayant servi aux mesures définitives, a été éprouvée en déterminant également le coefficient de température  $\frac{R_{100}}{R_0}$  de la résistance; la valeur obtenue (1,3903) permet de considérer comme négligeable la contamination du métal par nos creusets au cours de 50 fusions.

Le facteur de transmission du système optique a été déterminé par la méthode de l'éclairement ( $\tau=0.756_1$ ). Le photomètre utilisé était le photomètre visuel à cube de Lummer-Brodhun.

La luminance du radiateur intégral a été déterminée en fonction de la « bougie internationale », par comparaison avec neuf lampes du groupe ayant conservé en France, jusqu'en 1948, l'unité d'intensité lumineuse. Le résultat finalement adopté, moyenne de 32 déterminations, est 38,82 « bougies internationales » par centimètre carré, valeur considérée correcte à 0,6 % environ. Ce résultat s'accorde avec celui obtenu par le Professeur Ribaud (58,78) en 1933 (*Procès-Verbaux du C. I. P. M.*, t. XVI, 1933, p. 261).

Un rapport détaillé de notre travail sera publié très prochainement par les soins de la Reque d'Optique.

Un nouveau lingot de platine est en cours de purification. Il permettra de préparer un second radiateur intégral et de rechercher les moyens susceptibles d'accroître la précision des mesures.

Note complémentaire. — Le résultat ci-dessus a été exprimé en fonction de l'ancienne « bougie internationale » dans le seul but de comparer notre résultat à celui obtenu par le Professeur Ribaud en 1933.

Pour ce qui concerne les étalons d'intensité lumineuse à filament de carbone représentant l'unité française, et dont une partie a été remise au Bureau International des Poids et Mesures pour participer aux comparaisons internationales de 1950-1952, leur valeur a été obtenue par comparaison directe à l'étalon primaire (corps noir) dont la luminance est par définition de 60 cd/cm<sup>2</sup>.

#### ANNEXE P 2.

#### National Physical Laboratory.

### RÉSUMÉ

DU

## DEUXIÈME RAPPORT SUPPLÉMENTAIRE

SUR

## L'INTERCOMPARAISON DE LAMPES ÉTALONS

POUR

## LE COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES (ÉTALONS D'INTENSITÉ LUMINEUSE)

Ce rapport supplémentaire (1), qui fait normalement suite à l'Annexe P5 publiée dans les Procès-Verbaux du Comité International des Poids et Mesures, t. XIX, 1939, p. P49 à P63, donne les résultats des comparaisons effectuées en 1939 au National Physical Laboratory sur les deux groupes de six étalons d'intensité lumineuse à 2042 et à 2353° K, soumis par l'Electrotechnical Laboratory de Tokyo pour participer à l'intercomparaison décidée par le Comité International des Poids et Mesures (Procès-Verbaux, t. XVIII, 1937, p. 239).

A la suite de ces comparaisons complémentaires, le tableau VIII de l'Annexe P5 précitée doit être remplacé par le tableau ciaprès qui donne, pour chaque température de couleur, la

<sup>(1)</sup> Rapport PHOT. 284.16-68, septembre 1939; reçu au Bureau International des Poids et Mesures en septembre 1950.

valeur relative de la candela telle qu'elle a été réalisée dans chacun des cinq Laboratoires nationaux, la moyenne des cinq valeurs étant prise comme unité.

## Valeur relative de l'unité d'intensité lumineuse (1939).

	Can	dela.
	2042°K.	2353°K.
Allemagne (P. T. R.)	0,9964	0,9931
Etats-Unis d'Amérique (N. B. S.)	0,9990	0,9994
France (L. C. E.)	1,0061	0,9972
Grande-Bretagne (N. P. L.)	1,0016	1,0018
Japon (E. T. L.)	0,9968	1,0084

#### ANNEXE P 3.

#### Bureau International des Poids et Mesures.

#### RAPPORT

SUR LA

## PREMIÈRE COMPARAISON DES ÉTALONS NATIONAUX D'INTENSITÉ ET DE FLUX LUMINEUX (1)

(1948)

Par J. TERRIEN et H. MOREAU.

Conformément au paragraphe 5 de la Résolution adoptée par le Comité International des Poids et Mesures de 1946 (Procès-Verbaux, 2º série, t. XX, p. 121), qui précisait entre autres que : « Les valeurs assignées aux étalons secondaires (photométriques) conservés au Bureau International et dans chacun des Laboratoires nationaux, seront exprimées au moyen de l'unité moyenne telle qu'elle aura été déterminée dans tous les Laboratoires où l'étalon primaire aura été réalisé », le Bureau International des Poids et Mesures a procédé, de juillet à octobre 1948, à l'intercomparaison des étalons secondaires d'intensité et de flux lumineux des six Laboratoires nationaux représentés au Comité Consultatif de Photométrie, auxquels ont été adjointes quelques lampes appartenant au Bureau International.

<sup>(1)</sup> Ce Rapport rassemble les deux Rapports polycopiés d'avril 1949 et d'avril 1951 qui ont été adressés à tous les Membres du Comité International des Poids et Mesures, du Comité Consultatif de Photométrie et aux Laboratoires nationaux intéressés.

TABLEAU I. — Liste des lampes ayant participé aux comparaisons.

Tableau I. - Liste des lampes ayant participé aux comparaisons (suite).

Flux lumineux.	67	Ø 16 Ø 12 Ø 19	nars Certificat du 12 juillet 1948.  Lampes reçues au B. I. P. M. le 13 juillet 1948; retournées au C. N. A. M. le 12 novembre 1948; rap- portées au B. I. P. M. (sauf Ø 14) le 8 décembre 1948.	1939 195 A N.P.L. 1948 194 A N.P.L. 1948 1939 195 C N.P.L. 1948 194 B N.P.L. 1948 1930 195 C N.P.L. 1948 194 C N.P.L. 1948 195 D N.P.L. 1948 194 C N.P.L. 1948 195 D N.P.L. 1948 194 E N.P.L. 1948 195 F N.P.L. 1948 194 F N.P.L. 1948	sau Certificats du 27 septembre 1948. Lampes reçues au B. I. P. M. le 20 sep- illet tembre 1948; retournées au N. P. L. le le 21 octobre 1948.
Intensité lumineuse.	K.	C 994 W J 71 C 994 W J 73 C 997 W J 77 C 99 W J 80 C 102 W J 82	Certificats nos 59545 et 59546 du 1er mars 1939. Lampes reçues au B. I. P. M. en mars 1939.	2860° K. 189 F.N.P.L. 1939 190 D.N.P.L. 1939 189 I.N.P.L. 1939 190 F.N.P.L. 1939 189 L.N.P.L. 1939 190 N.N.P.L. 1939	Certificats de septembre 1939 (reçus au B. I. P. M. le 18 octobre 1948).  Lampes reçues au B.I. P. M. le 12 juillet 1945; retournées au N. P. L. le 21 octobre 1948.
	Origine.	FRANCE. Groupes L. C. E. et C. N. A. M.	(Laboratoire Central d'Électricité.) (Conservatoire National des Arts et Métiers.)	GRANDE-BRETAGNE. Groupes N. P. L.	(National Physical Laboratory.)

Tableau I. - Liste des lampes ayant participé aux comparaisons (fin).

	Intensité	Intensité lumineuse.		Flux lumineux	nineux	
Origine.	2046° K.	2360° K.	236	2360° K.	2800° K.	
	DS-4799	DS-4706	DS-1	DS-T 4707 P	Pas de lampes reçues	
JAPON.	DS-4728	DS-4709	DS-J	DS-T 4708	à cette tempéra-	
	DS-4729	DS-4710	DS-1	DS-T 4710	ture de couleur.	
Groupes E. T. L.	DS-4726	DS-4705	DS-1	DS-T 4708		
(Electrotechnical Labora-	Certificat du 15 o	Certificat du 15 octobre 1947; lampes reçues au B. I. P. M. (via le N. B. S.) le	eçues au B.	I. P. M.	(via le N. B. S.) le	
tory.)	5 mars 1948; r	5 mars 1948; retournées (sauf DS-4729) à l'E. T. L. (via le N. B. S.) le	4729) à l'E.	T. L. (v	ia le N. B. S.) le	
	ro novembre 1948.			18		
	2046° K.	2355° K.	235	2355° K	2800° K.	_
	1-7	2-16)	$\pi$ -1-63		$\pi$ -1-75 )	r
	$1-8 \ \langle (a)$	$2-17 \left\{ (a) \right\}$	$\pi$ -1-67	$\langle a \rangle$	$\pi$ -4-76 $\langle (a) \rangle$	49
U. R. S. S.	1-9	9-18	π-1-68		$\pi$ -1-77	_
	1-10)	9-5	$\pi$ -1-64		π-1-73)	
Groupes I. M.	1-11 (6)	$2-3 \ \langle (b) \rangle$	$\pi$ -1-65	(9) }	$\pi$ -1-74 $(b)$	
(Institut de Métrologie,	1-12)	9-2	$\pi$ -1-66	1	π-1-79 )	
D. I. Mendeléev.)	Certificats du 6 r	Certificats du 6 mars 1948; lampes reçues au B. I. P. M. le 12 mai 1948; les	çues au B.	[, P. M. ]	e 12 mai 1948; les	
	lampes des grou	lampes des groupes (a) ont été retournées à l'I. M. le 27 octobre 1948; celles	urnées à l'I.	M. le 27 c	octobre 1948; celles	
	des groupes (b)	des groupes (b) sont restées en dépôt au B. I. P. M.	t au B. I. P.	M.		
	2046° K.	2360° K	236	2360° K.	2800° K.	
Groupes B. I. P. M.	SC1a	SV 2 a )				
(Bureau International des	SC 19 2	SV3a	Z	Néant	Néant	
Poids et Mesures.)	3	30.40				

On doit toutefois noter que les conditions dans lesquelles ont été effectuées ces comparaisons n'étaient pas les meilleures. Quelques groupes de lampes étaient en dépôt au Bureau International depuis 1939; les autres ont été remis au Bureau International à des dates diverses, certains ne parvenant même à Sèvres qu'au cours des comparaisons.

La liste complète des lampes qui ont participé à cette première comparaison internationale est donnée dans le tableau I.

#### I. - NOTE SUR L'EXÉCUTION DES COMPARAISONS.

#### A. - ETALONS D'INTENSITÉ LUMINEUSE A 2046 ET 23600 K.

#### 1. Schéma des comparaisons.

Les comparaisons ont été exécutées du 22 au 30 juillet 1948 pour les lampes fonctionnant à la température de couleur de 2046° K, et du 2 au 9 août 1948 pour les lampes à 2360° K. A chaque température de couleur quatre séries de comparaisons ont été effectuées sur des groupes constitués comme suit :

ler groupe.	2º groupe.	3° groupe.	4º groupe.
B. I. P. M.			
E. T. L.	P. T. R.	E. T. L.	P. T. R.
N. P. L.	I. M.	I. M.	N. P. L.
L. C. E.	N. B. S.	N. B. S.	L. C. E.

Dans chaque série les lampes étaient mesurées une première fois dans un certain ordre, et une seconde fois dans l'ordre inverse. Les lampes du Bureau International qui intervenaient dans toutes les séries constituaient ainsi une base de référence provisoire.

# 2. Indications sur les appareils et la méthode de comparaison.

## a. Appareils (2). — Les comparaisons des étalons d'intensité

<sup>(2)</sup> Les caractéristiques essentielles de l'installation photométrique du Bureau International sont données dans les *Procès-Verbaux du Comité International des Poids et Mesures*, 2° série, t. XIX, 1939.

lumineuse ont été effectuées sur le banc photométrique de 4,5 m du Bureau International. La position des chariots supportant les lampes et le photomètre est repérée par un index qui se déplace devant une règle divisée en millimètres et dont on observe, sur un verre dépoli, une image grossie deux fois; la précision de lecture des déplacements est de l'ordre de 0,1 mm.

La mise en place des lampes s'effectuait, en général, par l'observation de l'ombre d'un fil à plomb éclairé par le filament incandescent de la lampe à l'étude; cette ombre était amenée en coïncidence avec un trait-repère tracé sur un écran mural fixe.

Les lampes qui fonctionnaient en rotation étaient montées sur un support rotatif, comportant essentiellement un axe vertical muni à son extrémité supérieure d'un plateau circulaire pourvu de quatre couronnes en laiton nickelé plongeant dans quatre rainures remplies de mercure; la rotation de l'axe est assurée par un petit moteur électrique de vitesse réglable.

Toutes les mesures ont été faites au moyen d'un photomètre photoélectrique (3), construit au Bureau International, muni d'une photopile au sélénium (marque « L. A. P. » ou « B. Lange S 60 » avec filtre correcteur).

L'alimentation électrique des lampes était assurée par une batterie' d'accumulateurs d'une capacité de 120 ampères-heure. Avant chaque série, et durant les changements de lampe, les accumulateurs débitaient dans un circuit auxiliaire, afin de maintenir un régime de décharge aussi stable que possible; pour la même raison, la lampe tare était allumée quelque temps avant le début des mesures.

Le réglage de l'alimentation des lampes était effectué au moyen de rhéostats à plots, robustes et précis, pouvant supporter 75 A et permettant une variation de résistance par paliers de 0,1  $\Omega$ ; le réglage final était obtenu par des rhéostats à plaques de graphite empilées.

La différence de potentiel aux bornes des lampes était réduite dans un rapport  $\frac{I}{100}$  par un réducteur de tension, et les mesures électriques effectuées au moyen du potentiomètre à cinq décades, construit spécialement. L'intensité du courant était déterminée

<sup>(3)</sup> Comptes Rendus des Séances de la Société Française de Physique (J. Phys., t. 6, 1945, série VIII, p. 18 S).

par la mesure de la différence de potentiel aux bornes d'un ohm étalon placé dans le circuit d'alimentation.

- b. MÉTHODE DE COMPARAISON. On a utilisé la méthode de substitution à éclairement constant, par déplacement de l'ensemble « tare-photomètre » : la photopile était alternativement exposée au rayonnement de la lampe étalon et d'une lampe tare, placée à une distance constante du photomètre durant toutes les comparaisons à une même température de couleur (cette distance était de 0,945 m pour les lampes à 2046° K, et de 1,11 m pour celles à 2360° K, correspondant respectivement à un éclairement de 15 et 20 lux sur la photopile). Les égalisations photométriques étaient faites par une méthode de « zéro », qui permet ainsi d'utiliser les cellules au sélénium dans les meilleures conditions; chaque mesure sur une lampe comportait deux observations, la seconde étant effectuée après rotation du photomètre d'un demitour autour de son axe vertical.
- c. Température de couleur. Une estimation rapide des différences de température de couleur entre les lampes étalons d'intensité lumineuse a montré que les écarts individuels restaient inférieurs à ±15 degrés environ, sauf pour les étalons à 2360° K du L. C. E. qui étaient à une température de couleur environ 40 degrés plus élevée que la moyenne des autres lampes.

Aucune correction n'a toutefois été appliquée aux comparaisons pour tenir compte de ces différences de couleur, le terme correctif étant de l'ordre de 0,1 % pour une différence de température de 30 degrés.

Pendant toutes les comparaisons la température ambiante moyenne était de 19,5 °C, et le degré hygrométrique compris entre 0,57 et 0,68.

La durée totale d'allumage de chaque lampe au cours de ces comparaisons a été de l'ordre de 30 minutes.

## B. ÉTALONS DE FLUX LUMINEUX A 2360 ET 2800° K.

## 1. Schéma des comparaisons.

Par suite de l'arrivée tardive au Bureau International de certaines lampes, les comparaisons des étalons de flux se sont échelonnées de juillet à octobre 1948 et n'ont pu être effectuées d'une facon aussi complète et systématique que celles des étalons d'intensité. Les tableaux suivants indiquent la répartition des groupes de lampes au cours des différentes séries.

2º série.

2360° K. 2800° K.

3º série.

2800° K.

2360° K.

1re série.

2800° K

2360° K.

4000° K.	2000° IL.	2000 12.	2000 11.	2.000° IL.	2000° IX.	
I. M.	C. N. A. M.	E. T. L.	J. M.	I. M.	C. N. A. M.	
C. N. A. M.	N. B. S.	N. B. S.	N. B. S.	C. N. A. M.	N. B. S.	
N. B. S.	I. M.	C. N. A. M.	C. N. A. M.	N. P. L.	I. M.	
E. T. L.		I. M.		N. B. S.		
		7.1		E. T. L.		
		Séries de r	attachement.			
2360	K.	280	0° K.	2800° K.		
	e comparai- rois lampes M.G. aux	sons des q	e comparai- uatre lampes . M. G. aux	raisons d	s de compa- es six lampes P. L. aux	
DS-T 4710 2008 ( N		,	N. B. S.)	$\pi - 1 - 7$	4 et 5 (I. M.)	
π-1-68 (	,	71-10	(1. 112.)		15 (N.B.S.)	
195 E. (I	N. P. L.)			483 (D.	A. M. G.)	

Dans chaque série les lampes étaient mesurées une première fois dans un certain ordre, et une seconde fois dans l'ordre inverse.

# 2. Indications sur les appareils et la méthode de comparaison.

a. Appareils. — Les étalons de flux lumineux ont été comparés photoélectriquement dans une sphère de 1,54 m de diamètre, blanchie intérieurement avec une peinture obtenue en diluant de l'oxyde de zinc dans une solution légère de gélatine; toutes les lampes étaient placées au centre de la sphère, le culot en haut; la fenêtre d'observation, constituée par un disque de verre doublé, dépoli sur les deux faces, de 8 cm de diamètre, était protégée du rayonnement direct par un écran de 16 cm de diamètre, placé à 48 cm d'elle.

On a utilisé le photomètre photoélectrique déjà mentionné aux comparaisons d'intensité lumineuse (photopiles au sélénium « LAP », « B. Lange S 60 » avec filtre correcteur, ou « EEL »).

Le photomètre était rendu solidaire de la fenêtre de la sphère par un accouplement approprié; la distance entre le plan récepteur de la photopile et la fenêtre d'observation était de 20,5 cm.

Les circuits électriques étaient les mêmes que précédemment, mais les courants d'intensité supérieure à 1,5  $\Lambda$  ont été mesurés au moyen d'une résistance étalon de 0,1  $\Omega$ .

b. Méthode de comparaison. — L'éclairement reçu par la photopile, en provenance de la fenêtre d'observation de la sphère, était comparé à l'éclairement fourni par une lampe que l'on déplaçait sur le banc photométrique, jusqu'à reproduire le même courant photoélectrique. La position finale de cette lampe mobile était notée et l'on en déduisait sa distance au photomètre.

Ces distances, après quelques corrections, ont servi à calculer, par application de la loi en  $\frac{1}{d^2}$ , les rapports des flux lumineux des lampes.

Chaque mesure sur une lampe comportait deux égalisations photométriques, qui étaient répétées dans la seconde moitié de la série après rotation d'un demi-tour du photomètre autour de son axe vertical.

- c. Connections appontées aux observations. Trois corrections ont été appliquées aux distances mesurées comme il est dit ci-dessus :
- 1º Correction de température de couleur. Lorsque les lampes placées dans la sphère n'ont pas exactement la même température de couleur, l'ensemble « sphère + photopile » surestime la lampe à la température de couleur la plus élevée; une correction de 0,14 % par 10 degrés d'écart de température de couleur, déduite d'observations sur des lampes étalonnées à 2360 et 2800° K, a été appliquée à la moyenne de chaque groupe de lampes d'après la température moyenne de ce groupe (voir § d).
- 2º Correction à la loi en  $\frac{1}{d^2}$ . L'éclairement reçu par la photopile en provenance de la lampe mobile ne suit pas exactement la loi en  $\frac{1}{d^2}$ ; on a admis qu'il variait comme  $\frac{1}{d^2}\left(1-\frac{\varepsilon}{d^2}\right)$ , avec  $\varepsilon = +42$ ,1 cm<sup>2</sup>.

Cette valeur de s a été déterminée d'après les résultats d'une série d'égalisations d'éclairement entre deux lampes d'intensité différente, mais de caractéristiques géométriques analogues, pour des distances comprises entre 0,65 et 3,4 m.

3º Correction due à la présence de la lampe dans la sphère. — Une lampe auxiliaire étant allumée dans la sphère, on a déterminé l'absorption supplémentaire produite par l'introduction dans la sphère de la lampe à l'étude; cette correction d'absorption a été trouvée comprise entre 0,1 et 0,4 % suivant les types de lampes.

d. Contrôle des températures de couleur. — La comparaison approximative des températures de couleur des étalons de flux lumineux a été effectuée rapidement par la méthode du rapport vert rouge, au moyen d'un récepteur photoélectrique linéaire comportant une cellule à vide au césium précédée d'un filtre absorbant l'infrarouge. Les lampes étaient allumées successivement dans la sphère et l'on déterminait, pour chacune d'elles, le rapport des déviations du galvanomètre lorsque le rayonnement de la fenètre était filtré par un écran Wratten nº 61 (vert) et par un écran Wratten nº 29 (rouge). Ce rapport vert rouge est une fonction approximativement linéaire de la température de couleur de la lampe. Les températures de couleur indiquées aux certificats des Laboratoires nationaux ont été utilisées pour établir une échelle moyenne des températures de couleur, suffisante pour le calcul des termes correctifs qui ne dépendent que des petites différences de température entre les groupes fonctionnant à des régimes voisins. Les résultats ainsi obtenus sont indiqués dans le tableau suivant où figure aux colonnes 3 et 5 la

		Origine.	Température (Certificat). (2).	Écart (degrés). (3).	Température (Certificat). (4).	Écart. (degrés). (5).
	Groupe	D. A. M. G	2350°K	+ 1	2800° K	11
١	>>	N. B. S	2360	6	2800	+ 5
	>>	C. N. A. M	2360	-11	2848	+16
	))	N. P. L	. 2360	+16	2800	+ 5
	))	E. T. L	2360	- 9	-	-
	))	I. M	. 2355	+ 9	2800	-14

différence entre la température de couleur indiquée au Certificat et la température moyenne de chaque groupe déterminée au B. I. P. M. d'après cette échelle moyenne.

Ces résultats suffisent sans doute pour le calcul de petites corrections, mais leur exactitude ne justifierait pas qu'on les utilisat à d'autres fins.

Pendant toutes les comparaisons la température ambiante moyenne était de 18° C et le degré hygrométrique compris entre 0,50 et 0,67.

La durée totale d'allumage de chaque lampe au cours des comparaisons a été en moyenne de 35 minutes, sauf pour celles des groupes D. A. M. G. (15 minutes) et des groupes N. P. L. à 2360° K (15 minutes) et à 2800° K (90 minutes).

## II. — RESULTATS DÉTAILLÉS CONCERNANT LES ÉTALONS DE CHAQUE LABORATOIRE.

Les lampes ont été mesurées suivant les prescriptions portées au certificat du Laboratoire d'origine : culot en haut ou en bas; lampes fixes ou en rotation; interposition ou non d'un écran; alimentation à différence de potentiel ou à intensité de courant constante; en outre, lorsque le certificat le mentionnait, la distance lampe-photomètre a été respectée.

Les tableaux suivants reproduisent, pour les étalons d'intensité et de flux de chaque Laboratoire national :

- a. La différence de potentiel ou l'intensité du courant d'alimentation imposée.
- b. La valeur en candelas ou en lumens nouveaux de chaque lampe d'après le certificat du Laboratoire d'origine.
- c. L'écart, en pour cent, entre l'intensité lumineuse ou le flux mesurés au Bureau International, et l'intensité lumineuse ou le flux figurant au certificat du Laboratoire d'origine (valeurs « Aller ») lorsqu'on prend pour unité dans chaque groupe la valeur moyenne des lampes de ce groupe.

