

**SEIZIEME CONFERENCE GENERALE DES POIDS ET MESURES****(octobre 1979)****RÉSOLUTION 3**

La Seizième Conférence Générale des Poids et Mesures,

**CONSIDERANT**

que malgré les efforts méritoires de quelques laboratoires, il subsiste des divergences excessives entre les résultats de la réalisation de la candela à l'aide du corps noir étalon primaire actuel,

que les techniques radiométriques se développent rapidement, autorisant des précisions qui sont déjà analogues à celles de la photométrie et que ces techniques sont déjà en usage dans des laboratoires nationaux pour réaliser la candela sans avoir à construire un corps noir,

que la relation entre les grandeurs lumineuses de la photométrie et les grandeurs énergétiques, à savoir la valeur 683 lumens par watt pour l'efficacité lumineuse spectrale de la radiation monochromatique de fréquence  $50 \times 10^{12}$  hertz a été adoptée par le Comité International des Poids et Mesures en 1977,

que cette valeur a été reconnue suffisamment exacte pour le système des grandeurs lumineuses photopiques, qu'elle n'entraîne qu'un changement d'environ 3 % pour le système des grandeurs lumineuses scotopiques et que, par conséquent, elle assure une continuité satisfaisante,

que le moment est venu de donner à la candela une définition susceptible d'améliorer la facilité d'établissement des étalons photométriques et leur précision, et qui s'applique aux grandeurs photopiques et scotopiques de la photométrie et aux grandeurs à définir dans le domaine mésopique.

**DECIDE**

1. La candela est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence  $540 \times 10^{12}$  hertz et dont l'intensité énergétique dans cette direction est 1/683 watt par stéradian.

2. La définition de la candela (à l'époque appelée bougie nouvelle) décidée par le Comité International des Poids et Mesures en 1946 en vertu des pouvoirs conférés par la 8<sup>me</sup> Conférence Générale des Poids et Mesures (C.G.P.M.) en 1933, ratifiée par la 9<sup>me</sup> C.G.P.M. en 1948, puis amendée par la 13<sup>me</sup> C.G.P.M. en 1967, est abrogée.

**SEIZIEME CONFERENCE GENERALE DES POIDS ET MESURES****(8 - 12 octobre 1979)***Rapport du Président du Comité Consultatif  
de Photométrie et Radiométrie*

Le Comité International des Poids et Mesures vous propose d'adopter une nouvelle définition de la candela, l'une des unités de base du Système International d'Unités. Pour bien faire comprendre la signification de ce changement de définition, je crois bon de rappeler la nature de la grandeur dont la candela est l'unité. Cette grandeur est l'intensité lumineuse, l'une des grandeurs photométriques telles que le flux lumineux, l'éclairage, etc., qui dérivent les unes des autres par des facteurs purement géométriques tels que l'angle solide ou l'aire d'une surface.

**Les grandeurs photométriques.**

Toutes ces grandeurs forment l'ensemble des grandeurs photométriques qui ont été définies par la Commission Internationale de l'Eclairage ; cette Commission fait toujours autorité en cette matière, et elle est en liaison étroite avec le Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (C.C.P.R.). Les grandeurs photométriques sont fondées actuellement sur une modélisation extrêmement simplifiée des processus visuels, car on admet dans ce modèle que les rayonnements agissent d'une façon linéaire et additive, quelle que soit la composition spectrale de ces rayonnements. On sait que les phénomènes visuels sont beaucoup plus complexes ; néanmoins, les conventions actuelles des définitions des grandeurs photométriques rendent de grands services, grâce à leur simplicité, et à l'usage universel qui en est fait.

