

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 41 (1950)
Heft: 1

Artikel: L'introduction de nouvelles unités électriques, magnétiques et photométriques
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1058884>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 25.12.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

L'introduction de nouvelles unités électriques, magnétiques et photométriques

Communication du Bureau fédéral des poids et mesures, Berne

621.317.081.1
535.241.4

La substitution des unités électriques absolues aux unités internationales, ainsi que le remplacement de la bougie internationale par la candela entrent en vigueur, en Suisse, le 1^{er} janvier 1950.

Le paragraphe 1 expose les motifs de ces changements et reproduit le texte de la loi modifiant la Loi fédérale sur les poids et mesures, celui de l'ordonnance d'application qui s'y rattache, et le Communiqué du Bureau fédéral des Poids et Mesures relatif à la nouvelle unité d'intensité lumineuse. Des considérations touchant à la date de la mise en vigueur figurent au paragraphe 2. Les paragraphes 3 et 4 donnent des explications sur le sens et la forme de la loi et de l'ordonnance.

Les conséquences pratiques du passage aux nouvelles unités électriques sont envisagées au paragraphe 5. Le paragraphe 6 a trait à l'introduction de la candela par le moyen du communiqué du Bureau fédéral des poids et mesures.

Auf den 1. Januar 1950 fand in der Schweiz der Übergang von den internationalen zu den absoluten elektrischen Einheiten sowie der Ersatz der internationalen Kerze durch die Candela statt.

In Abschnitt 1 werden die Gründe, die zu diesem Schritt Anlass gaben, erläutert und die Texte der Änderung des Bundesgesetzes über Mass und Gewicht, der zugehörigen Vollziehungs-Verordnung und der Bekanntmachung des Eidg. Amtes für Mass und Gewicht betreffend die neue Lichteinheit wiedergegeben. Abschnitt 2 enthält Überlegungen betreffend den Zeitpunkt der Inkraftsetzung. Abschnitte 3 und 4 erläutern Bedeutung und Form von Gesetz und Verordnung.

Die praktischen Auswirkungen des Überganges zu den neuen elektrischen Einheiten werden in Abschnitt 5 erörtert. Abschnitt 6 befasst sich mit der Einführung der Candela auf dem Wege der Bekanntmachung durch das Amt für Mass und Gewicht.

1^o Introduction

La technique des mesures physiques doit pouvoir s'appuyer sur des unités qu'il soit possible, sur la base d'une description exacte de dispositifs expérimentaux, de reproduire *toujours de la même manière* dans divers laboratoires.

En ce qui concerne la technique des mesures électriques, ces conditions sont remplies par les unités électriques et magnétiques dites «absolues», qui ont pour base la description d'un phénomène électromagnétique dans l'espace vide et, pour le reste, sont déterminées par la mesure de grandeurs *mécaniques* seulement. Dans l'état de la technique au début du siècle, les mesures absolues n'avaient toutefois pas atteint une exactitude qui permît d'employer directement les unités absolues comme unités de la métrologie de précision. C'est pourquoi l'on introduisit les unités dites «internationales», qui dérivent toutes de l'ohm international, défini comme la résistance électrique d'une colonne de mercure de 106,300 cm de longueur dans des conditions expérimentales déterminées, et de l'ampère international, défini par la libération électrolytique d'une masse d'argent de 0,00111800 gramme par seconde. Ces unités devaient être une réalisation matérielle aussi exacte que possible des unités absolues et elles rendirent les plus grands services à la science et à la technique pendant plusieurs dizaines d'années. On constata peu à peu qu'elles s'écartaient cependant des unités absolues de quantités atteignant jusqu'à $\frac{1}{2} \text{‰}$ pour certaines d'entre elles, l'ohm notamment (v. paragraphe 5). Depuis

quelques années, il est possible, dans les grands laboratoires nationaux, de réaliser des unités absolues avec une exactitude atteignant $\pm 0,02 \text{‰}$, ce qui suffit à tous les besoins. Il n'y avait donc plus d'obstacle à mettre l'idée initiale à exécution.

La Loi fédérale sur les poids et mesures du 24 juin 1909 prescrivait à l'origine que les unités électriques légales étaient les unités *internationales*. La Conférence générale des poids et mesures ayant pris la décision, qui lie les Etats membres de la Convention du mètre, de substituer les unités absolues au système international, il s'agissait d'y conformer la législation fédérale; on le fit au moyen d'une *modification de la loi*, complétée par la promulgation d'une *ordonnance* relative aux unités électriques et magnétiques dérivées. Nous reviendrons sur ces textes dans les paragraphes 3...5.

Dans le domaine de la photométrie, un changement analogue s'inspirant de la même idée directrice était aussi possible. A la *bougie internationale* en usage jusqu'ici, définie par des groupes de lampes à incandescence, on substitue une nouvelle unité d'intensité lumineuse, la *candela*, définie par l'émission du corps noir à une certaine température.

Les unités photométriques n'étaient pas touchées par la loi. Aussi l'introduction de la candela et des unités d'autres grandeurs photométriques qui en dérivent se fit-elle par le moyen d'un *communiqué* du Bureau fédéral des poids et mesures (voir le paragraphe 6).

Les trois textes officiels cités, dont les dispositions sont toutes entrées en vigueur le 1^{er} janvier

1950, ont été déjà publiés dans le Bulletin de l'ASE [1], [2], [2a]¹⁾.

Nous reproduisons ci-après les définitions des unités telles qu'elles figurent dans la modification de la loi fédérale et dans l'ordonnance du Conseil fédéral, ainsi que le texte du communiqué du Bureau.

Loi, articles nouveaux (Titres B, C et D)

Art. 9

L'unité légale principale de temps est la seconde (symbole: s).

La seconde est la 86 400^e partie du jour solaire moyen.

Art. 10

L'unité de force, dérivée des unités légales principales de longueur, de masse et de temps, est le newton (symbole: N).