- d. L'intensité du courant ou la différence de potentiel mesurée au Laboratoire d'origine (valeurs « Aller »).
- e. L'intensité du courant qui traversait la lampe ou la différence de potentiel aux bornes, mesurée au Bureau International après (sauf indication spéciale) une durée d'allumage de 5 minutes environ.
- f. L'écart, en pour cent, entre l'intensité du courant ou la différence de potentiel mesurée au Bureau International et celle portée au certificat du Laboratoire.
- N. B. La plupart des Certificats des Laboratoires nationaux indiquaient les caractéristiques électriques des lampes en volts et ampères « internationaux »; dans les tableaux suivants, ces caractéristiques [colonnes (a) et (d)] ont été exprimées en unités absolues en utilisant les relations de passage :

r volt international moyen = 1,000 34 volt absolu, r ampère international moyen = 0,999 85 ampère absolu.

#### A. - ÉTALONS D'INTENSITÉ LUMINEUSE A 2046° K.

Toutes les lampes, sauf celles du groupe N. P. L., étaient munies d'un culot à vis Edison.

## Groupe P. T. R.

				Ampères		
	Volts abs.	Candelas.	0/	-		% -
Lampe no.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
152	31,761	7,04	-0,11	0,90186	0,900 40	—o,16
153	32,311	$7,6_{3}$	+0,56	$0,9168_{6}$	0,916 02	-0.09
154	31,451	7,18	-0,46	0,905 80	0,90423	-0,18

Ces étalons sont des lampes à filament de tungstène, disposé en « dents de scie », et monté dans un plan vertical à l'intérieur d'une ampoule conique dont l'axe est incliné. Ils sont utilisés le culot en bas; un écran d'ouverture rectangulaire, disposé verticalement devant la lampe, masque les images parasites réfléchies sur la paroi de l'ampoule.

A défaut d'indication précise au Certificat, les lampes ont été alimentées à différence de potentiel constante.

#### Groupe N. B. S.

				Ampères absolus.				
	Volts abs.	Candelas.	%.	-		%.		
Lampe no.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)		
874	55,02	16,81	-0,48	1,049 94	1,049 94	0		
875	55,02	16,69	+0,47	1,050 64	1,050 42	-0,02		
877 (1)	55,02	16,61	+0,01	1,038 14	1,037 20	-0,09		

Ces étalons sont des lampes à filament de tungstène, disposé en « dents de scie », et monté dans un plan à l'intérieur d'une ampoule cylindrique. Ils sont utilisés le culot en haut; leur orientation sur le banc photométrique est définie par des traits repères gravés sur la paroi de l'ampoule.

(1) Cette lampe s'est montrée instable au cours des mesures : un des brins du filament possédait une trop grande liberté sur son crochet-support; l'élimination de cet étalon ne modifie toutefois pas le résultat moyen.

Groupe L. C. E.

				Ampères	absolus.		
Lampe n∘.	Volts abs.	Candelas.	10	(d)		%. (f)	
90	97,413	16,45	+0,09	0,746 79	0,746 66	-0,02	
92	98,964	16,0	+0,67	0,739 49	0,73930	-o,o3	
94	96,823	15,1	-0,12	0,732 89	0,732 50	-0,05	
97	99,364	16,65	-0,32	0,740 99	0,750 56	-	
99	100,504	16,2	-0,19	0,740 90	0,740 44	-0,07	
102	97,343	15,5	-0,11	0,7487,	0,74867	-0,02	

Ces étalons sont des lampes à filament de carbone, disposé en double « épingle à cheveux », et monté dans un plan à l'intérieur d'une ampoule légèrement conique. Ils sont utilisés le culot en bas.

### Groupe N. P. L.

				absolus.	olus.		
	Volts abs.	Candelas.	%.	-	-	%.	
Lampe no.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	
189 F	64,722	10,72	-0,01	0,575 06	0,57478	-0,05	
189 I	62,121	10,19	+0,01	0,573 81	0,57382	0	
189 L	63,221	10,49	0	0,571 40	0,571 14	-0.06	

Ces étalons sont des lampes à filament de tungstène, disposé en

« dents de scie », et monté dans un plan à l'intérieur d'une ampoule cylindrique; ils sont utilisés le culot en bas. Les culots sont soudés dans des montures en laiton, pourvues à leur extrémité inférieure d'une encoche permettant de placer les lampes sur le banc photométrique dans une position bien définie.

La distance « lampe-photomètre » spécifiée au Certificat officiel n'a pas été respectée, ce Certificat étant parvenu au B. I. P. M. après les comparaisons; ces dernières ont été faites à une distance telle que l'éclairement sur le plan récepteur du photomètre était de 15 lux (au lieu de 10 lux).

Groupe E. T. L. (voir également Appendice p. P 73).

	Volts abs.	Candelas.	0/	Ampères absolus.		%.	
Lampe no.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	
4722	110,502	15,15	-0.35	0,506 02	0,505 27	-0,15	
4728	105,502	14,27	+0,59	$0,5105_2$	0,51105	+0,10	
4729(1).	103,517	14,08	_	0,51762	-	-	
4726	113,374	17,98	-0,23	$0,5338_{2}$	0,53381	0	

Ces étalons sont des lampes à filament de tungstène, disposé en « dents de scie » sur un cadre métallique rectangulaire noirci, et monté dans un plan à l'intérieur d'une ampoule cylindrique.

A défaut d'indication précise au Certificat, les lampes ont été alimentées à différence de potentiel constante et mesurées le culot en bas.

(1) Lampe accidentée au cours des mesures par suite de la grande sensibilité du filament incandescent aux vibrations : deux brins sont entrés en contact et sont restés soudés.

Groupe I. M.

				Ampères absolus.			
Lampe n.	Volts abs.	Candelas.	% · (c)	(d)	(e)	$% \cdot (f)$	
1-7	68,62	18,16	-0,21	1,072 I	1,071 92	-0,02	
1-8	69,72	18,10	+0,09	1,0737	$1,0736_{8}$	0	
1-9	69,62	18,34	+0,01	1,0716	1,071 57	0	
1-10	69,72	18,65	+0,01	1,0754	1,075 10	-0.03	
1-11	69,42	18,12	+0.08	1,0792	1,079 11	-0,01	
1-12	69,32	18,36	+0,02	1,0754	1,07551	+0,01	

Ces étalons sont des lampes à filament de tungstène disposé en « dents de seie » et monté dans un plan vertical, à l'intérieur d'une

ampoule conique du type à axe incliné. Ils sont utilisés le culot en bas, avec un écran d'ouverture rectangulaire disposé verticalement devant la lampe.

## B. - ÉTALONS D'INTENSITÉ LUMINEUSE A 2360° K.

Toutes les lampes, sauf celles du groupe N. P. L., étaient munies d'un culot à vis Edison.

#### Groupe P. T. R.

				Ampères absolus.					
Lampe no.	Volts abs.	Candelas,	%. (c)	(d)	(e)	%. (f)			
	155	48,496	36,1	+0,01	1,16183	1,16098	- 0,07		
	156	48,426	35,9	-0,01	1,16383	1,16254	-0,11		
	157(1).	49,297	37,3	122	$1,1728_{2}$	$(1,1751_0)$	(+0,20)		

Ces étalons sont du même type que les étalons à 2046° K.

A défaut d'indication précise portée au Certificat, les lampes ont été alimentées à différence de potentiel constante.

(1) Cette lampe, qui s'est montrée instable par moments, a été éliminée du groupe.

### Groupe N. B. S.

				Amperes	ansorus.	
	Volts abs.	Candelas.	%.	-	_	% -
Lampe no.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
4926	98,834	24,82	-0.06	0,352 95	0,35281	-0,04
4929	99,934	23,68	+0,06	0,33705	0,33691	-0,04
8934	98,634	22,02	0	0,312 25	0,31235	+0.03

Ces étalons sont des lampes à filament de tungstène disposé en « cage d'écureuil » à l'intérieur d'une ampoule légèrement conique; les lampes étaient mesurées en rotation, le culot en haut, à une vitesse de l'ordre de 100 t/m; la distance de la lampe au plan récepteur de la photopile était comptée à partir de l'axe de rotation.

#### Groupe L. C. E.

				Ampères	absolus.	
	Volts abs.	Candelas.	% -	-	-	%.
Lampe no.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
69	115,64	30,55	+0,24	0,32265	0,32251	-0.04
71	115,34	29,7	—о, 15	0,31685	$0,3168_3$	-0,01

			Ampères absolus.				
	Volts abs.	Candelas.	%.	_	_	% .	
Lampe no.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	
73 (1).	115,14	30,4	-	0,322 75	_	-	
77,	115,44	30,25	-o',21	0,3216	0,32128	-0,12	
80	115,04	29,8	+0.08	0,32165	0,32131	-0,11	
82	115,04	29,3	+0,05	0,31705	0,31677	-0,09	

Ces étalons sont des lampes à filament de tungstène, disposé en « dents de scie », et monté dans un plan à l'intérieur d'une ampoule conique; ils sont utilisés le culot en bas.

(1) Cette lampe, qui s'est montrée instable, a été éliminée du groupe.

#### Groupe N. P. L.

	0.15	Ampères absolus.						
	Volts abs.	Candelas.	% -		_	%.		
Lampe no.	(a)	(b) ·	(c)	(d)	(e)	(f)		
190 D	110,037	26,69	+0,07	0,308 94	0,308 90	-0,01		
190 F	106,536	25,99	+0,05	0,31112	0,31110	-0,01		
190 N	109,737	26,79	-0,12	0,31241	0,31220	-0,04		

Ces étalons sont du même type que ceux fonctionnant à la température de couleur de 2046° K.

La distance « lampe-photomètre » spécifiée au Certificat officiel n'a pas été respectée, ce Certificat étant parvenu au B. 1. P. M. après les comparaisons; ces dernières ont été faites à une distance telle que l'éclairement sur le plan récepteur du photomètre était de 20 lux (au lieu de 10 lux).

Groupe E. T. L. (voir également Appendice p. P 73).

			Ampères absolus.					
	Volts abs.	Candelas.	%.		-	%.		
Lampe no.	(a)	(b)	(c)	(d)	(c)	(f)		
4706	104,315	31,53	+0,02	0,41924	0,41888	-0,09		
4709	103,085	31,32	+0,10	0,42334	$0,4236_{1}$	+0,06		
4710	104,520	31,80	+0,06	0,42174	0,421 47	-0,06		
4705	107,482	35,14	—о,18	0,428.74	0,42835	-0.09		

Ces étalons sont du même type que les étalons à 2046° K.

A défaut d'indications précises au Certificat, les lampes ont été alimentées à différence de potentiel constante et mesurées le culot en bas.

#### Groupe I. M.

	Volts		Ampères absolus.					
	abs.	Candelas.	%.		_	%.		
Lampe no	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(5)		
2-16	107,34	37,80	+0,04	0,5472	0,546 96	-0,01		
2-17	107,94	38,02	+0.08	0,5485	0,548 47	-0.01		
2-18	107,24	37,73	-0,29	0,5463	0,546 40	+0,02		
$2-2\ldots$	107,14	37,41	o,o3	0,5458	0,54566	<b>−</b> o,o3		
2-3	107,84	37,55	+0,11	0,5445	0,54450	0		
$2-5\ldots$	107,54	37,31	+0,08	0,5447	0,54450	-0,04		

Ces étalons sont du même type que les étalons à 2046° K.

## C. - ÉTALONS DE FLUX LUMINEUX A 2360° K.

Toutes les lampes étaient munies d'un culot à vis Edison et fonctionnaient le culot en haut.

N. B. — Les valeurs de la colonne c, calculées primitivement avec deux chiffres après la virgule, ont été arrondies; ceci explique que leur somme ne soit pas toujours nulle.

#### Groupe D. A. M. G.

	Ampères	Lumens		Volts	absolus.	
	alıs.	nouv	9/	-	~	% -
Lampe no	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
476	0,39044	259	+0,2	$96,8_{8}$	$97,06_{8}$	+0,19
477	0,390 44	259	-0,2	$96,6_{8}$	96,740	+0,12
478	0,82688	551	-0,I	93,13	93,110	0,01

Ces étalons sont des lampes à filament de tungstène dans le vide, disposé en « cage d'écureuil » à l'intérieur d'une ampoule légèrement conique en verre clair.

#### Groupe N. B. S.

	Volts	Lumens		Ampères	absolus,	
	abs.	nouv,	. 0/	-	_	% -
Lampe nº	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
2006	90,50	179,8	-0,2	$0,303_{2}$	0,302 95	-0.08
2008	91,20	187,8	+0,1	$0,305_2$	0,305 26	+0,02
2010	92,40	189,3	+0,1	0,3045	0,30426	-0.08

Ces étalons sont des lampes à filament de tungstène spiralé, disposé à l'intérieur d'une petite ampoule sphérique en verre clair.

#### Groupe C. N. A. M.

	Volts	Lumens		Ampères	absolus.	
	abs.	nouv.	0/-	_	_	% *
Lampe no	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
14	38,253	277	-o,ı	$1,526_{8}$	1,5218	-0,33
16	38,603	287	+0,2	1,5288	1,5260	-0,18
17	38,283	279	-o,I	1,5378	1,5321	-0,37

Ces étalons sont des lampes à filament de tungstène spiralé en atmosphère gazeuse; le filament, en forme de couronne, est monté dans un plan horizontal à l'intérieur d'une ampoule sphérique terminée par un petit col cylindrique.

### Groupe N. P. L.

	Volts	Lumens	Ampères absolus.					
	abs.	nouv.	% •	-		%.		
Lampe nº	(a)	(b)	(c)	(d)	(c)	(f)		
193 A	86,9	368,2	+o,1	0,572 96	0,573 20	+0,04		
195 B	89,2	400,2	-0,2	υ,583 Ιο	o,583 o <sub>5</sub>	-0,01		
195 C	88,0	379,6	0	0,57488	0,574 92	+0,01		
195 D	87,1	361,6	+0,2	0,563 84	0,56384	0		
195 E	86,9	369,6	-o, t	0,572 74	0,57291	+0,03		
195 F	86,5	361,8	+0,2	0,572 41	0,57260	+0,03		

Ces étalons sont des lampes à filament de tungstène dans le vide, disposé en « cage d'écureuil » à l'intérieur d'une ampoule légèrement conique en verre clair.

Groupe E. T. L. (voir également Appendice p. P 73).

	Volts	Lumens		Ampères	absolus.	
	abs.	nouv.	%.	-	-	%.
Lampe nº	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
T-4707	96,834	117,0	+0,25	0,17937	0,179 43	+0,03
Т-4708	96,136	116,4	-0,3	0,17907	0,178 92	-0,08
T-4710	96,489	114,0	0,35	0,17587	0, 176 07	+0,11
T-4705	97,435	117,8	+0,4	0,17897	0,1788,	-0,07

Ces étalons sont des lampes à filament de tungstène dans le vide, disposé en « cage d'écureuil » dans une ampoule cylindrique en verre clair légèrement teinté par la présence d'un dépôt intérieur jaunatre (phosphore).

A défaut d'indication précise au Certificat, les lampes ont été alimentées à différence de potentiel constante.

#### Groupe I. M.

	Volts abs.	Lumens nouv.	% -	Ampère	s absolus.	%.
Lampe nº	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
63	96,23	333,6	-0,2	0,5409	0,540 91	0
67	98,63	337,4	+1,15	0,5457	0,54556	o, o3
68	100,34	358,8	+1,6	0,5370	0,53741	+0,08
$64\ldots$	97,23	341,4	-0,4	0,5433	0,54367	+0,07
65	97,23	350,5	-1,1	0,5442	0,544 20	0
66	97,43	354,2	-1,0	0,5459	0,546 01	+0,02

Ces étalons sont des lampes à filament de tungstène dans le vide, disposé en « cage d'écureuil » dans une ampoule légèrement conique en verre clair.

## D. - ÉTALONS DE FLUX LUMINEUX A 2800° K.

Toutes les lampes étaient munies d'un culot à vis Edison et fonctionnaient le culot en haut.

#### Groupe D. A. M. G.

	Ampères	Lumens		Volts a	bsolus.	
	abs.	nouv.	%.	_	_	%.
Lampe no	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(5)
480	0,901 86	1275	+0,3	106,89	106,964	+0,07
481	0,901 86	1255	0	106,44	106,795	+0,34
483	1,360 80	2080	—I,o	108,84	108,686	-o,14
484	0,900 86	1130	+0,7	106,39	106,554	+0,16

Ces étalons sont des lampes à filament de tungstène spiralé en atmosphère gazeuse; le filament est disposé en arc de cercle dans un plan approximativement horizontal, à l'intérieur d'une ampoule sphérique en verre clair (sauf 484 qui est en verre opale), terminée par un petit col cylindrique; une rondelle en mica est montée à la naissance du col.

#### Groupe N. B. S.

	Ampères	Lumens		Volts	absolus.	
	abs.	nouv.	%.	_		%.
Lampe no	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(5)
2011	1,644	2406	0	105,48	105,391	-0.08
2013	1,654	2422	-0,1	105,38	105,396	+0,02
2015	1,656	2469	+0,2	107,06	107,302	+0,23

Ces étalons sont des lampes à filament de tungstène spiralé en atmosphère gazeuse; le filament est disposé en arc de cercle dans un plan approximativement horizontal, à l'intérieur d'une ampoule sphérique en verre clair, terminée par un col cylindrique; une rondelle en mica est montée à la naissance du col.

Groupe C. N. A. M.

	Volts	Lumens	0/	Ampères	absolus.	%.
Lampe nº	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
9	60,06	1695	-0,6	1,9487	$1,936_6$	-0,62
12,	60,06	1622	-1,3	1,9117	1,8988	-0.68
19	60,06	1628	+1,9	1,9247	1,9130	0,61

Ces étalons sont du même type que les étalons à 2360° K.

Groupe N. P. L.

	Volts	Lumens		Ampères	absolus.	
Lampe nº	abs. (a)	nouv. (b)	% · (c)	dd	(c) (¹)	%. (f)
194 A	95,1	2582	+0,1	1,949;	I,949a	-0,01
194 B	94,7	2516	+0,6	1,9356	1,9357	+0,01
194 C (2)	93,7	2488	-1,1	1,9438	1,935;	-0,44
194 D	92,8	2416	+0,2	1,8822	1,8816	-0,03
194 E	93,8	2418	+0,1	1,8652	1,8648	-0,02
194 F	96,6	2629	+o,1	1,9550	1,9543	-0,04

Ces étalons sont des lampes à filament de tungstène spiralé en atmosphère gazeuse; le filament est disposé en arc de cercle dans un plan approximativement horizontal, à l'intérieur d'une ampoule sphérique en verre clair, terminée par un petit col cylindrique.

Suivant la prescription portée au Certificat, les lampes subissaient avant la mesure un préchauffage d'une dizaine de minutes, sous une différence de potentiel légèrement inférieure à la différence de potentiel d'alimentation correcte.

- (1) Intensité de courant mesurée après une durée d'allumage (préchaussage compris) de 20 minutes environ.
- (2) Le N. P. L. a observé par la suite que cette lampe avait subi une variation anormale.

Groupe I. M.

	Volts	Lumens		Ampères	s absolus.		
	abs.	nouv.	0.1	_			% -
Lampe nº 🤺	(a)	(b)	(c)	(d)	(c)	***	(f)
$75,\ldots$	111,74	3465	+0.5	2,218	2,2178		-0,01
$76 \dots$	110,04	3645	-0,5	2,314	2,3142		+0,01
77	105,94	3405	+0.5	2,219	2,2195		+0,02
73	105,54	3495	-o, I	2,325	2,3239		-o,o5
74	107,84	3265	-0,t	2,275	2,2751		0
79	106,84	3110	o,3	2,251	2,2466		-0,20
19	100,04	3110	0,5	2,201	$2,240_{6}$		-0,2

Ces étalons sont des lampes à silament de tungstène spiralé en atmosphère gazeuse; le filament est disposé en zigzag à l'intérieur d'une ampoule sphérique en verre clair, terminée par un col cylindrique; l'enroulement en hélice du silament est interrompu à l'endroit du contact avec les crochets-supports.

Après l'achèvement de ces comparaisons, qui ont permis de calculer la valeur relative provisoire des diverses unités nationales (†), la presque totalité des étalons ont été renvoyés à leur Laboratoire d'origine, asin d'être soumis à de nouvelles mesures destinées à contrôler que leur étalonnage initial n'avait pas subi de variation sensible au cours des transports et des comparaisons.

Dès que tous les résultats de ces mesures de contrôle furent communiqués au Bureau International, nous avons repris les calculs en tenaut compte des modifications apportées à la valeur attribuée initialement à chaque lampe. Afin de préciser sur quelles données sont fondées les modifications intervenues, nous résumons ci-après les Rapports qui ont été reçus des Laboratoires nationaux à la suite de ce contrôle de retour.

<sup>(4)</sup> Ces résultats provisoires, publiés dans le Rapport polycopié d'avril 1949, étaient les suivants :

	Candela.		Lumen	nouveau.
	2046° K.	2360° K.	2360° K.	2800° K.
Allemagne (P. T. RD. A. M. G.).	0,9938	1,0004	1,004	1,004
États-Unis d'Amérique (N. B. S.).	1,0013	1,0022	1,002	1,001
France (C. N. A. ML. C. E.)	1,0072	1,0016	1,009	0,980
Grande-Bretagne (N. P. L.)	0,995,	0,9975	0,990	1,014
Japon (E. T. L.)	1,0109	0',996	0,997	_
U. R. S. S. (I. M.)	0,991	1,0023	0,998	1,001

#### III. — NOTE SUR LES MESURES DE CONTRÔLE DES LAMPES A LEUR RETOUR AUX LABORATOIRES D'ORIGINE.

- 1. ALLEMAGNE (P. T. R.-D. A. M. G.). D'après le « Bericht des Deutschen Amtes für Mass und Gewicht, Weida, über die photometrischen Rückmessungen des vom Juli bis Oktober 1948 im Bureau International des Poids et Mesures durchgeführten internationalen Vergleichs », von R. Bünnagel und M. Schmidt (24 november 1949), aucune variation anormale de la valeur des étalons d'intensité et de flux lumineux renvoyés n'a été constatée.
- a. Intensité lumineuse. Les valeurs attribuées initialement aux étalons ont toutefois été modifiées afin de tenir compte d'une variation de l'étalonnage des réducteurs de tension utilisés à la P. T. R., variation passée inaperçue à l'époque des mesures. De plus, par malchance, les étalons qui, à la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, avaient été alimentés à intensité de courant constante, ont été alimentés au Bureau International des Poids et Mesures, faute d'indication précise, par la différence de potentiel aux bornes. En conséquence, l'intensité lumineuse moyenne de chaque groupe s'est trouvée diminuée de 1,1 % (étalons à 2042°K) et 0,4 % (étalons à 2353°K).

Quoique le Laboratoire national allemand en ait exprimé le désir, nous n'avons pas cru devoir éliminer ses étalons pour le calcul de l'unité à ces deux températures de couleur; les résultats de nos mesures ont donc été modifiés en tenant compte des corrections déterminées par la P. T. R.-D. A. M. G. et indiquées ci-dessus.

b. Flux lumineux. — Pour ces étalons, les valeurs de retour obtenues indiquent, par rapport aux valeurs initiales, une légère augmentation du flux moyen de chaque groupe d'environ 1 % (étalons à 2353°K) et 0,2 % (étalons à 2788°K).