La définition des grandeurs photométriques comporte deux éléments : l'un est de nature physique ; l'autre élément est une fonction, adoptée par convention, qui est censée représenter une propriété de l'œil humain. Ainsi, le flux lumineux d'une radiation monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$  est, à un facteur près, le produit de la puissance de cette radiation par un facteur d'efficacité conventionnel appelé  $V(\lambda)$ . Le flux lumineux d'un rayonnement complexe est la somme des flux de ses composantes monochromatiques. Ce facteur  $V(\lambda)$  est l'efficacité lumineuse relative spectrale, il résulte d'une moyenne établie d'après un certain nombre d'observateurs humains, sa valeur maximale est 1 pour une longueur d'onde voisine de 555 nm. Si l'on connaît la répartition spectrale d'un rayonnement, c'est-à-dire sa puissance dans chaque bande élémentaire de longueur d'onde, un simple calcul utilisant  $V(\lambda)$  donne le flux lumineux (toujours à un facteur près). On peut donc, par des mesures purement physiques

et sans faire intervenir un œil humain, constater l'égalité de deux flux lumineux ou mesurer leur rapport, quelle que soit la composition spectrale ou la couleur de ces rayonnements.

Il est équivalent de dire que le flux lumineux d'un rayonnement est proportionnel à la puissance transmise par un filtre idéal qui serait parfaitement transparent à la longueur d'onde 555 nm, et dont le facteur de transmission spectral serait  $V(\lambda)$ , cette puissance transmise étant multipliée par un facteur conventionnel. Il semblerait logique d'attribuer à ce dernier facteur la valeur 1. Pour des raisons historiques, la valeur que vous propose le Comité International, et que l'on représente par le symbole  $K_m$ , est 683 lumens par watt, ce qui nous ramène aux unités.

### Les unités photométriques.

En effet, comme je l'ai dit, la définition des grandeurs photométriques suffit pour rendre possible la mesure du rapport de deux grandeurs de même espèce, deux intensités ou deux flux lumineux par exemple, ou le passage de l'une à l'autre. Historiquement, les unités furent définies par l'intensité lumineuse attribuées à des sources de lumière étalon spécifiées, la dernière en date étant le radiateur de PLANCK ou corps noir à la température de congélation du platine. On a donné des noms aux unités ainsi définies : lumen pour le flux lumineux ; bougie, bougie nouvelle, enfin candela (ou lumen par stéradian) pour l'intensité lumineuse ; lux (ou lumen par mètre carré) pour l'éclairement.

Deux raisons motivent le désir de changer la définition des unités photométriques :

D'abord, la réalisation du corps noir se heurte à des difficultés expérimentales : il faut fondre du platine très pur et le maintenir pur dans son creuset ; le tube de thorine habituellement utilisé n'est qu'une approximation du radiateur de PLANCK ; sa température ne peut pas être parfaitement uniforme ; il faut mesurer un angle solide par la mesure d'une distance et de l'aire de l'ouverture d'un petit diaphragme, mesurer la transmission d'une lentille et la transmission d'un prisme à réflexion totale qui rend horizontal le faisceau sortant du corps noir, enfin tenir compte de la diffraction et de l'absorption de l'air et des vapeurs. Peu de laboratoires ont fait cet effort et peu l'ont répété. Les résultats, comparés au Bureau International des Poids et Mesures, présentent des divergences voisines de  $\pm 1\%$ . Le B.I.P.M. a assigné à ses étalons des valeurs qui résultent de la moyenne des lampes étalons envoyées par les Laboratoires Nationaux lors de la comparaison internationale de l'année 1952. Les lampes étalons du B.I.P.M. constituent une référence internationale dont la précision est voisine de 1 pour mille, mais il y a

peu d'espoir d'obtenir, avec la définition actuelle de la candela, une exactitude nettement meilleure que 1 %.