Le newton est la force qui communique à une masse de un kilogramme l'accélération de un mètre à la seconde par seconde.

Art. 11

L'unité de travail (énergie) est le joule (symbole: J).

Le joule est le travail effectué lorsque le point d'application d'une force de un newton se déplace d'une distance égale à un mètre, dans la direction de la force.

Art. 12

L'unité de puissance est le watt (symbole: W).

Le watt est la puissance de un joule par seconde.

Art. 13

L'unité légale principale d'intensité de courant électrique est l'ampère (symbole: A).

L'ampère est l'intensité d'un courant constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés à une distance de un mètre l'un de l'autre dans le vide, produirait entre ces conducteurs une force égale à $2 \cdot 10^{-7}$ newton par mètre de longueur.

Art. 13bis

Les unités d'autres grandeurs électriques sont dérivées des trois unités légales principales de longueur, de masse et de temps, et de celle d'intensité de courant.

Ordonnance

Art. 1

L'unité de quantité d'électricité est le coulomb (symbole: C).

Le coulomb est la quantité d'électricité qui traverse, en une seconde, la section d'un conducteur parcouru par un courant de un ampère.

Art. 2

L'unité de tension électrique (différence de potentiel) et de force électromotrice est le volt (symbole: V).

Le volt est la différence de potentiel qui existe entre deux points d'un fil conducteur transportant un courant constant de un ampère, lorsque la puissance dissipée entre ces points est égale à un watt.

Art. 3

L'unité de résistance électrique est l'ohm (symbole: Ω).

L'ohm est la résistance qui existe entre deux points d'un conducteur lorsqu'une différence de potentiel constante de un volt, appliquée entre ces deux points, produit, dans ce conducteur, un courant de un ampère, ce conducteur n'étant le siège d'aucune force électromotrice.

Art. 4

L'unité de capacité électrique est le farad (symbole: F).

Le farad est la capacité d'un condensateur entre les armatures duquel apparaît une différence de potentiel électrique

¹⁾ Voir bibliographie à la fin.

de un volt, lorsqu'il est chargé d'une quantité d'électricité égale à un coulomb.

Art. 5

L'unité d'inductance électrique est le henry (symbole: H).

Le henry est l'inductance d'un circuit fermé dans lequel une force électromotrice de un volt est produite lorsque le courant électrique qui parcourt le circuit varie uniformément à raison de un ampère par seconde.

Art. 6

L'unité de flux d'induction magnétique est le weber (symbole: Wb).

Le weber est le flux d'induction qui, traversant un circuit d'une seule spire, y produirait une force électromotrice de un volt, si on l'amenait à zéro en une seconde par décroissance uniforme.

Art. 7

L'unité d'induction magnétique est le weber par mètre carré (symbole: Wb/m²).

Le weber par mètre carré est l'induction dont le flux est de un weber à travers un mètre carré d'une surface en tous les points de laquelle l'induction est égale en grandeur et normale à la surface.

Art. 8

L'unité d'intensité du champ magnétique est l'ampère par mètre (symbole: A/m).

L'ampère par mètre est l'intensité du champ magnétique à l'intérieur d'une bobine cylindrique infiniment longue, placée dans un espace sans champ d'autre origine et parcourue par un courant électrique de répartition uniforme, dont l'intensité par mètre de longueur de la bobine est égale à un ampère.

Communiqué du Bureau fédéral des Poids et Mesures

Avec l'approbation de la Commission fédérale des poids et mesures, le Bureau fédéral des poids et mesures se servira, à partir du 1^{er} janvier 1950, des unités suivantes pour exprimer la valeur des grandeurs photométriques:

1. L'unité d'intensité lumineuse est la candela (symbole: cd). La candela est le soixantième de l'intensité lumineuse émise normalement par un centimètre carré du radiateur intégral (corps noir) à la température de solidification du platine.

2. L'intensité lumineuse des sources de lumière dont la composition spectrale est différente de celle du corps noir à la température de solidification du platine est évaluée au moyen des facteurs de visibilité relative de l'œil normal moyen, adoptés par la Commission Internationale de l'Eclairage et par la Conférence générale des Poids et Mesures.

3. Les unités d'autres grandeurs photométriques (lumen, lux, etc.) sont dérivées de la candela et d'unités légales de longueur et de temps.

Le but de la présente communication, s'adressant à un cercle quelque peu étendu, est de répondre à quelques-unes des questions théoriques et pratiques qu'une nouveauté de ce genre ne manque pas de susciter et qui nous ont été posées déjà plus d'une fois [3].

2^o A propos du choix de la date de la mise en vigueur

En vertu des pouvoirs qui lui avaient été conférés par la Conférence générale des Poids et Mesures de 1933 [4], le Comité international des Poids et Mesures (CIPM) avait prévu pour l'année 1940 la substitution des unités absolues au système international. La guerre retarda l'entrée en vigueur de

cette décision. En 1946, les travaux techniques préparatoires étaient suffisamment avancés pour que le CIPM puisse choisir la date du 1^{er} janvier 1948 pour le changement des unités électriques, magnétiques et photométriques.

Des divers motifs qui ont incité le Bureau fédéral des poids et mesures à proposer aux organes délibérants et aux autorités d'envisager une date d'introduction postérieure, nous ne mentionnerons ici que les suivants:

a) Pour les unités: ampère, coulomb, volt, ohm, farad, henry et weber, il existait des définitions ainsi que des données numériques sur le rapport «absolu/international» (voir paragraphe 5), mais il n'en était pas de même par exemple pour l'unité de champ magnétique, dont la définition et la valeur dépendent de la solution que l'on donne à la question de la rationalisation (facteur 4π) discutée plus bas au paragraphe 4.

b) Il n'existait pas de texte *complet*, recommandé internationalement pour servir de guide aux rédactions législatives, concernant la définition de l'unité d'intensité lumineuse et son extension à des sources de lumière de coloration quelconque. Cette situation se reflète dans le fait que certains pays n'ont introduit dans leur loi que la définition de l'unité d'intensité lumineuse (voir paragraphe 1, le chiffre 1 du Communiqué du Bureau) tandis que d'autres y ont incorporé non seulement cette unité mais aussi la courbe internationale des facteurs de visibilité [5]. Le terme de candela pour la nouvelle unité d'intensité lumineuse n'a été adopté par la Commission internationale de l'Éclairage [6] qu'au milieu de l'année 1948 et sanctionné plus tard par l'Union internationale de Physique pure et appliquée [7] et par le Comité international des Poids et Mesures [8].