Les étalons nos 477 (2353°K) et 483 (2788°K) qui n'ont pas été retournés à la P. T. R.-D. A. M. G., n'ont pas été retenus pour le calcul de la valeur finale de l'unité à ces deux températures de couleur.

2. ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE (N. B. S.). — Tous les étalons ayant participé aux comparaisons de 1948 ont été renvoyés au N. B. S.

Par rapport aux valeurs initiales, les valeurs de retour obtenues accusent les variations suivantes :

- a. Intensité lumineuse. Pour les étalons à 2042° K, les valeurs sont pratiquement inchangées : la variation moyenne du groupe est inférieure à 0,05 % (Certificat 1.5/122762-1 du 2 novembre 1949). Pour ceux à 2353° K, l'augmentation de l'intensité lumineuse moyenne du groupe est d'environ 0,3 % (Certificat 1.5/122762-2 du 2 novembre 1949).
- b. Flux lumineux. Le groupe à 2353°K a accusé une augmentation du flux moyen de l'ordre de 0,3 % (Certificat 1.5/122762-3 du 2 novembre 1949).

Pour le groupe à 2788°K, une diminution du flux beaucoup plus importante, de 1 %, a été observée sur chacune des trois lampes renvoyées (Certificat 1.5/122762-4 du 2 novembre 1949). Ce changement de la valeur des lampes — de même signe et de même grandeur pour chacune d'elles — n'est sans doute pas uniquement attribuable aux variations qu'ont pu subir les étalons au cours des transports et des comparaisons; la cause de cette différence sensible n'a pas été élucidée (voir aussi plus loin, § V).

3. France (C. N. A. M.-L. C. E.). — Les étalons français n'ont pas fait l'objet de mesures de retour à leur Laboratoire d'origine après les comparaisons de 1948. La probabilité de variations de la valeur des lampes au cours du transport Paris-Sèvres étant très faible, on a admis que les valeurs initiales étaient restées inchangées.

D'autre part, et après accord avec M. Debure, Chef du Laboratoire de Photométrie du C. N. A. M., les résultats des comparaisons des étalons de flux à 2788° K de ce Laboratoire n'ont pas été retenus pour le calcul de l'unité moyenne, la valeur de l'unité de flux lumineux française à cette température de couleur n'étant pas suffisamment sûre.

Grande-Bretagne (N. P. L.). — Tous les étalons ayant participé aux comparaisons de 1948 ont été renvoyés au N. P. L. Les nouvelles valeurs obtenues indiquent une légère diminution de l'intensité et du flux lumineux; ces variations, normales pour des étalons ayant fonctionné un certain temps, sont toutefois assez faibles pour que les valeurs initiales des lampes soient conservées sans changement (lettres du N. P. L., JWTW/DAD/718 du 19 juillet 1949 et JWTW/DAD du 10 mars 1951).

L'étalon de flux à 2788°K, nº 194C, déjà signalé comme ayant subi une variation anormale, a été éliminé des calculs définitifs.

- 5. Japon (E. T. L.). Tous les étalons ayant participé aux comparaisons de 1948 ont été renvoyés à l'E. T. L., via le National Bureau of Standards de Washington. Les nouvelles valeurs obtenues indiquent les variations suivantes (Rapport de l'E. T. L. du 16 octobre 1950):
- a. Intensité lumineuse. Le groupe à 2042° K accuse une diminution de l'intensité lumineuse moyenne de 0,3 %; celui à 2353° K, une augmentation de 0,4 %.
- b. Flux lumineux. Le groupe à 2353°K accuse une diminution du flux moyen de 0,35 %.

Les étalons d'intensité n° DS 4726 (2042° K) et DS 4706 (2353° K) qui ont subi un accident au cours de leur retour à l'E. T. L., ont été éliminés des calculs définitifs.

Aucun étalon de flux fonctionnant à la température de couleur de 2788°K n'avait été reçu de l'E. T. L.

6. U. R. S. S. (1. M.). — Parmi tous les étalons de l'I. M. ayant participé aux comparaisons de 1948, seuls ont été retournés à ce Laboratoire et pris en considération pour les calculs définitifs ceux des groupes désignés par (a) au tableau I, p. P 49.

Le Rapport de l'I. M., en date du 31 décembre 1949, confirme la bonne tenue d'ensemble des étalons. Aucune variation anormale n'a été observée, sauf pour les étalons de flux à 2353°K (n° π-1-67 et π-1-68) qui ont montré une augmentation de leur flux de 1,5 %; à la demande de l'I. M., ces deux étalons n'ont pas été retenus pour le calcul de l'unité moyenne de flux à 2353°K.

Toutes les valeurs initiales des étalons d'intensité et de flux lumineux portées aux Certificats de l'I. M. ont en outre été multipliées par les facteurs correctifs suivants:

Intensité lumineuse.		Flux lu	mineux.
2042° K.	2353° K.	2353° K.	2788° K.
0,9975	1,0010	1,0015	1,0020

conformément aux instructions contenues dans la lettre du Professeur Tikhodeev, Chef du Laboratoire de photométrie de l'I. M., en date du 3 juin 1950.

En résumé, le contrôle de la valeur des étalons après leur retour au Laboratoire d'origine a permis :

1º de s'assurer de la bonne tenue de la plupart des lampes, et d'éliminer des calculs les étalons jugés instables, ou dont la valeur de retour a montré une variation excessive;

2º de corriger, d'après les instructions communiquées par le Laboratoire national, la valeur initiale de certains étalons afin de tenir compte de petites erreurs décelées à la suite de ce contrôle.

### IV. — CALCUL DÉFINITIF DE LA VALEUR RELATIVE DE L'UNITE A CHAQUE TEMPÉRATURE DE COULEUR.

En possession des résultats de contrôle précédents, nous avons recalculé la grandeur relative des unités nationales d'intensité et de flux lumineux. Pour ce nouveau calcul, nous avons admis, comme nouvelles valeurs des étalons nationaux, la moyenne des valeurs initiales et après retour au Laboratoire d'origine.

A partir des résultats provisoires UP donnés page P 66, nous avons calculé les résultats définitifs UD par la relation suivante:

$$U_D = U_P \times r \times s$$
,

où

$$r=\mathbf{I}-\frac{\displaystyle\sum_{i=1}^{p}\varepsilon_{i}}{n-p};$$

avec

ε<sub>t</sub>, écart relatif entre la valeur de chaque lampe éliminée et la valeur moyenne du groupe prise comme unité (les écarts ε<sub>t</sub> sont œux figurant dans la colonne c des tableaux des pages P 57 à P 66);

n, nombre de lampes intervenues dans le calcul de UP;

p, nombre de lampes éliminées pour le calcul de UD,

et

$$s = \frac{V_1}{V_1 + V_2}$$

avec

V1, valeurs initiales des intensités ou flux lumineux;

V2, valeurs des intensités ou flux lumineux mesurés après retour des lampes au Laboratoire d'origine.

L'exécution de ces calculs a conduit aux résultats suivants :

#### TABLEAU II.

RÉSULTATS DÉFINITIFS DES COMPARAISONS DE 1948.

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

	Сав	Candela.		nouveau.
	2042° K	2353° K.	2353° K.	2788° K.
Allemagne (P. T. RD. A. M. G.)	1,0023	1,0045	1,0042	
États-Unis d'Amérique (N. B. S.)	0,9988	1,0007	1,0011	Voir
France (C. N. A. ML. C. E.)	1,0045	1,0018	1,0100	ci-après
Grande-Bretagne (N. P. L.)	0,9929	0.9977	0,9905	§ V
Japon (E. T. L.)	1,0109	0,9941	0,9992	0
U. R. S. S. (I. M.)	0,9905	1,0010	0,9949	

Ces résultats dissèrent peu des résultats provisoires; les plus forts écarts portent sur l'unité d'intensité lumineuse allemande aux deux températures de couleur et s'expliquent par la modification des valeurs initiales des étalons de ce pays (cf. § III, 1 a).

# V. — REMARQUES SUR L'UNITÉ DE FLUX LUMINEUX A 2788°K.

Dans le tableau II nous n'avons pas donné les résultats de la grandeur relative du lumen à 2788°K. Cette omission volontaire appelle quelques commentaires.

En premier lieu, nous n'avons reçu, en 1948, que les étalons de cinq Laboratoires pour représenter cette unité; sur ces cinq Laboratoires, celui de France (C. N. A. M.) nous a demandé, par la suite, de ne pas tenir compte de ses étalons pour le calcul du lumen moyen à 2788°K (cf. § III, 3).

En second lieu, des dissérences sensibles et inexpliquées sont apparues sur les étalons du National Bureau of Standards. C'est ainsi que le groupe utilisé pour les comparaisons de 1948 a montré une variation de flux de — 1 % à son retour au N. B. S.; un second groupe « sédentaire », remis au B. I. P. M. en

octobre 1948, conduisit, pour l'unité représentée par ce nouveau groupe, à une valeur plus élevée de 2 % par rapport à celle résultant des comparaisons internationales de 1948.

De nouvelles comparaisons de contrôle s'imposaient donc. Dans ce but, le N. B. S. envoyait au B. I. P. M., en novembre 1949 et juin 1950, deux groupes de trois lampes (dont celui ayant déjà participé aux comparaisons internationales de 1948); ces groupes n'ont malheureusement pu être utilisés, quatre lampes sur les six étant arrivées avec leur filament rompu (5).

Devant cette situation le B. I. P. M. a constitué, avec l'ensemble des lampes du N. B. S. qu'il avait en dépôt, un nouveau groupe de six lampes; ce groupe a été étalonné au B. I. P. M. en juin 1950 en « unité moyenne provisoire 1948 », puis transporté au N. B. S. en juillet 1950 avec le plus grand soin. Le résultat de l'étalonnage au N. B. S. de ces six lampes (Rapport du N. B. S. 2.1/127556 du 8 février 1951) indique que l'unité de flux à 2788° K du N. B. S., représentée par ce groupe, concorde à mieux que 0,1 % avec l'« unité moyenne provisoire 1948 ». Ce résultat ne pourra toutefois être considéré comme définitif qu'après le renvoi des lampes au B. I. P. M.

En conclusion de toutes ces mesures, nous estimons que la valeur la plus probable de l'unité de slux à 2788° K du N. B. S. est celle qui résulte de ces dernières comparaisons; le groupe intervenu dans ces mesures comprenait en esset un plus grand nombre de lampes, et les échecs précédents n'ont sans doute pas été sans enseignements. C'est aussi l'opinion du Docteur K. S. Gibson, Chef de la Section de Photométrie et de Colorimétrie du N. B. S., qui recommande, dans sa lettre du 7 mars 1951, de considérer comme groupe représentatif de l'unité de flux à 2788° K du N. B. S., quatre de ces six lampes; on arrive ainsi au résultat suivant (6):

1 lumen N. B. S. = 0,9996 lumen moyen provisoire 1948.

<sup>(\*)</sup> Le groupe reçu en novembre 1949 a été transporté par avion de Washington à Paris, non accompagné, avec emballage individuel pour chaque lampe; le groupe reçu en juin 1950 a été transporté dans les bagages personnels du représentant du N. B. S., qui a effectué le voyage par bateau.

<sup>(6)</sup> Depuis la rédaction de ce Rapport, ces quatre lampes ont été à nouveau mesurées au B. I. P. M. en décembre 1951; leur stabilité a été confirmée à mieux que 0,2 % (voir Annexe P 4, p. P 95).

D'après ce résultat, la dernière colonne du tableau II précédent peut être complétée de la façon suivante :

#### Lumen nouveau à 2788°K.

Allemagne	1,000
États-Unis d'Amérique	0,995
France	-
Grande-Bretagne	1,009
Japon,	. —
U. R. S. S	

٠.

Cette première comparaison internationale des étalons secondaires d'intensité et de flux lumineux des six Laboratoires nationaux représentés au Comité Consultatif de Photométrie auprès du Comité International des Poids et Mesures, montre que la concordance des unités photométriques des différents pays est réalisée, dans l'ensemble, à mieux que ±1%.

On peut penser que les prochaines comparaisons internationales bénésicieront de l'expérience acquise et gagneront en précision à la suite des enseignements apportés par les présentes comparaisons. Elles mettront en lumière les progrès réalisés par les divers Laboratoires nationaux dans la réalisation de leurs unités, et marqueront, espérons-nous, une nouvelle étape vers une uniscation aussi parfaite que possible des unités photométriques dans le monde.

#### APPENDICE

MESURE DES ÉTALONS DE L'ELECTROTECHNICAL LABORATORY
AU NATIONAL BUREAU OF STANDARDS.

Les étalons de l'Electrotechnical Laboratory ont été comparés au National Bureau of Standards aux étalons américains, avant et après leur passage au Bureau International des Poids et Mesures.

Les groupes de référence américains étaient constitués par des lampes à filament de carbone (intensité lumineuse à 2046°K), et à filament de tungstène (intensité et flux lumineux à 2360°K).

Les mesures du N. B. S. (N. B. S. Reports 1.3/13 P-26/47 du 14 juillet 1948 et 1.3/13 P-26A/47 du 25 mars 1949) ont conduit aux résultats suivants :

a. Mesures de novembre-décembre 1947 et janvier 1948.

# b. Mesures de janvier 1949.

	Candelas (ur	ilé N. B. S.).	Intensité du courant (Ampères abs.)		
Lampe.	(a)	(b)	(a)	(b)	
	Inten	sité lumine	euse (2046°K).		
DS 4722	15,32	15,24	0,505 02	0,50462	
DS 4728	14,43	14,52	0,51062	0,51062	
DS 4729	14,32	_	0,51722	41	
DS 4726	18,37	18,38	0,53382	$0,5335_{2}$	
	Inten	sité lumine	euse (2360°K).		
DS 4706	31,35	31,59	0,41871	0,41824	
DS 4709	31,20	31,22	0,4233;	0,423 0,	
DS 4710	31,76	31,87	0,4211,	0,421 24	
DS 4703	34,90	35,17	0,4283,	0,428 14	

# Flux lumineux (2360°K).

Lampe.		. B. S.).	Intensité du courant (Ampères abs.).		
	(a)	(b)	(a)	(b)	
DS-T 4707	117,1	116,6	0,17977	0,17967	
DS-T 4708	115,8	115,6	0,17927	0,17907	
DS-T 4710	113,6	113,0	0,17637	0,17607	
DS-T 4705	117,8	117,4	0,17917	0,17907	

Ces valeurs, comparées à celles de l'E. T. L., conduisent aux résultats suivants, qui indiquent la valeur de l'unité E. T. L. exprimée en fonction de l'unité N. B. S. correspondante :

	Intensité		Flux lumineux.	
46	2046° K.	2360° K.	2360°K.	
(a)	1,0147	0,9956	0,998	
(b)	1,0152	-I , 000 s	0,994	
Moyenne	1,0150	0,9980	0,996	
D'après les résultats provisoires du B. I. P. M. [voir p. P 66,				
note (4)]	1,0096	0,9939	0,995	

La concordance des résultats du N. B. S. avec ceux du B. I. P. M. est de l'ordre de 0,5 % sur les intensités lumineuses (7), de 0,1 % sur le flux, et de 0,1 % sur les intensités de courant.

<sup>(1)</sup> A noter que les étalons japonais ont été mesurés au N. B. S. le culot en haut, et au B. I. P. M. le culot en bas. Un contrôle exécuté au B. I. P. M. a permis de s'assurer que l'influence du changement de position de la lampe sur la valeur de son intensité lumineuse était très faible, de l'ordre de 0,1 %.

#### ANNEXE P 4.

#### Bureau International des Poids et Mesures.

#### RAPPORT

SUR LA

# DEUXIÈME COMPARAISON DES ÉTALONS NATIONAUX D'INTENSITÉ ET DE FLUX LUMINEUX

(1950 - 1952)

Par J. TERRIEN et H. MOREAU. (21 mai 1952)

La deuxième comparaison internationale des étalons photométriques secondaires d'intensité et de flux lumineux, prévue pour l'automne 1949 (cf. Procès-Verbaux du Comité International des Poids et Mesures, t. XXI, 1948, p. 64), s'est en réalité échelonnée de juillet 1950 à mars 1952. Cet intervalle de temps assez considérable est dû aux difficultés rencontrées pour rassembler simultanément au Bureau International les étalons des six Laboratoires nationaux.

Afin de remédier aux inconvénients de cette situation, les étalons nationaux ont été comparés à des mêmes groupes de lampes du Bureau International qui ont constitué ainsi, pendant toute la durée des comparaisons, une base de référence provisoire commune.

Soixante-quatorze lampes étalons participèrent à ces comparaisons, à savoir :

17 lampes, étalons secondaires d'intensité à 2042º K;

17 " " à 2353°K;

20 " " de flux à 2353°K;
20 " " à 2788°K.

Dans ce nombre ne sont pas compris les étalons du Bureau International, ni les 46 lampes envoyées par l'Allemagne; ces dernières, bien qu'ayant fait l'objet de mesures, n'ont pas pu être retenues pour la fixation de la valeur des unités moyennes.

Du point de vue exécution des mesures, ces secondes comparaisons internationales ont grandement bénéficié des enseignements apportés par les premières comparaisons de 1948. Quant aux résultats obtenus finalement ils sont, dans l'ensemble, peu différents de ceux de 1948; c'est ce que l'on était normalement en droit d'attendre puisque, depuis les dernières comparaisons, un seul Laboratoire national a pu entreprendre une nouvelle réalisation de l'étalon primaire (corps noir), permettant de préciser les valeurs en candelas et lumens nouveaux de ses étalons secondaires.

Tous les étalons ayant participé à cette seconde comparaison internationale ont été retournés à leur Laboratoire d'origine afin de contrôler leur étalonnage initial. Les résultats de ces mesures de contrôle ont permis de tenir compte des petites variations qui ont pu se manifester dans la valeur des lampes et d'éliminer éventuellement des calculs finals tout étalon considéré comme instable.

Nous adopterons, pour l'exposé détaillé des mesures le plan suivant :

- I. Étalons d'intensité lumineuse (2042 et 2353°K):
  - 1. Note sur l'exécution des comparaisons.
  - 2. Température de couleur.
  - 3. Corrections aux observations.
  - 4. Résultats détaillés concernant chaque Laboratoire.
- II. Étalons de flux lumineux (2353 et 2788°K):
  - 1, 2, 3 et 4 comme ci-dessus.
- III. Résultats des comparaisons.

# I. - ÉTALONS D'INTENSITÉ LUMINEUSE A 2042 ET 2353° K.

#### 1. Note sur l'exécution des comparaisons.

a. Schéma des comparaisons. — Les étalons nationaux d'intensité à 2042 et 2353°K ont été comparés aux étalons de référence du Bureau International fonctionnant à la même température de couleur. Quatre séries principales de mesure (pour les lampes présentes en même temps au B.I.P.M.) et deux doubles séries de rattachement (pour les lampes reçues ultérieurement) ont été effectuées en groupant les lampes comme suit :

S			

				Rattael	nement.
1.	2.	3.	4.		
B.I.P.M.	B.I.P.M.	B.I.P.M.	B.I.P.M.	B.I.P.M.	B.I.P.M.
I.M.	I.M.	E.T.L.	E.T.L.	N.P.L.	C.N.A.M.
P.T.BD.A.M.G.	N.B.S.	P.T.BD.A.M.G.	N.B.S.	=	-

Dans chaque série, les lampes étaient mesurées une première fois dans un certain ordre et une seconde fois dans l'ordre inverse: au total, les étalons nationaux ont donc été comparés quatre fois aux étalons de référence du Bureau International.

b. Appareils et méthode de comparaison. — Aucune modification importante n'a été apportée à l'installation utilisée pour les comparaisons de 1948 (1).

Toutes les mesures ont été effectuées photoélectriquement en utilisant comme récepteur une photopile au sélénium (marque « E.E.L. », surface réceptrice utile de 35 mm de diamètre) précédée d'un filtre « Katathermic » absorbant une grande partie du rayonnement infrarouge des lampes. Comme en 1948, on a employé la « méthode de substitution » à éclairement constant avec lampe tare, les égalisations photométriques étant réalisées par une méthode de « zéro » sur un banc photométrique.

On s'est astreint, au cours des mesures, à respecter le mieux possible les distances « lampes - plan récepteur de la photopile » indiquées dans les certificats; dans ces conditions la photopile

<sup>(1)</sup> Voir Annexe P 3: Comparaisons des étalons nationaux d'intensité et de flux lumineux (juillet-octobre 1948), p. P 50.

recevait un éclairement de 10 lux pour les comparaisons à 2042°K et de 17 lux pour celles à 2353°K.

Toutes les lampes ont été soigneusement nettoyées à l'alcool avant les comparaisons; elles étaient en outre essuyées avec une peau de chamois au début de chaque mesure.

Les comparaisons des étalons d'intensité lumineuse ont été faites à une température ambiante voisine de 20° C; l'état hygrométrique était compris entre 0.40 et 0,55.

La durée totale d'allumage de chaque lampe a été de 30 à 45 minutes.

#### 2. Température de couleur.

Le Bureau International a cherché à préciser les écarts de température pouvant exister entre les lampes d'un même groupe national fonctionnant à une température de couleur nominale donnée, ainsi que ceux existant entre les groupes des divers Laboratoires.

Ce contrôle a été fait par la méthode du rapport  $\frac{\text{rouge}}{\text{bleu}}$  au moyen de l'amplificateur photoélectrique à cellule à vide dont il sera question plus loin (§ II, 1 b).

Les résultats individuels de ce contrôle ont été communiqués à chaque Laboratoire national dans une lettre-circulaire en date du 31 mars 1952. Le tableau I résume les résultats obtenus pour l'ensemble des groupes de lampes de chaque Laboratoire, les températures données étant exprimées dans l'« échelle B.I.P.M. », échelle de référence commune, fondée sur la moyenne des températures de couleur des étalons nationaux qui ont été reçus pour cette seconde comparaison internationale, à l'exception de ceux du C.N.A.M. reçus trop tardivement.

Tableau I.

Température de couleur (Échelle B. I. P. M. 1951).

	(			
Laboratoire.	Groupe 2042° K.	Groupe 2353° K.		
P.T.BD.A.M.G	2050° K	2357° K		
N.B.S	2045	2354		
C.N.A.M		2370		
N.P.L	2048	2369		
E.T.L	2030	2341		
I.M		2339		

#### 3. Corrections aux observations.

Nous ne mentionnerons que pour mémoire ces corrections dont la petitesse a permis de les négliger.

- a. Correction à la loi en  $\frac{1}{d^2}$ . Ainsi que nous l'avons dit précédemment, les distances des lampes au photomètre indiquées dans les Certificats des étalons nationaux ont été respectées autant que possible; elles étaient comprises entre 1,0 et 1,5 m.
- b. Correction d'absorption de l'air. Cette correction, évaluée à 0,2% par mètre d'air, se trouve, aux distances auxquelles les mesures ont été faites, compenser à peu près la précédente.
- c. Correction de température de couleur. Le terme correctif adopté pour la photopile « E.E.L. » : 0,02 % pour + 10 degrés de différence de température de couleur des lampes, conduisait, compte tenu des résultats du tableau I, à des corrections n'atteignant pas 0,1 %.

# 4. RÉSULTATS DÉTAILLÉS CONCERNANT LES ÉTALONS D'INTENSITÉ LUMINEUSE DE CHAQUE LABORATOIRE.

Les tableaux ci-après reproduisent les résultats obtenus pour les étalons nationaux qui ont participé aux présentes comparaisons, chaque étalon ayant été mesuré dans les conditions spécifiées au Certificat du Laboratoire d'origine.