La deuxième raison est le progrès réalisé, et qui s'améliore encore, dans les mesures radiométriques, c'est-à-dire les mesures de la puissance transportée par les rayonnements. On reçoit ces rayonnements sur une cible absorbante qui transforme leur énergie en chaleur, puis on mesure l'énergie électrique qui produit la même élévation de température au moyen d'un fil résistant incorporé à l'absorbeur. De telles mesures sont utiles dans plusieurs domaines, y compris l'étude des lasers. Un test d'exactitude est la mesure de la constante de STEFAN  $\sigma$  qui relie la puissance du rayonnement émis par un radiateur de PLANCK à la 4<sup>me</sup> puissance de sa température. La mesure de  $\sigma$  en Australie, publiée dans *Metrologia* dès 1971, s'accorde à 1 pour 1 000 avec la valeur théorique. La précision et l'exactitude des mesures énergétiques de rayonnement atteignent et surpasseront celles des mesures photométriques telles qu'elles sont pratiquées jusqu'à présent dans la plupart des laboratoires.

Dans le passé, on utilisait des procédés où n'intervenaient pas de mesures d'énergie, et qui ne nécessitaient pas la connaissance de la valeur du facteur  $K_m$  qui relie les grandeurs énergétiques aux grandeurs photométriques. Cette valeur est maintenant connue grâce aux mesures radiométriques récentes, et les laboratoires compétents ont reconnu que la valeur  $K_m = 683$  lumens par watt est celle qui s'accorde le mieux avec les étalons photométriques en usage actuellement. Adopter la nouvelle définition proposée signifie que l'on adopte cette valeur, par convention, par définition, et non plus comme un résultat expérimental. On s'est assuré aussi que l'abandon du corps noir ne provoquera pas de changement significatif dans les résultats des mesures photométriques.

Un avantage de la nouvelle définition est que la relation entre grandeurs photométriques et radiométriques se trouve ainsi fixée d'une façon invariable par définition. Il y a encore d'autres avantages : l'adoption d'une relation simple entre les unités photométriques et les unités bien connues de la physique telles que le watt permet d'envisager des méthodes expérimentales diverses qui seront un contrôle de l'exactitude des résultats.

### Les grandeurs scotopiques et mésopiques.

Il me faut maintenant revenir sur les grandeurs photométriques, car je n'ai parlé que des grandeurs photopiques, celles qui sont le plus couramment utilisées et qui sont définies avec les efficacités  $V(\lambda)$  valables pour l'œil humain adapté à la lumière. Il existe un ensemble parallèle de grandeurs scotopiques, définies de la même façon mais avec des efficacités différentes

$V'(\lambda)$ , valables pour l'œil d'un sujet jeune adapté à l'obscurité. Les grandeurs scotopiques ont les mêmes unités, la candela, le lumen, etc., avec les mêmes définitions. Par un hasard heureux, le flux lumineux scotopique d'un rayonnement monochromatique prend la même valeur en lumens que le flux lumineux photopique pour la longueur d'onde 555,8 nm, très voisine de la longueur d'onde 555 nm. Si l'on adopte la convention de définition que le flux scotopique d'un rayonnement monochromatique à  $\lambda = 555$  nm est 683 lumens pour une puissance de 1 watt, les valeurs scotopiques se trouvent changées de 3 % par rapport aux résultats antérieurs ; cette différence est acceptable pour les grandeurs scotopiques qui requièrent rarement une meilleure précision. La nouvelle définition de la candela convient donc aux deux types de grandeurs photométriques, photopique et scotopique.

On peut admettre que l'œil humain est adapté à la lumière (vision photopique) lorsque la luminance de ce qu'il voit est 10 cd/m<sup>2</sup> ou davantage, et qu'il est adapté à l'obscurité (vision scotopique) après un séjour prolongé en présence de luminances inférieures à 0,1 cd/m<sup>2</sup>. Dans le domaine intermédiaire de luminances, la vision est dite mésopique. Il n'existe pas encore d'accord international sur la façon de définir des grandeurs mésopiques qui seraient valables pour ce type de vision pourtant important (par exemple, le conducteur d'une voiture automobile circulant la nuit est le plus souvent en état de vision mésopique). On est cependant d'accord pour que le choix de ces définitions, lorsqu'on aura trouvé le moyen de leur donner une forme relativement simple, permette d'utiliser encore la même unité de base, la candela, avec la même définition et les mêmes unités dérivées.