Ces faits contribuent à accroître le besoin qui subsiste de textes complets et uniformes pouvant servir de base aux travaux législatifs, besoin qui trouve son expression aussi dans le projet français présenté en octobre 1948 à la Conférence générale des Poids et Mesures, en vue de l'unification internationale des systèmes légaux d'unités de mesure [9]. L'enquête ouverte à ce sujet n'est pas encore achevée.

En ce qui concerne la rationalisation, il est bien regrettable que l'enquête de la Commission Electrotechnique Internationale à ce sujet n'ait pas encore abouti à un résultat définitif. Il s'agit de la question discutée depuis plusieurs dizaines d'années: veut-on, ou non, supprimer le facteur 4π des équations de Maxwell et le faire apparaître au dénominateur des expressions des lois de Coulomb et de Biot-Savart? Celui qui s'inspire de la théorie de l'action de champ répond par l'affirmative, tandis que celui qui s'appuie sur la théorie de l'action à distance ne peut l'accepter.

Après mûre réflexion, avec l'approbation de la Commission fédérale des Poids et Mesures et en plein accord avec l'Association suisse des Electriciens, qui vise à rendre d'usage général le système Giorgi [10] sous sa forme *rationalisée*, le Bureau fédéral proposa au Conseil fédéral l'ordonnance reproduite au paragraphe 1 et dans laquelle l'article 8 marque une prise de position sans équivoque en faveur de la représentation rationalisée.

Toutes ces considérations, ainsi que l'intention de faire coïncider la mise en vigueur de la loi, de l'ordonnance et d'éventuels communiqués, enga-

gèrent le Bureau fédéral à proposer aux autorités le 1^{er} janvier 1950 comme date d'entrée en vigueur.

3^o Remarques relatives à la loi

La loi de 1909 donne les définitions des unités *internationales* suivantes: l'ohm, l'ampère (et l'ampère-heure), le volt, le watt (et le watt-heure). A l'occasion de leur remplacement, il a paru nécessaire d'ajouter quelques unités importantes à la liste des unités légales. La loi ne devait toutefois pas être trop chargée et comme il est plus facile, au besoin, de compléter une ordonnance qu'une loi, on fit usage de l'art. 23: «Le Conseil fédéral pourra déterminer par une ordonnance des unités et mesures dérivant des unités principales et non prévues par la présente loi.» Le contenu de la loi peut ainsi être limité à un petit nombre d'unités nécessaires à la constitution d'un système d'unités, parmi lesquelles les unités légales principales leur servent de base.

L'expression «unité légale principale» qui revient fréquemment, appelle un commentaire. Les définitions du mètre et du kilogramme figurent dans la loi de 1909. Nous considérons donc que m et kg sont les unités légales principales déjà données. Pour des raisons qui sont exposées plus bas, on leur adjoint la seconde et l'ampère comme troisième et quatrième unités légales principales. Or ces quatre unités m, kg, s, A sont quatre unités *quelconques* de l'ensemble cohérent des unités Giorgi; elles ne sont pas plus «fondamentales» que par exemple le quadruplet m, s, V, A. Ce n'est que pour les besoins de la loi qu'elles sont déclarées unités *principales*.

Le texte de la loi de 1909 ne mentionne explicitement, vient-on de dire, que le m et le kg comme unités légales principales. L'unité Giorgi de temps, la seconde, ne s'y trouve qu'implicitement contenue. Il n'y a logiquement aucune obligation de choisir la seconde comme troisième unité légale principale, mais il n'existait aussi pas la moindre raison de *ne pas* le faire. La mention expresse de la seconde comme unité légale principale dans le nouvel article 9 de la loi comble une lacune théorique de l'ancien texte. Il a paru superflu d'alourdir le texte de cet article en lui faisant exprimer encore que la minute et l'heure sont aussi des unités légales.

La notion de force est nécessaire pour définir le joule, le watt et l'ampère. C'est pourquoi l'article 10 nouveau donne la définition de l'unité Giorgi de force avec le nom de «newton» (symbole: N) qui a été proposé en 1938 par la Commission Electrotechnique Internationale [11] et adopté par l'Union internationale de Physique pure et appliquée [7] et la Conférence générale des Poids et Mesures de 1948 [12]. Les définitions du joule et de l'ampère données aux articles 11 et 13 ne diffèrent du texte proposé par le CIPM que par le remplacement de l'«unité MKS de force» par «newton».

Ce n'est pas le lieu de prendre position sur la question des unités non cohérentes de force et de pression qui, en dehors du commerce, sont utilisées

dans la pratique (kg*, etc.) [13]. Il est à souhaiter cependant, que l'introduction du newton dans la loi contribue à une unification bien désirable dans ce domaine.

Si les unités de travail (énergie) et de puissance figurent explicitement dans la loi (articles 11 et 12), la raison en est à l'importance économique et pratique de ces grandeurs, se traduisant par l'obligation de la vérification des compteurs d'électricité. La diversité des échanges d'énergie dans l'expression desquels on peut faire usage du watt nous a incités à supprimer de la définition proposée par le CIPM («Le watt est la puissance qui donne lieu à une production d'énergie égale à 1 joule par seconde»), ce qui pourrait paraître une restriction apportée à la notion de la puissance.