Les diverses colonnes de ces tableaux sont affectées de lettres dont la signification est la suivante :

- a. différence de potentiel ou intensité du courant d'alimentation imposée;
- b. valeur en candelas de chaque lampe d'après le Certificat du Laboratoire national (2);
- c. écart, en pour cent, entre l'intensité lumineuse mesurée au Bureau International et l'intensité lumineuse moyenne « Aller et Retour » mesurée au Laboratoire d'origine, lorsqu'on prend pour unité dans chaque groupe la valeur moyenne des lampes de ce groupe;

<sup>(2)</sup> Le premier nombre correspond à la valeur obtenue avant l'envoi des lampes au B. I. P. M.; le second à la valeur obtenue après le retour des lampes à leur Laboratoire d'origine.

 d. intensité du courant ou dissérence de potentiel mesurée au Laboratoire d'origine (²);

e. intensité du courant traversant la lampe ou différence de potentiel aux bornes, mesurée au Bureau International après une durée d'allumage de 6 à 10 minutes;

f. écart en pour cent entre les valeurs e et d.

# A. - ÉTALONS D'INTENSITÉ LUMINEUSE A 2042° K.

Toutes les lampes, sauf celles du groupe N.P.L., étaient munies d'un culot à vis Edison.

#### Groupe P.T.B.-D.A.M.G.

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

Ce groupe, reçu au B.I.P.M. le 24 janvier 1950, était composé de huit lampes (14 V, 3,8 A) du type représenté à la figure 1 a; il a été retiré des comparaisons à la suite de la visite du Docteur Korte, Membre du Comité Consultatif de Photométrie, qui a remporté en Allemagne quatre des huit lampes, le 13 décembre 1951.

# Groupe N. B. S.

National Bureau of Standards, Etats-Unis d'Amérique, (reçu au B.I.P.M. le 5 octobre 1948; retourné au N.B.S. le 29 août 1951).

	Volts	Can-		Ampères	s absolus.	
	abs.	delas.	67	_	_	%.
Lampe nº	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
BS 5292 B	45,3	13,67	+0,27	1,311	1.3114	+0,03
		63		IIO		
BS 5293 B	45,8	14,23	-0,06	1,305	1,3048	+0,01
		18		044		
BS 3844(1)	70	=	-	-	=	=
BS 3855(2)	105,2	13,25	-0,21	0,5718	0,572 21	+0,04
		37		2 2		

Ces quatre étalons à filament de carbone sont des types représentés aux figures 2 a pour les n° 5292 et 5293 et 2 b pour les n° 3844 et 3855; leur valeur en candelas a été déterminée par comparaison photoélec-

trique aux étalons secondaires de même type conservés au N.B.S. (N.B.S. Report 118 363 du 28 septembre 1948).

L'intensité lumineuse moyenne des trois lampes retenues pour le calcul de l'unité moyenne a accusé une augmentation inférieure à 0,1 % entre les mesures « Aller » et « Retour » au N.B.S. (Report 1526 du 24 mars 1952).

- (1) Par suite d'une erreur typographique au N.B.S. Report 118 363, la différence de potentiel d'alimentation de la lampe BS 3844 s'est trouvée incorrecte; la rectification est arrivée trop tardivement au B.I.P.M. pour que cette lampe intervienne dans les comparaisons.
- (2) La forme en boucle du filament de cette lampe ne permettait pas de définir avec précision la position du plan lumineux moyen.

# Groupe C.N.A.M.

Laboratoire d'Essais du Conservatoire National des Arts et Métiers, France, (reçu au B.I.P.M. le 4 janvier 1952; retourné au C.N.A.M. le 13 février 1952).

	Volts	Can-		Ampères	absolus.	
Lampe 11º	abs. (a)	delas.	%. (c)	(d)	(c)	%· (f)
C 88	99,874	15,99	-0,01	0,738 59	0,738 72	+0,02
C 96	98,693	15,84	-0,04	0,740 80	0,740 90	+0,01
C 98	98,243	16,61	+0,04	0,761 78	0,762 08	+0,04

Ces trois étalons à filament de carbone sont du type représenté à la figure 3. Ils ont été comparés directement à l'étalon primaire (corps noir), réalisé en 1951 au Laboratoire d'Essais du C.N.A.M. (Certificat du 4 mars 1952).

#### Groupe N.P.L.

National Physical Laboratory, Grande-Bretagne, (reçu au B.I.P.M.le 20 juillet 1951; retourné au N.P.L. le 7 août 1951).

	Volts	Can- delas.	% .	Ampères	absolus.	%.
Lampe nº	(a)	(b) (¹)	(c)	(d) (°)	(e)	(f)
189 F N.P.L. 1939.	64,722	10,70	+0,08	0,574 95	0,574 72	-0,04
189 I N.P.L. 1939.	62,121	10,18	-0.06	0,573 85	0,573 62	-0,04
189 L N.P.L. 1939.	63,221	10,49	-0,02	0,571 35	0,57121	-0,02

Ces trois lampes à filament de tungstène, du type représenté à la figure 4, sont celles qui ont déjà participé aux comparaisons internationales de 1948; leur valeur en candelas résulte de nouvelles comparaisons avec les étalons secondaires du N.P.L. (Certificat du 17 juillet 1951).

- (1) Les valeurs en candelas sont les moyennes de l'intensité lumineuse mesurée avant et après les comparaisons au B.I.P.M.; la variation de l'intensité lumineuse moyenne du groupe entre les mesures « Aller » et « Retour » au N.P.L. est inférieure à 0,05 % (Certificat du 3 mai 1952).
  - (2) Moyennes des intensités de courant « Aller » et « Retour ».

#### Groupe E.T.L.

Electrotechnical Laboratory, Japon, (reçu au B.I.P.M. le 1er décembre 1949; retourné à l'E.T.L. le 23 novembre 1951).

	Volts	Can- delas.	0/	Ampères	absolus.	0/
Lampe nº	(a)	(b)	(c)	(d)	(c)	(f)
DS 4901	103,43	14,61	+0,22	0,526 1	0,526 05	-0,01
		58		6 1		
DS $4902(1)$ .	102,71	14,42	-	0,5243	-5	*
		16		3 о		
DS 4907 (2).	103,24	14,53	-	0,5267	0,525 94	-
DS 4908	102,49	14,24	-0,22	0,5236	0,522 96	-0,09
		21		3 3		

Ces quatre étalons à filament de tungstène sont du type représenté à la figure 5. Leur valeur en candelas résulte de comparaisons visuelles avec les étalons secondaires de l'E.T.L. étalonnés par rapport à l'étalon primaire (corps noir) réalisé en 1939 (Certificat du 1er novembre 1949).

L'intensité lumineuse moyenne des deux lampes retenues pour le calcul de l'unité moyenne, accuse une diminution de 0,2 % entre les mesures « Aller » et « Retour » à l'E.T.L. (Certificat du 8 avril 1952).

- (¹) Cette lampe s'est montrée instable au cours des mesures au B.I.P.M.; cette instabilité a été confirmée par l'E.T.L. au retour de la lampe au Japon.
  - (2) Lampe accidentée au cours du transport de retour.

# Groupe I. M.

Institut de Métrologie D.I. Mendeléev, U.R.S.S., (reçu au B.I.P.M. le 12 mai 1948; retourné à l'I.M. le 17 août 1951).

	Volts	Can- delas	% •	Ampères	absolus.	%.
Lampe nº	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(F)
1-10	69,72	18,60	+0,01	1,075 4	1,075 18	-0,02
1-11	69,42	18,07	-0,04	1,079 2	1,078 82	-0,04
1-12	69,32	18,31	+0,02	1,075 4	1,075 29	-0,01

Ces trois lampes à filament de tungstène dans le vide, du type représenté à la figure 6, font partie du groupe de six lampes ayant participé aux comparaisons internationales de 1948; elles sont restées en dépôt au B.I.P.M. depuis cette date. Leur valeur en candelas, déterminée par comparaison aux étalons secondaires de l'I. M. étalonnés par rapport à l'étalon primaire (corps noir) réalisé en 1946, n'a pas été modifiée (Certificat du 6 mars 1948 et lettre du 3 juin 1950). Ces étalons sont utilisés avec un écran d'ouverture rectangulaire, disposé verticalement devant la lampe.

Aucune variation sensible de l'intensité lumineuse moyenne de ce groupe de lampes n'a été constatée à son retour à l'I.M. (Rapport n° 44/0 du 10 mars 1952).

# B. — ÉTALONS D'INTENSITÉ LUMINEUSE A 23530 K.

Toutes les lampes, sauf celles du groupe N.P.L., étaient munies d'un culot à vis Edison.

# $Groupe\ P.T.B.-D.A.M.G.$

Ce groupe, reçu au B.I.P.M. le 24 janvier 1950, était composé de huit lampes (20 V, 4,5 A) du type représenté à la figure 1 a; il a été également retiré des comparaisons (voir note à groupe 2042°K). Quatre des huit lampes ont été remportées en Allemagne par le Docteur Korte, le 13 décembre 1951.

#### Groupe N.B.S.

(reçu au B.I.P.M. le 5 octobre 1948; retourné au N.B.S. le 29 août 1951).

	Volts	Can-	Ampères absolus.			
	abs.	delas.	70 .	_		0/ .
Lampe nº	(a)	(b)	(c)	(it)	(c)	(f)
BS 3435	99,5	26,03	+0.09	0,3544	0,354 19	-0,06
BS 3436	99,7	23,81	-0,49	0,3413	0,341 42	+0,04
BS 3437	99,2	25,24	+0.61	0,3538	0,353 82	+0,01
BS 3438	99,7	24,37	-0,20	0,3366	0,336 64	+0,01

Ces quatre lampes à filament de tungstène dans le vide, du type représenté à la figure 10 a, sont utilisées à la fois comme étalons d'intensité et de flux lumineux à 2353° K. Leur valeur en candelas a été déterminée par comparaison photoélectrique aux étalons secondaires de même type conservés au N.B.S. (N.B.S. Report 118 363 du 28 septembre 1948).

Aucune variation sensible de l'intensité lumineuse moyenne de ce groupe de lampes n'a été constatée à son retour au N.B.S. (lettre du N.B.S. du 29 avril 1952) (3).

La disposition en « cage d'écureuil » du filament de ces quatre lampes ne permettait pas de définir avec précision la position du plan lumineux moyen

# Groupe C.N.A.M.

(reçu au B.I.P.M. le 4 janvier 1952; retourné au C.N.A.M. le 13 février 1952).

	Volts	Can-		Ampère	s absolus.	
Lampe nº	abs. (a)	delas.	%. (c)	(d)	(e)	%. (f)
WJ 79 (1).	110,107		-	0,312 85	-	-
WJ 84	110,107	25,61	-0,10	0,31265	0,312 52	-0.04
WJ 85	110,107	25,86	+0,10	0,31145	0,31160	+0,05

Ces trois étalons à filament de tungstène dans le vide sont du type représenté à la figure 7; leur valeur en candelas a été dérivée des éta-

<sup>(3)</sup> Le N. B. S. Report 1664 du 26 mai 1952, reçu au B.I.P.M. le 12 juin, indique que l'intensité lumineuse moyenne de ce groupe de lampes a diminué de 0,1 % entre les mesures « Aller » et « Retour » au N. B. S.

lons à 2042°K, comparés directement à l'étalon primaire en 1951, au moyen du verre bleu international R. 2.28, en admettant un facteur de transmission totale de 0,523 6 (Certificat du 4 mars 1952).

(1) Cette lampe s'est montrée instable au cours des mesures au B. I. P. M.

#### Groupe N.P.L.

(reçu au B.I.P.M. le 20 juillet 1951; retourné au N.P.L. le 29 février 1952).

	Volts	Can-		Ampères		
	abs.	delas.	0/.			%.
Lampe nº	(a)	(b) (1)	(c)	(d) (2)	(e)	(f)
190 D N.P.L.1939.	110,037	26,69	+0.08	0,308 76	0,308 67	0,03
190 F N.P.L.1939.	106,536	25,96	-0,05	0,310 98	0,31087	-0,04
190 N N.P.L.1939.	109,737	26,74	-0.03	0,312 20	0,31213	-0,02

- Ces trois lampes à filament de tungstène, du type représenté à la figure 4, sont celles qui ont déjà participé aux comparaisons internationales de 1948; leur valeur en candelas résulte de nouvelles comparaisons avec les étalons secondaires du N. P. L. (Certificat du 17 juillet 1951).

(1) Les valeurs en candelas sont les moyennes de l'intensité lumineuse mesurée avant et après les comparaisons au B.I.P.M.; la variation de l'intensité lumineuse moyenne du groupe entre les mesures « Aller » et « Retour » au N.P.L. est inférieure à 0,05 % (Certificat du 3 mai 1952).

(2) Moyenne des intensités de courant « Aller » et « Retour ».

#### Groupe E.T.L.

(reçu au B.I.P.M. le 1er décembre 1949; retourné à l'E.T.L. le 23 novembre 1951).

	Volts	Can-		Ampère	s absolus.	
	abs.	delas.	0/	-	-	%.
Lampe nº	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
DS 4913	105,39	29,91	-0,08	0,4083	0,40836	0
		88		8 4		
DS 4915	105,71	28,81	+0,15	0,4006	0,400 81	+0,04
		81		0.7		
DS 4916 (1).	105,19	29,85	-	0,4077	=	-
		41		8 o		
DS 4911	104,68	29,51	-0,07	0,4076	0,40749	-0,04
		44		77		

Ces quatre étalons sont des lampes à filament de tungstène du type représenté à la figure 8. Leur valeur en candelas résulte de comparaisons visuelles avec les étalons secondaires de l'E.T.L. étalonnés par rapport à l'étalon primaire (corps noir) réalisé en 1939 (Certificat du 1°1 novembre 1949).

L'intensité lumineuse moyenne des trois lampes retenues pour le calcul de l'unité moyenne a accusé une diminution de 0,1 % entre les mesures « Aller » et « Retour » à l'E.T.L. (Certificat du 8 avril 1952).

(1) Cette lampe s'est montrée instable au cours des mesures au B.I.P.M.; cette instabilité a été confirmée par l'E.T.L. au retour de la lampe au Japon.

#### Groupe I. M.

(reçu au B.I.P.M. le 12 mai 1948; retourné à l'I.M. le 17 août 1951).

	Volts	Can-	Ampères absolus.			
Lampe nº	abs. (a)	delas.	%. (c)	(d)	(e)	% · ( <i>f</i> )
2-2	107,14		-0.03	0,545 8	0,545 70	-0,02
2-3	107,84		+0,01	0,544 5	0,544 45	-0,01
2-5	107,54	37,35	+0,02	0,5447	0,54441	-0,05

Ces trois lampes à filament de tungstène dans le vide, du type représenté à la figure 6, font partie du groupe de six lampes ayant participé aux comparaisons internationales de 1948; elles sont restées en dépôt au B.I.P.M. depuis cette date. Leur valeur en candelas, déterninée par comparaison aux étalons secondaires de l'I. M., n'a pas été modifiée (Certificat du 6 mars 1948 et lettre du 3 juin 1950). Ces étalons sont utilisés avec un écran d'ouverture rectangulaire, disposé verticalement devant la lampe.

Aucune variation sensible de l'intensité lumineuse moyenne de ce groupe de lampes n'a été constatée à son retour à l'I. M. (Rapport n° 44/0 du 10 mars 1952).

# II. - ÉTALONS DE FLUX LUMINEUX A 2353 ET 2788° K.

#### 1. Note sur l'exécution des comparaisons.

a. Schéma des comparaisons. — Les étalons nationaux de flux à 2353 et 2788°K ont été comparés aux étalons de référence du Bureau International fonctionnant approximativement à la même température de couleur. Six séries principales de mesure (pour les lampes présentes en même temps au B.I.P.M.) et deux groupes

de trois séries de rattachement (pour les lampes reçues ultérieurement) ont été effectuées en groupant les lampes comme suit :

# Séries principales (2353 et 2788 °K).

i.	2.	3.
B. I. P. M.	B. I. P. M.	B. I. P. M.
E. T. L.	I. M.	E. T. L.
P. T. BD A. M. G.	N. B. S. (1)	N. B. S. (1)
4.	5.	6.
B. I. P. M.	B. I. P. M.	B. I. P. M.
P. T. BD. A. M. G.	E. T. L.	P. T. BD. A. M. G.
N. B. S. (1).	I. M.	ſ. M.

(1) Pour les lampes à 2788° K seulement : mesures « Aller » au B. I. P. M., avant étalonnage au N. B. S. (voir p. P 95).

#### Séries de rattachement.

Groupe	e 2353∘K.	Groupe 2788° K.		
1.	2.	1.	2.	
B. I. P. M.	B. I. P. M.	B. I. P. M.	B. I. P. M.	
N. P. L.	C. N. A. M.	N. P. L.	C. N. A. M.	
I. M. (1)		N. B. S. (2)		

(1) Les étalons de l'I. M. ont été incorporés dans ce groupe de rattachement uniquement dans un but de contrôle; les résultats obtenus concordent à mieux que 0,05 % avec ceux des séries principales 2, 5 et 6.

(2) Mesures « Retour » au B. I. P. M., après étalonnage au N. B. S.

Dans chaque série, les lampes étaient mesurées une première fois dans un certain ordre et une seconde fois dans l'ordre inverse; au total les étalons nationaux ont donc été comparés six fois aux étalons de référence du Bureau International.

b. Appareils et méthodes de comparaisons. — Tous les étalons de flux lumineux ont été comparés dans la sphère de 1,54 m de diamètre déjà utilisée pour les comparaisons de 1948 (cf. Annexe P 3, P53); le revêtement intérieur de la sphère (enduit à l'oxyde de zinc dilué dans une solution gélatineuse, donnant un facteur de réflexion de 0,9 environ) avait été refait peu de temps avant les mesures.

Les comparaisons ont été exécutées photoélectriquement en utilisant : 1º le photomètre à photopile au sélénium déjà men-

tionné pour les comparaisons des étalons d'intensité lumineuse (p. P78); 2° un photomètre à réponse linéaire comportant essentiellement une cellule à vide au césium sur argent oxydé (Cs/AgO) du type Boutry-Gillod (4), dont le courant photoélectrique est envoyé dans un amplificateur à courant continu (tube électromètre simple, résistance d'entrée de 2.101° \Omega constituée par une couche mince d'or déposée sur quartz); la chute de tension créée par le courant de la cellule dans la résistance d'entrée est compensée par celle d'un potentiomètre étalonné de 0 à 2 V. Un ensemble de verres colorés appropriés corrige la sensibilité spectrale de la cellule de façon à la rendre analogue à celle de l'œil de l'observateur moyen.

Les mesures avec le photomètre à photopile consistaient à comparer, par une méthode de « zéro », les éclairements reçus par la photopile et provenant, d'une part de la fenêtre d'observation de la sphère, d'autre part d'une lampe placée à une distance réglable et mesurée sur le banc photométrique (application de la loi en  $\frac{1}{d^2}$ ).

Avec le photomètre linéaire à cellule à vide, on mesurait directement la luminance de la fenêtre d'observation de la sphère; les lectures sur le potentiomètre sont proportionnelles à la luminance observée.

Les résultats obtenus par ces deux méthodes se sont montrés en excellent accord : dans le cas d'étalons réglés à la même température de couleur, la concordance est meilleure que 0,1 %.

Toutes les lampes ont été nettoyées de la même façon que les étalons d'intensité.

Les comparaisons des étalons de flux lumineux ont été faites à une température ambiante voisine de 20°C; l'état hygrométrique était compris entre 0,50 et 0,65.

La durée totale d'allumage de chaque lampe a été de 45 à 60 minutes suivant les groupes.

#### 2. Température de couleur.

Le contrôle en température de couleur des étalons de flux

<sup>(4)</sup> Philosophical Magazine, t. 28, 1939, p. 182; Mesures, t. 15, 1950, p. 207.

a été effectué photoélectriquement par la méthode du rapport rouge dans les mêmes conditions que celui des étalons d'intensité lumineuse, chaque lampe étant placée à l'intérieur de la sphère.

Les résultats individuels obtenus ont été également communiqués à chaque Laboratoire national (lettre-circulaire du 31 mars 1952). Le tableau II résume les résultats concernant les groupes d'étalons remis par chaque Laboratoire; les températures indiquées sont également exprimées dans l' « Échelle B. I. P. M. », échelle de référence commune, fondée sur la moyenne des températures de couleur des étalons nationaux (sauf ceux du C. N. A. M.) qui ont été reçus pour cette seconde comparaison internationale.

TABLEAU II.

Température de couleur
(Échelle B. I. P. M. 1954).

Laboratoire.	Groupe 2353° K.	Groupe 2788° K.
P. T. BD. A. M. G	2373 °K	2807 °K
N. B. S	2350	_ 2765
C. N. A. M	2371	2721
N. P. L	2368	2785
E, T. L	. 2331	2782
I. M	2344	2794

On constate que les températures de couleur des différents groupes présentent entre elles des différences de l'ordre de 40 degrés (2353° K) et 80 degrés (2788° K), écarts non négligeables, et de surcroît préjudiciables à la précision des comparaisons. Il serait souhaitable qu'un accord se réalisât en vue d'une unification — fût-elle provisoire — des températures de couleur des étalons photométriques.

#### 3. Corrections AUX OBSERVATIONS.

Quelques corrections, dont la somme atteignait au maximum 3 à 4 millièmes en valeur relative, ont été apportées aux résultats bruts des observations.

1º Les corrections à la loi en  $\frac{1}{d^2}$  et d'absorption de l'air,

applicables uniquement aux mesures avec le photomètre à photopile, étaient suffisamment faibles pour qu'on ait pu les négliger; comme pour les comparaisons des étalons d'intensité, ces deux corrections présentaient en outre la particularité de se compenser à peu près.

2º La correction de température de couleur de l'ensemble « sphère + récepteur photoélectrique » a été calculée pour chaque lampe, d'après les résultats individuels du contrôle en température de couleur des étalons; le terme correctif adopté pour la photopile et la cellule à vide était de + 0,03 % pour + 10 degrés de différence de température de couleur.

3º L'absorption supplémentaire créée par la présence dans la sphère de chaque lampe à comparer, a été déterminée pour chacun des groupes d'étalons nationaux; elle donnait lieu à une correction comprise entre 0,1 et 0,5 % suivant les types de lampes.

#### 4. RÉSULTATS DÉTAILLÉS CONCERNANT LES ÉTALONS DE FLUX LUMINEUX DE CHAQUE LABORATOIRE.

Les tableaux ci-après reproduisent les résultats obtenus sur tous les étalons nationaux qui ont participé aux présentes comparaisons, chaque étalon ayant été mesuré dans les conditions spécifiées au Certificat du Laboratoire d'origine.

Les lettres identifiant chacune des colonnes de ces tableaux ont la même signification que pour les résultats relatifs aux étalons d'intensité lumineuse (cf. 4, p. P80); seuls les mots « candela » et « intensité lumineuse » sont à remplacer par « lumen nouveau » et « flux lumineux ».

# A. — ÉTALONS DE FLUX LUMINEUX A 23530 K.

Toutes les lampes étaient munies d'un culot à vis Edison et utilisées le culot en haut, sauf celles de l'E. T. L. qui fonctionnaient le culot en bas.

# Groupe P. T. B.-D. A. M. G.

Ce groupe, reçu au B. I. P. M. le 24 janvier 1950, était composé de trois séries de huit, cinq et six lampes des types représentés respectivement aux figures 9a, 9b et 1b; il a été retiré des

comparaisons (voir note à groupe intensité lumineuse 2042° K). Onze de ces dix-neuf lampes ont été remportées en Allemagne par le Docteur Korte, le 13 décembre 1951.

#### Groupe N. B. S.

(reçu au B. I. P. M. le 5 octobre 1948; retourné au N. B. S. le 29 août 1951).