#### **Autres Recommandations du C.C.P.R.**

Pour vous informer plus complètement sur les travaux du C.C.P.R. et ses Recommandations, trois points sont encore à signaler :

Les efficacités  $V(\lambda)$  et  $V'(\lambda)$  sont des fonctions de la longueur d'onde lumineuse, longueur d'onde dans l'air selon l'usage à l'époque où ces fonctions furent adoptées. Il est plus logique d'utiliser la fréquence qui ne dépend pas de l'indice de réfraction de l'air. La fréquence de la radiation de longueur d'onde 555 nm, au maximum de  $V(\lambda)$ , est 540 THz avec une excellente approximation.

La grandeur photométrique flux lumineux est celle qui dérive le plus directement de la puissance du rayonnement. C'est pourquoi le C.C.P.R. a exprimé sa préférence pour l'unité de base le lumen, qui, selon lui, devrait remplacer la candela. Mais

le Comité Consultatif des Unités (C.C.U.) et le C.I.P.M. ont estimé qu'un changement dans la liste des unités de base du S.I. aurait trop d'inconvénients et qu'il fallait conserver la candela comme unité de base de la photométrie.

Le troisième et dernier point concerne les grandeurs dont la définition comporte une composante photobiologique. Parmi ces grandeurs, les plus connues sont les grandeurs photométriques, qui sont définies depuis longtemps avec les fonctions photobiologiques  $V(\lambda)$  et  $V'(\lambda)$  et qui ont leurs unités photométriques propres ; mais on peut envisager aussi une quinzaine de grandeurs considérées par les photobiologistes afin d'évaluer des effets des rayonnements tels que la production d'érythèmes, les actions antirachitiques, bactéricides, la photosynthèse, etc. Si toutes ces grandeurs étaient définies sur le modèle des définitions photométriques, on serait amené à adopter une unité de base spéciale pour chacune de ces grandeurs. Pour éviter une telle prolifération des unités de base, le C.C.P.R. a recommandé « qu'on étudie attentivement la possibilité de choisir une unité S.I. existante. Par exemple, pour une grandeur résultant de la pondération d'une répartition spectrale de puissance énergétique par une fonction spectrale photobiologique, la fonction de pondération pourrait être choisie sans dimension et en conséquence la grandeur serait exprimée en watts ». Si cette Recommandation était appliquée aux grandeurs photométriques, le facteur  $K_m$  ne serait plus 683 lumens par watt, mais simplement 1, et l'unité de flux lumineux serait le watt. Il ne semble pas que l'on puisse envisager dès maintenant un tel changement en photométrie, mais il faut espérer que les autres grandeurs actuellement à l'étude et de caractère photobiologique seront définies selon cette Recommandation du C.C.P.R. approuvée par le C.C.U. et le C.I.P.M.

Les explications que je viens d'exposer étaient destinées à vous faire sentir que le progrès des techniques et l'évolution des idées rendent nécessaire maintenant un changement de la définition de la candela, 33 ans après que cette unité ait reçu sa définition primitive. Plusieurs laboratoires nationaux déclarent qu'ils sont déjà prêts à mettre en œuvre la nouvelle définition de la candela, ou qu'ils ont déjà entrepris les travaux nécessaires. Ce changement a été étudié et préparé depuis plusieurs années au cours des réunions du C.C.P.R. qui ont été présidées pour la plupart par le professeur André MARÉCHAL, directeur de l'Institut d'Optique à Paris, et au cours des réunions du C.C.U. sous la présidence du professeur J. DE BOER. Vous connaissez le projet de résolution présenté par le C.I.P.M. et figurant dans le texte de la convocation de cette conférence. Ce projet de résolution est maintenant soumis à votre décision.

J. TERRIEN.