Un des avantages du système d'unités absolues réside dans l'élimination de la double définition mécanique et électrique des unités de travail et de puissance ($1 \text{ W int.} = 1 \Omega \text{ int.} \times 1 \text{ A}^2 \text{ int.}$; $1 \text{ W (abs.)} = 1 \text{ W (méc.)} = 1 \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-3}$). Il s'est trouvé que la tentative du début du siècle d'identifier les unités internationales à celles découlant des définitions absolues n'avait réussi que jusqu'à 0,3 ‰ près pour le watt par exemple. Comme le watt est une unité mécanique et électrique d'extrême importance, l'existence de deux unités pour la même grandeur apparut comme particulièrement fâcheuse. Le rattachement par voie de définition des unités électriques aux unités mécaniques ne laisse subsister qu'un seul et *unique* watt, celui qui dérive des unités m, kg, s. Dans l'ordonnance de 1933 sur les compteurs d'électricité [14], 1 kWh par exemple ne signifiera plus désormais $1000 \text{ W int.} \times 3600 \text{ s}$, mais $1000 \text{ W (abs.)} \times 3600 \text{ s}$. En pratique, la différence est insignifiante.

Grâce à cette identité des watts mécanique et électrique, le choix d'une *seule* unité électrique comme unité légale principale à adjoindre aux 3 unités légales principales de la mécanique suffit maintenant pour en déduire par dérivation d'autres unités électriques (art. 13^{bis}).

L'ampère fut choisi comme unité légale principale d'une part parce que, sur la base de la définition qui en a été donnée à l'art. 13, cette unité peut être réalisée directement, au moyen d'une balance de courant, par les grands laboratoires nationaux; l'exactitude qu'ils atteignent suffit à tous les buts commerciaux. C'est, d'autre part, l'unité pour laquelle le CIPM donne une définition absolue.

L'ohm est proposé parfois dans la littérature comme quatrième unité légale principale parce que la résistance, en tant que grandeur contenant les dimensions de la longueur, du temps et de la perméabilité du vide, mais non celle de la masse, peut être déterminée en valeur absolue avec une plus grande exactitude. Il est concevable cependant que l'exactitude accessible soit pendant quelques années à l'avantage des mesures absolues de résistance, puis plus tard, dans d'autres instituts, à celle des mesures absolues du courant. Or la loi doit être indépendante de telles fluctuations. Il importe seulement au législateur que la loi lie les intéressés. La réalisa-

tion technique de ce lien est l'affaire du laboratoire national qui en a la responsabilité. Si celui-ci, tel le Bureau fédéral des Poids et Mesures n'a pas le personnel et les ressources matérielles indispensables à l'exécution de mesures absolues, il lui incombe de se pourvoir à l'étranger (Bureau international des Poids et Mesures, etc.) des bases de mesure nécessaires. Ce qui est essentiel pour le législateur, ne l'est pas forcément pour le spécialiste des mesures de précision, ni pour le professeur. Ce dernier choisira plus volontiers, pour l'enseignement de l'électrotechnique, les unités m, s, V, A pour base dont les autres seront dérivées.

Dans les nouveaux articles de la loi, les unités sont accompagnées des symboles à considérer comme légaux. Ceux-ci correspondent aux symboles qui ont été adoptés par la Commission Electrotechnique Internationale et par l'Union internationale de Physique [7] et sanctionnés par la Conférence générale des Poids et Mesures en 1948 [12].

Dans le texte antérieur de la loi, il n'y avait pas d'inconvénient à ce que l'art. 9 définissant l'échelle de température figure entre les unités mécaniques et les unités électriques internationales légalement indépendantes des premières. La dépendance physique entre les unités électriques actuelles et les unités mécaniques exigeait qu'on les groupe dorénavant en un tout. L'article sur la température devant donc changer de numéro, ce texte a été reporté à l'article 14 après les unités de grandeurs électriques.

On conçoit que, dans la législation, on fasse passer le plus possible à l'arrière plan les grandeurs dont la mesure n'est pas soumise au contrôle obligatoire. En Suisse, il n'y a pas eu et il n'y a pas d'obligation d'étalonnage pour les thermomètres, même médicaux. Si, dans la loi fédérale de 1909, un article particulier a été consacré à la température, on doit l'attribuer non pas seulement au rôle de cette grandeur comme paramètre dans la définition du mètre à l'article 5, mais aussi à l'utilité d'une telle arme dans la lutte contre l'échelle Réaumur très répandue autrefois. Eu égard à la diffusion actuelle de l'échelle Fahrenheit, il convenait de conserver la définition de la température dans la loi. La définition en question est quelque peu surannée dans son contenu et dans sa forme; dans la technique des mesures de température on fait usage, maintenant comme avant, de l'échelle internationale de température, basée sur des points fixes et des procédés d'interpolation, et que le CIPM et la Conférence générale des Poids et Mesures [15] ont définie dans tous ses détails. Il existe actuellement deux variantes de l'échelle thermodynamique en discussion dans les milieux internationaux [15]: l'échelle ayant 0 °C et 100 °C pour les points de congélation et d'ébullition de l'eau, et l'échelle théoriquement plus satisfaisante ayant comme points de définition le zéro absolu et un autre point fixe tel que le point triple de l'eau. Il est à présumer que la loi que l'on souhaite en vue d'unifier les législations existantes fera usage de la dernière de ces définitions. La mise au point définitive de

l'article actuel pourra se faire à l'occasion d'une revision totale de la loi fédérale de 1909.

Un motif à l'appui d'une telle revision réside aussi dans la forme actuelle des articles 7 et 8 qui, pour des raisons historiques et d'organisation, contiennent des détails sur les multiples et sous-multiples décimaux qu'à l'avenir on n'introduirait pas dans la loi sous cette teneur. Conformément au principe et à la pratique que l'on ne change toutefois rien aux lois tant qu'il n'y a pas de modification importante à apporter à leur contenu, on a laissé inchangés les articles 5 à 8; ceux-ci jouent un rôle plus grand que tout autre article de la loi pour le maintien de l'ordre dans le domaine des poids et mesures.