	Volts	Lumens	Ampères absolus.			
	abs.	nouv.	% -			% .
Lampe no	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
BS 3435	99,5	249,6	+0,07	0,3544	0,354 13	-0.08
BS 3436	99,7	238,4	+0,02	0,3413	0,34132	+0,01
BS 3437	99,2	249,8	-0,02	0,3538	0,353 78	0,01
BS 3438	99,7	238,5	-0,07	0,3366	0,33655	-0,01

Ce groupe de quatre lampes, du type représenté à la figure 10 a, est le même que celui qui a été utilisé pour les comparaisons des étalons d'intensité lumineuse à 2353° K. La valeur en lumens nouveaux de chaque lampe a été déterminée par comparaison photoélectrique aux étalons secondaires de même type conservés au N. B. S. (N. B. S. Report 118 363 du 28 septembre 1948).

Aucune variation sensible du flux lumineux moyen de ce groupe de lampes n'a été constatée à son retour au N. B. S. (lettre du N. B. S. du 29 avril 1952 (5).

## Groupe C. N. A. M.

(reçu au B. I. P. M. le 13 février 1952; retourné au C. N. A. M. le 5 avril 1952).

	Volts	Lumens		Ampère	s absolus.	
	abs.	nouv.	%.			% .
Lampe nº	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
D 5	100,20	239,2	-0,17	0,3205	0,32072	+0,07
D 9	100,20	243,7	+0,12	0,3232	$0,3233_5$	+0,05
D 10	100,20	242,0	+0,04	0,3227	0,32285	+0,05

Ces trois étalons à filament de tungstène dans le vide sont du type représenté à la figure 11 a. Leur valeur en lumens nouveaux est dérivée des mesures faites sur l'étalon primaire (corps noir) réalisé au C. N. A. M. en 1951 (Certificat du 12 février 1952).

<sup>(5)</sup> Le N. B. S. Report 1664 du 26 mai 1952, reçu au B. I. P. M. le 12 juin, indique que le flux lumineux moyen de ce groupe de lampes a augmenté de 0,1 % entre les mesures «Aller» et «Retour» au N. B. S.

# Groupe N. P. L.

(reçu au B. I. P. M. le 20 juillet 1951; retourné au N. P. L. le 7 août 1951).

% .
(f)
. 0
-0,02
-0,01
+0,01
+0,04
-0,01

Ces six étalons à filament de tungstène dans le vide sont du type représenté à la figure 12 a.

- (1) Les valeurs en lumens nouveaux sont les moyennes du flux lumineux mesuré avant et après les comparaisons au B. I. P. M.; la variation du flux moyen du groupe entre les mesures « Aller » et « Retour » au N. P. L. est inférieure à 0,1 % (Certificats des 17 juillet 1951 et 5 avril 1952).
  - (2) Moyennes des intensités de courant « Aller » et « Retour »,

# Groupe E. T. L.

(reçu au B. I. P. M. le 1<sup>cr</sup> décembre 1949; retourné à l'E. T. L. le 23 novembre 1951).

	Volts abs.	Lumens	% -	Ampères	absolus.	%.
Lampe nº	(a)	(b)	(c)	(d)	(c)	(.f)
DS 4922 T.	105,35	151,1	-0,09	0,215 7 5 6	0,215 74	+0,04
DS 4924 T.	105,53	1,0	-o,o6	0,2142	0,21402	-0,04
DS 4926 T.	106,20	0,6 152,2	+0,02	4 o 0,214 4	0,21423	-0,06
DS 4928 T.	105,63	2,6 150,7	+0,12	43 0,2148	0,21467	-0.06
2020 11	100,00	1,0	, 0,12	48	0,214 0/	0,00

Ces quatre étalons à filament de tungstène dans le vide sont du type représenté à la figure 13 a. Leur valeur en lumens nouveaux résulte de comparaisons visuelles avec les étalons secondaires de l'E. T. L.

étalonnés à partir de l'étalon primaire (corps noir) réalisé en 1939 (Certificat du 1er novembre 1949).

Le flux moyen de ces quatre lampes a accusé une augmentation de 0,1 % entre les mesures « Aller » et « Retour » à l'E. T. L. (Certificat du 8 avril 1952).

#### Groupe I. M.

(reçu au B. I. P. M. le 12 mai 1948; retourné à l'I. M. le 17 août 1951).

	Volts abs.	Lumens nouv.	% .	Ampères	0/	
Lampe nº	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(1)
$\pi - 1 - 64$	97,23	341,9	+0,29	0,5433	0,543 9;	+0,12
		2,5		0.40		
$\pi - 1 - 65(1)$ .	97,23	351,0	-0.38	0,5442	$0,5440_{5}$	<b>—</b> 0,03
$\pi$ -1-66	97,43	0,6 354,7 2,1	+0,09	0,545 9	υ,545 7 <sub>0</sub>	-0,02

(1) Le culot original de cette lampe s'étant descellé, un nouveau culot a été sixé en juillet 1949.

Ces trois lampes à filament de tungstène dans le vide, du type représenté à la figure 14 a, font partie du groupe de six lampes ayant participé aux comparaisons internationales de 1948; elles sont restées en dépôt au B. I. P. M. depuis cette date. Leur valeur en lumens nouveaux résulte des comparaisons effectuées en 1947 avec les étalons secondaires de l'I. M. étalonnés à partir de l'étalon primaire (corps noir) réalisé en 1946 (Gertificat du 6 mars 1948 et lettre du 3 juin 1950).

La mesure de ces lampes à leur retour en U. R. S. S. a fait apparaître des variations, plus particulièrement pour  $\pi$ -1-66 où la variation se traduit par une diminution du flux de 0,74 %. En moyenne, le flux lumineux de ce groupe de lampes a diminué de 0,2 % entre les mesures « Aller » et « Retour » à l'I. M. (Rapport 44/0 du 10 mars 1952), variation dont il a été tenu compte pour le calcul de l'unité moyenne à cette température de couleur.

# B. — ÉTALONS DE FLUX LUMINEUX A 2788º K.

Toutes les lampes étaient munies d'un culot à vis Edison et utilisées le culot en haut, sauf celles de l'E. T. L. qui fonctionnaient le culot en bas.

#### Groupe P. T. B.-D. A. M. G.

Ce groupe, reçu au B. I. P. M. le 24 janvier 1950, était composé de deux séries de six et cinq lampes des types représentés respectivement aux figures 1b et 9b; il a été, comme tous les précédents, retiré des comparaisons. Huit de ces onze lampes ont été remportées en Allemagne par le Docteur Korte, le 13 décembre 1951.

## Groupe N. B. S.

(reçu au B. I. P. M. le 5 octobre 1948; retourné au N. B. S. le 4 juillet 1950 et revenu au B. I. P. M. le 21 septembre 1951).

	Volts	Lumens	% .	Ampères	absolus.	0/
Lampe nº	(a)	(b)	(c)	(d)	(c)	% - (1)
N. B. S. 2288	102,8	2344	0,09	1,648	1,6470	-0.08
					63	
N. B. S. 2289	104,2	2379	+0,02	1,654	$1,652_{2}$	-0,11
					$^{2_{2}}$	
N. B. S. 2290	103,6	2375	-0.09	1,652	1,6520	-0,10
					487	
N. B. S. 2291	104,5	2411	-0.03	1,660	$1,658_2$	—o, 14
					71	

Ces quatre étalons à filament de tungstène en atmosphère gazeuse sont du type représenté à la figure 10 c, mais avec une ampoule dépolie intérieurement et sans rondelle de mica à la naissance du col cylindrique. Leur valeur en lumens nouveaux résulte de comparaisons photoélectriques avec les étalons secondaires du N. B. S. des groupes BS 5872 A ou BS 7590 (NBS Report 127556 du 8 février 1951).

A la suite des anomalies constatées antérieurement sur la valeur des étalons et de l'unité de flux N. B. S. à 2788° K (voir Annexe P 3, p. P 71) les quatre lampes ci-dessus ont été mesurées comme suit :

- 1º Comparaison au B. I. P. M. en juin 1950 (Aller);
- 2º Étalonnage au N. B. S. en février 1951;
- 3º Comparaison au B. I. P. M. en décembre 1951 (Retour).

Les variations constatées entre les mesures « Aller » et « Retour » au B. I. P. M. se traduisent par une diminution du flux moyen de ce groupe de 0,17 %.

# Groupe C. N. A. M.

(reçu au B. I. P. M. le 13 février 1952; retourné au G. N. A. M. le 5 avril 1952).

Lampe	Volts	Lumens		Ampères	absolůs.	
nº.	abs.	nouv.	%- (c)	(d)	(c)	% · ( <i>f</i> )
T-2	V : 1	2128	+0,44	1,625	1,6245	-0,03
T-3	103,63	2173	-0,25	1,621	1,6197	-0,08
T-5	103,55	2145	-0,19	1,621	1,6208	-0,01

Ces trois lampes à filament de tungstène en atmosphère gazeuse sont du type représenté à la figure 11 b. Leur valeur en lumens nouveaux est dérivée des mesures faites sur l'étalon primaire (corps noir) réalisé en 1951 au C. N. A. M. (Certificat du 12 février 1952).

#### Groupe N. P. L.

(reçu au B. I. P. M. le 20 juillet 1951; retourné au N. P. L. le 29 février 1952).

	Volts abs.	Lumens	%	Ampères	absolus.	%
Lampe no.	(a)	(b)(¹)	(c)	$(d)(^{2})$	(e)	(f)
305 C N. P. L. 1950	94,5	2559	-0,02	1,9570	1,9561	-0,05
303 D N. P. L. 1950	95,0	2517.	-o,o8	1,9270	1,9277	+0,04
303 E N. P. L. 1930	95,9	2555	+0.09	1,9230	$1,923_{2}$	+0,01
303 F N. P. L. 1930	94,8	2525	-0,01	1,930,	1,9317	+0,07
303 K N. P. L. 1950	95,8	2588	-0,05	1,9456	1,9459	+0,02
303 L N. P. L. 1950	96,4	2643	+0,05	1,9406	1,9423	+0,09

Ces six étalons à filament de tungstène en atmosphère gazeuse sont du type représenté à la figure 12 b. Ces lampes subissaient, avant les mesures, un préchauffage d'environ 10 minutes, sous une différence de potentiel légèrement inférieure à la différence de potentiel d'alimentation correcte.

(1) Les valeurs en lumens nouveaux sont les moyennes du flux lumineux mesuré avant et après les comparaisons au B. I. P. M.; la variation du flux moyen du groupe entre les mesures « Aller » et « Retour » au N. P. L. est inférieure à 0,1 % (Certificats des 17 juillet 1951 et 5 avril 1952).

(2) Moyennes des intensités de courant « Aller » et « Retour ».

#### Groupe E. T. L.

(reçu au B. I. P. M. le 1er décembre 1949; retourné à l'E. T. L. le 23 novembre 1951).

	Volts Lumens			Ampère		
Lampe nº.	abs. (α)	nouv. (b)	%. (c)	(d)	(e)	%. (f)
DS 4931 T	104,44	1383 86	-0,11	0,972 6 3 5	0,973 27	+0,02
DS 4932 T	103,76	1379 79	-0,01	o,966 9 8 o	0,96769	+0,02
DS 4933 T	104,24	1412	+0,03	0,9615 25.	0,962 14	+0,01
DS 4934 T	105,04	1405	+0,08	0,972 7 3 7	0,97332	+0,01

Ces quatre étalons à filament de tungstène en atmosphère gazeuse sont du type représenté à la figure 13 b. Leur valeur en lumens nouveaux résulte de comparaisons visuelles avec les étalons secondaires de l'E. T. L. étalonnés à partir de l'étalon primaire (corps noir) réalisé en 1939 (Certificat du 146 novembre 1949).

Le flux moyen de ces quatre lampes a accusé une augmentation de 0,1 % entre les mesures « Aller » et « Retour » à l'E. T. L. (Certificat du 8 avril 1952).

# Groupe I. M.

(reçu au B. I. P. M. le 12 mai 1948; retourné à l'I. M. le 17 août 1951).

	Volts	Lumens		Ampères	s absolus.	
	abs.	nouv.	%.		~	%.
Lampe no	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
$\pi$ -1-73	105,54	3502	+0,30	2,325	2,3239	-o,o5
$\pi$ -1-74	107,84	3272	+0,10	2,275	2,2761	+0,05
$\pi$ -1-79 (1)	106,84	3116	-0,40	2,251	2,2463	-0,21

(1) Le culot original de cette lampe s'étant descellé, un nouveau culot a été fixé en juin 1950.

Ces trois lampes à filament de tungstène en atmosphère gazeuse, du type représenté à la figure 14 b, font partie du groupe de six lampes ayant participé aux comparaisons internationales de 1948; elles sont restées en dépôt au B.I.P.M. depuis cette date. Leur valeur en lumens nouveaux résulte des comparaisons effectuées en 1947 avec les étalons secondaires de l'I. M. étalonnés à partir de l'étalon primaire (corps noir) réalisé en 1946 (Certificat du 6 mars 1948 et lettre du 3 juin 1950).

Aucune variation sensible du flux lumineux moyen de ce groupe de lampes n'a été constatée à son retour à l'I. M. (Rapport n° 44/0 du 10 mars 1952).

## III. — RÉSULTATS DÉFINITIFS DES COMPARAISONS 1952.

Les résultats définitifs de toutes les comparaisons exécutées au B. I. P. M. de 1950 à 1952 sur les étalons secondaires des cinq Laboratoires nationaux (6) sont rassemblés dans le Tableau suivant:

#### TABLEAU III.

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

	Candela.		Lumen nouveau	
Allemagne (P. T. B -D. A. M. G.).	2042° K.	2353° K.	2353° K.	2788° K.
États-Unis d'Amérique (N. B. S.).	0,9973	0,9988	0,9994	0,997
France (C. N. A. M.)	$0,998_0$	1,003 <sub>2</sub> 0,998 <sub>3</sub>	1,008 <sub>6</sub>	0,998
Japon (E. T. L.) U. R. S. S. (I. M.)	1,003 <sub>8</sub>	0,997s 1,0020	0,995 <sub>5</sub> 0,9924	1,001 0,996

Ces résultats, rapprochés de ceux des comparaisons de 1948 (voir Annexe P 3, tableau II, p. P 71), ne font apparaître aucune modification importante de l'unité de chaque Laboratoire; ils confirment les conclusions de la première comparaison internationale tout en conduisant à une meilleure concordance d'ensemble des unités nationales.

. .

Cette deuxième comparaison internationale, qui a groupé les étalons secondaires d'intensité et de flux lumineux des six Labo-

<sup>(6)</sup> Nous rappelons que tous les étalons de l'Allemagne ont été retirés des comparaisons.

ratoires nationaux représentés au Comité Consultatif de Photométrie, a permis de comparer la grandeur des unités photométriques réalisées dans cinq d'entre eux. Les groupes de référence conservés au B. I. P. M. permettront ultérieurement de rattacher les étalons de l'Allemagne à ceux des autres Laboratoires et de compléter le tableau III.

En conclusion de ce Rapport, il y aurait lieu d'apporter quelque attention sur les points suivants en vue d'améliorer les comparaisons futures.

- 1º Présence simultanée de tous les étalons au B. I. P. M.— Cette condition, dont dépend pour une grande part la précision des comparaisons, doit pouvoir être réalisée si les Laboratoires disposent d'un temps suffisant pour préparer leurs étalons et les faire parvenir au B. I. P. M., malgré les difficultés de transport d'étalons aussi délicats que les lampes photométriques.
- 2º Uniformisation des types de lampes envoyées au B.I.P.M. L'examen des figures 1 à 14 montre la diversité des types intervenus dans cette deuxième comparaison; ici aussi, un gain de précision pourrait être obtenu si toutes les lampes étaient du même type. Pour faciliter cette uniformisation, le B.I.P.M. propose d'adresser pour étalonnage, à chaque Laboratoire national, des groupes de lampes de même type, éventuellement réglées en température de couleur, et qui seraient uniquement destinées aux comparaisons internationales.
- 3º Réglage des lampes en température de couleur. Nous avons déjà signalé les différences de couleur constatées, principalement sur les étalons de sux lumineux; la proposition faite par le B. I. P. M., le 31 mars 1952, aux six Laboratoires nationaux permettrait d'assurer, provisoirement, une meilleure concordance de la température de couleur des lampes.
- 4º Transport des lampes étalons. L'expérience a montré que le transport à la main, par une personne qui veille constamment à éviter tout mauvais traitement aux étalons pendant toute la durée du transport, est le plus sûr moyen pour conserver leur valeur d'étalonnage. Grâce à l'obligeance des délégués des Laboratoires nationaux, tous ces transports n'ont eu pratiquement aucune répercussion sensible sur la valeur des étalons.

Plusieurs envois non convoyés ont échoué. Cependant, les

lampes du Japon, d'une construction particulière, et contenues dans un emballage soigné, ont supporté avec un certain succès un transport aller et retour Tokyo-Londres-Paris par avion, non convoyé; des précautions avaient en outre été prises en vue de diminuer le nombre des manipulations par des personnes non qualifiées.

Dans les conditions où s'est effectuée cette deuxième comparaison internationale, on peut estimer, compte tenu de la précision des comparaisons au B. I. P. M. et des variations de la valeur des lampes entre les mesures aller et retour, que l'incertitude sur les résultats du tableau III ne doit pas dépasser 0,2 à 0,3 % sur les unités représentées par des étalons d'intensité lumineuse, et 0,4 % sur les flux lumineux.

Le Comité Consultatif de Photométric, qui doit se réunir le 30 juin 1952, aura à proposer la date de la prochaine comparaison internationale des unités photométriques. Cette date, pour les raisons indiquées en 1°, ne devrait pas être trop rapprochée; de plus, de nouvelles réalisations de l'étalon primaire étant prévues ou en cours dans certains Laboratoires nationaux, nous pensons que la prochaine comparaison serait utilement effectuée après l'achèvement de ces importants travaux (7).

<sup>(1)</sup> Le Comité a proposé que la prochaîne comparaison internationale ait lieu en 1955, les lampes devant parvenir au Bureau International au printemps de 1955.

# TYPES DES LAMPES

INTERVENUES DANS LA

# DEUXIÈME COMPARAISON DES ÉTALONS NATIONAUX D'INTENSITÉ ET DE FLUX LUMINEUX (1950-1952)





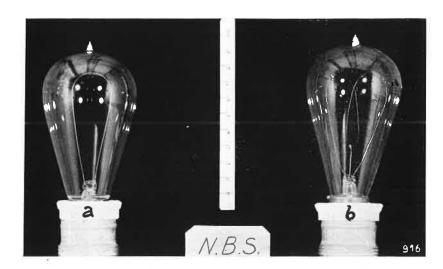


Fig. 2.

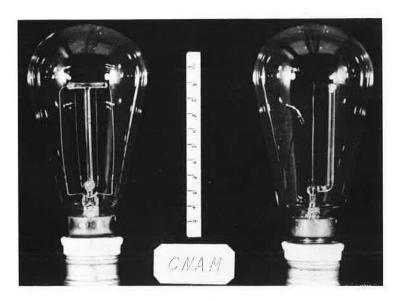


Fig. 3.

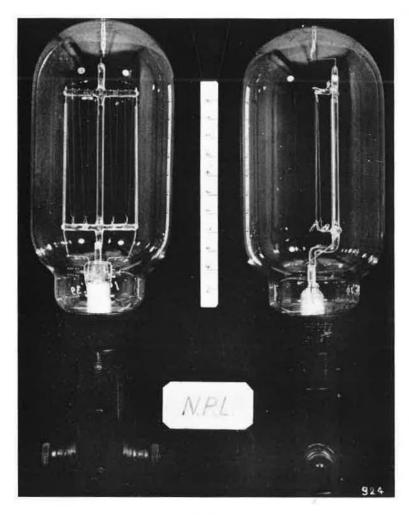


Fig. 4.

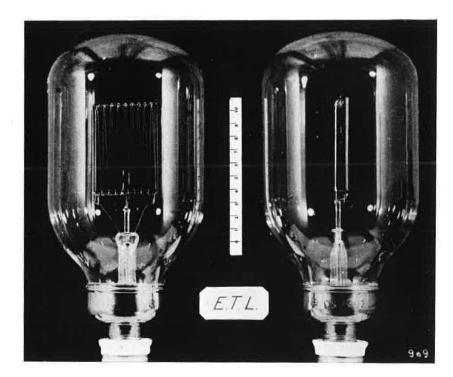


Fig. 5.

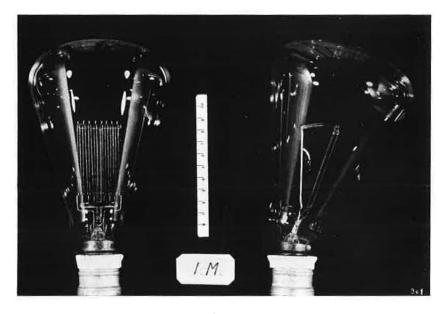


Fig. 6.

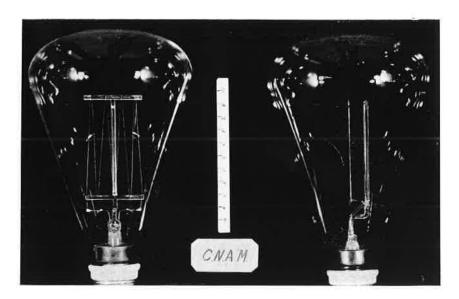


Fig. 7.

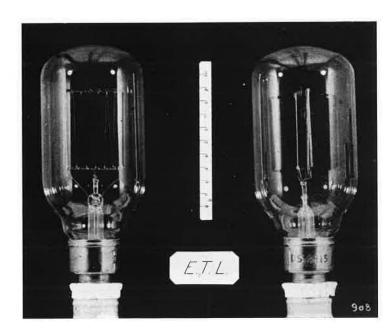


Fig. 8.

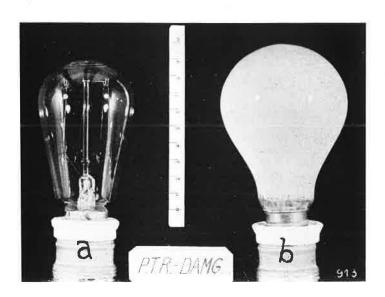


Fig. 9.

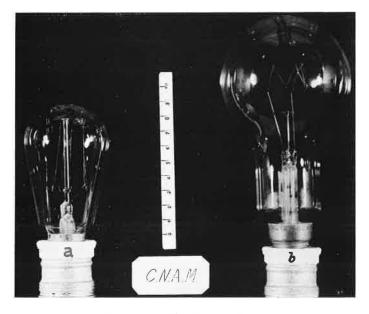


Fig. 11.

Fig. 10.



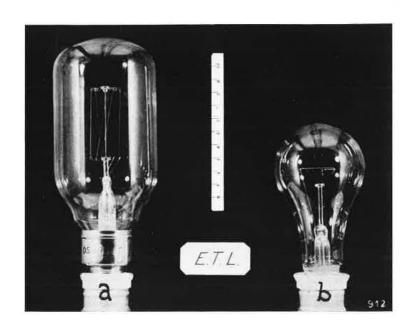


Fig. 13a

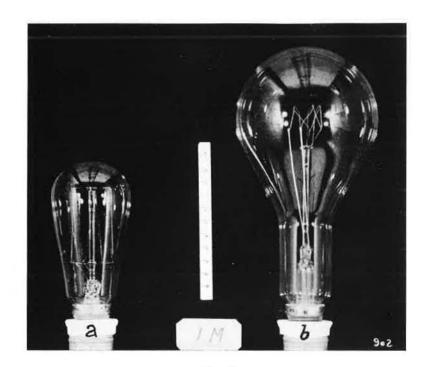


Fig. 14.