Les considérations qui précèdent suffiront à expliquer pourquoi ce n'est ainsi qu'une revision partielle de la section II (Unités de mesures légales) qui fut proposée à l'Assemblée fédérale.

4^o Remarques relatives à l'ordonnance

L'ordonnance s'appuie sur la notion de dérivation (art. 13^{bis}). On admet ici que les méthodes de dérivation sont *connues* et *données*, scientifiquement parlant. Pour un esprit critique, elles ne sont toutefois pas quelque chose qui va logiquement de soi. La «dérivation» opérée pour aboutir aux articles 2 à 8 de l'ordonnance ne serait pas possible sans la condition que les unités soient reliées entre elles en un système cohérent sur la base d'équations de grandeurs *bien déterminées*. Mais il s'agit ici de considérations techniques que l'on ne soumet pas à la décision des autorités, si le spécialiste a trouvé une solution naturelle convenant à tous.

Une indétermination plus sérieuse dans la dérivation provient du fait que l'on est libre de choisir la forme rationalisée ou non rationalisée d'écrire les équations fondamentales de l'électricité [10]. Or de ces deux manières, il n'y en a pas *une* qui se présente comme devant nécessairement être préférée. En Suisse, les milieux spécialisés discutent cette question à fond au cours des dernières années. Et il est maintenant grand temps que le mode de calcul recommandé soit enfin indiqué à celui qui ne se propose pas d'opérer à l'aide de diverses possibilités intéressantes à comparer, mais veut faire usage d'une manière *recommandable* de calculer. La Commission fédérale des Poids et Mesures et le Bureau fédéral des Poids et Mesures appuient les efforts de l'AES dans ce sens, notamment de son Comité technique (CT 24) pour les grandeurs et unités électriques et magnétiques, dans lequel le Bureau fédéral est aussi représenté. La coexistence actuelle de l'oersted (non rationalisé, classique) et de l'ampère/cm (ou par mètre) comme unités d'intensité du champ magnétique n'est en effet guère satisfaisante. On a pensé que l'on pourrait contribuer efficacement à mettre fin à un tel état de chose, en introduisant dans l'ordonnance, à l'article 8, l'unité Giorgi rationalisée d'intensité du champ magnétique.

Il ne nous a pas semblé que même une ordonnance dût être complète. Le tableau des symboles de l'ASE renseigne sur les unités de moindre importance [13].

Des multiples et sous-multiples décimaux des unités définies par la loi et par l'ordonnance seront formés conformément aux indications du tableau reproduit ci-dessous; on y trouve, pour les puissances de 10 par lesquelles l'unité est multipliée, les préfixes à mettre avant le nom de l'unité et, pour les symboles, la lettre à mettre avant le symbole de l'unité.

Préfixe	Fraction de l'unité	Lettre précédant le symbole	Préfixe	Multiple de l'unité	Lettre précédant le symbole
pico	10 ⁻¹²	p	kilo	10 ³	k
nano	10 ⁻⁹	n	méga	10 ⁶	M
micro	10 ⁻⁶	μ	giga	10 ⁹	G
milli	10 ⁻³	m	tera	10 ¹²	T

Ce tableau est conforme à celui de l'Union internationale de Physique pure et appliquée (1948) [7] et à la publication n° 192 de l'ASE [13] ²⁾.

À la suite de ces remarques sur le contenu de la loi et de l'ordonnance, disons encore quelques mots du choix de la forme donnée aux définitions. Ce choix ne fut guère facile. Le CIPM présente comme il suit le but de telles définitions [16]:

«Pour formuler les décisions législatives qui concernent uniquement la *grandeur* des unités et non pas les procédés effectivement employés pour leur réalisation à partir de la théorie qui leur sert de base, il convient d'avoir un ensemble de définitions, suffisantes pour le but envisagé, exprimées autant qu'il est possible en un langage simple et aisément compréhensible.»

Certains des énoncés du CIPM, repris presque textuellement dans la version française de notre loi, datent d'une époque [17] où les problèmes du courant continu étaient encore au premier plan. Ils paraîtront à d'aucuns quelque peu démodés. Ils décrivent des cas particuliers et simples, d'une manière qui n'est pas toujours mathématiquement très précise, mais qui est immédiatement et correctement compréhensible par chacun. On ne dit pas que le classique «fil conducteur» envisagé entre deux de ses points supposés bien définis est en pratique un quadripôle avec bornes de courant et de potentiel, ou la portion d'un conducteur étendu comprise entre deux surfaces équipotentielles. Dans l'enseignement supérieur, cette dernière manière de formuler plus abstraite et plus précise peut être préférée. Cependant, lorsqu'on cherche à tirer les conséquences de telles considérations, on constate qu'il ne subsiste bientôt que peu de chose de la teneur des définitions proposées par le CIPM. Or, comme on l'a dit, le projet d'une loi-type internationale sur les unités est à l'examen. Il est à souhaiter que l'on dispose, dans quelques années, de textes convenant particulièrement aux besoins de la législation. En Suisse, on pourrait faire usage d'un

²⁾ Cette publication fut transmise à la Commission Electrotechnique Internationale en juillet 1949 sous la désignation 25 (Suisse) 2.

tel texte à l'occasion d'une future revision totale de la loi fédérale sur les poids et mesures. L'ensemble des définitions proposées par le CIPM suffirait provisoirement jusque là. Si maintenant chaque pays, en s'efforçant d'améliorer les textes du CIPM, parvient à une nouvelle rédaction particulière, on peut compter (les expériences faites autorisent cette conclusion) qu'il y aura autant de rédactions différentes que de lois. Les perspectives d'une loi unifiée en seraient considérablement réduites. C'est pourquoi, compte tenu de ce que les besoins de la législation, de l'enseignement et de la pratique sont très différents et admettent difficilement un *seul* mode d'expression qui convienne également bien à tous les buts, la teneur française des définitions données par le CIPM a été reprise presque sans changement. Les seules modifications importantes sont l'introduction de la section du conducteur dans l'article 1 de l'ordonnance, afin de préciser le sens, et à l'article 2, pour l'adapter à la terminologie actuelle, l'introduction en première ligne du terme de tension.

Les unités Giorgi rationalisées de l'induction magnétique Wb/m^2 et de l'intensité du champ magnétique A/m n'existent pas dans le texte du CIPM. Pour toutes deux il n'a pas encore été adopté internationalement de dénomination particulière ni de symbole. On souhaite que ces lacunes puissent être comblées bientôt.

5° Conséquences pratiques du changement des unités électriques

La grandeur numérique du changement des unités ressort des relations de passage suivantes entre les unités internationales moyennes et les unités absolues. Ces rapports des unités, adoptés par la Neuvième Conférence générale des Poids et Mesures [4], sont connus avec une erreur ne dépassant pas 2 unités de la dernière décimale inscrite.

1 ohm int.	= 1,00049 ohm (abs.)
1 ampère int.	= 0,99985 ampère (abs.)
1 volt int.	= 1,00034 volt (abs.)
1 watt int.	= 1,00019 watt (abs.)
1 farad int.	= 0,99951 farad (abs.)
1 henry int.	= 1,00049 henry (abs.)
1 ohm (abs.)	= 0,99951 ohm int.
1 ampère (abs.)	= 1,00015 ampère int.
1 volt (abs.)	= 0,99966 volt int.
1 watt (abs.)	= 0,99981 watt int.
1 farad (abs.)	= 1,00049 farad int.
1 henry (abs.)	= 0,99951 henry int.

Si l'on veut qu'une grandeur soit exprimée par le même nombre de nouvelles unités que d'anciennes, on devrait:

pour une résistance, la diminuer de $\frac{1}{2} \text{‰}$;
 pour un condensateur, augmenter sa capacité de $\frac{1}{2} \text{‰}$;
 pour une inductance, diminuer son coefficient d'induction de $\frac{1}{2} \text{‰}$.

Dans la vie pratique, ce changement n'aura que des effets minimes et ne se fera guère sentir, d'autant plus que la situation actuelle en ce qui concerne les grandeurs et les catégories d'instruments

soumises à l'obligation d'étalonnage ne se trouve pas modifiée. Dans la technique des mesures de précision, en revanche, cette substitution entraînera diverses conséquences.

Il y aura d'abord la possibilité de confondre les anciennes et les nouvelles unités chaque fois que les inscriptions sur des appareils ou dans des documents seront insuffisantes. Les anciennes unités devaient, en principe, être accompagnées d'une mention indiquant qu'elles appartenaient au système international, mais cette indication manque dans bien des cas où la précision en jeu l'exigerait. Les unités définies par les nouveaux textes législatifs, bien qu'«absolues», sont dénommées: ohm, volt, ... sans autre spécification et les inscriptions devraient être conformes à ces appellations. Pour prévenir des confusions, il conviendra donc que chacun, dans tous les cas où cela sera opportun, complète les anciennes inscriptions. Avec la réserve toutefois que la précision en jeu le justifie; car il serait superflu par exemple d'ajouter int. ou abs. à l'unité du cadran d'un appareil à aiguille dont la précision ne dépasserait pas $\frac{1}{2} \text{‰}$ ou qui serait muni d'une table de corrections; de même aucune adjonction n'est à prévoir aux inscriptions d'unités sur les compteurs.

A partir du 1^{er} janvier 1950, les contrats écrits et les actes officiels (Art. 27 LF 1909) doivent s'exprimer conformément aux nouvelles unités et le Bureau fédéral des poids et mesures fera usage des unités absolues dans les certificats qu'il délivre; mais pendant une période transitoire dont il est difficile de fixer la durée, les notations qui pourraient susciter un doute seront accompagnées d'une indication appropriée précisant qu'il s'agit d'unités absolues. Le Bureau *conseille* que durant cette période toute inscription d'unité qui pourrait prêter à confusion soit accompagnée de la mention int. ou, entre parenthèses: (abs.). Il est indispensable, en particulier, que sur les appareils qui seront mis dans le commerce (en première ligne les étalons et boîtes de résistances, condensateurs et inductances) soit indiqué s'ils sont ajustés en unités int. ou abs. Il ne suffit pas par exemple que le fabricant communique qu'à partir de telle série ou tel numéro de fabrication, les unités sont les nouvelles; pendant quelques années, la spécification «(abs.)» devra être considérée comme un mal nécessaire. C'est un devoir que nous avons *maintenant* d'éviter que la prochaine génération ait à supporter les conséquences de confusions, particulièrement parce qu'après bien des années, des indéterminations dans ce domaine sont souvent difficiles à élucider.

Doit-on corriger les résistances, capacités et inductances des anciens appareils pour les adapter aux nouvelles unités, lorsque la précision atteint au moins $\frac{1}{2} \text{‰}$? L'appréciation dépendra de divers facteurs; envisageons-les dans le cas des résistances. Pour réajuster des résistances, on peut raccourcir le conducteur ou lui adjoindre en dérivation une résistance 2000 fois plus grande. Si, à cet effet, il est nécessaire de faire intervenir le fer à souder, on

pourra hésiter devant le risque de troubler la stabilité, précieuse pour les mesures de précision, que la résistance aurait acquise. L'importance du travail d'ajustage et de réétalonnage doit aussi entrer en considération, s'il s'agit par exemple de boîtes de résistances. Suivant les cas, on pourra donc juger préférable de faire usage de facteurs de correction. En particulier lorsque le rapport de résistances entre seul en compte (potentiomètres, ponts), on peut aussi bien calculer avec les anciennes valeurs.

Il en va de même pour les autres catégories d'instruments: il n'y a pas de réponse passe-partout à la question posée et c'est à chacun d'en juger selon la destination de l'appareil et les circonstances.