#### ANNEXE P 5.

### Bureau International des Poids et Mesures

# UNIFICATION DES CARACTÉRISTIQUES

DES

# LAMPES ÉTALONS D'INTENSITÉ LUMINEUSE

Par une lettre-circulaire du 16 avril 1947, le Bureau International des Poids et Mesures a sollicité les avis des Laboratoires nationaux sur la proposition reproduite ci-après:

Recommandations du Bureau International tendant à uniformiser les caractéristiques des lampes étalons d'intensité lumineuse.

En vue d'assurer à l'avenir une meilleure précision dans les comparaisons internationales des étalons d'intensité lumineuse, le Bureau International des Poids et Mesures recommande d'adopter, pour les lampes destinées à ces comparaisons, les caractéristiques suivantes:

1º Valeur de l'intensité lumineuse :

lampes à 2046°K : 15  $\pm$  2 bougies nouvelles; lampes à 2360°K : 30  $\pm$  4 bougies nouvelles.

2º Tolérance sur la température de couleur nominale :

± 5 degrés.

3º Forme du culot et du filament :

Les lampes devraient être munies d'un culot à vis Edison et

fonctionner le culot en bas, le filament étant disposé dans un plan vertical, et l'axe du culot étant approximativement vertical.

# 4º Différence de potentiel d'alimentation :

### $105 \pm 15$ volts.

Le D. A. M. G. d'Allemagne, le N. B. S. des Etals-Unis, le C. N. A. M. de France, le N. P. L. de Grande-Bretagne, et l'E. T. L. du Japon ont accueilli favorablement cette proposition, en ajoutant les commentaires qui peuvent être résumés ainsi:

#### 1º Valeur de l'intensité lumineuse :

Le N. B. S. préfère  $15 \pm 4$  cd à 2042 K (1) et  $30 \pm 8$  cd à 2353 K, c'est-à-dire des tolérances deux fois plus larges.

### 2º Tolérance sur la température de couleur nominale :

Le N. B. S. préfère 2 « microreciprocal degrees », ce qui équivant approximativement à ±5 degrés à 2042, ±10 degrés à 2353, et ±15 degrés à 2788°K.

# 4º Différence de potentiel d'alimentation :

Le N. B. S. et le D. A. M. G. préfèrent spécifier seulement une dissérence de potentiel inférieure à 120 V.

Il semble donc facile de concilier tous les avis exprimés en adoptant des tolérances plus larges que dans les recommandations proposées.

Par ailleurs, le N. P. L. fait observer que les échelles de température de couleur des divers Laboratoires ne sont pas en accord très étroit, et l'E. T. L. estime que « l'échelle des températures de couleur n'étant pas encore définie internationalement, il sera désirable d'essayer d'uniformiser temporairement cette échelle le plus tôt possible ».

En ce qui concerne la couleur des lampes à incandescence employées comme étalons photométriques, il paraît facile d'arriver rapidement à une uniformisation suffisante en opérant de la

<sup>(1)</sup> Nous remplaçons « bougie nouvelle » par « candela » et exprimons les températures dans l'Échelle internationale de 1948 avec  $C_2 = 1,438$  cm.degré.

façon suivante. Le B. I. P. M. a constitué pour son propre usage une échelle de température de couleur fondée simplement sur une moyenne des étalons photométriques qu'il a reçus des Laboratoires nationaux, et il connaît la température de couleur de ces étalons dans cette échelle. Le B. I. P. M. peut donc indiquer dès maintenant à chaque Laboratoire la température de couleur des lampes qui ont participé aux comparaisons photométriques internationales. Après avoir rassemblé les résultats communiqués par le B. I. P. M., le Comité Consultatif de Photométrie pourra, s'il le juge opportun, recommander aux Laboratoires de régler à l'avenir la température de couleur des lampes destinées au B. I. P. M. sur des points choisis dans l'échelle du B. I. P. M. prise comme référence provisoire.

### ANNEXE P 6.

#### Bureau International des Poids et Mesures

### PREMIER RAPPORT

SUR LA

# COMPARAISON INTERNATIONALE DE VERRES COLORÉS

Par J. TERRIEN.
(Novembre 1950)

1. Introduction.—Dans sa 10° session (Scheveningen, juin 1939), la Commission Internationale de l'Éclairage avait adopté la résolution suivante relative à des changes internationaux de verres colorés:

Photométrie visuelle, résolution nº 4. — « Huit jeux de quatre filtres convenablement choisis (par exemple du type RG, OG, NG et BG de Schott) de  $4 \times 4$  cm, seront échangés entre les huit Laboratoires suivants:

- « National Bureau of Standards.
- « National Physical Laboratory.
- « Physikalisch-Technische Reichsanstalt.
- « Conservatoire National des Arts et Métiers.
- « Comité national hollandais.
- « Comité national hongrois.
- « Institut Électrotechnique de Turin.
- « Bureau Fédéral des Poids et Mesures de Berne.
- « Leur facteur de transmission sera mesuré par toutes les

méthodes de photométrie visuelle et physique qui paraîtront désirables; l'une de ces méthodes sera obligatoirement la photométrie par papillotement, dans les conditions suivantes:

- « diamètre du champ : 20;
- « éclairement du champ : 25 lux (0,8.10-3 stilb);
- « éclairement du fond : 100 à 50% de l'éclairement du champ;
- « température de couleur de la lumière utilisée : 2700° K.
- « Chaque Laboratoire fera également une étude spectrophotométrique des filtres à la température de 20° C ».

Le Comité allemand devait se charger de choisir et d'obtenir les verres colorés.

Ce projet, interrompu par la guerre, a été repris par la C. I. E. dans sa 11° session (Paris, juillet 1948), par l'adoption de la résolution suivante :

Photométrie visuelle, résolution nº 2. — « Il est recommandé que soit repris le projet d'échange et d'intercomparaison internationale de verres colorés adopté à la 10° session (1939) (photométrie visuelle, résolution n° 4) et que le Bureau International des Poids et Mesures soit invité à organiser ce travail ».

Cette résolution a été portée à la connaissance du Comité International des Poids et Mesures, au cours de sa session d'octobre 1948, qui l'a approuvée en chargeant le Bureau International des Poids et Mesures d'organiser ces comparaisons (1). Après avoir reçu confirmation officielle de cette mission, le Bureau International s'est trouvé amené à compléter la liste des huit Laboratoires mentionnés ci-dessus par l'adjonction des Laboratoires nationaux du Japon et de l'U. R. S. S., représentés au Comité Consultatif de Photométrie auprès du Comité International des Poids et Mesures.

Grâce à l'intermédiaire du représentant allemand à la C. I. E., M. Dresler, 10 verres de Schott de chacun des types RG 1, BG 12, NG 3 et BG 7, choisis en 1939 par MM. Dresler, König et Preston, ont été mis à la disposition du Bureau International. On les a tout d'abord confiés à un opticien afin d'amener à des valeurs aussi égales que possible l'épaisseur de tous les verres d'un

<sup>(1)</sup> Comité International des Poids et Mesures, Procès-Verbaux, 2° série, t. XXI, 1948, p. 68.

même groupe (tolérance maximum 5 µ), et de rendre leurs faces

planes et parallèles.

L'Institut d'Optique à Paris fut chargé de contrôler le surfaçage ainsi effectué et de déterminer aussi, pour une ou deux longueurs d'onde, les petites différences d'un verre à l'autre à l'intérieur de chaque groupe de 10 verres, sur le facteur de transmission d'une région carrée centrale de 1 cm de côté. Ces différences n'étant pas toujours négligeables, MM. F. Buchmüller et H. König, du Bureau Fédéral des Poids et Mesures de Berne, ont généreusement offert de comparer ces verres les uns aux autres, dans toute l'étendue du spectre visible; le Bureau International a envoyé à Berne M. F. Desvignes, Assistant à l'Institut d'Optique, pour qu'il collabore à ce travail long et délicat. L'Institut d'Optique a complété par la suite ces comparaisons sur les verres BG 12 et étudié l'influence du nettoyage.

Dans la circulaire du 20 septembre 1949, le Bureau International des Poids et Mesures a proposé aux Laboratoires intéressés un programme de travail, et un groupe de quatre verres colorés a été envoyé à chacun des Laboratoires qui se sont déclarés prêts à prendre part aux comparaisons.

2. ÉTAT ACTURL DES TRAVAUX. — Le Bureau International a reçu jusqu'ici, ou s'attend à recevoir, des rapports concernant les facteurs de transmission spectraux et le facteur de transmission en lumière blanche ( $T_c = 2700^{\circ}$  K) déterminé par papillotement, provenant des Laboratoires énumérés dans le tableau suivant :

#### TABLEAU I.

Laboratoire.	Spectrophoto	ométrie.	Papi	llotement.
Allemagne:				
Deutsches Amt für Mass und Gewicht	résultats	reçus	résult	ats reçus
États-Unis d'Amérique :				
National Bureau of Standards	9	ы	a	
France:				
Conservatoire National				
des Arts et Métiers	9)	))	pas d	e mesure
Institut d'Optique	3)	0	))	))

Centre de Recherches Scientifiques, Indus- trielles et Maritimes (Marseille)	pas de mesure	résultats reçus
Grande-Bretagne:		
National Physical La- boratory	résultats reçus	résultats attendus
Italie:		
Istituto Elettrotecnico Nazionale G. Ferra- ris, Turin	n	résultats reçus
Japon:		
Electrotechnical Labo-		
ratory, Tokyo	- 0 0	)) W
Suisse:		
Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Berne	régultate attendus	résultats attendus
	resultate attendus	resurtates attended
U. R. S. S. : Institut de Métrologie, Léningrad	résult <b>ats</b> reçus	pas de mesure
0	3	1

Il est impossible de reproduire ici l'ensemble volumineux des rapports reçus. Ceux-ci seront polycopiés et distribués à tous les Laboratoires directement intéressés à ces comparaisons. Nous allons donner seulement quelques commentaires sur les résultats qui nous ont été communiqués.

3. Facteurs de Transmission spectraux. — Dans ce paragraphe, nous supposerons pour simplifier que tous les verres de même catégorie sont identiques. En effet, leurs facteurs de transmission, d'après les mesures du Burcau Fédéral des Poids et Mesures à Berne et de l'Institut d'Optique à Paris, diffèrent au maximum de 0,0007 pour NG 3, de 0,003 pour BG 12, de 0,0015 pour BG 7; ils diffèrent de 0,017 pour RG 1, dans la région où la transmission varie très vite avec la longueur d'onde, mais à 660 m², cette différence maximum ne dépasse pas 0,005.

Les écarts maxima entre les résultats de mesure des divers

Laboratoires sont nettement supérieurs. Ils atteignent 0,025 pour NG 5, verre dont le facteur de transmission reste voisin de 0,3 dans le domaine spectral étudié. Lorsque la pente de la courbe de transmission est forte, il paraît logique d'interpréter les écarts comme des erreurs sur la détermination de la longueur d'onde; ces erreurs atteindraient alors 5 à 6 mµ.

Si l'on ne considère que les résultats les mieux groupés, en limitant les comparaisons à cinq Laboratoires, les facteurs de transmission qu'ils ont obtenus sont beaucoup plus cohérents et leur différence dépasse rarement 0,004 environ; sur les courbes de transmission à pente raide, l'écart maximum sur la longueur d'onde est de l'ordre de 2 à 3 mu. Pour apprécier à leur juste valeur la petitesse de ces écarts, rappelons que, d'après les études de l'Institut d'Optique sur BG 12, « le facteur de transmission de ces filtres peut varier de plusieurs millièmes suivant l'état de propreté et le mode d'observation... ». Il faut donc conclure que les Laboratoires les mieux équipés sont capables actuellement de déterminer des courbes de transmission avec une exactitude. prouvée par leur accord, qui n'est pas très éloignée de la limite imposée par la nature même des verres examinés. De plus, des progrès seront certainement obtenus dans un proche avenir, lorsque chaque Laboratoire, après confrontation de ses résultats aux autres, aura recherché les causes possibles des désaccords.

4. Facteur de transmission calculé pour une lumière blanche à la température de couleur de 2700° K. — a. Calcul d'après la courbe spectrophotométrique. — Pour comparer plus exactement les facteurs de transmission calculés, nous avons tenu compte des différences entre les verres, de leur température pendant les mesures spectrophotométriques et de la température de couleur de la source de lumière, qui diffère légèrement selon la valeur de  $C_2$  adoptée ; les facteurs de transmission calculés par les divers Laboratoires ou par le Bureau International d'après les résultats spectrophotométriques, ont été corrigés en conséquence. On a adopté  $C_2 = 14380 \ \mu$ . degré et rapporté les facteurs de transmission à ceux du groupe 4 d'après les résultats des mesures comparatives du Bureau Fédéral des Poids et Mesures de Berne.

Les facteurs de transmission en lumière blanche ainsi recalculés devraient être identiques pour chaque type de verre. Le tableau II donne les résultats des divers Laboratoires. Les écarts que l'on y constate sont dus aux erreurs de mesure et peut-être aussi aux incertitudes sur les différences entre les verres de même type, incertitudes qui ne paraissent pas négligeables dans le cas des verres rouges RG1.

#### TABLEAU II

Facteurs de transmission en lumière blanche ( $T_c=2700^{\circ}\,\mathrm{K}$ ,  $C_2=14\,380\,\mu$ , degré) recalculés à 20° C d'après la spectrophotométrie et pour des verres qui seraient identiques à ceux du groupe 1.

	o du		BG 12.	BG 7.	RG 1.
Allemagne États-Unis		0,315 2 0,303	0,032 7 0,031 1	0,147 1	0,1263
France (Institut) d'Optique)	3	0,305 4	0,030 21	0,142 3	0,127
France(C.N.A.M.).	3	0,300	0,0278	0,130	0,140
Grande-Bretagne	4	0,3047	0,030 5	0,1403	0,1283
Italie	6	0,310 2	0,033 5	0,1496	0,131 2
Japon	7	0,303 2	0,030 2(*)	0,1403	0,1275
U.R.S.S	9	0,305 I	0,030 8	0,1433	0,120 4 (**)

(\*) Le BG 12 mesuré par le Japon appartient au groupe 5.

(\*\*) Cette valeur a été obtenue après des corrections importantes dues à la température du verre et à la différence notable qui existe entre RG 1 du groupe 9 et RG 1 du groupe 1.

Les écarts entre les valeurs extrêmes sont considérables, puisqu'ils atteignent environ :

Des progrès seront donc certainement possibles.

b. Mesure au moyen d'un photomètre physique doté de la sensibilité spectrale V<sub>λ</sub>. — Le National Bureau of Standards a obtenu avec le photomètre physique décrit aux références (2)

<sup>(2)</sup> J. Research NBS, t. 27, 1941, p. 217 (RP 1415).

et (3) les facteurs de transmission en lumière blanche suivants :

NG 5 BG 12. BG 7. RG 1. 0,306 0,0311 0,139 0,130

Ces nombres sont les moyennes de quatre mesures; ils ont subi les mêmes corrections que les nombres du tableau II.

5. FACTEURS DE TRANSMISSION EN LUMIÈRE BLANCHE DÉTERMINÉS PAR PAPILLOTEMENT. — Cinq Laboratoires ont jusqu'ici donné les résultats de mesure par papillotement, dans les conditions spécifiées. Chaque résultat est la moyenne obtenue avec plusieurs observateurs; les différences entre observateurs sont très grandes, surtout sur les verres les plus saturés. Les moyennes des divers Laboratoires varient notablement de l'un à l'autre, ainsi qu'on le verra dans le tableau III. On remarquera aussi que la moyenne générale des facteurs de transmission déterminés par papillotement s'accorde assez bien avec les facteurs de transmission calculés pour le verre neutre et le verre rouge d'après la spectrophotométrie; au contraire, pour les verres bleus, la méthode de papillotement fournit une transmission plus faible de 10% environ.

#### TABLEAU III.

Facteurs de transmission en lumière blanche ( $T_c = 2700^{\circ} \text{ K}$ ) déterminés par papillotement.

1 1	1			
•	NG 5.	BG 12.	BG 7.	RG 1.
Papillotement (valeurs extrêmes parmi celles des cinq Labora-toires)	0,291	0,0254	0,116	0,110
toires)	0,313	0,0313	0,140	0.144
Écarts maxima	0,022	0,0059	0,024	0,034
Papillotement (moyenne générale)	0,304	0,0280	0,128	0,124
Spectrophotométrie (calculés)	0,306	0,0309	0,142	0,128
Plusieurs Laboratoires ont étud fectionner la méthode de papillote	ement;	on a essay	ré, en g	général
sans succès, de corriger les résu	iitats d	'apres le	rappor	t B ou

<sup>(1)</sup> J. Opt. Soc. Amer., t. 38, 1948, p. 1096.

d'après quelques données sur la courbe de visibilité (luminosité) de chaque observateur; une amélioration plus efficace consiste à réduire le caractère hétérochrome des mesures photométriques en colorant de façon semblable les deux plages photométriques, l'une par le verre étudié, l'autre par un verre de couleur analogue dont la transmission a été préalablement calculée à partir de sa courbe de transmission spectrale; même dans ces conditions les écarts restent sensibles.

La conclusion semble s'imposer que les méthodes de photométrie physique permettent déjà des mesures plus cohérentes et doivent être préférées à la méthode de papillotement telle qu'elle est pratiquée actuellement. De plus, les méthodes physiques paraissent plus facilement perfectibles.

6. Programme futur. — Lorsque les résultats signalés comme attendus au tableau I seront connus, la première partie de ces comparaisons de verres colorés sera considérée comme terminée. Ces résultats seront alors confrontés avec le plus grand soin, en tenant compte, dans la mesure du possible, des différences entre les verres.

Le Bureau International avait prévu que, dans une seconde partie, chaque groupe de quatre verres déjà étudié dans un Laboratoire serait soumis aux mesures d'un autre Laboratoire; les résultats seraient alors directement comparables, et il ne serait plus nécessaire de tenir compte des différences entre les verres de même catégorie. Le travail qu'exige la répétition de telles mesures étant considérable, il importe d'essayer d'en tirer le plus grand profit possible. Dans ce but le Bureau International est d'avis:

1º Qu'il faudrait laisser à chaque Laboratoire le temps d'étudier les rapports sur les mesures effectuées ailleurs, de rechercher à la lumière de cette confrontation, les causes d'erreurs qui pourraient subsister et d'y porter remède.

2º Qu'il faudrait soumettre à tous les Laboratoires un même groupe de verres colorés qui circulerait de l'un à l'autre. On peut croire en effet que les mesures de cette seconde partie seront plus exactes que les premières, et l'on s'affranchira de l'incertitude qui subsiste sur la disparité des verres; de plus, la période d'études préalables n'ayant pas la même durée partout, ce groupe unique devrait pouvoir être remis aux divers Laboratoires à mesure que ces derniers seront prêts.

Nous présentons donc aux Laboratoires qui désireraient participer à cette deuxième partie du programme la suggestion suivante:

Lorsqu'ils auront pris connaissance des rapports que nous sommes en train de diffuser, confronté leurs mesures à celles des autres Laboratoires et apporté éventuellement à leurs méthodes et à leurs appareils les améliorations qu'ils jugeront utiles, les Laboratoires qui le désireront sont invités dès maintenant à demander au Bureau International le groupe de verres colorés nº 4, en spécifiant à quelle date ils pourront commencer le travail, et quelle sera sa durée probable. Le Bureau International proposera ensuite un programme de circulation de ce groupe nº 4 en tenant compte au mieux des désirs exprimés.

Le groupe nº 4 a été choisi parce qu'il a déjà été mesuré par trois Laboratoires, et que des mesures sont en cours dans un quatrième.

- 7. Conclusion. La première partie du programme d'échange de verres colorés a déjà fourni des enseignements précieux. On peut en tirer dès maintenant deux conclusions principales :
- 10 De façon générale, il existe entre les Laboratoires les mieux équipés un accord qui ne peut être l'effet du hasard, et qui montre que les techniques actuelles rendent possible la mesure à quelques millièmes près de facteurs de transmission monochromatiques dans le spectre visible.

Il semble subsister pourtant sur certains points, particulièrement sur les verres rouges, des divergences supérieures aux incertitudes de mesure.

Pour quelques Laboratoires, les désaccords dépassent nettement les erreurs estimées; on peut penser que les circonstances d'après-guerre n'ont pas encore permis partout la remise au point complète des méthodes et des appareils spectrophotométriques. Les résultats de ces comparaisons seront, espérons-nous, une aide dans la recherche des améliorations possibles.

2º La méthode de papillotement ne paraît avoir donné nulle part de résultats satisfaisants pour la comparaison photométrique de lumières saturées, principalement dans le bleu.

### ANNEXE P7.

### Bureau International des Poids et Mesures.

# DEUXIÈME RAPPORT

SUR LA

# COMPARAISON INTERNATIONALE DE VERRES COLORÉS

Par J. TERRIEN.
(Février 1952) (1)

#### INTRODUCTION.

Dans un premier rapport de novembre 1950 (Voir Annexe P6, p. P 104), ont été exposés l'origine et le but de la comparaison internationale de verres colorés organisée à la demande du C. I. P. M., et l'on a donné un résumé des résultats de la première partie de cette comparaison.

Depuis cette date, deux Laboratoires des Pays-Bas ont procédé à des mesures sur le groupe de verres nº 6. De plus, le N.P.L. de Grande-Bretagne, et le B.F.P.M. de Berne (Suisse), ont effectué d'importantes mesures par papillotement. Le N.P.L. a encore utilisé une cellule photoélectrique précédée de filtres colorés, et l'Institut Électrotechnique de Turin (Italie) une thermopile associée à des verres colorés, pour obtenir directement

<sup>(1)</sup> Le présent rapport contient, en plus des résultats exposés dans le rapport polycopié distribué en février 1952, les résultats obtenus sur le groupe n° 4 au Japon et en U. R. S. S., résultats qui nous ont été communiqués en juin et juillet 1952.

les facteurs de transmission en lumière blanche. Tous les rapports de ces Laboratoires ont été distribués aux Laboratoires intéressés et aux Membres du C. C. P. et du C. I. P. M.

Dans la première partie des comparaisons, chaque Laboratoire a étudié un groupe de verres différent; les résultats n'étaient donc comparables qu'en tenant compte des petites différences entre les divers groupes, qui ont été déterminées au B. F. P. M. de Berne.

Dans une seconde partie, un seul et même groupe, portant le nº 4, a circulé d'un Laboratoire à l'autre; les facteurs de transmission des quatre verres de ce groupe ont été mesurés dans les Laboratoires suivants : en Allemagne, le D. A. M. G.; en France, le C. N. A. M. et l'I.O.; en Grande-Bretagne, le N. P. L.; en Italie, l'Institut Électrotechnique de Turin; en U. R. S. S., l'Institut de Métrologie; au Japon, l'E. T. L.. Des mesures sont en projet en Allemagne à la P. T. B., ainsi qu'aux Pays-Bas.

Ce deuxième rapport est un résumé des principaux résultats nouveaux obtenus depuis la rédaction du premier rapport.

#### PHOTOMÉTRIE HÉTÉROCHROME VISUELLE PAR PAPILLOTEMENT.

Le programme des comparaisons prévoyait la mesure du facteur de transmission en lumière blanche ( $T_c=2700^{\circ}\,\mathrm{K}$ ) de chacun des quatre verres par la méthode de papillotement dans des conditions spécifiées.