6^o Unités photométriques

Ainsi qu'on l'a remarqué plus haut, l'organisation internationale des poids et mesures se trouvant en plein développement aussi bien sur le plan pratique que théorique, il a paru opportun de donner à la retouche actuelle de la loi fédérale le caractère d'une révision partielle limitée au minimum nécessaire. A l'occasion d'une future révision totale, on pourra examiner s'il y a lieu d'introduire la nouvelle unité d'intensité lumineuse, dans la définition qui en sera donnée à ce moment-là, comme cinquième unité légale principale, dans une loi plus complète formant un tout unifié. Pour l'instant, on peut se laisser guider par l'idée qu'il n'y aura pas de sitôt, pour aucune grandeur photométrique, d'obligation de contrôle officiel ayant des conséquences d'ordre juridique. Une réglementation légale n'est donc pas nécessaire et l'on peut donner à l'introduction officielle de la candela le caractère d'une convention purement technique. Avec l'approbation de la Commission fédérale des Poids et Mesures, le Bureau fédéral a par conséquent choisi le moyen du *Communiqué*. L'autorité des organismes responsables (Commission internationale de l'Éclairage, Comité consultatif de Photométrie, Comité international des Poids et Mesures [18], Conférence générale des Poids et Mesures [19] est une garantie que le changement puisse se faire sans difficultés et le Bureau fédéral recommande la date du 1^{er} janvier 1950 pour la substitution des unités.

Sous chiffre 1, le communiqué définit la candela pour une lumière de composition spectrale bien déterminée. Dans le système linéaire de la photométrie, le seul à prendre ici en considération, le rapport photométrique de deux rayonnements de composition différente doit être calculé, selon le chiffre 2 du communiqué, d'après la formule

$$\int P'_\lambda V_{\lambda \text{ int}} d\lambda / \int P''_\lambda V_{\lambda \text{ int}} d\lambda.$$

Dans cette formule, on désigne par:

P'_λ, P''_λ la puissance rayonnée en fonction de la longueur d'onde λ ,

$V_{\lambda \text{ int}}$ le facteur international de visibilité photopique [5].

Le chiffre 3 du communiqué énonce qu'il doit être entendu que le lumen (unité de flux lumineux), le lux (unité d'éclairement), le stilb (unité de luminance), etc. sont, par principe, les nouvelles unités dérivant de la *candela*. Cependant pour éviter des confusions, il sera opportun de procéder d'une manière analogue à ce qui a été conseillé pour les unités électriques (voir paragraphe 5): pendant une période de transition plus ou moins longue, on indiquera entre parenthèses qu'il s'agit des unités nouvelles, par exemple:

lumen (nouv.), lux (nouv.);

les anciennes unités en revanche ne seront plus désignées qu'accompagnées de la mention «int.», ainsi par exemple:

lumen int., lux int.

En vertu de l'expression: «... et d'unités légales de longueur et de temps...» la footcandle par exemple se trouve exclue de l'ensemble des unités considérées ici.

Les «Recommandations générales pour l'éclairage électrique en Suisse» [20] renseigneront le lecteur sur les relations d'usage international entre les unités photométriques.

Pour la valeur du rapport $cd / b \text{ int.}$, il n'existe pas de données officielles définitives. Pour la température de couleur de 2046 °K, le National Physical Laboratory, Teddington, et le National Bureau of Standards, Washington, ont trouvé en moyenne (1947):

$$1 \text{ candela} = 0,982 \text{ bougie internationale.}$$

Le nombre 0,981 (ou 1,019 pour $1 b \text{ int.} / 1 cd$) se rencontre aussi dans la littérature. Il suffit à tous les besoins de retenir que les valeurs (mesures) en bougies internationales doivent être multipliées par 1,02.

Cette règle appelle toutefois une remarque qui en restreint la validité, du fait que bien des résultats en bougies *internationales* qui proviennent de l'étranger, datant des années de guerre, reposent sur des mesures qui ne sont pas conformes à $V_{\lambda \text{ int}}$.

Pour être clair, précisons en effet ce qui suit. Des différences entre les procédés de mesure, qui peuvent être interprétées comme des différences entre les courbes des facteurs de visibilité particulières à chaque cas, conduisent, dans la réduction des résultats, à différentes *valeurs (mesures)* pour la même grandeur (par exemple l'intensité lumineuse d'une lampe échangée entre divers laboratoires); d'après la formule:

$$\text{grandeur} = \text{mesure} \times \text{unité},$$

on conclut ensuite de ces différences à des différences dans les unités. On aboutit ainsi aux facteurs de conversion usuels, mais qui rendent la compréhension difficile, car ils font apparaître le rapport de deux unités comme une fonction de la température de couleur. C'est ainsi qu'on a donné pour le rapport entre la bougie internationale et la bougie Hefner des valeurs de 1,11 (à environ 2000 °K) jusqu'à 1,17 (à 2600 °K). Historiquement,

la situation était compréhensible dans ce cas-là, car les mesures fondamentales de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt étaient antérieures à l'établissement et l'adoption de $V_{\lambda \text{ int}}$. En revanche, cette manière d'énoncer les résultats est pour le moins malheureuse, s'il s'agit d'exprimer le rapport entre la bougie internationale et la candela. La température de couleur des groupes de lampes à incandescence qui définissent la bougie internationale est si peu différente (moins de 50°) de la température de solidification du platine, que les différences mentionnées plus haut dans les procédés photométriques n'ont pas d'influence. Maintenant que les grands laboratoires ont nettement surmonté les difficultés de réalisation des conditions de la définition, on peut et on doit dire que le rapport entre l'ancienne et la nouvelle unité, *définies comme elles le sont*, est un facteur déterminé, en chiffre rond 1,02.