Le tableau I ci-après rassemble les résultats nouveaux et anciens obtenus dans neuf Laboratoires. Dans chacun d'eux, plusieurs observateurs ont pris part aux mesures; les résultats de leurs observations sont très dispersés. Les résultats individuels extrêmes sont inscrits à droite de l'accolade dans chaque colonne; le nombre à gauche de l'accolade est la moyenne de tous les observateurs dans chaque Laboratoire. Le rapport rouge de nombreux observateurs a été mesuré; mais il n'est d'aucune utilité dans ce cas, ni pour sélectionner les observateurs, ni pour calculer des corrections.

Les résultats moyens des divers Laboratoires sont assez dissérents. Même en limitant la comparaison aux trois Laboratoires qui ont rassemblé chacun 20 observateurs, les résultats moyens tirés du tableau I, présentent des dissérences atteignant 25 % (tableau II).

Tableau I.

Facteurs de transmission.

Nombre d'obser-			Valeur moyenne	et valeurs extrêmes.	
vateurs.	1	NG 5.	B(† 12.	BG 7,	RG 1.
			Allemag	ne.	
7	0,306	0,305 0,306	$0,026_6$ $\begin{cases} 0,023_3 \\ 0,037_0 \end{cases}$	$0,132 \begin{cases} 0,123 \\ 0,153 \end{cases}$	$0,121 \begin{cases} 0,104 \\ 0,138 \end{cases}$
6	0,307	{ 0,305 0,308		0,127 { 0,108 0,141	
			États-Ui	iis.	
20	0,291		0,025	0,116	0,144
			France	2	
6	0,304		0,0286		0,110
			Grande-Bre	tagne.	
20	0,306	$\left\{ \begin{array}{l} {0,303} \\ {0,312} \end{array} \right.$	$0,031_3 \begin{cases} 0,023_5 \\ 0,042 \end{cases}$	o,133 { o,118 o,153	o,133 { o,106 o,154
			Italie		
3	0,313	{ 0,311 0,315	$0,0276 \begin{cases} 0,0226 \\ 0,0326 \end{cases}$	$0,123 \begin{cases} 0,112 \\ 0,129 \end{cases}$	0,122 0,110
			Japon	2	
3	0,307	o,306 o,309	$0,031_3 \begin{cases} 0,029 \\ 0,035 \end{cases}$	0,140 { 0,134 0,147	0,117 (0,107
			Suisse		
20	0,306	0,296	$0,025_7 \begin{cases} 0,020 \\ 0,031 \end{cases}$	0,128 0,115	0,124 { 0,091 0,151
			Pays-Ba	S.	
5	0,3045	0,299 0,310	$0,031_{6} \begin{cases} 0,029 \\ 0,033 \end{cases}$	$0,129 \begin{cases} 0,119 \\ 0,134 \end{cases}$	0,120 { 0,111 0,126
6	o,306 <sub>5</sub>	{ 0,299 0,312	$0,033_{5}$ $\begin{cases} 0,028_{0} \\ 0,035_{5} \end{cases}$	$\begin{cases} 0,117_{6} \\ 0,152_{6} \end{cases}$	0,133 { 0,111 0,140

TABLEAU II.
Facteurs de transmission.

	M	oyennes de	20 observa	teurs.	
	NG 5.	BG 12.	BG 7.	RG 1.	
Etats-Unis	0,291	0,0255	0,116	0,144	
Grande-Bretagne	0,306	$0,031_3$	0,133	0,133	
Suisse	0,306	0,0257	0,128	0,124	

La conclusion de ce qui précède est que la méthode de papillotement, pour la photométrie des lumières colorées transmises par les verres étudiés, n'a pu fournir que des résultats très imprécis; les méthodes habituelles de sélection des observateurs n'améliorent pas la cohérence des résultats.

De plus, il semble bien que la moyenne générale de tous les facteurs de transmission déterminés par papillotement s'écarte systématiquement de la vraie valeur, c'est-à-dire de la valeur calculée d'après les facteurs de transmission monochromatiques et les efficacités lumineuses relatives pour l'œil moyen adoptées par le C. I P. M. en 1933.

Dans le tableau III sont inscrits, sur la première ligne, les facteurs de transmission moyens résultant de l'ensemble des résultats du tableau I, en affectant à chaque Laboratoire un poids égal au nombre d'observateurs; sur la deuxième ligne, les facteurs de transmission calculés d'après les efficacités lumineuses relatives  $V_{\lambda}$  adoptées par le C. I. P. M. en 1933 et les transmissions spectrales les plus probables tirées de l'ensemble des mesures spectrophotométriques.

Tableau III.
Facteurs de transmission.

		Moyenne gé	nérale.	
Papillotement	NG 5.	BG 12.	BG 7.	RG 1.
(moyenne de 96 observateurs).	0,303	0,0281	0,128	0,129
Spectrophotométrie	0,304	0,0309	0,142	0,128

On constate que la photométrie visuelle par papillotement fournit un facteur de transmission trop petit de 10% pour les deux verres bleus BG12 et BG7.

Il est assez curieux de constater que l'on ait envisagé, au Comité de Colorimétrie de la C. I. E., de réviser les efficacités lumineuses Vi dans le sens d'une augmentation, ce qui aggraverait encore cette divergence. Il est vrai que l'œil fonctionne dans des conditions bien différentes lorsqu'il apprécie un minimum de papillotement, et lorsqu'il juge d'une égalité colorimétrique.

La photométrie visuelle par papillotement s'est donc montrée

très décevante.

# ÉTUDE SPECTROPHOTOMÉTRIQUE DES VERRES COLORÉS.

La plupart des résultats des mesures spectrophotométriques de la première partie des comparaisons ont déjà été commentés dans notre premier rapport. La seconde partie doit fournir des résultats plus précis et plus directement comparables, car ils se rapportent au même groupe de verres, le groupe nº 4, et plusieurs Laboratoires ont pu améliorer leurs mesures grâce aux informations échangées au cours de la première partie des comparaisons.

Pour abréger ce rapport, nous croyons préférable de ne pas y mentionner les résultats de l'Allemagne, qui croit avoir décelé une cause d'erreur et demande de répéter ses mesures, ni ceux du Conservatoire National des Arts et Métiers de France, qui a utilisé « un appareil destiné à des mesures industrielles rapides » pour lequel il « admet habituellement une erreur absolue sur les facteurs de transmission variant de 0,01 à 0,02 dans les cas les plus défavorables ».

Les tableaux IV et V reproduisent les facteurs de transmission spectraux à 20°C mesurés en France à l'Institut d'Optique, en Grande-Bretagne au N. P. L., en Italie à l'Institut Électrotechnique de Turin, au Japon à l'E. T. L., en U. R. S. S. à l'I. M., dans le domaine spectral où les diverses mesures se recouvrent.

L'exactitude en spectrophotométrie dépend à la fois de l'échelle de gradation photométrique et de l'échelle des longueurs d'onde. Le second facteur n'intervient pratiquement pas dans l'étude du verre neutre NG 5 dont la transmission varie peu dans le spectre. Dans ce cas on constate que les différences entre les facteurs de transmission obtenus par les trois Laboratoires sont en moyenne de l'ordre de 0,002 en valeur absolue, soit environ 0,7 % du facteur de transmission. Les rapports détaillés de ces trois Laboratoires

					TABLEAU IV.					
,~			NG 5.	-				B(† 12.		
(mh).	I. O.	N. P. L.	I. B. T.		I. M.	I. 0.	N. P. L.	1. E. T.	E. T. L.	I. M.
380	0,1368		1		Ĭ.	0,813	0,804	1	1	1
390	I		1		Ý	1	827	3	1	1
400	0,2858		0,280	0,2833	0,284	0,838	0,832	0,833	0,8329	0,832
410	1		278	2810	283	1	828	830	830 2	829
490	2858		281	2843	286	826	818	822	8206	822
430	1		292	2964	298	E	800	803	8008	806
440	292 5		287	292 7	294,	200	775	276	777 3	222
450	1		303	3076	309	743	735	738	7373	734
460	3244		320	3233	324	9	189	682	6828	682
470	í		322	3236	324	587	580	585	580 0	580
480	3170		315	3167	317	445	435	0440	433 3	435
490	i		306	3104	310	295	2946	298	2930	287
500.	0,3048	0,3060	0,302	0,3064	0,307	0,200	0,1965	0,197	0,1958	0,191
510	t		302	305 2	305	114	109	120	108 I	108
520	3077		304	3069	307	0568	1 650	059	0540	055
530	ł		306	3118	312	0243	0238	027	0235	0235
540	3162		313	. 3159	316	0159	0157	610	0910	0157
550	1		315	3168	317	020 8	0213	022	y 1°00	0220
260	3140		311	3141	314	0333	0332	033	0327	0333
570	1		306	307 1	306	0245	024 I	024	0540	0238

TABLEAU IV (suite).

			NG 5.					BG 12.			
(mp).	I. 0.	N. P. L.	I. E. T.	E. T. L.	I. M.	I. 0.	N. P. L.	I. E. T.	E. T. L.	I. M.	
	0,2992		0,297			0,00783	0,0082	0,000 1	0,0078	0,0075	
	1	292 3	291	292 3	292	002 07	<b>56 100</b>	7 200	6 100	0022	
	0,293 1		0,292			0,00182		0,002	0,0019	0,0021	
610	J		297			002 25		000	002 3	0023	
620	295 2		300			002 24		003	0023	$002_{1}$	
630	1		303			001 75		100	8 100	0016	
640	3020		299			001 22		100	001 2	0013	-
650	1		297			001 26		100	9 100	4100	-
660	3013		30i			002 36		003	002 5	0031	
670	Ï		303			007 48		200	008 2	0080	
680	3236		323			0216		030	0309	0328	
690	Ť		335		345	0653		020	083 2	0788	
700	0,3540	0,355	1	0,3557		0,117	0,121	1	0,1299	0,129	
710	J		1	3642		149		1	7 7 9 7	155	
720	3656		1	3649		162		ţ	6 191	162	
730	ť		ī	362 3		163		1	1608	162	
740	3606		1	3559		160		Ī	1 9ÇI	ī	
750	1		ì	1		157		1	ţ.	ÿ	
760	3483		I	Ī	1	L		Ī	t	62	

>	
Page 1	
-4	
922	
60	
-	
-44	

~			BG 7,					RG 1.		
(mp.).	1. 0.	N. P. L.	I. E. T.	1	L. M.	1.0.	N. P. L.	1. E. T.	E. T. L.	I. M.
380	0.125	0,1951	ÿ		1		ý	Ť	Ě	¥
390	1.	1794	j			ŗ				¥.
400	0,240	0,9362	0,234	_	0,238	Ť	ì	1	į	¥.
410	1	292.0	291		293	N	1	ī	ì	t
420	349	3437	346		344	i	Ü	I	į.	-1)
430	3	392.2	396		393	ń	1	T.	4	Y
440	443	435 6	437		1441	ì	1	ž	1	1
450	ï	8 924	478		479	1	¥.	I	A.	1
460	512	509	508		509	Ţ	T		1	1
470	1	533	535		533	fü	Î	I	ij	V.
480	000	545	548		546	ij	ij	d.	ű	1
490	1	543	544		543	1	à	ā	1	4
500	0,525	0,521	0,522	0,5212	0,519		ì	d	j	1
310	1	478 2	472		476	1	Ť	1	g	1
520	425	67175	615		614	·	1	L	ť,	j,
530	1	343 I	345		339	I	t	10	L	f.
540	267	263 7	266		258	ì	pe	Ē	1	1
550	1	1926	161		187	ì			1	i
260	132	1320	130		128	ř	1			¥
570	085 7	0 980	980		083	T.	1	ı	1	i

,	٠.
٩.	ું.
9	u
	a
0	3
	3
¢	2
	-
١.	
m	-
b	0
5	=
2	9
ç	딕.
	2
0	0
5	=
	4
	-

			BG 7.					RG 1.		
mp.).	I. 0.	N. P. L.	L. E. T.	E. T. L.	I. M.	1. 0.		1. E. T.	E. T. L.	I. M.
580	0,0533	0,0535	0,054		0,051	,		4		1
	032.6	0310	032		ივი		0,000 1		į	0,0001
900	0,0188	0,0177	0,019	0,0184	0,0175	0,007	0,0077	10,0	-	0,0085
510	010	6 600	110		<sup>8</sup> (500		167	18		196
620	005 68	000	900		0053		539	99		561
530	003 11	003 03	003		002 <sub>8</sub>		758	753		773
640	74 100	001 63	9003		,100		841	836		846
650	66 000	060 000	100		000 80		871	870		874
	000 53	10 000	1		000		882	881		988
670	Į.	862 000	1	3	000 3;		890	887		889
	CI 000	621 000	1	d	i		895	895		897
069	I	000 110	1	6	1		868	897		899
700	0,000 071	0,000 072	ī	ı	1		0,899	1	0,902	0,903
710	1	000 000	1	1	1		900	1		903
730	000 036	000 036	į	2	1		106	1		903
730	í	000 000	j	E.	!	Ì	log	ı		902
740	160 000	000 050	1	ET.	í	١	006	T	006	1.
750	1	810 000	1	ï	1	1	900	ı	Ţ	i
760	000 016	000 015	1		i	I	899	1	1	1/2
770	I	000 013	1	ř.	1	1	899	1	ì	1
780	000 013	t	1	E	ı	ı	1	ı	4	1

annoncent sur le facteur de transmission de NG 5 une incertitude inférieure (I. O. et N. P. L.) ou égale (I. E. T.) à ±0,001 en valeur absolue; les écarts entre Laboratoires dépassent parfois ces limites, mais restent en général d'un ordre de grandeur comparable. Le nettoyage du verre étudié pourrait expliquer une partie des écarts. Cependant, quelques écarts entre deux Laboratoires atteignent 2 % et même 3 % du facteur de transmission.

Les écarts sur la détermination de la longueur d'onde doivent se manifester sur les courbes de transmission à forte pente; par exemple, on expliquerait les différences entre les trois résultats, sur le verre RG1 autour de 615 m $\mu$  par une erreur de  $\pm$  0,3 à 0,6 m $\mu$ , et sur BG12 autour de 480 m $\mu$  par une erreur de  $\pm$  0,2 à 0,3 m $\mu$  sur la longueur d'onde. Les incertitudes annoncées sur la longueur d'onde sont bien conformes aux écarts révélés par les résultats. Ainsi, autour de 615 m $\mu$ , l'I. O. annonce une incertitude de  $\pm$  0,5 m $\mu$ , et l'I. E. T.  $\pm$  0,2 m $\mu$ ; autour de 480 m $\mu$ , ces incertitudes sont  $\pm$  0,2 m $\mu$ . Elles sont suffisantes pour expliquer presque tous les écarts dans les régions spectrales où la transmission varie rapidement avec la longueur d'onde.

Ensin, il faut souligner la concordance excellente de deux Laboratoires sur la détermination de facteurs de transmission extrêmement petits, dans le cas du verre bleu BG7 entre 700 et 760 m \mu: les dissérences sont de 0,000 001 en valeur absolue sur des facteurs compris entre 0,000 012 et 0,000 072.

#### TRANSMISSION POUR UNE LUMIÈRE BLANCHE.

Les facteurs de transmission à 20°C pour une lumière blanche à la température de couleur 2700°K ont été calculés par quatre de ces laboratoires, et par le Bureau International pour l'Institut de Métrologie, d'après les facteurs de transmission spectraux des tableaux IV et V. Les résultats sont donnés au tableau VI.

En examinant ce tableau, on trouve sur NG3 un écart absolu maximum de l'ordre de 0,0021, soit 0,68 % du facteur de transmission, par rapport à la moyenne; sur RG1 un écart absolu de 0,003, soit presque 3 % sur le facteur de transmission, explicable par des incertitudes de ± 0,6 mµ sur les longueurs d'onde. La moyenne arithmétique des écarts par rapport à la moyenne des cinq Laboratoires est 0,3 % en valeur relative pour le verre neutre NG3; mais lorsque le facteur de transmission varie rapi-

dement avec la longueur d'onde dans le milieu du spectre visible, la moyenne des écarts est plus forte : elle atteint 1,2 % pour le verre rouge RG1. Tel est, semble-t-il, l'ordre de grandeur de la précision accessible actuellement sur la mesure des facteurs de transmission en lumière blanche.

### TABLEAU VI.

	NG 5.	BG 12,	BG 7.	RG 1.
I. O.,	$0,304_{2}$	0,030 80	0,1421	0,1258
N. P. L	$0,304_{5}$	0,03053	0,1405	0,1273
1. E. T	0,302	0,0312	0,142	0,128
E. T. L	0,3049	0,03033	0,140,	0,1275
I. M	0,3049	0,0303	0,1379	0,131,
Moyenne	0,3041	0,030 63	0,1406	0,1280

#### ANNEXE P 8.

### Bureau International des Poids et Mesures.

# ESSAIS DE PHOTOMÉTRIE HÉTÉROCHROME

SUR

# DES LAMPES A INCANDESCENCE

Par J. TERRIEN.

Cette Note rend compte de nos essais de photométrie hétérochrome portant sur des lampes étalons à filament incandescent, selon la méthode spectrophotométrique déjà mentionnée dans les Procès-Verbaux du Comité International des Poids et Mesures t. XXII, 1950, p. 44. Ces expériences, en projet depuis 1941, ont été commencées en 1948, et poursuivies de façon intermittente lorsque d'autres travaux plus urgents en laissaient la possibilité. Elles ont été menées avec l'aide de plusieurs collaborateurs, MM. Moreau, Leclerc et Thulin, Assistants au Bureau International des Poids et Mesures, et M. Eskenazi, Professeur adjoint à l'Université d'Istamboul, pendant son stage de l'été 1951 au Bureau International des Poids et Mesures. Les résultats obtenus dans la comparaison de la candela aux températures de couleur 2042 et 2353º K sont en assez bon accord avec la moyenne des étalons des six grands Laboratoires nationaux. Mais la comparaison du lumen à 2353 et 2788ºK a fait apparaître une divergence assez importante, et c'est là une des raisons pour lesquelles nous désirons soumettre dès maintenant cette Note au Comité International des Poids et Mesures et à son Comité Consultatif de Photométrie.

Méthodes anciennes. - Les méthodes adoptées dans les

grands Laboratoires d'étalonnage pour la comparaison photométrique de lampes à incandescence n'ayant pas la même température de couleur sont, soit des méthodes visuelles, soit des méthodes physiques. La méthode visuelle est celle du filtre coloré; ce filtre, intercalé entre l'étalon et le photomètre, donne une couleur comparable à celle de la lumière à mesurer. Son facteur de transmission pour le rayonnement émis par l'étalon est déterminé à partir de sa courbe de transmission spectrale et des efficacités lumineuses (facteur de visibilité) relatives adoptées en 1933 par le Comité International des Poids et Mesures (Procès-Verbaux, t. XV, 1933, p. 62). Dans les méthodes physiques, on emploie un récepteur, pile thermoélectrique ou cellule photoélectrique, dont la sensibilité spectrale est modifiée par l'interposition de filtres colorés, de telle sorte qu'elle devienne semblable à la courbe des efficacités lumineuses relatives adoptées par le Comité.

Bien que ces méthodes aient donné de bons résultats, il est difficile de s'assurer qu'elles tiennent compte strictement de la courbe des efficacités lumineuses relatives. Dans le cas de la méthode visuelle, les filtres colorés rétablissent une égalité de couleur subjective entre les deux rayonnements à comparer, mais la répartition spectrale de l'énergie est loin d'être identique. Les égalisations photométriques visuelles sont donc faciles, mais l'évaluation des deux rayonnements peut fort bien varier avec l'observateur, avec son état physiologique, ou avec le champ angulaire (1) des plages photométriques. Dans le cas des méthodes physiques, il est nécessaire de connaître la sensibilité spectrale du récepteur; sa détermination, pour une cellule photoélectrique, est très délicate, car elle implique la mesure de flux énergétiques monochromatiques, mesure dont la précision est moins élevée que la précision accessible en photométrie. De plus, aucune combinaison acceptable de verres ou de liquides colorés ne permet de reproduire exactement la courbe de transmission spectrale désirée, et il a fallu toujours se contenter d'une réalisation approximative.

Dans les deux cas, lorsqu'on utilise une sphère diffusante pour la comparaison d'étalons de flux lumineux, viennent s'ajouter les

<sup>(1)</sup> Voir par exemple : H. Buckley, Utilisation des filtres bleus pour la détermination d'étalons dérivés d'intensité lumineuse (Procès-Verbaux, t. XVIII, 1937, p. 256).

difficultés dues à la sélectivité de la peinture « blanche » de la sphère, sélectivité dont l'effet s'accroît avec le nombre des réflexions, et dont l'importance change avec le vieillissement de la peinture.

Méthode nouvelle. — La méthode que nous avons essayée au Bureau International des Poids et Mesures est à l'abri des critiques précédentes; elle tient compte rigoureusement des efficacités lumineuses relatives adoptées. Elle a déjà été proposée, sous des formes plus ou moins différentes, par G. Ribaud (2), et par L. S. Ornstein, J. G. Eymers et D. Vermeulen en 1933 (3); mais les progrès de la spectrophotomètrie permettent aujourd'hui de reprendre cette méthode avec une précision suffisante pour des lampes étalons. Voici en quoi elle consiste:

Une même lampe est alimentée successivement de telle sorte que sa température de couleur soit T<sub>1</sub>, puis T<sub>2</sub>. Pour plusieurs longueurs d'onde, on mesure par spectrophotométrie le rapport des rayonnements monochromatiques aux deux régimes d'alimentation. Admettant qu'à la température de couleur T<sub>1</sub>, la répartition spectrale de l'énergie est assimilable à celle d'un corps noir à la même température, et tenant compte des efficacités lumineuses relatives internationales, on calcule aisément le rapport des intensités ou des flux lumineux aux deux régimes. Ce rapport étant ainsi connu, les méthodes usuelles de la photométrie homochrome permettent de comparer, par l'intermédiaire de la lampe étudiée, des étalons à la température T<sub>1</sub> à des étalons à la température T<sub>2</sub>. C'est ainsi que nous avons comparé la candela à 2042 et 2353°K, et le lumen à 2353 et 2788°K.

L'assimilation du rayonnement d'une lampe à filament de tungstène au rayonnement d'un corps noir, d'après ce que l'on sait des propriétés émissives du tungstène, ne devrait pas entraîner d'erreur appréciable sur le rapport photométrique obtenu finalement. De plus, la température de couleur T<sub>4</sub> peut n'être connue qu'avec une tolérance assez large, puisqu'une erreur de 27 degrés sur T<sub>1</sub> est nécessaire pour que le rapport photométrique calculé soit modifié de 1 pour mille dans l'intervalle de température 2353-2788°K; or, les températures de couleur

<sup>(2)</sup> Revue d'Optique, t. 12, 1933, p. 193.

<sup>(3)</sup> Revue d'Optique, t. 12. 1933, p. 390.

sont connues, semble-t-il, avec une incertitude inférieure à 10 degrés.

Les mesures spectrophotométriques ont été effectuées avec un appareillage soigneusement étudié en collaboration avec l'Institut d'Optique à Paris. Le rayonnement est recu par un monochromateur double soustractif à prismes de verre spécialement conçu et construit pour la spectrophotométrie (4). Le récepteur photométrique est une cellule photoélectrique au césium sur argent oxydé, ou au césium-antimoine, du type Gillod-Boutry; le courant photoélectrique des cellules de ce type est proportionnel à l'éclairement avec une précision meilleure que 1 pour mille; on le mesure par une méthode potentiométrique. Un appareillage similaire, employé à l'Institut d'Optique pour la mesure de la transmission spectrale de verres colorés, a donné des résultats en excellent accord avec ceux des grands Laboratoires les mieux équipés. Il est donc vraisemblable que les erreurs systématiques, qui se glissent si fréquemment dans les mesures spectrophotométriques, ont été évitées.