Si le rapport du Comité spécial pour les unités et étalons photométriques (Rapport du secrétariat) de la Commission internationale de l'Éclairage donne des nombres de provenance américaine tels que 1,019 à la température de couleur de 2100°K , 1,006 pour le domaine de $2300^\circ \dots 2500^\circ\text{K}$ et 0,997 pour le domaine de $2600^\circ \dots 3000^\circ\text{K}$, au moyen desquels les anciennes valeurs doivent être multipliées pour les convertir en nouvelles valeurs, on ne verra dans ces différences que l'expression du fait que les grandes collections de lampes étalons des laboratoires nationaux et de l'industrie, très soigneusement étudiées il y a bien des années, définissent des échelles individuelles qui ne correspondent pas à une évaluation conforme à $V_{\lambda \text{ int}}$.

En Suisse, depuis des années, l'évaluation des sources de lumière de toutes couleurs se fait conformément à $V_{\lambda \text{ int}}$ à l'aide de procédés physiques. C'est pourquoi le Bureau fédéral des poids et mesures n'a qu'un *seul* facteur de conversion à donner, car la base d'évaluation dans les comparaisons hétérochromes ne change pas lors du passage à la candela.

Bibliographie

- [1] Message du Conseil fédéral à l'Assemblée fédérale concernant la modification de la loi sur les poids et me-

sure (du 5 janvier 1949); Loi fédérale modifiant la loi sur les poids et mesures (projet). Bull. ASE t. 40 (1949), n° 3, p. 76...77.
Rec. Lois féd. 1949, n° 43, p. 1634.

- [2] Ordonnance relative aux unités de grandeurs électriques et magnétiques (du 8 novembre 1949). Bull. ASE t. 40 (1949), n° 26, p. 1040...1041.
Rec. Lois féd. 1949, n° 43, p. 1637.
- [2a] Communiqué du Bureau fédéral des poids et mesures relatif à l'introduction de nouvelles unités photométriques. Bull. ASE t. 40 (1949), n° 26, p. 1041.
- [3] Détails techniques sur les mesures absolues: *F. B. Silsbee*: Establishment and Maintenance of the Electrical Units. Washington, National Bureau of Standards, 1949. Circular 475.
Exposé historique: *U. Stille*: Die Entwicklung der elektrischen Einheiten in den letzten hundert Jahren, Arch. Elektrotechn. t. 39 (1948), n° 3, p. 130...164.
- [4] CIPM (Comité international des Poids et Mesures), Procès-Verbaux t. 20 (1945/46), p. 129; t. 19 (1939), p. E 25.
CGPM (Neuvième Conférence générale des Poids et Mesures), Comptes rendus, 1948 (Paris 1949), p. 49.
- [5] Commission Internationale de l'Éclairage, Compte rendu des séances, Genève 1924.
- [6] Commission Internationale de l'Éclairage, Décisions et Recommandations officielles, Paris 1948, p. 2.
- [7] Union internationale de Physique pure et appliquée, Comité Symboles, Unités, Nomenclature. Doc. S. U. N. 49-1 (avril 1949).
- [8] CIPM, Procès-Verbaux t. 21 (1948), p. 67.
- [9] CGPM, Comptes rendus 1948, p. 64, 107.
- [10] L'introduction du système d'unités Giorgi, Bull. ASE t. 40 (1949), n° 15, p. 462...474.
- [11] Commission Electrotechnique Internationale, Torquay 1938.
- [12] CGPM, Comptes rendus 1948.
- [13] Règles et recommandations pour les symboles littéraux et signes, Publication 25 (Suisse) 2/Jullet 1949 de l'ASE.
- [14] Ordonnance relative à la vérification des compteurs d'électricité (du 23 juin 1933).
- [15] CIPM, Procès-Verbaux t. 21 (1948), p. T 24, T 30; CGPM, Comptes rendus 1948, p. 55, 57, 89.
- [16] CIPM, Procès-Verbaux t. 20 (1945/46), p. 131.
- [17] Conférence internationale des Unités et Etalons électriques, Londres 1908.
- [18] CIPM, Procès-Verbaux t. 20 (1945/46), p. 119.
- [19] CGPM, Comptes rendus 1948, p. 54.
- [20] Recommandations générales pour l'éclairage électrique en Suisse, Zurich 1939 (1^{re} édition) et 1947 (2^e édition).

Neue Trockenstromwandler mit Kunstharzisolaton

Von *H. Koller*, Zürich-Oerlikon

621.314.224.08
621.315.616.96

Es wird ein Trockenstromwandler beschrieben, dessen Wicklungen nach einem neuen Verfahren fugenlos in das Isoliermaterial eingebettet sind. Die Isolation des Wandlers besteht dabei aus einem giessbaren Kunstharz, welchem spezielle Zusätze beigegeben sind. Nach diesem neuen Verfahren hergestellte Wandler können in Trockenbauart für Nennspannungen bis 60 kV ausgeführt werden. Anschliessend sind einige Ergebnisse von Prüfungen bekanntgegeben, welche an solchen neuartigen Wandlern durchgeführt wurden. Die Anwendung des neuen giessbaren Kunstharzes beschränkt sich nicht nur auf den Wandlerbau, es kann auch auf andern Gebieten des elektrischen Apparatebaues mit gutem Erfolg eingesetzt werden.

C'est la description d'un transformateur d'intensité, type sec, dont les enroulements sont enrobés d'après une nouvelle méthode, sans rainures, dans la matière isolante. La matière utilisée pour l'isolation du transformateur d'intensité est de la résine synthétique à laquelle on a adjoint certains produits spéciaux. Les transformateurs d'intensité du type sec, construits d'après cette méthode, peuvent être fabriqués pour des tensions allant jusqu'à 60 kV. L'article donne aussi quelques essais faits avec ces nouveaux transformateurs d'intensité. L'utilisation de la nouvelle résine synthétique qui peut être fondue, ne se limite pas seulement à la construction des transformateurs d'intensité, elle peut être utilisée également avec de bons résultats dans d'autres domaines de la construction d'appareillage électrique.