Comparaison de la candela à 2042 et 2353°K. — L'intensité lumineuse d'une lampe à filament de tungstène de stabilité éprouvée, marquée SV5, a été mesurée en candela « moyenne 1948 » par l'intermédiaire des étalons de référence du Bureau International des Poids et Mesures. Les valeurs attribuées à ces étalons résultent des observations et des calculs présentés au Comité Consultatif de Photométrie de juin 1952 (5).

Pour régler la lampe SV5 aux températures de couleur indiquées, on a tenu compte des températures de couleur moyennes des étalons envoyés par les grands Laboratoires nationaux.

La procédure spectrophotométrique adoptée après plusieurs essais est la suivante. La lampe SV 5 est placée à 137 cm de la fente d'entrée du monochromateur. Une lentille de champ appliquée contre cette fente projette une image de la lampe sur

<sup>(4)</sup> J. TERRIEN, C. R. Acad. Sc., t. 220, 1945, p. 140; J. TERRIEN et F. DESVIGNES, Revue d'Optique, t. 27, 1948, p. 451.

<sup>(5)</sup> Voir Annexe P 3, p. P 71: J. TERRIEN et H. MOREAU, Rapport sur la première comparaison des étalons nationaux d'intensité et de flux lumineux (juillet-octobre 1948).

le premier prisme du monochromateur, et l'on s'assure que cette image est entièrement contenue dans l'ouverture du prisme. Le second prisme étant optiquement conjugué du premier, il ne peut diaphragmer la nouvelle image de la lampe qui s'y forme. A la sortie du monochromateur, une optique est agencée de telle sorte que la cellule reçoive une image de la fente de sortie du monochromateur, et que chaque point éclairé de la cellule reçoive bien de la lumière de la lampe entière. C'est cette disposition qui a donné les résultats les plus sidèles.

Le monochromateur a été réglé successivement pour les longueurs d'onde suivantes : 450, 590, 525, 550, 575, 600, 650 et 700 mg.

A chacune d'elles, on mesure l'intensité du courant photoélectrique pour les deux régimes de la lampe SV 5, et l'on calcule le rapport de ces deux intensités; ce rapport R est égal à celui des intensités lumineuses monochromatiques de la lampe.

Pour les calculs ultérieurs, on doit interpoler la valeur de ce rapport à des longueurs d'onde intermédiaires; il est avantageux pour cela de tracer la courbe du logarithme des rapports R mesurés, en fonction de l'inverse de la longueur d'onde  $\lambda$ . On vérifie facilement que logR est une fonction linéaire de  $\frac{1}{\lambda}$ , lorsque R est le rapport des luminances monochromatiques du corps noir à deux températures différentes. Dans le cas du rayonnement de lampes à incandescence, on trouve encore, à l'approximation des mesures, une relation linéaire. Les interpolations sont donc très faciles, et permettent de connaître R pour une série de longueurs d'onde du spectre visible échelonnées de 10 en 10 mg.

Conformément aux définitions mêmes des unités photométriques, l'intensité lumineuse est, à une constante de proportionnalité près,  $\Sigma\,E_1\,V\,\delta\lambda$  à la température  $T_1;$  et  $\Sigma\,E_2\,V\,\delta\lambda$  à la température  $T_2;$   $E_1$  et  $E_2$  sont les répartitions spectrales de la puissance rayonnée, et V l'efficacité lumineuse relative. Le rapport des intensités lumineuses est donc  $\frac{\Sigma\,E_2\,V\,\delta\lambda}{\Sigma\,E_1\,V\,\delta\lambda}$ . Ainsi que nous l'avons déjà indiqué, on calcule ce rapport en admettant que  $E_1$  est la répartition spectrale du corps noir à la température  $T_1;$  R étant le rapport mesuré ou interpolé,  $E_2=RE_1.$ 

Les expériences faites en juillet-août 1951 ont fourni le rapport des intensités lumineuses suivant :

 $\frac{intensit\'e lumineuse de SV 5 \'a 2353 ^o K}{intensit\'e lumineuse de SV 5 \`a 2042 ^o K} = 5,28_7.$ 

Le même rapport, déterminé par la comparaison de SV 3 aux étalons de référence du Bureau International des Poids et Mesures, est 5,320.

Des expériences identiques avec une autre lampe SV2a ont conduit aux résultats suivants :

Rapport mesuré sur SV 2a par spectrophotométrie... 5,269 Rapport d'après les étalons du B. I. P. M....... 5,291

En moyenne, nos expériences fournissent donc un rapport égal au rapport déterminé d'après nos étalons de référence à 5 millièmes près environ. Si l'on admet l'exactitude de nos observations, il faut en conclure que la candela moyenne à 2353°K est plus petite, de 5 millièmes, que la candela moyenne à 2042°K.

Signalons en passant que les mêmes mesures permettent de calculer la température de couleur  $T_2$ , en admettant que  $T_1 = 2042^{\rm o}K$ . On a trouvé ainsi que  $T_2$  est bien  $2353^{\rm o}K$ , à quelques degrés près. On se souvient que  $T_1$  et  $T_2$  ont été déterminés par la moyenne des températures de couleur des lampes envoyées par les Laboratoires nationaux pour les comparaisons photométriques internationales.

Comparaison du lumen à 2353°K et 2788°K. — Le mode opératoire est tout à fait analogue au précédent. Une lampe à filament de tungstène en hélice à atmosphère gazeuse G 4 a été alimentée de façon que sa température de couleur fût 2353 et 2788°K environ, et comparée à nos étalons de référence à ces deux températures. Le rapport des flux lumineux de cette lampe a été ensuite déterminé par la méthode spectrophotométrique déjà exposée, de la façon suivante.

La lampe est allumée dans une sphère blanche diffusante, de 50 cm de diamètre, percée d'une ouverture en forme de fente large de 1 cm et haute de 8 cm. Cette ouverture éclaire la fente d'entrée du monochromateur placée à son voisinage immédiat. Dans la sphère, entre l'ouverture et la lampe, un petit écran empêche la lumière du filament de pénétrer directement dans le

monochromateur. Les prismes du monochromateur sont éclairés uniformément; à la suite de la fente de sortie, on forme une image du prisme sur une ouverture circulaire dont l'image est projetée ensuite sur la cellule photoélectrique.

Pour chacune des longueurs d'onde 450, 500, 525, 550, 575, 600, 650 et 700 mu, on mesure le courant photoélectrique lorsque la lampe est portée successivement aux températures de couleur T2 et T3. La couleur de la peinture de la sphère n'a aucune influence, puisqu'on n'utilise par la suite que le rapport des courants photoélectriques à chaque longueur d'onde; mais il est important que son facteur de réflexion reste le même pendant les deux mesures, malgré la grande disférence de la quantité de chaleur dégagée par la lampe aux deux températures. Avec la peinture et la sphère utilisées pour ces expériences, il fallait pour cela que les mesures successives fussent exécutées à moins d'une minute l'une de l'autre, ce qui est facilement réalisable. Si cette précaution n'est pas observée, la luminance de la sphère diminue progressivement lorsque la lampe est portée à la température la plus élevée, par suite de l'échaussement de la peinture qui abaisse son facteur de réflexion.

En tenant compte des résultats des mesures et des efficacités lumineuses relatives  $(V_{\lambda})$ , les calculs conduits comme il a été indiqué précédemment fournissent le rapport des flux lumineux de la lampe aux températures  $T_3$  et  $T_2$ .

Des expériences faites en avril 1951, on déduit le rapport des flux lumineux suivant :

$$\frac{\text{flux lumineux de G 4 à 2788°K}}{\text{flux lumineux de G 4 à 2353°K}} = 5,115.$$

Le même rapport, déterminé par la comparaison de G4 aux étalons de référence du B. I. P. M., a été trouvé égal à 5,181.

Des expériences identiques avec une autre lampe portant le n° G 18 ont conduit aux résultats suivants :

Rapport mesuré sur G 18 par spectrophotométrie... 4,642 Rapport d'après les étalons du B. 1. P. M....... 4,699

En moyenne, nos expériences fournissent donc un rapport plus petit, de 13 pour mille, que le rapport déduit de nos étalons de référence. Si l'on admet l'exactitude de nos observations, il faut en conclure que le lumen moyen à 2788°K est trop petit de 1,3 % par rapport au lumen moyen à 2353°K.

Il est intéressant de noter que les mêmes mesures avaient déjà été faites, à titre d'essai, dès 1948, avec un appareillage différent. La sphère était celle qui nous sert aux comparaisons des étalons de flux lumineux; son diamètre étant 1,54 m, au lieu de 0,5 m, le monochromateur recevait environ neuf fois moins de lumière; pour que les courants photoélectriques fussent mesurables avec précision, il avait fallu élargir les fentes du monochromateur et calculer des corrections en raison de la trop grande largeur des bandes spectrales utilisées. Le récepteur photoélectrique n'était pas le même. Cependant le résultat obtenu dans ces expériences d'essai est en accord, à 3 pour mille près, avec le résultat donné ci-dessus.

Signalons là encore que la relation entre les températures de couleur 2788 et 2353 K, déterminée par nos mesures spectrophotométriques, confirme à quelques degrés près les températures de couleur moyennes des étalons envoyés par les Laboratoires nationaux pour les comparaisons internationales des étalons de flux lumineux.

Comparaison des résultats à ceux des comparaisons photométriques internationales. — Nous avons simplement indiqué la relation entre les unités moyennes d'intensité et de flux lumineux, telle qu'elle résulte de nos expériences. Ces unités sont fondées sur la valeur moyenne des étalons nationaux reçus par le B. I. P. M. Nous pouvons aussi, grâce aux résultats des comparaisons photométriques internationales, indiquer séparément la relation entre les unités réalisées dans chaque Laboratoire, telle qu'elle résulte de nos mesures. En esfet, nous pouvons savoir quels auraient été, en fonction des étalons photométriques de chaque Laboratoire national, l'intensité ou le flux des lampes utilisées dans ces expériences, calculer le rapport de leurs intensités ou de leurs flux lumineux ainsi déterminés aux deux températures de couleur, et comparer ce rapport à celui que nous avons obtenu par spectrophotométrie. On obtient avec les unités résultant des comparaisons internationales de 1948, pour la candela à 2353ºK comparée à la candela à 2042ºK, les rapports indiqués au tableau suivant pour chaque Laboratoire.

p		candela à 2353*K candela à 2042*K	
Laboratoire.	apport	candela à 2042°K	
Allemagne (P. T. RD. A. M. G.)		0,997	
États-Unis d'Amérique (N. B. S.)		0,997	
France (L. C. EC. N. A. M.)		0,992	
Grande-Bretagne (N. P. L.)		1,000	
Japon (E. T. L.)		0,979	
U. R. S. S. (I. M.)		1,005	

On obtient de façon analogue, pour le lumen à 2788°K comparé au lumen à 2353°K, les rapports ci-après:

	Dammont	lumen à 2788°K
Laboratoire.	Napport	lumen á 2353°K
Allemagne		0,983
États-Unis d'Amérique	****	0,981
Grande-Bretagne		1,005
U. R. S. S		0,989

D'autre part, les unités moyennes résultant des comparaisons internationales de 1950-1952, semblent avoir pratiquement la même grandeur que celles de 1948. Tenant compte de la valeur relative des unités photométriques représentées par les lampes soumises à ces dernières comparaisons par les Laboratoires nationaux (6), les résultats provisoires de nos mesures hétérochromes peuvent maintenant s'exprimer de la façon suivante :

нарр	orts
candela à 2353°K	lumeu à 2788°K
candela à 2042°K (1952).	lumen a 2353°K (1952).
0,997	0,985
. 0,992	0,976
. 0,995	0,991
. 0,989	0,992
. 1,002	0,991
s. 0,995	0,987
	candela à 2353°K candela à 2042°K (1952). 0,997 0,992 0,995 0,989 1,002

<sup>(6)</sup> Voir Annexe P 4, p. P 98: J. TERRIEN et H. MOREAU, Rapport sur la deuxième comparaison des étalons nationaux d'intensité et de flux lumineux (1950-1952).

Conclusion. — L'avantage fondamental de la méthode que nous venons d'exposer est que les efficacités lumineuses relatives n'interviennent que dans les calculs, et que toutes les mesures photométriques sont homochromes, puisqu'elles portent sur des lumières monochromatiques. Les techniques employées sont celles de la spectrophotométrie qui est parvenue, entre les mains de spécialistes possédant les appareils et l'expérience nécessaires, à un degré de précision voisin du millième, comme l'ont montré les résultats des comparaisons internationales de verres colorés organisées par le Bureau International des Poids et Mesures. Il semble donc que les mesures spectrophotométriques elles-mêmes doivent pouvoir atteindre une précision suffisante pour la comparaison d'étalons photométriques.

La durée totale des mesures spectrophotométriques sur une lampe, mesures qui comprennent une série d'observations à huit longueurs d'onde dans un certain ordre, puis dans l'ordre inverse, avec l'une des deux cellules utilisées, puis avec l'autre, est environ une heure et demie. On tient compte de la faible usure de la lampe pendant cette durée en répétant sa comparaison aux étalons de référence avant et après les mesures spectrophotométriques.

Ces expériences seront reprises au Bureau International des Poids et Mesures, avec quelques améliorations de détail, dès que les travaux en cours en laisseront la possibilité. Mais nous espérons que d'autres Laboratoires entreprendront des travaux analogues, et aideront à découvrir si des causes d'erreurs systématiques insoupçonnées se dissimulent, soit dans cette nouvelle méthode, soit dans les méthodes plus anciennes.

#### ANNEXE P9.

### National Physical Laboratory.

# COMPARAISONS DE MESURES DE FLUX SUR DES LAMPES A VAPEUR DE MERCURE

ENTRE LE NATIONAL PHYSICAL LABORATORY
ET LE NATIONAL BUREAU OF STANDARDS

(27 juin 1952)

Introduction. — En octobre 1948, le Dr E. C. Crittenden, du National Bureau of Standards, attira l'attention du National Physical Laboratory sur un désaccord possible entre l'estimation commerciale du flux de lampes à vapeur de mercure aux États-Unis et en Grande-Bretagne. Il suggéra qu'une comparaison directe de mesures de flux au N. P. L. et au N. B. S. soit faite sur un groupe de lampes à vapeur de mercure de 400 W. En conséquence, le N. P. L. s'est procuré six lampes à vapeur de mercure de 400 W, 240-250 V, auprès des Laboratoires de Recherches de la General Electric Company qui opérèrent spécialement la sélection et le vieillissement de ces lampes. Leur flux a été mesuré au N. P. L. en octobre-novembre 1948. Quatre de ces lampes ont été emportées aux Etats-Unis par le Dr Crittenden, et mesurées par le N. B. S. en décembre 1948-janvier 1949. En juin 1951, ces lampes ont été rapportées au N. P. L. par M. Barbrow du N. B. S., et en juillet 1951 leur flux a été mesuré à nouveau en même temps que celui des deux lampes qui étaient restées au N. P. L. pendant tout ce temps.

La présente Note a pour but d'exposer les résultats de ces mesures, qui doivent intéresser, croyons-nous, les autres Membres du Comité Consultatif de Photométrie. Méthodes et conditions de mesure. — Les lampes ont été alimentées avec une réactance convenable sur une source de courant alternatif stabilisée fournissant un courant approximativement sinusoïdal. La fréquence était de 50 c/s au N. P. L., et de 60 c/s au N. B. S. Les lampes étaient montées verticalement, le culot en haut, et alimentées à une puissance de 400 W. Elles fonctionnaient au moins 30 minutes dans ces conditions avant les mesures de flux.

Au N. P. L. les lampes ont été comparées directement à des lampes à filament de tungstène dans une sphère photométrique de 3 m de diamètre. Dans les mesures d'octobre-novembre 1948 les lampes à incandescence étaient des étalons d'usage de 1000 W (environ 14 000 lumens) et dans les mesures de juillet 1951 c'étaient des étalons véritables de 500 W (environ 6000 lumens); leur température de couleur était environ 2800°K dans les deux cas. Le photomètre utilisé comportait une cellule photoémissive à vide avec filtre correcteur à liquide placée à une distance sixe de la fenêtre dissusante de la sphère. La luminance de la fenêtre était mesurée par le courant photoélectrique. Un contrôle de la linéarité de la cellule a montré un écart inférieur à 1 millième pour un rapport d'éclairements de 10 à 1. Le courant photoélectrique était mesuré par la chute de tension dans une résistance à couche de graphite de 400 MΩ. La résistance était shuntée en permanence par un condensateur de capacité suffisante pour supprimer de façon presque complète l'ondulation de fréquence 100 du courant photoélectrique pendant la mesure des lampes à mercure. La chute de tension dans la résistance était équilibrée par une différence de potentiel prélevée sur un potentiomètre étalonné, et l'égalité était indiquée au moyen d'un amplificateur simple à courant continu. Le condensateur avait pour but d'éliminer toute composante alternative dans cet amplificateur dont les caractéristiques n'étaient pas nécessairement linéaires. Une petite correction était indispensable à cause de la différence entre la répartition spectrale de l'énergie émise par les lampes à tungstène et à mercure, et de la dissérence entre la sensibilité spectrale de la combinaison filtre-cellule et celle de l'œil moyen.

Au N. B. S. les lampes étaient comparées par une méthode photoélectrique, dans une sphère de 2,24 m, à un groupe de six lampes à mercure étalons de 400 W nos 756-1 à 756-6. Ces dernières avaient été antérieurement étalonnées de la façon sui-

vante : chacune des lampes étalons avait été étudiée au moyen d'un photomètre distributif et l'on avait déterminé le rapport entre le flux lumineux et l'intensité lumineuse horizontale. L'intensité lumineuse horizontale de chacune de ces lampes étalons avait été mesurée sur un banc photométrique par rapport à des lampes étalons à filament incandescent en atmosphère gazeuse, avec un photomètre physique constitué par une thermopile et un siltre dont la transmission spectrale reproduit étroitement la courbe de visibilité relative de la C. I. E. Quel que temps après les mesures d'intercomparaison sur les lampes à mercure, les lampes à mercure étalons ont été comparées ellesmêmes à de nouvelles lampes à mercure étalons (groupe 1720), qui avaient été étalonnées par rapport à des lampes à incandescence à atmosphère gazeuse de la façon qui vient d'être décrite. Les valeurs des lampes du groupe 756 ont été étroitement confirmées.

Commentaires. — Pour que les mesures des deux Laboratoires soient comparables, il ne faudrait pas que les lampes aient changé de façon appréciable au cours des transports. Un contrôle sur ce point est fourni par le rapport du flux moyen des quatre lampes voyageuses au flux moyen des deux lampes conservées au N. P. L. Ce rapport se retrouve sans dissérence sensible dans les mesures du N. P. L. de 1948 et 1951, et l'on peut en conclure que les lampes n'ont pas varié.

Le flux moyen du groupe principal des quatre lampes mesurées au N. P. L. en 1948 et en 1951 montre une différence de 1,8 %, les valeurs de 1951 étant plus basses. Cette dissérence est plus grande qu'on ne s'y attendait et l'on a recherché avec soin les causes d'erreurs possibles. Les mesures de 1948 ont été effectuées, faute de temps, comme des mesures commerciales spéciales et l'on n'avait pas contrôlé immédiatement le facteur de correction de l'ensemble récepteur filtre-cellule. Lors des comparaisons de 1951, ce facteur a été contrôlé peu de temps après les mesures sur les lampes, et l'on a de plus appliqué une petite correction, s'élevant à 0,5 %, pour tenir compte de la sélectivité de la peinture et de la fenêtre de la sphère. La valeur du facteur de correction pour la combinaison filtre-cellule dans les comparaisons des lampes à vapeur de mercure à haute pression avec des lampes à silament de tungstène incandescent à 2800° K était de 0,994 (mesures de 1948) et de 0,974 (mesures de 1951).

TABLEAU [.

Flux lumineux, en lumens, de lampes à vapeur de mercure de 400 W.

		Ľa	Lampes voyageuses.	enses.		Lambes	Lampes conservées au N. P. L.	au N.P.L.	0
					Moyenne			Моуеппе	Moy. B, C, D, F.
Mesure.	229 B.	229 C.	229 D.	229 F.	229 B, C, D, F.	229 A.	229 E.	229 A, E.	Moy. A, E.
N. P. L. 1948	15 670	16 050	15 790	16 440	o66 gr	15 600	15 800	15 700	$_{\rm I}, _{\rm o18_5}$
N. B. S.	15 060 1	15 350	15 060	15 800	15 320	I	E.	13	ř.
N. P. L. 1951	15 290 1	15 740	15 610	16 200	15710	15 320	15 560	15 440	1,0175
Rapport des moyennes pour 229 B, C, D, F :	nnes pour	229 B,	C, D, F;						
Mov. N. B. S.		, v	Moy	Moy. N. B. S.			Moy. N. P. L. (1948)	L. (1948)	0
Moy. N. P. L. (1948)	(1948) = 0,950,	,900,	Moy. N	Moy. N. P. L. (1951)	(951) = 0,973,		y. N. P. I	Moy. N. P. L. (1951)	= 1,010.
				TABLEAU II.	u II.				
Co	ıractéristig al	ues éle limente	ctriques es sous la	de lamp ı puissa	Caractéristiques électriques de lampes à vapeur de mercure de 400 W, alimentées sous la puissance spécifiée de 400 W.	de 400 V	ure de 4a V.	∞ W,	
Mesure.		229 B.		229 C.	229 D.	22	229 F.	229 A.	220 E.
			Différence	se de po	Différence de potentiel (volts).	·			
N. P. L. 1948		153,4		141,7	160,6	15(	156,0	156,8	0,151
N. B. S.		153	_	142	160	156	3	1	£
N P. L. 1951		153,9		141,6	159,3	155	155,9	157,2	150,8
			Intensité	de cour	Intensité de courant (ampères).	5).			
N. P. L. 1948		2,82	12	3,08	2,70	64	2,78	2,75	2,88
N. B. S		2,81	31	3,03	2,68	64	2,75	4	ī
N. P. L. 1951		2,82	2	3,06	2,72	2	2,78	2,76	2,88

L'expérience acquise au cours de ce travail suggère que, dans les mesures de la plus grande exactitude, ces facteurs devraient être déterminés immédiatement avant et immédiatement après les mesures sur les lampes.

Compte tenu des diverses conditions opératoires, le N.P.L. considère que seules les valeurs obtenues au N.P.L. en 1951 devraient être utilisées pour être comparées aux valeurs du N.B.S. Sur cette base; la valeur moyenne des lampes mesurées obtenue aux deux Laboratoires dissère de 2,5 %, celle du N.P.L. étant plus élevée.

On notera que dans les mesures du N. B. S., les lampes étaient alimentées à une fréquence de 60 c/s, contre 50 c/s dans les mesures du N. P. L. Ceci correspond à la différence de fréquence normale des réseaux électriques dans les deux pays. L'effet d'un petit changement de fréquence sur le flux lumineux à une puissance donnée pour des lampes de ce type doit être, croit-on, petit, sans qu'il soit encore possible de préciser. Des mesures préliminaires sur l'une des lampes utilisées dans l'intercomparaison ont montré une diminution d'environ 0,2 % de l'intensité lumineuse d'une portion centrale de la lampe isolée par un écran lorsque la fréquence d'alimentation était portée de 50 à 60 c/s. Si une telle diminution du flux se trouvait confirmée par des travaux ultérieurs, son effet serait de réduire légèrement le désaccord entre les deux Laboratoires.